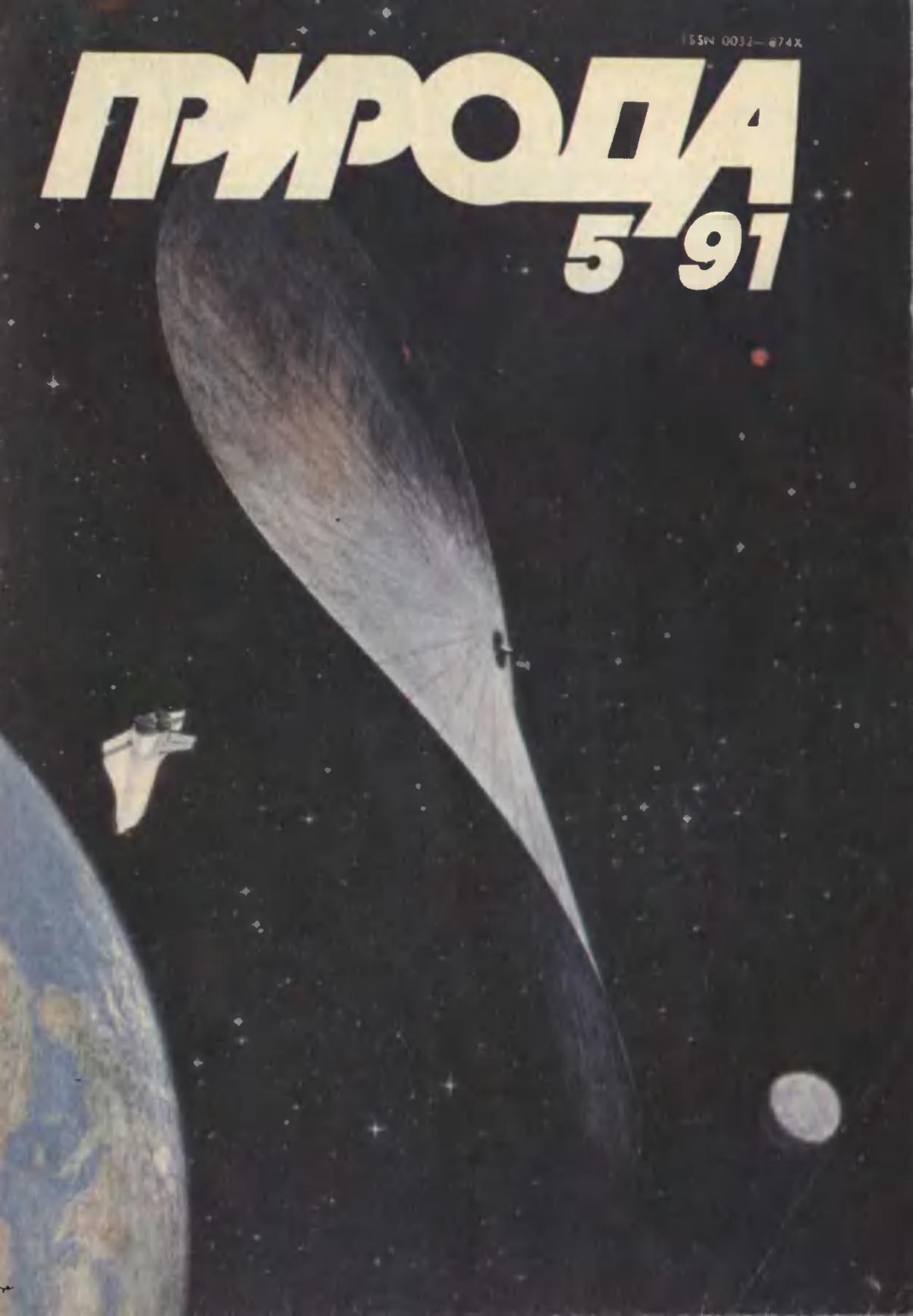


ISSN 0032-074X

ПРИРОДА

5 '91



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Л. Д. ФАДДЕЕВ

Кандидат физико-математических наук
А. И. АНТИПОВ

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Член-корреспондент АН СССР
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук
А. А. ВЕЛИЧКО

Академик
В. А. ГОВЫРИН

Заместитель главного редактора
Ю. Н. ЕЛДЫШЕВ

Член-корреспондент АН СССР
Г. А. ЗАВАРЗИН

Академик
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Доктор физико-математических наук
А. А. КОМАР

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор философских наук
Н. В. МАРКОВ

Доктор исторических наук
П. И. ПУЧКОВ

Заместитель главного редактора
академик
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ

Доктор философских наук
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР
А. А. СОЗИНОВ

Академик
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

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

Академик
В. Е. ХАИН

Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАШУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

ПРИРОДА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
ПОПУЛЯРНЫЙ
ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
АКАДЕМИИ НАУК СССР

Издается с января 1912 года



НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ: Британская каравелла «Нинья» с солнечным парусом во время полета к Марсу. См. в номере: Резников А. Е., Шварцбург А. А. Парусники эпохи гелиографических открытий.

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Вершина черного курильщика с колонией помпейских червей Alvinellidae. См. в номере: Сагалевич А. М., Москалев Л. И. Хемобиос на дне Тихого океана. Фото Ю. А. Володина



— 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» 1991

В НОМЕРЕ

3 Сачков Ю. В. ВЕРОЯТНОСТНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ

Вероятностная идея интенсивно входит в каждую из наук о природе. Кульминационным пунктом приложений вероятностных методов можно считать создание квантовой теории. А как развитие интерпретации квантовой механики воздействует на наше понимание случайности?

10 Спирин А. С., Четверин А. Б., Воронин Л. А., Баранов В. И., Алахов Ю. Б. БИОСИНТЕЗ БЕЛКА И ПЕРСПЕКТИВЫ БЕСКЛЕТОЧНОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ

Разработана принципиально новая, не имеющая аналогов в мире, полностью бесклеточная биотехнология, которая дает надежду на биотехнологическую революцию в недалеком будущем.

ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

20 Паршенков С. А. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Сейчас, как и в прошлом, нет ни одного экологически чистого производства, не предвдятся они и в будущем. Человечеству остается сократить свои потребности и жить заботой о сохранении биосферы.

28 Рубченя В. А., Явшиц С. Г. ТРОЙНОЕ ДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР

В процессах деления ядер наблюдаются редкие события, когда наряду с обычными осколками деления образуется еще и легкая заряженная частица. Из таких экзотических случаев деления можно извлечь много интересной информации.

ВЕСТИ ИЗ ЭКСПЕДИЦИЙ

33 Сагалевич А. М., Москалев Л. И. ХЕМОБИОС НА ДНЕ ТИХОГО ОКЕАНА

Хемосинтез, а не фотосинтез — энергетическая основа существования многих сообществ на дне Мирового океана. Это открытие сделано благодаря новому поколению глубоководных обитаемых аппаратов.

41 СЛЕДЫ ЧЕРНОБЫЛЯ В ПРИРОДНОЙ СРЕДЕ

Авария на Чернобыльской АЭС привела к загрязнению искусственными радионуклидами значительной территории Европейской части СССР площадью более 100 тыс. км². За пять лет, прошедших после аварии, изучено их распределение в почве, воде и воздухе, процессы миграции и накопления, построены модели переноса и осаждения. Цель этих работ, проводимых разными организациями, — моделирование поведения радионуклидов и рекомендации по использованию загрязненных территорий.

Борзилов В. А. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ (42)

Войцехович О. В. РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ БАССЕЙНА ДНЕПРА (52)

Павлоцкая Ф. И., Мясоедов Б. Ф. ПЛУТОНИЙ В ПОЧВАХ (57)

Козубов Г. М., Таскаев А. И. ЧЕРНОБЫЛЬСКИЙ ЛЕС (61)

Коробова Е. М., Линник В. Г., Новикова С. К. КОМПЛЕКСНОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (69)

71 Никитин А. И. СОВРЕМЕННАЯ РЕПРОДУКТИВНАЯ СТРАТЕГИЯ

Сегодня главная роль в уменьшении детской смертности отводится сокращению патологических зачатий, для чего необходимо научное планирование семьи.

79 Соколов Л. И., Цепкин Е. А., Шилин Н. И. МИНОГА В ПОДМОСКОВЬЕ

82 Резников А. Е., Шварцбург А. А. ПАРУСНИКИ ЭПОХИ ГЕЛИОГРАФИЧЕСКИХ ОТКРЫТИЙ

Космические корабли, в которых вместо традиционных ракетных двигателей используется давление солнечных лучей, создаются сейчас в нескольких странах для «космической гонки» к Марсу в 1992—1993 гг.

89 К 70-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА САХАРОВА

21 мая 1991 г. Андрею Дмитриевичу Сахарову исполнилось бы 70 лет. Мы продолжаем публикацию материалов к биографии нашего великого современника.

Попов Н. А. АДС И ЛТС (89) ОТВЕТЫ А. Д. САХАРОВА НА АНКЕТУ ГАЗЕТЫ «ТРУД» (91)

Калоджеро Ф., Торн К. С., Уилер Дж. А., Хиппель фон Ф., Теллер Э., Липкин Г. ГЛАЗАМИ ЗАРУБЕЖНЫХ КОЛЛЕГ (92)

105 НОВОСТИ НАУКИ

120 КОРОТКО

122 РЕЦЕНЗИИ

124 НОВЫЕ КНИГИ

ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

126 Андрианов И. В., Брезински К. ВТОРОЕ РОЖДЕНИЕ АНРИ ПАДЕ

РЕКЛАМА, ОБЪЯВЛЕНИЯ (8, 19, 70)

ПАМЯТНИКИ ПРИРОДЫ (9)

CONTENTS

3 Sachkov Yu. V. PROBABILISTIC REVOLUTION IN NATURAL SCIENCE

The idea of probability is gaining currency in all natural sciences, with quantum theory being the culminating point of its application. How does further development of interpretation of quantum mechanics affect our understanding of randomness?

10 Spirin A. S., Chetverin A. B., Voronin L. A., Baranov V. I., Alakhov Yu. B. BIOSYNTHESIS OF PROTEINS AND PROSPECTS OF CELLESS BIOTECHNOLOGY

This is the first in the world and fundamentally novel biotechnology that gives hope for biotechnological revolution in the nearest future.

20 Parshenkov S. A. INDUSTRIAL POLLUTION

Industries have never been and will never be absolutely ecologically pure. So mankind has to curb its requirements and try to protect the biosphere.

28 Rubchenya V. A., Yavshits S. G. TRIPPLE FISSION OF HEAVY NUCLEI

There are rare events in the processes of nuclear fission when together with ordinary fragments a light charged particle is also generated. Such exotic processes are highly informative for the physicists.

33 NEWS FROM EXPEDITIONS Sagalevich A. M., Moskalov L. I. CHEMOBIOS ON THE PACIFIC OCEAN BED

Many communities of the bed of the World Ocean use chemosynthesis rather than photosynthesis as an energetic foundation of their survival. This discovery has become possible due to a new generation of deep-sea inhabited chambers.

41 TRACES OF CHERNOBYL IN NATURAL ENVIRONMENT

The Chernobyl disaster contaminated a considerable chunk (more than 100,000 sqm) of the European part of the USSR with man-made radionuclides. In the past five years their distribution in soil, water and air was traced and mathematical models of their migration and accumulation were created. The main goal of this work is to draw recommendations on the use of the contaminated area.

Borzilov V. A. PHYSICAL-MATHEMATICAL SIMULATION OF RADIONUCLIDES BEHAVIOUR (42)

Voitsekhovich O. V. RADIOACTIVE CONTAMINATION OF THE DNIEPER BASIN (52)

Pavlotskaya F. I., Myasoedov B. F. PLUTONIUM IN SOIL (57)

Kozubov G. M., Taskaev A. I. THE CHERNOBYL FOREST (61)

Korobova E. M., Linnik V. G., Novikova S. K. COMPLEX MAPPING OF THE CONTAMINATED AREAS (69)

71 Nikitin A. I. MODERN REPRODUCTIVE STRATEGY

To curb infant mortality it is necessary to prevent pathological conceptions and introduce family planning.

79 Sokolov L. I., Tsepkin E. A., Shilin N. I. BROOK LAMPREY IN THE MOSCOW AREA

82 Reznikov A. E., Shvartsburg A. A. SAILERS OF THE AGE OF HELIOGRAPHIC DISCOVERIES

Several countries are now engaged in designing spaceships propelled by the impact of sun rays to win the "space race" to Mars in 1992-1993.

89 THE 70TH BIRTH ANNIVERSARY OF ACADEMICIAN SAKHAROV

May 21, 1991 is the 70th birthday of Andrei Sakharov—our great contemporary. We continue the series of publications, begun last year, about his life in science and among scientists.

Popov N. A. ANDREI SAKHAROV AND LASER FUSION (89)

Sakharov's replies to the newspaper "Trud" questionnaire (91)

Kalogero F., Thorn K. S., Wheeler J., Hippel von F., Teller E., Lipkin H. THROUGH THE EYES OF FOREIGN COLLEAGUES (92)

105 SCIENCE NEWS

120 NEWS IN BRIEF

122 BOOK REVIEWS

124 NEW BOOKS

MEETING THE FORGOTTEN PAST

126 Andrianov I. V., Brezinski K. HENRY PADE'S ANOTHER BIRTHDAY

ADVERTISEMENTS, ANNOUNCEMENTS (8, 19, 70)

Вероятностная революция в естествознании

Ю. В. Сачков



Юрий Владимирович Сачков, доктор философских наук, профессор, заведующий отделом Института философии АН СССР. Специалист в области философских проблем естествознания. Автор ряда книг, в том числе: Введение в вероятностный мир. М., 1971; Методологические проблемы современного естествознания. М., 1979. Член редколлегии «Природы».

С О ВТОРОЙ половине XIX столетия естествознанию сопутствует небывалый успех в познании строения и эволюции материального мира. Этот успех во многом обязан идее вероятности. Методы исследования, опирающиеся на теорию вероятностей, обеспечили два грандиозных прорыва физики в микромир — в структуру вещества (классическая статистическая физика) и в структуру атома (квантовая механика).

Не меньшее значение имеет вероятностная идея и в развитии биологии — от теории Дарвина до генной теории, законы которой в своей основе также вероятностны. При их разработке не только применялись, но и совершенствовались методы собственно теории вероятностей как математической дисциплины.

Вероятностные идеи и методы исследований интенсивно входят в каждую из наук о природе. Они приобретают важнейшее значение везде, где наука сталкивается с исследованием сложных систем. Вероятность входит в структуру обобщающих наук, способствует развитию интеграционных процессов. В середине века одним из таких направлений выступила кибернетика. Раскрывая предмет кибернетики, Н. Винер писал о «воздействии точки зрения Гиббса (вероятностных концепций — Ю. С.) на современную жизнь как путем непосредственных изменений, вызванных ею в творческой науке, так и путем тех изменений, которые она косвенным образом вызвала в нашем отношении к жизни вообще»¹. Винер считал в связи с этим, что «именно Гиббсу, а не Альберту Эйнштейну, Вернеру Гейзенбергу или Макс Планку мы должны приписать первую великую революцию в физике XX века»².

Столь фундаментальное воздействие

¹ Винер Н. Кибернетика и общество. М., 1958. С. 27.

² Там же. С. 26.

вероятностных подходов на развитие естествознания означает, что мы имеем дело с глубокой внутренней революцией во всей системе наук о природе. Ее суть в том, что в базисные структуры научного мышления стала включаться идея случая. Недаром теорию вероятностей зачастую называют наукой о случайном, а для ученых вероятность и случайность нерасторжимы.

Представления о случае зародились в древности, при первых попытках осознания человеком своего бытия. Тогда же возникло понятие необходимости. И Ананке (неумолимая необходимость), и Тихе (слепой случай) — богини человеческой судьбы. Вне случая невозможно понять жизнь человека во времени. Более того, случайность стала характеризоваться и как «регулятор» жизненных процессов. Эмпедокл, отмечал Б. Рассел, «рассматривал ход вещей как регулируемый скорее случайностью и необходимостью, чем целью. В этом отношении его философия была более научной, чем философия Парменида, Платона и Аристотеля»³.

В дальнейшей истории культуры представления о случае также преимущественно связывались с основами поведения человека. Наиболее концентрированным образом они высвечивались в размышлениях о свободе воли человека. Свобода воли прерывает те жесткие, неумолимые связи и воздействия, в которые вплетен человек, и тем самым позволяет ему стать творцом нового и осознать свою силу и самостоятельность. Представления о случае начали соотноситься с раскрытием высших творческих возможностей и ценностей человеческой личности⁴.

Особый этап в познании случая начинается со времени вхождения вероятности в структуру физико-математического естествознания. Однако следует отметить, что в рамках первых физических теорий не было места для случайности. Этот период в развитии физики характеризуется как классический. Все ее базисные модели строились по образу и подобию классической механики. Связи и отношения в материальном мире рассматривались как строго однозначные.

Если в научном анализе появлялись решения, включающие в себя неоднозначность и неопределенность, то соответствующее знание воспринималось как не-

полное или же как результат некорректной постановки задачи. Конструктивную роль в познании играла лишь необходимость. За случайностью объективной основы практически не признавалось. Этот стиль научного мышления хорошо выражен в словах П. Гольбаха: «Ничего в природе не может произойти случайно; все следует определенным законам; эти законы являются лишь необходимой связью определенных следствий с их причинами... Говорить о случайном сцеплении атомов либо приписывать некоторые следствия случайности — значит говорить о неведении законов, по которым тела действуют, встречаются, соединяются либо разъединяются»⁵.

Ограниченность подобных воззрений вскрыта уже давно. Само становление физики XX в. шло на путях их преодоления. Для нас сейчас более интересно, что классические воззрения подвергаются критике еще в одном отношении — в понимании физических основ процессов развития. Наиболее сильно это делается школой И. Пригожина. Суть критики сводится к тому, что представления о развитии, которые базируются на классических взглядах, являясь собой упрощение, притом столь сильное, что в них не находят отражения наиболее характерные признаки развития вообще. («Мир классической физики — мир атемпоральный, лишенный времени»⁶.)

Первой физической теорией, которая ввела в свою структуру случайность, стала статистическая физика. Что же говорят о случайности статистические теории? Самые типичные среди исследуемых ими систем — газы. Через представления о случайности характеризуется структура этих систем, взаимодействие их элементов (молекул газа). Состояния элементов в таких системах максимально независимы и равноправны. Подобная структура систем наиболее емко определяется словом «хаос». Самым хаотическим оказывается состояние с максимальной энтропией (состояние термодинамического равновесия). Согласно статистическим теориям, структура систем в состоянии термодинамического равновесия и характеризуется как истинное воплощение действия случая.

Представления о случайности получили дальнейшее развитие в ходе разработки

³ Рассел Б. История западной философии. М., 1959. С. 76.

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

⁵ Гольбах П. Избр. антирелигиозные произведения. М., 1934. Т. 1. С. 34—35.

⁶ Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М., 1986. С. 95.

квантовой теории и дискуссий вокруг ее основ. В классической физике вероятность соотносилась с массовыми процессами и проявляла себя непосредственно лишь в системах, состоящих из огромного числа частиц. В квантовой же механике отдельные элементарные процессы принципиально вероятностны, т. е. описываются неоднозначно. Понимание случайного характера поведения квантовых объектов ведет к тайнам их внутреннего строения: следует исходить из неисчерпаемости внутренних свойств и интенсивной внутренней динамики квантовых объектов, что и обуславливает вероятностный характер их поведения на квантовом уровне.

В дискуссиях по методологии квантовой механики обычно в центре внимания оказывается воздействие случайности на трактовку квантовых процессов. При этом остается в тени весьма важный вопрос: а как развитие интерпретации квантовой механики воздействует на наше понимание случайности? Обратные связи становятся предметом обсуждения весьма редко. Лишь в некоторых статьях квантовая механика рассматривается как высшее проявление идей и методов вероятности (а следовательно — и случайности) в физике. А между тем концептуальная схема квантовой теории дает много и для понимания природы случая: она ясно и четко выдвигает идею уровней в строении и детерминации систем.

Квантовая механика характеризует строение и свойства отдельных микрообъектов. Чтобы понять ее особенности, следует иметь в виду, что понятия (физические величины), используемые в теории для характеристики микрообъектов, делятся на два класса, имеющие различную логическую природу. Первый класс составляют так называемые непосредственно наблюдаемые величины (например, координата и импульс), которые в теории рассматриваются как типично случайные (в теоретико-вероятностном смысле). Второй класс образуют квантовые числа (собственно квантовые величины, типа спина). Весьма существенно, что на уровне первых характеристик прямые зависимости между значениями понятий вообще отсутствуют (царство случайности). На уровне обобщенных понятий зависимости носят однозначный характер. Зависимости между параметрами, относящимися к разным уровням, включают в себя неоднозначность, неопределенность. Полнота теоретического описания квантовых процессов достигается, когда используются понятия обоих классов, относящиеся к различным логическим уровням.

Рассмотренная концептуальная структура квантовой теории много говорит и о природе случайности. Прежде всего отсюда следует, что случайность проявляет себя на фоне некоторых устойчивых связей и отношений, на фоне необходимости. Важно, что случайность и необходимость (жесткость, однозначность связей) относятся к разным уровням, но одного и того же объекта, одной и той же системы. Поэтому нельзя согласиться с иногда встречающимися утверждениями, что вероятность вводит в описание неоднозначность, неопределенность, случайность, и только. Это лишь одна сторона дела. Случайность опирается на иные виды необходимости, она немислима вне определенной устойчивости и инвариантности.

Случайность в физике (как классической, так и квантовой) связана с раскрытием структуры исследуемых физических систем и простейших изменений. Этим определяется, так сказать, ее исходное понимание. Более глубокое дает анализ ее включенности в структуру не просто физических, а эволюционных процессов. Исходной здесь является дарвиновская модель, которая легла в основу современной синтетической теории эволюции — наиболее разработанной модели развития живого. Для понимания эволюционных процессов, согласно этой модели, определяющее значение имеют мутационная изменчивость, наследственность и естественный отбор. Через представления о случайности характеризуются прежде всего мутации, их отношение друг к другу: они не направлены, и результат одной из них не зависит от других и не определяет их результатов.

Конструктивная роль случая здесь очевидна. Как говорят, случайность отражает наличие разнообразия в органическом мире, создает неисчерпаемую генетическую изменчивость, которая упорядочивается и направляется отбором⁷. Подобная направленность закрепляется преемственностью в процессах развития. Однако, если исходить из того, что жизнь возникла в результате случайных столкновений атомов или что все живое образовалось в ходе простого перебора мутантов, то для создания эволюционным путем всего разнообразия современных видов с их фантастически сложными органами и поведением не хватило бы ни времени существования Вселенной,

⁷ См., например: Чайковский Ю. В. Разнообразие и случайность // Методы научного познания и физика. М., 1986. С. 149 и сл.

ни исходного материала⁸. Здесь случайность не может продуктивно «овладеть временем», эффективно вписаться в структуру эволюционных процессов.

Современные эволюционные взгляды исходят из признания сильнейшей неравномерности в развитии материального мира, начиная от Большого взрыва и кончая социально-экономическим и духовным прогрессом. Любой эволюционный процесс берет свое начало не из хаотического состояния, а из других эволюционных процессов. Эволюция звезд накладывается на космологическую эволюцию, эволюция Солнечной системы — на эволюцию звездных систем, эволюция живого — на химическую эволюцию, эволюция человека — на эволюцию биологическую. Вся система этих эволюционных процессов пронизана мощным потоком необратимых, а стало быть, направленных изменений. На таком общем фоне, на такой базе и следует рассматривать «игру случайностей». Но в то же время неверно было бы допустить, что случайность вносит лишь некоторые коррективы, возмущения в этот поток: она воздействует на направленность этого потока и конструирование его. Тем самым случайность придает черты неповторимости эволюционным процессам.

Будущее всегда открыто. Направленность развития не равносильна его предопределенности или же стремлению к заранее предустановленной цели. Случайность как бы предопределяет первичный поиск в изменениях систем, а осуществившаяся случайность делает сам процесс необратимым, т. е. направленным. На такой основе становится понятным утверждение: «Если бы жизнь возникла и развивалась вновь, путь эволюции был бы совершенно иным»⁹. В раскрытии и обосновании подобных подходов в теории эволюции важнейшее значение имеет идея случайности, а в силу обратных связей анализ таких подходов приобретает первостепенное значение и для раскрытия природы самого случая.

Все сказанное означает, что случай-

ность предстает перед нами в качестве самостоятельного начала мира, его строения и эволюции. Еще древние рассматривали хаос как одну из первопотенций мира. Принципы строения и эволюции материального мира уже в своих (физических) основах имеют и жесткое, и пластичное начала, и оба они необходимы для целостного анализа реальных процессов и систем. Жесткое начало характеризуется однозначными, неизменными связями, непреодолимо наступающим действием. Случайность олицетворяет гибкое начало мира и сопряжена с такими, повторим, понятиями, как независимость, неоднозначность, неопределенность, спонтанность и хаотичность.

Вхождение вероятности в структуру познания вызвало глубокую его концептуальную перестройку. Преобразовалась система базисных представлений науки и тем самым изменились научная картина мира, парадигма науки и стиль научного мышления. Человек получил новые мощные интеллектуальные средства для познания мира и организации практических действий. Эти громадные изменения позволяют говорить о величайшей революции в познавательной деятельности человека.

Вероятностная революция исторически весьма трудно осмысливалась. Многочисленные и острые дискуссии по вопросам обоснования классической статистической физики, генетики, учения Дарвина, квантовой теории, кибернетики и теории информации во многом преследовали цель овладения случаем. Проводились и проводятся многие конференции и симпозиумы, выходят соответствующие труды. Примечательным вышедшим в 1987 г. в издательстве Массачусеттского технологического института двухтомник «Вероятностная революция», где вероятностная идея рассматривается на широком фоне развития физики, биологии, психологии и экономики¹⁰.

Вероятность и случайность вошли в структуру современного научного мышления. «Укрощение случая и эрозия (жесткого) детерминизма,— пишет Я. Хакинг,— представляет одной из наиболее революционных изменений в истории человеческой мысли»¹¹. Вместе с тем, как это ни парадоксально, основные идеи вероятно-

⁸ Подробнее см.: Мора П. Несостоятельность вероятностного подхода // Происхождение предбиологических систем. М., 1966. С. 47 и сл.; Уоддингтон К. Х. Зависит ли эволюция от случайного поиска? // На пути к теоретической биологии. М., 1970. С. 108 и сл.; Волькенштейн М. В. Сущность биологической эволюции // Успехи физ. наук. 1984. Т. 143. Вып. 3. С. 429 и сл.; см. также: Шноль С. Э. Хватает ли времени для дарвиновской эволюции? // Природа. 1990. № 11. С. 23—26.

⁹ Волькенштейн М. В. Цит. соч. С. 463.

¹⁰ The Probabilistic Revolution. (V. 1. Ideas in History. V. 2. Ideas in the Sciences). The MIT Press. Cambridge. 1987.

¹¹ Hacking Ian. Was there a Probabilistic Revolution 1800—1930? // The Probabilistic Revolution. V. 1. Ideas in History / Ed. by L. Krüger, L. J. Doston and M. Heidelberger. Cambridge. 1987. P. 54.

стной революции все еще не находят должного признания в широких интеллектуальных кругах. До сих пор довольно широко бытует точка зрения, что случайность есть нечто второстепенное, побочное, несоместимое с внутренней сущностью исследуемого процесса. Действительно, при осмыслении многих научных результатов, и особенно в нашей повседневности, понятие «случайность» часто используется именно в таком смысле. Подобное ее восприятие характерно и для всей классической науки.

В современном естествознании выработалось иное, более широкое понимание случайности, открывающее простор для широкого применения теоретико-вероятностных методов исследования. Оно пробивало себе дорогу столь трудным образом, что В. В. Налимов имел все основания сказать: «Чтобы хоть как-то познать природу случайного, западной мысли понадобилось более двух тысяч лет»¹². Однако звездный час чисто теоретико-вероятностных методов, по-видимому, уже прошел. Речь, конечно, не идет об их умалении, а тем более, отрицании или отказе от них. Напротив, родились новые концептуальные основы современной науки, которые можно считать наследниками теоретико-вероятностных концепций. Это прежде всего нелинейное мышление, методы исследования нелинейных процессов, их широкое осмысление в рамках синергетики и разработки физических основ учения о самоорганизации.

В настоящее время все чаще говорится о нелинейной природе самой случайности, ее динамики (стохастичности). Как утверждают А. В. Гапонов-Грехов и М. И. Рабинович, «два понятия нелинейной физики — стохастичность и структура... в действительности не являются антиподами. Хаос и порядок могут, в частности, непрерывно трансформироваться друг в друга при изменении параметров системы. Не будет даже большим преувеличением сказать, что не бывает ни абсолютного порядка, ни абсолютного хаоса — это лишь предельные ситуации. Всякая же реальная система пребывает в некотором промежуточном состоянии, и оценивать следует близость этого состояния к одному из предельных, т. е. абсолютному порядку или полному беспорядку»¹³.

Становление нелинейного мышления ведет к еще одной научной революции,

преобразующей современное естествознание. Разрабатывается новое видение, создается новая базисная модель мира и познания, которая включает такие понятия, как неустойчивость, флуктуации, бифуркации, малые причины — большие следствия, самоусиление процессов (автокатализ), необратимость, принципиальная многовариантность возможных путей изменений и развития сложных систем и др. Такая базисная модель выступает как расширение модели, соответствующей чисто вероятностным процессам. Тем самым нелинейность — это своего рода наследница вероятностного стиля мышления.

Существенные обобщения идеи случайности происходят и в рамках учения о сложных системах, их развитии. Исследования последнего времени ясно показали, что к развитию способны лишь открытые системы — системы, которые находятся в постоянном взаимодействии, обмениваясь веществом, энергией и «информацией», со своим окружением. В закрытых системах качественные изменения внутренних состояний носят деструктивный характер. Развитие предполагает как усиливающееся взаимодействие развивающихся систем с окружающей средой, так и более детальную ее «проработку». Соответственно этому в ходе развития происходит структурно-функциональное усложнение развивающихся систем, усложнение их структуры и функций. Весьма интересно и важно рассмотреть, какие же пути выработала сама природа в «борьбе» с подобной сложностью. Для раскрытия существа этих путей основополагающее значение имеют представления об автономности¹⁴.

Автономность принято определять как существенную независимость в поведении систем и подсистем от их окружения. Часто говорят, что быть автономным — значит быть независимым. При таких утверждениях представления об автономности мало чем отличаются от представлений о случайности. Вместе с тем представления об автономности являются развитием того наиболее существенного, что заключено в понятии случайности. Автономность предполагает не только независимость, но прежде всего определенную внутреннюю упорядоченность сложных систем, специализацию их подсистем, направленную на выполнение некоторых функций путем саморегуляции, самоорганизации и в пределах, обеспечивающих

¹² Налимов В. В. Цит. соч. С. 207.

¹³ Гапонов-Грехов А. В., Рабинович М. И. Нелинейная физика. Стохастичность и структуры // Физика XX века. Развитие и перспективы. М., 1984. С. 273.

¹⁴ Подробнее см.: Балашов Е. П., Сачков Ю. В. Системные исследования: идея автономности // Природа. 1985. № 6. С. 63—69.

повышение эффективности функционирования системы в целом. Независимость и эффективность, упорядоченность и специализация, самоорганизация и согласованность действия в целом — ведущие признаки автономности.

Проблема автономности неотделима от понимания сложности, от познания того, по отношению к чему проявляется сама автономность. Если целое образуется на базе только представлений о случайности, то мы имеем дело с переходом к хаосу. Если же целое образуется на базе представлений об автономности, то мы получаем возможность строить модели сложных и сложно организованных систем.

В заключение отметим, что разработка идеи вероятности в естествознании наделила ум человека новой громадной силой, что является неотъемлемым признаком научной революции. Но каждая научная революция своеобразна. Вероятностная революция в естествознании протекала как бы перманентно на протяжении второй половины XIX — первой половины XX вв. Зарождение нового подхода уже прослеживается в дарвиновской теории эволюции. Развитие же формализованных моделей, образующих базис теоретического познания, началось с разработки кинетической теории газов, переросших затем в классическую статистическую физику. Кульминационным пунктом

«приложений» вероятностной идеи к познанию природы можно считать создание квантовой теории. Завершает «революционную поступь» вероятностной идеи разработка кибернетики и (шенноновской) теории информации. Каждый из этих этапов развития вероятностной идеи также можно рассматривать как значительное революционное преобразование. Так, например, Ф. Хунд отмечает, что становление квантовой теории можно считать «одним из крупнейших шагов в познании природы, возможно, даже одним из важнейших этапов в истории разума»¹⁵.

Единство указанным преобразованиям придает то, что в концептуальном плане они опирались на представления о случайности, ее включенности в структуру теоретических систем. Более того, по мере осуществления указанных преобразований углублялось и наше понимание случайности. Если вначале на понимание случайности сильнее влияние оказывали представления и образы механики, то ныне ее понимание строится на более широких основаниях, имеющих собственную значимость. Случайность стала олицетворять собою познание гибкого, пластичного, спонтанно изменяющегося начала мира.

¹⁵ Хунд Ф. История квантовой теории. Киев, 1980. С. 7.

РЕКЛАМА, ОБЪЯВЛЕНИЯ

ВНИМАНИЮ ДЕЛОВЫХ ЛЮДЕЙ!

«Природа» публикует рекламу советской и зарубежной промышленной продукции и различных видов услуг, которые могут быть полезны научным и учебным учреждениям, а также любителям природы.

Рекламный текст направляется в редакцию журнала с гарантийным письмом и указаниями почтового адреса, телекса, телефона и банковского счета рекламодателя.

С предложениями обращаться по адресу:
117810, ГСП-1, Москва, Мароновский пер., 26, «Природа».
Международный телекс 411612 IZAN. Тел. 238-24-56.

150 лет рыбинскому триасу

А. Г. Сенников

Палеонтологический институт АН СССР
Москва

В 1840—1841 гг. английский геолог Р. Мурчисон совершил путешествие с целью изучения геологического строения Европейской России и в итоге выделил неизвестный ранее период в истории Земли — пермский, завершающий палеозойскую эру (это первый период, выделенный в России и получивший название от г. Пермь). Спускаясь по рекам Мологе и Волге к Ярославлю, Мурчисон обнаружил под Рыбинском пестроцветные отложения — переслаивающиеся красные и голубовато-зеленые глины и мергели, которые отнес к пермской системе. Однако спустя 20 лет русский геолог Н. П. Барбот де Марни пришел к выводу, что часть толщ, в том числе в Верхнем Поволжье, отнесенных Мурчисоном к перми, на самом деле принадлежит к триасу, начальному периоду мезозойской эры. Так начался многолетний спор о возрасте пестроцветных отложений севера Европейской России, в котором приняли участие многие отечественные ученые.

Этот спор разрешился в 20-е годы нашего века благодаря открытиям геологов и краеведов Рыбинского научного общества В. К. Ливанова, А. И. Филиппова, И. В. Васильева. Они описали ряд обнажений в окрестностях Рыбинска по рекам Коровке, Черемхе и Волге, правда, полагая их пермскими. В 1924 г. А. Мыльников обнаружил на р. Коровке фрагмент черепа земноводного — лабиринтодонта, изучением которого занялся ленинградский палеонтолог А. Н. Рябинин. Эта находка однозначно определила

возраст загадочных пород как триасовый.

С 40-х годов изучение геологии Рыбинского района продолжили ярославские геологи, в первую очередь А. Н. Иванов. Наиболее интересные разрезы стали местом геологической практики студентов Ярославского педагогического института им. К. Д. Ушинского. Благодаря усилиям Иванова уникальные юрские и триасовые обнажения по Волге и Черемхе (Глебово, Тихвинское, Максиминовское) были объявлены геологическими памятниками, охраняемыми государством.

В последние десятилетия изучением рыбинского триаса занимались геологи и палеонтологи Москвы, Ленинграда, Нижнего Новгорода, Саратова, Ярославля. Выяснилось, что эти отложения образовались в большом, но неглубоком солончатом озере, возможно, некоторое время связанном с морем. Вокруг озера росли леса из хвойных, гинкговых и папоротников, илестые побережья и отмели были покрыты зарослями плауновидных — плевромей, а также хвощей. От животных, обитавших на суше, сохранились остатки различных насекомых и хищных пресмыкающихся — текодонтов.

Озеро населяли земноводные — лабиринтодонты (доминирующие хищники) и разнообразие рыбы — двоякодышащие, палеониски и хрящевые ганоиды. Водные беспозвоночные были представлены членистоногими — мечехвостами, ракообразными рачками (конхостраками и остракодами), а также двусторчатками и брюхоногими

моллюсками. Разрез триасовых отложений под Рыбинском является стратотипом рыбинского горизонта нижнего триаса, а комплекс фауны и флоры — эталонным для этого горизонта. Есть здесь и редкий пример массового захоронения компонентов водного (озерного) сообщества, в котором остатки животных и растений не переносились течениями или водными потоками и захоранивались в озерных илистых осадках без существенных повреждений. Это предоставляет неоценимую возможность детального изучения строения, развития, изменчивости и популяционной динамики различных групп организмов для палеоэкологических исследований — реконструкции пищевых связей водного сообщества, разграничения водного и наземного сообщества и т. д.

В этом году исполняется 150 лет с момента открытия триасовых отложений под Рыбинском. Эта юбилейная дата напоминает о том, что триасовые обнажения Рыбинского района являются памятниками не только природы, но и истории науки, геологического изучения Европейской России многими поколениями ученых. Палеонтологический институт АН СССР совместно с Ярославским педагогическим институтом готовят материалы для включения триасовых местонахождений под Рыбинском в каталог ЮНЕСКО, объединяющий геологические памятники мирового значения, а также для создания на основе ряда обнажений заповедной зоны. Мы обязаны сохранить для потомков замечательные памятники геологического прошлого нашей страны.

Биосинтез белка и перспективы бесклеточной биотехнологии

А. С. Спирин, А. Б. Четверин, Л. А. Воронин,
В. И. Баранов, Ю. Б. Алахов



Александр Сергеевич Спирин, академик, член Президиума АН СССР, директор Института белка АН СССР, заведующий кафедрой молекулярной биологии биологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Основные труды — по биохимии нуклеиновых кислот и биосинтезу белка. Монографии: *Рибосома* (в соавторстве с Л. П. Гавриловой). 2-е изд. М., 1971; *Молекулярная биология. Структура рибосомы и биосинтез белка*. М., 1986.



Александр Борисович Четверин, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник того же института, заведующий группой биохимии вирусных РНК. Научные интересы связаны с изучением молекулярных механизмов рекомбинации и репликации РНК.

ГОВОРЯ о необходимости развития фундаментальных наук, мы прежде всего имеем в виду, что на их основе могут родиться совершенно неожиданные решения и развиваться принципиально новые технологии. Именно поэтому фундаментальные науки — одно из главных условий технологического прогресса любой страны, хотя, заметим, не только в этом их польза и необходимость для каждой нации. Здесь речь пойдет о некоторых новых направлениях в технологии, которые рождаются на базе фундаментальных исследований, в частности молекулярной биологии.

Сейчас уже во всем мире понята роль биотехнологии. Наряду с другими современными технологиями она фигурирует как одно из наиболее перспективных и важных направлений научно-технического прогресса.

Теперь стало хорошим тоном говорить о нашем отставании во многих областях, хотя отстаем мы куда более сильно, чем даже об этом пишется в прессе. Тем не менее мы все еще пытаемся только догнать, и именно в этом наша беда. Сложился стереотип: если что-то сделано в Америке, значит, и нам непременно надо сделать нечто в этом же роде. Нам кажется, что сегодня мы должны придерживаться принципиально иной стратегии развития, а именно: смелее извлекать все новое и самобытное, что зарождается и тлеет, не находя поддержки, в недрах нашей фундаментальной науки, и на этой основе развивать новые, не имеющие аналогов в мировой практике технологии, давать совершенно оригинальные решения с очень большой перспективой.

Предлагаемая статья посвящена созданию бесклеточной биотехнологии путем реализации именно такой стратегической концепции, ориентированной на максимальное использование имеющихся у нас оригинальных заделов и благоприятных предпосылок.



Леонид Александрович Вершинин, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник того же института. Область научных интересов — структура и функция рибонуклеиновых кислот.



Владимир Иванович Баранов, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник того же института, заместитель заведующего лабораторией механизмов биосинтеза белка. Занимается изучением механизмов функционирования белоксинтезирующего аппарата клетки.



Юрий Борисович Алахов, профессор, доктор химических наук, заведующий лабораторией химии белка того же института. Специалист в области молекулярной биологии и биорганической химии. Научные интересы связаны с изучением латеральной структуры белков и механизмов формирования пространственной, функционально активной структуры белков.

НОВЫЙ ЭТАП В РАЗВИТИИ БИОТЕХНОЛОГИИ

Подчеркнем одно важное обстоятельство, которое часто забывают упомянуть: все биотехнологии родились на базе развития биохимии и изучения молекулярных основ жизнедеятельности. Более же всего они базируются на биосинтезе белка, понимаемом шире, чем просто трансляция: все генетические процессы тоже являются частью биосинтеза белка, а именно той его частью, которая «заведует» командами на биосинтез белка. Соответственно, биотехнология — это всегда либо производство самого белка, либо — с его помощью — другой продукции того или иного вида.

Белок — это конечный продукт реализации генетической информации, заложенной в генах, в молекулах ДНК. В основе всякой жизнедеятельности лежат некоторые процессы, происходящие с генами. На уровне организма — это производство половых клеток и последующее их слияние, при которых происходит перетасовка, или рекомбинация генетического материала, после чего он начинает размножаться. С одной стороны, он размножается в виде молекул ДНК, благодаря чему генетический материал передается каждой дочерней клетке. С другой, в ходе реализации заложенной в генетическом материале информации происходит его размножение в другом виде — в виде молекул РНК, копий этих ДНК, точнее, копий содержащихся в ДНК отдельных генов. Размножение ДНК и РНК — близкие процессы, и мы будем обозначать их как размножение генетического материала. Через ряд сложных стадий, включая собственно трансляцию, генетическая информация преобразуется в конечный продукт — белковые молекулы, которые осуществляют в клетке свои уникальные биологические функции в качестве ферментов, гормонов, антител, защитных белков и т. п. — всего, что необходимо для жизнедеятельности клетки.

Итак, есть три главных процесса: **рекомбинация** генетического материала, его **размножение** и **экспрессия** (реализация генетической информации в виде белковых молекул).

Современная биотехнология базируется на использовании клеток живых организмов — главным образом микроорганизмов, хотя в последнее время применяются также культуры клеток животных и высших растений. С появлением генной инженерии исследователи научились выделять индивидуальные гены из клеток, манипулировать

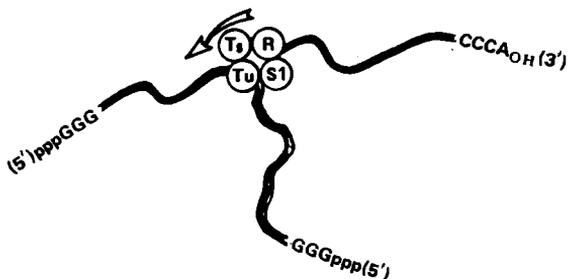


Схема синтеза РНК-репликазы бактериофага $\phi\phi$. Фермент (состоящий из четырех субъединиц — R, Tu, Ts и S1, из которых только первая кодируется геномом самого бактериофага, а три других заимствуются у инфицированной клетки) «ползет» [направление показано стрелкой] по цепочке исходной РНК и синтезирует комплементарную ей молекулу. Далее на этой новой РНК репликаза будет синтезировать исходную и т. д. В такой системе количество молекул РНК увеличивается экспоненциально, что открывает возможности клонирования генетического материала в форме РНК вне клетки.

ими вне клетки, а затем вставлять измененные гены в удобные для размножения другие клетки, которые используются как живые фабрики, где синтезируются кодируемые этими генами белки или другие продукты. Можно, скажем, вставить ген интерферона человека в бактериальную клетку, и она начнет производить интерферон. Бактериальные клетки растут просто, они растут быстро. Интерферон образуется в большом количестве.

В этом суть того революционного переворота в биотехнологии, к которому привело появление генной инженерии. Однако заметим, что из трех главных процессов только один — рекомбинация генетического материала (манипуляции с генами) — был перенесен ею на бесклеточный уровень, и уже это привело к триумфу биотехнологии. Другие же процессы — размножение генов и их экспрессия — как и раньше, происходили в клетках, пусть даже и других.

Сейчас создались предпосылки для возникновения принципиально нового и исключительно перспективного направления — **полностью бесклеточной биотехнологии**. Речь идет об отказе от использования в биотехнологических процессах живых клеток, о замене их биореакторами, в которых избирательный синтез любых заданных продуктов осуществляется с помощью бесклеточных систем, содержащих лишь необходимый набор очищенных клеточных компонентов. Преимущество перехода биотехно-

логии на бесклеточный уровень в том, что этим достигается независимость биологического процесса от целого ряда ограничивающих факторов, действующих в клетке, и его полная управляемость человеком.

Успех научных исследований всегда определялся тем, насколько свободно удавалось манипулировать объектом исследования и насколько полно контролировались условия эксперимента. Трудность работы с живой клеткой как раз и состоит в том, что, будучи исключительно сложной и самосогласованной системой, она не переносит сколько-нибудь серьезного вмешательства извне, внутриклеточные процессы практически не поддаются контролю со стороны экспериментатора. Именно в этом и проявились ограничения генной инженерии. Далеко не всякий чужеродный или измененный ген можно размножить и экспрессировать в живой клетке. Как и следовало ожидать, часто продукты таких генов (РНК, белки) либо нестабильны в чужеродной клеточной среде и разрушаются клеткой, либо неверно модифицируются клеточными ферментами и оказываются неактивными, либо токсичны для клетки и убивают ее. Наконец, в клетке, помимо нужного белка, всегда синтезируется множество клеточных белков, необходимых для ее жизнедеятельности. Поэтому неизбежно встает трудная задача — выделить из клеточного «супа» нужный белок и очистить его.

Этих ограничений можно избежать, если все операции, включая размножение генов, а также синтез и созревание белка проводить в полностью управляемых чистых бесклеточных системах. Что же касается перспектив практического использования, то очевидно, что такие системы по своей сути несравненно технологичнее тех, в которых биологический материал продуцируют живые клетки. Наиболее технологичным был бы процесс, в котором ген, извлеченный, скажем, из хромосомы человека, размножается в чистом виде в бесклеточной среде, а затем (или одновременно) экспрессируется, т. е. синтезируется кодируемый им белок — также вне клетки.

До сих пор реализация идеи полностью бесклеточной биотехнологии упиралась в проблему эффективности бесклеточных систем репликации (размножения) генетического материала, а также трансляции — собственно биосинтеза белка. Хотя исследования по разработке бесклеточных систем синтеза ДНК, РНК и белка ведутся уже более 20 лет, долгое время они имели сугубо академический интерес, так как их

эффективность оставалась крайне низкой и использование в практике было невозможным.

В последнее время ситуация радикально изменилась. Достигнут серьезный прорыв, и не в последнюю очередь благодаря успеху отечественной науки. По сути, сейчас наука стоит на пороге новой биотехнологической революции.

БЕСКЛЕТОЧНЫЕ СИСТЕМЫ РЕПЛИКАЦИИ И КЛОНИРОВАНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Главная проблема, конечно, — внеклеточное размножение и клонирование генетического материала, обычно рассматриваемого только в форме ДНК. Исследователи уже много лет ищут способ, каким можно было бы экспоненциально, т. е. так же быстро, как размножаются живые организмы (каждая дочерняя клетка или каждый дочерний организм производит две или больше новых), в хорошо контролируемых условиях воспроизводить ДНК вне клетки. Такие работы ведутся в мире, и в них уже достигнут большой успех: с помощью термоустойчивой ДНК-полимеразы вне клетки осуществлена так называемая цепная полимеразная реакция (PCR). Но здесь имеются и серьезные трудности, главная из которых в том, что эта «цепная реакция» не может идти самопроизвольно¹ и требует искусственной температурной денатурации ДНК после каждого акта синтеза. Возник вопрос: а почему нужно воспроизводить лишь ДНК? Ведь генетический материал в клетке копируется как в виде ДНК (исходный генетический материал, хранящийся в хромосомах), так и РНК, в которой повторяется та же самая нуклеотидная последовательность генов. Если затруднено экспоненциальное размножение ДНК вне клетки, то почему бы не попробовать размножить не ДНК, а РНК-копии генов?

Принципиальная возможность этого известна молекулярным биологам достаточно давно. Среди многочисленных ферментов, копирующих нуклеиновые кислоты, есть один уникальный — фермент бактериофага Q β (бактериального вируса). Оказывается, если этому ферменту «предложить» молекулу РНК, которую он способен воспринимать как матрицу, то он синтезирует на ней комплементарную цепь РНК, а на комплементарной, вновь как на матрице, — исходную — и т. д. В результате, если фермента достаточно, количество матриц удваивается с каждым циклом репли-

получение клеточной мРНК

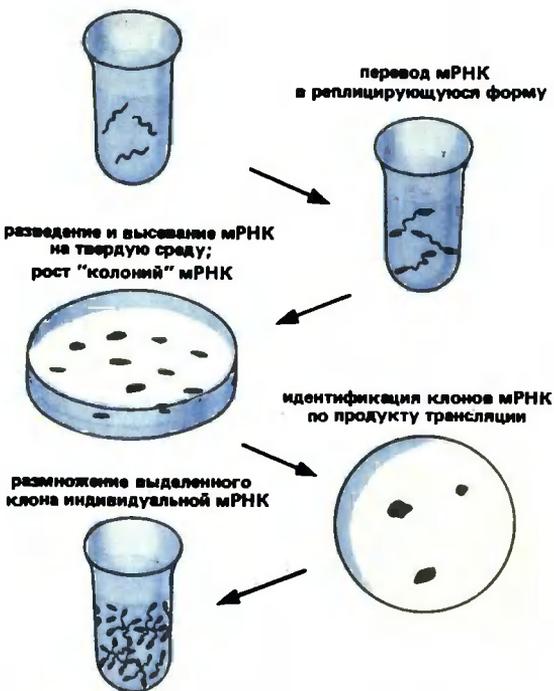
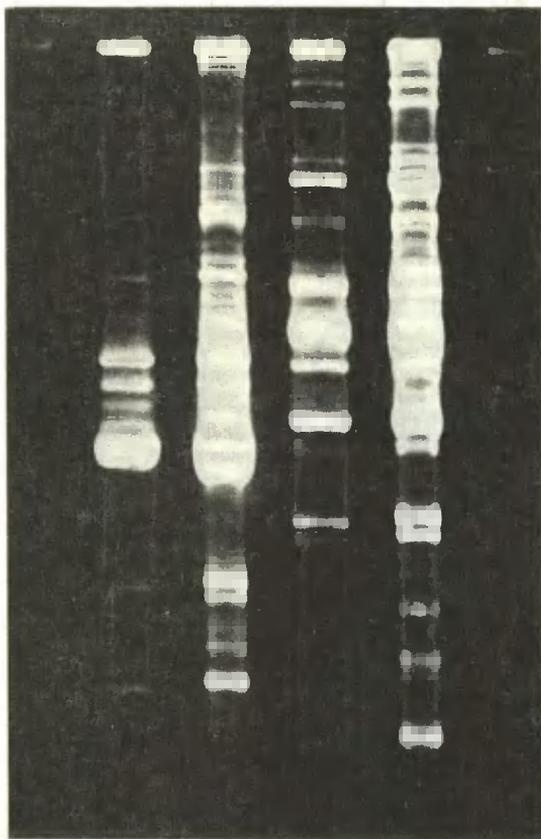


Схема клонирования и размножения индивидуальных мРНК вне клетки.

кации. Простой расчет показывает, что таким путем из одной молекулы РНК можно получить 10^{12} копий приблизительно за 100 мин., а за 3 часа — килограмм РНК. Но даже 10^{12} молекул — это уже микрограмм РНК, т. е. количество, детектируемое обычными лабораторными методами.

Описанный способ открывает беспрецедентные возможности вести клонирование генетического материала вне клетки. Смысл клонирования в генно-инженерных методах — в получении массового идентичного потомства (клона) единичных клеток, обладающих нужным геном. В бесклеточной системе можно было бы получать потомство уже не отдельных клеток, а отдельных молекул РНК. Для этого смесь разных копий генов в виде мРНК после сильного разведения (так, чтобы в пробирке плавали, грубо говоря, одиночные молекулы РНК) смешивается, например, с агаром, предотвращающим конвекционное перемешивание и содержащим фермент (Q β -репликазу) и субстраты, необходимые для репликации. В этих условиях на месте каждой единичной, в каком-то смысле иммобилизованной в агаре,



Электрофореграмма РНК, продуцируемых Q β -репликазой при отсутствии в системе матрицы. Поперечные полосы соответствуют молекулам РНК разной длины.

молекулы вырастает колония молекул, идентичных исходной, т. е. в полном смысле клон. Далее можно выбирать нужные гены и размножать их в индивидуальном виде. Это принципиальная схема способа, с помощью которого решается проблема бесклеточного воспроизведения и клонирования генетического материала.

Однако и по сей день она не реализована, хотя Q β -репликаза известна с 1965 г. Как оказалось, этот фермент имеет высокую матричную специфичность: размножать он может единственную матрицу — свою вирусную РНК — и почти никакую другую не приемлет. Мы специально исследовали, почему это так. Ведь если бы он размножал любую РНК, проблема была бы решена.

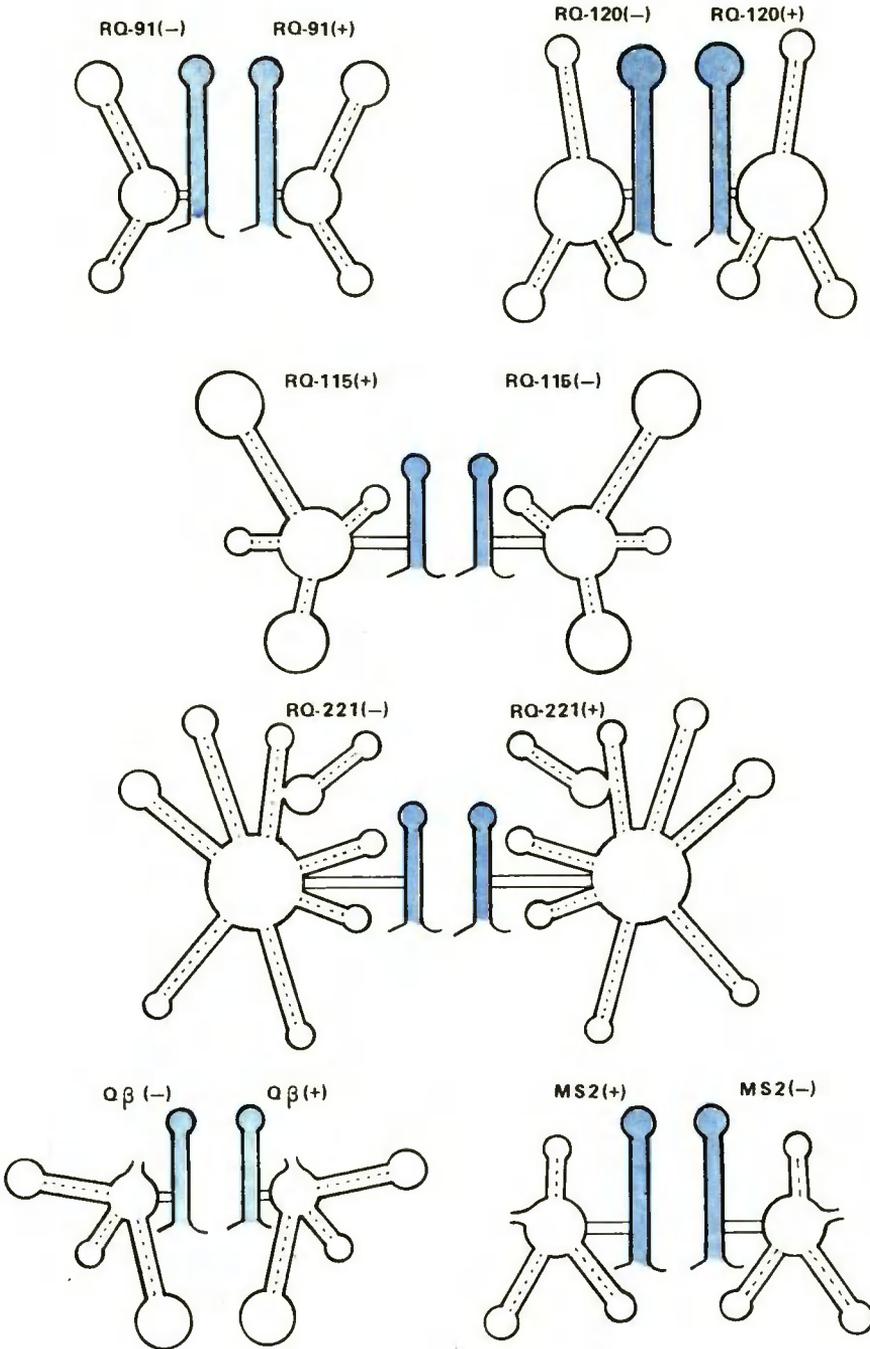
Еще раньше был обнаружен такой факт. Если чистому ферменту дать в качестве субстрата нуклеотиды (строительный

материал для нуклеиновых кислот), но вирусную РНК в качестве матрицы не давать, то фермент начинает производить десятки и даже сотни разных видов РНК. Они совершенно не похожи друг на друга по нуклеотидным последовательностям, но все размножаются Q β -репликазой весьма эффективно. В чем же дело?

Оказалось, что у этих непохожих РНК, как и у собственно вирусной, имеется общий элемент вторичной структуры — «замок», состоящий из черешка, образованного взаимно комплементарными концевыми участками и примыкающей к нему «шпилькой». По отношению к этой составной шпильке-замку вся остальная структура молекулы представляется более или менее развитым боковым выростом. Достаточно, по-видимому (это окончательно не доказано и в настоящее время экспериментально проверяется), синтезировать подобный замок с боковым выростом, содержащий заданную последовательность РНК, и Q β -репликаза сможет репродуцировать такую рекомбинантную РНК экспоненциально. Таким образом, сейчас имеются основания полагать, что узкая матричная специфичность, которая считалась трудно преодолимым фактором в размножении генетического материала в виде РНК, может быть преодолена путем «подсадки» к любой копии гена такой необходимой приставки: фермент узнает ее и начнет синтезировать РНК.

При анализе структуры реплицирующихся РНК был установлен еще один замечательный факт, который открыл необычайные перспективы. Когда расшифровали структуру одной из них, оказалось, что это естественный рекомбинант: одна часть молекулы происходит из бактерии, а другая из вируса. Следовательно, существуют ферментные системы (может быть, это сама Q β -репликаза), которые могут рекомбинировать РНК. Но тогда возникает еще одна возможность — получать с помощью таких ферментных систем рекомбинантные РНК, несущие предназначенный для размножения генетический материал и уже имеющие способность к экспоненциальному размножению вне клетки с помощью Q β -репликазы.

Эти две неожиданные находки, а именно обнаружение общего структурного элемента в различных реплицирующихся РНК и открытие рекомбинации РНК, позволяют приступить к практическим целенаправленным экспериментам по получению рекомбинантных РНК с заданным генетическим материалом, их размножению и клонированию.



Вторичные структуры РНК, цепи которых (+) и (-) комплементарны известным малым реплицирующимся РНК. Общий структурный элемент «замок» (показан цветом) имеется как у малых молекул РНК, синтезируемых $\alpha\beta$ -репликазой (RQ, цифра означает длину цепи РНК), так и у геномных РНК фагов $\alpha\beta$ и MS2 (внизу).

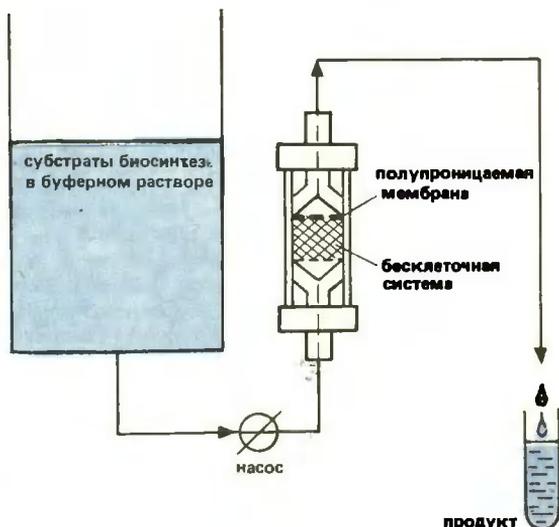
БЕСКЛЕТОЧНЫЕ СИСТЕМЫ СИНТЕЗА БЕЛКА

Бесклеточные системы синтеза белков известны с начала 60-х годов. Принцип их довольно прост. Нужна матрица — допустим, это та самая РНК, которую мы умеем размножать. Нужны рибосомы — белосинтезирующие частицы, легко выделяемые из клетки. Необходим, конечно, строительный материал для синтеза белка — аминокислоты — и энергия в форме АТФ и ГТФ. Кроме того, требуются некоторые специальные белки-катализаторы (так называемые факторы трансляции) и переносчики аминокислот — транспортные РНК (тРНК). В такой системе белки синтезируются в соответствии с матрицами. Даже если бесклеточная система приготовлена из бактериальных компонентов, но кодирующая матрица взята из человеческого генома, идет синтез человеческого белка, скажем интерферона. Однако эти системы никогда не использовались для наработки белков в каких-либо ощутимых количествах. Бесклеточный синтез белка служил только инструментом научного исследования по одной простой причине: системы, как правило, могли производить всего 1—2 копии белка на копию гена. В клетках же могут синтезироваться сотни и тысячи молекул белка на матрицу.

Три года назад в нашем институте было неожиданно обнаружено, что бесклеточную систему можно заставить синтезировать гораздо больше продукта, если она будет работать в проточном режиме, т. е. если через реактор все время идет поток жидкости, содержащей строительный материал для белков — аминокислоты, а также энергию в виде АТФ и ГТФ. Вводя с потоком эти низкомолекулярные вещества, необходимо выводить из системы высокомолекулярный продукт — белок. Как же удерживать в проточной камере рибосомы, белковые факторы, тРНК, саму РНК-матрицу, не препятствуя оттоку белка?

Первое решение было достаточно примитивным: на выходе из реактора мы поставили полупроницаемую мембрану, пропускающую синтезируемые белки, но удерживающую рибосомы и высокомолекулярные комплексы. Выяснилось, что если поры мембраны не очень велики, из реактора ничто, кроме синтезируемого белка, не уходит: каким-то образом компоненты белкового синтеза в процессе работы оказываются связанными друг с другом.

Мы начинали с доступных матриц РНК-вирусов: бактериофага MS2 и вируса мозаи-



Принципиальная схема биореактора непрерывного действия.

ки костра. В стандартной бактериальной бесклеточной системе всего лишь одна копия белка вырабатывается на одну молекулу матричной РНК, и примерно через 15—20 мин. синтез белка прекращается. В проточном реакторе система работала 20 час., за это время на одной матрице синтезировалось 100 копий белка.

Такие же результаты были получены в бесклеточной системе, использующей компоненты белосинтезирующего аппарата пшеницы: стандартная система работала меньше часа, за это время синтезировалось по 2 молекулы вирусного белка на молекулу вирусной РНК; в проточной системе, или, как мы ее называем, системе непрерывного действия, в течение 20 час. синтезировалось по 100 копий белка на каждую копию вирусного гена (в виде РНК). Появился интерес опробовать нашу систему для практических целей.

Здесь уместен небольшой экскурс в недавнее прошлое. Генная инженерия необыкновенно стимулировала и фундаментальные, и прикладные исследования. Но после первой эйфории появился некоторый пессимизм в отношении целого ряда ее приложений. И причины для пессимизма были вполне основательными. Оказалось, что генно-инженерными способами синтез многих гормонов и других биологически активных пептидов промежуточных размеров труден, потому что они часто нестабильны

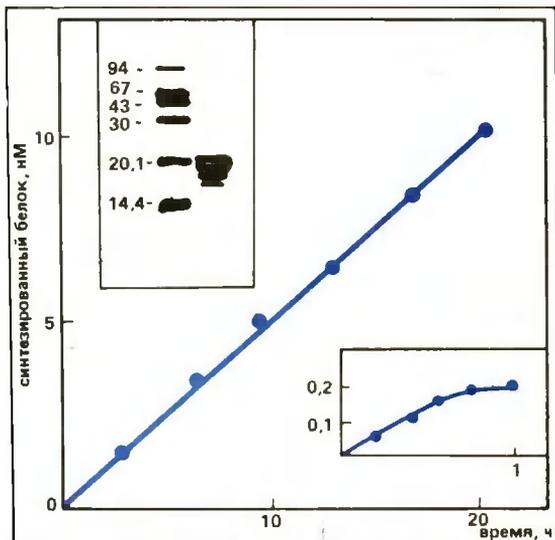
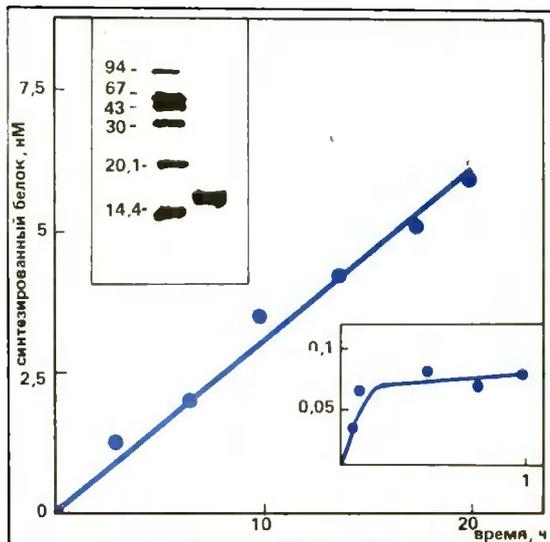
в клетке и разрушаются в ней. Кроме того, чужеродные белки, синтезируемые клеткой, иногда оказываются токсичными для нее, и тогда белок-продукт отравляет и убивает саму клетку. Следовательно, не все белки можно получать генно-инженерным способом, используя клетки-продукты.

Трудности возникли, например, при попытке получить гормон кальцитонин методами генной инженерии. Была сконструирована плазида, содержащая его ген, но уровень экспрессии в живой (бактериальной) клетке оказался низким из-за нестабильности продукта. Мы использовали эту же плазиду и, получив мРНК гена кальцитонина (с помощью РНК-полимераз), применили ее в качестве матрицы в проточной бесклеточной системе в двух вариантах: бактериальном (компоненты получали из бактерии) и растительном (использованы компоненты из экстрактов зародышей пшеницы). Такая же мРНК была дана и в стандартную — непроточную — бесклеточную систему, служащую в качестве контроля. В ней синтезировались лишь 1—2 копии продукта на каждую синтетическую мРНК, в проточной же системе за 40 час. работы образовалось по 300 копий.

Итак, в отличие от стандартных бесклеточных систем проточные системы биосинтеза белка способны давать значительное количество продукта. В зависимости от типа и «силы» используемой матрицы (мРНК) и молекулярной массы полипептида его выход уже в первых наших экспериментах составлял от 50 до 500 мкг при объеме инкубационной смеси в 1 мл. При объеме реактора всего 5 мл удалось синтезировать 250 мкг кальцитонина, а в экспериментальном лабораторном реакторе объемом 100 мл — 50 мг человеческого интерферона-4 с чистотой 85 %.

Важное преимущество бесклеточных систем по сравнению с экспрессией белка в живой клетке — синтез только одного белкового продукта, поскольку в систему дается лишь одна матрица (один ген в форме РНК). Клетка же, как известно, наряду с требуемым белком производит сотни других. Поэтому при использовании бесклеточных систем отпадает весьма трудоемкая и дорогая процедура выделения продукта из сложной смеси белков.

Образование в бесклеточных системах только одного белка дает им еще одно преимущество: можно получать белки и полипептиды, которые трудно или нельзя идентифицировать по какой-либо биологической функции. Но главное преимущество — возмож-



Кинетика синтеза белков оболочки фага MS2 (вверху) и вируса мозаики кобры в проточной и стандартной (на нижних врезках) бесклеточных системах биосинтеза. Для синтеза белка оболочки фага использован аппарат трансляции бактерии, для синтеза белка оболочки вируса — аппарат из зародышей пшеницы. На верхних врезках приведены электрофореграммы продукта биосинтеза (справа) и стандартных белков определенного молекулярного веса (в нД). Видно, что образующиеся в проточной бесклеточной системе продукты не содержат примесей.

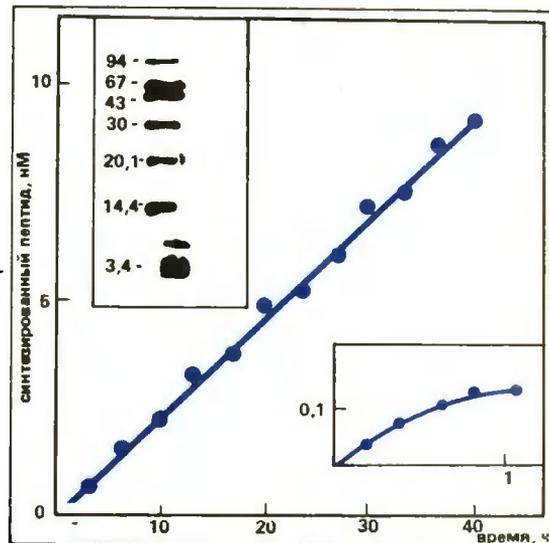
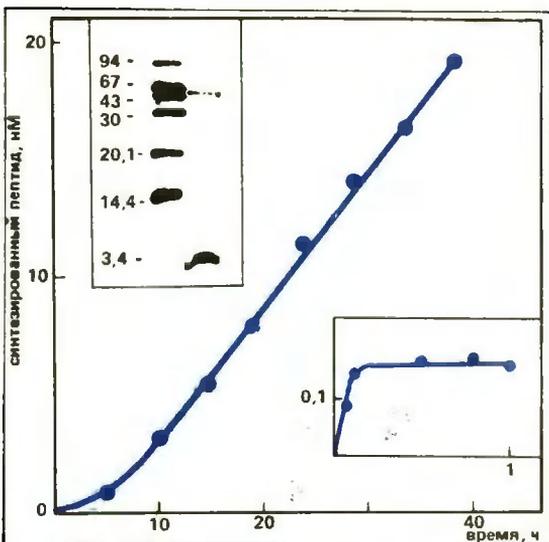
ность синтезировать продукты, «запрещенные» живой клеткой, т. е. нестабильные в клеточных условиях или токсичные для клетки.

ЧТО МОЖЕТ ДАТЬ БЕСКЛЕТОЧНАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ?

К настоящему времени накоплено достаточно фактов, указывающих что создание полностью бесклеточной биотехнологии имеет вполне реальные перспективы. Конечно, на этом пути еще немало нерешенных проблем, однако принципиальная его осуществимость не вызывает сомнений. Более того, уже сейчас видны новые возможности (хотя, наверное, далеко не все), которые могла бы открыть бесклеточная биотехнология как для практических целей, так и для дальнейшего развития фундаментальных исследований.

Копирование генетического материала вне клетки в форме РНК позволит получать его сразу в готовом для трансляции (т. е. для биосинтеза белка) виде. При этом вся процедура существенно упрощается, так как отпадает необходимость в обязательных для геной инженерии операциях — синтезе комплементарной цепи ДНК, конструировании вектора, подборе подходящей клетки-хозяина, выделении размноженной ДНК и получении ее копии (мРНК). Высокая эффективность бесклеточных систем экспоненциальной репликации РНК позволит по крайней мере на порядок сократить время, необходимое для клонирования генетического материала, а также решить проблему получения больших количеств мРНК для бесклеточных систем, производящих белки в значительных количествах.

Принципиально новые возможности открываются для белковой инженерии. Во-первых, снимаются все ограничения на любые направленные изменения первичной структуры белка. Это значит, что доступным для исследования становится множество искусственных форм белков, нестабильных в клеточной среде. Во-вторых, направленно заменять аминокислоты в белке можно не за счет мутаций гена (мРНК), а изменяя специфичность трансляции (например, вводя в систему биосинтеза измененные тРНК) или используя не природные аминокислоты. В-третьих, уже имеющийся опыт говорит о том, что молекулы РНК, размножающиеся в системе бесклеточного синтеза, можно заставить очень быстро эволюционировать в любом направлении. Это дает возможность получать совершенно новые гены, которых нет в живой природе. Наряду с применением в бесклеточных системах синтеза белка такие гены могут быть использованы в геной инженерии для создания организмов с новыми свойствами. С помощью систем эволюции РНК «в пробирке» можно



Кинетика синтеза гормона кальцитонина в проточной и стандартной (на и нижних резках) бесклеточных системах биосинтеза. Аппараты трансляции те же, что в биосинтезе белков оболочки фага и вируса. На верхних резках приведены электрофорезграммы синтезированного кальцитонина (с права) и стандартных белков и пептидов.

выйти и на создание аффинных РНК, т. е. обладающих, подобно белковым антителам, специфическим сродством к белкам и другим молекулам, а также принципиально новых биокатализаторов на основе рибозимов, уже обнаруженных в живой природе.

В последнее время все больше внимания привлекают так называемые анти-

смысловые РНК — рибонуклеотидные цепочки, комплементарные матричным РНК. Каждая антисмысловая РНК может связываться только с одним видом мРНК и, следовательно, специфически блокировать синтез только одного белка. Возможно, что именно здесь нужно искать радикальное средство борьбы с вирусными заболеваниями и злокачественными опухолями. Система внеклеточной репликации РНК дает уникальную возможность получать высокоспецифичные препараты антисмыслового действия, так как в ней автоматически продуцируются взаимно комплементарные цепи РНК.

Наконец, если использовать конъюгаты реплицирующихся РНК с белковыми антигенами и олигонуклеотидными зондами, а также самореплицирующиеся антисмысловые и аффинные РНК-зонды, можно создать сверхчувствительные экспресс-методы диагностики любого биологического материала,

позволяющие в принципе детектировать даже одиночные биологические молекулы, вирусы и микроорганизмы.

Ни в коей мере не преуменьшая значение классической селекции и генной инженерии, можно предсказать, что рождение бесклеточной биотехнологии будет означать новую революцию в молекулярной биологии и биотехнологии. Все указывает на то, что идея бесклеточной биотехнологии созрела, как говорится, «носится в воздухе» и будет, несомненно, реализована. Человечество придет к бесклеточной биотехнологии, потому что она технологичнее, быстрее, проще, она, в конце концов, будет дешевле; придет, преодолев целый ряд имеющихся сейчас очень серьезных чисто технических проблем, над которыми думают и фирмы, и большие исследовательские коллективы.

РЕКЛАМА, ОБЪЯВЛЕНИЯ

Лаборатория математического моделирования и лаборатория физико-химических свойств стекол Государственного оптического института им. С. И. Вавилова

предлагают свои услуги в проведении следующих работ:

математическое моделирование и программное обеспечение для решения ваших научно-технических проблем;
составление пакетов программ, позволяющих организовать всесторонний учет и оперативный контроль за состоянием производства;
создание и обслуживание баз данных, упрощающих и сокращающих вашу работу;
разработка составов стекол и композиционных материалов на основе стекла с заданным сочетанием свойств и поставка необходимых образцов;
определение физических и химических свойств любых неметаллических систем.

Работа проводится на базе современного технологического оборудования высококвалифицированными специалистами, известными своими работами в нашей стране и за рубежом. Заказчику может оказываться помощь при освоении и реализации на IBM PC/AT и ЭВМ СМ разработанных комплексов программ.

Телефоны в Ленинграде: 560-16-23 и 560-11-90.

Промышленные загрязнения

С. А. Паршенков



Сергей Александрович Паршенков, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института географии АН СССР и Научного совета АН СССР по проблемам биосферы. Занимается выяснением причин промышленных загрязнений. В «Природе» опубликовал статью «Нужна новая технология» (1972, № 2).

ХОЗЯЙСТВО земной цивилизации никогда не было в гармонии с природой, она просто выдерживала натиск «венца» своего творения. Сам же этот «венец» проделал долгий путь, прежде чем понял, какой урон наносит среде, в которой живет, и сколь мало шансов оставляет потомкам. Росли потребности Homo sapiens, множились и технологии. В любом производстве лвиную долю составляли отходы, но технологии совершенствовались не для избавления от них, а чтобы получить продукт чище и в большем количестве. Сколь вредны для людей и природы выбрасываемые дымы, стекающие жидкости или горы отвалов, никто не догадывался, пока этим не занялись специально. Даже спустя многие годы после взрыва первой атомной бомбы, не только население, но и ученый мир также не представлял последствий радиоактивного заражения.

Теперь мы хорошо знаем причину постигшей нас катастрофы — это несбалансированность всего человеческого хозяйства, но усилия направляем преимущественно на ликвидацию не причин загрязнений, а их следствий. Попытаюсь обосновать столь непопулярный, по всей видимости, вывод.

КРАТКИЙ ЭКСКУРС В ИСТОРИЮ

Начала технологий, а значит и загрязнений, теряются в веках¹. Уже в первобытной металлургии при плавке медных и железных руд в атмосферу уходили газы, содержащие окиси углерода, канцерогенные вещества, аэрозоли многих металлов, в том числе кадмия, свинца, ртути — «страшной троицы» и наших дней, как их характеризует ВОЗ.

В средние века при разработке свинцово-серебряных руд появились первые радиоактивные загрязнения — радон (горняки объясняли вызываемые этим газом заболевания гневом горного духа), а в процессах обогащения и подготовки к плавке полезных ископаемых образовывались жидкие, твердые и газообразные отходы. К концу средневековья развитие металлургии стимулировалось военными интересами — артиллерия требовала большого количества бронзы, а затем и чугуна. Заметим, что до того, как из него стали делать артиллерийские ядра, он был отходом производства. Использование чугуна может считаться одним из первых способов утилизации промышленных отходов. С появлением домен в середине XVIII в. начал использоваться кокс, и это положило начало массовым загрязнениям воздушного и водного бассейнов органическими соединениями.

Паровая машина, пришедшая в металлургию, интенсифицировала ее, выпуск металла увеличился, а энергетические устройства стали источником дополнительных выбросов. Только с середины XIX в. в металлургии началась утилизация некоторых отходов. Так, доменные шлаки стали использовать для строительства дорог, в производстве шлаковых кирпичей, а потом и портландцемента. Это не было заботой о чистоте окружающей среды, утилизация приносила экономическую выгоду.

Примитивные химические производства (изготовление стекла и мыла) заро-

¹ Ласкорин Б. Н., Паршенков С. А. Из истории развития промышленности и промышленных загрязнений // Страны и народы. Т. Земля и человечество. Глобальные проблемы. М., 1985. С. 228—230.

дились, как и металлургия, в Древнем Египте и на Ближнем Востоке. Искусство крашения, в котором пальма первенства принадлежала народам Дальнего Востока, было известно и населению Средиземноморского региона. Поскольку в древности применялись только вещества природного происхождения, загрязнения были ничтожны.

Однако потребности росли, и возникла необходимость в химическом синтезе. В 1787 г. Н. Леблан открыл выгодный способ приготовления соды из хлористого натрия, положивший начало заметным загрязнениям: накапливался содовый отвал, в атмосферу уходил хлористый водород. Даже рассеянный через 150-метровую трубу, он туманом ложился на землю, уничтожая растительность и разъедавая металлы. Через 50 лет после открытия Леблана начались попытки регенерировать содовые отвалы, но серу стали получать из них только в 80-х годах XIX в., тогда же хлористый водород научились превращать в хлор, а затем в хлорную известь. Производство соды не было крупным (по современным меркам), и только поэтому удавалось утилизировать отходы. Но оно породило массовые производства серной и азотной кислоты.

Развитию химической промышленности сильно способствовала текстильная, так как для отбеливания хлопчатобумажных тканей нужны были хлор и хлорная известь. Развились производства хлора, соды, серной кислоты со всеми возникающими в них отходами.

В конце XIX в. способ Леблана начинает вытесняться более дешевым аммиачным способом Э. Сольве. Побочный продукт этой технологии — хлористый кальций — не был токсичен, его собирали и хранили в накопителях, все еще небольшие объемы содового производства это позволяли. И ныне в большинстве стран мира соду получают по способу Сольве, но теперь хлористый кальций образует так называемые белые моря, из которых он просачивается сквозь толщу пород и попадает в подземные и поверхностные водные источники.

В конце XIX в. внедряется контактный метод получения серной кислоты любой концентрации вплоть до олеума (раствора серного ангидрида в безводной серной кислоте), спрос на который резко повысился в первую мировую войну для производства взрывчатых веществ. Естественно, что возросли загрязнения окружающей среды сернистым ангидридом.

Тогда же в Германии начался синтез аммиака, обеспечивший этой стране, по сло-

вам видных ученых и экономистов того времени, необыкновенный успех в первые месяцы войны. Промышленность по получению аммиака из азота и водорода создала основу для производства азотной кислоты, приведшего к загрязнению атмосферы окислами азота. Однако через несколько десятилетий, когда была создана крупномасштабная промышленность азотных удобрений, именно она из-за неправильного и умеренного их использования и стала основным источником таких загрязнений. Вообще производство минеральных удобрений, в частности суперфосфата, началось с 1840-х годов. Какое-то время отходом сернокислотной обработки фосфорных руд был содержащийся в них фтор, который частично попадал в атмосферу, в дальнейшем — при получении двойного суперфосфата — появились многотоннажные отходы фосфогипса. Он и до сих пор складировается.

Приоритет военных нужд в развитии металлургии и химии был неоспорим всегда, при этом одно производство порождало другие, иногда возникавшие буквально на отходах. Так, не нужные коксовым заводам, производившим кокс для металлургии, каменноугольная смола и газообразные продукты нашли применение в химической промышленности — из смолы стали получать фенол, нафталин, бензол, толуол и другие соединения.

Фенол (один из главных загрязнителей природной среды и по сей день) послужил основой для производства взрывчатого вещества — пикриновой кислоты (тринитрофенола), впоследствии из толуола стали получать тротил. Применяемый в качестве пороха пироксилин (нитрат целлюлозы) начал широко использоваться в XIX в., его производство потребовало выпуска целлюлозы и положило начало загрязнениям, образующимся и доселе на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности.

За получением неорганических веществ последовал и органический синтез. Мочевина (Ф. Велер) и уксусная кислота (А. Кольбе) были синтезированы еще в первой половине XIX в. Эти по сути природные соединения получали в незначительных количествах, а потому и загрязнения отходами были малы.

Куда больший вред для биосферы принесли синтетические вещества, не встречающиеся в природе и трудно разлагающиеся в обычных условиях. На основе многочисленных исследований, проводимых химиками по созданию боевых отравляющих веществ, в первые десятилетия нашего века были разработаны различные пести-

циды. Но все началось с фосгена — простого хлорсодержащего соединения, синтезированного еще в 1812 г. Правда, в качестве пестицида он не нашел применения из-за недостаточной эффективности, но как отравляющее вещество использовался до конца первой мировой войны. Сейчас фосген широко применяют при производстве пластмасс, синтетических волокон, красителей.

В 1874 г. было синтезировано еще одно хлорорганическое соединение — 4,4'-дихлордифенилтрихлорметилметан, более известный как ДДТ. Его инсектицидные свойства, простота применения и кажущаяся на первых порах безвредность привели к широкому использованию и к хорошо известным последствиям. Пестициды типа ДДТ в сельском хозяйстве стараются заменять на быстро разлагающиеся в природных условиях фосфорорганические соединения (в 40—50-х годах их широко применяли в США). Однако и они, несмотря на малую устойчивость, представляют угрозу для человека и других теплокровных животных, ибо сильно токсичны.

Используя результаты исследований фосфорорганических соединений, проводившихся в Германии, крупные химические концерны США и Великобритании, а также немецкая фирма «Байер» заняли ведущее место в производстве средств защиты растений и борьбы с вредителями². Это классический пример быстрой перестройки военно-промышленного комплекса на выпуск «мирной» продукции.

Итак, к началу XX в. человечеством были созданы предпосылки для нынешних глобальных загрязнений в традиционных отраслях промышленности. К этому времени появились синтетические вещества, оказавшиеся опасными для природы не столько из-за больших производимых количеств, сколько из-за особой токсичности.

ВОЕННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ — ДВИГАТЕЛЬ НТП

Средства ведения войны совершенствовались постоянно, но вместе с тем развивались и такие технические направления, которые с не меньшим успехом могли применяться в гражданских сферах. Мечта человека подняться в воздух осуществлялась в начале нашего века, но резкий толчок развитию авиации дала первая мировая

война. Успешное применение летательных аппаратов определило их как новый род боевого оружия, развилась мощная авиационная промышленность. Когда появились радары, способные «засечь» самолет в воздухе, встала задача надежно вычислять и траекторию зенитных снарядов, чтобы вести прицельный огонь. В результате к концу второй мировой войны в США уже были созданы первые модели ЭВМ.

Производство и эксплуатация военных ракет привели к широкому использованию ракетной техники для исследования космоса в мирных целях. К каким изменениям в стратосфере приведет резкое расширение таких исследований, предсказать трудно. Но если сверхзвуковые стратосферные военные самолеты разрушают озоновый слой (этот урон намного возрастет, когда и гражданские самолеты будут летать в стратосфере), рассчитывать на благоприятные последствия не приходится.

В сугубо военных целях развивалась вначале атомная промышленность. Но удавалось локализовать (в той или иной степени) ее радиоактивные отходы лишь на первых порах, сейчас их обработка и захоронение стали проблемой проблем³.

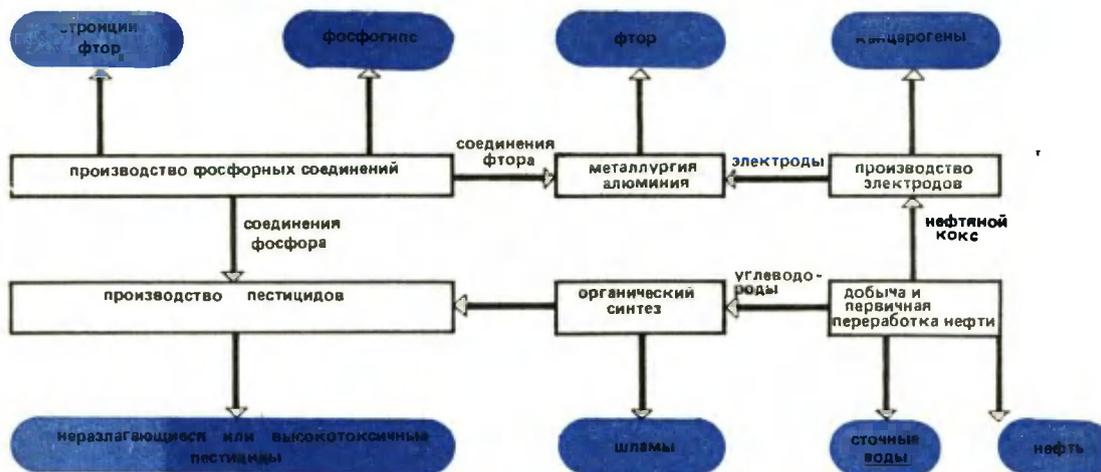
Многие и многие изобретения из военной промышленности перешли в гражданскую. И в настоящее время доля гражданского потребления материалов, машин, веществ, несмотря на все еще значительную милитаризацию экономики промышленно развитых стран, во много раз выше военной. В последние годы в нашей стране возлагаются большие надежды на конверсию — использование достижений военной промышленности в гражданской. Однако было бы принципиально неверно переносить весь технический и научный потенциал ВПК в гражданскую промышленность. Это привело бы к резкому росту иррационального потребления и, соответственно, загрязнению окружающей среды, поскольку в военной промышленности, как нигде, стремительны смены «технологических эпох», моральное старение процессов, материалов и техники.

ЧЕМ ЛУЧШЕ — ТЕМ ХУЖЕ?

За последнее столетие человечество увеличило скорость передвижения в 10^2 раз, связи — в 10^7 , обработки информации — в 10^6 . Это, безусловно, повлекло за собой массу последствий. Высокие скорости любо-

² Лос К. Уничтожение и переработка боевых отравляющих веществ: возможности и альтернативы // Мир науки. 1981. № 1. С. 7—9.

³ Кривохатский А. С. Проблема радиоактивных отходов // Природа. 1989. № 5. С. 50—60.



Пример взаимосвязи производств. Если продукты одного производства используются в другом, то из отходов (отмечены цветом) могут быть утилизированы только сточные воды, образующиеся при добыче и первичной переработке нефти, фтор — побочный продукт металлургии алюминия и производства фосфорных соединений — и фосфогипс, накапливающийся в отходах этого производства.

го механизма и транспортного средства требуют жаропрочных материалов, синтетических термически стойких смазок, а стало быть, новых сплавов, присадок к минеральным маслам и гидравлическим жидкостям, нередко очень токсичных. Возникла необходимость применения новых веществ, материалов, элементов и в процессах, протекающих при высоких давлениях, температурах, плотностях тока, радиации и т. д. Одни из химических элементов (например, ртуть, мышьяк, бериллий) встречаются в природе в виде инертных соединений, но, будучи выделенными в чистом виде, становятся токсичными. Многие же соединения в природе вообще не встречаются и именно поэтому представляют опасность для биосферы.

Наиболее интенсивные технологические процессы используются в атомной энергетике, затрагивающей очень многие отрасли хозяйства. Поэтому и загрязнения могут появляться в самых разных отраслях промышленности, работающих прямо или косвенно на атомную энергетику. На стадии добычи и переработки урановых руд образуются отходы, содержащие кислоты, соли и взвешенные вещества, которые могут попасть в открытые водоемы. Но несравненно большую опасность представляют газодиффузионные заводы по разделению изотопов урана (в виде фторсодержащих соединений). На атомную промышленность работает целый ряд отраслей, выпускающих

материалы со специальными свойствами: тяжелую и легкую воду, графит, бериллий и его окись, некоторые органические жидкости; для нее же производятся бор, кадмий, гафний, индий, серебро, гадолиний.

Сооружение термоядерных реакторов потребует значительно большего количества материалов со специальными свойствами, чем необходимо для «обычных» ядерных реакторов. При гипотетическом развитии термоядерной энергетики в XXI в. и доведении ее мощности до 1 млрд. кВт потребности только в редких элементах составят⁴: лития — 10^6 т, ниобия — $8 \cdot 10^5$, бериллия — 10^6 , ванадия — $5 \cdot 10^5$. Чтобы получить столько редких элементов, придется переработать по сложным технологиям миллиарды тонн сырья. Ясно, что переработка будет сопровождаться огромным количеством отходов, поэтому термоядерную энергетику никак нельзя считать чистой и безопасной для жизни.

В современной технике очень часто рабочим веществом служат жидкости с повышенной термической устойчивостью. Таким требованиям соответствуют исключительно опасные полихлорированные бифенилы, которые до последнего времени широко использовались, например, в промышленности США. Другие хлорорганические соединения — хлорированные парафины — находят применение как негорючие пластификаторы в производстве поливинилхлорида. Эти чрезвычайно устойчивые соединения, попадая в воду, почву, атмосферу, крайне медленно разрушаются, поэтому для них бессмысленно устанавливать ПДК и ПДВ (предельно допустимый выб-

⁴ Герасимов В. В., Моныхов А. С. Материалы ядерной энергетики. М., 1973.

рос): сколь бы мало их ни было в окружающей среде, они со временем накапливаются в живых организмах до концентраций, в тысячи и даже миллионы раз превосходящих их содержание в воде или атмосфере. Следовательно, применение таких веществ должно быть исключено.

Многие современные производства нуждаются в материалах и веществах не только специальных качеств, но и высокой степени чистоты. Таковы атомная энергетика, ракетная и авиационная, химическая промышленность. Чистые и особо чистые вещества и материалы вырабатываются пока в относительно небольших количествах, но их производство состоит из многих операций, и на каждой образуются отходы, поскольку любые химические реакции сопровождаются побочными процессами и продуктами. Именно поэтому приходится тщательно удалять все посторонние вещества, они-то и складываются как отходы. Беда в том, что очень часто побочные соединения во много раз токсичнее основных исходных и конечных продуктов. Трагический пример — образование диоксина — тератогенного и канцерогенного соединения, побочного продукта в синтезе 2,4,5-трихлорфеноксиуксусной кислоты (гербицида и химического оружия) и гексахлорофена (бактерицидного препарата) из 2,4,5-трихлорфенола. Диоксин чрезвычайно устойчив; по расчетам, те десятки килограммов, которые попали в окружающую среду в результате аварий на заводах в Леверкузене (ФРГ) и Севезо (Италия), полностью разложатся только к 2040 г. Анализ аварий на предприятиях по производству хлорорганических соединений показывает, что они были вызваны в значительной степени высокими параметрами технологических процессов.

Роль металлургии и химической промышленности как загрязнителей окружающей среды, пожалуй, ясна каждому. Но в последние годы серьезную опасность для среды и природы начинают представлять новейшие заводы электронной промышленности из-за исключительно высоких требований к чистоте сырья и конечной продукции. Даже вода должна быть особенно чистой, следовательно, ее затруднительно будет использовать повторно. В 1984 г. Агентство по охране окружающей среды США включило территории 19 крупнейших наукоемких компаний в список наиболее загрязненных мест в стране. Первым в нем значится район Силиконовой долины (южное побережье зал. Сан-Франциско), где сосредоточены центры электронной и аэрокосмической промышленности⁵.

Нет нужды доказывать очевидное — функциональные возможности техники улучшаются, и происходит это за счет усложнения машин. Многие современные механизмы и системы состоят не только из тысяч деталей и блоков, но и изготавливаются из разнородных компонентов — черных и цветных металлов, пластмасс, дерева, резины, стекловолокна, композиционных материалов. Это сильно затрудняет их утилизацию после истечения срока службы, который, кстати, становится все короче, но не из-за физического, а из-за морального старения (это и есть иррациональное потребление). Все чаще еще вполне пригодные по техническим качествам изделия и материалы оказываются на свалках, но на смену им промышленность поставляет новые, следовательно, производство требует все больше и больше сырья. В результате поднимаются горы свалок, растут шлейфы складированных отходов, возникающих на всех стадиях — от добычи сырья до изготовления машин.

Работа ни одной сложной системы не может быть застрахована от случайностей. Даже в космической и военной промышленности, где делается все, чтобы избежать аварий, они все же бывают. Нередки они и на химических предприятиях, особенно тех, где производятся ацетилен, водород, аммиак, хлор, сероуглерод, этилен и ряд других продуктов органического и нефтехимического синтеза⁶.

Не обходится без аварий и атомная промышленность. Сколь велики и трагические их последствия теперь, после аварии на ЧАЭС и взрыва одной из емкостей-хранилищ высокоактивных отходов на Южном Урале, мы знаем⁷. Если учесть, что проблема захоронения радиоактивных отходов до конца не решена, нетрудно представить, к чему может привести их попадание в биосферу. В настоящее время всеми реакторами мира наработаны сотни тонн плутония (для сравнения: в первой атомной бомбе мощностью 20 кт его было 10 кг), а если атомная энергетика будет развиваться и дальше, то в XXI в. через радиохимические заводы и транспорт пройдут многие тысячи тонн этого не встречающегося в природе эле-

⁵ Тацуно Ш. Стратегия — технополисы. М., 1989.

⁶ Бесчастнов М. В., Соколов В. М., Кац М. И. Аварии в химических производствах и меры их предупреждения. М., 1976.

⁷ См. например: Сколько стоит Чернобыль? // Природа. 1990. № 10. С. 65—77; Четыре года после взрыва // Там же. 1990. № 11. С. 64—90; Кыштымская авария крупным планом // Там же. 1990. № 5. С. 47—75.



Пример связи производства и эксплуатации «экологически чистых» легковых автомобилей. Производство электромобиля и автомобиля на водородном топливе, как и теперь, связано с металлургией тяжелых металлов, дающей в качестве отходов аэрозоли металлов, беспрепятственно уходящие в атмосферу, и сернистый газ, который можно улавливать. Эксплуатация же (кроме изношенных шин) к непосредственному загрязнению биосферы не приводит, но поскольку электрическая энергия, необходимая для зарядки аккумуляторов или получения водорода, будет вырабатываться на АЭС (в предположении, что это будут АЭС на быстрых нейтронах), ни тот ни другой вид легкового автомобиля нельзя считать чистым для биосферы.

Однако на этом пути есть принципиальные трудности. Чтобы понять их, проанализируем связи между некоторыми производствами — дающими основную массу отходов, и теми, в которых количество отходов относительно невелико, но они особо опасны для биосферы. К числу первых относятся, в частности, тепловая энергетика, нефтяная промышленность, производство удобрений, серной кислоты, пластмасс, хлора, алюминия, ко вторым — производство некоторых хлорорганических соединений, цветная металлургия, атомная энергетика.

мента, исключительно опасного для всего живого.

Многие века человек стремился добыть сырье, получить продукцию, создать машину, т. е. обеспечить себя наибольшими благами, об отходах и способах их утилизации, как правило, не задумываясь. И сейчас нет такой хозяйственной отрасли, которая была бы экологически чистой. Многоотнажные твердые, жидкие, газообразные отходы часто не используются из-за того, что их объемы намного превосходят потребность в них как во вторичном сырье, кроме того, они, как правило, не соответствуют жестким требованиям, которые предъявляют к сырью потребители. Поэтому без предварительной переработки отходы не могут служить сырьем, а она вызывает образование вторичных загрязнений в количествах, нередко превосходящих те, что образуются при переработке традиционного сырья. Выходит, утилизация многих промышленных отходов невыгодна, а их накопление неизбежно.

Как же быть? Есть ли возможность сохранить среду обитания пригодной для жизни, а Землю не превратить в планету-свалку?

БЫВАЮТ ЛИ ЧИСТЫЕ ПРОИЗВОДСТВА?

В последние годы прилагается много усилий, чтобы создать безотходные техно-

логии. Начнем с нефти. Пластовые сточные воды, образующиеся при первичной переработке и безусловно представляющие опасность, если попадают в водоемы, после специальной подготовки в значительных количествах утилизируются в той же нефтяной промышленности — их закачивают в пласты вместо чистой воды для поддержания в них давления. Однако при добыче и транспортировке нефти она все же попадает — несколько миллионов тонн в год — в природные воды.

Переработка нефти кроме моторного топлива дает углеводороды — сырье для органического синтеза, а его многоотнажные продукты (стирол и винилхлорид) служат для получения пластмасс — полистирола и поливинилхлорида. И в органическом синтезе, и в производстве пластмасс в громадных количествах образуются токсичные отходы, совершенно не утилизируемые.

Цепь производств продолжается: из продуктов органического синтеза вырабатываются различные хлор- и фосфорсодержащие пестициды. Если вторые, хотя и являются аналогами боевых отравляющих веществ, достаточно быстро разлагаются, то первые из-за своей устойчивости накапливаются в среде и попадают в пищевые цепи, переходя от одних организмов к другим.

Через нефтяной кокс нефтяная промышленность связана также с производством

электродов, которое сопровождается выделением канцерогенных веществ, сами же электроды используются при выплавке алюминия. При этом в качестве отходов образуются соединения фтора, основная масса которых улавливается и утилизируется. И тем не менее леса, находящиеся в десятках километров от предприятий, погибают: из колоссальных объемов отходящих газов, поступающих в атмосферу, выделить фтористые соединения очень трудно, так как их концентрация слишком мала.

Металлургия алюминия опосредованно, через глинозем, связана с производством едкого натра (гидроксида натрия) и хлора, а также соды; каждое из них — источник отходов. Достаточно сказать, что в отвалах глиноземных заводов мира, по нашим подсчетам, накоплено 10^9 т красных шламов, состоящих в основном из окислов железа, кремния и алюминия. Утилизировать их можно, но лишь в ограниченных количествах, поскольку для этого нужны крупные капитальные вложения, кроме того, содержание окиси железа в шламах менее того, которое сделало бы целесообразным выплавку чугуна.

В той же металлургии алюминия используются, как упоминалось, и собственные соединения фтора, и те, которые образуются в производстве фосфорных соединений. Часть последних идет на синтез пестицидов, но в основном — на получение фосфорных удобрений. Тут-то и возникают многотоннажные отходы фосфогипса, который накапливается в хранилищах, но может быть использован для мелиорации почв. Помимо фосфогипса образуются также стронций и фтор, значительные количества которых попадают в удобрения, фосфогипс, атмосферу. Нелишне напомнить, что стронций является химическим аналогом кальция, может замещать его в костях позвоночных животных и снижать тем самым прочность скелета.

Итак, в рассмотренной цепи производства нет ни одного, которое не сопровождалось бы твердыми, жидкими или газообразными выбросами. Нет и таких, где отходы полностью утилизировались бы в качестве сырья для других. Таково настоящее. Утешительнее ли будущее, ведь научно-технический прогресс не стоит на месте — в связи с энергетическим кризисом разрабатываются новые способы получения энергии, топлива, конструируются все более совершенные машины. Человечество по-прежнему увеличивает свои потребности, но, памятуя о том, что среда обитания должна обеспечить существование будущих поколе-

ний, старается сделать производства чистыми.

Рассмотрим только связь энергетики будущего и автомобильной промышленности. Сейчас эти отрасли вносят главный вклад в загрязнение биосферы, а легковой автомобиль к тому же являет собой основной расточитель энергии. Как ни парадоксально, но общая мощность двигателей 300 млн. легковых автомобилей, которые эксплуатируются в мире в настоящее время, составляет $15 \cdot 10^{12}$ Вт. Это в несколько раз превосходит мощность всех электростанций мира.

Потребности в энергии (особенно электрической) в ближайшие десятилетия несомненно увеличатся, но поскольку минеральные топливные ресурсы ограничены, изыскиваются альтернативные источники энергии. Допустим, что это будет атомная энергия. Современные АЭС и предприятия по переработке твэлов и сейчас дают радиоактивные отходы, проблемы захоронения которых, как уже отмечалось, не решена. Но она будет еще острее, если основным производителем энергии станут реакторы на быстрых нейтронах, хотя образующийся в реакторах плутоний и возвращается в энергетический цикл. Не будем здесь развивать тему безопасности реакторов — она неоднократно обсуждалась на страницах «Природы»⁸, но использование энергии АЭС для получения водорода — экологически чистого, как считается, топлива для автомобилей — обойти нельзя.

Действительно, при сжигании водорода в двигателях образуется вода, никаких токсичных выбросов не будет. Но я бы тем не менее не назвал водород экологически чистым топливом, ибо его производство основано на электроэнергии, вырабатываемой АЭС. Поэтому автомобиль на водородном топливе по-прежнему остается источником загрязнения биосферы, только не прямым, а косвенным, как и электромобиль — непосредственный потребитель энергии АЭС. Если, предположим, в XXI в. будет 300 млн. электромобилей (столько, сколько сейчас автомобилей), то, по нашим расчетам, для их работы энергии потребуется примерно $2 \cdot 10^{12}$ кВт·ч в год, т. е. лишь немногим меньше, чем вырабатывают все современные АЭС мира ($2,6 \cdot 10^{12}$ кВт·ч в год). Для электромобиля, кроме того, нужны аккумуляторы, а значит, никель, свинец,

⁸ См., например: Слесарев И. С. Безопасные реакторы — это не фантастика. // Природа. 1989. № 11. С. 72—77.

кадмий и другие металлы. Здесь снова возникают отходы: содержащие серу газы, способы утилизации которых известны, и аэрозоли металлов, пока беспрепятственно уходящие в атмосферу. На те же 300 млн. автомобилей потребуется 90 млн. т свинца (если аккумуляторы свинцовые) или 40 млн. т никеля (для железоникелевых аккумуляторов). Для сравнения: в настоящее время в мире производится около 5 млн. т свинца и 1 млн. т никеля. Таким образом, экологически чистое топливо на поверку не оказывается таковым, кроме того, свалки будут пополняться изношенными шинами (сейчас их накоплено в мире примерно 100 млн. т).

Итак, безотходных технологий нет сейчас, не предвидятся они и в будущем, если не произойдет какого-либо чуда. Безотходная технология возможна только на ограниченной территории для комплекса нескольких сбалансированных промышленных, сельскохозяйственных и коммунальных предприятий. Пока производства не сбалансированы, т. е. отходы одного предприятия не используются без остатка как сырье для другого, биосфера неминуемо будет засоряться.

УМЕРЕННОСТЬ ВО ВСЕМ

Очень уместно вспомнить слова американского биолога Б. Коммонера: «Мы обязаны действовать — это ясно. Перед нами стоит вопрос: как?»⁹. Так как же?

Из изложенного здесь можно сделать вывод: необходимо сократить потребности. Что это значит?

Нужно уменьшить иррациональное потребление, т. е. не отправлять на свалку приборы, оборудование, легковые автомобили, еще способные служить верой и правдой, ибо это не только загрязняет окружающую среду, но и вызывает развитие ненужных производств — новых источников загрязнений. В развитии потребления необходимо пойти на компромисс, чтобы ограничить иррациональное использование, особенно присущее военной промышленности. Соглашения об ограничении и запрещении химического, бактериологического, ядерного и другого оружия — шаги именно в таком направлении. В мире осознается опасность и использования пестицидов, фреонов, атомной энергетики, а в ряде стран рассматриваются предложения о замене индивидуального автотранспорта общественным.

Не только можно, но и нужно уменьшить скорость транспортных средств. Мы уже рассматривали последствия роста скоростей, не будем повторяться.

Чтобы полностью утилизировать побочные продукты любого производства, его нужно планировать не по целевой продукции, а по сопутствующей. Хотя такой призыв и может показаться абсурдным, но этот подход позволит избежать загрязнений, отходов вообще не будет.

Нужно повысить долговечность материалов, бытовых изделий и оборудования (история дает нам примеры длительного использования дорог, зданий, акведуков). Тогда снизится абсолютное количество применяемых материалов, а следовательно, добыча сырья для них и их производство.

Поскольку биосфера не может быть изолирована от всего, что производит в своем хозяйстве человечество, получение и применение особо токсичных веществ должно быть прекращено. Скажем, от химических средств защиты растений нужно перейти к биологическим, и эта тенденция стала уже слишком явной, поэтому дальнейшее развитие производства пестицидов выглядит сегодня явным абсурдом.

Чтобы облегчить задачу использования отходов одного производства другим, нельзя создавать промышленных гигантов.

Добавим, разного рода свалки бытовых и промышленных отходов сейчас создают массу проблем, фактически мы научились использовать как вторичное сырье лишь бумагу, однородного состава металлические изделия. Технические сложности в переработке лома многокомпонентного состава, содержащего, например, черные и цветные металлы, керамику, композиционные материалы, предстоит еще преодолеть, но утилизировать вышедшие из употребления изделия в замкнутом обороте необходимо.

Понятно, что это не кардинальные меры, но каждый исследователь видит свои способы решения экологических проблем. Рассчитывать на снижение численности населения Земли, в чем видят некоторые единственный путь спасения цивилизации¹⁰, пока не приходится, значит, остается жить не столько своими желаниями, сколько заботой о сохранности биосферы.

⁹ Коммонер Б. Замыкающийся круг. Л., 1974. С. 216.

¹⁰ Горшков В. Г., Кондратьев К. Я., Шерман С. Г. Устойчивость биосферы и сохранение цивилизации // Природа. 1990. № 7. С. 3—16.

Тройное деление тяжелых ядер

В. А. Рубченя,

доктор физико-математических наук,

С. Г. Явшиц,

кандидат физико-математических наук

Радиовый институт им. В. Г. Хлопина
Ленинград

ПРОЦЕСС деления — наиболее сложный процесс ядерного превращения, в котором проявляются самые разные особенности движения нуклонов ядра — коллективные, одночастичные, оболочечные и т. д.¹ Теоретическая интерпретация деления ядер была предложена вскоре после экспериментального открытия этого явления — уже в 1939 г. — Н. Бором и Дж. Уилером и независимо Я. И. Френкелем. В ее основу легли представления о ядре как о заряженной капле ядерного вещества, претерпевающей деление при переходе через седловую точку в процессе деформации поверхности.

При обычном делении возникает два фрагмента, суммарная масса которых превышает массу материнского ядра. Перед самым актом деления ядро представляет собой двойную систему, состоящую из двух сильно взаимодействующих ядер-осколков, каждый из которых уже имеет свои индивидуальные свойства. Изучение свойств осколков очень важно для ядерной физики, поскольку они несут информацию о ядерном веществе в состояниях, сильно отличающихся от основного.

Нейтроны и γ -кванты, сопровождающие деление, испускаются значительно позже распада двойной ядерной системы и поэтому не могут дать сведений о ее свойствах. Значительно больше информации можно извлечь, изучая такие случаи деления, когда наряду с осколками образуется еще легкая заряженная частица. Такой про-

цесс — его назвали тройным делением — был открыт в середине 40-х годов в США во время работы над Манхэттенским проектом и независимо Н. А. Перфиловым в Радиовом институте². В этих опытах тройное деление наблюдалось в ядерных фотоэмульсиях и имело вид характерного «молоточка», образуемого толстыми короткими треками от осколков и более тонким следом от α -частицы.

ЧТО ИЗВЕСТНО О ТРОЙНОМ ДЕЛЕНИИ

Тройное деление обладает рядом необычных особенностей, которые связаны со свойствами делящегося ядра после прохождения седловой точки. Это очень редкий процесс: на 300 случаев спонтанного деления ^{252}Cf приходится один случай тройного деления, и поэтому исследовать его довольно трудно. В настоящее время определены вероятности тройного деления только для небольшого числа ядер от тория до фермия. Причем его вероятность в среднем линейно растет при увеличении параметра делимости Z^2/A ядра (Z — заряд ядра, A — массовое число) от $1,1 \cdot 10^{-3}$ (деление ^{232}Th нейтронами) до $4,7 \times 10^{-3}$ (спонтанное деление ^{252}Cf).

Необычно и угловое распределение легких заряженных частиц — в подавляющем большинстве случаев тройного деле-

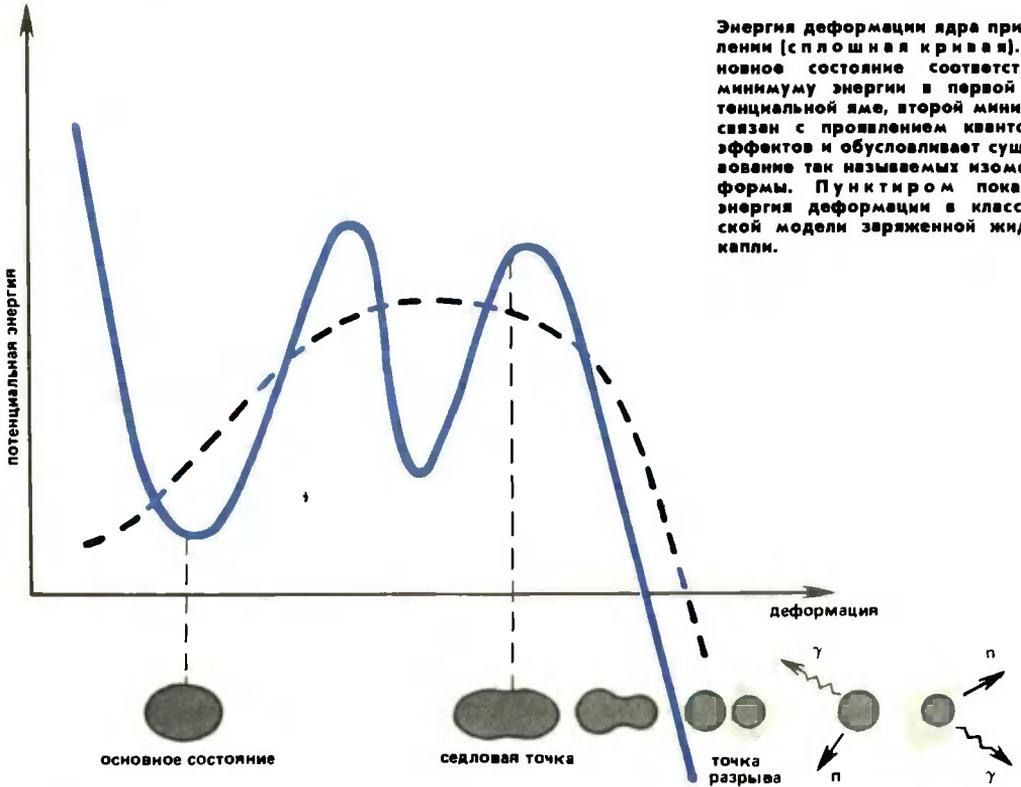
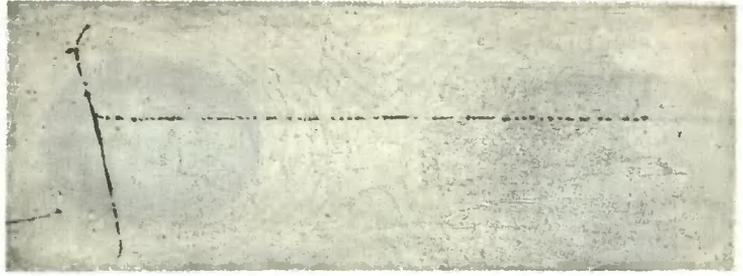
ния они летят в перпендикулярном (экваториальном) направлении к линии разлета осколков. Это свидетельствует о том, что легкая частица образуется в акте деления одновременно с осколками, со стороны которых на нее действуют ядерные и кулоновские силы. Картина суммарного потенциального поля весьма сложна, однако кулоновское поле двух массивных осколков служит здесь электростатической линзой, фокусирующей легкие заряженные частицы в перпендикулярном к линии разлета осколков направлении. Конечно, такая фокусировка возможна, только если начальная скорость частиц (т. е. скорость при выходе из области действия ядерных сил) мала.

Квантово-механическая задача разлета частиц при тройном делении не решена до сих пор из-за больших вычислительных трудностей. Но ее можно рассматривать классически, поскольку длина волны де Бройля разлетающихся частиц мала по сравнению с характерными размерами системы перед разлетом. Описывая движение двух осколков и легкой заряженной частицы системой уравнений классической механики при данных начальных условиях, можно рассчитать конечные значения векторов импульсов и сравнить их с экспериментальными данными. На основе этих, как принято говорить, траекторных расчетов подбирают начальные условия, позволяющие согласовать расчетные и экспериментальные данные по угловым и энергетическим распределениям легкой частицы и осколков. Но и такие расчеты весьма трудоемки даже для современных ЭВМ, поскольку надо отыскать начальные распределе-

¹ Подробно см.: Струтинский В. М. Деление ядер // Природа. 1976. № 9. С. 78—91.

² Ссылка на отчет по Манхэттенскому проекту содержится в одной из первых американских работ по тройному делению, опубликованной в журнале «Physical Review» за 1947 г., а результаты исследования Н. А. Перфилова описаны в его диссертации за тот же год.

Тройное деление ядер. Для его наблюдения фотопластины в первых экспериментах пропитывались солями урана и облучались медленными нейтронами. На фоне большого числа событий двойного деления были зарегистрированы события, когда с точкой деления связан третий след от более легкой частицы, длина пробега которой значительно больше, чем у осколков. [Перфилов Н. А., Романов Ю. Ф., Соловьева З. И. // Успехи физ. наук. 1960. Т. 21. Вып. 3. С. 471.]



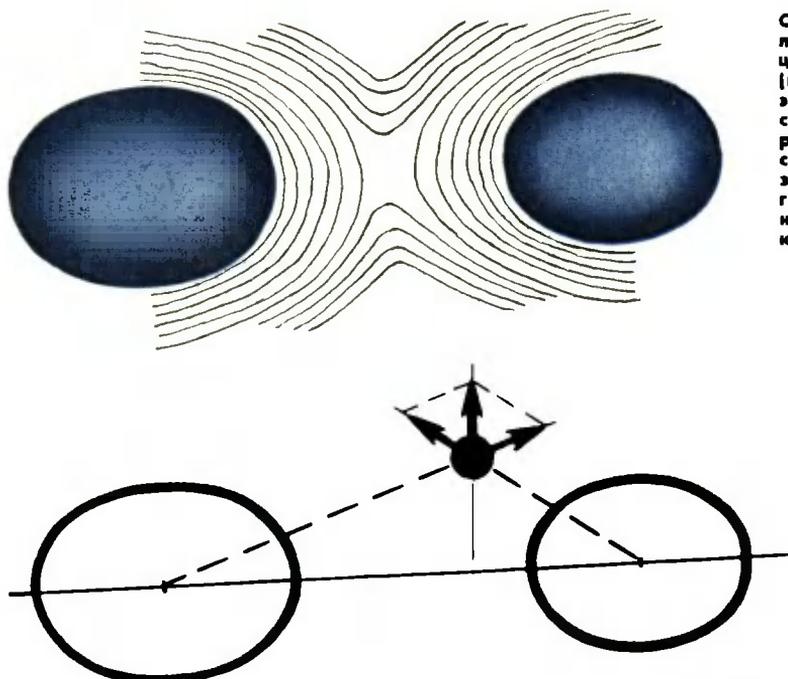
ния в пространстве как минимум шести переменных. При этом решение задачи неоднозначно в принципе, не говоря уже о том, что вызывает сомнение применимость классического приближения на начальных участках траекторий. Тем не менее, несмотря на все недостатки, траекторные расчеты показывают, что легкие заряженные частицы образуются в пространстве между осколками и имеют небольшую начальную скорость; а начало их траекторий флуктуирует в области между оскол-

ками. Начальные условия, получаемые из траекторных расчетов, дают информацию о конфигурации делящегося ядра перед разрывом, которая определяется динамикой деления, а это, собственно, и есть основная цель задачи. Сейчас представляется несомненным, что легкие частицы формируются на конечной стадии спуска с седловой точки из ядерного вещества, находящегося в области шейки.

К сожалению, пока у нас очень мало информации о со-

стоянии вещества в шейке, его свойствах. Более того, существует, например, такое очевидное противоречие. Можно было бы ожидать, что в шейке отношение протонов к общему числу нуклонов (Z/A) не больше, чем в исходном делящемся ядре. Так, $Z/A=0,39$ для ^{252}Cl , но в опыте преобладают α -частицы, т. е. ядра ^4He с $Z/A=0,5$. Кроме того, распределения по массе и заряду частиц, возникающих при тройном делении, сильно отличаются от спектра заряженных частиц, излучаемых

стоянии вещества в шейке, его свойствах. Более того, существует, например, такое очевидное противоречие. Можно было бы ожидать, что в шейке отношение протонов к общему числу нуклонов (Z/A) не больше, чем в исходном делящемся ядре. Так, $Z/A=0,39$ для ^{252}Cl , но в опыте преобладают α -частицы, т. е. ядра ^4He с $Z/A=0,5$. Кроме того, распределения по массе и заряду частиц, возникающих при тройном делении, сильно отличаются от спектра заряженных частиц, излучаемых



Силловые линии потенциального поля, действующего на легкую частицу в области между осколками (вверху). Оно в основном имеет электростатическую природу и действует на частицу подобно собирающей линзе. Сила, действующая со стороны тяжелого осколка (внизу), из-за большего заряда немного больше, поэтому линия вылета несколько наклонена в сторону легкого осколка.

в других ядерных реакциях. Наиболее удивительно отношение выходов ядер трития ^3H и изотопа гелия ^3He . Обычно в ядерных реакциях выход ^3He не меньше выхода ядер трития. Но при тройном делении ^3He возникает настолько редко, что определена лишь верхняя граница вероятности его образования, в то время как выход трития довольно значителен. Тройное деление — основной источник его образования при работе ядерных реакторов.

Вид распределения легких заряженных частиц по массе примерно одинаков для всех изученных случаев тройного деления. Это приводит к выводу, что при тройном делении происходит особый вид трехтельного распада ядра из необычного состояния, не наблюдаемого в других ядерных реакциях. Сходство характеристик легких частиц, образующихся при тройном делении различных ядер, указывает на слабую зависимость от свойств материнского ядра. Иными словами, процесс тройного деления определяется лишь конфигурацией ядра перед разрывом шейки и динамическими процессами в тройной ядерной системе, образованной

осколками и легкой заряженной частицей.

Число нейтронов и γ -квантов при тройном делении в среднем меньше, чем при обычном, поскольку часть энергии уносится легкой частицей и энергия возбуждения образующихся осколков меньше. Если на основе экспериментальных данных подсчитать баланс энергии, оказывается, что энерговыделение при тройном делении несколько меньше, чем при двойном. Например, для ^{252}Cf эта разность составляет около 4 МэВ (напомним, что среднее энерговыделение при этом около 200 МэВ). Массовое распределение осколков при тройном делении имеет тот же вид, что и при двойном, однако среднее значение масс легкого пика, согласно последним данным, смещается примерно на 4 единицы, что указывает на особую роль легкой группы осколков при формировании наиболее вероятной легкой частицы — ^4He .

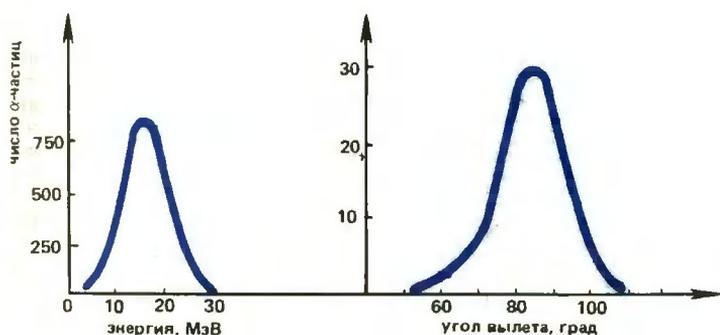
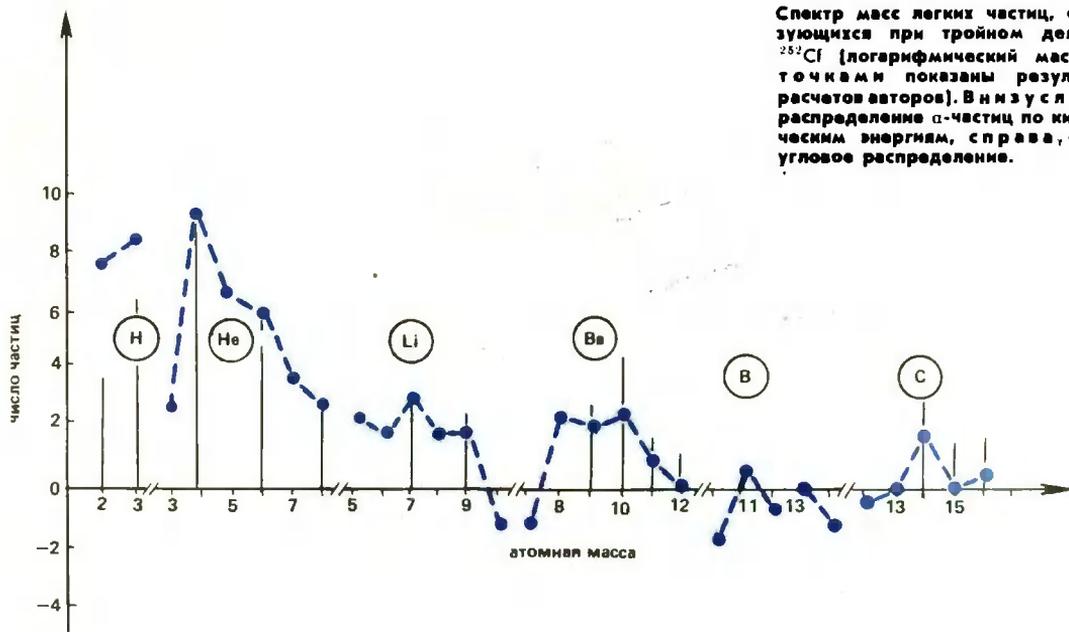
Легкая частица, сопровождающая деление, служит как бы пробной частицей, несущей информацию о процессах на конечной стадии деления, в частности об особенностях фрагментации шейки, динамике

двойной и тройной ядерных систем в процессе деления. Для получения необходимой информации об этих процессах нужно изучить взаимосвязь характеристик осколков, легких заряженных частиц, нейтронов и γ -квантов, возникающих при тройном делении. Усовершенствование методов измерений в ядерной физике привело к тому, что существует уже массив экспериментальных данных, требующих теоретического осмысления на основе адекватных теоретических моделей. Мы остановимся на предложенной нами модели явления³ и расскажем, как она объясняет закономерности тройного деления.

ДИНАМИЧЕСКАЯ КАРТИНА ТРОЙНОГО ДЕЛЕНИЯ

Рассмотрим более детально конечную стадию деления. После седловой точки форма делящегося ядра приобретает гантелеобразный вид с четко выраженной шейкой. При этом шейка становится неустойчивой относительно

³Rubchanya V. A., Yavshits S. G. // Zeitschrift für Physik, sec. A. 1988. B. 329. S. 217—228.



фрагментации (разрыва). Вопрос об устойчивости ядерной материи относительно фрагментации очень сложен и пока еще не решен, хотя подобная задача об устойчивости трубки жидкости рассматривалась еще в прошлом веке Дж. Рэлеем.

Согласно современным представлениям, неустойчивость шейки возникает при ее радиусе около 2 фм ($1 \text{ фм} = 10^{-13} \text{ см}$), что составляет примерно $1/3$ радиуса ядра в основном состоянии. При этом разрыв может произойти в любом месте шейки. Возникновение двух случайных разрывов за короткое время τ_p (время разрыва) приведет к образованию легкой заряженной частицы из нуклонов

шейки, находящейся в области между двумя разрывами, т. е. к тройному делению. Легко показать, что если за время существования шейки $\tau_{ш}$ возникнут два равновероятных и независимых разрыва, то отношение вероятности тройного деления (два разрыва) к вероятности двойного деления (один разрыв) приблизительно равно отношению $\tau_p/\tau_{ш}$. Интервалы времени $\tau_{ш}$ и τ_p определяются характерными временами коллективного и одночастичного движения нуклонов ядра, поскольку образование и развитие шейки в процессе спуска с седловой точки представляет собой деформацию поверхности ядра за счет когерентного (сог-

ласованного) движения нуклонов. В то же время разрыв шейки малого радиуса оказывает влияние на движения только нескольких нуклонов (радиус нуклона около 1 фм). Эти процессы связаны с самыми общими свойствами ядер, такими как взаимодействие коллективных и одночастичных степеней свободы, вязкость ядерной материи, свойства ядерных сил и т. п. Поэтому можно ожидать, что исследование тройного деления поможет глубже понять не только механизм деления, но и свойства ядерного вещества.

Оценки, выполненные в рамках различных подходов (сюда относятся и расчеты гид-

родинамики малой заряженной капли ядерного вещества, и более реалистичные самосогласованные расчеты методами Томаса — Ферми и Хартри — Фока) дают для $\tau_{ш}$ величину $(1-5) \cdot 10^{-21}$ с. Время расщепления одночастичного возмущения по диаметру шейки, составляющему около 4 фм, примерно равно 10^{-23} с. Тогда для оценки вероятности тройного деления получаем величину порядка нескольких тысяч, близкую к экспериментальной. Более строгое рассмотрение позволяет учесть зависимость вероятности от параметра делимости Z^2/A и объяснить наблюдаемые экспериментальные закономерности.

В момент разрыва в шейке находятся около 9 нуклонов, что соответствует ядрам Li или Be при условии равномерного распределения заряда по объему делящегося ядра. В то же время, как уже отмечалось, на опыте с наибольшей вероятностью наблюдаются ядра He . Такое противоречие разрешимо, если принять во внимание, что сразу же после разрыва шейки образуется тройная ядерная система, между составляющими которой происходит обмен нуклонами. Рассмотрение динамических процессов обмена — задача очень трудная. Но оказалось, что, исходя из теоретического анализа условий образования легкой заряженной частицы, ее можно упростить, выделив в тройной ядерной системе двойную, в состав ко-

торой входят легкий осколок и легкая заряженная частица. Конфигурации делящегося ядра вблизи области разрыва, как показывает анализ, таковы, что легкая частица смещена ближе к легкому осколку, а это приводит к появлению потенциального барьера, препятствующего обмену нуклонами между легкой частицей и тяжелым осколком. Массовые и зарядовые распределения легких частиц будут тогда определяться в основном процессами обмена с легким осколком. И, конечно, ввиду особой стабильности ядер He , наиболее вероятно именно их образование. Иначе говоря, первоначально более тяжелое ядро Li или Be отдает в процессе обмена менее связанные нуклоны легкому осколку, переходя в сильно связанное состояние из четырех нуклонов, т. е. α -частицу. Поскольку это процесс статистический, то возникает дисперсия массового распределения и образованный спектр масс оказывается довольно широким. На основе таких представлений нами разработан метод расчета вероятности образования легкой заряженной частицы, результаты которого качественно согласуются с опытными данными.

Представленная физическая картина тройного деления, конечно, неполна. Как во всякой развивающейся области знания, исследование природы этого

явления ставит не меньше, а зачастую и больше вопросов, чем дает ответов. Кроме упомянутых по ходу изложения проблем, отметим еще такие, как механизм полярной эмиссии α -частиц, обнаруженной в 70-х годах путем наблюдения некоторой доли нефокусированных тройного деления в столкновениях ядер, в том числе тех, у которых масса налетающих ядер близка к массе ядра-мишени.

С изучением тройного деления связан и поиск необычных ядер, таких как ядро ^{10}He . Несмотря на то, что это ядро переобогащено нейтронами (8 нейтронов и 2 протона, в то время как в известных легких ядрах число нейтронов обычно близко к числу протонов), оно может оказаться достаточно стабильным. Изучение свойств таких необычных и неисследованных ядер очень важно для проверки моделей ядра, однако пока в экспериментах ^{10}He не обнаружен.

Кроме того, существует и целый ряд важных прикладных проблем. Здесь можно упомянуть роль тройного деления в проблеме нуклеосинтеза, а также влияние легких продуктов тройного деления, и особенно трития, на безопасность работы ядерных энергетических установок.

Все эти важные вопросы пока ждут своих ответов. И это делает еще более актуальным изучение столь интересного самого по себе физического явления — тройного деления ядер.

Хемобиос на дне Тихого океана

А. М. Сагалевич,
доктор технических наук

Л. И. Москалев,
кандидат биологических наук
Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР
Москва

СВЫШЕ 100 лет назад выдающийся русский микробиолог С. Н. Виноградский (1856—1953) открыл хемосинтез — образование некоторыми бактериями органических веществ из диоксида углерода не за счет солнечной энергии, как при фотосинтезе, а за счет энергии, получаемой при окислении восстановленных неорганических соединений. За последние 25 лет активное исследование дна Мирового океана позволило выявить в многочисленных зонах спрединга и субдукции литосферных плит, теплового разложения газогидратов, выхода грунтовых вод и т. п., на самых разных уровнях — от уреза воды до глубин свыше 6 км — множество участков, населенных специфическими сообществами донных организмов, существующих на основе хемосинтеза. Таким образом, все население Мирового океана может быть разделено по происхождению потребляемого им органического вещества на **фотобиос** и **хемобиос**. Хемобиос в пищевом отношении не зависит от энергии Солнца, но зависит от нее как от источника кислорода: поступающий в океанские глубины кислород имеет фотосинтетическое происхождение.

Сообщества хемобиоса на дне океана всегда крайне ограничены по площади — в масштабе океана это точки. Обнаружить их обычными гидробиологическими методами — с помощью тралов и дночерпателей — то же самое, что пытаться, летя на самолете выше плотного слоя облаков, опустить прибор, скажем, точно в проуль. Не только исследование, но и само обнаружение гидротермальных излияний и холодных высачиваний с их оригинальной фауной стало возмож-

ным лишь после того, как в практику океанографических исследований вошли обитаемые подводные аппараты. Пионерами этих исследований стали ученые США и Франции, затем к ним присоединились специалисты Канады, Японии и СССР.

Первые визуальные наблюдения глубоководных гидротермальных излияний в районе Галапагосского рифта в 1977 г., а затем на Восточно-Тихоокеанском поднятии поразили исследователей обилием и разнообразием фауны в этих «оазисах на дне океана»¹. На глубине около 3 км биомасса донной фауны вместо обычных граммов составляла килограммы и десятки килограммов (до 40—60 кг) на 1 м². Если бы источником пищи было органическое вещество, синтезированное в приповерхностном продуктивном слое, его не хватило бы и на сотую долю обитателей оазисов.

В ходе первых же исследований выяснилось, что население оазисов существует на базе хемолитоавтотрофных (использующих в качестве источника энергии неорганические соединения, главным образом сероводород и метан, а в качестве источника углерода — CO₂) бактерий, которые могут жить как свободно в толще воды и на дне, так и в симбиозе с животными — на поверхности их тел или в специальных клетках, бактериоцитах. Восстановленные неорганические вещества, выделяющиеся из глубин, быстро рассеиваются в воде, поэтому бактерии, а с ними и животные существуют только на очень ограниченном пространстве дна — на границе кислородной (все эти животные нужда-

ются в кислороде) и бескислородной (восстановительной) зон.

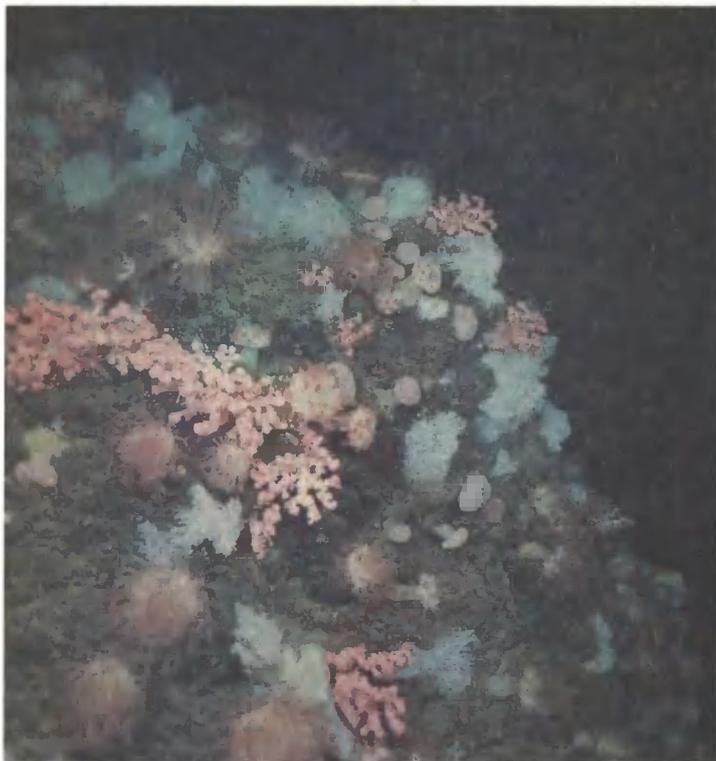
После открытия высокотемпературных излияний, приуроченных к активным вулканическим участкам срединно-океанических хребтов и зон спрединга, в разных местах дна океана были обнаружены холодные высачивания вод. Эти воды тоже лишены кислорода и обогащены сероводородом и метаном, поэтому приуроченные к ним сообщества хемобиоса во многом схожи с сообществами гидротермальных излияний.

В настоящее время известно уже несколько десятков высокотемпературных излияний и низкотемпературных высачиваний в Тихом (там их больше всего), Атлантическом, Индийском и Северном Ледовитом океанах, а число уже описанных эндемичных для сообществ хемобиоса видов приближается к 250. Среди них представлены и эндемичные таксоны высокого ранга, вплоть до класса. Около трети видов приходится на долю многощетинковых червей (полихет), особенно из семейства подвижных Polynoidae и неподвижных, живущих в трубках «помпейских червей» (Alvinellidae). Столь же разнообразны брюхоногие моллюски из примитивного отряда археогастропод. Далее (в порядке убывания числа видов) следуют веслоногие рачки, десятиногие раки, вестиментиферы², двустворчатые моллюски и др.

В нашей стране исследование глубоководных сообществ хемобиоса стало возможным только после ввода в строй подводных обитаемых аппаратов «Пайсис», двухкилометровая предельная глубина спуска кото-

¹ Лобье Л. Оазисы на дне океана / Пер. с франц. под ред. К. Н. Несиса. Л., 1990.

² Несис К. Н. Вестиментиферы // Природа. 1984. № 4. С. 87—89.



Подводный вулкан Пийпа. Слева
вверху — эпифауна Средней
вершины (глубина 570—560 м).

Слева внизу и в центре —
бактериальные маты в зоне истече-
ния гидротермального флюида на
Северной вершине (глубина около
400 м).

Справа вверху — бактериаль-
ный мат на гидротермальном поле
Пеле подводного вулкана Ломхи
(глубина 980 м).

Справа внизу — съемка авто-
номной аппаратурой видеозаписи
участка с сообществом двустворча-
тых моллюсков калмптоген в каньоне
Монтерей (глубина 3041 м).



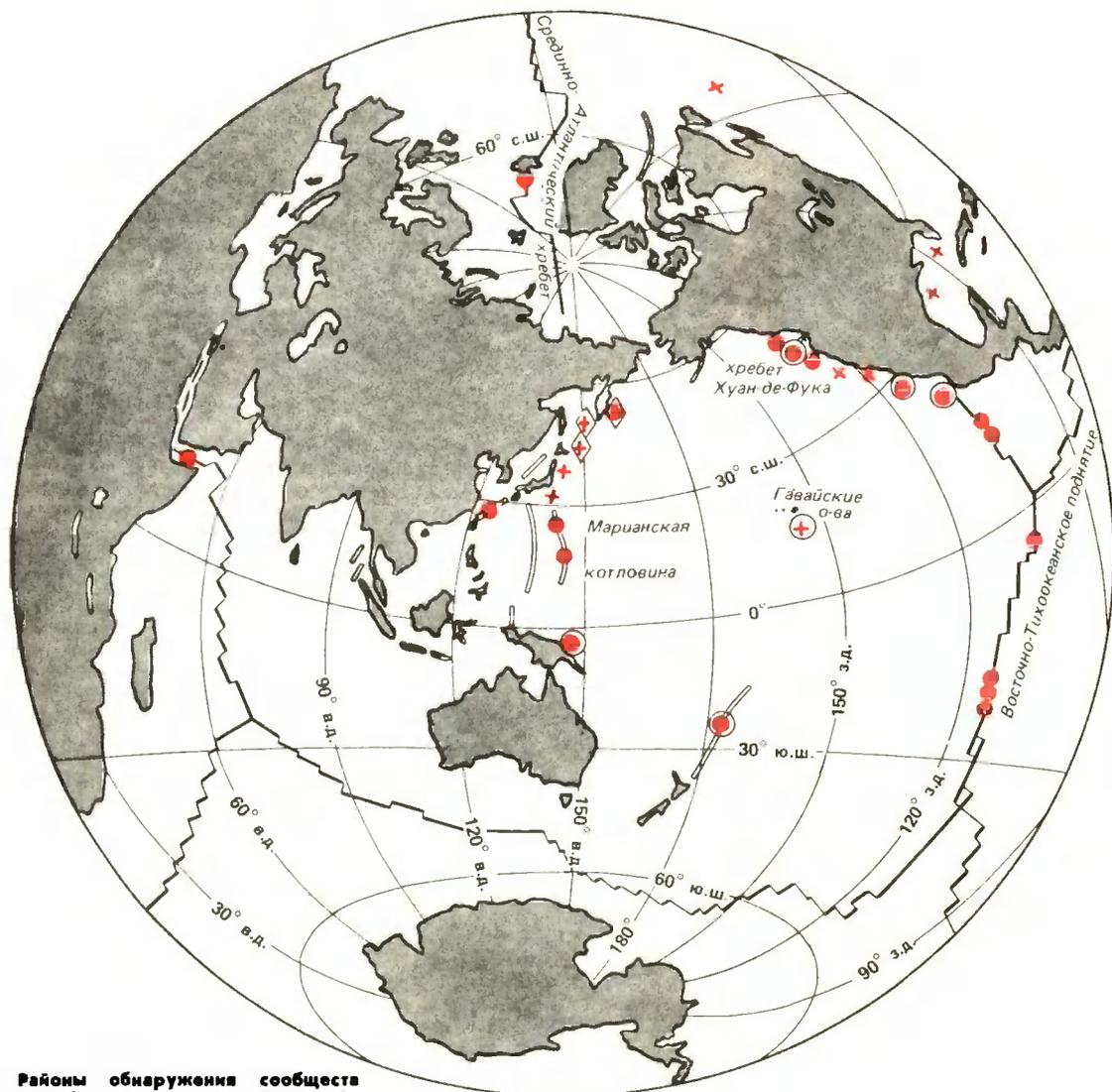
рых делала доступными для них
лишь самые «мелководные» из
глубоководных гидротерм. На-
стоящий бум в таких исследова-
ниях начинается лишь сейчас, с
появлением глубоководных оби-
таемых аппаратов нового поко-
ления «Мир»³, рассчитанных на
глубину 6 км.

³ Михальцев И. Е. Глубоковод-
ные обитаемые аппараты «Мир» //
Природа. 1988. № 6. С. 38—39.



В 1986—1990 гг. на научно-исследовательском судне «Академик Мстислав Келдыш» были проведены четыре экспедиции (11-й А, 12-й, 15-й и 21-й рейсы) с использованием «Пайсисов» и «Миров». К этому времени в зарубежной литературе были опубликованы уже сотни статей, несколько толстых сборников и монографий, посвященных сообществам хемобиоса; стали появляться даже предложения об использовании результатов этих открытий в биотехнологии и марикультуре. Одна из особенностей отечественных морских экспедиций — всегдашняя острая нехватка времени, работа по принципу «скорей-скорей». Если на Западе каждой экспедиции с подводным обитаемым аппаратом предшествует длительное обследование обширных пространств океана с небольших судов, на которых плавают всего несколько специалистов-ученых, использующих автоматическую фото-, кино- и телеаппаратуру, то в наших экспедициях на «научных лайнерах» с десятками высококвалифицированных ученых тратить недели





Районы обнаружения сообщества хемобiosa на дне Тихого океана.

-  Срединно-океанические хребты
-  Другие спрединговые центры
-  Сообщества гидротермальных излияний
-  Сообщества низкотемпературных высачиваний
-  Обследованы зарубежными учеными
-  Обследованы зарубежными и советскими учеными
-  Обследованы советскими учеными

на поиск неизвестно чего — нет возможности. Поэтому большинство районов, изученных ныне отечественными экспедициями, было открыто и предварительно обследовано (иногда весьма детально) зарубежными учеными, и лишь открытие и подробное изучение Парамуширского газового факела в Охотском море и массива Вулканологов в Беринговом⁴ — це-

ликом заслуга отечественной науки.

Очередной, 22-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» проходил в июле — ноябре 1990 г. в северной части Тихого океана. Было обследовано пять районов. Из 58 погружений аппаратов восемь посвящено изу-

⁴ Зоненшайн Л. П. Газовый источник на дне Охотского моря // Природа. 1987. № 8. С. 53—57;

Селиверстов Н. И., Баранов Б. В. Спрединг в Командорской котловине // Природа. 1988. № 5. С. 113—114.

чению хемобиоса. Формы проявления хемобиоса на дне столь же разнообразны, как и геологическая обстановка в местах их существования, поэтому хотелось бы рассказать о каждом в отдельности.

Самой северной точкой работ был вулкан Пийпа с тремя вершинами⁵. Он расположен в массиве Вулканологов в Командорской котловине близ о. Беринга и назван в честь вулканолога члена-корреспондента АН СССР Б. И. Пийпа (1906—1966). С помощью эхолотов вулканологи не раз отмечаали факел газа, вырывающийся с одной из вершин; там же зарегистрирован высокий тепловой поток (свыше 200 мВт/м²), со дна подняты корки оксидов марганца и железа и др. Но «в лицо» всего этого еще никто не видел.

В двух погружениях «Миров» были обследованы два небольших купола на Северной вершине вулкана Пийпа и часть склона этой вершины (глубина 352—838 м), часть склона Средней (560—570 м) и склоны Южной вершины (447—904 м). Все склоны густо «поросли» прикрепленными к ним животными. Преобладают разнообразные кишечнополостные, губки, ярко-алые альционии (*Anthonastus*); масса розовых горгониевых кораллов (*Primnoa*), несколько видов крупных актиний, гидroids, плеченогие и другие типы и классы морских животных. На «макушке» Северной вершины они сплошь покрывают поверхность дна, но чем глубже, тем больше «прогалин», свободных от фауны. На глубине более 750 м обитают преимущественно губки, до глубины 450 м — альционии, а промежуток от 640 до 470 м — почти безжизненная зона, видны лишь мертвые, покрытые илом губки; если подниматься еще выше, то выясняется, что до глубины 390 м селятся губки и крупные актинии, а самую вершину покрывает сплошной ковер (до 6—6,5 тыс. на 1 м²) мелких красных актиний. Иногда среди них растут и альционии. Этот ковер

напоминает сплошные поселения актиний антоплеар (*Anthopleura elegantissima*) на скалистых берегах Калифорнии. В щупальцах калифорнийских антоплеар содержатся мириады микроскопических симбиотических водорослей зооксантелл. В актиниях вулкана Пийпа зооксантелл, естественно, быть не может — там очень темно и мало света, но не в щупальцах ли обитают симбиотические бактерии? Уж слишком много актиний на вершине вулкана!

Гидротермальные проявления были обследованы на восточном подножии Северной вершины, где через поры и трещины пород муаром струилась горячая вода. Там обнаружены и самые настоящие «курильщики», только небольшие — до 1,5 м в высоту и до 0,4 м в диаметре у основания. Сложены они из гипса и барита. Анализ взятой у подножия одного из них пробы газа, выполненный в Институте вулканологии ДВО АН СССР, показал, что состоит он в основном из метана (80,6 %) и азота (16,8 %) с примесью углекислоты (1,3 %), кислорода, аргона, ацетилен, гелия и водорода. Вокруг выходов газа развиваются обширные бактериальные маты преимущественно белого, но иногда оранжевого, грязновато-бурого, серого и даже почти черного цвета. Свободно свисающие с маленьких обрывов «космы» этих бактериальных поселений достигают 30—50 см в длину и, подобно ярким флажкам, развеваются в потоке поднимающегося вверх горячего флюида. На ровных местах дно покрыто бактериальными матами, как ковром; встречаются маты и в виде бордюра по краям камней, плотной паутины под камнями, пятен на заиленном склоне... Площадь сплошных матов может достигать 100 м²! Зона преимущественного развития этих образований на Северной вершине находится на глубине 381—600 м, на Южной — 447—585 м.

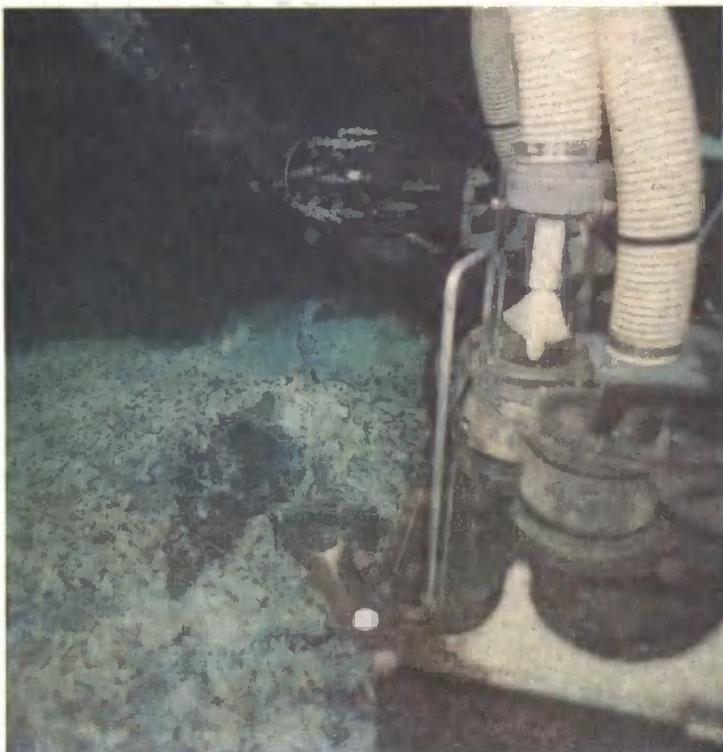
Какой-либо особой, приуроченной только к этой зоне, фауны мы не видели — встречались те же антомастусы, актинии (2 вида), губки, что и в окрестностях, зато на южном склоне Южной вершины (глубина 489 м) обнаружено поселе-

ние двустворчатых моллюсков (*Calypptogena*) — непременных обитателей большинства гидротермальных излияний. Моллюски селились полосами вдоль трещин в покрове гейзерита, присыпанного зеленоватым осадком, но не имеющего каких-либо признаков активных излияний. Похоже, что это — самое северное в мире поселение калиптоген. Здесь обнаружено множество мелких зарывающихся животных — круглых червей (нематод), веслоногих рачков гарпактикоид, клешне-носных осликов, бикоплавов, моллюды офиуры, а также пустые раковины брюхоногих (*Provanna*) и двустворчатых (*Thyasira*) моллюсков — типичных обитателей сообществ хемобиоса.

Подводный вулкан Лоихи, расположенный южнее Гавайских о-вов, — горячая точка под Тихоокеанской плитой. Там в 1987 г. американские ученые открыли два гидротермальных поля (Капо и Пеле) площадью соответственно 25 и 250 м². Выделяющаяся из недр вода не горяча (30 °С), обогащена углекислотой, железом, кремнием, аммонием и фосфатом. С «Миров» в экспедиции были обследованы склоны поля Капо (на глубинах 1306—1396 м) и поле Пеле (980—1294 м). Обширные участки с бактериальными матами тянутся по склонам Капо с 1306—1311 до 1383 м, а по склону Пеле с 980—987 до 1051 м. Макрофауна вулкана Лоихи довольно бедна, что соответствует его положению в олиготрофной области океана. Обнаружено 17 видов донных животных, но специфические гидротермальные виды отсутствуют. Непосредственно на гидротермальных полях держатся креветки (1—2 вида); на отмерших бактериальных матах сидят голотурии (*Pelagiagone*). Мелких животных в толще бактериальных матов не найдено. Таким образом, хемобиос представлен на вулкане Лоихи только железобактериями, а беспозвоночных с симбиотическим типом питания нет.

Каньон Монтерей расположен у побережья Калифорнии, вблизи одноименного с ним города. Здесь проходит важная граница — между умеренно-холодноводной и умеренно-тепловодной биотой. Этот

⁵ Баранов Б. В., Матвеев В. В., Сагалевиц А. М. Гидротермальные постройки подводного вулкана Пийпа // Природа. 1991. № 2. С. 54.



Калифорнийский залив, южный трог бассейна Гуаймас. Слева вверху — участок гидротермальной постройки с поселением многощетиновых червей среди бактериального покрытия (глубина 2019—2018 м).

Слева внизу — сбор фауны с поверхности гидротермальной постройки (глубина 2020 м).

В центре — вестиментиферы-рифтии (глубина 2015 м).

Справа вверху — вестиментиферы-рифтии в районе 21° с. ш. на Восточно-Тихоокеанском поднятии (глубина 2640 м).

Справа внизу — двустворчатые моллюски калиптогены на Сенорском склоне бассейна Гуаймас (глубина 1580 м).

Фото Ю. А. Володина

район неплохо изучен американскими океанологами, обнаружившими участки обитания хемобиотных сообществ в верных долинах у низовий подводных каньонов Монтерей и Эсенш на глубине 3000—3600 м. К 1990 г. на протяжении 55 км было найдено девять таких участков. Там доминируют двустворчатые



моллюски калиптогены и солемии, а также погонофоры (*Polychaeta*). Один из участков с калиптогенами был тщательно обследован в четырех погружениях «Миров». С помощью автоматической аппаратуры получена многочасовая видеозапись.

На обследованном участке каньона Монтерей зарегистрировано 27 видов беспозвоночных и четыре вида рыб. На дне каньона (2980—3002 м) преобладают два вида голотурий; на склоне (2670—2980 м) доминируют крупные брюхоногие моллюски, морские перья и офиуры двух видов; выше (2615—2670 м) морских перьев становится больше, а других животных — меньше. Поселение калиптоген расположено на глубине 3041 м; оно очень маленькое — всего около 70 м². На его периферии заметны три участка высачиваний (насыщенной газами холодной воды), два из них имеют площадь не более 1 м². Кроме живых калиптоген (приблизительно 25 экз.) там обнаружены брюхоногие моллюски, сидящие на раковинах калиптоген вктинии, солемии (видели, прав-



да, лишь пустые их створки), креветки, мелкие голотурии и др. На раковинах калиптоген, кроме актиний, селятся многочисленные многощетинковые черви, а в иле — нематоды.

Бассейн Гуаймас в Калифорнийском заливе уже был изучен в 15-м рейсе «Академика Мстислава Келдыша» (1986 г.). Он знаменит прежде всего тем, что гидротермальные флюиды прорываются к поверхности морского дна сквозь мощную толщу современных осадков, органическое вещество которых буквально на глазах превращается в нефть. Над илистой поверхностью возвышаются гидротермальные сооружения высотой с 17-этажный дом (до 50 м). Из их вершин и стенок вырывается высокоминерализованный флюид с температурой 320 °С. Выходы флюидов на стенках гидротермальных сооружений образуют карнизы, со временем сливающиеся, так что сооружения приобретают вид пагод. Стенки их покрыты бактериальными матами, поселениями гигантских вестиментифер (*Riftia*), трубки которых достигают в длину 2 м, красных многощетинковых червей полиноид, сидящих на трубках рифтий, и других полихет — из рода *Paralvinella*. Бактериальные массы, образованные бактериями *Vesicula*, достигают в пространствах между трубками рифтий рекордной толщины — 30 см. Обычны они и у оснований гидротермальных построек, и на илистых грунтах между сооружениями. Кроме высоких гидротермальных сооружений в бассейне Гуаймас известны пятна углеводородов. Больше всего их на восточном (обращенном к побережью штата Сонора) склоне бассейна.

Исследуется бассейн Гуаймас весьма интенсивно с 1977 г. Только в 1987—1988 гг. американский подводный обитаемый аппарат «Алвин» сделал здесь 17 погружений. Но гидротермальная активность в этом рай-

оне так велика, что геологическая обстановка меняется непрерывно, поэтому и сообщество хемобиоса исключительно разнообразно, так что каждое новое погружение дает неожиданные результаты. Одно из погружений в нашей экспедиции — в Южном тропе бассейна Гуаймас — было специально посвящено изучению донного населения. Обнаружено 28 видов макробентоса, из них 11 входят в состав гидротермальной фауны, 12 — фоновые, 5 — общие для гидротермальной и окружающей зон. Детально обследовано вертикальное распределение фауны на «пагоде» высотой 20 м. Для сбора животных на аппарате было смонтировано специальное устройство типа всасывающего вакуумного насоса. Фоновое население, как и везде в бассейне Гуаймас, представлено десятиногими ракообразными *Calocaris* (закапывающимися в грунт) и *Munidopsis* (ползающими по грунту), актиниями и голотуриями.

На Сонорском склоне бассейна оба аппарата «Мир» работали вместе. В зоне развития калиптоген (1568—1617 м) и на соседнем склоне трансформного разлома (1568—1688 м) обнаружено не менее 30 видов макробентоса: 12 — только в зоне калиптоген, 7 — на склоне, 11 — общих. На площади около 2 га зафиксировано не менее 40 скоплений калиптоген (максимальная площадь скопления 1,25 м²) со средней плотностью поселений моллюсков примерно 140 экз. на 1 м². В сообщество калиптоген входят брюхоногие моллюски, двустворчатые моллюски из таксонот, немногочисленные нематоды и др. Один раз на глубине 1585—1588 м встретились пять экземпляров вестиментифер, похожих на *Lamellibrachia*.

Гидротермальное излияние на Восточно-Тихоокеанском подъятии (21° с. ш.) было последним районом работ экспедиции. Именно здесь в 1979 г.

были открыты «черные курильщички», «белые курильщички», «каминные трубы» и другие ныне широко известные гидротермальные образования; там впервые был зарегистрирован флюид с температурой 350 °С. Все шесть проведенных здесь погружений проводились без участия наблюдателей-океанологов, но в пяти из них пилоты глубоководных аппаратов собрали образцы фауны. На поверхность с глубины 2632—2642 м подняты вестиментиферы-рифтии (по-видимому, относящиеся к иному, чем в бассейне Гуаймас, виду), живые и мертвые калиптогоны, раки *Munidopsis*, полихеты *Alvinellidae* и др. Особенно интересны представители сообщества «помпейских червей» альвинеллид, поднятые с вершины черного курильщичка (см. четвертую страницу обложки), так как это сообщество, обитающее в бурлящем смысле слова на горячей трубе, еще очень плохо изучено. Оказалось, что среди трубок червей живет множество боклопавов (их, естественно, не удалось бы собрать без насоса), колпачковидные брюхоногие моллюски, вестиментиферы (неизвестного науке вида), веслоногие рачки, многощетинковые черви — полиноиды и многие другие морские организмы. Из более крупных животных пойманы раки мунидопсы разных размеров, крабы *Vythograea* (поднятые на поверхность живыми), усонogie раки и др.

Таким образом, сообщество хемобиоса в обследованных экспедицией районах исключительно разнообразно — от лишенных макрофауны бактериальных матов вулкана Лоихи до гигантских «пагод» бассейна Гуаймас, фауна которого не уступает по биомассе самым богатым мидиевым банкам и устричным плантациям на мелководьях умеренных широт. Исследование этой необыкновенной фауны обещает немало неожиданных открытий.

СЛЕДЫ ЧЕРНОБЫЛЯ В ПРИРОДНОЙ СРЕДЕ

Авария на Чернобыльской АЭС привела к загрязнению искусственными радионуклидами значительной части Европейской территории СССР площадью более 100 тыс. км², на которой проживает около 4,5 млн. чел. Сейчас ни у кого уже не вызывает сомнения, что эта трагедия по глобальным последствиям — крупнейшая экологическая катастрофа в истории человечества, масштабы которой куда грандиознее, чем можно было представить вначале. Так, долгоживущих радионуклидов ¹³⁴Cs и ¹³⁷Cs поступило в биосферу в 600 раз больше, чем в результате взрыва в Хиросиме. И все же сегодня, через пять лет после аварии может возникнуть вопрос: что нового, помимо невиданного трагизма самой катастрофы, явил феномен Чернобыля!

С одной стороны, каждый «кусочек Чернобыля» мы когда-то изучали в других местах и в других условиях: при глобальных радиоактивных выпадениях от ядерных испытаний в атмосфере, при авариях на Южном Урале¹ и на АЭС в Великобритании и США. Но, с другой стороны, такой совокупности факторов, которую дала Чернобыльская катастрофа, не было нигде и никогда.

Специфика Чернобыля прежде всего в том, что это был не одномоментный процесс: выброс радионуклидов в атмосферу продолжался не секунды (как при ядерных испытаниях) или часы (как при Кыштымской аварии), а несколько дней. За это время в результате сложных физико-химических процессов в поврежденном реакторе менялся состав выбросов, менялись и метеорологические условия. Все это привело к чрезвычайно сложной, пятнистой картине загрязнений.

Для Чернобыльской аварии характерно и необычно большое количество «горячих частиц». Они, конечно, были известны и раньше (например, их фиксировали при глобальных выпадениях), но чернобыльские частицы специфичны как по количеству, так и по своей природе. Они образовались при пожаре четвертого блока — из горевших твэлов, материалов самого реактора и тех материалов, которыми его засыпали. По нашим оценкам, с горячими частицами связано не менее 70 % всей радиоактивности в ближней зоне.

И все же несмотря на новые данные, полученные при изучении последствий Чернобыльской аварии, несмотря на новые методы и аппаратуру, нельзя не признать, что все научные исследования здесь основаны на уже имевшихся заделах: основные работы легли на плечи тех ученых, которые имели немалый опыт изучения радиоактивности окружающей среды, в частности на плечи сотрудников АН СССР.

Из перспектив научных исследований, связанных с изучением природной среды на территориях, затронутых аварией, наиболее важным представляется создание ландшафтно-геохимических и радиозэкологических карт, содержащих данные не только о концентрации радионуклидов, но и об их подвижности. Такие карты станут надежной основой радиозэкологических прогнозов.

К этой проблеме тесно примыкает изучение форм нахождения и миграции радионуклидов в реальных условиях. Какие бы модельные эксперименты мы ни проводили в лабораториях и на опытных площадках, все-таки слишком неоднородна картина загрязнения и слишком велика ответственность прогноза, чтобы можно было ограничиться только ими. Так что изучение форм нахождения и миграции радионуклидов — эта задача останется актуальной еще на долгие годы.

И в заключение одно общее замечание. В течение трех лет после аварии все научные исследования, связанные с Чернобылем, шли в условиях нарастающей секретности (первые отчеты, например, снабжались пометкой «для служебного пользования», а последующие — грифом «секретно»). Зачем это делалось, сейчас трудно сказать: тот, кто хотел что-то узнать, все равно узнавал, остальные же питались слухами, плодившими дезинформацию. И лишь в 1989 г. было принято решение открыто публиковать все об аварии на Чернобыльской АЭС. Только полная открытость всех исследований позволит максимально использовать научный багаж множества организаций, занятых изучением последствий аварии как в нашей стране, так и за рубежом.

Л. М. Хитров,
заведующий лабораторией радиозэкохимии ГЕОХИ АН СССР,
лауреат Ленинской премии,
вице-президент «Союза Чернобыль»

¹ См., например: Кыштымская авария крупным планом // Природа. 1990. № 5. С. 47—75.

Физико-математическое моделирование поведения радионуклидов

В. А. Борзилов



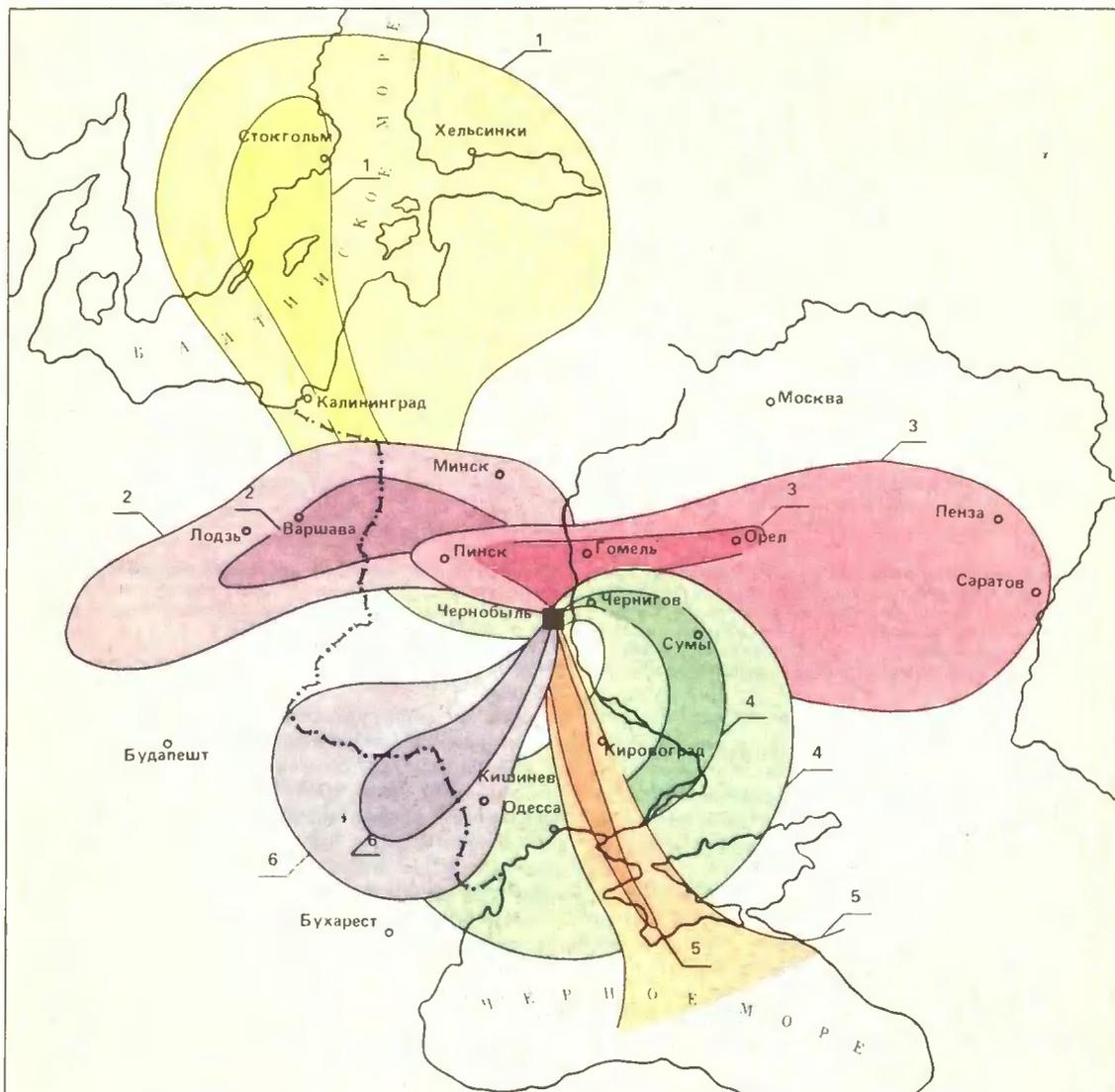
Владимир Андреевич Борзилов, доктор физико-математических наук, заместитель директора Института экспериментальной метеорологии НПО «Тайфун» Госкомгидромета СССР. Область научных интересов — физико-математическое моделирование поведения загрязняющих веществ в окружающей среде.

С ПЕРВЫХ ДНЕЙ после аварии НПО «Тайфун» и другие институты Госкомгидромета СССР должны были контролировать радиационную обстановку, складывающуюся в результате распространения радионуклидов от разрушенного реактора. Для этого в 30-километровой зоне велась аэрогаммасъемка и специальными экспедиционными отрядами отбирались пробы, которые затем переправляли в НПО «Тайфун» и анализировали там на содержание радионуклидов. Одновременно в объединение поступала информация с разбросанных по всей стране пунктов сети Госкомгидромета: примерно с 2000 пунктов — о мощности γ -дозы, с 500 — о плотности выпадений радионуклидов на специальные планшеты и со 100 — о концентрациях радионуклидов в воздухе. К сожалению, в самом районе аварии плотность контрольных пунктов была невелика.

Поскольку активный выброс радионуклидов из разрушенного реактора продолжался примерно 10 дней и за это время существенно менялись как метеорологическая ситуация, так и условия в самом реакторе, разобраться с помощью недостаточной и запаздывающей информации в сложной картине формирования полей загрязнения было трудно. Поэтому сразу после аварии мы приступили к математическому моделированию атмосферного переноса радионуклидов, выброшенных из реактора, и их осаждения на подстилающую поверхность.

При этом ставилось несколько целей. Во-первых, понять, как день за днем формировалось загрязнение. Во-вторых, проанализировать, как метеорологические факторы и характер самого источника сказались на переносе и осаждении радионуклидов. В-третьих, выделить особенно загрязненные участки для первоочередного обследования.

Как видно, с самого начала предстояло оценивать уже сложившуюся ситуацию, т. е. решать задачу диагноза, а не прогноза. Причина этого — технологическая неготовность к проведению расчетов в масштабе времени, необходимом для прогноза. К слову, ни в одной стране мира не нашлось гото-

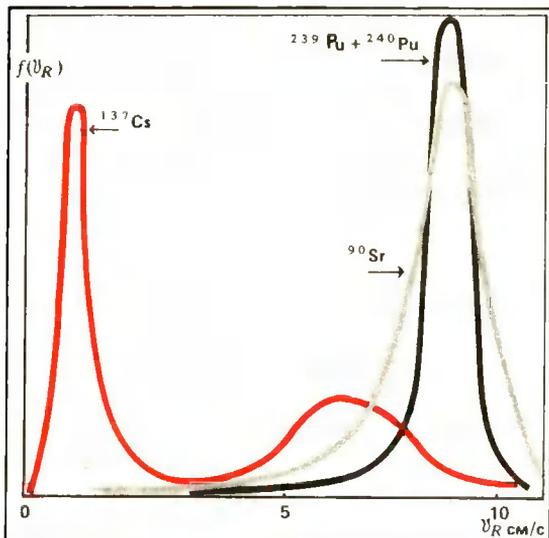


Основные этапы формирования следа радиоактивных выпадений ^{131}I в первые дни после Чернобыльской аварии за счет изменения метеоусловий. Цифрами обозначены расчетные поля выпадений (следы) от мгновенных выбросов радионуклидов: 1 — 26 апр. 0 час. (по Гринвичу); 2 — 27 апр. 0 час.; 3 — 27 апр. 12 час.; 4 — 29 апр. 0 час.; 5 — 2 мая 0 час.; 6 — 4 мая 12 час. Интенсивность окраски качественно соответствует плотности выпадений.

вых технологий для выдачи количественного прогноза при масштабах переноса, характерных для этой аварии. Тем не менее прогноз траекторий переноса воздушных масс готовился как за рубежом, так и у нас в стране (в частности, в Гидрометцентре СССР).

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Примерно за два года до Чернобыльской аварии у нас в объединении начали разрабатывать методы быстрого реагирования на аварийное загрязнение. В их основе — комплекс моделей атмосферного переноса в разных масштабах (200, 2000 и 4000 км). Причем с самого начала модели были ориентированы на применение в реальном масштабе времени и использовали только стандартную метеорологическую информацию, применяемую в Гидрометцентре для прогноза погоды.

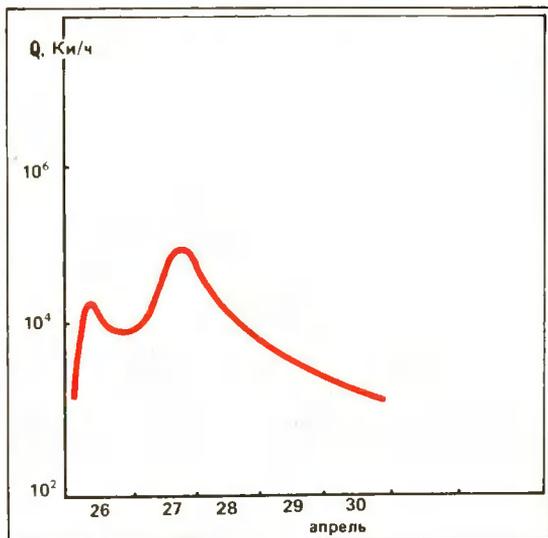


Распределение долгоживущих радионуклидов по скоростям гравитационного осаждения. Расчеты показали, что плутоний и стронций распространялись в атмосфере преимущественно на крупных частицах (средняя скорость осаждения около 10 см/с), цезий же — как на крупных, так и на мелких (около 1 см/с).

Как известно, 4 раза в сутки в Гидрометцентр стекаются сведения со всех метеостанций страны и станций аэрологического зондирования. На их базе формируется оперативный банк данных — значений температуры и двух компонент скорости ветра на высотах около 1000, 1500, 2500 м и т. д. в узлах прямоугольной сетки с ячейками 150×150 км. Там же, в Гидрометцентре, после решения задачи прогноза погоды на ближайшие сутки формируется аналогичный банк данных на 24, 36 и 72 час. вперед.

Вся эта информация могла передаваться по каналам компьютерной связи в НПО «Тайфун» и использоваться для диагноза или прогноза. На нее и были ориентированы упомянутые выше модели, которые базировались на решении обычного трехмерного уравнения турбулентной диффузии с использованием разных схем численного решения, зависящих от масштаба переноса. Входящие в уравнение значения скорости ветра и коэффициентов диффузии вычислялись с учетом входной информации по моделям пограничного слоя атмосферы, также зависящим от масштаба переноса.

К моменту аварии модели были вполне работоспособны. Однако отсутствовала оперативная связь с Гидрометцентром, и магнитные ленты с записью текущей информации приходилось возить за 100 км из Москвы в Обнинск, где находится объединение. К то-



Изменение мощности источника, обусловившее формирование поля загрязнения ^{137}Cs в дальней зоне. В частности, при росте выхода этого радионуклида 27 апреля происходил вынос воздушных масс в районы Белоруссии, а также Брянщины и других областей России.

му же модели существовали только в научно-исследовательской версии (т. е. по ходу дела в них вносились разные коррективы), а расчеты велись на ЭВМ ЕС-1061, не удовлетворявшей нас по многим параметрам.

Все это не позволяло решать задачи прогноза. Но самой большой и принципиальной трудностью было отсутствие объективной информации об источнике. Ее не смогли получить прежде всего потому, что не было специальных технических средств, находящихся в постоянной готовности на случай аварии. Удалось провести только отдельные измерения. В частности, с самолета Института прикладной геофизики Госкомгидромета СССР удалось взять пробу воздуха прямо из «факела» — это было 27 апреля, но после этого самолет оказался сильно загрязненным и непригодным к дальнейшей работе. Измерения проводились и специалистами из других организаций (Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л. Я. Карпова, Радиового института, НПО «Тайфун», военными). Однако все это было уже после 5 мая, когда прекратился активный выброс.

В первые же дни об источнике знали очень мало, например, не было известно, сколько радионуклидов и на какую высоту оказалось заброшено взрывом. Разумеется, информацию о реакторе с первых дней после аварии активно собирали сотрудники Института атомной энергии (ИАЭ) им. И. В. Курча-

това, но их сведения (температура топлива, нейтронные потоки, γ -поля и т. д.) не годились для моделирования атмосферного переноса. Нам, в частности, необходимо было знать, как со временем менялось распределение поступающих из реактора аэрозольных частиц по размеру и радионуклидному составу, а также распределение по высоте различных частиц в факеле.

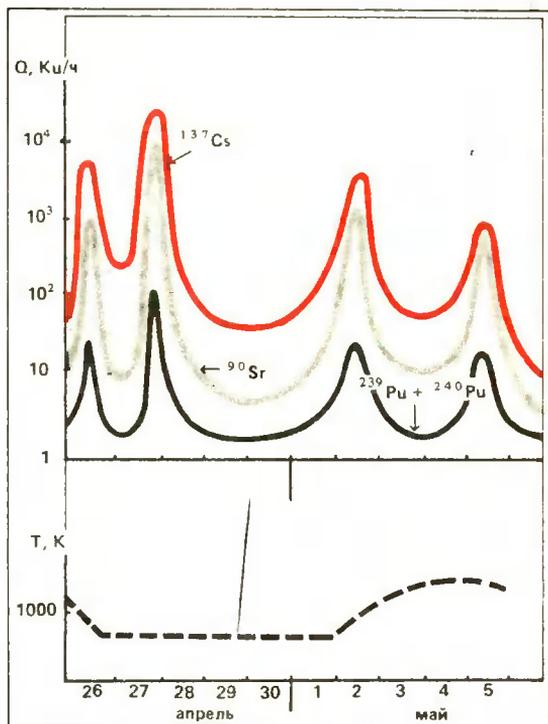
Вообще, отсутствие такого рода информации характерно для аварийных ситуаций, когда трудно провести точные измерения. Поэтому, даже имея специальные технические средства, надо быть готовым к недостаточному знанию характера источника загрязнения и его восстановлению по данным измерительной сети, т. е. к решению обратной задачи.

Упрощенно говоря, мы использовали следующую процедуру. Сначала решили прямую задачу о переносе и осаждении радионуклидов для разных источников (разных распределений аэрозольных частиц по размерам и составу, высоте, мощности выброса и т. д.). Затем из всех решений выбрали те, которые лучше согласовывались с имевшимися замерами выпадений радионуклидов на планшеты или почву. Параметры источника, соответствующие лучшим решениям, принимались за истинные.

Конечно, этот путь из-за некорректности обратных задач может привести к ошибкам, поэтому мы привлекали различные физические соображения и оптимизирующие процедуры. Более того, сама динамика метеорологических процессов во многом способствовала «регуляризации» задачи восстановления источника.

Дело в том, что за время активного выброса (с 26 апреля по 5 мая) произошел разворот ветра на 360° . Это позволило при решении обратной задачи выделить вклады источника в разные моменты времени и проследить динамику выброса день за днем. Расчеты, показывающие основные этапы формирования следа радиоактивных выпадений, проводились для невесомой примеси (тем самым, кстати, моделировалось поведение ^{131}I), поступающей мгновенными импульсами произвольной мощности в моменты, характеризующиеся перестройкой метеополей. Такой характер источника, разумеется, не реален и пригоден лишь для качественного анализа.

Из решения обратной задачи были получены характеристики выброса долгоживущих радионуклидов — ^{90}Sr , ^{137}Cs , а также ^{239}Pu и ^{240}Pu (суммарно). Судя по скоростям осаждения аэрозольных частиц, плутоний и часть цезия переносились на крупных части-



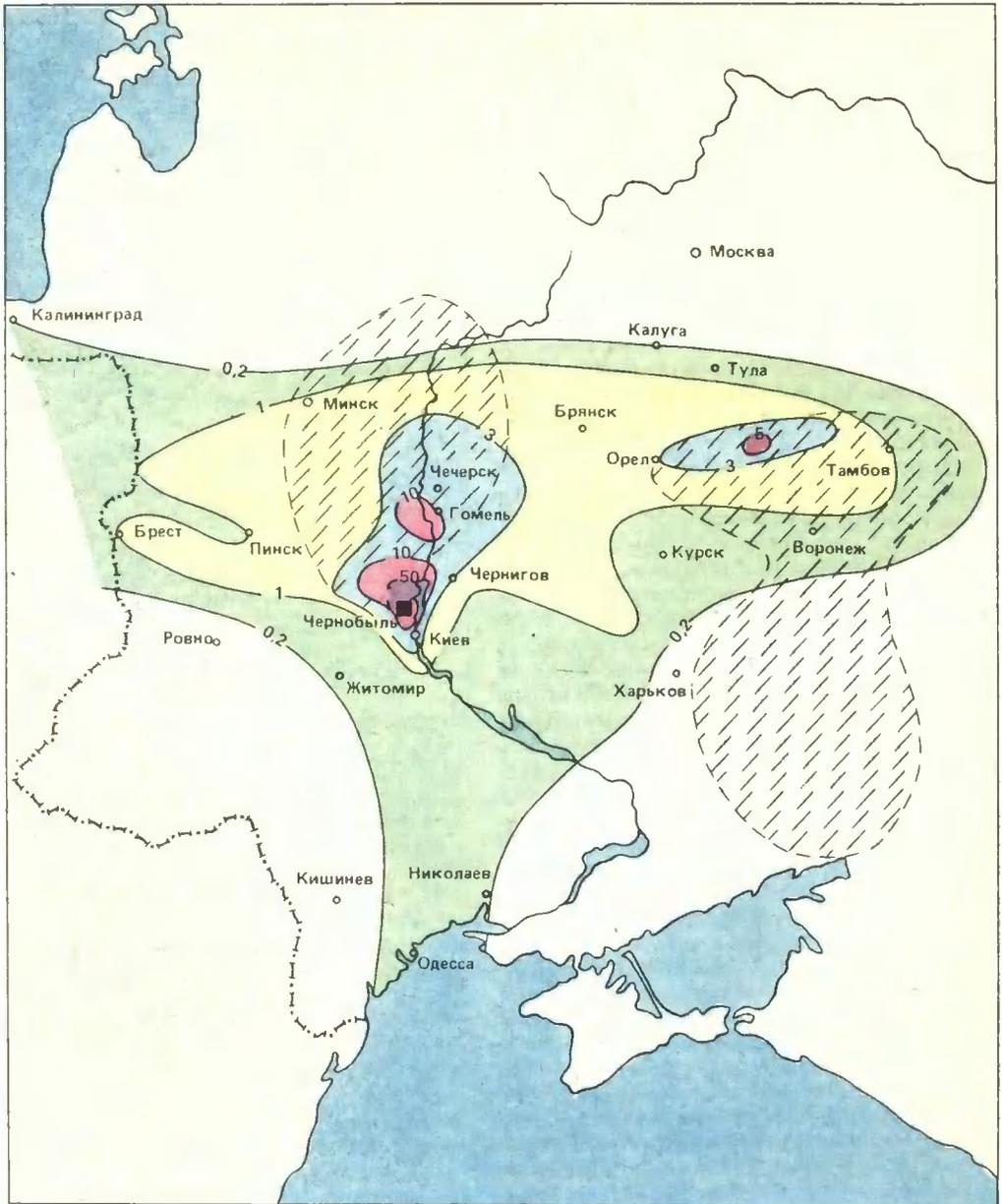
Результаты моделирования изменения мощности источника ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{239}Pu и ^{240}Pu , переносившихся на крупных частицах и сформировавших поля выпадений в ближней зоне (до 100–200 км от реактора). Внизу — изменение температуры топлива (по данным МАЭ).

цах (скорее всего, частицах топлива) и должны были осесть в ближней зоне. Основная же часть цезия переносилась мелкими частицами на значительные расстояния.

Базируясь на анализе метеорологической ситуации и параметрах источника, полученным путем решения обратной задачи, обратимся к формированию загрязнения.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА РАДИОНУКЛИДОВ

Взрыв реактора 26 апреля привел к резкому выбросу и последующему истечению радионуклидов в виде частиц топлива, аэрозольных частиц и газов. В последующие 1,5 сут. они переносились преимущественно в западном, северо-западном направлении, сформировав обширный западный след. В это время температура топлива падала и мощность выброса уменьшалась. С середины дня 27 апреля графит в реакторе стал гореть интенсивнее, и выброс всех радионуклидов — особенно ^{137}Cs , переносимого газом и частицами аэрозолей, — вырос. В это



Карта выпадений ^{137}Cs в дальней зоне по результатам физико-математического моделирования. Хотя эта карта не столь детальна, как полученная позднее официальная карта загрязнения стронцием, но в ней просматриваются черты реального поля распределения радиоактивных следов.

Плотность выпадений ^{137}Cs , Ки/км²:

0,2 – 1

1 – 3

3 – 10

> 10

> 50

Область выпадения осадков при прохождении радиоактивного облака

время направление ветра сменилось на северное и затем, очень быстро, на северо-восточное. На траектории этого переноса и произошло осаждение цезия, приведшее к формированию обширных Брянско-Белорусского и Орловско-Тульско-Калужского пятен. Этому способствовали и осадки, выпавшие при прохождении облака.

Второй фактор, сказавшийся на плотности выпадений в районе пятен, — существование здесь обширных застойных зон. Так, у Чернобыля скорость ветра на высоте выброса (около 1000 м) достигала 10 м/с, а в районе пятен, уменьшилась до 1—2 м/с. Это привело к застою масс радиоактивного аэрозоля и наряду с неравномерным выпадением осадков дало эффект разномасштабной пятнистости.

Столь подробное обсуждение этих деталей связано с тем, что природа пятен вызвала много споров. Высказывалось даже предположение, что Брянско-Белорусское пятно — результат специальных работ по осаждению радиоактивного облака с целью не допустить его к Москве. На самом деле пятнистость обусловлена сочетанием метеорологических факторов и особенностей поступления радионуклидов в атмосферу.

Однако вернемся к формированию полей загрязнений. 27 апреля началась засыпка реактора, и 28—30 апреля интенсивность и высота выброса существенно уменьшились. В это время продолжался «разворот» ветра по часовой стрелке с востока на юг, поэтому территории к юго-востоку от реактора оказались относительно чистыми. Со 2 мая, когда в реакторе начался разогрев, связанный с уменьшением теплоотвода, аэрозольные частицы периодически прорывались в атмосферу (максимумы 4 и 5 мая). Во время этих выбросов преобладал северный ветер, что привело к формированию южного следа.

Так мы оцениваем ситуацию первых дней после аварии сегодня. А теперь обратимся для сравнения к расчетной карте выпадений ^{137}Cs в дальней зоне. Эта карта, полученная путем физико-математического моделирования, отражает всю совокупность физических процессов, о которых говорилось выше. Разумеется, она не столь полна, как более поздние¹, но в ней уже просматриваются черты реального поля радиоактивного загрязнения: западный, северо-западный и южный следы, а также три крупных пятна

(центральное — Чернобыльское, в Белоруссии и России).

Самое же главное — эта карта была получена в середине мая 1986 г., когда почти все силы оказались сосредоточены в 30-километровой зоне и близ нее и только отдельные измерения в пунктах контроля Госкомгидромета говорили о возможном неблагоприятии в отдаленных районах. Тогда же, в середине мая, НПО «Тайфун» организовало экспедицию для отбора почвенных проб по линии Брянск—Гомель—Барановичи. Их анализ положил начало детальному обследованию обширного Брянско-Белорусского пятна, продолжающемуся и по сей день.

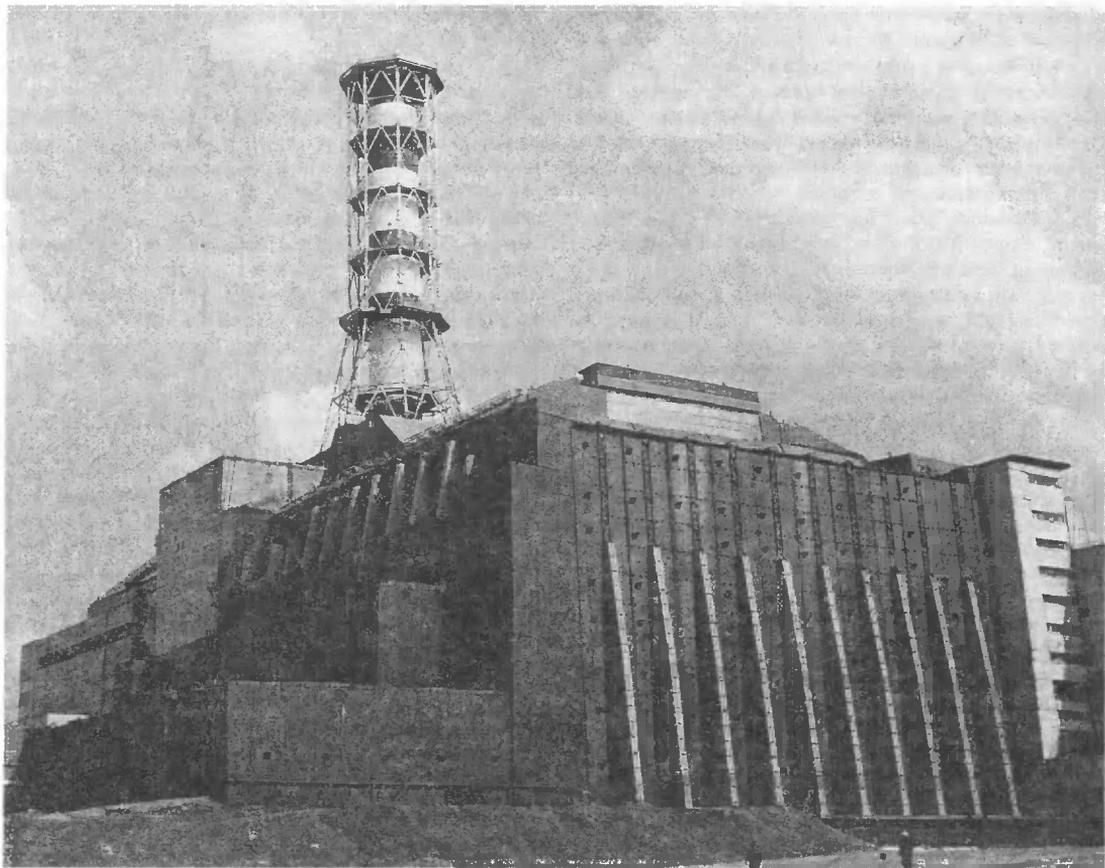
Примерно в это же время начались работы по обследованию цезиевого загрязнения в Орловско-Тульско-Калужском пятне. Иными словами, расчетную карту загрязнения мы получили в то время, когда в ней была практическая потребность и когда она могла скорректировать средства контроля. Это вполне конкретный пример решения задачи диагноза аварийной ситуации методами физико-математического моделирования в реальном масштабе времени.

Разные оценки суммарного выхода радионуклидов, полученные как в результате физико-математического моделирования, так и интегрирования (т. е. подсчета выпадений на подстилающую поверхность), дают в целом согласующиеся значения. Лишь в отдельных случаях расхождение достигает 100 %, что при общем недостатке данных и отсутствии информации об источнике представляется вполне разумной точностью.

И еще один важный момент. При подсчете абсолютного значения выхода радионуклидов важно принимать во внимание данные не только по территории нашей страны, но и по другим странам. За рубежом моделированием переноса и осаждения радионуклидов после Чернобыльской аварии занимались многие исследователи, но наиболее полно, на наш взгляд, важнейшие процессы учтены в работах групп Х. Эпсаймона из Лондонского Империял-колледжа (Великобритания) и Н. Гудиксена из Ливерморской лаборатории (США). В этих работах упор делается на описание загрязнений в Западной Европе и масштабах земного шара соответственно. Их методы и подходы в общем сходны с нашими. В частности, как и мы, они решали обратную задачу, но используя данные о загрязнении вне территории нашей страны.

После сопоставления результатов моделирования при разных масштабах выяснилось, что, восстанавливая источник, мы допустили ряд ошибок. Например, моделирова-

¹ Речь идет о картах загрязнения территории Европейской части страны долгоживущими радионуклидами ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{239}Pu и ^{240}Pu , составленных в Госкомгидромете СССР (см., например: И з р е з ь Ю. А. // Наука и жизнь. 1990. № 9, С. 28—29).



Саркофаг над 4-м блоком ЧАЭС.

ние для Западной Европы показало, что дальнейший перенос ^{137}Cs осуществлялся не только мелкими частицами, но и газом и что на эту фазу, обусловившую загрязнение Западной Европы, приходится около 1 МКи, т. е. столько же, сколько выпало на территории нашей страны с аэрозольными частицами. Моделирование же переноса в масштабах земного шара позволило выяснить, что первым взрывом значительное количество радионуклидов было выброшено на высоту около 10 км. Это облако сначала распространялось на юг, а затем обогнуло половину земного шара и даже вызвало небольшое повышение уровня радиоактивности в США.

Полностью все данные об источнике были согласованы в конце 1989 г. на Первой Международной рабочей группе по тяжелым авариям и их последствиям, созданной по инициативе Ядерных обществ СССР и США. Там обсуждались процессы в реакторе, а также баланс радиоактивности и радиоактив-

ных выпадений: сколько накопилось в реакторе до аварии, осталось в нем и под ним после аварии, выпало на промплощадке, вдали от станции и в целом на территории Европы и по всему земному шару².

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И ПОЧВ

Следующий этап наших работ по моделированию переноса и осаждения «чернобыльских» радионуклидов был связан с вторичным загрязнением почв и водных объектов. Последняя проблема оказалась для Чернобыльской аварии особенно острой, поскольку и в 30-километровой зоне, и в районе Брянско-Белорусского пятна³ имеется разветвленная сеть рек — это водосборы Припяти и Днепра, которые питают 40 млн. чел., проживающих ниже по Днепровскому каскаду.

Столь же актуальной была проблема смыва радионуклидов с водосборов. Неда-

² Подробнее см.: Четыре года после взрыва // Природа. 1990. № 11. С. 64—90.

ром с первых дней после аварии приступили к обвалованию берегов для защиты от возможного дождевого смыва.

Важно было уяснить, что можно ожидать при сильных летних дождях и интенсивном весеннем снеготаянии. Обсуждались самые разные оценки: от достаточно оптимистичных, основанных на наблюдениях за глобальными выпадениями продуктов ядерных взрывов и не предвещавших существенного смыва, до крайне пессимистичных, предрекавших, например, что весь стронций будет смыт с поймы Припяти в Киевское водохранилище.

От того, как будут разворачиваться эти события, зависела стратегия водоохраных мероприятий. В частности, предлагались переброска вод Припяти в Днепр в обход 30-километровой зоны или возведение плотины в устье Припяти, чтобы «запереть» там всю радиоактивность. Это, конечно, крайние меры. Во-первых, чрезвычайно дорогие и, во-вторых, в довершение к радиоактивному загрязнению они погубили бы всю 30-километровую зону. Идти на это можно было только при полной безысходности.

Поэтому НПО «Тайфун» должен был дать прогноз вторичного загрязнения радионуклидами этой зоны при самых неблагоприятных метеоусловиях: обильных дождях, снеготаянии и пр. Поскольку с самого начала было ясно, что Чернобыльский выброс уникален и на его изучение уйдут месяцы или даже годы, а прогноз требовался «сегодня», главным стала формулировка математической модели, которая достаточно адекватно описывала бы поведение радионуклидов в зоне.

Наша модель основывалась на классических представлениях о том, что радионуклиды могут находиться в растворенном, обменно-сорбированном и необратимо сорбированном состоянии, а также входить в состав нерастворимых частиц топлива. Эти четыре фазы и нужно было учесть, чтобы корректно описать их вертикальное перемещение по профилю, поверхностный смыв в растворенном состоянии и с частицами почвы, а также перенос по рекам.

Сформулировав системы уравнений, описывающих эти процессы, мы убедились, что всем «управляют» три параметра: содержание обменных форм радионуклидов, содержание топливных частиц и коэффициенты распределения (содержания обменных форм) для систем «вода — почва», «вода — донные отложения» и «вода — взвесь». Их-то и предстояло измерить.

По всей 30-километровой зоне были отобраны пробы, в которых затем в лабо-

раториях НПО «Тайфун» исследовались формы нахождения радионуклидов и измерялись коэффициенты распределения.

Итак, на первом этапе мы получили параметры модели. После этого (а скорее, одновременно) мы вышли в поле и на разных расстояниях от реактора подготовили несколько площадок для натуральных экспериментов. Лето было засушливым, и мы «ожидедали» площадки из брандспойта пожарной машины. Предварительно измеряли содержание радионуклидов на площадке и отбирали пробы для определения в лабораторных условиях форм нахождения радионуклидов. Определив полный гидрологический режим при таком искусственном обводнении, мы брали пробы в стоке, что позволяло определить коэффициент смыва.

В идеале эксперимент нужно было бы выполнить примерно на сотне площадок. Получить коэффициенты смыва, заложить их в модель и описать, как все стечет по рекам. Но из-за тяжелой обстановки (высокая активность, жара, плохая организация и т. д.) мы смогли провести лишь серию из десятка экспериментов в трех точках. Это позволило проверить модель. И когда мы убедились, что она работает, отпала нужда в экспериментах по всей зоне. Мы только измерили те параметры, которые необходимо было заложить в модель, облетев территорию на вертолетах и отобрав пробы.

Таким образом, первая часть задачи была решена: мы смоделировали, как радионуклиды при выпадении дождя или таянии снега попадают в глубь почвы и смываются поверхностным стоком в реки. При этом мы, естественно, проверяли модель в лабораторных экспериментах, заложив несколько колоночных опытов и выяснив, как идет вертикальное распределение.

Разобравшись с этим, нужно было отработать модель поведения радионуклидов в реке, где своя специфика, свои калибровочные параметры и т. д. В ту пору мы не могли измерить все необходимые параметры для рек и сделали одно простое допущение, считав, что значения коэффициентов распределения и содержания обменных форм в реке такие же, как и на берегу. Конечно, это натяжка, но нам пришлось на это пойти.

Итак, требовалось откалибровать два важных физических параметра: коэффициенты обмена растворенными радионуклидами между дном и водой и на взвесах. У нас работала сеть контроля концентрации радионуклидов в устьях (на взвесах и в растворенном виде). Сопоставляя результаты этих наблюдений и модельных расчетов, мы уста-

новили искомые параметры, т. е. подготовили прогноз.

Вся территория была у нас разбита на 37 водосборов. Каждый из них мы охарактеризовали несколькими параметрами — коэффициентами распределения, содержанием обменных форм и топливных частиц — и для каждого дали гидрологический прогноз: сколько воды просочится и сколько уйдет с поверхностным стоком, а также сколько почвы будет смыто. В модель закладывались и характеристики рек. И все это мы просчитали для разных метеорологических сценариев.

Полученные результаты свидетельствовали, что угрожающего положения нет — это справедливо и для стронция, и для цезия. Впрочем, это стало ясно, как только мы увидели, в каких формах находятся эти элементы. Дело в том, что примерно 10—25 % стронция оказалось в почвах в обменной форме. В глобальных же выпадениях до 75 % стронция находилось в растворимой форме, и там коэффициенты смыва не превышали 1 %. Следовательно, и здесь не должны были бы появиться более высокие значения. Правда, в данном случае имелась специфика, связанная с затоплением поймы: возможно, из-за застоя воды в пойме стронций успеет раствориться и весь смоемся.

Чтобы понять, насколько это предположение справедливо, мы просчитали все для условий поймы (убедившись предварительно, что модель здесь работает) и увидели, что катастрофических величин в этом случае также не должно быть. После этого было решено не проектировать обводной канал, прекратить строительство и дальнейшую разработку малых плотин.

Все с тревогой ждали первой весны. Был подготовлен хороший прогноз Ленинградского государственного гидрологического института, на котором базировались и наши работы. Мы еще раз уточнили наши результаты, проанализировав несколько возможных сценариев снеготаяния. Надо было понять, что «выгоднее» — быстрое или медленное таяние снега, чтобы, исходя из этого, дать рекомендации по снегозадержанию, усилению тех или иных плотин и т. п. Во время паводка 1987 г. мы организовали систему контроля на всех малых реках, чтобы следить за развитием событий, а также чтобы проверить, насколько наша модель соответствует реальности.

Получилось неплохое согласие — максимальное расхождение в 2—3 раза. Нам удалось отследить и прохождение пика паводка, и «взмучивание» радионуклидов (точнее, удержание их на взвесах). Но на этом

наши работы не кончились. Оставался открытым такой важный вопрос, как трансформация форм. Ведь в первых прогнозах мы рассматривали короткий отрезок времени, и тогда этот вопрос нас мало волновал. Переходя же к долговременному прогнозу, мы предполагали неуклонное снижение коэффициентов смыва и поступления радионуклидов в реки в связи с «заглублением» их обменных форм. Мы рассчитывали, что ежегодно поступление радионуклидов в реки будет уменьшаться почти в 1,5 раза. К сожалению, это не подтвердилось — все держится примерно на одном уровне.

Скорее всего это вызвано изменением форм нахождения радионуклидов из-за разрушения топливных частиц и поступлением стронция в растворимой форме. Это, конечно, гипотеза. Специалистам еще предстоит разобраться с топливными частицами, чтобы понять, насколько интенсивно поступает стронций в обменной форме в окружающую среду. Не могут ли нас ждать здесь какие-то сюрпризы? И все же думается, что сейчас главное — изучить трансформацию форм и получить надежные сведения о проникновении радионуклидов в подземную гидросферу.

РОЛЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

В заключение хотелось бы высказать несколько общих соображений о роли физико-математического моделирования в аварийных ситуациях. При любой крупной аварии одна из первоочередных задач — снизить отрицательное воздействие загрязнения на здоровье людей и окружающую среду. Для этого необходимо как можно быстрее оценить масштабы загрязнения, определить, откуда людей нужно немедленно эвакуировать, а где на какой-то срок можно ограничиться полумерами (привозные продукты питания, дезактивация почв, переход на другие источники водоснабжения и т. д.). Причем, важно не только понять сложившуюся ситуацию, но и предсказать, как десятки и сотни факторов (ветер, дождь, движение грунтовых вод, химические превращения и др.) скажутся на концентрации загрязняющих веществ в будущем. Очевидно, математическое моделирование их поведения в окружающей среде — единственное средство для построения подобных прогнозов.

Менее очевидно, что математическое моделирование применимо для оценки текущего состояния окружающей среды. Казалось бы, эту задачу можно решать, непосредственно измеряя концентрации за-

грязняющих веществ в пробах воздуха, почвы, воды, биологических объектов и т. д. Однако здесь очень важен временной фактор: при огромных масштабах загрязнения, как в случае Чернобыльской аварии, или когда анализы проб очень трудоемки (например, при загрязнении диоксином), потеря времени на построение карт загрязнений инструментальными методами неизбежна. И здесь, безусловно, поможет математическое моделирование. Более того, его результаты будут способствовать оптимизации работы измерительной системы, поскольку пробы можно будет отобрать в первую очередь в тех районах, где, по расчетам, уровни загрязнения особенно высоки.

И вообще, нельзя противопоставлять традиционные измерения и физико-математическое моделирование: расчеты должны направлять и координировать работу средств контроля за загрязнением, результаты измерений — использоваться для корректировки расчетов и т. д. Только при таком подходе математическое моделирование может справиться с новой для него ролью — способствовать принятию оперативных решений при аварийном загрязнении.

Чтобы выполнить эту роль, математические модели должны не только адекватно описывать основные процессы, но и делать это в реальном масштабе времени, т. е. тогда, когда в результатах расчетов еще есть надобность. Если говорить о Чернобыле, — это минуты и часы для предупреждения жителей г. Припяти, часы и сутки — для предупреждения жителей отдаленных районов, несколько суток — для оценки общей картины загрязнения местности, недели и месяцы — для оценки вторичных эффектов (ветровой подъем или смыв радионуклидов) и т. д.

Разумеется, для каждого из этих масштабов нужны свои модели, описывающие различные процессы с соответствующей детальностью, но все они требуют, чтобы входные данные и параметры были получены

своевременно. Это означает, что должна существовать соответствующая технология сбора, передачи, хранения, обработки и представления информации, а также программные средства взаимодействия моделей с информацией. Но и этого мало, поскольку в ряде случаев невозможно предугадать, какое загрязняющее вещество будет выброшено в результате аварии. Следовательно, необходимы методы быстрой оценки параметров модели (скоростей поглощения загрязняющих веществ в почве, их трансформации, миграции и т. д.) как функций физико-химических свойств и параметров окружающей среды. Такая оценка может потребовать специальных лабораторных и полевых экспериментов.

Таким образом, для оперативного анализа и прогноза любого аварийного загрязнения требуются:

набор математических моделей поведения загрязняющих веществ в почве, воде и воздухе для разных пространственных и временных масштабов;

компьютерные линии связи и оперативные банки хранения текущей метеорологической и гидрологической информации, а также данных о загрязнении разных объектов окружающей среды;

банки данных режимной информации об окружающей среде (географические карты разного масштаба, характеристики водосборов, рек, рельефа, ландшафтов, почв и т. д.);

банки данных о физико-химических свойствах загрязняющих веществ;

пакет программ информационной поддержки;

группы лабораторного и полевого эксперимента.

К сожалению, и через пять лет после Чернобыльской аварии в нашей стране имеются только отдельные элементы такого комплекса, принадлежащие, к тому же, разным ведомствам.

Радиоактивное загрязнение бассейна Днепра

О. В. Войцехович



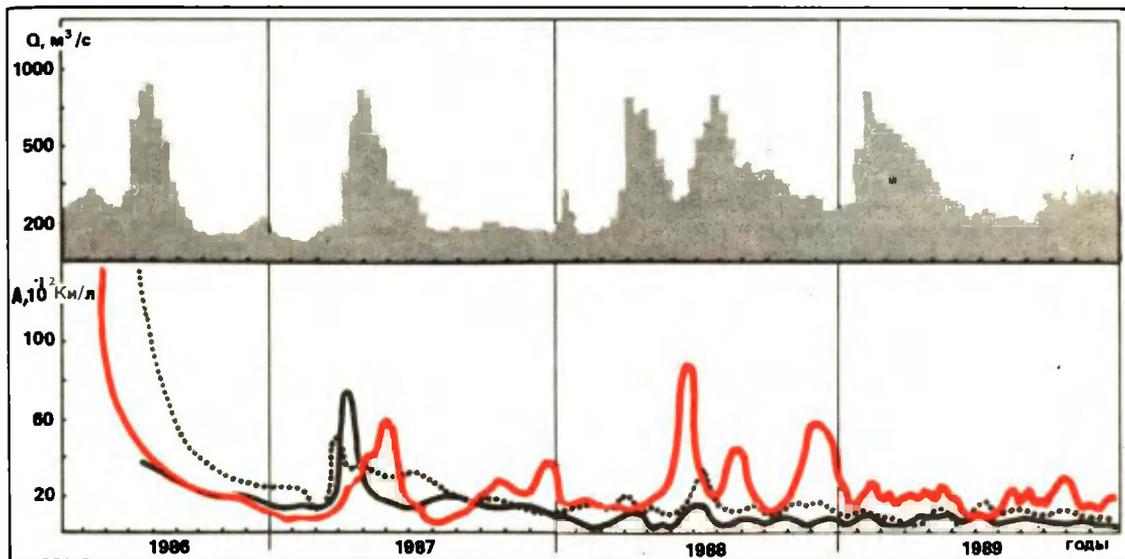
Олег Вадимович Войцехович, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Украинского регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института Государственного комитета СССР по гидрометеорологии. Занимается анализом радиоактивного загрязнения водных объектов в бассейне Днепра.

ДЕСЯТКИ МИЛЛИОНОВ людей обеспокоены радиоактивным загрязнением рек, водохранилищ, озер в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Среди населения бытуют представления о радиоактивности воды в десятки раз больше реальных величин, часто люди не ориентируются в этих значениях, и страх их вполне понятен. Многие считают, что в реках и водохранилищах нельзя купаться, ловить рыбу и тем более пить водопроводную воду.

И вот уже следуют призывы общественности спускать днепровские водохранилища, черпать илы со дна водоемов и захоранивать их, отвести сток Припяти каналами выше зоны загрязнения в Днепр, а также проводить другие дорогостоящие мероприятия без достаточного экологического и экономического обоснования.

Сейчас, спустя пять лет после аварии на ЧАЭС, уже многое очевидно. Вода не является основной причиной внутреннего и внешнего облучения человека — на нее приходится лишь около 5 % суммы всех источников (в первую очередь это продукты питания). Стало ясно, что дорогостоящие техногенные приемы водоохраны в зоне ЧАЭС (плотины, дамбы, карьеры на реках, фильтрационные завесы и др.) ненамного снизили радиоактивность вод. Вместе с тем анализ природных процессов в водных объектах показал их высокую способность к самоочищению. Поэтому сейчас главная задача специалистов — детально изучить процессы и пути водной миграции радионуклидов, известные и возможные в будущем источники поступления радиоактивных стоков в Припять и Днепр, направить усилия на локализацию источников. Только на такой основе возможна рациональная схема и реализация концепции водоохраны, а также корректный прогноз эффективности мероприятий, способных улучшить обстановку.

Решением этой проблемы заняты многие специалисты Госкомгидромета СССР, Минводхоза УССР, Минатомэнергопрома СССР, АН СССР и других учреждений и ведомств. Уже в мае 1986 г. организации Госкомгидромета СССР начали системати-



Расход воды Q Припяти у г. Чернобыля (вверху), содержание A — ^{137}Cs в воде (пунктир), на взвешенных наносах (сплошная линия), ^{90}Sr в воде (цвет).

ческое изучение радиоактивного загрязнения вод для прогноза качества воды в Киевском и лежащих ниже по Днепру водохранилищах, а также возможных неблагоприятных условий смыва в них радионуклидов. Нужно было оценить плотность загрязнения основных водосборных территорий, в короткие сроки проанализировать характеристики дождевого и талого стока, эрозийных показателей водосборов. Для этого в зоне ЧАЭС были проведены десятки экспериментов по оценке смыва радиоактивности с водой и твердыми частицами для различных типов почв и загрязненных ландшафтов. Главным результатом работы того периода стала система радиационного мониторинга водных объектов и прогноз о том, что в любых возможных ситуациях радиоактивное загрязнение вод водохранилищ не превысит предельно допустимых значений, установленных временными нормами радиационной безопасности в СССР (НРБ 76/87): $4 \cdot 10^{-10}$ Ки/л (для ^{90}Sr) и $1,5 \times 10^{-10}$ Ки/л (для ^{137}Cs). Правда, многие радиэкологи считают эти нормы необоснованными и составленными на основе экономических, а не санитарно-гигиенических соображений. Доаварийные фоновые уровни загрязнения вод этими радионуклидами составляли 10^{-13} — 10^{-12} Ки/л.

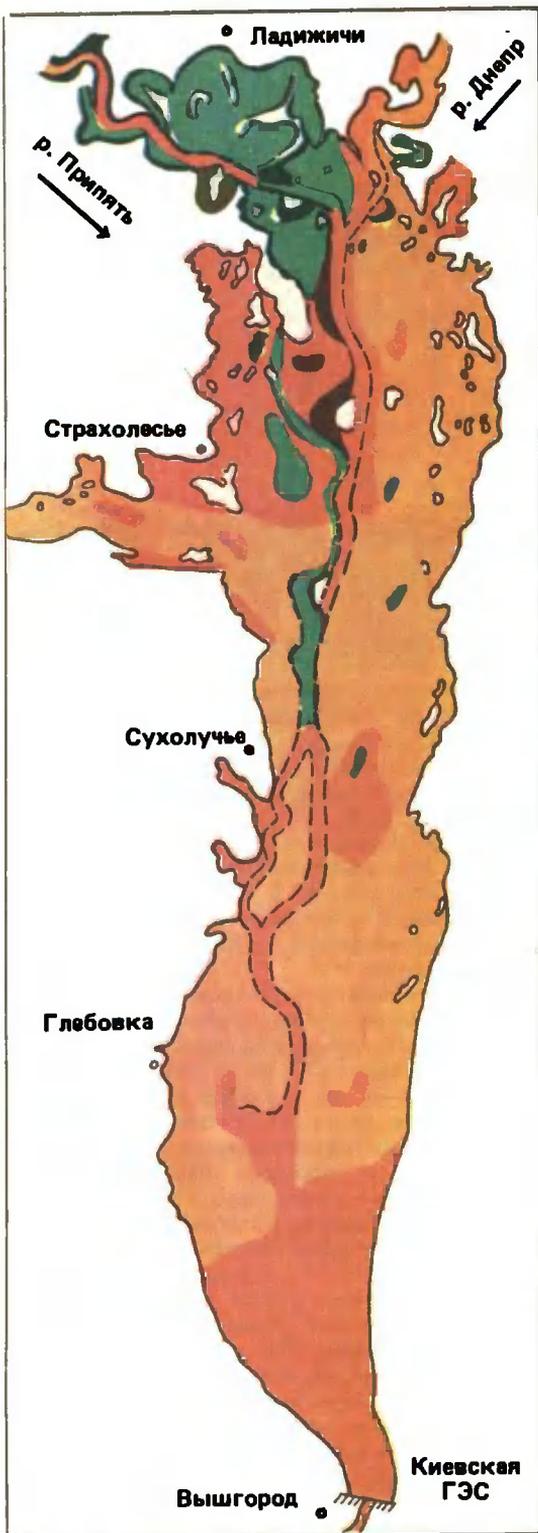
И сегодня ^{90}Sr и ^{137}Cs — основные радионуклиды, загрязняющие воды. Их со-

держание в Припяти и Днепре выше Киевского водохранилища за годы после аварии сильно зависело от характера загрязнения водосборов, на которых формировался так называемый склоновый сток вод в реки после таяния снега и дождей, а также от условий затопления пойм рек в районах с высокой плотностью радиоактивного загрязнения после аварии.

В целом же в половодьях и после них, а также при дождевых паводках содержание радионуклидов в реках повышается, в водохранилищах же уровень значительно ниже и уменьшается с удалением от места впадения реки.

Происходит это не только за счет разбавления загрязненных речных вод более чистой водой водохранилища, но и вследствие осаждения здесь радиоактивных взвешенных частиц, а также адсорбции радионуклидов донными отложениями и накоплениями их гидробионтами. Как показали наблюдения, с твердыми частицами взвесей рек может выноситься от 30 до 70 % общего стока цезия, который в результате седиментации в значительной мере попадает и удерживается в донных отложениях. Особенно прочно цезий закрепляется на илистых и глиняных частицах, и поэтому локализация загрязненных наносов в водоеме может существенно снизить уровни загрязнения вод. На транспорт стронция транспорт наносов в реках практически не оказывает значимого влияния.

Свойства частиц почвы и речных наносов фиксировать такие радионуклиды, как цезий, церий, плутоний и другие радио-



Содержание ^{137}Cs в донных осадках Киевского водохранилища [общая площадь — 922 км^2 , суммарное содержание цезия — 2800 Ки , средняя плотность загрязнения — $2,8 \text{ Ки/км}^2$]. Наиболее загрязнены глубоководные участки (и в частности, старые русла Днепра и Припяти), а также зоны максимального накопления осадков (припятские плавни, приплотинная часть водохранилища), где осаждаются илстые наносы. Карта составлена в 1990 г. в Украинском гидрометеорологическом институте.

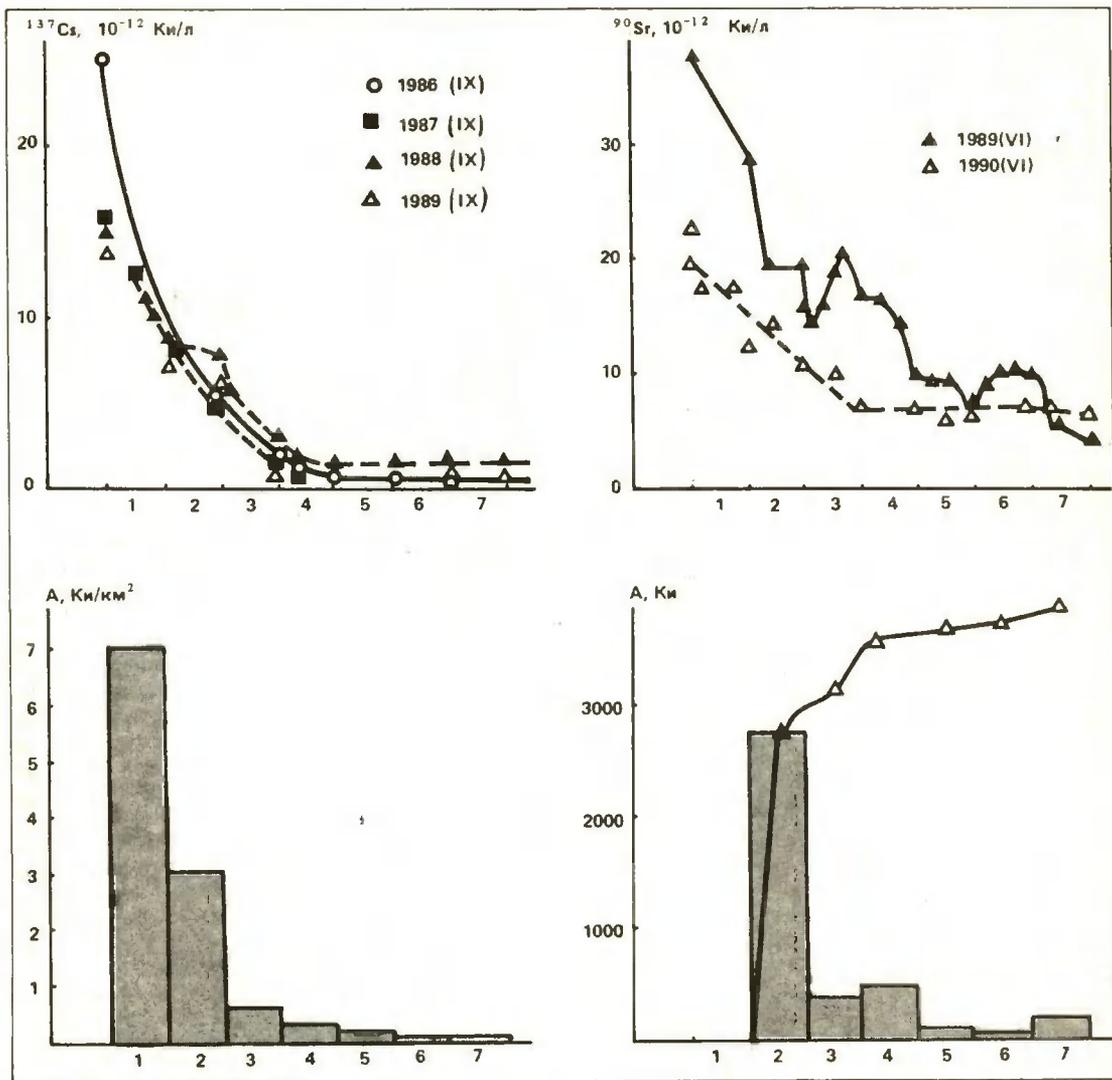
Плотность загрязнения,

Ки/км²:

	> 20		1 – 5
	10 – 20		< 1
	5 – 10		

активные загрязняющие вещества, были положены в основу идеи создания донных ловушек на Припяти для перехвата взвешенных радиоактивных веществ, транспортируемых водой. Они представляли собой большие глубокие карьеры в русле реки, где за счет падения скорости течения должны были осаждаться наносы и вместе с ними радионуклиды. Но, к сожалению, эффективность ловушек оказалась незначительной, поскольку большая часть радионуклидов сорбируется на частицах очень малых размеров (меньше 50 мкм), осаждающихся лишь при очень малых скоростях. Глубины и длины карьеров «не хватило», чтобы в них оседало достаточное количество таких частиц. За год карьеры «перехватывали» всего 5–10 % цезия, переносимого рекой. Водоохранилища Днепра в этом смысле «работали» несравненно эффективнее.

Поскольку радионуклиды в основном сорбируются мелкими частицами грунтов, крупные песчаные русловые наносы рек (даже в очень загрязненных районах у г. Припяти), а также песчаные пляжи рек и водохранилищ обычно остаются относительно чистыми, зато глубоководные зоны водоемов с илстыми частицами загрязнены гораздо сильнее. На составленной нами карте радиоактивного загрязнения дна Киевского водохранилища выделяются, с одной стороны, зоны повышенного загрязнения дна в местах осадения припятских наносов и на глубоких участках акватории, а с другой — относительно чистые мелководные песчаные зоны, где не скапливаются илы. За годы после аварии заметного смещения



Радиоактивное загрязнение водохранилищ Днепровского каскада: вверху — содержание цезия и стронция в воде, внизу — плотность загрязнения дна цезием (слева) и его запас на дне (справа) в 1989 г. Кривая на правом нижнем рисунке — общий запас во всех водохранилищах: 1 — устьевая зона Припяти и Днепра, 2 — Киевское, 3 — Каневское, 4 — Кременчугское, 5 — Днепродзержинское, 6 — Запорожское, 7 — Каховское водохранилища.

зоны загрязнений в нижние водохранилища не произошло.

Наблюдения показали, что к началу 1990 г. Припять и Днепр вынесли в каскад водохранилищ около 4 тыс. Ки ^{137}Cs (из них около 1 тыс. Ки с наносами) и 2,5 тыс. Ки ^{90}Sr . Около 80 % цезия, поступившего с речным

стоком в Киевское водохранилище, аккумуляровалось в донных отложениях всего каскада. В то же время большая часть стронция пересекла каскад транзитом и поступила в Черное море. Впрочем, это существенно не изменило его содержание в морской воде по сравнению с фоном, сформированным в 60-е годы при испытаниях ядерного оружия. Мы оцениваем современные запасы ^{137}Cs во всех водохранилищах примерно в 4 тыс. Ки, а ^{90}Sr — не более 1 тыс. Ки.

Таким образом, в результате седиментации и процессов адсорбции радионуклидов дном воды днепровских водохранилищ заметно самоочищаются, а загрязненные наносы дна покрываются более чистыми осад-

ками. На некоторых участках толщина осевших после аварии наносов уже достигла нескольких сантиметров, что замедляет обмен радиоактивными загрязнениями между донными отложениями и водой.

В 1989 г. загрязнение днепровских водохранилищ радионуклидами ^{137}Cs менялось от $(1-3) \cdot 10^{-11}$ Ки/л в устье Припяти до $0,5 \cdot 10^{-12}$ Ки/л в Днестре у Херсона. Содержание ^{90}Sr более «ровное» от Киева до Днепро-Бугского лимана и меняется в пределах $(5-15) \cdot 10^{-12}$ Ки/л.

В 1990 г. уровень загрязнения вод каскада снизился еще примерно от 2 до 14 раз.

Исследования последних лет показали, что, хотя накопление ^{137}Cs в донных отложениях водохранилищ продолжается, основная проблема их радиоактивного загрязнения связана с содержанием в водах ^{90}Sr . Поступление стронция в днепровский каскад зависит от его смыва с загрязненных территорий как в 30-километровой зоне ЧАЭС, так и за ее пределами.

В течение 1988—1989 гг. до 40 % стронция, поступающего в Киевское водохранилище со стоком Припяти, формировалось на водосборах Белоруссии, остальное поступало из 30-километровой зоны, с пойменных территорий и водоемов в непосредственной близости от места аварии. В водах Днепра большая часть радиоактивных стоков формируется в бассейне р. Сож.

Наиболее опасные источники притока радионуклидов в водохранилища — пойма Припяти у ЧАЭС и фильтрующиеся воды водоема-охладителя. Здесь выпавшие из радиоактивного облака в первые дни после аварии аэрозоли сформировали зоны загрязнения с большим содержанием «горячих частиц» ядерного топлива, содержащих окислы урана и графитовые осколки. В результате продолжающегося механического разрушения топливных аэрозолей и выщелачивания радионуклидов из «горячих частиц» здесь наблюдаются активные процессы перехода продуктов деления в водорастворимые и обменные формы, в част-

ности, ^{90}Sr , плохо закрепляемого в почвах и подвижного в водной среде.

За годы после аварии пойма почти не затоплялась в половодья из-за низких паводков. Математическое моделирование и эксперименты свидетельствуют, что и экстремальный смыв ^{90}Sr не приведет в Киевском водохранилище к превышению предельно допустимых уровней загрязнения (по НРБ 76/78). Однако обводнение этой территории все же может привести к дополнительному загрязнению вод Днепровского каскада и усугубить связанные с этим радиоэкологические проблемы.

Из нескольких вариантов локализации здесь радионуклидов предпочтение отдано обвалованию поймы с намывом в тело дамбы и прибрежные зоны песка из русла. Окруженный дамбой участок будет засажен кустарником. Чтобы не допустить заболачивания территории, предусмотрена система дренирования. Предложены и другие меры уменьшения выноса ^{90}Sr с загрязненных территорий и загрязнения днепровских вод, что в экстремальных условиях позволит снизить содержание в них стронция в 3—5 раз. Особенно важно это для нижних водохранилищ Днепра, которые используются для полива сельскохозяйственных полей. Кстати, исследования показали, что использование днепровских вод для орошения пока не увеличивает индивидуальную долю облучения населения. После закрытия ЧАЭС отпадает необходимость эксплуатировать водоем-охладитель, из него со временем прекратится фильтрация загрязненных вод, так что исчезнет еще один источник радиоактивных стоков.

Экологическое состояние днепровских водохранилищ ныне определяется не столько радиоактивными веществами, сколько сбрасываемыми в Днепр миллионами кубометров неочищенных промышленных стоков, и экологические проблемы днепровской водной системы нельзя решать, не учитывая этого, а также не научившись правильно оценивать риск от внедрения тех или иных мероприятий водоохраны.

ПЛУТОНИЙ В ПОЧВАХ

Ф. И. Павлоцкая, Б. Ф. Мясоедов



Фанни Ильинична Павлоцкая, доктор химических наук, ведущий научный сотрудник Института геохимии и аналитической химии (ГЕОХИ) им. В. И. Вернадского АН СССР. Занимается изучением искусственной радиоактивности природной среды. Основные интересы связаны с исследованием форм нахождения и закономерностей миграции радионуклидов в почвах.

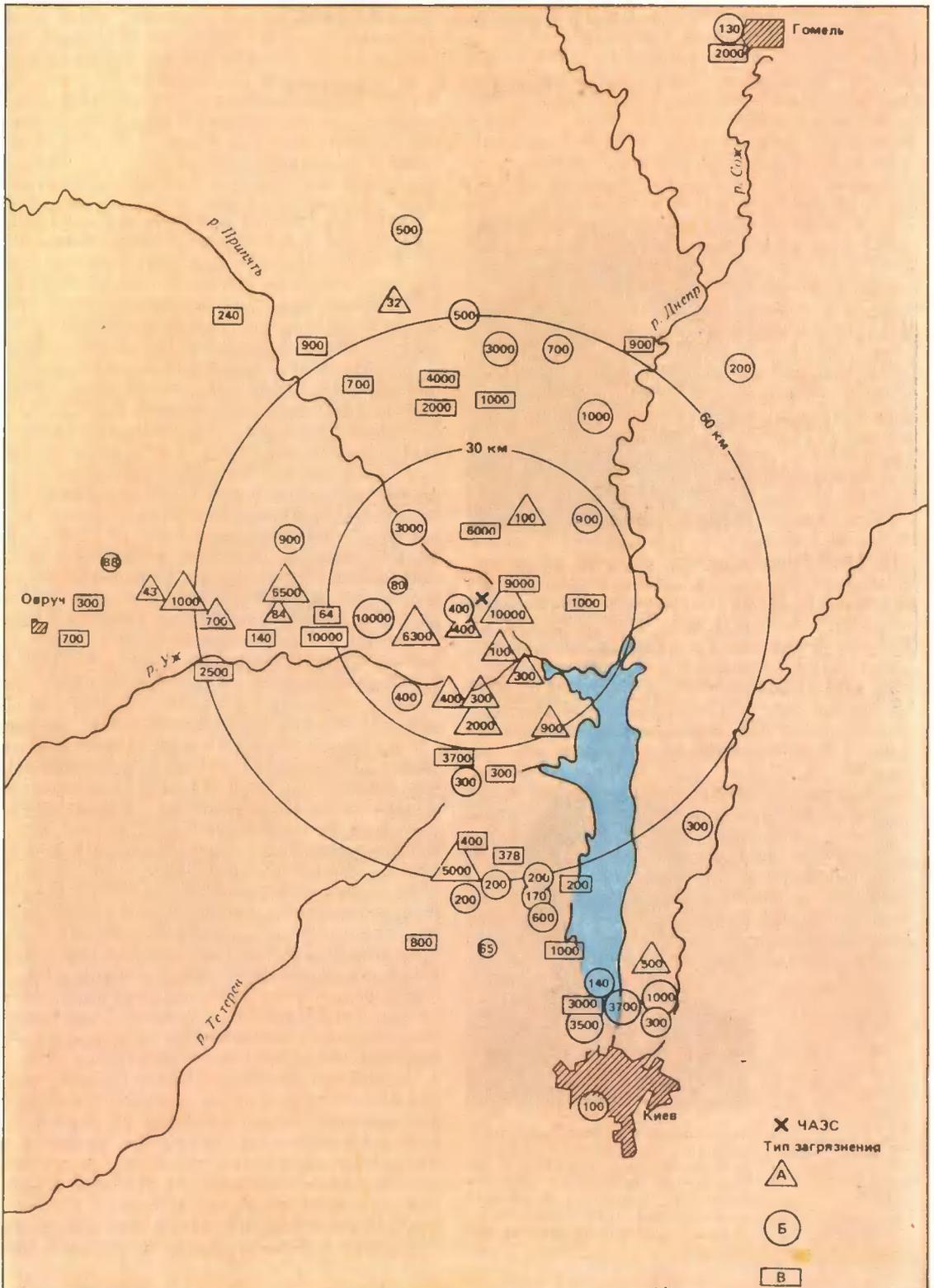


Борис Федорович Мясоедов, член-корреспондент АН СССР, заместитель директора и заведующий лабораторией радиохимии того же института. Специалист в области аналитической химии трансплутониевых и трансурановых элементов.

КОГДА сегодня знакомишься с литературой о последствиях Чернобыльской аварии (даже специальной), иногда возникает ощущение, что проблема искусственной радиоактивности природной среды возникла лишь вместе с этим трагическим событием. Между тем ей около 50 лет, и возникла она в результате распространения по земной поверхности продуктов экспериментальных ядерных взрывов в атмосфере. В 1955 г. при ООН был создан Научный комитет по действию атомной радиации, в котором наряду с другими материалами обобщаются и анализируются данные о поступлении искусственных радионуклидов в биосферу и закономерностях их перераспределения. В начальный период комитет основное внимание сосредоточил на глобальных радиоактивных выпадениях после ядерных испытаний в атмосфере, но впоследствии центр тяжести переместился на изучение загрязнений природной среды ядерными реакторами, атомными электростанциями и радиохимическими заводами, перерабатывающими топливо при их нормальной работе и в аварийных ситуациях.

Наш институт одним из первых в СССР еще в 1950 г. начал исследовать искусственную радиоактивность природной среды. Радиохимическими методами определялись содержание и радионуклидный состав атмосферных аэрозолей и выпадений. Это в частности, позволило установить, что США в 1954 г. взорвали водородную бомбу. Позже была разработана методика комплексных радиогеохимических и радиозоологических исследований, которая позволила не только определять содержание, но и изучать формы поступления искусственных радионуклидов на земную поверхность, формы их нахождения в почвах и поведение в почвенно-растительном покрове разных природных зон.

Лаборатория радиохимии ГЕОХИ в первые дни после аварии на Чернобыльской АЭС активно включилась в работы по определению радиоактивных продуктов выброса в различных природных объектах на разных расстояниях и направлениях от станции, уделяя при этом основное внимание возможному загрязнению плутонием. Во-первых, это токсичный в биологическом отношении эле-



ного продуктами ядерных испытаний и составляющего в Северном полушарии 30—560 Бк/м², до 3700 Бк/м² (0,1 Ки/км²) в зависимости от расстояния от станции. Таким образом, на большей части Европейской территории страны содержание плутония гораздо ниже принятой ныне нормы (0,1 Ки/км²). Лишь у станции и в зоне отчуждения отмечалось более высокое содержание плутония в почвах. Отношения $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ в большинстве проанализированных образцов аэрозолей, выпадений и почв составляли 0,25—0,35 (в среднем 0,3) и были близки к аналогичному значению для ядерного топлива на момент аварии.

Сравнение данных по содержанию плутония и продуктов деления в аэрозолях, выпадениях и почвах с радионуклидным составом топлива в реакторе к моменту аварии позволило нам совместно с сотрудником нашей лаборатории И. А. Лебедевым и сотрудником Института атомной энергии им. И. В. Курчатова А. А. Хрулевым выделить несколько типов радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды, различающихся по своей природе и соотношению в них плутония, а также летучих радионуклидов (цезия, рутения, бария) и нелетучих (церия, циркония и др.): тип А — мелкодисперсное топливо неизменного радионуклидного состава; тип Б — мелкодисперсное топливо, обогащенное в 2, 4 и 8 раз радионуклидами бария, рутения и цезия соответственно, а также в 2 раза плутонием по сравнению с реакторным топливом; тип В — летучие продукты выброса, сильно обогащенные радионуклидами цезия и рутения (до 900 и 80 раз) и в 14 и более раз плутонием.

Загрязнения типа А встречаются главным образом в центральной зоне (преимущественно в ее южной части) и к западу на расстояниях до 60—70 км, Б — в основном не более 100 км, В — 150 км и далее от ЧАЭС. Различные типы загрязнений связаны с тем, что в поврежденном реакторе при разных термодинамических условиях происходили сложные физико-химические процессы. На первой стадии имел место главным образом выброс топливных частиц; позднее из-за горения графита происходило частичное плавление топлива и конструкционных материалов, а также разложение и плавление забрасываемых в реактор «гасителей» (свинца, бора, карбонатных пород, песка и т. д.), что сопровождалось образованием различных соединений, в том числе и летучих (как радиоактивных, так и стабильных).

Для прогнозирования радиационной обстановки недостаточно иметь данные только по уровню загрязнения земной поверхно-

сти, в частности плутонием. Необходимо также установить закономерности его поведения в почвах, например характер распределения по глубине. Ранее нами совместно с Т. А. Горячевой и другими было установлено, что плутоний, попавший на почвенно-растительный покров с глобальными радиоактивными выпадениями, при аварии на Южном Урале в 1957 г. и из других источников, включается в биогеохимические циклы миграции. Это приводит к его перераспределению в ландшафте и по профилю почвы. Поэтому наряду с определением общего содержания плутония в почвах мы исследовали и его распределение по глубине. Оказалось, что плутоний, попавший в природную среду после аварии на ЧАЭС, также мигрирует в глубь почвы. Через 4—5 мес. он, хотя и в небольших количествах (менее 10 % исходного содержания), обнаруживался на глубинах до 3—5 см в зависимости от типа почв и растительности. В почвах с высоким содержанием карбонатов больше всего плутония наблюдалось не в поверхностном 2-сантиметровом слое, а на глубине 1—3 см, что связано с его миграцией в виде растворимых комплексных соединений с карбонат-ионами. После промывания колонок с такими почвами в лабораторных условиях талой водой в количестве, соответствующем толщине снежного покрова в данном регионе, около 7 % первоначального его содержания в почве было вынесено из 5-сантиметрового слоя.

Через 15 мес. после аварии в негидроморфных почвах, загрязненных мелкодисперсным топливом, обогащенным летучими продуктами выброса (тип Б), максимальное количество плутония (73—92 %) сохранилось в верхнем 2-сантиметровом слое, но он обнаружен и на глубине 10 см. Наиболее интенсивно его миграция проходила в дерново-подзолистой почве.

В гидроморфных почвах, сильно обводненных и содержащих высокие концентрации водорастворимых природных органических веществ, которые образуют растворимые комплексные соединения с химическими элементами и радионуклидами, плутоний был обнаружен даже на глубинах 15—20 см. Увеличению его миграции в этих почвах способствуют, в частности, анаэробные условия (когда четырехвалентный плутоний восстанавливается до более подвижного трехвалентного). Наряду с выносом плутония из поверхностного горизонта почв отмечается его вторичное накопление в верхней части иллювиального горизонта, что наблюдалось нами ранее для плутония, поступившего на земную поверхность из других источников. В этом горизонте накопи-

аается и выносимое из расположенных выше слоев железо — один из основных неизотопных носителей плутония при его геохимической миграции в почвах лесной и лесостепной зон.

Наши оценки возможного выноса плутония из верхнего 5-сантиметрового слоя за длительный срок (более 20 лет) после загрязнения разных типов почв глобальными радиоактивными выпадениями, при аварии на Южном Урале, а также другими источниками радионуклидов колеблются в пределах 0,9—3 % в год. Максимальный вынос отмечается из подстилки и слабо развитой дернины, а также из влажных почв с высоким содержанием карбонат-ионов. Переход же из верхнего слоя негидроморфных почв, загрязненных при аварии на ЧАЭС, возможен на уровне 1,4—9 % в год. (Ранее американские исследователи вынос плутония через год после загрязнения почвы оценивали в 10 %.)

Сравнение выноса плутония из по-

верхностных горизонтов почв с его накоплением растениями (в растениях, выросших в естественных условиях, его содержание в 10^{-5} — 10^{-1} ниже, чем в почве) и коэффициентами ветрового подъема частичек загрязненной почвы (по нашим данным, в начале июня 1986 г. в зоне аварии он составил 6×10^{-5} — $2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^{-1}$) позволяет говорить о том, что самоочищение земной поверхности от плутония, независимо от источников загрязнения, происходит главным образом за счет его миграции в более глубокие горизонты, в свою очередь, определяемой физико-химическими свойствами почв и их генетическим строением, типом растительности, формами нахождения плутония в почвах и другими природными факторами.

Сделанные нами ранее оценки интенсивности миграции плутония по глубине почв показали, что в зависимости от приведенных выше факторов через 25, 50 и 100 лет плутоний может быть обнаружен на глубине 40—100, 50—60 и 100—440 см.

Чернобыльский лес

Г. М. Козубов, А. И. Таскаев



Геннадий Михайлович Козубов (справа), доктор биологических наук, заведует отделом лесобиологических проблем Севера Института биологии Коми научного центра Уральского отделения АН СССР. Область научных интересов — биология плодоношения, цитозембриология и ультраструктура растительных клеток хвойных, радиэкология леса. Автор и соавтор шести монографий, в том числе: Атласы ультраструктуры растительных клеток и тканей (1972—1980). Репродуктивная структура голосеменных (1982), Современные голосеменные (1986), Радиационное воздействие на хвойные леса в районе аварии на ЧАЭС (1990). Лауреат премии им. К. А. Тимирязева АН СССР (1973).

Анатолий Иванович Таскаев, кандидат биологических наук, директор и заведующий отделом радиэкологии того же института. Научные интересы связаны с изучением миграции естественных и искусственных радионуклидов в наземных экосистемах, воздействием малых доз радиации на живые организмы. Автор и соавтор многих научных статей и нескольких монографий по этим проблемам.

ДЛЯ РАЗРАБОТКИ научно обоснованных перспективных прогнозов радиэкологической обстановки в районе Чернобыльской АЭС необходимы комплексные радиэкологические исследования природных экосистем, пораженных радиацией на больших площадях.

Важнейшую роль в поглощении и перераспределении радионуклидов здесь играют лесные экосистемы. Около половины территории 30-километровой зоны вокруг АЭС занимают леса. Из них более 80 % составляют хвойные, в основном состоящие из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Еди-



Погибший сосновый лес у пос. Янов (май 1989 г.). Мощность поглощенной дозы (всюду на 1.10.86 г.) — 8—10 тыс. рад.

Фото авторов

ничные участки заняты насаждениями ели обыкновенной (*Picea abies*).

Известно, что хвойные хорошо задерживают различные аэрозольные загрязнители атмосферы, в том числе и радиоактивные, но при этом являются одними из наиболее радиочувствительных растений (в определенных условиях сосны погибают уже от дозы 600 Р¹). Такая чувствительность хвойных растений, с одной стороны, обусловлена многолетним периодом жизнедеятельности хвои, большими объемами ядер и хромосом в клетках, а с другой — специфической метаболических процессов.

Считается, что радиочувствительность организмов повышается по мере усложнения их организации, т. е. продвижения по эволюционной лестнице. Однако хвойные, родословная которых насчитывает более 250—300 млн. лет, по устойчивости к ра-

диации весьма близки к высокоорганизованным теплокровным животным. Устойчивость же лиственных пород (березы, осины, ивы, дуба) в 10—15 раз выше. Высокой устойчивостью отличаются мхи и лишайники, летальная доза для которых составляет 200—500 тыс. рад. Повышенная радиочувствительность хвойных приводит к мысли, что длительный промежуток в истории Земли (около 0,5 млрд. лет) радиационная обстановка была близкой к современной, а если и имело место повышение уровня радиации, то оно носило локальный характер.

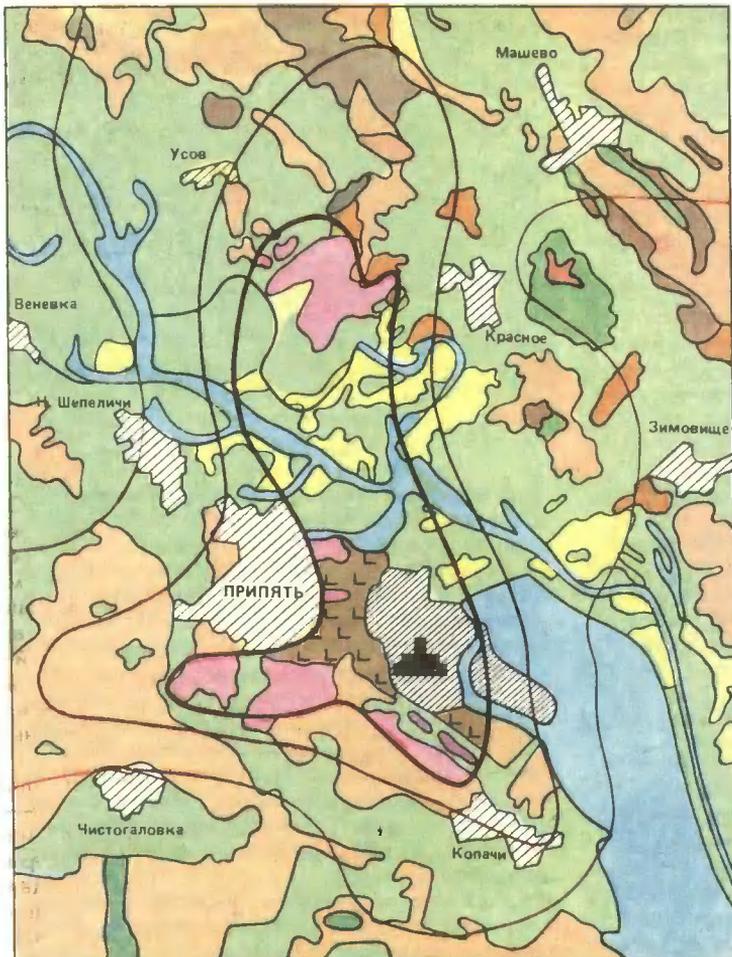
ЗОНЫ РАДИАЦИОННОГО ПОРАЖЕНИЯ

Уже первые радиозоологические исследования, начатые сотрудниками Института биологии Коми научного центра УрО АН СССР в районе аварии в мае—июне 1986 г., показали, что хвойные леса наиболее сильно пострадали от радиации. Основным объектом изучения взята сосна как главная древесная порода Чернобыльского леса, чувствительная к радиационным воздействиям. По степени поражения сосны в 30-километровой зоне ЧАЭС в конце вегетационного периода 1986 г. были выделены четыре основные зоны.

В зоне летального поражения погибли все деревья, как молодые, так и 60—100-летние. Это так называемый «рыжий лес», где поглощенная доза на 1 октября 1986 г. составляла 8—10 тыс. рад. Общая площадь погибших сосновых лесов к концу 1989 г. достигла 550—600 га, из которых выделяются два массива: вдоль западного следа, простирающегося до 4—5 км от АЭС, и северного (7—8 км от аварийного блока, на левом берегу р. Припять). Здесь частично пострадали и лиственные деревья, прежде всего береза повислая, дуб обыкновенный и красный северный, рябина обыкновенная, у которых усохли вершины и отдельные ветви, на многих ветвях появились необычно крупные листья, с несвойственной темно-зеленой интенсивной окраской; значительно снизился прирост по диаметру ствола.

Зона сублетального поражения, граница которой в основном параллельна границе первой зоны (поглощенная доза — от 800 до 2,5 тыс. рад). Здесь имеются два «пятна» с повышенным радиоактивным загрязнением: у с. Диброва (к юго-западу от АЭС) и у с. Крюково в Белоруссии (к северо-востоку). Общая площадь пораженных сосновых лесов в этой зоне около 3700 га, причем степень поражения различна в зависимости от величин экспозиционной и погло-

¹ Woodwell G. M., Sparrow A. H. & Radiat. Bot. 1963. V. 3. N 3. P. 231—237.



Зоны радиационного поражения хвойных лесов в районе аварии [масштаб 1:100 000]. Изолинии мощности экспозиционных доз — по состоянию на 01.06.86 г. Карта составлена по материалам В. С. Давыдчука, Г. М. Козубова, Ю. Д. Абатурова в 1990 г.



щенной доз, а также возраста и физиологического состояния деревьев, почвенных и гидрологических условий.

Наиболее пострадали молодняки и ослабленные насаждения на бедных песчаных почвах. Особенно четко радиационный «ожог» проявился на опушках и в редколесье. Погибла большая часть молодых побегов, отмечен массовый некроз точек роста, местами усохла хвоя, главным образом в нижней части кроны. На многих деревьях вблизи границы «рыжего леса» хвоя сохранилась лишь на отдельных ветвях. Большинство сосен в 1986 г. линейного прироста не дали. Однако уже к осени почти у всех деревьев, сохранивших жизнеспособность, появились боковые почки, в основном за счет разросшихся зачаточных почек укороченных побегов, что обеспечило восстановление роста в вегетационный период 1987 г.

В зоне среднего поражения (поглощенная доза 300–500 рад), как и во всей 30-километровой зоне, радиоактивное загрязнение пятнистое, весьма неравномерное. Общая площадь хвойных лесов здесь — около 12 тыс. га. Как и в сублетальной зоне, радиационное поражение лесов зависит от радиационных и экологических факторов и выражено по-разному. Наблюдались угнетение роста растений, гибель точек роста на верхушечных побегах, разрастание или частичное опадение хвои на побегах, снижение посевных качеств семян и приростов по диаметру стволов, образование различных морфозов, особенно в вегетационный период 1987 г.

Отсутствие надежных данных о радиационной обстановке в первые дни и часы после аварии не позволяет однозначно оценить суммарные поглощенные дозы на том или ином участке леса. Ретроспективный

анализ в данном случае не эффективен. Так, весной 1990 г. мощность экспозиционных доз для γ -излучения на поверхности почвы в погибших древостоях по западному следу колебалась от 6 до 50 мР/ч, а по северному — 4—5 мР/ч. Немалую роль здесь сыграл и состав радионуклидов в первый, наиболее активный период их выброса из аварийного реактора. По всей вероятности, судьбу пораженных насаждений решило острое («ударное») облучение при прохождении парогазоаэрозольных облаков, радиационный фон которых достигал тысяч рад. В то же время изучение реакции хвойных лесов на радиацию в районе аварии позволяет высказать предположение о неадекватности степени поражения сосны и мощностей экспозиционных доз в различных частях 30-километровой зоны.

К зоне слабого радиационного воздействия (поглощенная доза 50—100 рад) относятся практически все леса 30-километровой зоны и прилегающих к ней районов. Внешних признаков морфологических нарушений здесь нет, но в 1986—1987 гг. отмечены снижение всхожести семян, хромосомные аномалии в мейозе.

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ

Во всех четырех зонах и в контроле было заложено 14 экспериментальных участков (11 — в сосняках и 3 — в ельниках), на которых в 1986—1990 гг. изучались особенности морфогенеза вегетативных побегов, рост стеблей, биометрические показатели хвои, ее анатомическое и ультраструктурное строение, ежегодный прирост древесины по радиусу ствола, а также репродуктивные процессы. На большинстве экспериментальных участков определяли изотопный состав радионуклидов и общую β - и γ -радиоактивность почвы. В конце второго года после аварии основной вклад в суммарную γ -активность почвы вносили ^{144}Ce , ^{106}Ru и ^{137}Cs (табл. 1). Участки располагались в

основном по западному следу и различались мощностью β - и γ -излучения в 10 тыс. раз, что соответствовало радиоэкологическому ряду от зоны слабого воздействия до «рыжего леса».

Спектрометрический анализ хвои, почек и шишек сосны показал, что состав радионуклидов на всех экспериментальных участках близок к радиоизотопному составу почвы. При цитологических и гистологических исследованиях необходимо учитывать возможное действие на надземные органы и ткани «горячих частиц» (характерные размеры которых от 1—2 до 40—50 мкм, а активность достигает десятков микроюри на частицу). На поверхности хвои в 1986 г. подобные частицы в отдельных случаях «выжигали» своеобразные воронки.

Из результатов исследований видно, что больше всего хвойные пострадали от острого облучения в начальный период аварии, совпавший со стадией интенсивного роста молодых побегов и развития репродуктивных органов. Уже при поглощенных дозах (по γ -излучению) 350—400 рад отмерло большинство молодых вегетативных побегов, пыльников и женских шишек, усохла хвоя в нижней части крон. Сильно сократился прирост у ели, березы, ольхи черной и других пород. Максимальное угнетение прироста сосны наблюдалось во второй год после аварии, поскольку в 1986 г. еще сохранялся значительный запас питательных веществ с предыдущего вегетационного периода.

В реакции лесных экосистем на ионизирующее облучение в районе аварии по данным четырех лет наблюдений можно выделить три основных периода.

Первый период (26 апреля — 15 мая) — острое облучение в результате выброса продуктов деления в первые часы и дни после взрыва, когда с частью топлива из реактора «вырвались» все короткоживущие элементы, обладающие наибольшей биологической активностью. К середине мая почти

Таблица 1

Содержание радионуклидов в верхнем (1—3 см) слое почвы на экспериментальных участках (на октябрь 1987 г.)

Номер участка	Поглощенная доза, рад	Суммарная γ -активность, Ки/кг	Парциальный вклад в общую γ -активность, %					
			^{144}Ce	^{106}Ru	^{95}Sr	^{95}Nb	^{137}Cs	^{137}Cs
1	900—1200	$1,7 \cdot 10^{-5}$	45,9	28,7	2,6	5,7	4,9	12,2
2	380—510	$1,5 \cdot 10^{-5}$	46,6	16,7	1,7	3,9	6,6	24,5
3	80—120	$3 \cdot 10^{-6}$	47,1	19,4	2,9	4,8	5,9	19,9
4	180—260	$5,7 \cdot 10^{-6}$	46,3	22,1	2,3	5,2	5,5	19,6
5	Контроль	$7 \cdot 10^{-8}$	47,0	19,9	2,5	5,2	6	19,4
9	10 000—12 500	$2,7 \cdot 10^{-3}$	57,4	20	3	8,5	3,3	7,8

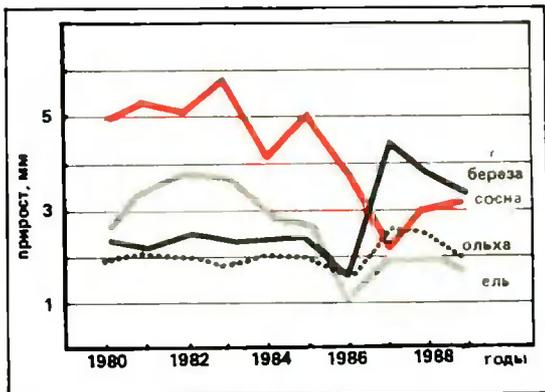


Горячая частица на поверхности сосновой хвои, сформировавшаяся в 1985 г. (увел. 400).

исчезли изотопы благородных газов и радиоактивного I (прошло два периода полураспада), снизился вклад других короткоживущих изотопов. В это время радиационное поражение лесов, в первую очередь хвойных, было наиболее тяжелым. К концу периода выброс радионуклидов из разрушенного реактора снизился, хотя загрязнение территории в ближней зоне АЭС осталось еще весьма высоким.

Второй период (15 мая — август — сентябрь) — хроническое облучение лесных экосистем при высоких мощностях ионизирующего излучения. За это время мощность экспозиционных доз на почве уменьшилась в 4—5 раз, а на отдельных участках и больше. В зонах сублетального и среднего поражения продолжался прирост отдельных побегов, сформировалась и частично отмерла хвоя, почти полностью опали молодые репродуктивные почки. Повсеместная задержка роста привела к образованию сильно укороченных и утолщенных побегов, с короткой сгущенной хвоей. На многих побегах (даже у сильно пораженных, но сохранивших жизнеспособность сосен и елей) заложилась замещающая боковая почка. У части деревьев в зоне среднего поражения появились множество крупных почек, наблюдались трансформация почечных чешуй в листовидные образования, рост вторичных побегов, различные аномалии формы и размеров хвои.

Нарушения пространственной ориентации побегов и ритмики роста, скорее всего, были вызваны определенными сдвигами в гормональной системе растений. Наиболее подвержены радиационному воздействию активно делящиеся клетки меристемы, поражение их, возможно, стало причиной угнетения синтеза ауксинов, локализован-



Прирост древесины по радиусу ствола у сосны, ели, березы и ольхи в 1980—1989 гг. Поглощенные дозы 2—2,5 тыс. рад. У ели, березы и ольхи наименьший прирост в 1986 г., у сосны — в 1987 г.

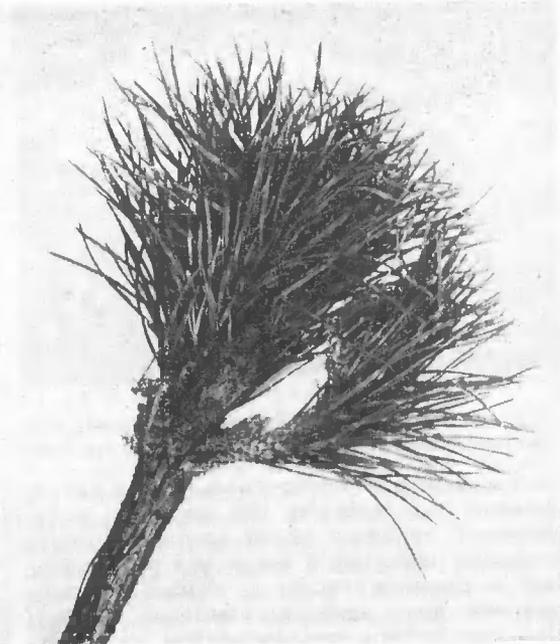
ного в образовательных тканях. Проявление различных атактистических признаков (разрастание почечных чешуй, образование почек удлинённых побегов на месте укороченных и др.), видимо, связано с активизацией «покоящихся» генов. Второй период завершился формированием потенциальных предпосылок к активизации восстановительных процессов в последующем году.

Третий период, начало которого относится к апрелю — маю 1987 г., характерен быстрым нарастанием восстановительных процессов, главным образом за счет интенсификации роста надземных вегетативных органов — стеблей и листьев. Радиационная обстановка к этому времени начала стабилизироваться: значительно снизились экспозиционные дозы (по сравнению с первым периодом в 10 и более раз) и прирост суммарных поглощенных доз за счет хронического облучения. В 1987 г. на участках с поглощенными дозами 250—400 рад у сосны и ели проявились отчетливые морфогенетические отклонения. На большинстве сосен и елей сформировалась «гигантская» хвоя (в 8—10 раз больше нормы). Подобный гигантизм в 1987 г. отмечен и у ряда лиственных пород. Во второй половине вегетационного периода 1987—1988 гг. на всех экспериментальных участках (даже с поглощенными дозами до 2—2,5 тыс. рад) закладывались мужские и женские репродуктивные почки, причем мужской генеративный ярус сместился вверх на 2—3 м. В 1987 г.

² Бреславец Л. П. Растения и лучи Рентгена. М.—Л., 1946; Гродзинский Д. М. Радиобиология растений. Киев, 1989.



Сильно укороченные побеги сосны, сформировавшиеся в 1986 г. Слева — искривленный побег с замещающими почками; справа — кисть укороченных побегов с необычно густой хвоей. Здесь и ниже поглощенная доза 300—400 рад.



усилился синтез ауксинов, нормализовалась генная репарация.

В 1988 и 1989 гг. продолжались восстановительные процессы; даже у сильно пораженных деревьев на границе с «рыжим лесом» быстро нарастала масса хвои и длина побегов. Однако суммарная продуктивность сосновых древостоев к 1989 г. так и не достигла нормы, хотя значительно возросла по сравнению с 1987 г. Вегетативные побеги у ели проявили большую радиочувствительность, чем у сосны: уже при дозах от 70—100 до 150—200 рад значительно снизился прирост, масса и размеры хвои (табл. 2).

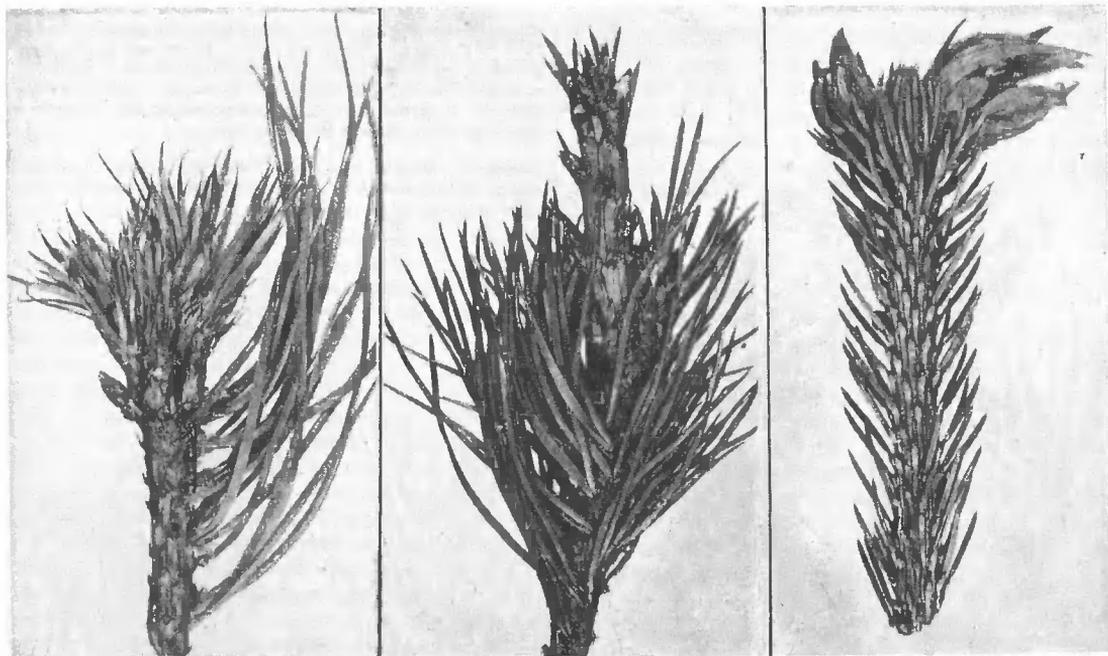
Наиболее радиочувствительной у сосны оказалась репродуктивная сфера. Так, при поглощенных дозах в 70—110 рад в 1987 г. при мейозе в микроспороцитах частота хромосомных аномалий увеличилась по сравнению с контролем в 2—3 раза (без видимых нарушений в вегетативной сфере). На участках с дозами 350—470 рад жизнеспособность пыльцы сосны в том же году снизилась до 47,7 % (против 76,2 % в контроле). Еще сильнее радиационное воздействие сказалось на женской сфере³: при поглощенных дозах в 180—260 рад почти

50 % семян отмерли, а при 380—510 рад — около 75 %. В 1986 г. была установлена пропорциональность процента пустых семян мощности поглощенных доз.

Наиболее устойчивыми к радиации оказались хвоя сосны и шишки второго года (развивающиеся даже после острого облучения с дозами 1—2 тыс. рад), а самыми чувствительными — молодые побеги, верхушечные клетки меристемы и репродуктивные структуры. Из субклеточных цитоплазмических органелл минимальная устойчивость к ионизирующему излучению наблюдалась у хлоропластов и митохондрий — органелл со сложной мембранной системой. Высокие дозы радиации привели к изменениям внутриклеточных структур: извилистой форме ядерной оболочки, расширению каналов эндоплазматического ретикулума, распаду рибосом, увеличению числа глобул в пластидах и белково-липидных глобул в цитоплазме, нарушению ориентации хлоропластов и другим перестройкам субклеточной организации⁴.

³ Козубов Г. М., Банникова В. П., Таскаев А. И. и др. Исследования репродуктивной сферы сосны обыкновенной в районе аварии на Чернобыльской АЭС: Препринт из сер. «Научные доклады». Киев: Ин-т ботаники АН УССР; Сыктывкар: Ин-т биологии Коми научного центра УрО АН СССР, 1988.

⁴ Козубов Г. М., Таскаев А. И., Ладанова Н. В. и др. Радиозоологические исследования сосновых лесов в районе аварии на Чернобыльской АЭС: Препринт из сер. «Научные доклады». Сыктывкар: Коми филиал АН СССР, 1987.



Аномальные побеги сосны и ели, сформировавшиеся в 1986 г. Слева — израстание почечных чешуй в листоподобные образования; в середине — вторичный побег, образовавшийся осенью 1986 г., на месте пар хвой заложилась боковые почки; справа — верхушечный побег ели с разрастанием хвоннок, облегающих почку, в чешуевидные структуры.

ПРОГНОЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ

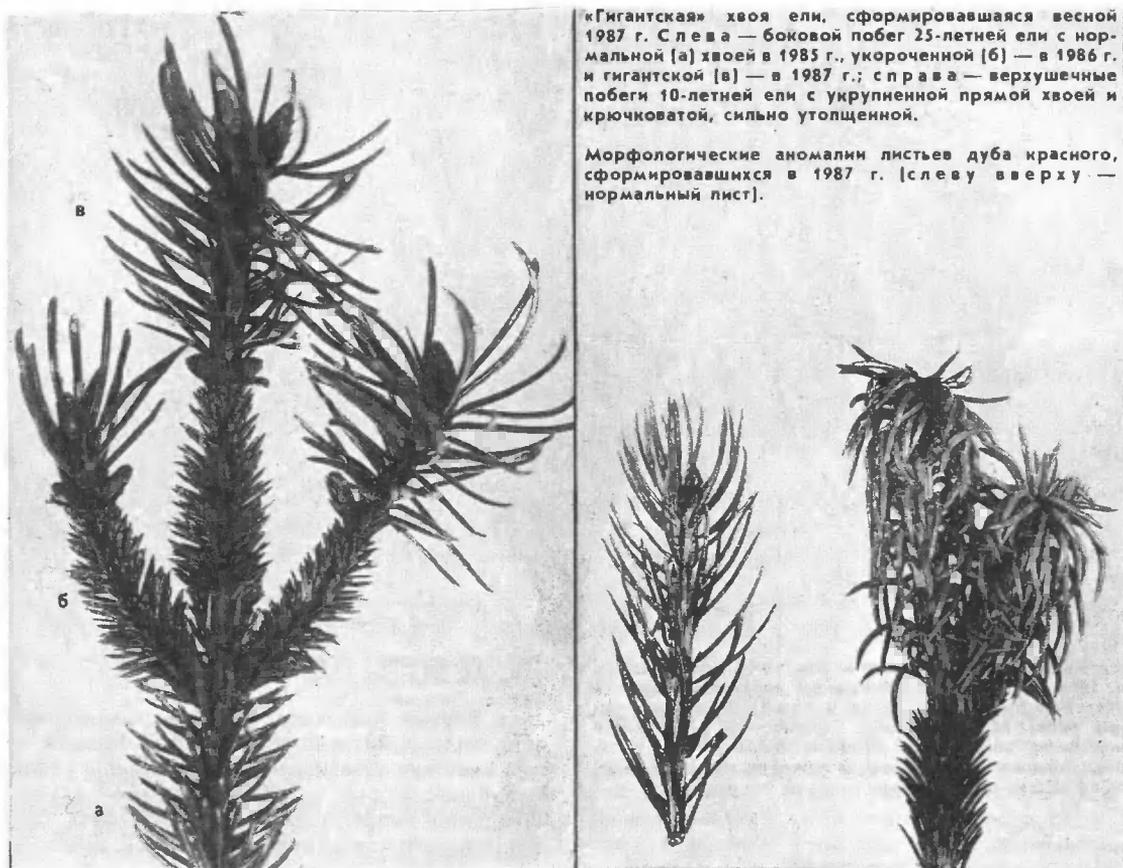
Результаты исследований позволяют дать благоприятный прогноз для большинства хвойных насаждений, сохранивших свою жизнеспособность к 1988 г. Однако на значительной территории лесов плотность радиационного загрязнения остается доволь-

Таблица 2

Биометрические показатели побегов ели на участках с различной поглощенной дозой

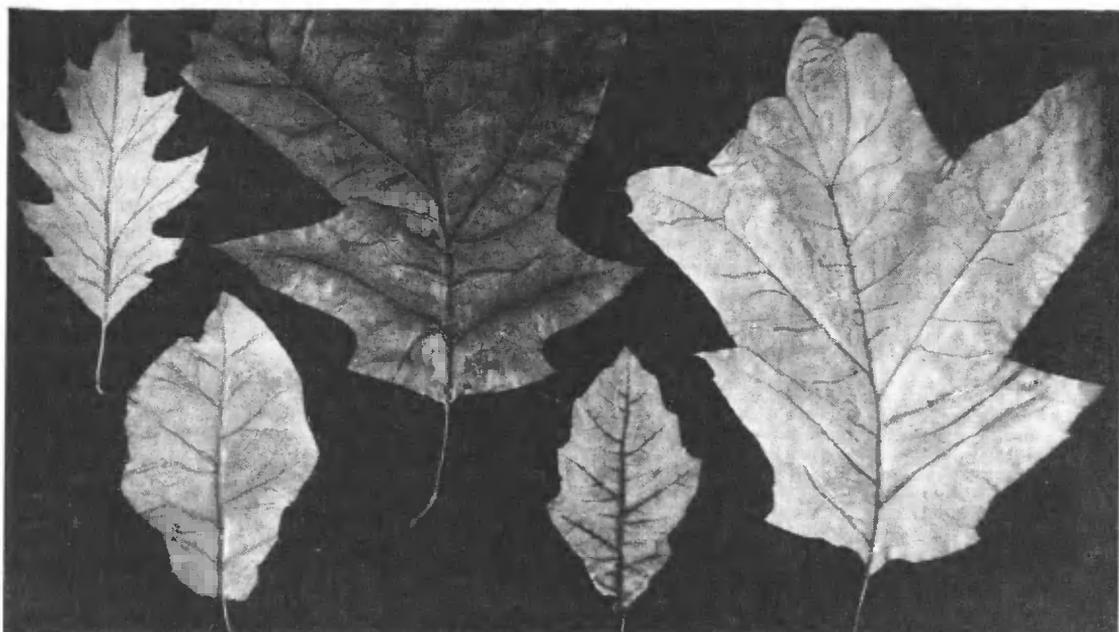
Год формирования	Прирост верхушечного побега I порядка, см	Кол-во хвой на 1 см	Средняя длина хвой, мм	Масса 100 шт. хвой, г
70—100 рад				
1985*	55,3±2,7	12,9±1,0	15,9±0,5	1,0
1986	30,2±2,5	36,6±0,8	12,7±0,5	0,4
1987	27,7±2,4	9,5±1,8	21±0,9	1,4
1988	40,4±2,8	13,6±0,7	16,4±0,5	1,3
150—200 рад				
1985*	49,5±2,3	14,4±1,5	14,3±0,4	0,9
1986	20,5±1,5	50,0±0,7	10,5±0,4	0,3
1987	26,8±1,7	10,0±1,6	21,0±0,8	1,7
1988	40,6±2,2	14,8±0,5	17,6±0,6	1,5
300—400 рад				
1985*	42,6±2,1	16,7±2,0	13,6±0,6	0,9
1986	18,5±1,9	40,4±0,6	12,6±0,6	0,4
1987	32,2±2,4	8,7±0,9	28,0±1,4	2,3
1988	45,8±2,8	14,5±0,7	18,6±0,8	1,9

* 1985 г. — контроль.



«Гигантская» хвоя ели, сформировавшаяся весной 1987 г. Слева — боковой побег 25-летней ели с нормальной [а] хвоей в 1985 г., укороченной [б] — в 1986 г. и гигантской [в] — в 1987 г.; справа — верхушечные побеги 10-летней ели с укрупненной прямой хвоей и крючковатой, сильно утолщенной.

Морфологические аномалии листьев дуба красного, сформировавшихся в 1987 г. (слева сверху — нормальный лист).



но высокой и, судя по стабилизации радиационной обстановки, сохранится еще надолго. Обычные инженерно-технические мероприятия по дезактивации таких лесных территорий и сельскохозяйственных угодий (т. е. выкорчевывание леса, снятие верхнего слоя почвы) бесперспективны и экономически нецелесообразны. Альтернативой могут стать биоэкологические пути. Самое правильное — сохранить имеющиеся в зоне лесные насаждения в естественном состоянии, провести реконструкцию частично поврежденных лесов и лесопосадки на сильно загрязненных площадях сельскохозяйственных угодий.

Посадка лесов — наиболее экономически эффективный способ экологической рекультивации 30-километровой зоны. Ведь леса — устойчивые экосистемы, мощный геохимический ландшафтный комплекс, способный значительно снизить миграцию радионуклидов и поверхностный сток влаги в речные системы. Лесные насаждения практически исключают перенос пыли и стабилизируют радиоэкологическую обстановку. Такие леса достигнут технической спелости

через 90—100 лет, когда плотность загрязнения резко снизится, так что древесину можно будет использовать в ряде отраслей народного хозяйства. Однако основная цель лесопосадок в том, что новые лесные массивы будут играть положительную средообразующую роль как источник кислорода, почво- и ветрозащитный фактор⁵. Все это позволяет рекомендовать для создания экологической защитной зоны вокруг действующих и строящихся АЭС посадку лесов в радиусе не менее 30—40 км.

Особое значение в перспективе должны получить генетико-селекционные исследования потомства облученных деревьев, естественного возобновления на загрязненных территориях, отбор и изучение радиоустойчивых форм сосны и ели, контролируемое опыление, гибридизация, физиолого-биохимические и морфофункциональные исследования образовавшихся модификационных и мутантных форм.

⁵ Козубов Г. М., Таскаев А. И., Игнатенко Е. И. и др. Радиационное воздействие на хвойные леса в районе аварии на Чернобыльской АЭС. Сыктывкар, Коми научный центр УрО АН СССР, 1990.

Комплексное картографирование загрязненных территорий

Е. М. Коробова

В. Г. Линник,

кандидат географических наук,

С. К. Новикова,

кандидат химических наук

Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР

3 А ПЯТЬ ЛЕТ, прошедших после аварии на Чернобыльской АЭС, задачи и подходы к картографированию загрязненных территорий претерпели существенные изменения.

На первом этапе работ по ликвидации последствий аварии, потребовавшем оперативной оценки радиационной обстановки, Госкомгидрометом СССР были выявлены территории с различным уровнем загрязнения долгоживущими радионуклидами. Они отображены на топографических картах масштаба 1:500 000.

Ведется постоянный контроль за изменениями радиационной обстановки на всех наиболее загрязненных территориях. По имеющимся данным, площади этих ареалов и их границы после аварии практически не изменились. Это обусловлено значительным вкладом в радиоактивное загрязнение труднодоступных «горячих частиц» и сравнительно прочным связыванием в почвах радиоактивного цезия, на долю которого вне 30-километровой зоны приходится от 80 до 100 % суммарного загрязнения искусственными радионуклидами.

Уделяется менее загрязненным территориям, где безопасное проживание и хозяйственная деятельность возможны только при строгом радиоэкологическом контроле, где любой из видов хозяйственной деятельности нуждается в адаптации с учетом природных и антропогенных факторов, определяющих региональные и локальные особенности распределения и миграции радионуклидов.

Подобная информация, необходимая как для долговременного контроля, так и для прогноза радиоэкологической обстановки, находит отражение на ландшафтно-геохимических

Вот уже несколько лет — Ныне — особое внимание

картах. На них наряду с областями загрязнения фиксируются условия и факторы, влияющие на миграцию радионуклидов во всех природных средах, выделяются зоны их вторичной аккумуляции. Таким образом, ландшафтно-геохимические карты — необходимая основа для создания радиэкологических карт и в конечном счете — для оценки возможного поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию и корректировки величин дозовых нагрузок в зависимости от природных особенностей территорий.

К сожалению, пока ландшафтно-геохимические карты имеются только для отдельных территорий, да и те часто не являются прогнозными. Ни у нас, ни за рубежом нет опыта создания сводных ландшафтно-геохимических карт с набором параметров, необходимых для расчета локальных и региональных моделей миграции радионуклидов.

На основании постановления Верховного Совета СССР «О единой программе ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС и ситуации, связанной с этой аварией», постановления Совета Министров СССР и распоряжения Президиума АН СССР перед рядом научных и производственных организаций постав-

лена задача создать сводные средне- и крупномасштабные ландшафтно-геохимические и радиэкологические карты для всей загрязненной радионуклидами территории. Организация этих работ по линии Академии наук возложена на Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР (ГЕОХИ).

В январе 1991 г. в ГЕОХИ состоялось первое координационное совещание по указанной проблеме, в котором участвовали представители более 40 организаций союзного и республиканского подчинения. Собравшиеся обсудили программу создания среднимасштабных (1:200 000 — 1:500 000) ландшафтно-геохимических и радиэкологических карт загрязненных территорий, а также основные принципы их построения. Авторы проекта — Л. М. Хитров, В. Г. Линник и Е. М. Коробова.

При создании ландшафтно-геохимических карт предполагается использовать имеющиеся гидрогеологические, геоморфологические, почвенные, геоботанические и другие отраслевые карты масштаба 1:200 000. На их основе будут построены республиканские (1:200 000) и общесоюзные (1:500 000) ландшафтно-геохимические и радиэкологические карты загрязненных террито-

рий. При этом отдельные участки — ключи — предполагается проработать более детально (в масштабе 1:50 000).

Предстоит серьезная работа по сбору и анализу огромного массива фактологической и картографической информации, накопленной самыми различными ведомствами — Госкомгидрометом, Агропромом, Мингео и др. Необходимо обобщить всю эту информацию и привести ее к единому масштабу, что невозможно без разработки единых принципов, критериев и методов картографирования.

Работы планируется начать с создания среднимасштабных ландшафтно-геохимических карт сопряженных территорий Украины, Белоруссии и России (Киевская, Черниговская, Гомельская и Брянская области), проведя здесь дополнительные полевые исследования. В дальнейшем картографированием будут охвачены все загрязненные территории.

В перспективе предполагается разработать единую иерархическую систему создания радиэкологических карт, учитывающую все факторы миграции радионуклидов, а также построить общесоюзный банк радиэкологической информации. Только так удастся сопоставить многочисленные прогнозные оценки и модели миграции радионуклидов.

РЕКЛАМА, ОБЪЯВЛЕНИЯ

*Институт геохимии и аналитической химии
им. В. И. Вернадского АН СССР*

предлагает

разработки размещаемых на автомобилях комплексов различных модификаций для непрерывного гамма-спектрометрического контроля радиационной обстановки и дистанционного измерения поверхностной плотности радиоактивного загрязнения.

Адрес: 117975 Москва, ул. Косыгина, 19;
тел.: 137-86-51; телекс 411633 TERRA SU; телефакс: 938-20-54

Современная репродуктивная стратегия

А. И. Никитин



Анатолий Илларионович Никитин, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией раннего эмбриогенеза Института акушерства и гинекологии им. Д. О. Отта АМН СССР, руководитель программы экстракорпорального оплодотворения. Научные интересы связаны с изучением процессов раннего эмбриогенеза, влияния неблагоприятных факторов среды на развитие половых клеток и зародыша, коррекции нарушений репродуктивной функции у человека.

НЕПОЛНОЦЕННЫЙ умственно или физически, а также страдающий хроническим заболеванием ребенок — это не только трагедия для семьи, но и тяжелый груз для государства, потеря определенного интеллектуального потенциала для общества.

Именно поэтому наилучшим индикатором социального и экономического благополучия общества служит состояние охраны здоровья матери и ребенка, наглядный показатель которого — величина ранней детской смертности (до 1 года). В последние десятилетия в некоторых промышленно развитых странах она снизилась до 6 на 1 тыс. родившихся.

По мнению ряда социологов и врачей развитых стран, дальнейшее снижение ран-

ней детской смертности уже почти не зависит от улучшения условий жизни и связано не столько с осложнениями беременности и родов, сколько непосредственно с периодом зачатия. Это и должно определить на ближайшие десятилетия современную репродуктивную стратегию, базирующуюся на научных основах планирования семьи. Цель ее — предупредить или снизить частоту беременности в случаях, когда зародыш может сформироваться из неполноценных половых клеток и зигот или когда возможно зачатие в неблагоприятных условиях, пагубно влияющих на половые клетки и развивающийся эмбрион.

Сама постановка задачи говорит о необходимости пристального изучения самых ранних стадий формирования зародыша. Как установлено, внутриутробная гибель у человека наиболее высока в первую неделю после зачатия: 16 % гамет вообще не способны к оплодотворению, а 42 % зародышей погибают в ближайшие дни после него. Это позволяет считать, что ранняя эмбриональная гибель в значительной степени связана с изменениями, возникающими в яйцеклетке еще до ее выхода из фолликула, т. е. с проэмбриональными нарушениями онтогенеза.

Строго говоря, возникающие в половых клетках и передающиеся потом изменения относятся к разряду мутационных. Формирующиеся на их основе хромосомные и геномные мутации лежат в основе большой группы наследственных заболеваний и синдромов, возникают в половых клетках при образовании гамет, оплодотворении и на первых этапах дробления зиготы. Роль их в патологии плода и новорожденного особенно выросла в последние годы. Установлено, что до 50 % зародышей, погибающих на предимплантационных стадиях, а также во время имплантации, несут те или иные хромосомные аномалии. Хотя гибель аномальных эмбрионов принято относить к так называемому очищающему отбору, значительное увеличение этого показателя может стать причиной бесплодия, а увеличение числа эмбрионов с хромосомными

Частота гибели на различных этапах внутриутробного развития человека

Время после овуляции, нед	Доля выживших, %	Доля погибших, %
0—0,5	84 (оплодотворились)	16
0,5—1	69 (имплантировались)	15
2	42	5
3—6	37	2,9
7—10	34,1	1,7
11—14	32,4	0,5
15—18	31,9	0,3
19—22	31,6	0,1
23—26	31,5	0,1
27—30	31,4	0,1
31—37	31,3	0,2
38—40	31,2	0,2
Итого	31	69

аномалиями — сопровождаться ростом спонтанных аборт, хромосомных болезней, пороков развития, нарушением частоты внутриутробной гибели плодов, заболеваемости и смертности новорожденных.

Следовательно, основная задача современной репродуктивной стратегии состоит в том, чтобы устранить неблагоприятные факторы, препятствующие нормальному созреванию гамет, оплодотворению и раннему (доимплантационному) развитию.

Если говорить о репродуктивной стратегии для нашей страны, то следует сразу оговориться, что она не может быть единой для всего Союза. В настоящее время ранняя детская смертность в СССР составляет в среднем 22,2 на 1 тыс. с колебаниями от 11—12 в Прибалтике и Белоруссии до 60—80 и более в некоторых регионах, прежде всего в Средней Азии, и особенно в зонах экологического бедствия (Приаралье, ряд районов Туркмении и т. д.). Эти цифры отражают как проблемы медицинского обслуживания, так и состояние окружающей среды. Используемые здесь в сельском хозяйстве ядохимикаты, в частности пестициды, обнаружены не только в питьевой воде и продуктах питания, но и в молоке кормящих матерей. Зависимость здоровья человека от экологических факторов иллюстрирует и рост детской смертности в Приаралье, достигшей в последние годы 90 и более на 1 тыс., который начался в конце 60-х годов, т. е. совпал с резким падением уровня моря.

В таких регионах в первую очередь нужно устранить влияние на мать и ново-

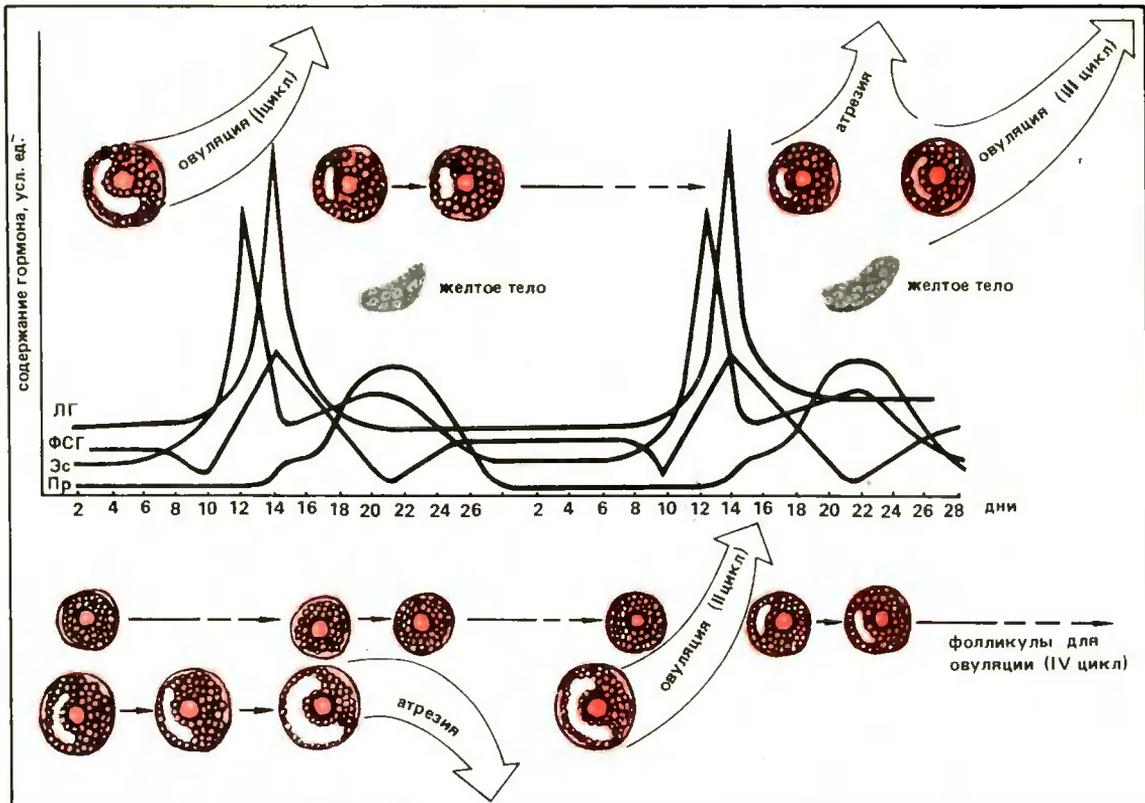
рожденного вредных факторов среды и провести ряд мероприятий медицинского и социального характера. Достаточно сказать, что около 70 % родильных домов в Каракалпакии до последнего времени не имели канализации, медицинские учреждения плохо обеспечены диагностической и лечебной аппаратурой, лекарственными препаратами, не хватает молочных продуктов, очень высока заболеваемость (прежде всего анемией) молодых женщин гепатитом и другими заболеваниями. Здесь наряду с проведением общих оздоровительных мероприятий необходимо незамедлительно наладить снабжение населения качественной питьевой водой и продуктами питания и резко увеличить расходы на охрану материнства и детства.

Однако и здесь некоторые элементы современных направлений научного планирования семьи, нацеленные на предупреждение зачатий, ведущих к формированию плода с патологическими изменениями, могут способствовать улучшению состояния здоровья и матери, и ребенка. Прежде всего, это сокращение рождаемости и увеличение интервала между родами. У часто рождающих женщин (а в Средней Азии рожают до 10—12 раз), начиная с 4—5-й беременности значительно ухудшаются условия развития плода, что связано с изменениями в матке и, вследствие этого, формированием неполноценной плаценты. В результате нарушается поступление кислорода и других питательных веществ к плоду.

Особенно неблагоприятно сказываются на будущем потомстве беременности, наступающие через короткие интервалы времени. Связано это с тем, что подавленная во время лактации гонадотропная активность гипофиза, сопровождающаяся так называемой лактационной аменореей, восстанавливается только спустя несколько месяцев. В то же время ее нормальный ритм совершенно необходим для образования способной к оплодотворению гаметы, овуляции и формирования желтого тела, обеспечивающего подготовку слизистой матки к имплантации эмбриона. Таким образом, речь идет о связи патологии гамет и раннего развития с гормональными нарушениями.

МЕХАНИЗМ ГОРМОНАЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ

Роль гормональной регуляции репродуктивного процесса в течении нормального гаметогенеза и овуляции стала обособиваться сравнительно недавно благодаря



Изменение содержания гонадотропных — фолликулостимулирующего [ФСГ] и лютеинизирующего [ЛГ] — и стероидных — эстрадиола [Эс] и прогестерона [Пр] — гормонов и последовательность развития фолликулов в течение ряда менструальных циклов у человека. Рост фолликулов, их созревание и обратное развитие (атрезия) регулируются гонадотропными гормонами, секреция которых, в свою очередь, зависит от стероидных гормонов, продуцируемых фолликулами.

сов проовулировать. После овуляции фолликул трансформируется в желтое тело — источник прогестерона — гормона, способствующего имплантации зародыша. При созревании яйцеклетки половина ее хромосом «уходит» в полярное тело, в результате чего их общее число уменьшается вдвое и яйцеклетка превращается в гаплоидную гамету, участвующую в последующем оплодотворении. При этом мейоз, блокированный еще во внутриутробном периоде, возобновляется в результате увеличения в середине менструального цикла концентрации лютеинизирующего гормона в крови. Этот гормон одновременно «включает» и процессы, приводящие к овуляции.

внедрению новых методов: радиоиммунологических, молекулярно-биологических и др. Этому способствовали также детальные исследования этапов фолликулогенеза и овуляции. Как выяснилось, регулярный рост фолликулов, их овуляция и атрезия (обратное развитие) контролируются прежде всего гонадотропными (фолликулостимулирующим и лютеинизирующим) гормонами. Растущие фолликулы секретируют эстрогены (эстрадиол и прогестерон), влияющие, в свою очередь, на интенсивность секреции гонадотропинов. Установлено, что рост фолликулов зависит в основном от фолликулостимулирующего гормона, а созревание яйцеклетки и овуляция — от лютеинизирующего. Фолликул, продуцирующий большее количество эстрадиола, растет наиболее интенсивно и имеет больше шан-

Такой эволюционно сложившийся механизм синхронизирует два причинно не связанных процесса: созревание яйцеклеток и овуляцию, что обеспечивает выход в яйцевод зрелой, готовой к оплодотворению гаметы. Если для возобновления мейоза достаточно и небольшого увеличения секреции лютеинизирующего гормона, то для индукции овуляции требуется его полноценный выброс. При «настройке» эндокринной системы на нормальный ритм после

родов, т. е. при переходе от ановуляции (отсутствия овуляции) к овуляции возможна, как установлено, недостаточная секреция лютеинизирующего гормона¹.

Следовательно, при восстановлении гонадотропной функции гипофиза может возникнуть ситуация, когда яйцеклетка завершила первое деление созревания и готова к оплодотворению, а овуляция, вследствие недостаточного (или растянутого во времени) увеличения секреции лютеинизирующего гормона, задерживается. Тогда возникает так называемое внутрифолликулярное перезревание («старение») яйцеклетки. При этом меняются свойства ооциты, в частности ее кортикального слоя, препятствующего проникновению в яйцеклетку избыточных сперматозоидов, а также структуры, обеспечивающие расхождение хромосом (прежде всего, аппарата веретена). Чаще всего эти нарушения вызывают гибель гамет, потерю способности к оплодотворению или формирование зиготы с несбалансированным хромосомным набором. В результате зародыши погибают или формируются эмбрионы с хромосомными аномалиями (например синдром Дауна).

Большое число исследователей рассматривает внутрифолликулярное перезревание и другие типы нарушений формирования женских гамет как весьма распространенное явление, наблюдающееся в ряде ситуаций, сопровождающихся нарушением нейрогормональной регуляции репродуктивной функции. Так, голландский ученый П. Джонблат связывает, в частности, внутрифолликулярное перезревание гамет с сезонными изменениями в секреции гормонов².

РОЛЬ СЕЗОННЫХ РИТМОВ

Хорошо известна связь половой активности животных с сезонами. Нейрогормональные механизмы, регулирующие эту активность, зависят от продолжительности светового дня, температуры и т. д. Менее изучено влияние на репродуктивную функцию давления, влажности, радиационного фона и др. Ритмы репродуктивной активности, сформировавшиеся под влиянием этих факторов, оказались включенными в репродуктивный процесс у человека. Недаром менструальные циклы сходны по продолжительности с лунными, хотя, прямая связь между ними и утрачена.

Сезонные изменения половой активности у животных возникли как адаптивный механизм, обеспечивающий рождение и вскармливание потомства в благоприятные периоды года. В основе этих изменений лежит гормональные изменения, сопровождающиеся подавлением циклической деятельности нейроэндокринной системы и, как следствие этого, отсутствием овуляции. Возникновение таких ановуляторных состояний обусловлено изменением активности гипоталамуса, связанной, в свою очередь, с активностью эпифиза, реагирующего на смену долготы светового дня. При этом глаза действуют как фоторецептор, передающий по зрительным нервам информацию в ядра переднего гипоталамуса.

Вероятно, наблюдающиеся в животном мире сезонные ритмические колебания в работе репродуктивной системы, первоначально были в полной мере свойственны и человеку. Об этом свидетельствуют, например, записи, относящиеся к концу XIX в., о том, что у женщин-эскимосок во время полярной ночи прекращались месячные³. Однако с развитием цивилизации жесткая зависимость активности репродуктивной системы человека от внешних (сезонных) и других факторов в значительной степени ослабела. Но и в настоящее время примерно 10 % менструальных циклов у здоровых женщин протекают как ановуляторные. Чередование овуляции и ановуляции связано, очевидно, с сезонными изменениями активности нейроэндокринной системы. Так, статистика родов в Западной Европе, США и Австралии показала, что за некоторыми исключениями в ряде регионов «кривая рождаемости» у человека имеет следующий характер: широкий пик в зимние месяцы, спад весной, небольшой подъем летом, значительное снижение осенью. Следовательно, как и у других видов млекопитающих, зачатие у человека чаще происходит в весенние и осенние месяцы.

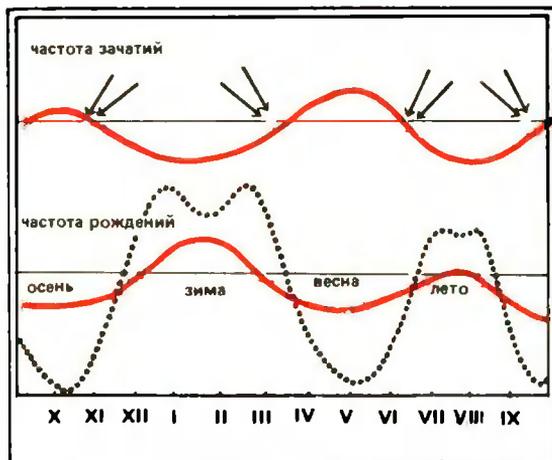
Джонблат выдвинул оригинальную гипотезу, объясняющую сезонное изменение частоты некоторых видов врожденной патологии у человека⁴. Он предположил, что при переходе от ановуляции к овуляции, когда в организме имеется та или иная степень гормональной недостаточности, процессы овуляции и созревания ооцитов десинхронизируются. Учитывая роль этого явления в патологии эмбриона, Джонблат предполо-

¹ Walker M. L., Wilson M. E., Gordon T. P. // *Endocrinology*. 1984. V. 114. N 4. P. 1074—1081.

² Jongbloet P. H., Mulder A., Hamers A. Y. // *Hum. Genet*. 1982. V. 62. N 1. P. 134—138.

³ Stieve H. // *Naturwissenschaft*. 1950. V. 37. S. 8—13.

⁴ Jongbloet P. H. The effect of preovulatory overripeness of human eggs on development. Seasonality of birth // *Aging gametes*. Basel, 1975. P. 300—329.



Схема, иллюстрирующая частоту зачатий и рождений в различные сезоны года у человека. Пунктирная линия — предполагаемая динамика рождения детей с врожденной патологией. Стрелками отмечены периоды зачатий, происходящих на «стыках» овуляторных и анювуляторных циклов, при смене сезонов года (по П. Джонблату).

жил, что максимум рождения детей с врожденной патологией должен приходиться на период зачатий, происшедших на стыках овуляторных и анювуляторных циклов (т. е. при смене сезонов), а кривая, отражающая частоту этой патологии, должна иметь две вершины. Анализ фактических данных для Голландии и ряда европейских стран показал, что максимум рождения детей с энцефалией, синдромами Дауна, Клайнфельтера, Шерешевского — Тернера и некоторыми другими врожденными заболеваниями действительно в значительной степени соответствует зачатиям в периоды смены сезонов, и соответствующая «кривая» близка к двухвершинной.

Интересно, что определенное соответствие сезону рождения замечено и в отношении развития у человека других типов патологии, в том числе не носящих явно врожденного характера, таких как психозы, шизофрения, различные формы умственной отсталости, туберкулез, ряд злокачественных опухолей и др.

СТРЕСС И ДРУГИЕ ФАКТОРЫ

Нарушения овуляции и связанные с этим изменения в яйцеклетке могут наблюдаться и при ряде других состояний, например при стрессе. Хотя со времен Г. Селье роли стресса в патологии человека уделяется большое внимание, значение его в осуществлении основных функций организма,

в том числе и репродуктивной, еще до конца не ясна. Школой Д. К. Беляева показано участие стресса в эволюции через нейроэндокринные сдвиги в организме и, следовательно, в значительной степени через изменения в системе репродуктивного гомеостаза⁵. В современном мире стресс стал постоянным и в определенной мере необходимым спутником человека. Однако чрезмерные стрессорные раздражители, особенно новые, «не освоенные в процессе эволюции» факторы, действующие как стрессорные, могут отразиться и на ряде функций организма, в том числе репродуктивной. Влияние стресса на репродуктивный процесс, очевидно, осуществляется через подавление гонадотропной стимуляции и, как следствие, через нарушения созревания гамет и овуляции.

Уже давно описаны формы нарушений репродуктивной функции, сопровождающиеся инфертильностью и связанные с чрезмерным психоэмоциональным напряжением, обусловленным стрессорными состояниями: аменоррея «военного времени», «концлагеря и тюремного заключения», «первого поцелуя», ановуляция при «страхе беременности», нарушения менструальной функции при переезде в другие климатические регионы (особенно с экстремальными природными условиями), например, у сезонных рабочих, стюардесс и т. д. — по сути дела явления одного порядка. В механизме их развития основное значение имеет подавление активности гонадотропной функции гипофиза. Интересны и данные об увеличении внутриутробной патологии у детей, зачатых в первый месяц после свадьбы, т. е. в определенном стрессовом состоянии. По мнению А. Ли и Д. Макдональд, важным стрессорным фактором, отрицательно влияющим на репродуктивную функцию, может быть и увеличение плотности популяции (перенаселение)⁶.

Вероятно, аналогичные механизмы срабатывают и при действии на репродуктивную систему вредных факторов среды: алкоголя, химических и других вредных сельскохозяйственных или промышленных факторов, курения, наркотических средств, ряда лекарственных препаратов. Известно, например, что барбитураты в эксперименте вызывают задержку овуляции. Десинхронизацию созревания половой клетки и овуляции может вызвать и изменение фото-

⁵ Беляев Д. К. Развитие эволюционной теории в СССР. Л., 1983. С. 266.

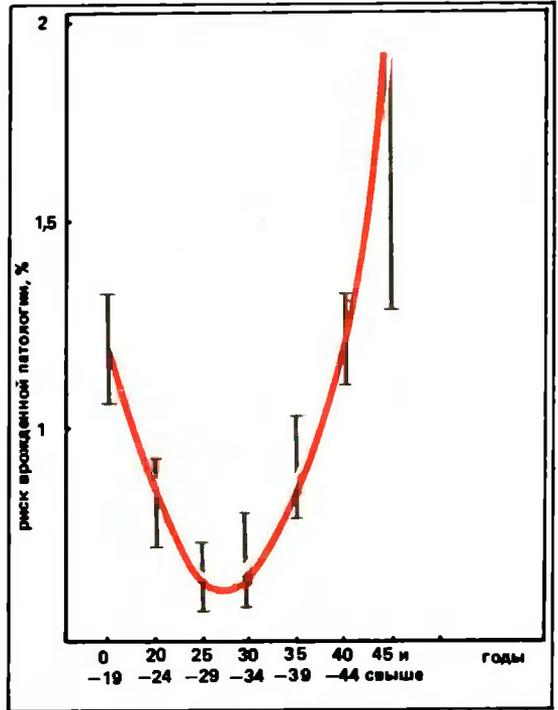
⁶ Lee A., McDonald D. Stress and population regulation in small mammals // Oxford reviews of reproductive biology. 1985. V. 7. P. 261—304.

периодизации (ночные, сменные, вахтовые работы и т. п.).

Разобщение созревания и овуляции возможно и в первые месяцы после отмены гормональных контрацептивных средств, а также после искусственного аборта. Имеются данные о том, что дети, зачатые во время приема контрацептивных препаратов (при несоблюдении точных схем их введения в организм) или в первые циклы после прекращения их приема, чаще имеют те или иные отклонения в развитии. О реальности механизма, связанного с нарушением циклической гонадотропной стимуляции, свидетельствует хорошо установленный факт более частого рождения детей с той или иной формой врожденной патологии при зачатиях у девушек-подростков и женщин после 36 (особенно после 40) лет⁷. И у тех и у других налицо нарушение гормональной регуляции овариальной функции, связанное с ее настройкой на ритмичное функционирование в первом случае и ее угасанием — во втором.

Гормональная регуляция репродуктивной функции может нарушаться и при таких заболеваниях, как хроническое воспаление придатков, эндометриоз, различные виды эндокринной патологии, скажем сахарный диабет. Особо следует остановиться на случаях, когда для коррекции менструальной функции используется гормональное лечение. Часто эти состояния (например, синдром Штейна—Левенталя) сопровождаются изменениями в течении фолликулогенеза, нарушением развития яйцеклеток и их дегенерацией (атрезией). Образовавшиеся при этом гаметы исключаются из репродуктивного процесса либо через ановуляцию, либо в результате неспособности к оплодотворению. Возникающая в таких условиях инфертильность играет охраняющую воспроизводительную функцию роль.

Другая ситуация возникает при гормональной коррекции репродуктивной функции или гормональной индукции суперовуляции у животных. Как показано рядом исследователей, введение фолликулостимулирующего гормона «спасает» фолликулы от атрезии. Последующее же введение лютеинизирующего гормона может вовлечь в овуляцию фолликулы с аномальными яйцеклетками. Каковы результаты такого вмешательства в репродуктивный процесс? Хотя однозначной оценки последствий гормональной стимуляции для потомства нет, имеются данные о том, что при этом увеличивается частота самопроизвольных выкиды-



Кривая, иллюстрирующая зависимость врожденной патологии у новорожденных от возраста матери (по А. Паркесу).

шей (в основном с аномальным кариотипом) и врожденных пороков (в том числе синдрома Дауна), повышается перинатальная (от 7 мес. беременности до 7 дней после родов) смертность и т. д. В основе этой патологии может лежать связанное со стимуляцией гормональной функции изменение скорости мейоза в ооцитах, отрицательно сказывающееся на расхождении хромосом. Кроме того, при гормональных нарушениях, введении в организм гормональных препаратов возможна овуляция яйцеклетки, не завершившей первое деление созревания, т. е. незрелой, в результате чего возможно появление зародыша с аномальным кариотипом.

СОЦИОКУЛЬТУРНЫЕ ФАКТОРЫ

Старение гамет возможно и после своевременной овуляции при позднем или задержанном оплодотворении, когда овуляция и коитус разделены сравнительно большим промежутком времени. Формирование особенностей полового поведения человека сопровождалось утратой функциональной связи сексуальной активности с мо-

⁷ Parkes A. // Science, 1970. V. 6. N 1. P. 26—30.

ментом овуляции. Поэтому ситуация задержанного оплодотворения у человека возникает, видимо, значительно чаще, чем у животных, — у них эти процессы достаточно жестко синхронизированы и выработана особая форма полового поведения, при котором спаривание происходит только в соответствующей фазе овариального цикла — эструсе. Сказанное связано с мощным вторжением в биологию человека социокультурных факторов, что привело к фактическому «отчуждению» полового акта от потребностей деторождения, превратив его преимущественно в источник наслаждения. Это способствовало десинхронизации овуляции и оплодотворения, сопровождающейся перезреванием как женских, так и мужских гамет. Влияние этого феномена на репродуктивную функцию подтверждается большей частотой хромосомных аномалий у ранних зародышей человека, а также широким спектром и высокой частотой «спонтанных» пороков развития у человека по сравнению с животными.

Ряд исследователей связывает увеличивающуюся с возрастом женщин частоту некоторых хромосомных аномалий плода с задержанным оплодотворением⁸. При этом исходя из того, что снижающаяся с возрастом половая активность супругов не может надежно обеспечить своевременную «встречу гамет». Поэтому, в частности, учащение синдрома Дауна у потомства «пожилых» матерей, можно объяснить возникающим часто постовуляторным перезреванием яйцеклетки, связанным с задержанным оплодотворением.

По некоторым наблюдениям, задержанное оплодотворение чаще встречается также у женщин, не живущих регулярной половой жизнью, и в случаях, когда для предохранения от беременности используется так называемый «календарный» метод (при этом способе контрацепции время овуляции определяется лишь приблизительно). В то же время промежутки, в течение которого яйцеклетка способна к нормальному оплодотворению, не превышает 24 ч, а по ряду данных, всего 8 ч. В многочисленных экспериментах с задержкой осеменения от нескольких часов до нескольких дней показано, что увеличение задержки учащает перинатальную гибель потомства и внутриутробную патологию⁹. Нередко в «постарев-

ших» яйцеклетках наблюдается так называемая дигиния (невыделение второго полярного тельца), ведущая к формированию полиплоидной зиготы.

КРИТИЧЕСКИЕ ПЕРИОДЫ РАЗВИТИЯ

Еще один важный аспект, касающийся механизмов нарушения репродуктивного процесса у человека, заключается в том, что действие повреждающих его факторов неоднозначно в разные фазы онтогенеза. В 60-е годы П. Г. Светлов развил учение о критических периодах эмбрионального развития с точки зрения возникновения внутриутробной патологии. Такие периоды (когда формирующиеся структуры эмбриона наиболее уязвимы) обычно совпадают с начальными этапами формирования тех или иных зачатков органов, происходящих, в основном, в первые 9 недель беременности. Исходя из этого, Светлов предложил законодательно обеспечить охрану здоровья женщин в это время (исключение из вредного производства, создание благоприятного режима труда и отдыха, отпуск и т. п.). Однако и сегодня эти предложения далеки от реализации.

В своих последних работах Светлов высказал мысль о том, что критические периоды имеются и в гаметогенезе¹⁰. Исследования, проведенные в лаборатории раннего эмбриогенеза человека Института акушерства и гинекологии АМН СССР, показали, что возобновление мейоза в яйцеклетке, соответствующий преовуляторному периоду полового цикла, особенно чувствителен к повреждающим воздействиям¹¹. Так, алкоголь и ряд других веществ вызывают в это время наибольшие нарушения, вплоть до возникновения хромосомных аномалий. Это позволило разработать схему эксперимента с воздействием неблагоприятных факторов в наиболее уязвимый (преовуляторный) период полового цикла. Следовательно, речь должна идти не только о специальной «охране ранних сроков беременности», но и об охране преовуляторного периода полового цикла.

ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ

Современная репродуктивная стратегия должна включать также такой обяза-

⁸ Gierman J. // Nature. 1968. V. 217. P. 516—523; James W. H. // Am. J. Med. Genet. 1988. V. 31. N 1. P. 177—178.

⁹ Никитин А. И. // Акушерство и гинекология. 1981. № 3. С. 6—9.

¹⁰ Светлов П. Г. // Вестн. АМН СССР. 1966. Вып. 6. С. 26—34; Там же. 1974. Вып. 3. С. 74—80.

¹¹ Слозина Н. М., Нарзуллаева М. С., Никитин А. И. // Генетика. 1990. Т. 26. № 1. С. 154—157.

тельный элемент, как профилактика врожденной патологии. Он включает прежде всего пренатальную, т. е. дородовую диагностику наследственных (и ненаследственных) заболеваний плода на ранних стадиях его развития у беременных «групп риска». В случае обнаружения у плода наследственного дефекта беременность можно прервать и, таким образом, предотвратить рождение ребенка-инвалида. В настоящее время благодаря успехам медицинской генетики и созданию высокочувствительных ультразвуковых аппаратов такая задача вполне разрешима. К сожалению, в нашей стране служба медико-генетического консультирования находится в плачевном состоянии.

В последнее время для борьбы с наследственными заболеваниями разрабатываются новые перспективные методы, связанные с развитием «новой репродуктивной технологии»: искусственного осеменения, оплодотворения *in vitro*, пересадки гамет, зигот и эмбрионов в трубы и т. п. В случае риска возникновения наследственного заболевания возможно осуществить оплодотворение *in vitro*, а также провести так называемую предимплантационную диагностику эмбриона и исследовать его цитогенетическими или молекулярно-биохимическими методами. Последующая пересадка в матку только неповрежденных эмбрионов гарантирует развитие здорового потомства. Методы новой репродуктивной технологии позволяют также «заменять» дефектные гаметы на здоровые, взятые у донора.

Следует особенно подчеркнуть необходимость решения проблемы женского труда. Настало время пересмотреть сложившиеся в нашей стране представления о «равноправии труда» женщины и мужчины. Необходимы смещение приоритетов в сторону материнства и разработка мер (вплоть до правительственных постановлений) по предупреждению воздействия на будущую мать вредных профессиональных и экологических факторов. Целесообразно в связи с этим выделить специальную проблему — гигиену зачатия, или периконцептологию, которая должна стать частью направления по созданию научно обоснованных рекомендаций по планированию семьи в современных экологических условиях.

Нужны активная разработка различных сторон проблемы гигиены зачатия, широкая социально-гигиеническая пропаганда вопросов, касающихся влияния различных факторов на репродуктивную функцию, ознакомление с этими вопросами специалистов и женщин, планирующих беременность. К со-

жалению, население в этих вопросах остается в значительной степени в «счастлимом» неведении. Так, из 196 обследованных супружеских пар, среди которых были лица с высшим образованием и даже врачи, 187 (95 %) никогда не слышали о вреде «пьяного зачатия» и имели весьма смутное представление о последствиях потребления матерью спиртных напитков для исхода беременности и плода.

Достаточно полную информацию по всем этим вопросам супружеские пары должны получать сразу после вступления в брак и более целенаправленную — после появления первых признаков беременности (задержке месячных), т. е. в первые недели ее наступления. Важность этих мероприятий особенно ярко видна на примере сахарного диабета. Если профилактика его осложнений начинается еще до зачатия или сразу после него, то вероятность рождения больного ребенка уменьшается в десятки раз. Аналогично рациональное питание и витаминотерапия на ранних сроках беременности резко снижает частоту дефектов нервной трубки в группе риска по этой наследственной патологии.

Таким образом, забота о будущем ребенке должна начинаться задолго до его появления на свет и даже до наступления беременности. Что касается чисто практических рекомендаций, вытекающих из современной репродуктивной стратегии, то они уже делаются. Так, в одном из номеров журнала английского медицинского общества супружеским парам, у которых родился аномальный ребенок (с неясной причиной нарушений развития), рекомендуется сменить сезон зачатия. Активно разрабатываются простые способы диагностики овуляции самой женщиной, что позволяет более четко регулировать время оплодотворения и избегать неблагоприятных воздействий на организм в этот период.

Хотя здесь речь шла о патологии репродуктивной функции женщины, изменения, развивающиеся в описанных выше условиях, в равной мере затрагивают и специфические функции мужского организма. Это касается и гормональных нарушений, и влияния внешних факторов, в том числе алкоголя и различных заболеваний, и т. п. Поэтому при разработке мер предупреждения патологии потомства следует уделять не меньше внимания и охране репродуктивной функции мужчины, как бы необычно это ни звучало в настоящее время.

Минога в Подмосковье

Л. И. Соколов, Е. А. Цепкин,
кандидаты биологических наук
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Н. И. Шилин
Всесоюзный научно-исследовательский институт охраны природы и заповедного дела
Садки-Знаменское Московской обл.

В МАЕ 1989 г., пробираясь среди зарослей ольшаника по берегу небольшой речки, впадающей в Ивановское водохранилище, мы увидели в воде странное существо,

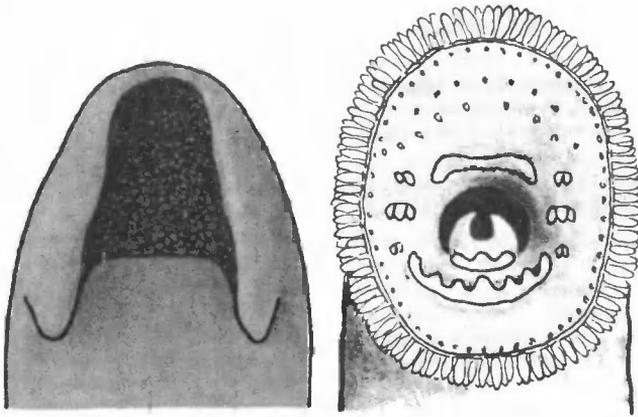
Нерест ручьевой миноги.

которое, извиваясь, медленно всплывало, влекомое течением. Заподозрив, что это обычная пиявка, один из нас все же снял майку, соорудил из нее подобие сачка и вытащил добычу на берег. Велико же было наше удивление, когда в руках у нас оказа-

лась европейская ручьевая минога (*Lamperfa planeri*), видимо, недавно отнерестившаяся.

Речка эта с чистой и холодной водой и довольно быстрым течением скорее напоминает ручей и течет среди подмосковной тайги, в глухом еловом





Ротовые воронки пескоройки (слева) и взрослой миноги.

Рис. и фото Е. А. Цепкина

лесу, миная крупные населенные пункты. Глубина ее невелика, в омутах едва доходит до 1 м, песчаное (на отдельных участках галечниковоое) дно усеяно крупными камнями, кое-где упавшие в воду деревья образовали как бы естественные запрудки. Присмотревшись, мы заметили стайки голянов, стремительных ельцов и медлительных усатых голец, а из-под одного камня всплугнули ставшего редким в Подмосковье бычка-подкаменщика. Дно речки и коряги были усеяны домиками ручейников, а на береговых откосах отпечатались следы норки.

Мы стали искать миногу, зная, что ее не так-то просто увидеть из-за особенностей ее биологии, нам, правда, хорошо знакомых.

Большую часть жизни миноги, а точнее, их личинки, которые называются пескоройками, проводят на дне водоемов, в толще грунта. Питаются микроскопическими животными, водорослями, а также растительными остатками. Обликом пескоройка резко отличается от взрослой миноги: глаза недоразвиты и скрыты под кожей, рот в форме треугольной щели и лишен роговых зубов, жаберные отверстия находятся в бороздке и почти незаметны. В речках пескоройки живут обычно в местах со слабым течением, около

берегов или за поваленными в воду деревьями, где имеются песчано-илистые грунты.

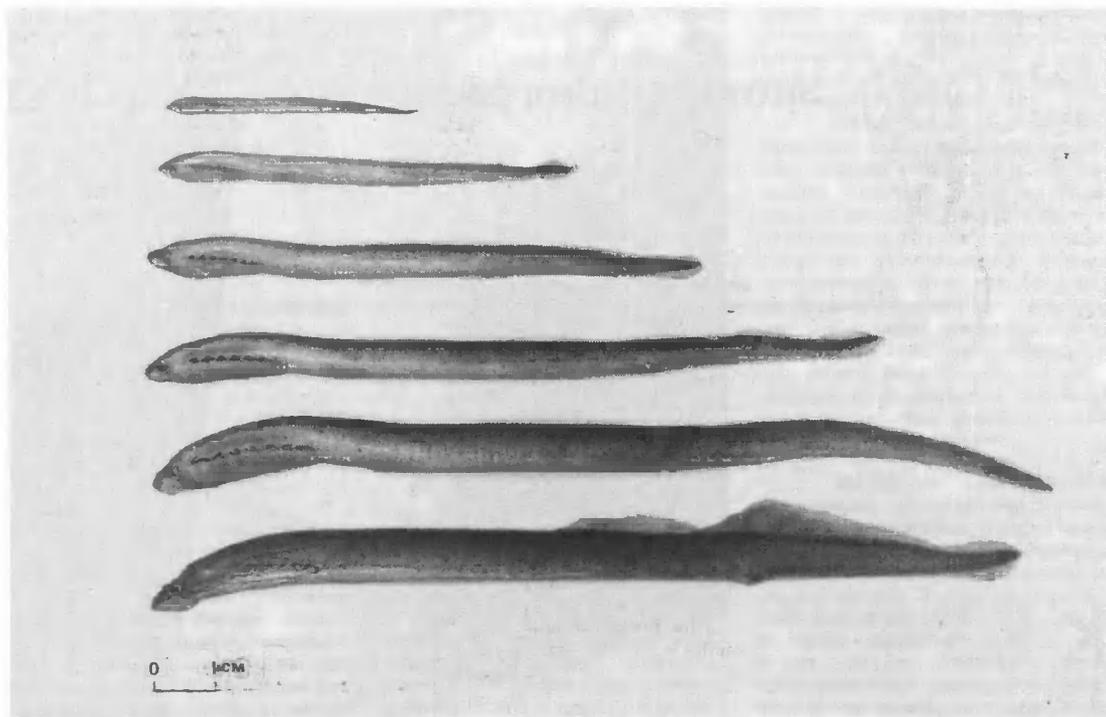
Попытка поймать личинок довольно быстро увенчалась успехом. Выбрав подходящий участок, мы стали со дна выбрасывать на берег песок, и из него, извиваясь, как черви, полезли пескоройки. Потрясенные, иногда они выползали из грунта буквально из-под ног и тут же с паразитальной легкостью зарывались в песок. Мелочь едва достигала сантиметровой длины, крупных пескороек, длиннее 12,5 см, попало немного. Все же мы насчитали пять возрастных групп личинок и пришли к заключению, что личиночная фаза развития ручьевой миноги длится не менее 4—5 лет. Скорее всего в конце четвертого, а у небольшой части экземпляров и пятого года жизни происходит сложный метаморфоз, который, вероятно, начинается еще осенью, а заканчивается к весне. За это время рот становится круглым, напоминая воронку-присоску; на ее поверхности, на челюстных пластинках и языке появляются мелкие роговые зубы; становятся отчетливо видимыми семь жаберных отверстий с каждой стороны головы (отчего миног в народе часто называют «семидырками»). Появляются глаза. При превращении во взрослую миногу тело личинки значительно укорачивается: длина пескоройки может достигать и 20 см, а взрослых — 15—16 см. Оба спинных плавника делаются выше, а у самок появляется и небольшой анальный плавник.

Миноги вылезают из грунта, и вскоре начинается нерест. В нашей средней полосе он обычно приходится на начало мая, когда после весеннего половодья в реках оседает взвесь. Продолжается он одну-две недели. Обычно миноги размножаются на участках с быстрым течением, где много камней, и на небольшой глубине, так что весь процесс легко наблюдать с берега. Часто можно видеть целые группы миног, свившихся в клубки, медленно сносимые течением. Самец прикреплается ротовой воронкой к камню и резким движением хвоста разбрасывает песок и мелкую гальку, делая на дне небольшую ямку, а самка, находящаяся рядом, углубляет «гнездо». Затем самец, присосавшись к затылку самки, обвивает ее тело и оплодотворяет выметываемые икринки (1—1,5 тыс.), которые падают на дно и приклеиваются.

У взрослой европейской ручьевой миноги, как и других видов ручьевых миног, кишечник атрофирован, питаться она не может. Энергетических запасов, накопленных за личиночный период (главным образом в виде жира), ей хватает только на метаморфоз и размножение, примерно через месяц после нереста она погибает (полуживую миногу мы и увидели в речке). Более долгая жизнь у морских миног. Превратившись во взрослую форму, они скатываются по рекам в море и присасываются к рыбам, питаются их кровью и мышцами, а для следующего нереста снова идут в реки. Их образ жизни типично проходной, как, скажем, у многих осетров и лососей.

Личинки европейской ручьевой миноги появляются на свет недели через две после оплодотворения икринок и сразу же забираются между камнями и галькой. В первое время они живут за счет остатков желтка. Постепенно течение сносит их на тихие, заиленные участки речки, где они закапываются в грунт. Сеголетки в июле бывают чуть более 1 см длиной, к концу первого года жизни достигают 4—5 см.

Некоторые исследователи считают, что часть пескороек ручьевой миноги может достигать половой зрелости и размно-



Пескоройки (возраста от 1 года до 5 лет) и взрослая минога (в н и з у).

жаться, не превращаясь во взрослую форму, т. е. в неотеническом состоянии. Однако это предположение требует проверки.

Всего миног в водоемах земного шара насчитывается около 40 видов. Более крупные, проходные миноги считаются деликатесным продуктом и служат объектом промысла. Добывают их в реках. У нас в стране

к ним относятся, например, проходные формы нeвской миноги и тихоокеанской. Европейская ручьевая минога в пищу непригодна, так как густая слизь, которой покрыто ее тело, содержит токсические вещества, не разрушающиеся даже при высокой температуре. Пескороек ручьевой миноги (и других видов тоже) раньше нередко использовали как наживку при ловле угря, сома, голавля, окуня, налима. Для этого их даже заготавливали впрок в соленом виде. Сейчас в Подмоскowie

минога чрезвычайно редка, встречается в немногих самых чистых речках Верхне-Волжского бассейна, куда не попадают никакие стоки. Безусловно, она должна быть включена в список животных, подлежащих особой охране. Надежды на то, что она станет многочисленной, к сожалению, мало, ибо чистых ручьев и речек становится все меньше.



Парусники эпохи гелиографических открытий

А. Е. Резников,

доктор Физико-математических наук
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР
Троицк Московской обл.

А. А. Шарцбург

фирма «Коннектор»
Москва

КАЗАЛОСЬ, времена гордых клиперов ушли в прошлое и на плаву остались лишь спортивные и учебные яхты. Но в последнее десятилетие на морях снова стали появляться большие транспортные суда под управляемыми ЭВМ парусами из синтетических материалов. Мы же хотим рассказать о космических парусниках, которые, возможно, еще до конца века частично заменят ракеты с реактивными двигателями.

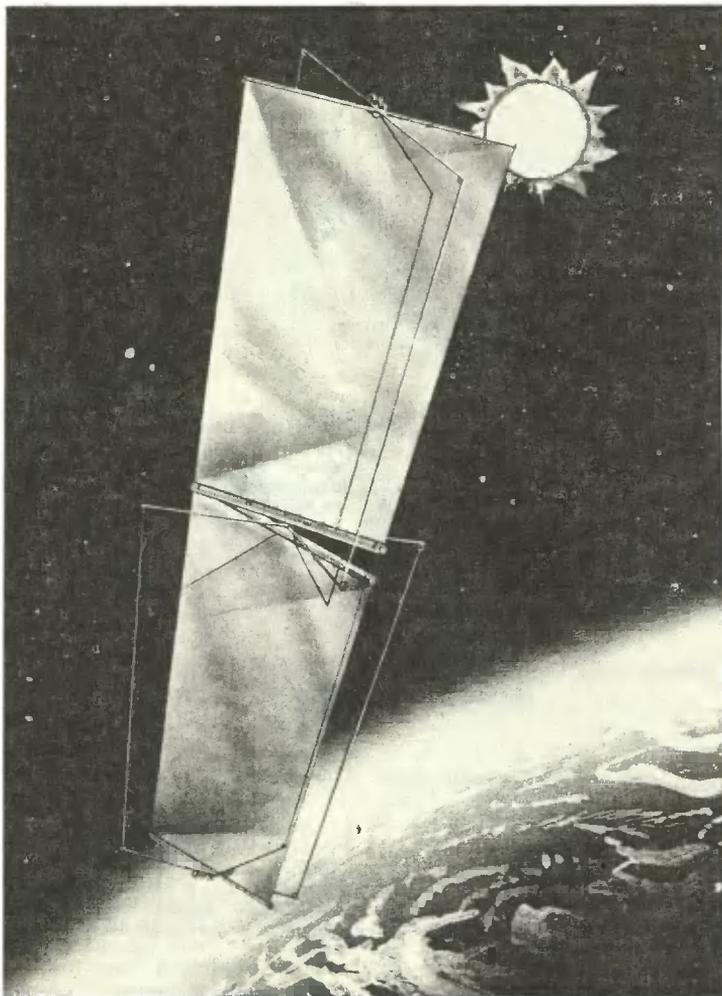
Концепция использования светового давления солнечных лучей для межпланетных перелетов проскальзывала еще у Ф. А. Цандера в 20-е годы, технически же начала прорабатываться с середины 70-х в США (для программы полета к комете Галлея) и в СССР (проект «Регата»). Однако практическое воплощение эта идея получила только сейчас, когда в СССР, США, Великобритании, Италии, Франции, Испании и Японии большие научные коллективы трудятся над приданием изначального смысла слову «космоплавание».

Импульсом, внезапно вытолкнувшим широко известное, но, как считалось ранее, экзотическое предложение в центр внимания специалистов, стала инициатива конгресса США, связанная с торжествами по случаю 500-летия открытия Америки.

Сформированная президентом США Колумбовская юбилейная комиссия (эмблему которой можно видеть перед заголовком статьи) во главе с Дж. Саймингтоном объявила необычный конкурс на лучший парусник для полета к Марсу. По условиям, сформулированным в декабре 1988 г., корабли участников должны быть выведены на начальную орбиту в 1992—1993 гг., откуда, подняв паруса, двигаться по раскручивающейся спирали к Луне. Завершив маневр в поле ее тяготения, «каравеллы» возьмут курс на Красную планету и постараются добраться до нее как можно быстрее.

Наша команда, действующая под эгидой Советского Колумбовского комитета, образованного при Академии наук СССР, сформировалась и приступила к работе в мае 1989 г. В нее вошли специалисты НПО «Машиностроение» и молодежного творческого объединения «Россия» при нем, Центрального конструкторского бюро уникального приборостроения АН СССР, Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР, Московского физико-технического института, фирм «Наука — Сервис» и «Коннектор». За прошедшее время группой под руководством В. С. Базанова и А. Н. Лавренова (МТО «Россия») спроектирован аппарат «Витязь» с парусом площадью 120 тыс. м² при весе всего 458 кг, что обеспечивает коэффициент эффективности (отношение предельной силы, развиваемой парусом на орбите, к силе притяжения к Солнцу) 0,37. Этот коэффициент не зависит от местонахождения корабля и служит важнейшей характеристикой, определяющей его функциональные возможности как транспортного средства. Во время презентации в Вашингтоне в апреле 1990 г. наш проект оказался наилучшим по данному показателю; на втором месте — английский, представленный фирмой «Кембридж консалтантс», с коэффициентом 0,3.

В сентябре 1990 г. советские и английские участники подписали протокол о сотрудничестве в испытаниях элементов конструкций и их возможном запуске советским носителем. Сейчас закончены совместные наземные испытания материалов, применяемых для изготовления паруса, — металлических полиимидных, полиэстровых и других пленок толщиной от 5 до 20 мкм. Весной 1991 г. на борту советской космической станции «Алмаз» начнутся натурные испытания в открытом космосе. Ежедневно будут измеряться толщина, пластичность, упругие и оптические свойства этих пленок.



Советский корабль «Витязь» с солнечным парусом на высокой околоземной орбите, каким его видят авторы проекта.

нок, что позволит судить об их устойчивости к солнечной радиации и иным факторам, действующим в космосе. И тем самым выбрать наиболее подходящий материал для паруса.

Как часто бывает, правила стали меняться уже в процессе подготовки к соревнованиям. По соображениям экономии и, главное, очевидного цейтнота всем руководителям проектов пришлось снизить площадь и полезную нагрузку своих аппаратов и, следовательно, довольствоваться более скром-

ными целями экспедиции. Так, американцы, французы и японцы решили ограничиться выполнением первого этапа — достижением Луны. Они намереваются на своих аппаратах стартовать вместе с помощью французской ракеты «Ариан-4» в 1992 г. и оказаться у обратной стороны Луны через год. Итальянская команда пока не объявила о своем решении, а испанская, отказавшись от собственного, принимает участие в доработке французского корабля. Советская группа, вероятно, будет вынуждена создать космический парусник меньших размеров.

Сейчас трудно сказать, что из перечисленного осуществится, когда и как, но уже

видно, что солнечный парус пользуется достаточной популярностью в связанных с космонавтикой деловых, научных и инженерных кругах.

Рассмотрим некоторые примеры использования солнечного паруса в различных космических миссиях и те научные задачи, которые могут решаться исключительно или преимущественно с его помощью. Важно подчеркнуть, что все, о чем мы будем рассказывать, доступно для нашего проекта, а его улучшение за счет снижения удельного веса отдельных элементов и разработка системы модульного типа увеличит и эти немалые возможности.

Выход из поля земного тяготения; маневры на геоцентрических орбитах. Сопротивление верхних слоев атмосферы Земли, мало влияющее на обычные спутники с поперечным сечением в десятки квадратных метров, расположенные на низких орбитах, т. е. на высоте 300—400 км, приведет к сильному торможению громадного полотнища космического паруса и даже может его порвать. Минимальная высота, на которой допустима активная эксплуатация аппарата, задается в каждом конкретном случае его параметрами; для всех известных модификаций она не превосходит 2 тыс. км. Однако если на соответствующих участках траектории установить парус параллельно направлению движения, он сможет работать и на орбитах, частично лежащих ниже минимальной высоты. В первую очередь речь идет о сильновытянутых эллипсоидных траекториях. Таким образом, в качестве исходной может выступать любая орбита, расположенная полностью или большей частью на уровне 2 тыс. км. Все же, чтобы сберечь время и облегчить управление парусом, предназначенным для межпланетных путешествий, лучше «забросить» его на более высокую, например геостационарную, орбиту.

Какой бы ни была ориентация орбиты относительно Солнца и плоскости эклиптики, для скорейшего удаления от Земли парус оптимально располагают так, чтобы его плоскость всегда содержала биссек-

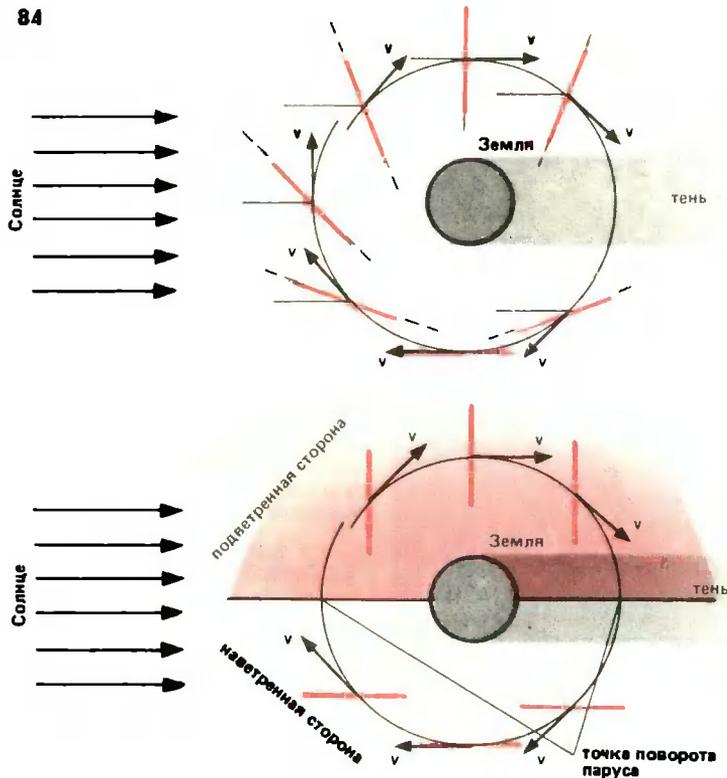
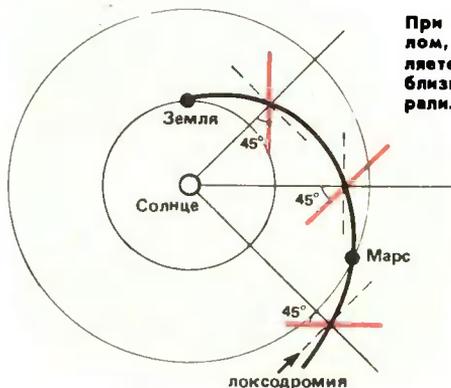


Схема оптимального управления парусом на околоземной орбите. Плоскость паруса (цветная линия) всегда содержит биссектрису угла (пунктир) из направления на Солнце (сплошная линия) и скорости орбитального движения v .

По упрощенной схеме управления парус перпендикулярен солнечным лучам при движении в «подветренную» сторону и параллелен — на возвратном пути.

трису угла, образованного векторами, один из которых направлен на Солнце, а другой задает скорость орбитального вращения, и перпендикуляр к плоскости, в которой лежат эти векторы. Тогда в любой момент гарантируется максимальный импульс в желаемом направлении и, следовательно, наибольший КПД. Однако, чтобы поддерживать такое состояние, необходимо непрерывно поворачивать плоскость паруса в пространстве с меняющейся угловой скоростью (так как период обращения аппарата вокруг Земли растет с увеличением радиуса орбиты). На практике осуществить подобное крайне сложно, поэтому навигация корабля организуется по упрощенной схеме, хотя и менее выгодной. Так, на орбите, прилегающей в плоскости эклиптики, парус устанавливается перпендикулярно солнечным лучам при движении в «подветренную сторону» (т. е. от Солн-

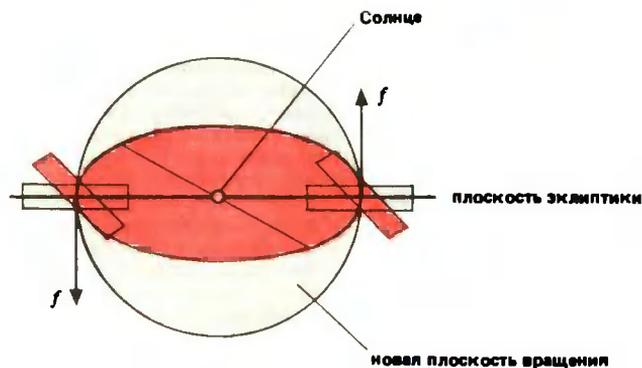
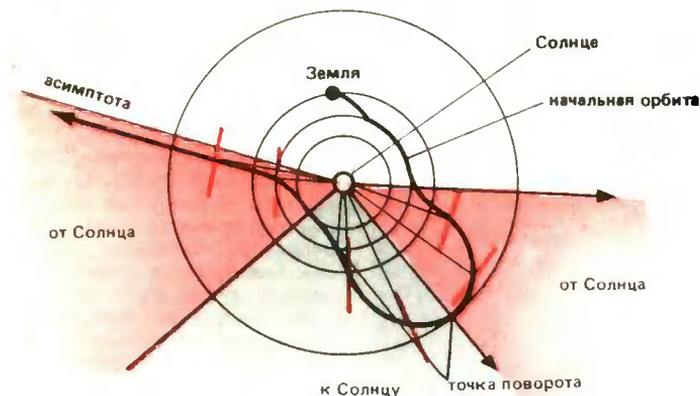


При установке паруса под углом, близким к 45° , корабль удаляется от Солнца по кривой, близкой к логарифмической спирали.

ца) и параллельно — на возвратном пути в «наветренную сторону». Если же плоскость орбиты перпендикулярна направлению на Солнце, можно поставить парус «в бейдевинд» — под углом 45° к солнечным лучам, переставляя его дважды за оборот. Предусмотрены разнообразные приемы, изменяющие радиус и наклон орбит

произвольной начальной ориентации.

На одном из витков удаляющаяся от Земли спираль траектории разрывается, и корабль переходит на околосолнечную орбиту. Естественно, в любой предшествующий момент, выполняя все операции в «зеркальном отражении», его можно снизить по закручиваю-



щейся спирали до минимальной высоты; это может потребоваться, например, при челночных рейсах или возвращении на Землю, причем повторять подобный процесс можно неограниченное число раз. Описанные маневры подходят и для движения вокруг других планет, как при переходе с пролетной траектории на орбиту спутника и спуске, так и при решении обратной задачи.

У Земли парус целесообразно использовать для коррекции орбит искусственных спутников, перевода грузов со средних на высокие орбиты и обратно, полетов к Луне, но все же основные достоинства нового движителя проявляются только в масштабах Солнечной системы.

Движение в плоскости эклиптики. Вырвавшийся из сферы притяжения Земли аппарат имеет относительно нее ничтожную скорость, вследствие чего находится на гелиоцентрической

орбите, почти совпадающей с земной, в плоскости эклиптики. По каким же траекториям в ней он может перемещаться? Для удаления от Солнца оптимальное положение паруса вычисляется точно так же, как и для Земли, но в данном случае оно легко контролируется постоянным углом ($\sim 45^\circ$) к солнечным лучам — снова «бейдевинд». В результате аппарат скользит вдоль близкой к логарифмической спирали, аналогичной околоземной. По такой кривой, называемой локсодромией, водил свой флагман еще Колумб. Этим маршрутом — в сторону внешних планет и далее, за границы Солнечной системы — поплывет к Марсу и наша «каравелла».

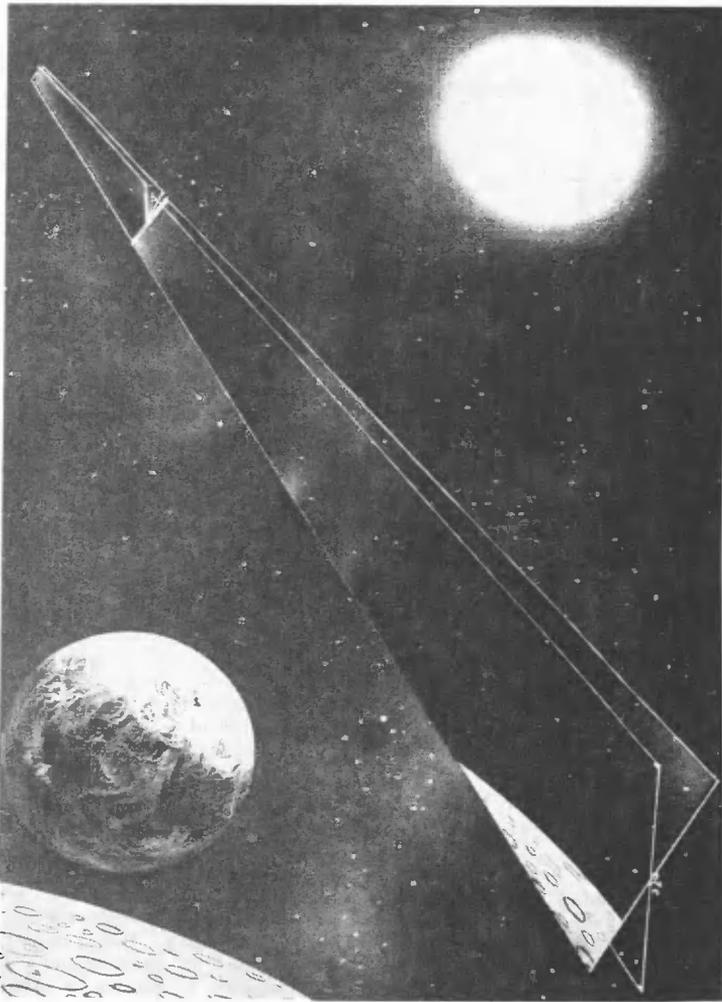
Примечательно, что с помощью силы светового давления, направленной от Солнца, можно ускориться в противоположную сторону. Нужно лишь парусом тормозить орбиталь-

Изменяя ориентацию паруса относительно солнечных лучей в такт с колебаниями, можно набрать огромную скорость и покинуть Солнечную систему. В цветных секторах парус движется к Солнцу и параллелен солнечным лучам, в сером секторе — от Солнца и перпендикулярен его лучам.

Поместив парус под определенным углом к плоскости эклиптики, можно вызвать прецессию орбиты корабля и вывести его из этой плоскости; f — момент сил.

ное вращение, для чего его ставят под фиксированным углом. Корабль, снижающийся теперь уже по закручивающейся спирали к Венере и Меркурию, в конце концов сгорит в солнечной короне, разогнавшись примерно до 400 км/с. Падение его на Солнце с контейнером радиоактивных отходов — удобный способ их захоронения, не загрязняющий ни нашу планету, ни окружающее космическое пространство.

Поскольку давление, пропорциональное освещенности, убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от Солнца, по мере удаления от него эффективность парусного «мотора» катастрофически падает. В самом деле, дорога до Марса описанным путем займет у «Витязя» всего 3 мес. (в среднем), а до Солнца — 3,5 мес., что меньше, чем у обычных АМС, даже если учесть временные затраты на около-



«Витязь» на лунной пролетной траектории по дороге к Марсу.

земной орбите. А вот с Плутоном «Витязь» встретился бы только через 70 лет — намного позже, чем, например, «Пионер». Грубо оценив скорость аппарата при спиральном движении, получим, что отношение ее нормальной проекции к касательной неизменно и равно коэффициенту эффективности паруса, причем обе составляющие скорости убывают как корень из радиуса орбиты. Для «Витязя» нормальная составляющая у Солнца примерно равна 100 км/с, у Земли — 10 км/с, а у Плутона — 1 км/с. Итак, парус эффективен вблизи Солнца;

область его применимости очерчивается окружностью, где нормальная составляющая скорости падает до 4—5 км/с (для «Витязя» это соответствует орбите Юпитера).

Если необходимо выйти за этот рубеж (например, для полетов к далеким планетам или за пределы Солнечной системы), навигация организуется так, чтобы корабль запас значительную кинетическую энергию внутри очерченной зоны и, покинув ее, попал в пункт назначения по инерции. Для набора достаточной скорости он должен как можно ближе к Солнцу совершать колебания в режиме параметрического резонанса, с парусом, перпендикулярным

солнечным лучам при движении от светила и параллельным — на пути к нему; при этом аппарат будет проходить один и тот же разгонный участок неоднократно и каждый раз получать ускорение (вспомним принцип циклотрона). В результате амплитуда его колебаний резко возрастет, и через несколько периодов корабль «выстрелится» за пределы Солнечной системы с гигантской скоростью в десятки и даже сотни километров в секунду. Если, наоборот, требуется зафиксировать аппарат в положении равновесия, парус установят параллельно солнечным лучам при движении от Солнца и перпендикулярно им — на обратном пути; импульс прикладывается в противофазе с колебаниями, в результате они гасятся.

Последовательная и одновременная комбинация спирального и колебательного режимов полета предоставляют гораздо более широкий, по сравнению с реактивным двигателем, выбор траекторий, позволяющих не только сокращать длительность полета почти в любое место, но и подступиться к ряду прежде принципиально неразрешимых проблем. Одна из них — создание эффективного солнечного патруля (спутника, ведущего постоянный мониторинг плазмы солнечного ветра на оси Солнце-Земля). Напомним, что традиционный аппарат такого рода (ISEE-3) может находиться только в точке либрации — в 1,6 млн. км от Земли и давать прогноз магнитных бурь всего на 1 ч, к тому же прогноз неточный из-за сноса Земли в течение этого времени. «Витязь», способный находиться в 20 млн. км от нашей планеты и при этом на 1,2 млн. км впереди нее по орбите (для компенсации сноса), обеспечит полуточный прогноз, который впервые позволит выдать точное и заблаговременное предупреждение; его значение для летчиков, медиков, энергетиков в объяснениях не нуждается. Другая, бесценная для науки о Солнце возможность паруса — это...

Выход из плоскости эллиптики. Хотя автоматические межпланетные станции серии

«Пионер» пересекли границы Солнечной системы, мы знакомы лишь с ее узким сегментом в пределах 16° от плоскости эклиптики, что чрезвычайно обедняет наши знания о Солнце и фактически сводит их к двумерному сечению истинной картины. Так, секториальная структура магнитного поля, которая ранее считалась глобальной особенностью солнечного магнетизма, при таком рекордном отклонении вообще не была зарегистрирована. Сейчас считается, что она существует только в приэкваториальной зоне, а представления о распределении магнитных полей и солнечного ветра в средних и высоких широтах основываются лишь на косвенных данных. Только прямые измерения в гелиосфере могут ликвидировать белые пятна в наших знаниях об этих районах; к счастью, для небесной «каравеллы» нет запретных «арктических» областей.

Действительно, плоскость всякой гелиоцентрической орбиты парусника, прецессируя из-за создаваемой наклонным к ней парусом пары сил, отклоняется от плоскости эклиптики, и со временем аппарат будет двигаться в перпендикулярной пло-

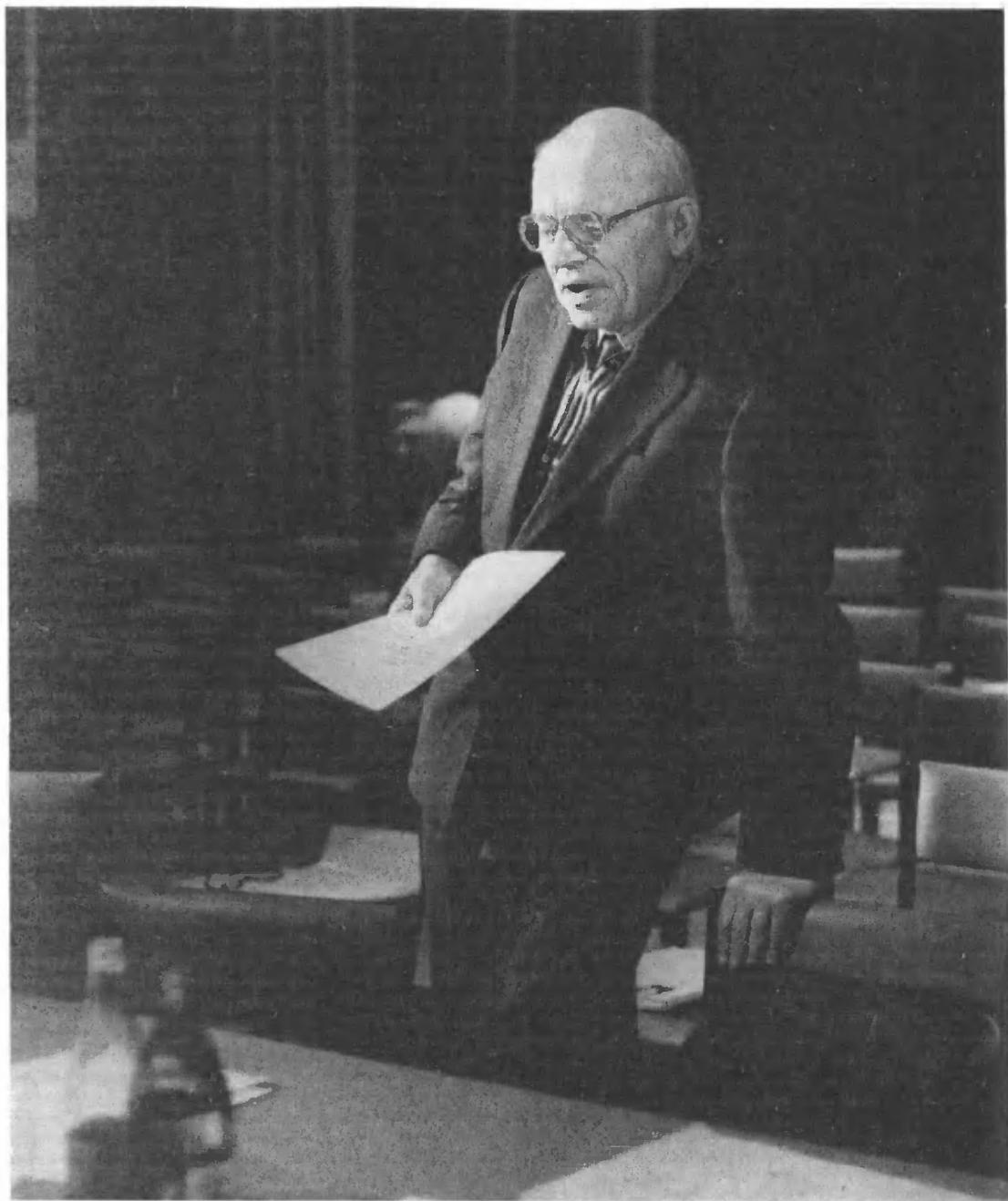
скости, а затем вернется в исходную. Темп такой прецессии, как и всех парусных маневров, удовлетворителен только около Солнца, в силу чего плоскость орбиты рационально поворачивать (но только не на слишком малый угол) близко к Солнцу и впоследствии переводить аппарат на желаемое расстояние от светила в новой плоскости перечисленными средствами. (Плоскость эклиптики для паруса ничем физически не выделена, и весь предыдущий раздел относится к любой плоскости, проходящей через Солнце.) По этой методике «Витязь» способен побить существующий рекорд за 5 мес., а еще через 2 мес. поставить абсолютный — плоскость его орбиты отклонится от эклиптики на 90° , после чего он сможет проделать важнейшие наблюдения в околосолнечной зоне.

Возможности космического парусника, о которых мы рассказали, позволяют утверждать, что он пригоден для большинства экспедиций в дальний космос, особенно привлекателен в околосолнечных, при сочетании умеренной нагрузки с

частыми изменениями траектории или «челночными рейсами», в разнообразных патрульных миссиях. Парус незаменим в путешествиях на сверхдальние расстояния и с выходом из плоскости эклиптики. Не исключено его использование в качестве зеркала огромного телескопа или парашюта для спуска в атмосферах планет. Разумеется, нужно преодолеть оставшиеся технические трудности, в том числе обеспечить его надежное управление и ориентацию, четкий спуск и подъем, электро- и термостатирование.

Закончить свой рассказ нам хотелось бы словами из предисловия к советскому проекту парусника, прозвучавшими во время презентации в Институте Карнеги в Вашингтоне: «Работая над Колумбовским проектом, мы испытываем удивительное ощущение смеси приключения с деловой предприимчивостью, пронизывающей жизнь и деятельность великого мореплавателя. Вспоминая судьбу легендарных парусников от «Санта-Марии» до «Дискавери», «Фрама» и «Ра», мы уверены в скором космическом продолжении этого списка».

К 70-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА САХАРОВА



АНДРЕЙ ДМИТРИЕВИЧ САХАРОВ
[21.V.1921—14.XII.1989]

Мы продолжаем публикацию материалов к биографии Андрея Дмитриевича Сахарова, начатую выпуском специального номера «Природы» (№ 8, 1990 г.), где рассказывалось об основных направлениях научной деятельности академика Сахарова. Мы рады, что наш труд был замечен и читателями у нас в стране, и зарубежной научной общественностью. Специальный выпуск «Природы» лег в основу книг, готовящихся к выпуску в СССР, США, Италии и Германии.

Сейчас мы пополняем этот цикл материалом Н. А. Попова, коллеги Андрея Дмитриевича по «объекту», о высказанном Сахаровым предложении использовать лазерное излучение для осуществления управляемого термоядерного синтеза. На наши предыдущие публикации откликнулись также К. Торн из Калифорнийского технологического института и Ф. Калоджеро из Римского университета, приславшие свои впечатления о встречах с А. Д. Сахаровым. Коллеги академика Сахарова по Физическому институту им. П. Н. Лебедева АН СССР, подготовившие сборник воспоминаний об Андрее Дмитриевиче, любезно предоставили «Природе» заметки Г. Липкина, Э. Теллера, Дж. Уилера и Ф. фон Хиппеля, позволяющие судить о том впечатлении и влиянии, которые судьба и личность А. Д. Сахарова оказывали на мировое научное сообщество. Кроме того, мы получили возможность ознакомить наших читателей с сохранившимися в архиве Андрея Дмитриевича ответами на вопросы газеты «Труд» о роли науки в современном обществе.

Наша публикация приурочена к 70-летию академика Сахарова, но она не носит стандартно-юбилейного характера, лишена парадности, столь чуждой самому Андрею Дмитриевичу. Свою скромную задачу мы по-прежнему видим в создании того, что в нашей первой публикации было названо «этюдами к научному портрету академика Сахарова».

АДС и ЛТС

Н. А. Попов,

кандидат физико-математических наук

Всесоюзный научно-исследовательский институт экспериментальной физики
Арзамас-16

ГЛАВНЫЕ научно-технические идеи Андрея Дмитриевича Сахарова (АДС, как часто его называли) теперь широко известны. Они послужили основой для разработки первой советской водородной бомбы и взрывомагнитных генераторов сверхсильных магнитных полей; им открыта принципиальная возможность создания магнитного термоядерного реактора. Я же хочу рассказать еще об одной, тоже достаточно фундаментальной, как показало время, научно-технической идее Андрея Дмитриевича. Она уже давно получила гражданство в мире технической физики и легла в основу целого направления научных исследований, но в общественном сознании с именем Андрея Дмитриевича обычно не связывается.

Мне пришлось долгие годы работать в той же организации, где до 1968 г. работал Андрей Дмитриевич. Теперь она называется Всесоюзным научно-исследовательским институтом экспериментальной физики

(ВНИИЭФ). Я работал под непосредственным руководством Я. Б. Зельдовича. Он и Андрей Дмитриевич формально числились начальниками двух небольших параллельных расчетно-теоретических подразделений (секторов). В действительности же это был единый коллектив, внутри которого не было перегородок секретности. Все злободневные научные и научно-технические вопросы обсуждались во всем коллективе, и иногда даже трудно бывало установить авторство того или иного технического решения, появившегося в результате того, что позже назвали «мозговым штурмом».

В один из дней 1960 г. в нашем коллективе оживленно обсуждалась научная сенсация того времени — появление реально действующих лазеров. По существу, это было крупным событием. В то время я занимался (не в одиночку, конечно) проблемой осуществления термоядерных микровзрывов без применения делящихся веществ —

с помощью только химического взрывчатого вещества (многолетний цикл этих работ связан с именем А. С. Козырева). Суть этой проблемы, если говорить коротко, сводится к следующему: получить очень высокую концентрацию энергии, при которой только и могут протекать термоядерные реакции. И вот сразу же, чуть ли не в тот же день, когда дошла до нас весть о появлении лазера, Андрей Дмитриевич обратил наше внимание на одно из возможных применений этого изобретения. Он предложил использовать возможность концентрации энергии луча лазера в очень малом объеме для решения проблемы термоядерных микровзрывов.

Я прекрасно помню этот разговор с Андреем Дмитриевичем. Это было в угловой комнате третьего этажа нашего здания, где тогда размещался наш коллектив. АДС стоит у доски с мелом в левой руке (была у него такая привычка — писать на доске левой рукой). В комнате кроме меня еще два-три человека, но теперь я уже не помню, кто именно. АДС рисует эллипс — эллиптическое зеркало. В одном из его фокусов он помещает источник лазерного излучения, в другом — шарик, сферическую оболочку, наполненную термоядерным горючим — смесью трития и дейтерия или просто дейтерия. (Теперь такой шарик называется термоядерной мишенью.) И объясняет, как эта система должна работать: под действием излучения лазера, сфокусированного на поверхности шарика по очень высокой плотности световой энергии, материал шарика испаряется, и импульсом разлетающихся паров сферическая оболочка толкается к центру, сжимает и нагревает термоядерное горючее до необходимой для термоядерной вспышки температуры. Сегодня подобные системы мы называем системами ЛТС с инерционным удержанием плазмы, и под ЛТС (лазерный термоядерный синтез) понимаем применение лазеров к решению проблемы термоядерных микровзрывов.

Некоторое недоумение у читателей может вызвать помещение «источника лазерного излучения» в фокус эллиптического зеркала — ведь лазер дает плоскопараллельный пучок. На это можно ответить, что за источник лазерного излучения мож-

но принять точку, в которую фокусируется лазерный луч с помощью какой-либо оптической системы, или мнимое изображение этой точки, получаемое с помощью рассеивающей линзы, зеркала или комбинации того и другого.

Помню, что тогда я отнесся к предложению Андрея Дмитриевича недостаточно серьезно. Приз за красоту идеи, как говорил в таких случаях Яков Борисович, он, бесспорно, заслуживал, но до ее практической реализации, как тогда казалось, было очень далеко. Энергия лазерного импульса, не говоря уже о мощности, была ничтожна мала для подобных целей. Но Андрей Дмитриевич умел смотреть далеко вперед, и теперь мы знаем, насколько хорошо он видел будущее.

Для меня приоритет Андрея Дмитриевича в идее ЛТС с инерционным удержанием плазмы для нашей страны представляется несомненным (за рубежом, в принципе, она могла быть высказана и раньше). В одном из наших более поздних отчетов по этой теме мы (авторы отчета) ссылаемся на А. Д. Сахарова, но документального подтверждения его приоритета, по-видимому, не существует. Во всяком случае, нам оно не известно. Сам он не придавал большого значения этой «красивой идее»¹. Для него она была слишком тривиальна и слишком далека от практического осуществления, чтобы тратить на нее время и что-то писать об этом. То обстоятельство, что впоследствии идея инерционного удержания термоядерной плазмы в ЛТС была высказана и реализована в экспериментальных установках независимо от А. Д. Сахарова, который не считал нужным ее ни зафиксировать, ни, тем более, обнародовать, еще раз демонстрирует ту непреложную истину, что наука имеет единую внутреннюю логику развития, независимую от того, кто именно в тот или иной момент является движущей силой этого развития.

¹ Правда, Андрей Дмитриевич считал необходимым упомянуть о ней даже в своей краткой автобиографии (см.: Сахаров А. Мир, прогресс, права человека. Статьи и выступления. Л., 1990. С. 4) и автореферате работ, опубликованном в США. — Прим. ред.

Ответы А. Д. Сахарова на анкету газеты «Труд»

Эта анкета была выслана А. Д. Сахарову газетой «Труд» в конце ноября 1966 г. (установлено по почтовому штемпелю на конверте). А. Д. подготовил ответы (имеются два рукописных варианта ответов), но, по всей видимости, не отослал их. Очевидно, он понимал, что даже окончательный смягченный вариант ответа на первый вопрос вряд ли мог быть опубликован в то время. В газете «Труд» за 1966—1968 гг. отсутствуют материалы по международному научному симпозиуму «Наука и прогресс», — видимо, идея его проведения не была реализована.

Какова роль ученых в современном обществе!

Какой вклад могут внести ученые в сохранение и укрепление мира на Земле, понимая всю опасность новой войны!

Одна 20-мегатонная бомба разрушает все здания и сжигает все живое на площади 300 квадратных километров. Требуется лишь знание арифметики и общее представление о возможностях современного массового промышленного производства, скажем ракет и зарядов к ним, чтобы оценить характер и последствия термоядерной войны. Истинное значение политической деятельности ученых заключается не в том, что они лучше знают арифметику, а в том, что в научном мире выделяются люди с непредвзятостью мышления, свободные от предрассудков окружающего общества, обладающие интеллектуальной смелостью, т. е. способные к самым «неприятным» выводам. Разве не мудрой смелостью было продиктовано знаменитое выступление Б. Рассела, когда он сказал: «Термоядерная война перестанет быть неизбежной, если для ее предотвращения руководители капиталистического лагеря будут готовы пойти на ликвидацию капиталистической системы, а руководители социалистического лагеря — на ликвидацию социалистической системы». Гигантский масштаб и отсутствие прецедента у современных мировых событий в политике, технике, экономике и науке требуют именно научного подхода, чуждого догматизма и страстей местного масштаба¹.

Какую научную или научно-техническую проблему, над которой работают или должны работать ученые, Вы считаете наиболее актуальной!

В науке существует весь фронт — от абстрактных исследований оснований теории множеств и до чисто технологических или чисто описательных исследований. Хотелось бы все же выделить пять центральных проблем современной науки.

а) Физика элементарных частиц. Исследования в этой области могут изменить наши представления о самых «глубинных» законах природы, о пространстве и причинности.

б) Проблемы прикладной и теоретической кибернетики. Усиление мощи человеческого мозга (как «малая» механизация — сбор и хранение информации, перевод с иностранных языков, нахождение наилучших решений конкретных экономических проблем и т. п., так и принципиально возможное создание «сверхмозга») может революционным образом изменить многие стороны человеческой жизни, в том числе в житейской, научной и социальной сферах.

в) Развитие химической технологии, которое в очень короткий срок должно обеспечить как искусственную пищу, так и общий технический прогресс в производстве бытовых товаров, на строительстве, транспорте и для научных целей.

¹ В первом варианте ответа далее было: «В большинстве стран выдвижение политических деятелей обусловлено совсем другими качествами, и лишь по счастливой случайности они могут добавочно обладать качествами ученого».

г) Науки о жизни, которые должны способствовать такому управлению наследственностью и здоровьем, которое сделает человечество более счастливым.

д) Проникновение в космос как средстами наблюдения, так и непосредственное. Тут возможны большие неожиданности, вплоть до милого фантастам «контакта» с внеземными цивилизациями.

В каких областях могут произойти революционные сдвиги, которые окажут такое же влияние на жизнь людей, как, скажем, получение электричества, создание радио, использования атомной энергии, запуск космических кораблей?

Ответил уже в предыдущем пункте.

Как, по Вашему мнению, можно кардинально ускорить внедрение научных достижений в практику?

а) Дальнейшее усовершенствование экономических методов стимулирования научно-технического прогресса в промышленности и сельском хозяйстве.

б) Увеличение численности и квалификации научно-технических кадров с более всесторонним проникновением специалистов высшей квалификации во все «уголки» производства. Очень существенно увеличение приема в высшие учебные заведения с одновременным снижением срока обучения.

в) Повышение реальной зарплаты квалифицированным рабочим с одновременным снижением продолжительности рабочей недели и численности рабочих низшей квалификации.

Какие пути видит наука для резкого увеличения производства продуктов питания на Земле?

Синтетическая пища, в первую очередь создание мощной аминокислотной промышленности (метионин, лизин и др.) для преодоления мирового дефицита по этим веществам, в перспективе — ликвидация расточительного животноводства, а затем и вообще сельского хозяйства. В самое ближайшее время — более полное использование моря.

Какие Вы видите в будущем источники производства энергии? Какие новые виды энергии человек сможет использовать в будущем?

Ближайшее будущее — расширение сети мощных электростанций, использующих уголь, разрабатываемый открытым методом, и нефть, работы в области МГГ² и экономических линий передач. Эта линия развития — основная до 1975—1980 гг. Одновременно — строительство и усовершенствование атомных электростанций, использующих запасы U^{235} , накопленного ранее для военных целей, плутоний и U^{233} , полученные из урана и тория в реакторах-размножителях стационарного и взрывного типа. Эта линия — основная в 1980—2010 гг. Одновременно начинается развитие установок, использующих управляемую термоядерную реакцию — сначала в качестве источника нейтронов в реакторах-размножителях с облучением лития, урана и тория, в далекой перспективе — чисто дейтериевая схема, в частности с поглощением размноженных нейтронов в соединениях дейтерия (тяжелая вода, соединения бериллия и др.).

Публикация А. Е. Верного

² Имеются в виду МГД-генераторы.

Глазами зарубежных коллег

Ф. Калоджеро, профессор Римского университета, генеральный секретарь Пагуошского движения ученых за мир, разоружение, международную безопасность и научное сотрудничество

Это воспоминания сугубо личного характера: они, на-

деюсь, помогут высветить какие-то черты этого человека, рассказать о том окружении, тех условиях, в которых Сахаров жил и работал. Правда, в этом случае есть неизбежный риск согрешить, выпятив собственное «я», но за это, если так произойдет, уж прошу меня извинить. Я надеюсь тем не менее через эти воспоминания лучше выра-

зить свое уважение к памяти человека, которого, кроме его несомненного научного величия, отличали чувство справедливости, гражданское мужество, чрезвычайная интеллектуальная честность. Не случайно некоторые из наиболее известных и мудрых его коллег не находили иного способа охарактеризовать этого человека, как использовав

эпитет «святой» — святой, разу­меется, светский человек, по­скольку мышлению его был чужд какой-либо фидемизм, бо­лее того, для него характерна была именно вера в человече­скую рациональность, отказ от какого бы то ни было фанатизма.

Моя первая встреча — или, точнее, «невстреча» — с Са­харовым произошла много лет назад, гораздо раньше его вы­сылки в Горький, но уже в ту пору, когда для официальных со­ветских кругов он был еретиком. Я обедал с коллегой Халатнико­вым в ресторане-столовой Ака­демии наук в Москве, когда к нашему столу подошел Сахаров. Возможно, ему доставило бы удовольствие быть представлен­ным иностранному гостю, при­сутствие которого в АН СССР в те времена было не столь уж частым явлением, однако мой хозяин, очевидно, не имел ника­кого намерения сделать этого. Поэтому-то я не осмелился по­ставить его в неудобное поло­жение и в течение всей их беседы, за ходом которой мне трудно было следить из-за слишком тогда еще примитивных знаний русского языка, сохраняя такую отстраненность. Так я упустил первую возможность лично по­знакомиться с Сахаровым. Впослед­ствии я часто жалел об этом, тем более что он был отправлен в ссылку в Горький, где никто из иностранцев не мог его по­встречать. Быть может, именно поэтому, наряду с тем, что я просто считал это своим долгом, в последующие годы я не упускал ни единой возможности упомянуть о «деле Сахарова» в ходе встреч — частных или пуб­личных — со своими советскими коллегами.

Один из таких случаев, возможно, заслуживает того, чтобы о нем вспомнить. В июле 1986 г. в Москве я участвовал в конференции, на которой об­суждалась проблема разоруже­ния и контроля за вооружением. Ее организовал подготовитель­ный комитет, в который, если не ошибаюсь, входили мои итальян­ские коллеги Ф. Ленчи и Дж. Ма­рини; широкое участие в конфе­ренции принимали советские ученые. Секцию, в работе кото­рой я участвовал, возглавлял академик Е. Примаков, в ту пору директор Института мировой

экономики и международных от­ношений АН СССР. С вводным докладом выступал академик Г. Арбатов, бессменный дирек­тор Института США и Канады АН СССР и крупнейший совет­ский специалист в области от­ношений с Соединенными Штатами Америки и Западом. Он своеоб­разно подчеркивал новые совет­ские внешнеполитические ини­циативы, выдвинутые руковод­ством страны во главе с Горба­чевым. Тогда, к примеру, уже в течение многих месяцев дей­ствовал односторонний марато­рий Советского Союза на ядер­ные испытания, к стати, они-то и были одной из основных тем конференции. (Воспользуюсь этими сканками, чтобы с сожа­лением отметить, что совет­ский мораторий — в силу того, что американцы не последова­ли примеру СССР — впослед­ствии был прекращен, поэтому и советские специалисты и военные, наряду с американ­цами, французами, англичанами и китайцами, продолжают свои подземные испытания ядерного оружия. Стоит здесь, наверное, напомнить, что А. Сахаров на­чал свою эτικο-политическую деятельность именно с пробле­мы ядерных испытаний, кото­рые он уже тогда, во времена Хрущева, предлагал пре­кратить.)

Сразу же после доклада Арбатова я попросил слова. При­ветствуя новые советские ини­циативы, я отметил, что налицо существенный прогресс в выска­зываниях нового руководства страны, однако все это пока лишь слова. «Позвольте,— ска­зал я,— подсказать вам, как при­мер, две акции, которые Совет­ский Союз мог бы предпринять в самое ближайшее время. Одна из них трудная, другая легкая. Трудная — вывести советские войска из Афганистана, а лег­кая — позволить Андрею Дмит­риевичу Сахарову вернуться из Горького в Москву, чтобы он вновь мог в полной мере испол­нять ту роль, которая принадле­жит ему в советском обществе».

Мое выступление не по­нравилось Арбатову. Он тут же взял еще раз слово, чтобы по­вторить официальные советские аргументы относительно Афга­нистана (выводу войск препят­ствует помощь, которую другие

страны оказывали моджахедам в их борьбе против законной вла­сти). Он выразил также сожа­ление по поводу того, что я вно­шу в дискуссию ложные и незна­чительные элементы (быть мо­жет, одним из них было упоми­нение о Сахарове, имя которого в то время еще строжайше замалчивалось). В нашей секции мое выступление было единст­венным, в котором были под­няты эти проблемы. Отдавая ча­стично должное Примакову, хочу сказать, что в своем крат­ком докладе на пленарном засе­дании он откровенно сообщил, что на нашей секции затрагива­лась афганская проблема (в те времена для советского чело­века это было далеко не само собой разумеющийся поступок). При этом, конечно, он счел необ­ходимым упомянуть официаль­ную советскую позицию, но ни словом не обмолвился о том, что я говорил по поводу Са­харова.

В частной беседе один из советских участников нашей ра­бочей группы — известнейший ученый, академик АН СССР — счел необходимым сказать мне, что согласен с моим выступле­нием (далее этого он не углуб­лялся, при разговоре он нервно оглядываясь по сторонам, а дело происходило в кафе во время небольшого перерыва). Это бы­ло за несколько месяцев до то­го, как после вмешательства са­мого Горбачева Сахаров вернул­ся в Москву.

В феврале 1987 г. в Моск­ве состоялся симпозиум, кото­рый в каком-то смысле был про­должением состоявшейся пол­года назад конференции. Точ­нее, одновременно состоялись несколько международных встреч: ученых, театральных деятелей, представителей раз­личных религий, военных, эконо­мистов... В конце концов всех их участников пригласили на за­седание в Кремль. На нем выст­упил сам Горбачев. Затем был устроен прием, на котором впервые Михаил Горбачев, его супруга, тогдашний глава Совет­ского государства Андрей Гро­мыко и все советское руководст­во смешались с толпой иностран­ных и советских гостей. Среди участников приема было немало агентов советских секретных служб: кое-кто из них, как я за-

метил, украдкой записывал частные беседы участников банкета.

Сахаров принимал участие в работе главного симпозиума, участниками которого были в основном ученые. В ходе его он неоднократно выступал. Многие его предложения, которые тогда представлялись «наивными», впоследствии были реализованы Горбачевым. Например, возможность прогресса в достижении соглашений о ядерном разоружении была отделена от требований советской стороны, чтобы США отказались от дальнейших работ по проекту СОИ, который, кстати, Сахаров считал неосуществимым. Другой пример — одностороннее сокращение Советским Союзом своих обычных вооружений.

На этом симпозиуме я опять-таки взял слово. Я напомнил о своем выступлении на предыдущей конференции, выразив удовлетворение по поводу того, что мы имеем возможность видеть Сахарова среди нас. Я воздал должное Советскому Союзу за то, что тот наконец-то начал выпутываться из афганской ловушки. Я вновь напомнил о тех двух акциях, трудной и легкой, которые я позволил себе подказать Советскому Союзу: они бы подтолкнули вперед начавшийся процесс разрядки междунациональной напряженности и поворота СССР ко всему миру. Трудная акция была все той же — завершить вывод советских войск из Афганистана. Другая же акция, легкая, была попросту банальной — восстановить автоматическую телефонную связь между Италией и Советским Союзом. Такая связь была установлена много лет назад, но потом прервана. Думаю, что произошло это по советской инициативе, поскольку многие эмигрировавшие из СССР месяцами находились в Италии, прежде чем отправиться в страну назначения. Телефонная связь между двумя странами и сегодня функционирует не ахти как, но, может быть, происходит это в большей степени по вине итальянской компании СИП, чем по вине советских властей; неэффективность СИП и ее упрямство в игнорировании требований клиентов сравнима лишь с неэффективностью самого закорюченного руководства эпохи Брежнева...

Еще три момента, запомнившиеся после этого симпозиума. Это — вручение Сахарову, Амальди и Марини Беттоло, без каких-либо формальностей, от имени факультета естественных наук Римского университета «Ла Сапиенца» диплома о присвоении звания почетного доктора (решение об этом было принято в то время, когда Сахаров находился в ссылке и потому лично не смог его получить; почетное звание было присвоено ему за его научные достижения).

Вспоминается выступление Амальди. Он завершил его любезным, но решительным призывом освободить «узников совести», которые находились еще в тюрьмах и лагерях Советского Союза и список которых он вручил академику Е. Велихову, вице-президенту Академии наук СССР. И, наконец, не могу не упомянуть о настойчивости, с которой молодая и уже известная депутат западногерманского бундестага от партии «зеленых» усаживалась рядом с Сахаровым, чтобы сфотографироваться вместе с ним, а также о ее замешательстве, когда в одном из своих выступлений Сахаров подтвердил свою убежденность в том, что широкое использование ядерной энергии необходимо для будущего человечества (Сахаров вновь подтвердил свое предложение строить атомные электростанции под землей с тем, чтобы уменьшить опасность радиоактивного заражения в случае аварии).

Во время этого симпозиума у меня, разумеется, было множество возможностей послушать Сахарова и даже обменяться с ним парой слов (кстати, когда-то он дал мне номер своего телефона; в Москве ведь нет телефонных книг). А вот поговорить с ним достаточно долго возможности не представилось. Это был один из первых случаев, а возможно и вовсе самый первый, когда он встречался с такой большой группой иностранных ученых и исследователей, и все хотели поговорить с ним.

Моя первая настоящая, «с глазу на глаз», встреча с ним произошла несколько месяцев спустя, в сентябре 1987 г. То есть еще до того, как произошли политические перемены, в резуль-

тате которых Сахаров был не только полностью реабилитирован, но и приобрел официальный политический статус депутата советского парламента, став при этом моральным лидером еще формально не родившейся, но уже действовавшей «партии оппозиции». Я приехал в Москву на целую неделю для участия в научной конференции. С Сахаровым я стремился встретиться прежде всего как член руководства СИПРИ — Международного института исследований проблем мира в Стокгольме. Конечно же, мне хотелось лично с ним познакомиться поближе, однако без особой на то причины я не осмелился бы его побеспокоить.

Я хотел спросить у него, не согласился бы он прочесть в Стокгольме одну из ежегодных лекций, организуемых СИПРИ и посвященных памяти Улофа Пальме (первую из таких лекций прочел за несколько дней до этого Вилли Брандт; о второй — в сентябре 1988 г. — была договоренность с маршалом Ахромеевым, в то время начальником Генерального штаба Советских Вооруженных Сил; третью, в сентябре 1989 г., провёл Виктор Вайскопф).

Оставаясь верным некоторым привычкам, приобретенным во время поездок в Советский Союз, я позвонил по домашнему телефону Сахарова из будки-автомата в первый же день моего пребывания в Москве. Мне ответили, что он за городом и вернется примерно через неделю, то есть за день до моего отъезда из Москвы. В этот день я ужинал у своего русского коллеги, знающего и симпатичного человека. Я предупредил его, что, может быть, мне придется прервать трапезу, так как должен буду позвонить и, возможно, после этого сразу же уехать. И я спросил, есть ли у его дома общественный телефон. Естественно, первой его реакцией было, что нет никакой необходимости пользоваться автоматом, поскольку я мог позвонить из дому! Однако, когда я объяснил, кому собираюсь позвонить, он согласился, что будет разумнее — для него же самого — провонить меня и поискать автомат. Я набрал номер, трубку взял сам Сахаров. Я пред-

ставился и спросил, не смогу ли я с ним повидаться. Без всяких раздумий он сказал, чтобы я тотчас ехал к нему. Мне повезло сразу же остановить такси. С некоторой долей опаски я сказал шоферу, что мне необходимо сначала заехать в гостиницу (там я собирался взять копию ежегодника СИПРИ для передачи Сахарову), а потом отправиться на улицу Чкалова. К моему удивлению, водитель согласился (советские таксисты не считают, что они находятся в распоряжении их клиентов — если уж откровенно, то как раз наоборот). Каково же было мое удивление, когда, приближаясь к месту назначения, он сказал мне: «Так вы идете в гости к Андрею Дмитриевичу?»

Сахаров усадил меня на кухню, поскольку его жена («она придет к нам попозже») смотрела в тот момент по телевизору фильм. Мы стали пить чай. Привыкнув уже к московским обычаям, я знал, что в этом ничего не было из ряда вон выходящего. Если по правде, то я провел бесчисленное множество вечеров в беседах на кухне, попивая чай или кое-что покрепче — в большинстве домов моих русских друзей нет каких-нибудь «саллонов» или «приемных». У Сахарова, который жил в квартире вдвоем с женой, конечно же, была комната, где стоял телевизор и которая, как мне показалось, не служила одновременно спальней. Но как бы то ни было, его жилище выглядело действительно скромным. Мы проговорили несколько часов, больше по-русски, чем по-английски, иногда только он говорил на русском, а я — на английском. Кроме всего прочего, я воспользовался случаем, чтобы объяснить ему структуру и методы организации Пагуошских конференций. Ссылаясь на них, я разъяснил, почему вынужден поддерживать контакты прежде всего с учеными, у которых хорошие каналы связи с властями, — возможность донести идеи, разработанные в ходе Пагуошских конференций, до тех, кто обладает правом принимать решения на государственном уровне.

Я отметил про себя, что Сахаров — человек с твердыми

убеждениями и очень открытый. Он умел слушать доводы своих собеседников и вникать в них. Что касается предложения приехать в Стокгольм и участвовать в чтениях, посвященных памяти Улофа Пальме, то вопрос о его поездках за рубеж еще не был решен (ему, иными словами, еще не позволялось выезжать из Советского Союза). К тому же он уже много выступал и считал, что ничего нового пока сказать не имеет. Он высоко оценил «Ежегодник СИПРИ»; это было еще в то время, когда советская интеллигенция испытывала голод на определенную литературу, особенно на книги, в которых было много информации и данных.

Я встретился с Сахаровым еще дважды, по случаю двух ежегодных Пагуошских конференций: в августе 1988 г. недалеко от Сочи, в Дагомысе, и в июле 1989 г. в Кембридже, что рядом с Бостоном, в США.

В конференции, которая прошла в Дагомысе, Сахаров принял активное участие. Он провел всю неделю в гостинице, в которой расположились все приехавшие на конференцию, присутствовал на всех заседаниях и часто просил дать ему слово. Мы с ним были в одной рабочей группе. К сожалению, я был очень занят организационными делами (незадолго до этого было решено назначить меня на должность генерального секретаря Пагуошского движения, которую я и занял с начала 1989 г.).

А вот в Кембридже Сахаров участвовал лишь в торжественном открытии конференции. На этом заседании он произнес ответственную речь, нарисовал реалистичную картину — ужасную, но не лишнюю надежды — социальной обстановки в Советском Союзе. В окрестностях Бостона он пребывал в ту пору как гость дочери жены — той самой Татьяны, за право которой на эмиграцию из Советского Союза (с целью воссоединения с мужем) Сахаров несколькими годами ранее провел голодовку¹. В результа-

те ее он оказался почти при смерти (голодовка, возможно, истощила его сердце — в конце концов оно-то и не выдержало). Сахаров очень устал; он продолжал писать свои мемуары и не хотел, чтобы ему кто-либо мешал. Уже сама мысль о том, что он должен выступить с речью, была ему мучительна. Единственное, чего он желал, так это чтобы его оставили в покое. И тем не менее, когда в разговоре по телефону я объяснил ему, что его отсутствие на торжественном открытии могло быть истолковано как поступок с политическим подтекстом, он согласился подумать. А позже принял решение приехать на заседание.

Из этой последней моей с ним беседы я вспоминаю, конечно же, еще раз его необычайную искренность, прямоту: ведь он бы мог отказаться, придумав или заставив себя придумать какой-нибудь благовидный предлог. Но он сказал мне правду: он устал, пытается писать мемуары, и выступать с речью — для него просто мучение. Со своей стороны я воздержался от того, чтобы настаивать: его искренность меня разоружила. Я лишь выразил в разговоре с ним свою озабоченность, т. е. использовал рациональный аргумент. Затем я сказал ему, чтобы он не беспокоился и не приходил на открытие, если это стоит ему столько трудов и так сильно отвлекает от его нынешних занятий. Я чувствовал, что имею дело с великим человеком, и сам себя спрашивал: а не лучше ли не отвлекать его от работы?

Перевод с итальянского
В. К. Швецова

К. С. Торн, профессор Калифорнийского технологического института, США, почетный доктор Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

Тбилиси, сентябрь 1968 г.

В июле 1968 г. «Нью-Йорк таймс» опубликовала сахаровские «Размышления о про-

¹ Здесь допущена неточность: голодовка была за право воссоединения Лизы Алексеевой со своим мужем, сыном Е. Г. Боннэр.

грессе, мирном сосуществовании и интеллектуальной свободе», вызвавшие сенсацию на Западе и осуждение Сахарова в СССР. В августе советские войска вторглись в Чехословакию. В сентябре, несмотря на эти события, физики всего мира собрались в Тбилиси на V Международную конференцию по теории относительности и гравитации. Среди этих физиков были Сахаров, его ближайший сподвижник по созданию советского ядерного оружия Яков Борисович Зельдович, один из бывших руководителей проекта по созданию американской водородной бомбы Джон Арчибальд Уилер и я.

Сахаров, Зельдович и Уилер, в прошлом соперники в создании ядерного оружия, в последние годы стали членами одной команды — международной команды ученых, пытающихся понять природу пространства, времени и гравитации, а также возникновения и эволюции Вселенной. В качестве ученика Уилера недавно к ним присоединился и я. Мы с Уилером с энтузиазмом ознакомились с астрофизическими и космологическими идеями Сахарова и Зельдовича, а они — с нашими. Конференция в Тбилиси в сентябре 1968 г. была первой возможностью встретиться лично и обменяться идеями.

В жаркое, сухое время после полудня, вскоре после того, как началась конференция, Зельдович и Сахаров пригласили нас с Уилером разделить с ними ленч (он состоял из хлеба, сыра, колбасы, фруктовых соков, вина и коньяка) в просторном номере Я. Б. в отеле. В течение примерно двух часов мы жевали и интенсивно говорили о Вселенной.

Насколько же непохожи были наши хозяева! Зельдович был низкого роста, мускулистый человек-бульдозер, вибрирующий и нетерпеливый в разговоре, экстраверт, который любил, чтобы его слушали, и которого действительно было слушать интересно. Сахаров, о котором я так много в последнее время читал в западных газетах, был высок и казался болезненно застенчивым. Но несмотря на нерешительную манеру говорить, его выступления

были насыщены оригинальными, возбуждающими воображение идеями. Внешне он не проявлял признаков того давления, под которым он должен был в тот момент находиться, совершенно не чувствовалось, что он только что был лишен своего элитарного положения на «объекте», где создавалось советское ядерное оружие. Трудно было представить себе, что этот мягкий, чуждый высокомерия человек бросил вызов советскому правительству и вступил на путь диссидентства.

Неожиданно, в самый разгар нашей оживленной беседы, Зельдович объявил, что наступило время вздремнуть (этим объяснялось, как ему удалось поддерживать столь энергичный образ жизни: огромная концентрация сил чередовалась с полным расслаблением). После чего Зельдович улегся и полчаса храпел, в то время как Сахаров, Уилер и я, из уважения к его потребностям, тихо сидели, читали или писали, ожидая, когда он проснется.

Москва, 70-е годы

В течение следующего десятилетия я часто бывал в Москве, ведя совместные исследования со знаменитой группой физиков, которую Зельдович собрал вокруг себя. Во время каждого очередного визита я делал доклад на астрофизическом семинаре, который Зельдович вел благожелательно, но твердо.

Хотя все силы Сахарова в тот момент были в основном направлены на достижение гуманистических и политических целей, он тем не менее приходил на мои выступления, проявляя огромный интерес к последним новостям американских астрофизических исследований. Он всегда садился на одно и то же место — рядом с окном, налево от меня, в середине аудитории. Я вскоре привык, что в конце доклада он обязательно задает один-два вопроса, мягко сформулированные, но острые, пронизательные по содержанию. Как и в 1968 г., он не проявлял признаков того, что на него оказывают давление советское правительство и КГБ за его все возрастающую «антисоветскую деятельность».

В 1971 г. вместе с Уилером (который был советником Ричарда Никсона на переговорах между СССР и США по вопросам контроля за ядерным вооружением) я посетил Москву. Сахаров, что было весьма нетипично для него, не показывался во время наших лекций на семинаре Зельдовича. И я вдруг на минуту ощутил напряженную атмосферу вокруг имени Сахарова, когда на стоянке машин, видимо, недостижимых для подслушивающих устройств КГБ, Уилер вручил Зельдовичу книгу и попросил передать ее Сахарову; принимая подарок, Зельдович, понизив голос, сказал: «Обратите внимание на мои руки — они не дрожат».

Йена, июль 1980 г.

В декабре 1979 г. советские войска вошли в Афганистан. В январе 1980 г. Президиум Верховного Совета СССР лишил Сахарова всех правительственных наград и сослал в Горький. Шестью месяцами позже физики собрались в Йене (Восточная Германия) на IX Международную конференцию по общей теории относительности и гравитации.

По окончании конференции, в 7 час. 15 мин. утра в день моего отъезда меня разбудил телефонный звонок. Это был Зельдович, с которым в предыдущие дни мне удалось лишь перекинуться несколькими фразами. Он сказал, что хочет зайти ко мне в номер, чтобы «закончить обсуждение различных физических проблем». Я согласился; он появился через несколько минут, и я предложил, чтобы мы вышли и побеседовали на улице, где «прохладнее и свежий воздух». «Возможно, так действительно будет лучше, — согласился Зельдович. — У меня с собой есть ручка и бумага, так что и там мы сможем заниматься физикой».

Изполнив этот «менюэт», предназначенный для подслушивающих устройств, мы бродили затем по аллеям Йены и говорили о Сахарове. Я никогда прежде не видел Зельдовича таким расстроенным. «Если они могут поступать так с Сахаровым, что же они способны сделать с другими!» — риторически

вопросил он. «Обсуждался ли в Академии наук вопрос об исключении Сахарова из ее членов?» — поинтересовался я. Зельдович уклончиво ответил: «В Академии Понтрягин (известный математик) выступил с речью против Сахарова; Александров (президент Академии) защищал его; я тоже был готов защищать его, но в этом не было необходимости».

Внезапно, в разгар нашего разговора, Зельдович резко оборвал его, быстро пожал мне руку и устремился обратно в свой отель. Можно было подумать, что он вдруг испугался, не подслушивают ли нас.

Какой контраст между этими двумя людьми — Сахаровым и Зельдовичем! Внешне робкий и застенчивый Сахаров, у которого хватало мужества оставлять гуманистические и политические убеждения. И Зельдович, внешне энергичный, сильный, самоуверенный, но при этом образец политической робости.

Москва, июнь 1987 г.

В декабре 1986 г. Михаил Горбачев предложил Сахарову вернуться в Москву и «приступить к своей деятельности». Шестью месяцами позже один из моих американских друзей, побывав в СССР на конференции, посвященной перспективам космических исследований, вернулся с такой историей. Как-то Зельдович появился на утреннем заседании, надев все свои многочисленные государственные награды. Это было великолепное зрелище; западные ученые никогда прежде не видели, чтобы Зельдович их надевал. Однако после обеда все награды исчезли. Пиджак Зельдовича был «гол», когда он председательствовал на вечернем заседании. Когда наступило время для дискуссий, один советский ученый задал явно запланированный вопрос: «Яков Борисович, почему утром на вас были все ваши награды, но после обеда они исчезли?» «Этим утром Сахарова не было с нами, теперь он здесь. Поскольку когда-то он имел такой же набор наград, как и я, но затем был лишен их, и до сих пор их ему не верну-

ли, было бы неправильно, если бы я надевал эти награды в его присутствии».

Москва, июль 1988 г.

2 декабря 1987 г. Зельдович скончался он инфаркта, а Сахаров оставалось жить немногим больше двух лет. Моя последняя встреча с Сахаровым состоялась в его московской квартире в июне 1988 г. Я вместе с моим близким другом В. Б. Брагинским приехал к нему обсуждать физические вопросы. Кроме того, у меня еще был подготовлен целый набор четко сформулированных вопросов относительно вклада Зельдовича в создание советского ядерного оружия. (Мои вопросы были предназначены для того, чтобы заполнить пробелы в описании взаимосвязи между работами Я. Б. по созданию ядерного оружия и его астрофизическими исследованиями. Все это было связано с книгой, которую я в то время писал.)

Елена Георгиевна Боннэр, жена Сахарова, встретив нас у дверей квартиры, провела нас в кухню, где к нам присоединился Сахаров. Я был потрясен, тем, каким болезненным и усталым он выглядел. Его голодовки нанесли ужасный урон его здоровью. Но ум его был по-прежнему острым, когда наш разговор касался космологии, астрофизики, элементарных частиц, а также природы времени.

В середине беседы Сахаров внезапно закрыл глаза и погрузился в сон, больше похожий на транс. Мы с Брагинским притихли, обмениваясь удивленными и беспокойными взглядами. Я уже собирался идти за помощью к жене Сахарова, но он открыл глаза, слегка потряс головой и сказал: «Вы должны извинить меня. Теперь это иногда со мной случается». Видя столь явное свидетельство ухудшения его здоровья, я как-то не решился задать ему вопросы о военных исследованиях Зельдовича.

Однако сейчас ответы на них получены. В № 8 «Природы» за 1990 г. Ю. А. Романов впервые в незацензурированной публикации подробно описал роль Зельдовича и Сахарова в создании советского ядерного оружия

в 40-х и 50-х годах. Читая этот отчет, мемуары Сахарова и обращаясь к собственным воспоминаниям о наших встречах, я не могу найти слов, чтобы выразить, насколько сильное впечатление произвели на меня сложные, но плодотворные отношения, которые соединили этих двух великих людей — Андрея Дмитриевича Сахарова и Якова Борисовича Зельдовича.

Перевод с английского
Н. Д. Морозовой

**Дж. А. Уилер, профессор
Принстонского университета
и Университета штата Техас
в Остине, США**

Новый путь к пониманию гравитации. Давать новое и более глубокое понимание того, что считалось уже понятным, — великий дар, которым обладал Сахаров. До того, как Чарльз Мизнер, Кип Торн и я встретились с ним, мы уже знали, изучали и извлекали большую пользу из открытого Сахаровым² нового подхода к формулировке существа гравитации. Он научил нас — как это и сказано в нашей книге «Гравитация»³ — что гравитация есть «упругость пространства, имеющая происхождение в физике частиц». Уже в 1967 г. Сахаров отождествил член действия в эйнштейновской геометрической теории гравитации с «изменением действия за счет квантовых флуктуаций вакуума (связанных с физической частицей и полем ею описываемых) в кривом пространстве». В сахаровской формулировке ньютоновская гравитационная постоянная возникает как расходящийся интеграл по волновым числам. Он отметил, что интеграл должен быть обрезан на волновом числе, равном по порядку величины обратной массе Планка. При таком обрезании мы получаем гравитацию

² Сахаров А. Д. Вакуумные флуктуации в искривленном пространстве и теория гравитации // Докл. АН СССР. 1967. Т. 117. С. 70—71.

³ Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж. Гравитация. М., 1977. Т. 2. С. 56—59.

как метрическую упругость пространства. Короче говоря, оболочка сосиски перестает болтаться, только если она наполнена мясом!

Первая встреча со скромным искателем истины. Моя первая встреча с внушающим благоговение Андреем Дмитриевичем Сахаровым и его замечательным коллегой Яковом Борисовичем Зельдовичем произошла в Тбилиси в сентябре 1968 г. Ни русские, ни я ни разу и словом не обмолвились друг с другом о тех ядерных устройствах, над которыми мы работали каждый в своей стране, во время и после войны. Физика, чистая физика была в центре наших обсуждений с Сахаровым. Никогда прежде я не встречал личности столь значительной, которая обладала бы при этом более сильной аурой скромного искателя истины, желающего постичь великие тайны — научиться у природы, научиться из научной литературы, научиться из обсуждений.

Последние обсуждения. В последний раз мы встретились на ужине в его квартире, куда Елена Боннэр и он пригласили меня с Борисом Альтшулером вечером во вторник 26 мая 1987 г. Накануне Сахаров пришел на открытие IV Московского семинара по квантовой гравитации, и после моего доклада беседовал со мной и пригласил на ужин в среду вечером — в среду, поскольку он должен был во вторник ехать в Ленинград. Я вынужден был извиниться, поскольку мой самолет улетал в среду днем.

Тогда он отложил поездку в Ленинград на среду и пригласил меня на вечер во вторник, тут же любезно обговорив с академиком М. А. Марковым, как организовать все таким образом, чтобы я последовательно ужинал в их квартирах в один и тот же вечер! Борис Альтшулер много работал с Сахаровым в области гравитации и космологии вообще и над принципом Маха в частности, так что в тот вечер мы вполне могли обсуждать современную космологию. Вместо этого, однако, Андрей Сахаров вызвал меня на разговор относительно предмета моей недавней работы, мотивацию и идеи которой я неза-

долго до того опубликовал. Борис Альтшулер помогал мне объяснить свои взгляды, а Андрей Сахаров внимательно слушал, задавая время от времени вопросы, имеющие целью прояснить изложение, но никогда не проносив окончательного «Я согласен» или «Я не согласен». Его готовность к восприятию новых идей была в тот раз столь же бросающейся в глаза, как и в первую нашу встречу, как и во многих его работах. Во время перерыва Борис Альтшулер рассказал мне подробности, которых я не знал, — о бесчеловечности в обращении с Сахаровым в Горьком и о судьбоносном телефонном звонке ему Михаила Сергеевича Горбачева 16 декабря 1986 г. — звонке, принесшем Сахарову освобождение.

Прощальный образ. Мне будет всегда казаться незаслуженным благодарением то, что Елена Боннэр и Андрей Сахаров смогли уделить столь значительную часть своего вечера американскому физику, в то время как они на пределе своих сил вели борьбу за столь важные цели. Все говорило об этой борьбе: серьезные выражения их лиц, эти кипы рукописей, присланных коллегами и незнакомыми людьми из многих мест, — они наверняка требовали сахаровского суждения. Эти груды писем — в них, без сомнения, содержались просьбы поддержать прошение об эмиграции или поездку на зарубежную встречу. Каждый день — просьбы о помощи. Обращения от соратников по реформе политической системы. Просьбы о совете, содействии, поддержке. Просьбы от семей диссидентов, брошенных в тюрьму 17 лет или неделю назад. К кому еще могли они обратиться? Этот человек держал в руках знамя надежды тех, кому не на что было надеяться.

14 декабря 1989 г. Андрей Дмитриевич Сахаров вложил все свои силы в обращение к коллегам по Съезду. Поддержите политический плюрализм и ры-

ночную экономику, сказал он им. Поддержите людей, «которые наконец нашли способ выразить свою волю»¹. Несколькими часами спустя его не стало.

Перевод с английского
А. В. Леонидова

Ф. фон Хиппель, профессор Принстонского университета, США, член Совета директоров, председатель Комитета по международной безопасности Международного фонда «За выживание и развитие человечества»

Как и большинство американских физиков, я впервые узнал о Сахарове в 1968 г., когда «Нью-Йорк таймс» напечатала его эссе «Размышления о прогрессе, мирном осуществлении и интеллектуальной свободе». Вскоре я достал и прочел полный вариант этой статьи. Это было пророческое эссе, но самым поразительным было то, что оно было написано человеком, выросшим в тоталитарной системе.

Хотя я и не встречался с Сахаровым до 1987 г., я следил за ним после 1968 г. с интересом, к которому примешивалось благоговение перед мужеством, с каким он настойчиво продолжал говорить все то, что, по его мнению, было правдой, и это в стране, где власти обычно расценивали такие речи как измену. Я многому научился на его примере.

В 1968 г. (когда я прочел сахаровское эссе) сообщество американских физиков было вовлечено в политические дебаты по поводу принятого в 1967 г. правительством США решения о создании «тонкой» системы противоракетной обороны, которая якобы разрабатывалась для защиты американских городов от китайских межконтинентальных ракет, а на самом деле должна была стать первым шагом к «толстой» системе ПРО против советских ракет.

В 1968 г. в мартовском выпуске «Сайентифик америкэн» Р. Гарвин и Х. Бете опубликовали статью, в которой описали некоторые возможные отно-

¹ См.: Клайн Э. Предисл. к англ. пер. «Воспоминания»: Sakharov Andrei. Memoirs / Translated from Russian by R. Lourie, Knopf., N. Y., 1990.

сительно дешевые контрмеры, с помощью которых можно нейтрализовать предполагаемые системы ПРО. Например, оснастить ракеты многочисленными ложными головками, неотличимыми в космосе от настоящих ракетных боеголовок. Я с интересом отметил, что Сахаров цитирует статью Гарвина и Бете в главе «Угроза ядерной войны» и соглашается с их выводами. Для меня это был первый намек на то, что публичные дебаты по ПРО в Соединенных Штатах могут иметь влияние на параллельные секретные обсуждения в Советском Союзе.

В Соединенных Штатах дебаты по ПРО тоже были засекречены до тех пор, пока администрация Джонсона не отклонила рекомендации своих научных советников и не приняла решение продолжать развертывание работ по ПРО — видимо, потому, что республиканцы собирались использовать отсутствие систем ПРО в США как повод для политической дискуссии во время предвыборной кампании 1968 г. Несколько научных советников, например Бете и Гарвин, не согласились с этим решением и вынесли эти разногласия на публику. Их действия подтолкнули политический процесс, который в конечном счете закончился тем, что сенат вынудил администрацию Никсона использовать американскую систему ПРО в качестве «разменной монеты» на переговорах, приведших к Договору по ПРО в 1972 г. Таким образом, открытый политический процесс привел к пересмотру решения, принятого президентом-демократом и подтвержденного его преемником-республиканцем.

Сахаров тогда уже пришел к выводу, что Советский Союз не может стать современным обществом без демократической системы, допускающей такие открытые обсуждения и обеспечивающей принятие представительных решений по основным вопросам.

Я с интересом следил за новыми сообщениями о протестах Сахарова в защиту диссидентов в период с 1968 по 1980 г. Его действия казались благотворными, но бесполезными, поскольку брежневский режим систематически отправлял

диссидентов в тюрьмы, ссылки или психиатрические больницы до тех пор, пока Сахаров не остался практически один. А в 1980 г., после публичного протеста против вторжения в Афганистан, настал и его черед.

Ссылка Сахарова в Горький вызвала возмущение многих американских ученых. Одним из главных инициаторов протеста был Дж. Стоун, президент Федерации американских ученых. Активность Стоуна оказала решающее влияние на медлительную Национальную академию наук США и побудила ее в знак протеста прекратить научный обмен с СССР. Стоун считал Сахарова духовным лидером невидимого сообщества ученых доброй воли и неустанно и плодотворно работал, привлекая внимание общественности и официальных инстанций к проблеме освобождения «нашего лидера» до тех пор, пока Сахаров наконец не был освобожден в 1986 г.

В марте 1983 г. президент Рейган произнес свою печально известную речь о «звездных войнах», призвав американских ученых «разработать такие устройства, чтобы ядерные боеголовки устарели и стали беспомощными». Это был прямой вызов тем американским физикам, которые боролись за Договор 1972 г. по ограничению противоракетных систем, и мы вновь решили обратиться к общественности.

Некоторые члены Академии наук СССР тоже приступили к действиям и начали с того, что обратились с открытым письмом к американским ученым, спрашивая, поддерживаем ли мы все еще Договор по ПРО. В то время я был выборным председателем Федерации американских ученых, и мы со Стоуном от имени нашей организации ответили утвердительно в письме президенту Академии наук СССР А. Александрову. Вскоре после этого мы получили от него ответ, доставленный через советское посольство в США.

Федерация американских ученых уже три года бойкотировала советское посольство — с тех самых пор, как Стоуну, собиравшемуся навестить Сахарова в Горьком, было отказано

в визе. Однако теперь, когда Договор по ПРО оказался под угрозой, Стоун ответил, что мы готовы послать делегацию в Москву, чтобы обсудить с советскими учеными политические последствия рейгановской стратегической оборонной инициативы — но только в том случае, если в рамках этих переговоров мы сможем обсудить также, как советское правительство обращается с Андреем Сахаровым.

Вскоре после этого мы получили приглашение посетить Москву для встречи с недавно созданным в Академии наук СССР Комитетом советских ученых в защиту мира, против ядерной угрозы. И вот в 1983 г., в День благодарения, мы с Дж. Холдреном, вице-президентом Федерации американских ученых, и Дж. Пайком, экспертом по вопросам стратегической оборонной инициативы США, прибыли в Москву и встретились с руководством Комитета. В то время его возглавляли Е. Велихов (председатель) и Р. Сагдеев, С. Капица и А. Кокошин (заместители председателя).

Во время встречи с этими учеными, и особенно с Велиховым, который был вице-президентом Академии наук СССР, мы неоднократно настаивали на том, чтобы они попытались помочь Сахарову. В последний день нашего пребывания в Москве Стоун неофициально встретился с женой Сахарова Е. Боннэр и помог ей переправить письмо Сахарова Андропову.

Однако Сахаров столь сильно прогневал некоторых лиц в советском руководстве, что потребовалась полная отставка сторонников «жесткой» линии в Политбюро, произведенная Горбачевым в первые два года его пребывания у власти, прежде чем стало возможно положить конец сахаровской ссылке.

Впервые я встретился с Сахаровым вскоре после его возвращения из Горького, в феврале 1987 г., во время Международного форума за безъядерный мир, который был организован Е. Велиховым. Мы со Стоуном провели вечер с Сахаровым и Боннэр в их московской квартире. Я обсуждал с Сахаровым важность полного запрещения испытаний ядерного

оружия — это был спорный вопрос, к обсуждению которого я подключился после одностороннего моратория на испытание, объявленного советским руководством; в то время этот мораторий подошел к концу из-за недостаточных ответных действий со стороны США. Я рассказал Сахарову, что его публикация 1965 г. о сжатии магнитного поля взрывом заставила некоторые круги в США, связанные с ядерным оружием, испытать страх, что СССР может оказаться впереди в разработке микроволновых генераторов, запускаемых ядерным взрывом. По иронии судьбы, опубликованная два месяца спустя в «Сайентифик америкэн» статья бывшего конструктора ядерного оружия в США Т. Тейлора «Ядерное оружие третьего поколения», похоже, породила в советских военных кругах опасения, что США находятся на пороге создания такого оружия. Запрещение испытаний ядерного оружия частично ослабило бы такой психоз.

Что касается Сахарова, то моим первым впечатлением в тот вечер была хрупкость его тела, содержащего столь неукротимый дух. А наиболее устойчивым впечатлением, оставшимся от наших споров, была их с Еленой Боннэр полная убежденность в справедливости выработанных им точек зрения на многие проблемы. Мы совсем не видели неуверенности или готовности уступить мнению других, что служит полезным амортизатором в обычных человеческих отношениях. Такая «гибкость» была бы непозволительно роскошной при их конфронтации с советским государством.

Поведение Сахарова на Форуме иллюстрирует эту характерную для него убежденность. Когда он поднялся, чтобы выступить, он сделал это не для того, чтобы принять участие в текущей дискуссии, но чтобы обнародовать свои взгляды. В некотором смысле после двух десятилетий честного служения делу построения своего собственного независимого миропонимания, Сахаров стал оракулом. Простые смертные не всегда легко воспринимают оракулов. Тем не менее заявление

Сахарова, пожалуй, было самым важным событием Форума.

Сахаров доказывал, что советское руководство не должно требовать от администрации Рейгана обязательного соблюдения договора по ПРО в качестве предварительного условия для заключения соглашения об ограничении стратегических вооружений. Его доводы были таковы: поскольку стратегическая оборонная инициатива рухнет под собственной тяжестью, не следует отказываться от возможности сократить наступательное ядерное вооружение. Более того, Советский Союз может обеспечить свое соблюдение соглашения об ограничении стратегических вооружений соблюдением со стороны США Договора по ПРО. Если США действительно нарушат Договор по ПРО и развернут противоракетную оборону, то Советский Союз будет вправе нарушить соглашение и будет иметь достаточно времени для того, чтобы восстановить свои наступательные силы прежде, чем оборона США станет эффективной. Впоследствии советское руководство приняло «сахаровский гамбит», и стратегическая оборонная инициатива, лишенная того ореола правдоподобия, который придавала ей советская оппозиция, действительно стала разрабатываться.

В конце Форума Велихов попросил меня подвести его итоги, чтобы затем представить их Горбачеву⁵. Я закончил это сочинение ссылкой на Сахарова: «Наконец, нам было особенно приятно, что в наших дискуссиях смог принять участие академик Андрей Сахаров. Его вклад в обсуждение технических вопросов был очень важен. Академик Сахаров также подчеркивал особо важную роль открытости и демократизации для того, чтобы общество начало доверять процессу разоружения — за работу в этом направлении он был награжден Нобелевской премией мира. Эти

его взгляды разделяли многие участники Форума».

Моя следующая встреча с Сахаровым состоялась в январе 1988 г. на первом заседании правления Международного фонда «За выживание и развитие человечества». Е. Велихов и Дж. Визнер, советник президента Кеннеди по науке, были главными создателями этой организации. Ее задача — поддерживать усилия в сфере неправительственного сотрудничества СССР с другими странами в области прав человека, международной безопасности, развития стран «третьего мира» и образования. Сахаров настаивал на таком названии Фонда (кое-кто считал его слишком драматичным), дабы не было никакой двусмысленности относительно целей этой организации.

В дни, когда правление собралось, чтобы учредить Фонд, у нас состоялась встреча с Горбачевым. Это была первая встреча Сахарова и Горбачева.

Пока мы ожидали в приемной, я спросил Сахарова, был ли он когда-нибудь в Кремле. Он ответил: «Да, я бывал здесь на встречах с Берией».

Горбачев вышел к нам и познакомился с каждым из нас по очереди. Когда Горбачев оказался перед Сахаровым, тот сказал ему: «Я благодарен за то, что вновь обрел свободу и ответственность». Горбачев ответил: «Я рад, что мы согласны в том, что свобода и ответственность неразделимы».

Затем наша группа вошла в зал, села вокруг стола, и каждый из нас по очереди выступил с коротким заявлением. Когда подошла очередь Сахарова, он сказал⁶: «Вот, Михаил Сергеевич, — возвращаясь к тому телефонному разговору (когда Горбачев позвонил в Горький и сообщил Сахарову, что он свободен и может вернуться в Москву. — Ф. Х.), — у меня список 200 узников совести; я хотел бы, чтобы вы их освободили». Горбачев ответил: «Андрей Дмитриевич, мы не можем двигаться так быстро. Вспомните, как было в Китае с культурной революцией».

⁵ Форум за безъядерный мир подразделялся на подфорумы по профессиям; в них принимали участие ученые в области естественных наук, области общественных наук, бизнесмены, писатели и актеры, юристы и врачи.

⁶ Я цитирую по памяти, через переводчика и потому приблизительно.

Но Горбачев попросил мощника взять список, и практически все 200 узников через несколько месяцев были освобождены.

Сахаров и Горбачев разговаривали друг с другом со взаимным уважением, тщательно подбирая слова. Мне кажется, оба понимали, что в глазах внешнего мира они — Генеральный секретарь и диссидент — являются двумя самыми значительными гражданами СССР.

Когда позже, на пресс-конференции после этой встречи, журналист спросил Сахарова о его впечатлении от Горбачева, он ответил: «Я думаю, нашей стране сейчас нужен именно такой человек, как Горбачев».

Моя следующая встреча с Сахаровым произошла в июне 1988 г. в Ленинграде на заседании финансируемого Фондом семинара по глобальным проблемам энергетики, а также на заседании исполкома Фонда, которое проходило сразу после семинара. Я помню, что вмешательство Сахарова в работу семинара по проблемам энергетики вызвало у меня раздражение.

С присущей ему уверенностью Сахаров пространно настаивал, что проблема аварий ядерных реакторов может быть решена путем размещения реакторов под землей. В 1974 г. я (в качестве члена рабочей группы Американского физического общества по вопросам безопасности легководных реакторов) ознакомился со множеством американских инженерных разработок, посвященных этой идее, и пришел к выводу, что преимущества подземного расположения не столь очевидны, как представлялось вначале. Поэтому у меня вызвала раздражение уверенность Сахарова в

Сложные и потенциально опасные устройства потребовались бы для того, чтобы перекрыть большие трубы охлаждения и пути подхода к реактору с поверхности. Ограниченность размеров подземной камеры усугубила бы трудности, связанные с контролем за состоянием труб реактора и их ремонтом. К тому же вследствие ограниченности объема камеры давление в ней нарастало бы гораздо быстрее, чем в наземном сооружении большего объема.

своей правоте в этом вопросе, основанная на том, что казалось еще очень мало исследованным. Выступление Сахарова выглядело излишне длинным и избыточным повторами, поэтому я вмешался и резко сказал, что эта идея достаточно глубоко была изучена в США и что ее преимуществ не столь очевидны. Несколько месяцев спустя я послал Сахарову обзор этих американских исследований, но они его не удовлетворили. У меня осталось некое чувство вины, что я тогда рассердился на этого великого человека, а также неотступное ощущение, что, возможно, в конце концов интуиция и в этом случае его не обманула⁸.

На собрании исполнительного комитета, состоявшемся сразу после семинара по энергетике, Сахаров выдвинул несколько предложений. То, которое мне особенно запомнилось, касалось нового советского свода законов, который в то время разрабатывался. Сахаров предложил Фонду выделить денежные средства для бывших политзаключенных, чтобы они могли консультировать составителей нового кодекса при написании раздела об обращении с заключенными. Мне казалось, что, предприняв такого рода действия, международная организация пересекла бы черту и вмешалась во внутренние дела Советского Союза. Однако исполком поддержал предложение Сахарова. Оглядываясь назад, легко видеть, что мы тогда согласились с идеей Сахарова, что права человека не являются чисто внутренним делом.

И в заключение еще одно воспоминание о Сахарове — по

⁸ Когда я писал эту статью, я перечитал отчет группы исследователей, по поручению Американского физического общества занимавшейся проблемой подземного расположения реакторов (см.: Доклад Американскому физическому обществу, составленный группой по изучению безопасности реакторов с водяным охлаждением // *Rev. Mod. Phys.* 1975. V. 47. P. S 110—S111) и обнаружил, что наше заключение по этому вопросу было более положительным, чем это отложилось у меня в памяти. Тот факт, что именно я писал эту часть нашего отчета, вдвойне меня смущает.

поводу завтрака, на который посол Швеции пригласил Сахарова и Боннэр весной 1989 г. Среди приглашенных были еще один американский член правления Фонда, Б. Миллер, и я.

Главной темой разговоров за завтраком были последние известия о ходе расследования дела Рауля Валленберга, шведского дипломата, арестованного советскими властями в Венгрии в конце второй мировой войны после того, как он спас от нацистов тысячи венгерских евреев. Я был поражен, увидев, сколько времени и внимания уделял Сахаров этому делу — и это тогда, когда он играл столь решающую роль в разработке основ более цивилизованного правления в своей стране. Возвращаясь к прошедшему, я вижу, что все-таки не вполне осознавал тогда, что Сахаров получает моральные силы из синергизма между двумя своими страстными заботами: одной — о будущем человечества, другой — о тех конкретных человеческих существах, ответственность за чьи судьбы он взял на себя.

Перевод с английского
Н. А. Грязновой

Э. Теллер, профессор Калифорнийского университета в Беркли, США

Когда Горбачев приступил к великим и вселяющим надежду преобразованиям, меняющим Советский Союз, это оказалось крайне неожиданным для всего мира. Широко распространялись всевозможные домыслы относительно того, какие причины толкнули его на эти шаги. Я уверен, что нельзя все объяснить единственной или простой причиной, и в то же время я полагаю, что Андрей Сахаров оказал решающее влияние на выбор Горбачева.

Андрей Сахаров внес огромный вклад в науку. Его вклад в военную мощь Советского Союза был уникальным и выдающимся. Но вот что особенно выделяет его среди всех остальных: он был готов использовать свой колоссальный авторитет для противодействия совет-

скому правительству, когда в результате проводимой им политики нарушались права советских граждан или возникала угроза миру. Такие действия требовали необычайной силы характера и действительно замечательного мужества.

Для меня первым неожиданным поступком Горбачева было прекращение сахаровской ссылки в Горьком и возвращение Сахарова в Москву. Среди политических диссидентов в Советском Союзе Сахаров был, безусловно, выделенной фигурой. Но я подозреваю, что Горбачев решил прекратить ссылку Сахарова, потому что Сахаров своим личным превосходством и искренним стремлением добиться решающих улучшений в советской системе заслужил уважение Горбачева.

Сахаров оказал мне честь, отметив в своих воспоминаниях, что в 40-х и 50-х годах его позиция «была очень близкой к позиции Теллера, практически ее зеркальным отражением... так что, защищая его действия, я также защищаю и свои в те времена». На самом деле я пошел против общественного мнения в стране, где оно является решающей силой. Сахаров же критиковал централизованное и абсолютистское правительство. Его положение, очевидно, было гораздо опаснее. Его медленная, продуманная и самосогласованная смена взглядов, сопровождавшаяся большими личными потерями, — редкость в человеческой истории. Для этого необходимы решимость и исключительная цельность натуры.

Несмотря на то, что я многие годы следил за сахаровскими работами, как научными, так и политическими, мне выдалась лишь короткая возможность увидеть его. Когда он наконец сумел приехать в Соединенные Штаты, я был рад встрече с ним — это было неожиданно и прекрасно. Но нескольких минут, отведенных нам для общения, было явно недостаточно, чтобы достичь хорошего понимания различий в наших точках зрения по спорным вопросам и, тем более, чтобы прийти к соглашению по ним.

Была, однако, важная область, в которой мы обнаружили полное согласие друг с дру-

гом. Наше мнение тут отличается от мнения людей, которые не рассматривали связанные с этим проблемы тщательно и в подробностях. Мы с Сахаровым были единодушны в том, что ядерные реакторы необходимы для энергообеспечения человечества и что энергия, производимая на них может быть и безопасней и чище энергии, вырабатываемой любым другим источником.

Замечательно, что мы пришли к согласию в таком важном конкретном пункте: соображения безопасности требуют подземного размещения ядерных реакторов. Осуществление такой программы действительно могло бы исключить в будущем возможность любых катастроф с реакторами.

Хотя у нас не было времени для точной формулировки, я верю, что мы с Сахаровым сходились во взглядах относительно трех взаимосвязанных условий, обеспечивающих прогресс и безопасность:

прогресс, основанный на развитии технологии, необходим для всего мира;

этот процесс следует осуществлять с достаточной осторожностью;

если осторожность соблюдена, прогресс и безопасность вполне совместимы.

Технологический прогресс несет в себе новые возможности, новые опасности, но также и новые гарантии. В борьбе с нищетой и угрозой войны технология дает необходимую поддержку и способствует всеобщему благосостоянию. В этой связи размещение ядерных реакторов под землей — это существенный шаг, позволяющий свести к нулю широко распространенную боязнь перед лицом потенциальной опасности и радоваться преимуществам чистой, безопасной и неисчерпаемой энергии.

Мое короткое личное общение с Сахаровым подтвердило то, что я ранее только предполагал: Сахаров был оптимистом. Себя я тоже считаю оптимистом. Я рассматриваю оптимизм как необходимую добродетель. Пессимист — это человек, который всегда прав, но не находит в этом никакой радости. Оптимист же верит, что бу-

дущее не предопределено, и всячески старается улучшить его. Я особенно восхищаюсь Сахаровым, потому что в его случае для поддержания оптимизма требовалась большая сила характера.

Я выражаю глубокую надежду, что все те из нас, кто благодарны ему за то, что он сделал, будут стараться, чтобы наша память о нем вдохновляла наши усилия, направленные на решение вполне реальных проблем, продолжающих разделять Восток и Запад.

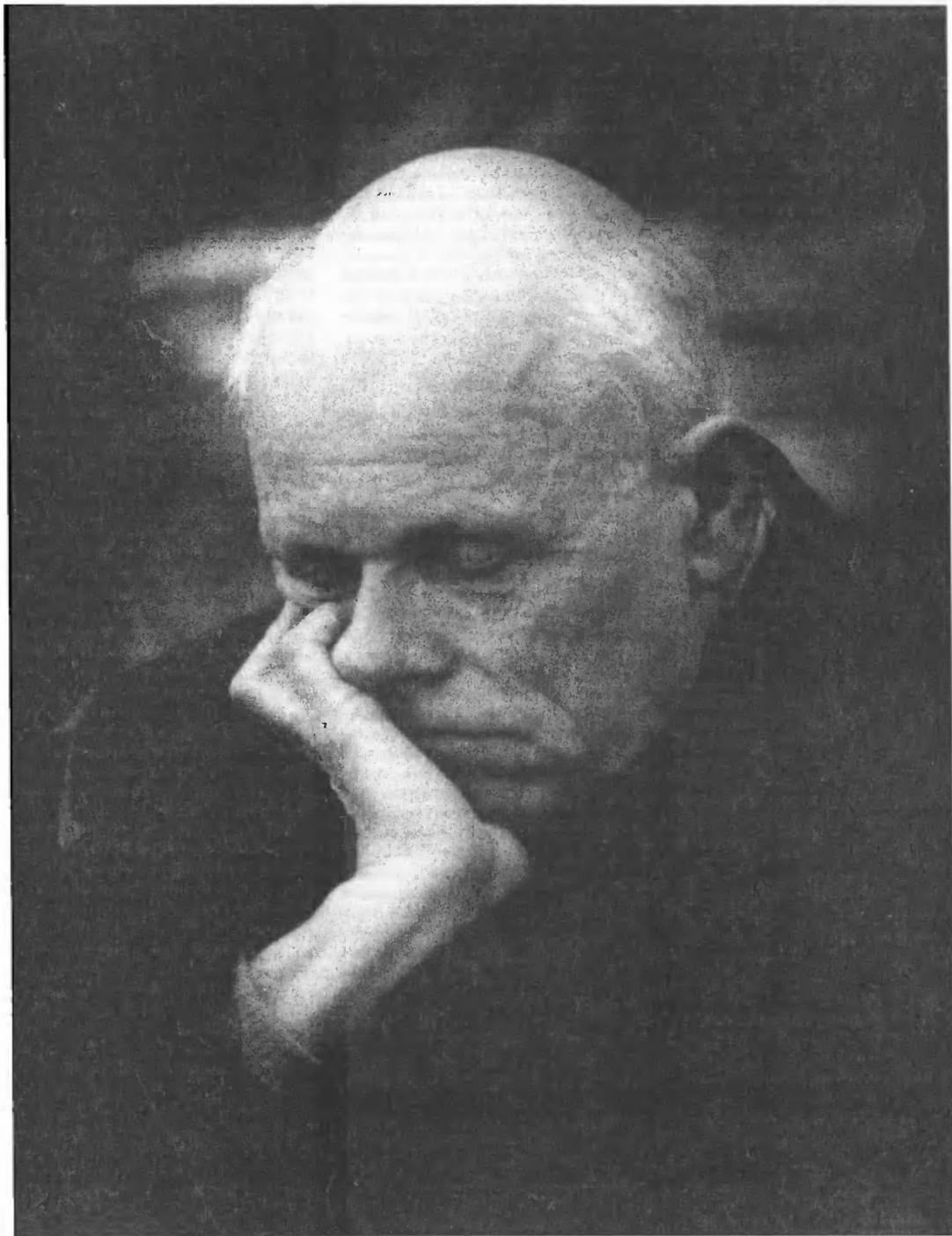
Перевод с английского
А. В. Маршкова

Г. Липкин, профессор отделения ядерной физики Института Вейцмана, Израиль

История моих контактов с Андреем Сахаровым и его обща-ния с Институтом Вейцмана берет начало в 1966 г., задолго до того, как мы встретились. Со своим коллегой Я. Б. Зельдовичем он опубликовал статью⁹, в которой упоминались четыре работы сотрудников Вейцмановского института: две статьи Х. Харари и Липкина, одна — Липкина и одна — экспериментальной группы высоких энергий. В то время мы не знали о его работе, а в ней содержалось любопытное примечание, указывающее на то, что он не знал о нашей продолжающейся работе. Примечание начиналось так: «В обсуждениях на летней школе на оз. Балатон (Венгрия) Б. Соколов из Беркли развил гипотезу аддитивности полных сечений при высоких энергиях...» Сахаров не знал, что Соколов приехал на Балатон после семимесячного визита в Вейцмановский институт и докладывал о работе нашей группы в Реховоте.

То, что группа Сахарова и наша группа работали над одним и тем же, мы не знали

⁹ Зельдович Я. Б., Сахаров А. Д. Квадратная структура и массы сильно взаимодействующих частиц // Ядерная физика. 1966. № 4. С. 395.— Прим. ред.



вплоть до 1980 г., когда Сахаров оказался в горьковской ссылке и его рукопись была вывезена из Советского Союза его другом, который пытался опубликовать ее в Соединенных Штатах. Я был в то время в США, используя для научной работы годовой отпуск, предоставляемый нам каждые семь лет. Меня попросили прочитать и дать рецензию на статью, чтобы убедиться в ее научной значимости. Американцы хотели исключить любое подозрение в том, что они опубликовали статью по чисто политическим причинам. Я был поражен, обнаружив, что по сути эта статья почти полностью совпадает с работой, которой я занимался в прошедшие несколько лет.

Я немедленно начал ссылаться на работу Сахарова во всех своих лекциях и докладах по моей собственной работе, отмечая, что те же самые результаты были получены Сахаровым в Горьком. Директор итальянской летней школы на о. Сицилия профессор А. Зикики был очень взволнован, узнав об этом. По его мнению, эта работа Сахарова должна была быть передана широкой гласности. Ведь русские распространяли слухи, что Сахаров, конечно, великий человек, но теперь он уже стар и дряхл и изолирован в Горьком для своего же блага. Мои ссылки на работу Сахарова свидетельствовали о том, что это неправда, и серьезно противобоевствовали этой дезинформации.

Зикики попросил меня написать популярную статью об этой работе, которую он потом перевел на итальянский и опубликовал в римской газете «Темпо» с фотографией Сахарова и заголовком «Статья, написанная Андреем Сахаровым в горьковской ссылке». Эта газета читалась многими видными политическими фигурами, включая президента и папу. Видя этот заголовок и фотографию, они понимали, что распускаемые слухи были ложными.

Так началась длинная кампания по популяризации науч-

ной работы Сахарова. Его борьба за права человека и гонения со стороны КГБ были достаточно известны и широко освещались остальными. Но значимость его научной работы была не столь хорошо известна, и это давало нам возможность сделать то, что еще не было сделано другими. Таким образом, усилила общественности прилагались в трех направлениях.

1. Показать, что Сахаров все еще активно занимается наукой и что слухи о его немощи ложные.

2. Изложить интересную историю о его научной работе и его контактах с Институтом Вейцмана. Подобные сюжеты по-новому освещали его в средствах массовой информации и тем самым помогали держать его проблемы в центре внимания. Публика была уже пресыщена следующими одна за другой историями о правах человека и заточении Сахарова в Горьком, а научный угол зрения открывал возможности для появления новых интересных статей.

3. Линия Галилей — Оппенгеймер. «Сегодня мир помнит имена Галилея и Оппенгеймера, в то время как имена их преследователей забыты». Вклад Сахарова в науку столь значителен, что вычеркнуть его из истории не удастся ни Брежневу, ни Андропову.

В 1983 г. Институт Вейцмана присудил Сахарову почетную степень доктора, и меня попросили получить за него диплом во время церемонии. Здесь мы опять использовали возможность заострить внимание на сахаровском положении и подчеркнуть, что он великий ученый и борец за права человека. В 1985 г. я рассказывал о Сахарове биологам во время традиционной междисциплинарной сессии на конференции во Франции, где физики пытаются рассказать о последних событиях в физике на языке, понятном для биологов. Модель Сахарова — Зельдовича постоянно фигурировала в сообщениях на

ряде конференций и летних совещаний.

После Чернобыля я написал несколько статей, отмечая в них, что если Горбачев всерьез озабочен работой по предотвращению возможных ядерных аварий, он должен привлечь лучшие умы к решению проблемы ядерной безопасности. Первым шагом было бы возвращение одного из крупнейших ученых в этой области — Андрея Сахарова — из Горького в Москву. В 1986 г., незадолго до возвращения Сахарова из ссылки, я упомянул о его работе в сообщении, сделанном на международной конференции в Советском Союзе. Я согласовал это с организаторами конференции, которые сказали, что можно спокойно ссылаться на научную работу Сахарова, не касаясь политики. Зная советский обычай читать между строк, я начал свой доклад с упоминания большого вклада советской науки в область, которой был посвящен доклад. Далее я выразил свое сожаление по поводу отсутствия на конференции некоторых физиков, чей научный вклад был решающим, а участие в конференции — крайне полезным.

Возвращение Сахарова в Москву завершило главу в нашей общественной деятельности, связанной с его положением. Мы встретились с ним в Москве в августе 1988 г. на обеде у А. Б. Мигдала, а в сентябре принимали участие в Пагуошской конференции в Дагомысе, где жили в одной гостинице. Я не осознавал тогда, что вижу его в последний раз, и мы обсуждали предстоящий в 1990 г. визит в Израиль Андрея и Елены. Мы встретились с Еленой в Иерусалиме в июне 1990 г. на торжественном открытии Парка Андрея Сахарова и на церемонии в Институте Вейцмана, где мы когда-то планировали вручить ему почетный диплом. Но Андрея уже с нами не было.

Перевод с английского
А. В. Маршак

Космические исследования

Экспедиции на «Мире»: декабрь 1990 г. — январь 1991 г.

После возвращения на Землю 10 декабря 1990 г. вместе с японским журналистом Т. Акиямой предыдущего экипажа (Г. М. Манакова и Г. М. Стрекалова) В. М. Афанасьев и М. Х. Манаров продолжали научно-технические исследования.

Значительное место отводилось экспериментам по получению в невесомости полупроводниковых материалов с улучшенными структурными и электрофизическими параметрами на установках «Галлар» и «Кратер-В». На технологической установке «Пион» изучалось влияние микрогравитации на теплообмен в жидкостях.

С помощью аппаратуры «Арфа», установленной на внешней поверхности модуля «Квант», космонавты продолжали исследование ионосферы и магнитосферы Земли. Определялись возможности сбора информации о тектонических процессах, происходящих в земной коре, при дистанционном зондировании верхних слоев атмосферы.

С помощью телескопа «Букет» и спектрометра «Гранат» измерялись пространственно-энергетические характеристики космического излучения. На международной обсерватории «Рентген» проведены несколько сеансов наблюдений рентгеновского источника в созвездии Перуса.

7 января космонавты вышли в открытый космос для ремонта наружного люка модуля «Квант-2» и выполнения плановых работ на внешней поверхности станции. (Как показал осмотр, проведенный предыдущим экипажем, необходимо было заменить одно из креплений крышки люка.) Они демонтировали вышедший из строя узел крепления и установили но-

вый, изготовленный с учетом особенностей монтажа в космосе. Затем на причальном устройстве модуля была закреплена металлическая ферма, используемая в дальнейшем при работах с солнечными батареями.

Общее время пребывания экипажа в открытом космосе составило 5 ч. 18 мин.

Космические исследования

«Галилей» в полете

13 декабря 1990 г. НАСА распространены два новых изображения Луны и одно — Земли, полученные межпланетной автоматической станцией «Галилей» при ее максимальном сближении с планетой до 960 км над юго-западной частью Атлантического океана.

На снимке Луны, выполненном из точки наблюдения, недоступной на Земле, запечатлено Восточное море — гигантский кратер, поперечником 885 км, возникший от удара метеорита. На другом изображении — серп Луны, с кратером Коперник (95 км в диаметре) и участком, где высаживались члены экипажей космических кораблей «Аполлон-12, -14, -15».

На изображении Земли, составленном из снимков Антарктиды, видны шельфовый ледник Росса и его граница с морем, а также горы в районе антарктической станции Мак-Мердо. Из полученных 1400 снимков НАСА планирует создать фильм, в котором будет заметно перемещение облаков над вращающейся Землей.

Это первые фотографии, сделанные за всю историю космонавтики аппаратом, приближающимся к Земле и Луне из глубин космоса.

Пролет «Галилея» у Земли вызван необходимостью разогнать его в гравитационном поле планеты до скорости, необходимой для полета к Юпитеру. В результате предпринятого ма-

невра скорость аппарата возросла со 108 250 до 126 950 км/ч, и он перешел на новую орбиту вокруг Солнца с периодом обращения 2 года. После второго пролета у Земли в декабре 1992 г. его скорость возрастет до 140 315 км/ч, и он перейдет на траекторию полета к Юпитеру, окрестностей которого достигнет в декабре 1995 г.

Столь сложная траектория выбрана потому, что к моменту запуска «Галилея» в распоряжении НАСА не было достаточно мощного носителя, способного направить аппарат непосредственно к Юпитеру. Напомним, что «Галилей» был запущен 18 октября 1989 г. с борта космического корабля «Атлантис» в направлении Венеры, окрестностей которой достиг в феврале 1990 г., под воздействием ее поля тяготения он изменил траекторию полета, вернувшись к Земле.

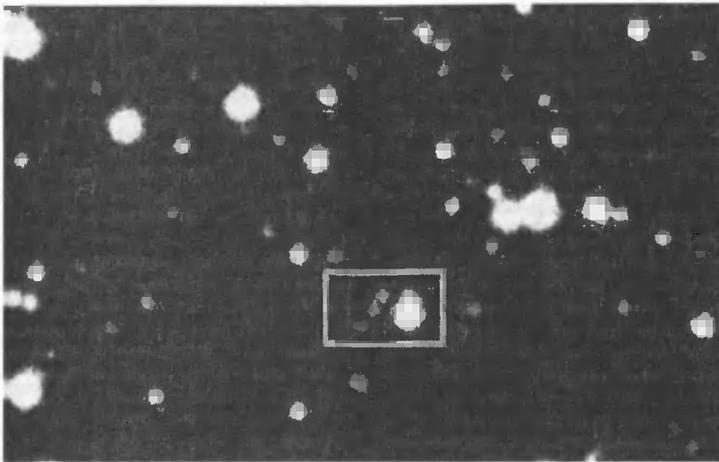
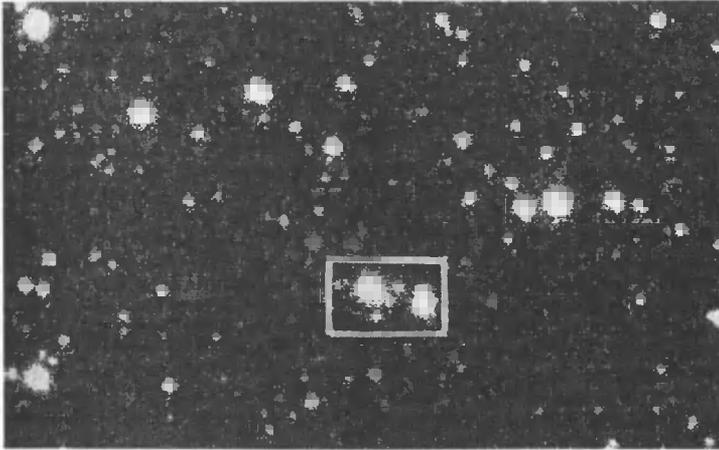
С. А. Никитин
Москва

Астрофизика

Необычная Новая в Южном небе

Астрономы Южной европейской обсерватории (ЮЕО) в Ла Силла (Чили) открыли Новую звезду в созвездии Муха. Ей дали название Новая Муха 1991. Она обнаружена с помощью «рентгеновской камеры всего неба», созданной Датским институтом космических исследований и Институтом космических исследований АН СССР и установленной на советской космической обсерватории «Гранат».

Просматривая данные наблюдений за 10 января 1991 г., С. Брандт (S. Brandt), датский исследователь, работающий на наземной станции слежения за «Гранатом» в Крыму, отметил внезапное появление в Южном



Оптическое изображение участка неба, где вспыхнула Новая Муха 1991; получено на Южной европейской обсерватории 15 января 1991 г. (вверху). Изображение того же участка неба до вспышки Новой (внизу).

небе рентгеновского источника, примерно вдвое ярче известного источника в Крабовидной Туманности, и немедленно сообщил о своем открытии Н. Лунду (N. Lund; Датский институт космических исследований) — руководителю этой части проекта. Отметим, что источник располагается довольно низко на Южном небе и потому его нельзя наблюдать из Европы, Лунд связался с ЮЕО, посоветовав искать его оптическое изображение. По предварительным данным, источник размещался в на-

правлении на созвездие Муха, внутри круга диаметром 1° в богатом звездами поясе Млечного Пути, примерно в 20° от Южного полюса. Только следующей ночью было зарегистрировано очень слабое оптическое изображение объекта. Позже выяснилось, что японский космический аппарат «Гинга» зафиксировал рентгеновское излучение из области созвездия Муха, что несколько уточнило координаты источника, однако в «область ошибок» попали тысячи звезд. Наконец, 14 января в ЮЕО обнаружили оптическое изображение источника в виде слабой Новой (16—17-й звездной величины) вблизи границы «области ошибок», а 15 января с помощью Нового технологического телескопа были получены ее оптическое изображение и

спектр. Оказалось, что за это время Новая стала значительно ярче (13^m). Позднее ее положение удалось определить с точностью $0,2''$, после чего выяснилось, что ранее (в 1976 и 1984 гг.) в этом участке неба уже регистрировали слабую звезду яркостью 21^m . Вероятно, это была предшественница Новой.

Каждый год в Млечном Пути вспыхивают примерно две Новых, время от времени появляются они и в других галактиках. Яркость типичной Новой в момент вспышки резко возрастает в течение нескольких дней, а затем медленно падает — недели или месяцы. Новая Муха 1991 необычна тем, что излучала в рентгеновском диапазоне прежде, чем «потухла» в оптическом. Наиболее вероятно, что она принадлежит к немногочисленному классу так называемых рентгеновских новых, у которых отношение излучаемой энергии в рентгеновском и оптическом диапазонах около 1000 (у классических Новых — 0,0001).

Предполагается, что вспышка происходит в двойной системе и вызвана перетеканием вещества на более компактный компонент (белый карлик, нейтронную звезду или черную дыру), у которого вещество собирается в диск и по спирали падает на поверхность этого объекта. В классической Новой это — белый карлик размером не больше Земли, и массой порядка солнечной. В определенный момент термоядерный взрыв в богатом водородом веществе на поверхности звезды выбрасывает звездную материю в окружающее пространство. Резкое повышение яркости при вспышке Новой вызвано излучением горячей расширяющейся оболочки вокруг двойной системы. В отличие от взрыва сверхновой, белый карлик не исчезает после этого, а может иногда испытать повторные взрывы, порождая так называемые рекуррентные Новые.

В рентгеновских Новых компактный объект — судя по всему, нейтронная звезда массой порядка солнечной, но диаметром 10—15 км. Ее вспышка вызвана падением вещества диска на поверхность звезды и выделением гравитационной энергии вблизи нее (возможен и

термоядерный взрыв); однако, в отличие от взрыва сверхновой, на образование оболочки не хватает вещества. Яркость растет из-за нагрева диска, интенсивно излучающего затем в рентгеновском и оптическом диапазонах.

Известно, что некоторые нейтронные звезды — это быстро вращающиеся пульсары в остатках вспышек сверхновых. Флуктуаций рентгеновского излучения Новой Мухи 1991 пока не обнаружено, но наблюдения со спутника продолжаются.

16 и 17 января на 1,5-метровом спектрографическом телескопе ЮЕО получен более детальный оптический спектр Новой с рядом широких эмиссионных линий атомов и ионов водорода, гелия и азота, присутствующих в веществе диска; вид спектра свидетельствует о громадной энергии, запасенной в диске, и его быстром вращении (по предварительным оценкам, сотни км/с).

Наблюдения продолжают.

ESO Press Release.PR 01/91.

Астрофизика

Второй затменный двойной пульсар

Австралийский астроном Р. Манчестер (R. Manchester), работая на Большой сети радиотелескопов в Сокорро (штат Нью-Мексико, США), обнаружил быстро вращающийся пульсар, периодически покрываемый белым карликом. Это второй известный на сегодня затменный двойной пульсар.

Объект, получивший название PSR 1744+24A, входит в состав шаровидного звездного скопления Терзан-5 в 21 тыс. св. лет от нас, примерно в центре Галактики. Такие скопления обычно насчитывают до 1 млн. звезд.

Часть объекта — пульсар, вращающийся с гигантской скоростью (один оборот вокруг оси за 11,56 мс). При вращении излучается весьма тонкий, остро направленный пучок радиоволн. Второй компонент — белый карлик, обращающийся вокруг пуль-

сара на расстоянии 300 тыс. км; на один оборот у него уходит 109 мин. Временами он «покрывает» пульсар, прерывая поступление на Землю радиосигналов от него.

Первый затменный пульсар (PSR 1957+20) был открыт в 80-х годах и послужил экспериментальным подтверждением общей теории относительности Эйнштейна, согласно которой две звезды, обращаясь друг относительно друга, должны излучать гравитационные волны. Вскоре действительно удалось наблюдать, как они постепенно сближаются по спирали, теряя при этом энергию.

Вероятно, двойной пульсар образуется путем захвата белого карлика полем тяготения нейтронной звезды. Поскольку в шаровых скоплениях звезды концентрируются в малом объеме, вероятность подобного захвата сильно возрастает. Плотность нейтронной звезды настолько велика, что ее тяготение «срывает» часть вещества с поверхности белого карлика, и в результате образуется аккреционный диск, вращающийся вокруг пульсара.

Существенная разница между первым и вторым затменными двойными пульсарами — продолжительность покрытия. Если у PSR 1957+20 она всегда около 10 % орбитального периода, то у «новичка» заметно меняется. Подобную переменность можно объяснить тем, что сигнал, излучаемый пульсаром, перекрывается не самим белым карликом, а космическим ветром — потоком вещества, периодически изливающегося с поверхности карлика и тормозящегося тяготением пульсара.

Nature. 1990. V. 347. N 6294. P. 650 (Великобритания).

Астрофизика

Открытие спутника «ROSAT»

Анализируя данные, полученные спутником «ROSAT», предназначенным для астрофизических наблюдений в рентгеновской части спектра, К. Паундс (K. Pounds; Лейстер-

ский университет, Великобритания), обнаружил массивный объект, активно излучающий в жесткой ультрафиолетовой части спектра. Информация была передана сотрудникам Гринвичской обсерватории, работающим на оптическом телескопе в Лас-Пальмасе (Канарские о-ва, Испания).

В результате была открыта уникальная двойная система из высокотемпературного белого карлика и красного карлика, температура которого много ниже. Они обращаются вокруг общего центра, причем спектр их излучения совершенно необычен, что свидетельствует о весьма специфичной природе взаимодействия между ними.

Обычно наблюдение жесткого ультрафиолетового излучения в Галактике затрудняет межзвездный водород, активно поглощающий именно в этой части спектра. Но широкоугольная камера «ROSAT» позволяет использовать любую «пробел» в скоплениях этого газа. В результате удалось выглянуть за пределы Галактики, где и был обнаружен источник, излучающий в жестком ультрафиолете. Оказалось, что он связан со скоплением галактик, расположенным примерно в 100 млн. св. лет от нас.

Одновременно в Галактике открыт белый карлик с рекордно высокой температурой $2 \cdot 10^5$ К. Сотрудники Лаборатории им. Резерфорда и Эпплтона (Оксфорд, Великобритания) на рентгеновских детекторах другого спутника зарегистрировали редкое явление — вспышку на белом карлике, аналогичную солнечной, но в тысячу раз мощнее. Около 20 % выделившейся энергии излучалось в узкой полосе жесткого ультрафиолета. Впервые измерен общий энергетический баланс этого грандиозного события.

«ROSAT» при каждом обороте охватывает наблюдениями полосу звездного неба шириной 5° ; цель его запуска — составить карту всех источников рентгеновского и жесткого ультрафиолетового излучения. Стоимость аппарата 150 млн. фунт. ст.

New Scientist. 1990. V. 128. N 1741. P. 28 (Великобритания).

Открытия на Венере

В середине сентября 1990 г. американская межпланетная станция «Магеллан», выйдя на околопланетную орбиту, начала детальную съемку поверхности Венеры. Обработывая ее радиолокационные изображения, группа С. Сондерса (S.Saunders; Лаборатория реактивного движения, Пасадина, штат Калифорния, США) обнаружила регулярную «сетку» — пересечение взаимно перпендикулярных рядов параллельных линий.

Область, в которой замечена «сетка», — невысокое поднятие в Северном полушарии Венеры, между равнинами Седна Планиция и Джиневра Планиция. Менее яркие линии отстоят друг от друга примерно на 1 км, а сами имеют ширину около 120 м, т. е. на пределе разрешающей способности приборов «Магеллана». Более яркие расположены не так плотно и кое-где начинаются у точек пересечения с тусклыми линиями.

Предполагается, что «сетка» — это система разломов на поверхности планеты, возможно, связанная с вулканической активностью в прошлом.

Кроме того, обнаружены два неизвестных ранее кратера различного происхождения. Черты меньшего (поперечником около 1 км) указывают на то, что здесь имел место взрывообразный вулканизм. Расширяющийся на юг от кратера яркий слой отложений, видимо, возник при падении на поверхность планеты выброшенных взрывом обломков.

Второй кратер (диаметром 37 км) расположен в пределах равнины Джиневра Планиция и имеет импактный характер, т. е. возник при падении чужеродного тела. Отсутствие скальных обломков с его южной стороны свидетельствует о том, что метеорит падал с южной стороны и под острым углом к поверхности. Типичная горка в центре кратера, очевидно, появилась, когда поверхность планеты, вначале прогнувшаяся под

ударом, затем резко «распрямилась» и приподнялась.

Некоторые другие изображения свидетельствуют о существовании на Венере множества невысоких куполов поперечником в несколько километров каждый. Они напоминают характерные земные вулканы щитового типа. В одном из районов обнаружено необычное поле мелких кратеров, из которых «вытекают» извилистые «каналы».

Радиолокационная съемка Венеры и обработка данных продолжаются.

Science News. 1990. V. 138. № 13. P. 199 (США).

Физика

США предполагаюткупить советский реактор

Правительство США планирует закупку малогабаритного советского жидкометаллического ядерного реактора «Топаз-II» для обеспечения энергией искусственных спутников Земли. Его испытания пройдут в четырех лабораториях близ Альбукерка (штат Нью-Мексико).

В «Топазе-II» тепло превращается в электричество в процессе термоэлектронного преобразования: сильно нагретая поверхность металла через зазор, наполненный параами цезия, граничит с гораздо более холодной поверхностью; в результате электроны чрезвычайно эффективно испаряются с горячей поверхности и попадают на холодную. Необходимая для этого разность температур составляет примерно 1800 К.

В США делались попытки создать собственный реактор SP-100 для космических целей, намного мощнее советского, но, по словам С. Афергуда (Федерация американских ученых), у него есть «один большой недостаток — он пока не существует».

В мае 1990 г. американские ученые посетили лаборатории Физико-энергетического института (Обнинск), где был раз-

работан «Топаз»¹. По их мнению, советские ученые далеко продвинулись в создании материалов, способных противостоять чудовищно высоким температурам внутри реактора. «СССР намного опередил нас в области ядерной энергетики для космических целей», — таково было их заключение².

New Scientist. 1991. N 1752. P. 21 (Великобритания).

Физика

Из космоса — под землю

До сих пор эксперименты, требующие создания невесомости, ставились на спутниках, что приводило к большим затратам. Министерство международной торговли и промышленности Японии приступило к созданию Центра микрогравитации на о. Хоккайдо: в заброшенную угольную шахту глубиной 720 м будут сбрасывать контейнеры с изучаемыми материалами массой до 1 т. Во время свободного падения тел будет возникать микрогравитация, продолжительность которой составит около 10 с.

Собственно свободное падение будет существовать на протяжении 500 м, после чего подушка сжатого воздуха, создаваемая специальной установкой, начнет тормозить контейнер, чтобы он не разбился. На последних 20 м в дело вступит механическое тормозное устройство.

Стоимость строительства оценивается в 10 млн. фунт. ст. Центр микрогравитации должен вступить в строй летом этого года.

Более скромное сооружение аналогичного типа создается в префектуре Гифу, к западу от Токио. Свободное падение будет происходить на глубину 100 м, после чего включится

¹ Идея такого реактора предложена в начале 60-х годов сотрудником ФЭИ И. И. Бондаренко.

² «Природа» предполагает более подробно осветить этот вопрос в ближайшем будущем.

механическая «гармошка», тормозящая спуск. Установка начнет работать в 1992 г.

Право использовать установки для технических и научных экспериментов будет предоставляться за соответствующую плату.

Летом этого года планируется полет японского астронавта на одном из американских шаттлов. По заказу японских фирм в невесомости будут выполнены несколько экспериментов. Однако для многих задач это слишком дорого — один же «сброс» в шахте на Хоккайдо стоит «всего» 3 тыс. фунт. ст.

New Scientist. 1990. V. 127. N 1735. P. 32 (Великобритания).

Химия

Супермолекула из атомов углерода

В 1985 г. Краут (G. Crowt; Университет Суссекса, Великобритания) открыл сферическую молекулу из 60 атомов углерода (C₆₀). В 1990 г. сотрудники Института ядерной физики Общества им. М. Планка (Гейдельберг, Германия) и Университета штата Аризона (США) разработали метод синтеза материала из таких молекул в количествах, достаточных для исследования. В электропечи графито-углеродную сажу нагревают, а затем образовавшийся пар быстро охлаждают в нейтральной атмосфере гелия. Конденсирующиеся на стенках печи кристаллы сажи содержат молекулы C₆₀; их растворяют в бензине, а затем высушивают. В результате получают твердое вещество, состоящее из молекул C₆₀, оно получило название «букминстерфуллерин» (buckminsterfullerene).

Так можно получать около 1 г вещества в день. По мнению специалистов, оно может стать основой высокоэффективных смазочных масел. Используемый ныне для этого графит имеет кристаллическую решетку, в которой плоскости скользят друг относительно друга. Сферическая же форма моле-

кул C₆₀ позволяет им как бы перекатываться в пространстве.

Однако прежде чем судить об использовании нового вещества, необходимо исследовать его стабильность, воспламеняемость и токсичность, а также разработать технологию массового производства.

New Scientist. 1990. V. 127. N 1737. P. 27 (Великобритания).

Иммунология

Вирус СПИДа «бьется» света

Новый метод воздействия на вирус СПИДа предложен в Институте биохимии им. А. Н. Баха АН СССР. Обнаружено влияние излучения, соответствующего электронным переходам в атомах магния, на вирус. Одним из важнейших в жизненном цикле этого вируса является процесс обратной транскрипции, протекающий с участием ионов магния. Это переписывание генетической информации не по традиционной схеме ДНК → РНК → белок, а по «обратной» — РНК → ДНК → белок, осуществляемой с помощью фермента РНК-зависимой ДНК-полимеразы (обратной транскриптазы, или ревертазы), действующему в присутствии ионов магния.

Полагая, что внешние факторы, возмущающие электронные оболочки атома магния, могут оказывать влияние на протекание обратной транскрипции, авторы использовали видимый свет в линиях магния. Воздействие такого света на вирус СПИДа проверяли на человеческих Т-лимфоцитах, инфицированных вирусом иммунодефицита человека 1-го типа (ВИЧ-1). Особое внимание обращали на степень изменения биологических характеристик инфицированных клеток по сравнению с неинфицированными.

Вирусный материал (культуру клеток) облучали видимым светом с длиной волны, соответствующей спектральным линиям магния, от источника мощ-

ностью менее 0,1 Вт с экспозициями от 40 до 90 мин.

В неинфицированных клеточных культурах клетки хорошо размножаются, и их жизнеспособность была высокой.

При заражении необлученным вирусом количество клеток заметно уменьшалось за счет разрушающего действия вируса и их жизнеспособность резко снижалась.

Облучение ВИЧ-1 светом в течение 40 мин. и более заметно подавляло размножение вируса, в результате чего вдвое по сравнению с контролем (без облучения) увеличилось количество клеток и, что особенно важно, возросла их жизнеспособность.

Итак, облучение ВИЧ светом с длиной волны, соответствующей трем основным линиям магния (516,7; 517,2; 518,2 нм) в течение 40—90 мин. заметно снижает репродукцию вируса в культуре клеток. На основании полученных данных возможны эксперименты по инаktivации как вируса СПИДа, так и других вирусов, поскольку видимое излучение не затрагивает наружной оболочки вируса, а это имеет значение для диагностических систем и вакцин.

Доклады АН СССР. 1990. Т. 314. № 3. С. 739—741.

Медицина

О диагностике рассеянного склероза

Рассеянный склероз — тяжелая болезнь центральной нервной системы, пока не поддающаяся лечению¹. Она характеризуется разрушением миелиновой оболочки, окружающей отростки нервных клеток. До сих пор ее пытались обнаруживать с помощью ядерно-магнитного резонанса или электроэнцефалографии, однако оба метода, к сожалению, не дают достоверных результатов.

¹ См.: Происхождение рассеянного склероза // Природа. 1990. № 5. С. 110.

Во Франции, где от рассеянного склероза страдают около 50 тыс. чел., специалистами Страсбургского центра нейробиологии и Пастеровского института предложен новый метод диагностики заболевания. В его основе — иммунологический тест, позволяющий сделать диагностику более точной. Метод апробирован в ряде клиник Франции.

Авторы рассматривают рассеянный склероз как многофункциональное заболевание, затрагивающее аутоиммунные процессы. Это означает, что организм больных вырабатывает специфические антитела против собственных тканей, в данном случае — компонентов миелиновой оболочки.

В 1987 г. исследователи выделили один из белков (лектин), стабилизирующий миелиновую оболочку из мозжечка. Изучив более 200 образцов спинномозговой жидкости с целью выявления в ней антител против этого белка, они обнаружили антитела у 64 из 66 (96 %) больных с клиническим диагнозом рассеянного склероза.

Предложенный диагностический тест станет важным дополнением к клиническому диагнозу заболевания и поможет лучше понять механизм разрушения миелина.

The Lancet. 1990. V. 335. N 8704. P. 1482—1487 (Великобритания).

Медицина

Лечение травм спинного мозга

Последствия травм спинного мозга, возникающих, главным образом, вследствие ушибов, почти не поддаются лечению. По американской статистике, ежегодно такие травмы получают примерно 10 тыс. чел. В результате — высокий процент смертности или инвалидности (чаще всего пожизненной). Поэтому вызывают особый интерес результаты, полученные в последние годы в различных травматологических центрах США при лечении таких больных метилпреднизолоном. Работы координировали сотруд-

ники Йельского университета во главе с М. Бреккеном (M. B. Bracken).

Метилпреднизолон — известное противовоспалительное средство, обычно используемое при лечении различных аллергических заболеваний. Двадцать лет назад метилпреднизолон был успешно применен в экспериментах на животных с травмами спинного мозга.

На этот раз метилпреднизолоном лечили 162 больных с тяжелыми травмами спинного мозга, проявившимися в двигательных нарушениях и болевом синдроме. Контрольная группа состояла из 72 человек, получавших обычное лечение. Лекарство давали в дозах, во много раз превышавших применяемые при лечении аллергий (по 30 мг метилпреднизолона на 1 кг веса).

Результаты лечения показали, что в 95 % случаев состояние здоровья больных улучшалось, при этом частично или полностью исчезали двигательные нарушения и уменьшались боли. В контрольной группе улучшений не отмечалось. Лечение метилпреднизолоном помогало только, если его проводили в первые 8 час. после получения травмы. Начатое позже, оно оказывалось неэффективным.

Механизм действия метилпреднизолона не вполне ясен. Авторы полагают, что он поддерживает приток крови к нуждающимся в кислороде нервным клеткам именно в первые часы после травмы.

The New England Journal of Medicine. 1990. V. 322. N 20. P. 1405—1422 (Великобритания).

Медицина

Витамин А предупреждает детскую смертность

Сотни тысяч детей, особенно в развивающихся странах, ежегодно погибают от недоедания и отсутствия необходимых витаминов. Однако многих из них можно спасти, добавляя в их скудную пищу витамин А. Это убедительно про-

демонстрировали индийские ученые во главе с Л. Рахматуллоу (L. Rahmathullah, Аравиндский детский госпиталь, Мадурай, штат Тамилнад). За год они обследовали свыше 15 тыс. детей дошкольного возраста в Индии, страдающих от недоедания. Дети, в пищу которых все это время добавляли витамин А, оказались на 46 % более жизнеспособными (меньше погибали от недоедания), чем те, которые витамин не получали.

Результаты индийских ученых важны для всего мира, так как от 20 до 40 млн. детей страдают от недоедания и дефицита именно витамина А. Следует отметить, что треть детей, которые начали получать дополнительно витамин А, до этого были истощены от недоедания и именно у них после приема витамина и наблюдалось улучшение состояния. Риск их смерти, по сравнению с контрольной группой снижился на 89 %. Интересно, что витамин А действовал тем эффективнее, чем младше были получавшие его дети.

The New England Journal of Medicine. 1990. V. 323. N 14. P. 929—933 (Великобритания).

Системные исследования

Как растут пластиковые кальмары

Формула роста, предложенная в 1934 г. австрийским биологом, создателем общей теории систем Л. фон Берталанфи (1901—1972), — одна из наиболее употребляемых формул современной экологии. Не счастье морских, пресноводных и наземных животных, к которым пытались применить ее. В соответствии с этой формулой рост, вначале быстрый, со временем замедляется, приближаясь к некоторой предельной величине. Считается (так полагал и сам Берталанфи), что она отражает взаимодействие двух противоположных процессов обмена веществ: анаболиз-

ма (создание живого вещества) и катаболизма (его распада)¹. Скорость анаболизма пропорциональна площади поверхности тела (квадрату линейных размеров), поскольку лимитируется поступлением кислорода через поверхность жабр, легких и т. п., а скорость катаболизма — массой тела (кубу линейных размеров). Следовательно, по мере роста равновесие сдвигается в сторону распада вещества и рост замедляется.

Южноафриканские специалисты по кальмарам М. Липиньский и М. Рулевельд проанализировали, будет ли работать формула не для живых, а для искусственных кальмаров². В течение 5 сут каждые 3—5 ч они измеряли длину туловища у 22 пластиковых кальмаров — игрушек из серии «растущие морские организмы», погруженных в водопроводную воду с температурой 13,7 °С (какая точность). Пластик, из которого сделаны игрушки, набухает в воде, и кальмары действительно растут. Полученные данные обработали на ЭВМ, чтобы исключить влияние автокорреляции — ведь измерялись одни и те же кальмары, среди которых могли быть растущие быстрее и медленнее. Оказалось, что рост пластиковых кальмаров хорошо описывается формулой Берталанфи, но еще лучше (хотя разница кривых и выявляется лишь при математической обработке, а на глаз почти не заметна) — обобщенной формулой Дж. Шнута (формула Берталанфи — ее частный случай).

Авторы отмечают, что полученные ими результаты применимы и к настоящим кальмарам, однако, если изменение размеров объекта со временем описывается формулой Берталанфи, из этого вовсе не следует, что в нем происходит обмен веществ.

К. Н. Несис,
доктор биологических наук
Москва

Зоология

Почему погибли пингвины!

В середине июня 1990 г. на о. Макуори, принадлежащем Австралии, произошла «зоологическая трагедия». Вся здешняя колония пингвинов внезапно в панике бросилась в глубь острова; когда птицы успокоились, местные полярники насчитали примерно 7 тыс. жертв, затоптанных собратями или задохнувшихся в густых зарослях травы на прибрежной равнине. Местами тела пингвинов лежали друг поверх друга в 7—8 рядов.

Какова причина этой «птичьей Ходынки»? Австралийский эколог Р. Браун (R. Brown; Хобарт, штат Тасмания) считает, что перелетать птиц мог, например, звук самолета или вспышки прожектора. Зоолог Д. Роунзвелл (D. Rounsevell) из Управления парков и заповедников Тасмании, напротив, склонен приписать все природным явлениям: молнии, грому или горному обвалу. Не исключено также, что панику вызвало неожиданное появление главного врага пингвинов — тюленя морского леопарда (*Hydrurga leptonyx*) или встречающейся на острове одичавшей кошки.

Что бы то ни было, орнитологи должны учитывать возможность подобных событий в плотно населенных птичьих колониях. За последние 50 лет численность пингвинов на о. Макуори резко возросла и продолжает увеличиваться: в 1932 г. в здешних гнездах насчитывалось 3 тыс. птенцов, а в 1989 г. — уже 60 тыс.

New Scientist. 1990. V. 126. N. 1723. P. 35 (Великобритания).

Биология

«Колонизация» биотопов Антарктиды

Современная наземная и пресноводная биота Антарктики чрезвычайно бедна и состоит в основном из видов-вселенцев. Это делает Антарктиду

удобной для изучения процесса колонизации новых местобитаний различными группами организмов. Специалисты из Британской антарктической службы в Кембридже рассмотрели факторы, способствующие освоению растениями и животными антарктических биотопов¹.

Споры, соредии лишайников, фрагменты талломов водорослей, семена, яйца и личинки животных — все эти формы расселения, обозначаемые общим термином «пропагулы», — должны быть адаптированы к эффективному переносу прежде всего с помощью ветра. Близость Западной Антарктики к Южной Америке и преобладание воздушной циркуляции, захватывающей и Антарктиду, и Огненную Землю с Патагонией, приводят к тому, что район Антарктического п-ова отличается от остальной части континента большим богатством биоты. Зато для континентальной Антарктиды характерно значительное количество эндемиков (полагают даже, что здесь довольно много видов лишайников, не занесенных извне, а переживших оледенение).

Благоприятные для развития пропагул микробиотопы разбросаны по Антарктиде «пятнами», в зависимости от типа субстрата, микроклимата, текстуры поверхности, возможностей питания. Попадание жизнеспособной пропагулы туда, где она сможет развиваться, — процесс случайный. Поэтому основа успешной колонизации — способность организмов быстро расти и размножаться, как только они оказываются в благоприятном микробиотопе. В связи с этим у антарктических растений широко распространено бесполое размножение (зеленые водоросли, например, там вообще размножаются только таким способом). Однако среди наземных и пресноводных беспозвоночных двуполое размножение встречается чаще, чем партеногенез, который, казалось бы, дает преимущество в скорости роста популяции.

¹ Мина М. В., Клевезаль Г. А. Рост животных. М., 1976.

² Lipinski M. R., Roelleveld M. A. // Fisheries Research. 1990. V. 9. N 4. P. 367—371.

¹ Ellis-Evans J. C., Walton D. // Proc. of NIPR Sympos. on Polar Biology, 3. Tokyo, 1990. P. 151—163.

Важное свойство антарктических вселенцев — экологическая пластичность. Так, зеленые водоросли развиваются в самых разных местах — от сырого грунта до постоянно покрытых льдом озер. Любопытно, что среди генетически идентичных клеток одной водорослевой нити какие-то из них более устойчивы к заморзанию, другие менее устойчивы. Вислоногий рачок *Pseudosquilla porreii* совершенно по-разному накапливает жир и размножается в озерах, находящихся друг от друга всего в 150 м, но отличающихся содержанием биогенов. Другой вид ракообразных, кледоцера *Daphniopsis studeri*, обнаружена как в континентальном озере, так и в озере субантарктического о. Кергелен и, что самое любопытное, в морском фьорде, постоянно покрытом припайным льдом. Оптимум жизнедеятельности наземных антарктических организмов лежит все же при довольно высокой температуре (около 20 °C), что свидетельствует об их сравнительно недавнем вселении. И только среди пресноводных есть настоящие психрофилы, т. е. холодолюбивые организмы.

При нынешнем межледниковом потеплении потенциальные «плацдармы» для колонизации Антарктиды живыми организмами могут появляться на глазах. В связи с этим предложена международная программа «BIOTAS», призванная объединить усилия разных стран, ведущих исследования наземной и пресноводной биоты Антарктики.

В. А. Спиридонов
Москва

Зоология

Затворничество креветок

Немецкий исследователь Б. Вердинг (B. Werdning; Институт общей и частной зоологии в Гессене) описал строительную деятельность креветок-щелкунов (*Alpheus schmitti*), обитающих у побережья Венесуэлы. Они строят в отмерших корал-

лах *Acropora palmata* самые настоящие катакомбы.

Пока неясно, как маленькая (около 2 мм длиной) молодая креветка, только что осевшая на мертвый коралл, внедряется в него. Углубившись, щелкун вырабатывает свои ходы чисто механическим способом, скорее всего, не применяя какой-либо химической «технологии». Начинает строительство катакомбы самец, через некоторое время к нему присоединяется самка, и с этого момента пара уже не покидает своей пещеры. Общение с внешним миром происходит через одну из ее стенок, пронизанную дырочками, сквозь которые креветка может просунуть лишь свою клешню. Высовывая клешни, щелкуны состригают ими растущие вокруг пор водоросли и поедают их. Иного источника пищи у этих ракообразных обнаружить не удалось.

Иногда в полостях, построенных щелкунами, находят креветок другого вида того же рода. Видимо, они попадают в катакомбы в юном возрасте и становятся их пленниками на всю жизнь.

У тихоокеанских берегов Южной Америки обитает еще один вид креветок-щелкунов, также строящих катакомбы в мертвых кораллах.

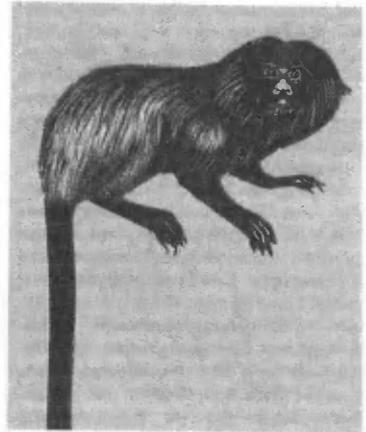
Таким образом, у этих видов ракообразных с коралловых рифов, кишящих опасными для них хищниками, прослеживается, очевидно, эволюционная тенденция перехода к затворничеству образу жизни.

Crustaceana. 1990. V. 58. P. 88—96
(Международный журнал).

Зоология

Зоологическая сенсация

В июне 1990 г. обнаружен неизвестный науке вид приматов — черномордый тamarin. Сенсационность открытия в том, что эту обезьянку из семейства игрунковых (*Callithricidae*) впервые нашли не где-нибудь в густых джунглях, а на острове, расположенном всего в нескольких километрах от Сан-Паулу, крупнейшего промышленного



Черномордый тamarin.

центра Бразилии, известного чрезвычайной плотностью населения и крайней загрязненностью природной среды.

Таким образом, род тамаиринов, в котором насчитывалось 22 вида, в том числе серебристый, золотистый, белоплечий, буроголовый, краснорюхий, белоногий, краснорукий, усатый, черноспинный и т. д., пополнился черномордым. По размерам он не больше белки, украшен «львиной» гривой; длина хвоста примерно равна или даже превышает длину туловища, а шкурка окрашена в черный и золотистый цвета.

Анатомию животного изучают специалисты Национального музея Бразилии в Рио-де-Жанейро во главе с известным приматологом Р. Миттермайером (R. Mittermeier).

Итак, прав был Р. Киплинг, столетие назад писавший: «В Бразилии, в Бразилии такое изобилие невиданных зверей...» И правы те, кто сегодня считает, что список обитателей нашей планеты далек от завершения. *New Scientist*. 1990. V. 126. N 1723. P. 38 (Великобритания).



Зоология. Охрана природы

Золотистая игрунка: перспективы выживания

Крошечная золотистая львиная игрунка (*Leontideus rosalia*) относится ныне к числу са-



Золотистая львиная игрунка.

рых редких обезьян в мире. Это забавное существо с большой гривой весит всего 600 г, а длина его тела не превышает и 30 см. Некогда золотистые игрунки часто встречались по всей Бразилии и даже в окрестностях Рио-де-Жанейро. Но в последние десятилетия массовая вырубка лесов (ныне сохранилось лишь 4 % зарослей на приатлантическом побережье страны) резко сократила их ареал, а общая их численность едва превышает 150 особей. Встревоженные экологи в 1983 г. разработали международную программу «Спасем игрунку!»¹. В 130 км к востоку от бразильской столицы был создан специальный заповедник Поко-дас-Антас площадью 5200 га, куда поместили более 70 самцов и самок, вывезенных из многих зоопарков мира. Начинание поддержал Всемирный фонд охраны природы.

Каждого зверька в заповеднике снабжали миниатюрным радиопередатчиком, сообщавшим ученым о всех его передвижениях в течение первого, наиболее трудного для животного года. Дело, казалось, пошло на лад, когда стряслась беда: в феврале 1990 г. в заповеднике случился пожар. Огонь бушевал более недели, уничтожив свыше трети площади заповедника. В огне погибли многие обитатели леса; среди них немало по-

пугав редких видов и ленивцев, но особенно много змей, не сумевших выбраться из горевшей травы и подлеса. Что же касается золотистых игрунок, то у зоологов сохранялась надежда: эти обезьянки, живущие стайками по 3—8 особей, очень подвижны — едва почуяв беду, они легко могли уйти в другой конец заповедника; к тому же они обитали главным образом в лесистой его части, а пожар больше бушевал в порослях кустарника. Однако надо учесть, что каждой стайке игрунок необходима площадь не менее 40 га, так что ввоз зверьков из разных зоопарков пришлось прервать, пока лес не оправится от пожара.

New Scientist. 1990. V. 125. N 1704. P. 22 (Великобритания).

Зоология

Хищники приспособляются к «несъедобной» добыче

В ходе эволюции многие животные и растения выработали разнообразные приспособления, позволяющие им обороняться от хищников (в том числе, становясь несъедобными). Очевидно, хищники также вырабатывают приспособления, позволяющие использовать в пищу организмы, ранее несъедобные для них, т. е. в процессе эволюции должно происходить соровование между хищниками и жертвами — чьи приспособления эффективнее.

Недавно американские зоологи Э. Д. Броди (E. D. Brodie; Чикагский университет) и Э. Д. Броди-младший (E. D. Brodie, Jr.; Арлингтонский университет) экспериментально проиллюстрировали эти явления. Они изучали способность подвзрочной змеи (*Thamnophis sirtalis*) использовать в пищу ядовитого желтобрюхого тритона (*Taricha granulosa*), яд которого поражает нервную систему. Меньшая часть змей гибнет от его действия, большая — выживает. Змеи, которые в природе обитают вместе с желтобрюхими тритонами и используют их в пищу, оказались весьма устойчивыми к их яду. Змеи же из

популяций, которые не живут в природе с тритонами, погибали от действия яда значительно быстрее. Лабораторные исследования показали, что признак «устойчивость к яду» наследуется.

Evolution. 1990. V. 44, № 3. P. 651—659 (США).

Зоология

Возможный путь эволюции паразитизма

Известно, что насекомые из отряда ногохвосток (*Collembola*) обычно являются сапрофагами (поедающими разлагающиеся остатки растений и животных) или фитофагами (растительноядными). Эта группа насекомых достаточно широко распространена и хорошо изучена.

Однако индийские ученые Р. Дасгупта и Б. Дасгупта (R. Dasgupta, B. Dasgupta; Государственный колледж, Дарджилинг) впервые обнаружили, что некоторые виды этих насекомых, обитающие в Гималаях, могут переходить к паразитизму. Лабораторные эксперименты показали, что некоторые ногохвостки рода *Hypogastrura* нападают на гималайских тритонов (*Tylostrotion verrucosus*) и гималайских жаб (*Bufo himalayanus*), вызывая появление гноящихся ран на их коже. Другие ногохвостки, *Seira indica*, у которых исследовали содержимое кишечника, как оказалось, высасывали кровь тритонов. Это первое свидетельство питания ногохвосток кровью животных.

Совокупность этих данных, по мнению авторов, говорит о том, что некоторым видам ногохвосток свойствен факультативный паразитизм.

Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene. 1990. V. 84. P. 438 (Великобритания).

Охрана природы

Как перехитрить дятлов

Дятлы — красивые и полезные в лесном хозяйстве птицы — стали приносить заметный

¹ Игрунки, возможно, будут спасены // Природа. 1988. № 11. С. 112.



Большой пестрый дятел.

урон энергетике США. Они повреждали деревянные столбы линий электропередач, так что за последние 4 года энергетическая компания штата Алабама вынуждена была заменить на своих линиях 42 % столбов. По мнению некоторых специалистов, такое поведение дятлов связано с уничтожением в лесах большинства сухих деревьев, используемых птицами в поисках насекомых.

Чтобы отвадить дятлов от столбов, попытались к установленным новым столбам прикреплять части старых, уже поврежденных дятлами; обертывали столбы металлической или пластиковой сеткой, но ни то, ни другое не помогало. Дятлы добирались до столбов и через покрытия. Привязывали к верхушкам столбов чучела сов, но дятлы быстро усвоили, что совы неживые. Определенные надежды возлагаются на использование нового химического препарата ST 138, который с успехом опробован в Финляндии, но в США на него пока нет разрешения Агентства по охране окружающей среды. Одна из компаний пыталась даже ставить металлические столбы, но дятлы пробовали долбить и их, причем так портили краску, что за год компании пришлось перекрашивать столбы трижды. Бетонные столбы, похоже, смогут выдержать атаку дятлов, но они слишком дороги. Так что пока птица перехитрит не удастся.

National Wildlife. 1990. February — March. P. 23 (США).

Экология

Как дождевые черви уживаются с тяжелыми металлами

Английские экологи Дж. Морган и А. Морган (J. E. Morgan, A. S. Morgan; Уэльский университет, Великобритания), исследуя особенности накопления тяжелых металлов в различных тканях дождевых червей *Lumbricus rubellus*, обнаружили интересный адаптивный механизм, позволяющий им существовать в экосистемах с высоким уровнем загрязнения этими веществами. Оказалось, что такие элементы, как Pb, Zn, Cd, накапливаются в задних отделах пищеварительного тракта, причем доля Cd в этих тканях почти постоянна (70—76 %), несмотря на то, что его содержание в теле люмбрицид менялось от 1,46 до 68,7 мкг/г сухого веса. По мнению авторов, накопление тяжелых металлов в задних отделах кишечника имеет приспособительный характер — препятствует их рассеиванию по всему телу и тем самым предотвращает поражение таких жизненно важных систем, как нервная и репродуктивная. Это подтверждают результаты исследований популяции того же вида, обитающей в условиях сильного загрязнения почвы медью (2740 мкг/г сухого веса). Этот элемент (в отличие от предыдущих) равномерно распределялся по всем тканям дождевых червей, а их средний вес был в 1,5—2 раза меньше, чем у люмбрицид, обитавших в почвах, загрязненных Pb, Cd, Zn, или из контрольной группы¹.

Авторы, к сожалению, не рассматривали влияние различных тяжелых металлов на популяционные показатели, однако известны случаи, когда при попадании в почву содержащих медь фунгицидов биомасса по-

пуляции *Lumbricus rubellus* сокращалась более чем на порядок (с 20 до 1 г/м²)².

А. Г. Викторов,
кандидат биологических наук
Москва

Экология

Захоронение радиоактивных отходов в море

В конце 1990 г. в Лондоне состоялась Международная конференция участников конвенции о захоронении отходов атомной промышленности и энергетики. Впервые Международное агентство по атомной энергии сообщило данные о масштабах захоронения таких отходов в море.

Их львиная доля за 1946—1982 гг. приходится на США и Великобританию. Более чем в 50 пунктах северных районов Атлантики и Тихого океана за этот период было погребено около 46 петабеккерелей (4,6 × 10¹⁶ Бк), упакованных в металлические бочки, покрытые слоем бетона или битума, неупакованных и жидких радиоактивных отходов.

Радиоактивные «кладбища» распределяются так: 11 находятся в северо-западной Атлантике (2,94 петабеккереля); 15 — в северо-восточной Атлантике (42,31 петабеккереля); 16 — в северо-восточной части Тихого океана (0,55 петабеккереля) и 5 — в западной (омывающей Японские о-ва и Новую Зеландию) его части (0,02 петабеккереля).

Среди стран, использующих Северную Атлантику в подобных целях, на первом месте стоит Великобритания (77,5 %), за ней следуют Швейцария (9,8 %), США (6,5 %), Бельгия (4,7 %), Франция (0,8 %), Нидерланды (0,7 %). На долю Германии, Италии и Швеции вместе приходится менее 0,01 %.

В Тихом океане «господствуют» США (97,1 %), на втором месте Япония (2,7 %), а завер-

¹ Morgan J. E., Morgan A. S. // Oecologia. 1990. V. 54. N 4. P. 555—566 (Германия).

² Дождевые черви как биоиндикаторы // Природа. 1989. № 12. С. 109—110.

шает список Новая Зеландия (0,2 %).

В начале 80-х годов под нажимом общественности достигнута договоренность о прекращении подобной практики. Однако на конференции 1990 г. выяснилось, что правительства США, Японии и Франции не склонны превратить неофициальное соглашение в обязательный к исполнению документ.

New Scientist. 1990. V. 128. N 1741. P. 19 (Великобритания).

Экология. Экономика

Во что обойдется избавление от CO₂?

Цену, которую придется заплатить человечеству и отдельным странам за уменьшение содержания в атмосфере CO₂, различные научные организации определяют по-разному. Так, заключение исследовательской фирмы "ICF Resources" (Вашингтон, округ Колумбия, США) весьма оптимистично: за счет перевода части энергетрики на природный газ, а автомобилей — на этиловый спирт, снижения энергоемкости и повышения эффективности производства можно к 2000 г. снизить выброс CO₂ на 5 %, сэкономив при этом до 40 млрд. долл. в год на стоимости энергии.

В Брукхейвенской исследовательской лаборатории (Нью-Йорк) считают, что затормозить эмиссию CO₂ на нынешнем уровне можно почти «бесплатно»: в 2000—2020 гг. предотвратить поступление в атмосферу тонны этого газа удастся всего за 4 долл.

В течение ближайших 30 лет потребность в приросте производства электроэнергии, по расчетам одной из государственных лабораторий США, не превысит 10 %, если просто усовершенствовать самокупаемые технологии.

В Баттеллской тихоокеанской северо-западной лаборатории (штат Вашингтон) пришли к выводу, что в США «заморозить» выброс CO₂ на современном уровне удастся, повысив эффективность использования

энергии всего на 1,9 % в год. Великобритания могла бы добиться того же к 2005 г., расширив сеть атомных электростанций и используя в промышленности природный газ, а также энергию ветра и морских приливов. После 2005 г. ей для сокращения выбросов на 20 % придется тратить около 70 долл. за 1 т.

По оценкам японских специалистов, их страна занимает третье место в мире по выбросу CO₂ в атмосферу (на душу населения). В Великобритании этот показатель на 20 %, а в США — в 2,5 раза выше, чем в Японии, где принята программа действий для сдерживания парникового эффекта. В соответствии с ней к 2000 г. выброс CO₂ на территории Японии не должен превышать нынешний (абсолютный прирост примерно 5 % за 10 лет), а в последующем — будет снижаться.

Все эти разработки и программы были представлены в Женеве в октябре 1990 г. Всемирной конференции по проблемам климата с участием представителей около 100 стран.

New Scientist. 1990. V. 128. N 1740. P. 10 (Великобритания).

Геология

С какой глубины магма?

Г. Сен (G. Sen; Международный университет в Майами, штат Флорида, США) и Р. Джонс (R. Jones; Университет штата Калифорния, Лос-Анджелес, США) подвергли сомнению принятые среди специалистов представления о том, что магма залегает обычно не глубже 35 км под поверхностью земли.

Они изучали геологические породы на востоке о. Оаху (Гавайские о-ва), образовавшиеся 2,7—1,8 млн. лет назад при извержениях вулкана Коолау. Среди пород оказались ксенолиты, вынесенные наверх потоками лавы и отличные от других пород как по структуре, так и по минеральному составу.

Обычно на магматическое происхождение минералов указывает их слоистость: по мере охлаждения магмы различные минералы кристаллизуются в от-

дельных слоях, лежащих один под другим. Анализ шпинели, оливина и граната (минералов с плотно «упакованными» атомами) показал, что ксенолиты о. Оаху образовались при давлении порядка 30 тыс. атм. Отсюда следует важный вывод: источник ксенолитов лежал на глубине около 90 км. Химический состав образцов свидетельствует об идентичности этого расплава и лавы ныне извергающегося вулкана Коолау.

Авторы полагают, что образование вулканического о. Оаху происходило в два этапа: на первом лава, поднимающаяся с глубины более 90 км, частично на этом уровне и задерживается (при этом образуются ксенолиты), и лишь затем часть лавы вырывается наружу по каналам, питающим вулкан.

New Scientist. 1990. V. 127. N 1735. P. 36 (Великобритания).

Геология

132-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»

Трудно сохранить неповрежденной длинную колонку ядра, поднятую при глубоководном бурении. Это — одно из существенных препятствий в изучении строения и эволюции земных недр под морским дном. Заметным шагом на пути к решению этой проблемы стал 132-й (технический) рейс научно-исследовательского судна «ДЖОЙДЕС Резолюшн». Он проходил в Тихом океане, к югу от Японии, в водах, омывающих о-ва Бонин, где в реальных условиях испытывалась новая система, позволяющая бурить твердые обнаженные лавы на активном подводном вулканическом поле.

Особый интерес ученых привлекают центры спрединга (растяжения морского дна), изучение которых проливает свет на процессы «раскрытия» океанических бассейнов при раздвижении литосферных плит. До сих пор данные в этой области собирались главным образом с помощью подводных обитаемых аппаратов или сложных сейсмических и акустических приборов, дающих в основном косвенную

информацию. При бурении же получали сравнительно немного образцов из мелкозалегающих скважин, в которые к тому же не удавалось ввести сейсмические датчики и иное оборудование для исследования продолжительных вулканических и гидротермальных процессов.

Обычные буровые головки (коронки), применяемые до сих пор на суше при бурении на нефть, чаще всего сильно разрушают хрупкие трещиноватые породы под морским дном. Теперь впервые удалось приспособить для этих целей небольшие алмазные коронки, вращающиеся с повышенной скоростью. Десятиметровая мачта на борту судна использовалась для размещения электрической установки, приводящей в движение бурильную колонку длиной более 2000 м. Скорость вращения, передаваемого колонке от электромотора мощностью 800 л. с. (аналогичного применяемым на электровозах), достигает 540 об/мин, что в 10 раз больше, чем у обычных буровых установок. Специальная компьютерная система компенсирует движения судна на волнах, практически устраняя все подьемы и опускания буровой установки.

Испытания проводились на небольшом хребте вулканического происхождения (глубина моря 1800 м). Была пройдена 79-метровая скважина. Это рекордная глубина бурения молодого лавового потока на морском дне. Теперь появилась возможность вести работы в таких интересных, но недоступных для старой методики областях, как гребень Восточно-Тихоокеанского поднятия у побережья Южной Америки, где спрединг идет чрезвычайно быстро, а также на высокотемпературных гидротермальных подводных плато у берегов штата Орегон.

На борту судна работали 16 инженеров и ученых — представителей США, Канады, ФРГ, Франции, Италии и Японии. Техническое руководство осуществлял М. А. Стормс (M. A. Storms; Университет штата Техас, США), а научное — Дж. Х. Натланд (J. H. Natland; Скриппсовский океанографический институт, Ла-Холья, штат Калифорния, США).

Дальнейшие работы судна

ведутся у северо-восточных берегов Австралии.

Ocean Drilling Program. Leg 132. 1990. P. 1—5 (США).

Гляциология

Судьба льдов Антарктиды

Представление об устойчивости системы ледников Антарктиды поставлено под сомнение Р. Биндшадлером (R. Bindshadler) с сотрудниками (Центр космических полетов им. Р. Годдарда НАСА, Гринбелт, штат Мэриленд, США), проанализировавшими состояние оледенения Западной Антарктиды по наземным и космическим данным.

Согласно новой информации, по крайней мере один из крупных антарктических ледников, выходящий на побережье у шельфового ледника Росса, стекает к морю со значительно большей средней скоростью, чем полагали прежде. Правда, за последнее десятилетие она замедлилась на 20 %, но даже с учетом этого объем выносимого в море льда сейчас на 40 % превышает скорость его накопления в центральных горных районах континента.

По мнению гляциологов, это свидетельствует о нестабильности оледенения Западной Антарктиды и делает необходимым более тщательные исследования, поскольку полная его деградация может вызвать в последующие столетия повышение уровня океана на 4—6 м.

Science News. 1990. V. 137. N 18. P. 285 (США).

Геохимия
Климатология.

Парниковый эффект и углеродный цикл

Изучение колонок льда, полученных при бурении ледников Гренландии, показывает, что в прошлом изменения содержания двуокиси углерода в атмосфере были очень велики — до 50 частей на 1 млн. (по объему) менее чем за сто лет.

Это связано с изменениями климата в мировом масштабе.

Поэтому рост концентрации CO_2 в атмосфере за последние 30 лет с 315 ч/млн. до 354 ч/млн. не мог не отразиться на изменении климата.

Межправительственная комиссия по изучению климатических изменений, возглавляемая Дж. Хафтоном (J. Houghton; Метеорологическая служба Великобритании, Брекнелл) и включающая специалистов разных стран, считает, что рост концентрации создающих парниковый эффект газов способен вызвать заметные изменения состава атмосферы, которые нарушают ее углеродный цикл и вызывают потепление в глобальном масштабе.

При этом дополнительный «приток» CO_2 может привести в действие механизм обратной связи, приводящий к скачкообразному, а не растянутому во времени, как полагали до сих пор, потеплению.

Построенные с учетом этого математические модели прогнозируют, что если рост содержания CO_2 в атмосфере продолжится с нынешней интенсивностью до 2050 г. его концентрация достигнет 600 ч/млн.

Тогда по мере потепления океана усилится процесс превращения в CO_2 органического углерода и дополнительный приток газа в атмосферу. Может увеличиться и объем CO_2 , выделяемого фотосинтезирующими растениями, за счет этого поступление CO_2 в атмосферу, может возрасти на миллиарды тонн в год.

Вызванные этим изменения облачности, осадков и циркуляции атмосферы пока не оценены, но также могут повлиять на глобальные перемены климата в недалеком будущем.

New Scientist. 1990. V. 126. N 1718. P. 23 (Великобритания).

Сейсмология

Моделируется землетрясение

В Бристольском университете (Великобритания) при участии одной из крупных строи-

тельных компаний создана вибрационная установка, позволяющая по-новому моделировать землетрясения и изучать реакцию сооружений и зданий на разнородные толчки. На установке высотой 3 м можно монтировать модели сооружений массой до 1 т в масштабе 1:15. В первых экспериментах использовалась модель 10-этажного корпуса башенного типа на стальном каркасе.

Все прежние вибрационные установки сотрясали объекты в плоскости внешних стен, воспроизводя реакцию отдельных структурных компонентов сооружения. Бристольская установка «трясет» объект в трех направлениях, в том числе «с угла на угол», что больше соответствует реальным нагрузкам при землетрясениях.

До сих пор экспериментаторы исходили из того, что строительные балки и опоры после окончания толчков возвращаются к первоначальной форме — ведут себя как упругие элементы. Однако на самом деле некоторые строительные детали при сильных сотрясениях теряют это свойство, что ранее учитывалось лишь приблизительно.

В установке использованы компьютерные программы, анализирующие поведение различных структур при сейсмических явлениях. Сравнение с ними данных, которые будут получены при экспериментах, рассчитанных на 3 года, должно серьезно продвинуть теорию и практику сейсмостойкого строительства.

Планируется в дальнейшем проверка на новой установке проектов крупных сооружений, предназначенных для сейсмоопасных районов.

New Scientist. 1990. V. 128. N 1741.
P. 32 (Великобритания).

Организация науки

Естественнонаучный музей на «Витязе»

12 апреля 1990 г. Совет Министров РСФСР принял постановление о создании в Кали-

нинграде на «Витязе» Музея Мирового океана. Таким образом, через 11 лет после снятия с эксплуатации этого научно-исследовательского судна принято решение сохранить прославленный корабль науки, на борту которого сформировалась школа отечественной океанологии.

С именем «Витязя» связаны такие достижения, как измерение глубины Марианской впадины, открытие нового типа живых организмов — погонофор, экваториального подповерхностного противотечения в Индийском океане (течение Тареева); благодаря «Витязю» на карте океана появилось 50 географических названий, а имя самого корабля носят подводная гора и один из желобов в Тихом океане.

На «Витязе» работали Е. М. Крепс, Л. А. Зенкевич, М. Е. Виноградов, В. Г. Богоров, П. Л. Безруков, А. П. Лисицын и многие другие известные советские океанологи.

Музей станет научно-исследовательским и научно-просветительским учреждением, основным хранилищем памятников истории изучения океана, природы океана.

Наряду с сохранением, пополнением, пропагандой культурного наследия в области изучения и освоения Мирового океана в музее будут проводиться исследования по проблемам взаимодействия человека и океана, а также в области естественнонаучного музееведения.

Согласно концепции музея, его экспозиция, научно-исследовательская и иные формы деятельности должны быть направлены на формирование научно обоснованного представления о единстве и неразрывности природы и человека, о драматизме современной ситуации во взаимоотношениях между человеком и океаном, когда освоение океана происходит при неполном знании о нем, а имеющиеся знания не всегда служат руководством в практической деятельности.

Предполагается, что в становлении музея, создание которого ведется в тесном сотрудничестве с Институтом океано-

логии им. П. П. Ширшова АН СССР, примут активное участие все морские институты страны, а также другие заинтересованные организации.

В. С. Сивков
Калининград

Океанография

Новое научное полярное судно

Национальный научный фонд США заключил с компанией «Эдисон Чуэст» контракт на постройку научно-исследовательского ледокольного судна для работы в Антарктике.

Судно, получившее название «Натаниел Б. Палмер» (в честь американского китобоя, исследовавшего побережье Антарктиды в XIX в.), будет иметь корпус длиной 87 и шириной 18 м, осадку 6 м, высоту борта 7 м, водоизмещение 5820 т и 6 двигателей общей мощностью 11 070 л. с. Оно способно круглогодично вести операции в полярной акватории Южного океана, может находиться в автономном плавании до 75 сут., преодолевать лед толщиной 70 см со скоростью 3 узла (5,5 км/ч). Его экипаж составит 22 чел., научный персонал — 37 чел. На палубе будет вертолетная площадка и ангар для 2 вертолетов, способных нести по 4 пассажира.

На борту оборудуются научные лаборатории в соответствии с основными задачами судна: изучением ледового покрова и атмосферы над ним с учетом их сложных физико-химических взаимодействий; метеорологическими и геофизическими наблюдениями в высоких широтах; морскими биологическими и геологическими работами и др.

«Натаниел Б. Палмер» — первое в США судно ледокольного типа, специально предназначенное для исследовательских целей. Предполагается спустить его на воду в январе 1992 г. В числе первых экспедиционных работ планируется плавание в западной части моря Уэдделла: здесь совмест-

ная американо-советская группа специалистов высадится на дрейфующий лед с целью изучения циркуляции океанических вод и атмосферных явлений.

Стоимость судна — 83,8 млн. долл.; расходы на эксплуатацию оцениваются примерно в 10 млн. долл. в год.

Antarctic Journal of the United States. 1990. V. XXI. N 2. P. 18 (США).

Биогеография

Миграции странствующих альбатросов

С января по март 1989 г. с помощью спутников были определены пути миграций шести самцов странствующих альбатросов (*Diomedea exulans*) над океаном от их гнездований на о. Поссешен (46°30' ю. ш., 51°40' в. д.) и о-вах Крозе (46°30' ю. ш., 51° в. д.). Птицы несли датчики массой 180 г, сигналы от которых поступали на два спутника и передавались в центр обработки данных в Тулузе (Франция). Исследователи получали в сутки в среднем 12 координат для каждой птицы. Оказалось, что за одну миграцию в поисках пищи альбатросы пролетают над океаном от 3664 до 15 200 км. Полеты и поведение альбатросов сопоставлялись с поведением контрольной группы, высиживающей яйца на островных гнездовьях. Представители этой группы в поисках пищи совершали значительно менее протяженные полеты. Их скорость достигала 81 км/ч. Они редко использовали попутный ветер. Вылет с гнездовой они совершали с наветренной стороны, а при возвращении выбирали боковой ветер, совершая петлеобразные виражи перед приземлением. Странствующие альбатросы летали и ночью, особенно при лунном свете.

Маршруты странствующих альбатросов простираются от берегов Антарктиды на юге до 35° ю. ш. (центральная часть Индийского океана) на севере.

Polar Record. 1990. V. 26. N 157. P. 135 (Великобритания).

География

Темпы исчезновения тропических лесов

Последние исследования показали, что площадь тропических лесов сокращается более высокими темпами, чем считалось еще несколько лет назад. В соответствии со всеобъемлющей сводкой ООН 1980 г., ежегодная потеря составляла 11,2 млн. га; в 1989 г., по данным Н. Майерса (N. Myers, консультант по вопросам окружающей среды общества «Друзья Земли»), потери оценивались уже в 14 млн. га в год, а в самой свежей информации Института мировых ресурсов (ИМР) приведено значение 16—20 млн. га в год, что сопоставимо с площадью штата Вашингтон.

Выводы ИМР базируются на результатах наземных и космических съемок, свидетельствующих, что, несмотря на меры, предпринятые рядом государств, вырубка тропических лесов продолжает нарастать в Бразилии, Индии, Индонезии, Бирме, Таиланде и Коста-Рике. Основные мотивы — расширение площади пахотных земель и лесозаготовки.

Исчезновение тропических лесов, по словам президента ИМР Дж. Спета (J. G. Speth), представляет собой беспрецедентную трагедию в жизни Земли, и если ныне ситуацию не переломить, вред ли в будущем ее удастся улучшить.

Wildlife conservation. 1990. V. 93. N 5. P. 19—20 (США).

География

Судьба коралловых рифов

Австралийские ученые Д. Кинси (D. Kinsey; Управление морского парка «Барьерный риф») и Д. Хопли (D. Hopley; Университет им. Дж. Кука, штат Квинсленд) исследовали, как поглощают карбонат кальция из окружающей среды

различные виды кораллообразующих полипов.

Исходя из распространности кораллов различных типов, они рассчитали, сколько карбоната кальция поглощается кораллами в ходе жизнедеятельности (с учетом парникового эффекта). В наше время организмы Большого Барьерного рифа на восточном побережье Австралии поглощают ежегодно карбоната кальция в среднем около 2,4 кг/м². Общая площадь этой величайшей в мире коралловой постройки составляет 20 055 км², так что здесь поглощается 50 млн. т карбоната кальция. (Из-за парникового эффекта эта величина возрастает примерно на 40 %.)

Отдельные коралловые острова, разбросанные по различным морям всего мира, имеют суммарную площадь около 115 тыс. км². Интенсивность их строительства примерно такая же, и сейчас они поглощают около 160 млн. т карбоната кальция в год.

Исследователи оценили скорость роста коралловых рифов в будущем для прогнозов, по которым уровень моря в ближайшие 50—100 лет повысится на 1,4—2 м. Ныне коралловые постройки мира поглощают в год примерно 111 млн. т углерода, что составляет около 2 % поступающего в атмосферу углекислого газа. При кажущейся незначительности этой величины, она, по мнению авторов, может быть критической. Примерно в ближайшие 50 лет при ускоренном росте коралловых образований эта величина может возрасти до 4 % и не будет меняться почти столетие, а затем может даже увеличиться до 9 %.

Специалисты полагают, что несколько столетий образование и рост рифов будут способны конкурировать с подъемом уровня Мирового океана в поглощении карбоната кальция. В дальнейшем же, если действие «парникового эффекта» продлится, большинство коралловых построек «утонет» — уйдут под воду на такую глубину, где их существование невозможно. Кроме того, на кораллы может отрицательно влиять слишком высокая температура вод, замутненность и частые

штормы. Первыми при этом пострадают те постройки, которые, подобно рифам Красного моря, и сейчас находятся на грани гибели.

New Scientist. 1990. V. 125. N 1706. P. 30 (Великобритания).

Палеоантропология

Как «вымерз» неандерталец

Среди антропологов не стихают споры. Одни считают, что человек, анатомически не отличающийся от современного, сформировался в Африке, и примерно 35 тыс. лет назад вытеснил европейского неандертальца, став одной из причин его вымирания. По мнению других, обе группы — близкие подвиды *Homo sapiens* и, смешиваясь, формировались постепенно как в Африке, так и в Азии.

Сейчас преобладает первая точка зрения, но похоже, что причина исчезновения неандертальца — климат и экологические перемены. Дж. Ши (J. J. Shea; Гарвардский университет, Кембридж, США) сопоставил орудия, изготовленные неандертальцами на Среднем Востоке, с относящимися примерно к тому же времени, но принадлежавшими «современному» человеку. Сходство оказалось почти полным. Так что, по мнению Ши, археологических свидетельств «интеллектуальной отсталости» неандерталец не оставил. Более того, судя по ископаемым остаткам, физические особенности неандертальца, видимо, позволяли ему развивать скорости и поднимать тяжести, намного превосходящие те, что доступны даже чемпионам Олимпийских игр. Итак, неандерталец был отдельным подвидом *Homo sapiens* и отнюдь не «отсталым».

Но против него действовали климатические факторы. Неандерталец появился в Европе 90—130 тыс. лет назад, когда климат там был мягким, повсюду росли леса. Питались они преимущественно дикими пло-

дами. Характер их занятий (собирательство) не требовал объединения в значительные группы.

Наступление ледников и заметное похолодание началось около 70 тыс. лет назад. К этому времени и относятся находки остатков неандертальцев на Среднем Востоке, куда они, очевидно, были вынуждены мигрировать. Но здесь уже поселились «современные» люди.

Сперва пришельцы, вероятно, занимали низменности, заросшие фруктовыми и плодовыми растениями, вытесняя оттуда более слабых физически «современных» людей. Последние были вынуждены перейти к охоте на крупных подвижных животных, главным образом антилоп, населявших близлежащие засушливые саванны.

Наступление ледников 64—32 тыс. лет назад привело к распространению саванн на Среднем Востоке, а в Европе — сосновых лесов и тундры; они были населены животными, служившими объектами охоты. Поэтому у «современного» человека появились значительные преимущества в добыче пищи и размножении. Неандертальцам же в таких условиях, согласно гипотезе Ши, предстояло полное вымирание.

Science News. 1990. V. 137. N 12. P. 189 (США).

Демография. Экология

Яномами в опасности

Племя яномами — наиболее многочисленное из индейских племен Латинской Америки, ведущих лесной образ жизни. К моменту первых постоянных контактов с внешним миром, начавшихся в 60-х годах, оно, по оценкам, насчитывало около 10 тыс. чел. на севере Бразилии и примерно 13 тыс. — в прилегающих районах Венесуэлы. Однако после открытия в 1987 г. на территории бразильской Амазонии крупных месторождений золота численность местной популяции значительно сократилась. Вторгшиеся сюда десятки тысяч «ди-

ких» золотодобытчиков и сопровождающих их искателей легкой наживы нарушили природные условия и общественный климат этих еще недавно нетронутых мест, принесли с собой малярию, туберкулез, дизентерию и грипп, почти никакой сопротивляемостью к которым яномами не обладают.

Национальный индейский фонд в 1985 г. добился создания на площади 9,4 млн. га резервации для яномами, но в 1989 г. под давлением промышленных кругов на этой территории правительство выделило три крупных участка для добычи полезных ископаемых, и вскоре численность посторонних превысила 40 тыс. чел.

Большой ущерб наносится влажным тропическим лесам — основе жизни яномами — охотников и собирателей. Прimitивная промывка золота с помощью ртути, которую старатели используют в непомерно больших количествах, ведет к загрязнению рек и ручьев. Отмечены случаи ртутного отравления индейцев. Участились столкновения между старателями, нередко вооруженными огнестрельным оружием, и практически безоружными яномами.

В январе 1990 г. власти приступили к принудительному выселению золотоискателей из индейской резервации. К маю их там осталось не более 2 тыс. чел., но к этому моменту были истрачены все выделенные средства, и старатели немедленно начали возвращаться, восстанавливая разрушенные полицией лесные посадочные площадки. Лишь в сентябре 1990 г. средства для поддержки яномами (около 1 млн. фунт. ст.) были собраны федеральной полицией Бразилии, министерством авиации и Национальным индейским фондом. Операция по освобождению севера страны от чужаков, восстановлению природных условий и ликвидации эпидемий возобновилась. Министерство здравоохранения Бразилии полагает, что на полную ликвидацию малярии — главного бича яномами — уйдет около 4 лет, считая со дня вывоза последних золотоискателей.

New Scientist. 1990. V. 127. N 1736. P. 18 (Великобритания).

3 декабря 1990 г. отказал один из гироскопов системы ориентации телескопа «Хаббл». Хотя телескоп сохраняет работоспособность, решено заменить его новым в очередном полете шаттла в 1993 г.

ТАСС

Американская автоматическая станция «Магеллан», связь с которой из-за возникших помех была прервана, 11 ноября 1990 г. возобновила радиолокационное картографирование поверхности Венеры. Подготовлен новый вариант программы для управляющего компьютера. На снимках, передаваемых станцией, видны многочисленные вулканы, гигантские поля лавы и метеоритные кратеры.

ТАСС

4 декабря 1990 г. на четверть своих возможностей начал использоваться новый американский гигантский оптический телескоп «Кек», расположенный на вершине потухшего вулкана Мауна-Кеа (Гавайские о-ва). Его главное зеркало не монолитно, а составлено из подогнанных одна к другой с высокой точностью 36 секций шестиугольной формы весом по 450 кг каждая; к декабрю 1990 г. установлено 9 секций. После завершения монтажных работ диаметр зеркала составит около 10 м, а сам телескоп станет самым большим инструментом в мире, обладающим исключительно высокой чувствительностью. Полностью он будет введен в строй в 1991 г.; его стоимость составит около 70 млн. долл.

ТАСС

7 января 1991 г. с космодрома на м. Канаверал (штат Флорида) ракетой-носителем «Дельта-2» выведен на орбиту спутник связи «НАТО-4А». Сконструированный специально для НАТО английскими компаниями «Бритиш азроспейс» и «Маркони спейс системс» спутник массой почти 2 т и стоимостью 110 млн. долл. позволяет связаться с американскими наземными станциями связи, кораблями и сухопутными подразделениями.

ТАСС

Комиссия, созданная для изучения перспектив космической программы США, рекомендовала НАСА переориентироваться с «шаттлов» на новую одноразовую ракету-носитель, упростить космическую станцию «Фридом» и, главное, обеспечить безусловный приоритет научных исследований, в особенности экологических, с помощью спутников и по программам «Миссия на планету Земля» и «Миссия с планеты Земля».

ТАСС

Автоматическая межпланетная станция «Галилей», совершающая перелет к Юпитеру по сложной траектории, 8 декабря 1990 г. прошла на минимальном расстоянии от Земли. Со станции велись фотографии планеты, измерялось количество атмосферных газов, вызывающих парниковый эффект, контролировалось состояние озонового слоя; сфотографирована также невидимая с Земли сторона Луны. Используя явление «гравитационного бильярда», создаваемое полями тяготения Земли и Ве-

неры, предполагается растянуть путь станции вокруг Солнца и так достичь Юпитера. Вторично «Галилей» сблизится с Землей в декабре 1992 г., а Венеру минует в феврале 1991 г.

ТАСС

В следующие три года НАСА наметило 27 полетов по программе «Спейс шаттл» (в 1991 г.— 7 полетов, в 1992 г.— 8 и в 1993 г.— 12); впервые в плане отсутствуют секретные полеты по программе Пентагона. В 1992 г. взамен погибшего в январе 1986 г. «Челленджера» будет введена орбитальная ступень «Эндивор», в ее первом полете будет сделана попытка спасти один из спутников Земли. На этот же период планируются 13 запусков одноразовыми ракетами-носителями, среди полезных грузов которых спутники «УФ-эксplorер» и «Геотейл», а также автоматическая станция «Марс-обсервер».

ТАСС

19 января 1991 г. с американского спутника, находившегося на высоте 36 000 км над территорией Панамы, было выпущено облако частиц бария. Наблюдение за их движением позволит, по мнению специалистов, понять причины возникновения магнитных бурь в атмосфере Земли, создающих серьезные помехи космической связи. Это был шестой из семи экспериментов, запланированных на январь 1991 г. по программе изучения магнитной поля Земли, разработанной в НАСА.

ТАСС

Чтобы получить свежие идеи и проекты полетов к Луне и осуществления к 2019 г. экспедиции на Марс, исследовательская организация «Рэнд корпорейшн» направила в НАСА, лаборатории крупных корпораций, отдельным специалистам и гражданам США 40 тыс. запросов. 1600 полученных предложений рассматривают восемь независимых экспертных групп, члены которых не знают, от кого поступил тот или иной проект, что гарантирует беспристрастность анализа.

ТАСС

Английские ученые обнаружили, что побочные явления при приеме лекарств имеют генетическую природу (передаются каждому десятому человеку по наследству) и могут привести к развитию рака легких. Причина этого — мутация гена, ответственного за синтез цитохрома P-450.

Р. Вулф (R. Wolf; лаборатория молекулярной фармакологии Империял-фонда по изучению рака, Эдинбург, Шотландия) считает, что этот генетический дефект можно выявить, анализируя кровь или слюну на уровне ДНК.

London Press Service. Feature. 1990. N 251. P. 2—3 (Великобритания).

По мнению специалистов английской фирмы «Глаксо» (Лондон), язвенную болезнь вызывает не только повышенная кислотность, но и бактериальная инфекция. Разработанный ими препарат ранитидинвисмутцитрат одновременно снижает кислотность и уничтожает инфекцию.

Массовое производство нового препарата начнется в 1994 г.

London Press Service. Feature. 1990. N 251. P. 6 (Великобритания).

Национальный заповедник на юго-западе Китая, где встречаются такие редкие животные, как индийский слон и гиббон, а также 35 % всех видов птиц и 4 тыс. видов цветковых растений, распространенных в Китае, под угрозой — он расположен с подветренной стороны от крупнейших городов с загрязненной атмосферой, и кислотные дожди выпадают над ним все чаще.

International Wildlife. 1990. March—April (США).

В Королевском госпитале (Манчестер, Великобритания) обнаружено, что заболевание поджелудочной железы может вызвать не только злоупотребление алкоголем, но и дефицит витамина С. Действие алкоголя связано с образованием свободных радикалов; защитить клетки от них способны вещества с антиокислительными свойствами — витамин С и метионин, добавление которых в пищу значительно улучшало состояние больных.

London Press Service. Feature. 1990. N 252. P. 2—3 (Великобритания).

Шотландский институт исследования урожайности разработал математическую модель и выделил 81 тыс. фунт. ст. на создание прибора для экспресс-анализа содержания азота в почве и его количества, накапливаемого растением на разных этапах развития. Особенно нужен прибор картофелеводам, поскольку эта культура требует много азота: изобретение поможет определить, когда и сколько внести удобрений.

London Press Service. Farming News. 1990. N 167. P. 18 (Великобритания).

В докладе «Энергия волн: оценка для Европы», подготовленном по заказу Европейской экономической комиссии группой экспертов во главе с

Э. Льюисом (Коркский университет, Ирландия), сообщается, что потенциальная мощность волнения моря вдоль побережья Западной Европы достигает 100 ГВт (85 % мощности электростанции, потребляемой в странах Европейского сообщества). Между тем Норвегия — единственная страна в Европе, реально приступившая к использованию такого источника энергии, остальные пока особого интереса не проявляют.

New Scientist. 1990. V. 128. N 1742. P. 26 (Великобритания).

Национальное гидрологическое управление Великобритании решило укреплять берега в Восточной Англии (наиболее уязвимой при наводнениях и нагонах морских вод) с учетом предстоящего повышения уровня Мирового океана. Отныне в проекты дамб и противоволновых сооружений закладывают данные о росте уровня моря на 5 мм/год — больше наблюдавшегося здесь за последнее столетие, но меньше прогнозируемого к концу XXI в. (650 мм). Такие сооружения рассчитаны на 50 лет, и в проектах будет учтен подъем моря на 250 мм. Уже существующие сооружения протяженностью 1600 км решено не наращивать до более точных прогнозов.

New Scientist. 1990. V. 127. N 1735. P. 26 (Великобритания).

Английская фирма «Гидромоушн» предлагает новый электронный щуп для определения влажности и температуры зерна в бункерах без отбора образцов для его взвешивания или измельчения. Высокочувствительный датчик на конце щупа фиксирует на глубине до 2 м изменения проводимости, которые преобразуются в сигналы, передаваемые на экран, где они воспроизводятся в оцифрованном виде, указывая содержание влаги в процентах. Датчик содержит и чувствительный платиновый термометр.

London Press Service. Farming News. 1990. N 167. P. 8 (Великобритания).

На пути к запредельному

А. М. Гиляров,
доктор биологических наук
Москва

ОСНОВНАЯ тематика рецензируемой книги характеризуется вопросами, находящимися у предела допустимого в философии и порой, кажется, за пределами допустимого в науке. Они касаются столь глубинных основ нашего бытия и восприятия мира, что в респектабельных научных кругах о них говорить считается почти неприличным. Но если о них не говорят, это не значит, что они не существуют или малоизвестны. Скорее как раз наоборот.

Эпиграфом к вводной главе взяты слова И. Канта: «На долю человеческого разума в одном из видов его познания выпала странная судьба: его осаждают вопросы, от которых он не может уклониться, так как они навязаны ему его собственной природой; но в то же время он не может ответить на них, так как они превосходят возможности человеческого разума». По сути, слова эти могут служить эпиграфом и ко всей книге.

Вопросительная интонация пронизывает все повествование. Вопросы начинаются даже не с введения, а с предисловия. Шестнадцать сформулированных там проблем так или иначе затрагиваются в последующем изложении. Перечислим хотя бы некоторые из них.

Почему мы понимаем друг друга, когда в нашей речи используются слова с полиморфными (не атомарными) смыслами?

Если наше обыденное мышление преимущественно использует классическую формальную логику, то возможно ли формализовать исходные предпосылки этого мышления?

Если сознание человека — это преобразователь смыс-



В. В. Налимов. СПОНТАННОСТЬ СОЗНАНИЯ: ВЕРОЯТНОСТНАЯ ТЕОРИЯ СМЫСЛОВ И СМЫСЛОВАЯ АРХИТЕКТОНИКА ЛИЧНОСТИ. М.: Прометей, 1989. 287 с.

лов, можно ли построить семантическую модель личности средствами математики?

Существует ли единая модель, описывающая творчество в самом широком его понимании, включая развитие как ноосферы, так и биосферы?

Что принципиально возможно и невозможно в моделировании сознания средствами ЭВМ?

В чем главное отличие христианского миропонимания от буддистского?

Эти и другие вопросы, по мнению автора, сводятся к одному, наиболее фундаментальному: что есть смысл и какова его роль в устройстве мира?

На большинство постав-

ленных вопросов ответов нет. Ответами на них могут быть только новые вопросы, но сама по себе их переформулировка, дифференциация или интеграция, неожиданные повороты мысли и порой возврат к исходному пункту выступают не как пустая игра, а как что-то чрезвычайно важное. Результат этой деятельности — более четкое определение того, что мы не знаем. Выявленное незнание, как неоднократно подчеркивает В. В. Налимов, оказывается более ценным, чем знание. Оно позволяет углублять предельные вопросы, и таким образом, как ни странно, достигается определенный прогресс в «познании незнания».

Прежде чем перейти к рассмотрению собственно содержания книги, хочется отметить две черты авторской личности, накладывающие свой отпечаток на все изложение. Во-первых, только по-настоящему смелый человек рискнет писать книгу о вещах, граничащих с запредельным. Забегая вперед, скажу, что толика этой смелости передается и читателю. Второе — это чрезвычайная доброжелательность автора, уважение к личности читателя. Автор ни на чем не настаивает, он только приглашает к размышлению, к сотворчеству. С гордостью коллекционера демонстрирует он свои экспонаты — потрясающие по глубине высказывания мыслителей разных времен и народов. Эта неназойливая беседа захватывает гораздо надежнее, чем бескомпромиссно-повелительное наклонение, которое, увы, не редкость в отечественной (и не только в отечественной) философской литературе.

В самом общем виде за-

дачу обсуждаемой книги можно охарактеризовать как попытку создать вероятностно-ориентированную философию личности, хотя сам автор предпочитает говорить о смысловой архитектонике личности, а в более узком (но остающемся все же очень широким) плане задача сводится к построению модели сознания, трактуемого как текст и функционирующего в согласии с формулой Бейеса, описывающей то, как в результате взаимодействия двух статистических распределений порождается новое распределение. В. В. Налимов ранее уже использовал эту формулу в своей работе «Вероятностная модель языка»¹, а позднее — в изданных пока только за рубежом книгах о бесконечности и о вероятностном подходе к эволюции².

В применении к идеям, развиваемым в рецензируемой книге, основная посылка предлагаемой модели сводится к следующему: мир рассматривается как множество текстов, характеризующихся дискретной (семiotической) и континуальной (семантической) составляющими.

Как же в рамках своей модели автор описывает процесс понимания? «Это всегда, — считает В. В. Налимов, — порождение новых текстов, или, говоря словами Хайдеггера, проектирование, забегание вперед себя. [...] Понимание смыслов — это всегда о л а д е н и е смыслами, осуществляемое путем расщепления исконно заложенного в мироздании» (с. 124).

Следовательно, как текст трактуется не только мир, но и само сознание. Взаимодействуя с миром, оно, как пишет В. В. Налимов, «управляет своей природой [...] задает вопросы и прислушивается, получая ответы из ниоткуда, из Мира метасемантики. Создавая новые тексты, сознание порождает новые Ми-

ры — новые культуры. Сознание оказывается трансцендирующим устройством, связывающим разные Миры. Оно выступает в роли творца — микродемиурга» (с. 102).

Излагая историю формирования представлений о личности, автор старается не только пересказывать, сколько непосредственно цитировать самые разнообразные, порой неожиданные источники. Среди них, например, «Египетская книга мертвых», написанная по крайней мере за несколько тысячелетий до Рождества Христова, сочинения Платона, Дионисия Ареопагита, Терезы Авильской, Спинозы, Маркса, Фрейда, Гуссерля, Хайдеггера, целой группы современных западных исследователей, работающих на стыке философии и психологии, и многих других авторов.

Вполне допуская, что кто-то отнесется очень критически к развиваемой в книге модели сознания и семантики мира, но, думаю, что даже скептически настроенный читатель не останется равнодушным хоть к каким-то высказываниям, отобранным В. В. Налимовым из трудов мыслителей прошлого и настоящего.

Перекличка очень старого восходящего порой к истокам культуры, и наисовременнейшего вообще чрезвычайно характерна для этой книги. Отсюда, пожалуй, и возникающее у читателя согласие с мыслью автора о том, что всякое новое понимание — это уже перепонимание, а вся философская мысль «не более чем некий процесс нескончаемой реинтерпретации того, что уже было ранее сказано...» (с. 126). Понимание, как подчеркивает В. В. Налимов, есть «способность найти в чужом тексте свое, или [...] найти самого себя в чужом» (с. 130).

К сожалению, рамки краткой рецензии не позволяют затронуть все проблемы, нашедшие отражение в книге. Это и многоуровневая схема организации сознания, и многомерная модель личности, и вопрос о сопоставлении философской мысли Востока и Запада, и многие другие интересные и порой неожиданные проблемы. Существенно, что практически все

они, будучи взаимосвязанными, в конце концов замыкаются на вопросы, граничащие с запретным. Один из них касается существования смыслов мира, его непроявленной семантики. Подчеркнув, что в течение очень длительного времени научная мысль, «тяготеющая к наивному механистическому материализму», считалась противостоящей идущему от Платона представлению об изначальности существования смыслов, В. В. Налимов задает сакраментальный вопрос: не носит ли это противостояние поверхностный характер? Если, рассматривая физический мир, мы вынуждены признать существование некоторых изначальных заданных констант и уравнений, то почему мы не можем допускать подобной заданности в мире биологического или психологического? Нельзя, как считает В. В. Налимов, «сказать что-либо серьезное о сознании, не постулировав изначальное существование непроявленной семантики» (с. 230). Этот вывод, по свидетельству автора, — главный, к которому он пришел в результате многолетних размышлений над проблемами сознания.

Я не могу сказать, что все в этой книге в равной степени привлекло мое внимание. Страницы, посвященные трансперсональной психологии или протоколам медитационных сеансов, показались мне менее интересными. Хотя, безусловно, для кого-то они будут главными. Наше семантическое распределение (наш фильтр сознания) взаимодействует с авторским точно так, как это описано в книге. Но стремление найти в тексте себя проявляется в ходе чтения постоянно.

Книга очень хорошо организована. Главы подразделены на параграфы, носящие самостоятельные названия. Иногда есть и более мелкие разделы. В конце — три математизированных приложения, написанные сотрудником Физико-технического института Т. А. Перевозским: о связи вероятностной концепции смыслов с квантовой теорией измерений; о возможности построения пространственно-метрической логики; о едином понимании естествен-

¹ Налимов В. В. Вероятностная модель языка. М.: Наука, 1979. (1-е изд. 1974). Пер. на польск. и англ. яз.

² Nalimov V. V. Realms of the unconscious: The enchanted frontier. Philadelphia, 1982; Nalimov V. V. Space, time and life. The probabilistic pathways of evolution. Philadelphia, 1985.

ного языка и языка музыкальных текстов с позиций вероятностной модели смыслов.

Внимание читателя привлекают цветные вклейки с репродукциями картин художника А. Дьячкова. Видимо, автор придает им большое значение (из комментариев следует, что по крайней мере часть их написана после сеансов медитации). Но мне показалось, что попытка дать зрительный образ сознания или его соприкосновения с семантикой мира на самом деле приземляет всю проблему, лишает ее какой-то глубинной таинственности. В завершающих параграфах В. В. Налимов замечательно пишет о тайне, которая «по своей сущности не схватываема», к которой можно только прикоснуться, и вместе с тем о том, как важна эта устремленность к соприкосновению с тай-

ной, оказавшейся «оплодотворяющим началом в развитии человечества» (с. 253).

Мне кажется, что иллюстрировать текст способна была бы скорее музыка. Особенно если предложить каждому сделать свой выбор. Первое, что приходит на ум мне, так это партиты И. С. Баха или же такое совсем недавно написанное произведение, как симфония С. Губайдулиной «Слышу, умолкло...». В девятой части этого ни на что не похожего сочинения оркестр совсем умолкает, но остается взмахивающий руками, т. е. управляющий оркестром, дирижер. В течение всей этой затянувшейся паузы (потом музыка постепенно снова возникает) зал, захваченный тем, что было раньше продолжает с помощью дирижера музыку в себе, причем напряженность (я бы

сказал, семантическая напряженность) достигает здесь апогея.

Книга В. В. Налимова вышла небольшим тиражом (10 тыс. экз.) в издательстве «Прометей» за счет автора. Невольно возникает вопрос: а где же были такие издательства, как «Наука», «Мысль», «Прогресс», наконец Издательство МГУ, находящееся при учреждении, в котором работает автор? Думаю, издав эту книгу, они могли бы не только способствовать раскрепощению нашей мысли, но и хорошо заработать. И последнее. Хотелось бы увидеть на русском языке те из книг В. В. Налимова, которые существуют пока только в виде переводов, опубликованных в США.

НОВЫЕ КНИГИ

Агроэкология

Б. М. Миркин. ЭКОЛОГИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ БАШКИРИИ. Уфа: Башк. кн. изд-во, 1990. 128 с. Ц. 15 к.

Автор рассматривает возможности экологического управления состоянием растительного компонента агроэкосистем — естественными кормовыми угодьями, сеянными травами, лесными пастбищами, сорными сообществами на полях и рудеральными (мусорными) сообществами пустырей, обочин дорог и полей.

В книге отобрана наиболее важная информация о ботаническом составе агроэкосистем и для каждого их элемента приведены таблицы самых распространенных видов.

Читатель познакомится с «тремья китами» современной агроэкологии — адаптивным подходом (сеять то, что лучше растет в тех или иных условиях и требует меньше полива или удобрений), концепцией экологической ниши (совмещать в одном посеве виды с разной биологией) и представлением о сукцессии (изменении растительности при выпасе, удобрении или старении посева многолетних трав). Узнает читатель и о том, что положение высеянного вида в травосмеси тем стабильнее, чем больше различаются размерами растения в популяции.

В книге показано, что главный фактор, определяющий состав сорных видов на поле, — не возделываемая культура, а почва и климат. Поэтому в большинстве случаев для борьбы с сорняками нет необходи-

мости прибегать к гербицидам, достаточно правильной агротехники и продуманного севооборота с использованием таких подавляющих сорные растения культур, как озимые и многолетние травы.

Состояние агроресурсов Башкирии автор оценивает как критическое: дальнейшие экологические ошибки во имя выполнения плана губительны. Но еще не поздно выправить положение, перейдя на хозяйствование в соответствии с принципами агроэкологии.

Экология

УРБОЭКОЛОГИЯ / Ред. Т. И. Алексеева, Л. С. Белоконов, Е. З. Година. М.: Наука. Сер. «Современные проблемы биосферы», 1990. 240 с. Ц. 3 р. 50 к.

Города — горячие точки биосферы: один гектар городской площади потребляет в 1000 раз больше энергии, чем такая же площадь в сельском ландшафте. По данным ООН, к 2000 г. в городах будет жить 51 % населения планеты (в СССР — 74 %). Как живет и будет жить горожанин, как он переносит стрессы городской среды — загрязнение атмосферы и воды, шум, скученность, — как формируется демографическая структура городских популяций и каковы реальные возможности экологии человека? Эти вопросы обсуждались на школе-семинаре «Экология человека в городе», который состоялся в 1987 г. в Звенигороде. На материалах конференции и основана эта коллективная монография с разделами: «Городская среда и ее восприятие человеком», «биология городских популяций», «Влияние городской среды на здоровье и социально-трудовой потенциал», «Городская среда и охрана здоровья».

Несмотря на сложность жизни в современном городе, опыт развитых стран показывает, что здоровье горожан, как и уровень образования и культуры, во многом зависит от характера и технологии размещения в нем производства. При этом Япония опережает США и по уровню образования, и по уровню здоровья, средняя продолжительность жизни японца достигла 78 лет (в США достичь продолжительности жизни в 80 лет надеются к 2000 г.).

Город должен не только очиститься от загрязнений, но и сменить свой облик. Закрытые пространства, монотонные многоэтажные, тянущиеся на сотни метров здания из стекла и бетона формируют «поля агрессивности».

Городская среда создает особые варианты популяций че-

ловека и сильно влияет на ростовые процессы у детей и подростков. Как ни удивительно, городские дети быстрее растут и физически развиваются, но в условиях особо сильных стрессов могут отставать от своих сельских сотоварищей. Женщины устойчивее к неблагоприятной городской среде, чем мужчины. При освоении новых регионов горожанами должны становиться в первую очередь 20—30-летние люди, так как с возрастом адаптационная способность падает.

Оздоровление наших городов стоит больших денег, но эти расходы неизбежны, так как альтернативой им является дальнейшее ухудшение здоровья горожан и снижение их полезного вклада в трудовую деятельность.

Сельское хозяйство

Я. Пругар, А. Пругарова. ИЗБЫТОЧНЫЙ АЗОТ В ОВОЩАХ. М.: Агропромиздат, 1990. 127 с. Ц. 25 к.

Получить количество нитратов, превышающее ПДК, шансов сегодня более чем достаточно. Многочисленные таблицы в книге показывают очень высокое их содержание в красной столовой свекле, выращенной в разных странах, в том числе и в СССР (от 1000 до 5000 мг/кг), в капусте белокачанной (3200 мг/кг), в моркови (до 3000 мг/кг). Много нитратов накапливают все виды салата, лук-порей, ревеня, редис, репа, шпинат и др. С меньшим опасением получить запредельную дозу можно есть болгарский перец, помидоры, огурцы, картофель.

Источником нитратов служит азот почвы, чаще всего вносимый в форме минеральных удобрений, причем ammo-

нийные формы азота менее опасны, чем нитратные, которые особенно легко усваиваются растениями. Отсюда и первое условие получения экологически кондиционной продукции — уменьшить количество нитратов в почве, используя органические удобрения и подавляя процесс нитрификации специальными препаратами-ингибиторами.

На накопление нитратов влияют многие условия, главное из которых — обеспеченность растений светом: полутемные теплицы с густо посаженными овощами (а так у нас выращивается салат и зеленый лук) — это фабрики нитратов. Количество нитратов может увеличиваться при неправильном хранении овощей. Снижать содержание нитратов можно, не только учитывая эти обстоятельства и применяя указанные способы, но и путем селекции сортов, которые в меньшей степени насыщают свои ткани этими вреднейшими «пищевыми добавками» (авторы ссылаются по этому поводу на А. А. Жученко).

Отказ от минеральных удобрений авторы считают нерезальным, ибо овощи, выращиваемые с помощью альтернативных технологий, слишком дороги. Органическое земледелие придется использовать главным образом для производства продуктов детского питания.

Можно сократить потребление нитратов, если знать, где они локализируются в разных овощах (не есть кочерыжку у капусты и толстые черешки листьев, срезать верхнюю часть корня свеклы и т. д.).

Главным способом защиты здоровья остается постоянный контроль за качеством овощной продукции. В книге приводится полное описание всех способов такого контроля.

Второе рождение Анри Паде

И. В. Андрианов,

доктор физико-математических наук
Днепропетровский инженерно-строительный институт

Профессор К. Брезински

Лилльский университет (Франция)

Интеллектуальные достижения зависят от величия характера в значительно большей степени, чем это обычно принято считать.

А. Эйнштейн

«ПАДЕОНЫ», ИЛИ ЕЩЕ РАЗ О НЕПОСТИЖИМОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАТЕМАТИКИ...»

Более 30 лет назад нобелевский лауреат по физике Ю. Вигнер выступил в Нью-Йоркском университете с лекцией «Непостижимая эффективность математики в естественных науках». Ее название превратилось в афоризм. Суть же этого почти мистического явления заключается в том, что самые абстрактные математические теории, появление которых обусловлено исключительно внутренней логикой развития математики, со временем находят применение в различных областях естествознания. Правда, время «до востребования» порой проходит немалое.

Примером такой «непостижимой эффективности» может служить преобразование Паде. Оно мирно «лежало на полке» десятки лет. Ренессанс начался с 1955 г., когда было обращено внимание на возможности использования преобразования Паде для уточнения решений в рядах. После этого преобразование Паде стало рабочим инструментом физиков, вошло в монографии и справочники.

Однако до последнего времени речь шла, в основном, о чисто технических аспектах решений. Теперь положение кардинально изменилось, и связано это с двумя моментами. Появление выполняющих аналитические преобразования программ для ЭВМ в сочетании с аппроксимантами Паде дает возможность выявлять аналитическую структуру искомого решения. Кроме того, современная

физика становится существенно нелинейной. Изучением нелинейных явлений она занимается давно, но обычно речь шла о «квазилинейных», т. е. близких к линейным, решениях. Сейчас в физике интенсивно используется понятие «солитон» — уединенная волна, которая не может быть описана квазилинейной теорией в любом приближении. Однако подобное решение получается, если использовать квазилинейную теорию в сочетании с преобразованием Паде. Целый класс построенных таким способом решений получил название «падеоны».

Обнаруживаются неожиданные связи преобразования Паде с самыми современными областями физики (например, с различными фрактальными объектами). Наконец, весьма интересно и важно, что преобразование Паде позволяет получать единое решение по известным предельным¹. Более того, есть много оснований считать, что активное применение преобразования Паде в физике и других естественных науках только начинается.

Итак, защита в 1892 г. докторскую диссертацию «О приближенном представлении функций рациональными дробями», 29-летний французский математик Анри Паде не подозревал о том, что воздаст себе

нерукотворный памятник. Около 100 лет об этом не подозревал почти никто. И естественно, что биографии Паде пока еще нет ни в энциклопедиях, ни в справочниках. Попробуем восполнить этот пробел.

ТАКАЯ ДОСТОЙНАЯ ЖИЗНЬ

Анри Эжен Паде (Henri Eugène Padé) родился в г. Абвилле на севере Франции 17 декабря 1863 г.² Отец его был рыночным торговцем сукном, ближайшие предки — ткачами, а их жены — прядильщицами.

Среднее образование Паде получил в колледже Курбе в Абвилле, где его считали блестящим учеником, о чем свидетельствуют полученные им награды. В 1881 г. в Лилле ему был вручен диплом бакалавра наук с отличием.

В 1883 г. Паде поступает в лицей Св. Луиса в Париже и в том же году сдает конкурсные экзамены в Высшую нормальную школу и в Политехническую школу (он выбирает первую). Его личное дело свидетельствует: «Добрый и усидчивый. Очень спокоен». Из 269 кандидатов в Нормальную школу принят 61, Паде прошел 19-м. Вместе с ним поступили: Э. Коссера, известными впоследствии своими работами по теории упругости; Л. Жане, работавший во многих областях математики и внесший большой вклад в дифференциальную геометрию; П. Пенлеве, математик, механик и политический деятель; Л. Пуанкаре, брат президента Франции, дво-

¹ Андрианов И. В., Маневич Л. И. Две ипостаси асимптотики // Природа. 1987. № 4. С. 85—97; Они же. Асимптотические методы и физические теории. М., 1989. В статье и брошюре приведено формальное определение преобразования Паде и многочисленные примеры его приложения.

² Documents sur la vie et les travaux de Henri Padé. Claude Brezinski Publication. ANO 75. Juin 1982.



Анри Эжен Паде (1863—1953).

юродный брат великого Анри Пуанкаре, известный физик и ректор Парижского университета.

В ту пору, когда Паде вошел в науку, французская математика была на подъеме. Ему довелось работать в одно время с А. Пуанкаре, Э. Пикаром, Ж. Адамаром, П. Пенлеве, Э. Картаном, Э. Борелем, Р. Бэром, А. Лебегом, Ф. Фреше. Почти все эти крупнейшие математики окончили Нормальную или Политехническую школу (обе возникли во время Великой французской революции). Политехническая школа готовила офицеров и кадры на высшие технические должности. Она считалась более престижной и перспективной с точки зрения карьеры. Однако выбор Паде — и это говорит о многом — пал на Нормальную школу, где обучались в основном будущие преподаватели средних учебных заведений и те, кого влекла к себе «чистая» наука.

После трехлетнего пребывания в Нормальной школе Па-

де некоторое время работает преподавателем элементарной математики в лицеях разных городов, а затем просит отпуск с сохранением содержания и уезжает в Германию, чтобы продолжить образование в Лейпцигском университете у А. Майера, В. Шейнера, К. Неймана, Ф. Энгеля, С. Ли. Потом становится студентом Геттингена, где получает диплом по математике, пройдя курс у Ф. Клейна, Г. Шварца, Э. Шеринга.

Вернувшись во Францию, Паде 21 июня 1892 г. защищает в Сорбонне ставшую теперь знаменитой докторскую диссертацию. Кроме того, перу Паде принадлежат 42 научные работы, последняя из которых вышла в 1908 г. В дальнейшем Паде отошел от активной научной деятельности, посвятив себя целиком преподаванию и административным обязанностям. У него не было достаточно известных учеников, хотя он был хорошим лектором и педагогом. Отметим еще, что в 1893 и 1894 гг., будучи профессором элементарной математики в лицее Федерт в Лилле, он опубликовал

две работы, которые сыграли определенную роль в зарождении теории суммирования расходящихся рядов. Паде не пришел к идее их суммирования, но достаточно далеко продвинулся в этом направлении и сделал расходящиеся ряды объектом изучения.

В 1896 и 1897 гг. он проводит две конференции по математике на факультете наук в Лилле и назначается на пост руководителя конференции, который занимает до 1901 г., одновременно работая в индустриальном Северном институте и Высшей коммерческой школе Лилля. Затем переезжает в Пуатье. В 1897 г. Паде становится членом Академии, а в 1906 г. получает присуждаемый ею Гран-при по математическим наукам. Тема, представленная на конкурс: «Улучшение некоторых признаков сходимости непрерывных рациональных дробей».

После двухлетней работы в Бордо, в ноябре 1908 г. Паде становится ректором Академии в Безансоне — самым молодым ректором Франции, а через год получает орден Почетного легиона. Позднее он ректор Академии в Дижоне и Экс-Марселе. Награждается вторым орденом Почетного легиона, становится командором ордена Рояль де Сент Сев, Звезды Эфиопии, медали физического общества и ордена за заслуги в сельском хозяйстве.

Умер Паде в Экс-ан-Провансе 9 июля 1953 г. На его могиле можно прочесть изречение, которое он сам выбрал: «Я не знаю, бог знает».

«СТАРЫЙ РОМАНТИК»

По воспоминаниям тех, кто знал Паде, это был крупный (рост 180 см), физически хорошо развитый, голубоглазый человек. Носил, как и большинство его современников, бороду, сначала маленькую и черную, в конце жизни — длинную и белую, что придавало ему патриархальный вид.

В шутку Паде называл себя старым романтиком. Знал много стихов, часто вспоминал «Майскую ночь» Мюссе. В молодости прошел курс обучения в музыкальной школе по классу скрипки. У него были хороший

слух и голос. Из композиторов предпочитал Шумана и Шуберта, у которых особенно любил «Зимний путь» и «Веселого мельника». Его жена играла на рояле, и их семейные концерты собирали детей и близких.

Много внимания он уделял изучению и комментированию Библии. Эту работу он прилежно выполнял до конца жизни. В его речи, правильной и даже изысканной, приятной собеседнику, никогда не было и намека на панибратство или вульгарность. Несмотря на внешнюю сдержанность, он был очень чувствителен. Трогательно относился к своим детям, любил цветы и природу. Не жаловал Париж из-за суеты и духоты. Искусный и кропотливый садовник, он окружил свой дом в Эксе цветами и фруктовыми деревьями. С удовольствием разводил пчел — его запомнили в черной шляпе с сеточкой и в сапогах. К утреннему чаю в семье всегда был мед.

Все, что делал, Паде основательно изучал. Перед тем, как заняться садоводством, долго наблюдал работу крестьян, учился у них, а когда захотел столярничать, стал ходить к каретникам. В доме у него стояли хорошо им выделанные стол, журнальный столик и стулья.

Любил лес, собирал гербарий. Отец привил ему любовь

к ночному небу, и он на всю жизнь стал страстным астрономом. Во время длительных прогулок в горах был неутомим.

Много усилий потратил Паде на внедрение в лицах факультативных курсов гимнастики, швейного ремесла, рисования, пения. Был строгим инспектором, при посещении учебных заведений всегда прободал пищу, проверял, как проветриваются помещения. Не допускал никакой некорректности или небрежности в разговоре и поведении. Был религиозен, но без особой набожности. Уважение, которое оннискал себе как ученый, преподаватель и как личность, было вполне заслуженным.

Сейчас, как уже говорилось, к Паде возвращается память потомков. Но, как это ни странно на первый взгляд, возникает вопрос:

КТО ОТКРЫЛ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПАДЕ?

«Основная идея метода аппроксимаций Паде была открыта независимо по крайней мере дважды, — пишут исследователи этого вопроса. — Авторство Паде основывается на его диссертации 1892 г. Он, по-видимому, не знал о более ранней работе К. Г. Якоби (1846). Работе Паде предшествовала

также работа Фробениуса (1881). Интересно отметить, что еще в 1740 г. Андерсон, вероятно случайно, натолкнулся на аппроксимацию Паде логарифмической функции»³.

Так заслуженно ли название «преобразование Паде»? Надо сказать, что ситуации, подобные описанной выше, в науке не редкость. Так, «интегрирование встречается уже у Архимеда, дифференцирование — у Паскаля и Ферма, связь между обеими операциями была известна Барроу. Что же сделал Ньютон в анализе? Ньютон изобрел ряды Тейлора — основное орудие анализа»⁴. Между тем мы говорим о формуле Ньютона — Лейбница, рядах Тейлора и называем Ньютона и Лейбница создателями дифференциального и интегрального исчисления. История имеет свою логику, поэтому вряд ли следует ожидать «волны переименований» в научной терминологии.

Что касается преобразования Паде, то именно по его работам изучали это преобразование ученые, положившие начало его широкому применению. Интерес к работам Паде не убывает.

³ Бейкер Дж., Грейвс-Моррис П. Аппроксимация Паде. М., 1986.

⁴ Арнольд В. И. Гюйгенс и Барроу, Ньютон и Гук. М., 1989.

Над номером работали:

Заместитель ответственного секретаря О. В. ВОЛОШИНА

Научные редакторы:

И. Н. АРУТЮНЯН
О. О. АСТАХОВА
Л. П. БЕЛЯНОВА
М. Ю. ЗУБРЕВА
Г. В. КОРОТКЕВИЧ
Л. Д. МАЙОРОВА
Н. Д. МОРОЗОВА
Е. М. ПУШКИНА
Н. В. УСПЕНСКАЯ

Литературный редактор
Г. В. ЧУБА

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:

Б. А. КУВШИНОВ
Ю. В. ТИМОФЕЕВ
Н. А. ТРОФИМОВА

Ордена Трудового Красного
Знамени издательство «Наука»

Сдано в набор 4.03.91
Подписано в печать 9.04.91
Формат 70×100 1/16
Бумага офсетная, № 1
Офсетная печать
Усл. печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 1177,8
Уч.-изд. л. 15,1
Тираж 44 000 экз.
Зак. 368
Цена 1 р. 20 к.

Ордена Трудового
Красного Знамени
Чеховский полиграфический
комбинат
Государственного комитета СССР
по печати
142300, г. Чехов
Московской области

Адрес редакции:
117810, Москва, ГСП-1
Мароховский пер., 26
Тел. 238-24-56, 238-26-33

ПРИРОДА

6⁹¹



Среди многочисленных исследователей Арктики особое место принадлежит Георгию Алексеичу Ушакову, руководителю знаменитых экспедиций 20-х и 30-х годов на остров Врангеля и архипелаг Северная Земля.

Кановский Э. М. ЕГО ДИССЕРТАЦИЯ — НА ВСЕХ КАРТАХ МИРА!

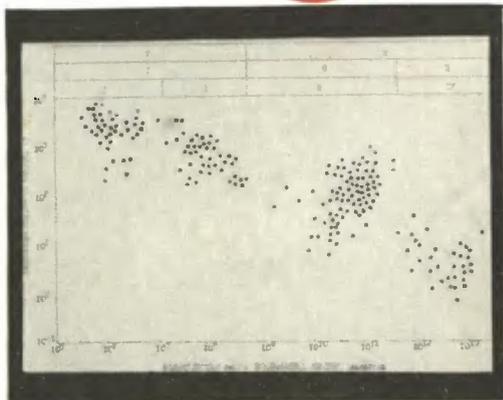


Важную информацию о происхождении минералов несут скорости их остывания после кристаллизации. Для их определения разработаны методы геологической спидометрии, особенно эффективные при изучении пород Луны и метеоритов.

Хисина Н. Р. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СПИДОМЕТРЫ

Репрессии, которым подвергались математики в России начиная с 1917 г., имели огромные последствия для развития всей советской математики.

Виленики Н. Я. ФОРМУЛЫ НА ФАНЕРЕ



Как выяснилось, радиоустойчивость организмов — это мера надежности их геномов, а радиотаксономия отражает основные этапы эволюционных преобразований наследственного материала.

Сарапульцев Б. И., Гераськин С. А. БИОЛОГИЧЕСКИЙ СМЫСЛ РАДИАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

При определенных условиях тип нейтрино меняется в соответствии с изменением плотности вещества. Поиск и исследование таких превращений, возможно, приведут к решению ряда фундаментальных проблем физики элементарных частиц и астрофизики.

Смирнов А. Ю. РЕЗОНАНСНЫЕ ПЕРЕХОДЫ НЕЙТРИНО В ВЕЩЕСТВЕ

Первая публикация фрагментов переписки Ч. Дарвина с крупнейшим русским ученым, основателем эволюционной палеонтологии В. О. Ковалевским, относящейся к 1867—1881 гг., проливает свет на многие вопросы, связанные с изданием трудов Дарвина в России, позволяет судить о его конкретных интересах и творческих планах, его знакомстве с русской наукой того времени.

НЕИЗВЕСТНЫЕ ПИСЬМА Ч. ДАРВИНА

1 р. 20 к.
Индекс 70707

