

ISSN 0013-788X

# ПРИРОДА

10'89



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор  
академик  
Н. Г. БАСОВ

Кандидат физико-математических наук  
А. И. АНТИПОВ

Доктор физико-математических наук  
Е. В. АРТУШКОВ

Член-корреспондент АН СССР  
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук  
А. А. ВЕЛИЧКО

Академик  
В. А. ГОВЫРИН

Заместитель главного редактора  
Ю. Н. ЕЛДЫШЕВ

Член-корреспондент АН СССР  
Г. А. ЗАВАРЗИН

Академик  
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук  
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук  
С. П. КАПИЦА

Доктор физико-математических наук  
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук  
А. А. КОМАР

Академик  
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор геолого-минералогических наук  
И. Н. КРЫЛОВ

Доктор философских наук  
Н. В. МАРКОВ

Ответственный секретарь  
В. М. ПОЛЫНИН

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. Березовый лес осенью. В медицине используют листья, почки березы и растущий на стволах гриб чагу. См. в номере: Кузнец В. Б., Шейгунова М. Л. Охраняя, использовать. Фото Ф. К. Кабдыхайрова.

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Вернется ли доверие к атомной энергетике в нашей стране настолько, что рыбаки вновь облюбуют берега прудов-охладителей АЭС, как этот француз в Бельвиль-сюр-Луар? См. в номере: Атомная энергетика в перекрестии мнений.



— 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» 1989

## В НОМЕРЕ

### 3 Деймер Д., Михайлов А. И., Селезнев С. А. КАК ПОЯВИЛИСЬ ПЕРВЫЕ КЛЕТКИ?

Появление жизни на Земле всегда связывают с формированием генетического аппарата. Однако его возникновению могло предшествовать образование простых мембранных структур — самых первых клеток.

### 10 Лалайц И. Э., Милованова Л. С. РОКОВАЯ ЗАМЕНА

Единственная аминокислотная замена в белке, который участвует в каскаде реакций, регулирующих деление клеток, может привести к возникновению рака.

### 15 АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В ПЕРЕКРЕСТИИ МНЕНИЙ

В научно аргументированном, но не лишенном эмоций споре о проблемах атомной энергетики специалисты, придерживающиеся самых разных позиций, отстаивают свою точку зрения за «круглым столом», организованном «Природой».

### 40 Куваев В. Б., Шелгунова М. Л. ОХРАНЯЯ, ИСПОЛЬЗОВАТЬ

Дикие лекарственные растения можно и использовать, и охранять одновременно. Но для этого в первую очередь нужно точно знать их запасы в природе.

### 46 МИФЫ, ГИПОТЕЗЫ, РЕАЛЬНОСТЬ

Рано или поздно древние мифы и таинственные явления природы находят естественное объяснение.

Лейкин И. А. СЦИЛЛА И ХАРИБДА:  
ОТ МИФА К ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИ  
(47)

Павлов А. Н., Топорков А. В. ИСЧЕЗ-  
НУВШИЕ КОРАБЛИ (53)

### 54 Кузнецов А. П. СИЛУРИЙСКИЕ МЕЧЕХВОСТЫ НА СЛУЖБЕ У ЧЕЛОВЕКА

«Беспользные» древнейшие беспозвоночные нашли, наконец, свое применение в медицине.

### 57 Ревзон А. Л. АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Аэро- и космическая съемка позволяет избежать экологических ошибок при строительстве крупных объектов.

### 65 Гельмуханов Ф. Х., Чаповский П. Л., Шалагин А. М. НОВЫЕ ЭФФЕКТЫ ГАЗОВОЙ КИНЕТИКИ

Необычная физическая природа этих эффектов заставила пересмотреть устоявшиеся представления о воздействии излучения на газ.

### 73 Чесноков Б. В. ТЕРРИКОНЫ — «ФАБРИКА» МИНЕРАЛОВ

Около 30 неизвестных минералов обнаружено в отвалах угольных шахт Челябинского бассейна.

### 79 Жданов Г. Б. СТАНДАРТЫ, РАЗВИТИЕ И НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ

Существуют ли закономерности эволюции, действующие как на биологическом, так и на социальном уровне? Этот вопрос стал предметом научных дискуссий последних лет.

### 85 В. М. ГОЛЬДШМИДТ — ОСНОВОПОЛОЖНИК ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ

Геохимия осталась бы чисто описательной наукой, если бы не вклад Гольдшмидта, которого у нас в стране мало знают.

Хисина Н. Р. ЗНАМЕНИТЫЙ НЕЗНАКОМЕЦ (85)

Ярошевский А. А. ПРАВИЛА ГОЛЬДШМИДТА (93)

### 101 НОВОСТИ НАУКИ

### 120 РЕЦЕНЗИИ

### 122 НОВЫЕ КНИГИ

### 123 Фейнберг Е. Л. НИЛЬС БОР В ФИАНе

## CONTENTS

- 3** Deamer D., Mikhailov A. I., Seleznev S. A.  
**HOW THE FIRST CELLS APPEARED**  
 The emergence of life on Earth is always associated with the process of forming the genetic apparatus. Still there is an opinion that it was preceded by the development of the simplest membrane structures — the very first cells.
- 10** Lelayants I. E., Milovanova L. S.  
**THE FATAL SUBSTITUTION**  
 A single aminoacid substitution in the protein that is part of a chain of reactions that control the division of the cell may lead to cancer.
- 15** **NUCLEAR POWER ENGINEERING: DIFFERENT VIEWS**  
 In the well-argued though somewhat heated debates at the round-table session organized by Priroda magazine, specialists defend their different views.
- 40** Kuvayev V. B., Shelgunova M. L.  
**TO USE PROTECTING**  
 We can use the wild-growing medicinal plants and protect them at the same time only if we are aware of their natural resources.
- 46** **MYTHS. HYPOTHESES. REALITY**  
 Sooner or later ancient myths and enigmatic natural phenomena find their realistic explanations.  
 Leikin I. A. **SCYLLA AND CHARYBDIS: FROM THE MYTH TO THE PHYSICAL MODEL** (47)  
 Pavlov A. N., Toporkov A. V. **THE VANISHED SHIPS** (53)
- 54** Kuznetsov A. P.  
**THE SILURIAN XIPHOSURA AT THE SERVICE OF MAN**  
 The most ancient "useless" invertebrates are now used in medicine.
- 65** Gel'mukhanov F. Kh., Chapovsky P. L., Shalagin A. M.  
**NEW GAS-KINETIC EFFECTS**  
 A specific nature of these effects forces the scientists to revise their ideas about how radiation affects gases.
- 57** Revzon A. L.  
**AEROSPACE RESEARCH USED IN CONSTRUCTION**  
 Aerial and space mapping helps evade ecological miscalculations when erecting large-scale objects.
- 73** Chesnokov B. V.  
**WASTE HEAPS AS "PLANTS" OF MINERALS**  
 About 30 still unknown minerals have been discovered in the waste heaps of the Chelyabinsk coal basin.
- 79** Zhdanov G. B.  
**NORMS, DEVELOPMENTS AND SCHOOLS IN SCIENCES**  
 Are the evolutionary patterns equally effective both at the biological and the social levels? This question has been actively discussed lately.
- 85** V. M. **GOLDSHMIDT — THE FOUNDER OF GEOCHEMISTRY AND CRYSTALLO-CHEMISTRY**  
 Geochemistry would have remained a purely descriptive discipline but for the the works of Goldshmidt little known in this country.  
 Khisina N. R. **THE FAMOUS STRANGER** (85)  
 Yaroshevsky A. A. **GOLDSHMIDT'S RULES** (93)
- 101** **SCIENCE NEWS**
- 120** **BOOK REVIEWS**
- 122** **NEW BOOKS**
- 123** Feinberg Eu. L.  
**NILS BOHR IN THE PHYSICAL INSTITUTE OF THE USSR ACADEMY OF SCIENCES**

© Д. Деймер  
А.И. Михайлов  
С.А. Селезнев

# Как появились первые клетки?



Дэвид Деймер (D. Deamer), профессор, руководитель отделения зоологии Калифорнийского университета в Дейвисе (США). Основные интересы связаны с исследованием строения и функционирования биологических и модельных мембран, выяснением роли мембран в происхождении первых клеточных систем.



Альфа Иванович Михайлов, доктор химических наук, руководитель лаборатории молекулярной динамики природных полимерных материалов Института химической физики АН СССР. Занимается изучением молекулярной динамики химических и биохимических процессов в твердых и вязких средах; создатель теории полихронной кинетики.



Сергей Алексеевич Селезнев, доктор биологических наук, заведующий кафедрой медицинской и биологической физики Целиноградского государственного медицинского института. Область научных интересов — исследование структуры, молекулярной динамики и эволюции жидкокристаллических биосистем.

**Е**СЛИ ВЗГЛЯНУТЬ на гигантское многообразие современных живых организмов, то на первый взгляд может показаться, что существовало множество путей развития, берущих начало от реликтовых форм жизни. На самом деле исследования молекулярной эволюции различных биологических видов сводят все пути, как ветви одного дерева, к главному стволу, у основания которого находится общий прародитель всех существующих сейчас видов.

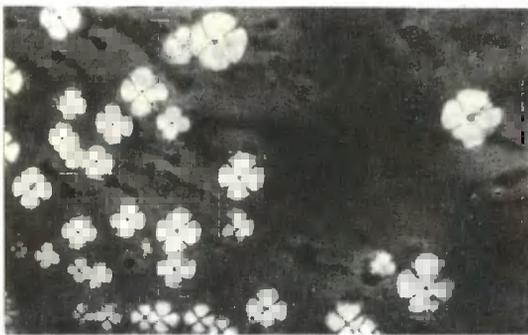
Известно, что первые живые организмы с клеточной организацией обнаружены в земных слоях возрастом около 3,8 млрд лет. Однако до сих пор не было представлено сколько-нибудь достоверных доказательств, что древнейшие клетки имели современный генетический аппарат. Скорее всего, они были генетически более простыми формами — протобионтами. Существует мнение, что основу кода протобионтов составляли нукле-

отиды, подобные современным нуклеиновым кислотам<sup>1</sup>.

Предшественники протобионтов — пробионты кода вообще не имели и синтезировали каталитически активные комплексы неферментативным путем, каждый раз заново во множестве известных в настоящее время процессов, составляющих область химической эволюции. В период существования пробионтов и протобионтов жизнь имела уже вполне организованную форму на основе примитивной клетки и каталитически активных олигомеров.

Цель нашей статьи — рассмотреть этап химической эволюции (достаточно короткий по сравнению со сроком эволюции Солнечной системы), предшествовавший биологической эволюции, в котором синтезировались компоненты, организовавшие в про-

<sup>1</sup> Orgel L. E. // Folia Biol. 1983. Vol. 29. P. 65—71.



Жидкие кристаллы, полученные из амфифильных молекул в абиогенных условиях, после испарения воды из реакционной смеси. В поляризованном свете они дают характерную оптическую картину — мальтийский крест.

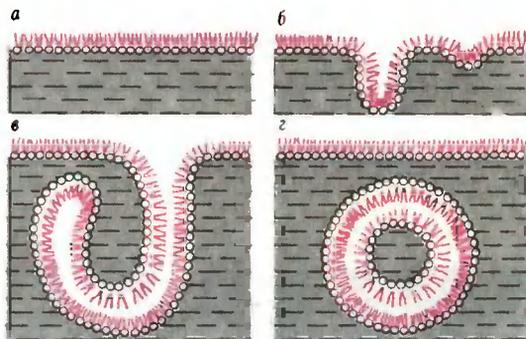


Схема последовательных стадий образования липосом при повышении поверхностного давления липидного монослоя: а — монослой с максимальным давлением; б — образование складок при нарастании давления; в — увеличение складчатости при дальнейшем росте давления и перераспределения молекул между складками; г — образование липосом минимального радиуса.

бионты. На основании экспериментальных данных мы попытаемся аргументировать истинность на первый взгляд парадоксальной схемы биогенеза: появлению первых организмов предшествовали отделенные мембранами первичные клетки, построенные из несложных молекул; затем клетки, содержащие олигопептиды, и только потом — генетический материал. (Теоретически такая модель разработана Ф. Дайсоном в рамках статистической физики<sup>2</sup>.)

В отличие от ранних теорий биогенеза, например коацерватной модели А. И. Опарина, основанной на вероятности спонтанного образования белковых агрегатов, наша концепция базируется на возможности абиогенного синтеза сравнительно простых липидоподобных молекул, образующих замкнутые слоистые системы.

### ВОЗНИКНОВЕНИЕ КЛЕТОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

В нашей модели появления первых клеток как элементарных единиц живого отвергается возможность существования доклеточных форм жизни. Мы рассматриваем клетку как пространство, окруженное мембраной, в котором возможно каталитическое превращение органических веществ и трансформация энергии<sup>3</sup>. Значит, первичные мембраны были главным необходимым условием возникновения жизни. Как же возникли эти структуры, давшие начало протоклеткам?

Наши коллективы уже более 20 лет изучают возможность синтеза в предбиологических условиях основного строительного материала мембран — амфифильных (растворимых в полярных и неполярных растворителях) липидоподобных и липидных молекул. В многочисленных модельных экспериментах установлено, что после испарения воды из реакционного объема в таких веществах формируются жидкокристаллические агрегаты, в которых молекулы расположены периодическими слоями, как в смектических кристаллах. Такие лиотропные жидкокристаллические фазы, дающие в поляризованном свете характерную оптическую картину, при последующем разбавлении легко превращаются в мембраноподобные структуры за счет полиморфных переходов<sup>4</sup>.

Этот путь формирования первичных мембран был подробнее изучен с использованием синтетических амфифильных веществ, содержащих одну алкильную группу. Выяснилось, что для образования замкнутых жидкокристаллических пузырьков из водных дисперсий моноалкильных соединений необходимы нейтрализация зарядов, нагревание, механическая обработка амфифильных растворов и ряд других факторов. Во многих случаях в системах формируются гетерогенные по размеру моноламеллярные, олиголамеллярные и мультламеллярные структуры, распознаваемые методами фазово-

<sup>2</sup> Dyson F. // J. Mol. Evol. 1982. Vol. 18. P. 344—348.  
<sup>3</sup> Островский Д. Н. Мембраны в эволюции живого // Природа. 1984. № 8. С. 14—22.

<sup>4</sup> Чистяков И. Г., Селезнев С. А. Биологическая роль лиотропных жидких кристаллов // Природа. 1977. № 9. С. 38—45.

контрастной микроскопии, негативного контрастирования и криоскальвания.

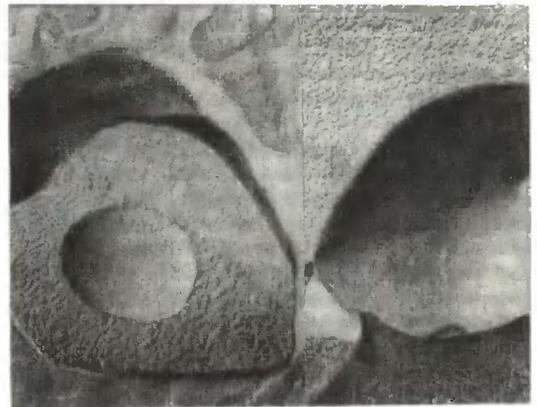
В ходе исследований был установлен механизм фотохимического превращения алканов при образовании из них амфифильных липидоподобных молекул, место локализации свободного радикала и возникающей полярной группы (на конце молекулы), идентифицированы продукты реакции и рассчитан ее квантовый выход.

Если для формирования мембранных систем необходимы фазы последовательного испарения и разбавления реагирующих компонентов в смеси, то не могли ли они образоваться в условиях палеоокеана? Чтобы ответить на этот вопрос, был смоделирован механизм генерации мембран из поверхностного слоя липидных молекул с использованием метода монослоев Ленгмюра — Вильгельми. Оказалось, что при увеличении поверхностного давления монослоя вследствие фотохимического синтеза амфифильных молекул в водном объеме спонтанно образуются замкнутые мембранные структуры, аналогичные хорошо известным жидкокристаллическим пузырькам — липосомам<sup>5</sup>.

Следующая задача состояла в том, чтобы получить в лабораторных условиях, аналогичных предбиологическим, соединения, близкие к мембранным липидам современных клеток. В наших опытах в качестве исходных продуктов мы использовали синтезированные в фотохимическом эксперименте жирные кислоты, а также глицерин и фосфаты абиогенного происхождения, силикаты и каолин (катализаторы) и дицианамид (конденсирующий агент).

В процессе нагревания и выпаривания воды из взятой реакционной смеси образовались разнообразные липиды, в основном моноглицериды, небольшое количество ди- и триглицеридов. Фракция полярных липидов содержала фосфатидиловую кислоту, фосфатидилглицерин, фосфатидилглицерофосфат, т. е. достаточно распространенные мембранные липиды современных организмов. Такие соединения легко формировали замкнутые мембранные структуры.

Эти результаты были позднее подтверждены в лаборатории Х. Оро, где в предбиологических условиях был синтезирован также и основной липид современных клеточных мембран — фосфатидилхолин (лецитин)<sup>6</sup>.



Криоскопы пузырьков из абиогенно синтезированных липидов.

Таким образом, эти работы позволяют предположить, что на самых ранних стадиях химической эволюции могли возникнуть достаточно простые липидоподобные и липидные молекулы, спонтанно образующие мембранные структуры. Следовательно, и формирование систем, подобных протоклеткам, могло предшествовать синтезу более сложных полимерных молекул.

<sup>5</sup> Горюнов А. В., Энгбрехт И. И., Селезнева С. А. // Журн. эвол. биохим. физиол. 1982. Т. 18. С. 450—456.

<sup>6</sup> Rao M., Eichberg J., Oro J. // J. Mol. Evol. 1982. Vol. 18. P. 196—203.

## СВОЙСТВА ПРЕДБИОЛОГИЧЕСКИХ МЕМБРАН

Изучение слоистых мембран, полученных экспериментально в условиях, близких к предбиологическим, дает основание утверждать, что их свойства аналогичны свойствам современных биологических мембран.

**Молекулярная подвижность.** Важная особенность биологической мембраны — ее жидкокристаллическое состояние. Высокая упорядоченность молекулярной упаковки, напоминающей кристалл, придает ей прочность, а большая молекулярная подвижность, характерная для жидкости, обеспечивает функциональные способности мембраны (встраивание различных компонентов, их диффузию, а следовательно, и ферментативную кинетику, транспорт, модифицирование и т. д.).

Жидкокристаллическая структура мембраны обеспечивается специфическим строением составляющих ее липидных молекул, имеющих полярную «голову» и длинный неполярный «хвост». Такие молекулы при повышении их концентрации в растворе слипаются (агрегируют) друг с другом, образуя пространственно обособленные мезоморфные комплексы.

Наиболее ярко самопроизвольная агрегация проявляется у липидных молекул, формирующих разнообразие объемные структуры, в том числе замкнутые пузырьки, или липосомы, с высокоупорядоченным строением стенок, как у мембран всех современных клеток. Стенки пузырьков, подобно смектическим жидким кристаллам, составлены из двух параллельных друг другу рядов молекул. При этом неполярные хвосты создают центральную часть стенки, а полярные головы обращены к водному окружению наружу и внутрь пузырька. Липосомы обладают большой прочностью на разрыв и сохраняют ионы и небольшие молекулы во внутренней полости, надежно отделяя свою внутреннюю среду от окружающего раствора. С другой стороны, молекулы стенок пузырьков подвижны, что позволяет добавочным липидным и другим компонентам встраиваться в стенку липосомы, изменяя ее барьерные свойства, а также диффундировать в липидном «море» по поверхности мембраны (боковая диффузия).

С помощью специально разработанного рекомбинационно-кинетического метода мы сопоставили подвижность фосфолипидных молекул в массе и в мембра-

нах липосом, находящихся в жидкокристаллическом гелеобразном состоянии<sup>7</sup>. Оказалось, что диффузионная подвижность фосфолипидных молекул в мембранном слое в  $10^4$ — $10^5$  раз выше, чем в объеме, за счет снижения активационных барьеров. Такое сочетание высокой упорядоченности молекулярной организации жидкокристаллических мембран с большой подвижностью их компонентов как раз и обеспечивает многие специфические функции мембранных структур.

**Транспортные свойства.** Жидкокристаллический характер мембранных систем обуславливает мозаичное строение каждого из слоев. Это связано с гетерогенностью химического состава мембранных структур и различием геометрии составляющих их молекул. Такое строение мембран допускает возникновение циклических потоков за счет перепада различных термодинамических параметров. В подобных системах могут возникать, например, замкнутые потоки вещества из-за разности температур или электрических зарядов за счет различия концентраций внутри и снаружи слоистой замкнутой системы, генерирующие локальные токи в мембране. Ясно, что эти процессы неотделимы от основных проявлений жизнедеятельности протоклеток, поскольку они обеспечивают активный транспорт веществ.

**Слоистость системы.** В физике жидких кристаллов хорошо известен так называемый эффект «гость-хозяин» (поляризационно-ориентационный эффект в мезоморфных системах). Суть его в том, что в лиотропных мембраноподобных системах граница раздела фаз формируется бифильными молекулами, состоящими из гидрофобного и гидрофильного участков. Самопроизвольное проникновение низкомолекулярных веществ внутрь мицелл (солюбилизация) в мезофазе носит селективный характер, всегда имеет предел насыщения, и молекулы их, очевидно, поляризованы и ориентированы как по отношению друг к другу, так и относительно молекул мембраны. Поляризационно-ориентационный эффект смектических слоев не только увеличивает реакционную способность сольубилизованного вещества, но и создает условия для коллективных взаимодействий. В некоторых случаях константа скорости реакции возрастала в 1000, а константа при-

<sup>7</sup> Goldanskii V. I., Mikhailov A. I., Omel'yanenko V. G., Smirnov V. N., Torchilin V. P. // J. Lipid Res. 1981. Vol. 22. P. 131—137.

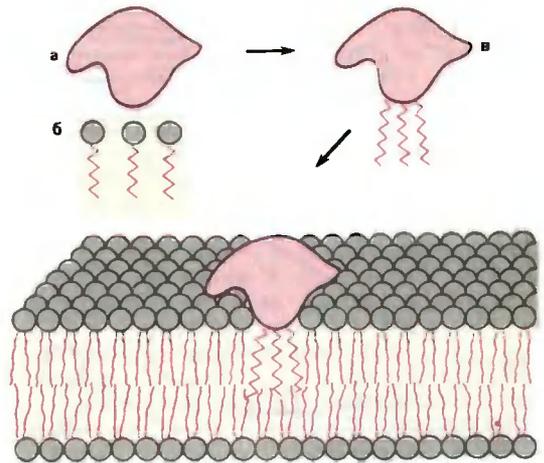
соединения — в 25 тыс. раз. На этом основании был сделан вывод, что течение процессов в лиотропных мезофазах есть прототип ферментативных реакций.

Экспериментально было показано, что относительная обедненность гидрофобной зоны этих систем водой облегчает поликонденсацию мономеров, защищая их от гидролиза. Именно в этих системах и могли возникнуть первые биологические олигомеры (например, олигопептиды, участвующие в установлении взаимосвязи между нуклеотидными триплеттами и аминокислотами. Известно, что триплеты, кодирующие неполярные аминокислоты, близки по строению между собой, но сильно отличаются от триплетов, кодирующих полярные аминокислоты. Это согласуется с высказанным Л. Оргелом мнением, что примитивный код мог различать лишь два класса аминокислот — полярные и неполярные. Действительно, исследования Я. Фендлера с сотрудниками подтверждают, что в основе эволюционных изменений аминокислотных последовательностей в белках — баланс полярно-гидрофобных свойств аминокислот и их антикодонов<sup>8</sup>.

Селективное включение определенных нуклеотидов в соответствующими аминокислотами в лиотропные слоистые системы позволяет утверждать, что последние играли важную роль в эволюции как первичные адапторы. Выбирая среди гигантского разнообразия предбиологических органических продуктов лишь определенные вещества на основе их гидрофильно-гидрофобного баланса, слоистые жидкокристаллические мембранные системы выполнили, возможно, ключевую функцию в молекулярной селекции.

### АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПРЕДБИОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА МАКРОМОЛЕКУЛ

В современных клетках синтез биополимеров контролируется коллективным действием нуклеиновых кислот и ферментов. Такой механизм сформировался в результате длительной эволюции клеток. А как появился его прототип: возник ли он и усложнился внутри пробионтов, или эволюция его звеньев (белков и нуклеиновых кислот) происходила независимо на Земле и даже в космосе? Пока ответить на этот вопрос невозможно.



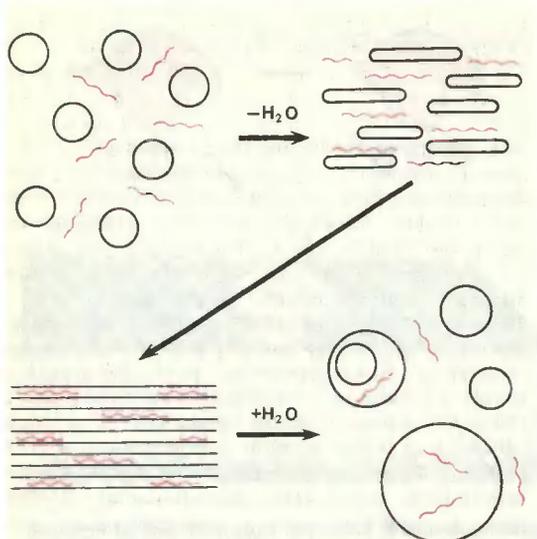
Присоединение к молекуле химотрипсина (а) остатков жирной кислоты (б) и включение модифицированных молекул фермента (а) в фосфолипидную мембрану.

В своих первых попытках синтезировать белки из аминокислот в условиях древней Земли С. Фокс получил полимер, названный им протеиноидом (по ряду свойств это вещество напоминало протеины современных организмов). Однако протеиноид разительно отличался от нативных белков прежде всего разветвленной полимерной цепью и статистическим принципом соединения мономерных звеньев.

Относительно появления самовоспроизводящегося генетического аппарата существует точка зрения, что и его эволюция могла протекать независимо от первичных клеток. В модели, экспериментально воссозданной в лаборатории Л. Оргела, олигонуклеотиды (предшественники РНК) образовывались из мононуклеотидов в потенциально предбиологических условиях. Возникшие таким путем молекулы могли служить матрицами при неферментном синтезе комплементарных нуклеотидных последовательностей их мономеров. Такие системы, по мнению Л. Оргела, предшествовали реплицирующим макромолекулярным структурам. Однако в полученных абиогенно олигонуклеотидах мономеры чередовались случайно, а сформированные на их матрицах комплементарные аминокислотные последовательности крайне редко образовывали нативные 3'—5'-связи.

Недостатки «земных» моделей заставили исследователей обратиться к «космическим» вариантам гипотез. Согласно одной из таких концепций, полимеризация может осуществляться за счет квантового механиз-

<sup>8</sup> Armstrong D., Neme F., Fendler J. H., Nagivary J. // J. Mol. Evol. 1977, Vol. 9, P. 213—218.



Механизм включения ДНК в липосомы. При дегидратации липосомы вытягиваются и, наконец, сливаются, захватывая молекулы из раствора между слоями. При регидратации ламеллы набухают и образуются пузырьки с встроенными молекулами ДНК (обозначены цветом).

ма туннелирования<sup>9</sup>. В этом случае равновесие химической реакции определяется лишь тепловыми эффектами. Поэтому при сверхнизких температурах (около 0 К) возможны химические превращения, весьма маловероятные при высоких температурах.

Так, вблизи абсолютного нуля возможны даже такие экзотермические реакции, в которых образуются высокоупорядоченные системы. В принципе речь может идти о «холодной предыстории жизни», сценарий которой развевывался в межзвездных газопылевых облаках.

«Холодный» синтез биополимеров переносит этап химической эволюции с нашей планеты в космос и, в принципе, не ограничивает его временными рамками существования Солнечной системы. Несомненно, с точки зрения такого подхода, и мономерные блоки, и полимеры могли возникнуть во многих областях Вселенной. Ведь органические вещества присутствуют в космических телах (теперь даже говорят о «межзвездной органической химии»). Более того, в космосе обнаружены и сравнительно сложные биологические структуры, которые сегодня относят (возможно, неправомочно) к разряду прокариотных бактериальных клеток. Спектральные исследо-

вания, подтверждающие присутствие макромолекул в космическом пространстве, говорят в пользу идеи «холодной» эволюции. Однако, чтобы окончательно убедиться в правильности выводов «космической органической химии» и теории «холодной» эволюции химических веществ, необходимы тщательные эксперименты в космосе, которые позволили бы оценить время, необходимое для синтеза основных блоков живого.

Если такие подтверждения удастся получить, то местом зарождения химической эволюции придется признать космос. А Земля лишь приняла органические молекулы и полимеры с падающими на нее метеоритами, астероидами и пылью, обеспечив надлежащими условиями весь ход дальнейшей эволюции.

### ФОРМИРОВАНИЕ ПРОТОБИОНТОВ ИЗ ПРОБИОНТОВ

Приняв возможность абиогенного синтеза макромолекул — белков и нуклеиновых кислот, мы попытались в лабораторных условиях включить в липидные мембраны уже готовые молекулы белков и ДНК, чтобы определить жизнеспособность образовавшихся комплексов<sup>10</sup>. В первом из экспериментов был изучен модифицированный протеолитический фермент химотрипсин. После присоединения к молекуле химотрипсина нескольких остатков (от 1 до 6) пальмитиновой кислоты, гидрофобность белка возрастала и он становился похожим на интегральный белок мембраны, так как легко встраивался в лецитиновые липосомы. Встраивание фермента в мембрану значительно облегчалось при увеличении его гидрофобности (т. е. в зависимости от числа ацилированных аминогрупп), при этом каталитическая активность полностью сохранялась, как и свойство химотрипсина терять свою ферментативную активность при действии специфических ингибиторов. Значит, при модификации и встраивании в мембрану активный центр фермента не менялся. Эти эксперименты показали, что и абиогенно синтезированные белковые молекулы могли включаться в мембраны, сохраняя свою специфическую активность. Так формировались более сложные функционально активные системы — подобие протоклеток.

Модификация первичных белков могла

<sup>9</sup> Гольданский В. И. Квантовая химия в области глубокого холода. М., 1985.

<sup>10</sup> Torchilin V. P., Omel'yanenko V. G., Klivanov A. L., Mikhailov A. I., Goldanskii V. I. // *Biochim. Biophys. Acta*. 1980. Vol. 602. P. 511—521; Deamer D. W., Barcheld D. L. // *J. Mol. Evol.* 1982. Vol. 18. P. 203—209.

происходить и непосредственно внутри протоклеток. Каковы возможности этой модификации древних белков у первичных клеток, пока сказать трудно. Если белки попадали к пробионтам в «готовом виде», то, видимо, особой нужды в существенных перестройках полипептидных молекул не было. Если же эволюция полипептидов, начиная от олигомеров, происходила в самих протоклетках (т. е. неотъемлемо от протомембран), то в современных протеинах должны сохраниться некоторые «страницы» этой предыстории.

Возможно, одна из таких «страниц» — сама сохранность в ходе всей клеточной эволюции мембранных белков, предшественники которых возникли в мембранах протоклеток. Если это так, то современные формы мембранных белков должны функционировать только в присутствии липидного компонента. Другой такой «страницей», вероятно, служит обнаруженный недавно феномен повышения максимальной активности мембранных ферментов при включении их в амфифильную матрицу, т. е. ферменты, встроенные в мембрану, значительно активнее, чем в свободном состоянии в водном объеме или протоплазме<sup>11</sup>. Этот же факт может косвенно свидетельствовать, что многие или даже все фермен-

ты ведут свою историю от мембраносвязанных молекул. Более того, в этом же плане можно истолковать и так называемую «сигнальную гипотезу» миграции протеинов. Согласно ей, белки в современных клетках синтезируются в виде предшественников, транспортируемых с помощью мембраны к месту их действия<sup>12</sup>.

В другом нашем эксперименте было показано, что в результате последовательной дегидратации — регидратации фосфолипидных пузырьков в присутствии молекул ДНК или красителя (6-карбоксихлорофлуоресцеина) образуются пузырьки с включенными внутрь молекулами ДНК или красителя.

С точки зрения предбиологической эволюции такой механизм формирования ранних клеточных форм имел большие преимущества: во-первых, малые молекулы концентрировались в замкнутом пространстве, во-вторых, в результате циклов дегидратации — регидратации облегчалось взаимодействие молекул олигонуклеотидов и мономеров и увеличивалась вероятность матричной полимеризации.

Если такие взаимодействия матриц и мономеров удастся подтвердить, появится возможность объяснить возникновение первичного кода и появление самовоспроизводящихся клеточных систем — протобионтов.

<sup>11</sup> Мартинак К., Левашов А. В., Клячко Н. Л., Хмельницкий Ю. Л., Березин И. В. // Биол. мембраны. 1985. Т. 2. С. 669—676.

<sup>12</sup> Chen L., Tai P. C., Briggs M. C., Gierasch L. M. // Biol. Chem. 1987. Vol. 262. P. 1427—1435.

## Новый журнал «Человек»

«Познай самого себя». Этот вызов, брошенный древними греками человечеству, подвигнул его на великие свершения и открытия. И тем не менее человек по-прежнему остается величайшей тайной мироздания.

Что мы знаем о человеке, каким его видят представители гуманитарных и естественных наук — ответить на эти вопросы ставит перед собой задачу новый иллюстрированный общественно-политический и научно-популярный журнал Академии наук СССР.

Человек естественный и исторический, политический, человек игры и созидания... В этих и иных ипостасях предстанет он как уникальный объект исследования на страницах журнала. Здесь и прихотливый мир человеческих общений, и медико-педагогические аспекты развития человека, становление личности и защита ее суверенности, человек в мировых религиях, наедине с собственной совестью, с думами о душе, перед лицом смерти. Все это темы и рубрики журнала.

Журнал начнет выходить с 1990 г. 6 раз в год. Цена одного номера 1 руб. 60 коп. Стоимость годовой подписки 9 руб. 60 коп. Индекс в Каталоге «Союзпечати» 71076.

© И. Э. Лалаянц  
Л. С. Милованова

# Роковая замена



Игорь Эрундович Лалаянц, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник Научно-исследовательского института нейрохирургии им. Н. Н. Бурденко АМН СССР. Область научных интересов — теоретические аспекты рака и СПИДа.



Любовь Сергеевна Милованова, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник того же института. Область научных интересов — теоретические аспекты рака и СПИДа.

**М**АЛЯРИЯ и рак — болезни старые, как само человечество. Малярию с ее ярчайшим проявлением пытались лечить еще в античные времена, хотя и не знали причины возникновения. Онкологические болезни, скрытые до самых последних стадий и потому особо коварные, изучают с этого столетия во всем мире и лечат без стабильного успеха. О той и другой патологии к настоящему времени накопилась масса научных сведений, тем не менее недостаточных для искоренения заболеваний и порой не бесспорных. Но мы не будем здесь приводить доводы за и против той или иной точки зрения на причины малярии и рака, а попытаемся обрисовать некоторые общие молекулярные черты, которые нам удалось выявить<sup>1</sup>.

Малярию, как известно, вызывает паразитическое простейшее — плазмодий, который на одной из промежуточных стадий своего развития в организме хозяина размножается в эритроцитах. Эта болезнь, по данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно уносит 3,5 млн жизней из 100 млн страдающих ею<sup>2</sup>. Сегодня синтезировано много антималярийных средств, но плазмодий быстро к ним привыкает. Это вынуждает специалистов разрабатывать биотехнологические вакцины, исследовать молекулярную биологию плазмодия и его взаимоотношений с клетками организма хозяина, в том числе с эритроцитами.

В 1969 г. английский патолог Д. Беркит опубликовал статью, в которой на основе многолетних исследований провел связь между малярией и лимфомой, названной позднее его именем<sup>3</sup>. Лимфома, по его данным, встречается только в районах с высокой частотой заболеваемости малярией, вызываемой *Plasmodium falciparum*. В Танзании на побережье Индийского океана свирепствует малярия и часто встречается

<sup>1</sup> Лалаянц И. Э. // Гематология и трансфузиология. 1985. Т. 30. № 11. С. 49—54; Лалаянц И. Э., Милованова Л. С. // Иммунология. 1988. № 3. С. 92—94.

<sup>2</sup> VII обзор состояния здравоохранения в мире. Женева, ВОЗ, 1987.

<sup>3</sup> Burkitt D. // J. Natl. Cancer Inst. 1969. Vol. 42. № 1. P. 19—28.

лимфома, а на о. Занзибар, где дуют океанические ветры, нет ни малярии, ни лимфомы.

Через 15 лет в полевых исследованиях, проведенных в Уганде, был частично раскрыт клеточный механизм этой связи<sup>4</sup>. Оказалось, что при малярии количество иммунных клеток, запускающих иммунный ответ (Т-хелперов), уменьшается в 3 раза. Нарушение иммунного надзора приводит к активации вируса Эпштейна—Барр—виновника возникновения лимфомы Беркита. При малярии также появляется в крови так называемый туморонекротизирующий фактор—белок, способный вызывать геморрагический некроз опухолей. Введение этого фактора подопытным животным предупреждает их заражение плазмодием.

И гуморальный, и клеточный иммунитет при малярии подавлен, если он и возникает, то после нескольких циклов заражения—выздоровления. Вероятно, это связано с тем, что малярийный плазмодий обладает очень сложной системой антигенов. Кроме гуморального и клеточного иммунитета, столь неэффективных при малярии, есть еще один механизм, сдерживающий развитие болезни. Это серповидноклеточная анемия—болезнь, вызываемая синтезом в организме аномального гемоглобина: в β-цепи его молекулы место шестой от N-конца глутаминовой кислоты занимает валин. Считается, что из-за этой единственной замены эритроциты меняют свою форму, становятся похожими на серп. Благодаря каким-то (пока неясным) изменениям мембраны эритроцитов резко снижается способность плазмодия проникать в них, в результате в крови гетерозиготных по серповидному гемоглобину индивидуумов снижается на 2 порядка содержание паразитов и частота заболеваний малярией среди носителей-гетерозигот.

Перейдем теперь к раковым заболеваниям. В прошлом веке Р. Вирхов говорил, что никто—даже под пыткой—не даст определения рака. И сейчас, после почти полутора веков изучения этой болезни по-прежнему нет окончательного ответа, что же такое рак и как он возникает.

В 1911 г. американский экспериментатор П. Раус, изучавший саркому у кур, выделил некий «трансмиссибельный агент», известный теперь как вирус саркомы Рауса. Но только через полвека вирусная тео-

рия рака стала общепризнанной (лишь в 1966 г. ее автору присуждена Нобелевская премия)—столь велико было недоверие ученых к вирусам-паразитам в качестве возбудителей раковых заболеваний. Но буквально через 3 года соотечественники Рауса Р. Хюбнер и Дж. Тодаро выдвинули новую, онкогенную гипотезу, по которой раковый ген, будучи частью вирусного генома, под влиянием химического или физического воздействия активируется, что и приводит к трансформации клетки<sup>5</sup>.

В 1982 г. советский исследователь А. Д. Альтштейн пришел к выводу, что онкоген является геном нормальной клетки, контролирующим клеточное деление<sup>6</sup>. Гипотеза строилась на экспериментальном факте получения раковых вирусов без онкогена. Оказалось, что вирус способен лишь захватывать, встраивать его в свой геном и переносить в другие клетки, в необычное для него окружение. Эта цепь событий и приводит в конце концов к ненормальной работе нормального клеточного гена. По Альтштейну, вирус—это лишь «вектор», т. е. переносчик онкогена от клетки к клетке.

Аналоги онкогенов в нормальных клетках (начиная от дрозофилы и кончая человеком) получили название протоонкогены, или гены-предшественники. Рассмотрим один из них—онкоген, вызывающий саркому, и его клеточный ген (протоонкоген). Белковый продукт протоонкогена представляет собой фермент тирозинкиназу, которая переносит ион фосфата ( $PO_4^{3-}$ ) на остаток аминокислоты тирозина. Сейчас известно 15 названий—продуктов клеточных генов, способных переходить в онкогенное состояние. Это составляет половину всех известных продуктов онкогенов.

Тирозинкиназы являются рецепторами и трансдукторами (передатчиками) регуляторных сигналов—пептидных гормонов и ростовых факторов, которые циркулируют в крови. Тирозинкиназа, кодируемая клеточным геном (это белок, состоящий из 533 аминокислотных остатков), способна фосфорилировать сама себя по  $Tyr_{527}$ —эволюционно консервативному в разных тирозинкиназах. В продукте онкогена этого тирозина нет: в результате выпадения целого участка нормального гена белковая цепь, которую кодирует такой мутантный ген, т. е.

<sup>5</sup> Hubner R., Todaro J. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1969. Vol. 64. No 9. P. 1087—1094.

<sup>6</sup> Альтштейн А. Д. Народицкий Б. С., Шляквич М. А. Вирусные онкогены. Обзорная информация ВНИИМИ. М., 1982.

<sup>4</sup> Whittle H., Brown J., Marsh K. et al. // Nature. 1984. Vol. 312. No 5993. P. 449—450.



Здоровые эритроциты и пораженные плазмодием, из которых он вышел на поверхность.

уже онкоген, укорачивается до 515 аминокислотных остатков. Отсутствие в ферменте Тир<sub>527</sub> приводит к возрастанию протеинкиназной активности по сравнению с нормой в 10—20 раз. Но и при нормальной длине полипептидной цепи фермента его фосфорилирующая активность усиливается в 5—10 раз, если Тир<sub>527</sub> заменен на фенилаланин.

Почему же такая единичная замена ведет к приобретению белковым продуктом онкогена src трансформирующих свойств? Существенным оказывается различие в боковом радикале: у тирозина имеется нуклеофильная группа —ОН, к которой при фосфорилировании присоединяется остаток фосфорной кислоты, а фенилаланин такой группы не имеет. Описанный случай влияния одной аминокислотной замены на трансформацию не единственный. В 1983 г. стало известно, что при карциноме мочевого пузыря у человека в белке p21, продукте онкогена семейства *ras* (выделенных поначалу из вирусов саркомы грызунов), остаток двенадцатого от N-конца глицина заменен валином. В результате белок клеточного гена стал трансформирующим. За счет чего появились столь грозные свойства?

Нормальный белок p21 (его масса 21 тыс. Д) локализован на нижней поверхности клеточной мембраны и обладает ГТФазной активностью, т. е. отщепляет от гуанозинтрифосфата (ГТФ) свободный фосфат ( $-\text{PO}_4^{3-}$ ). Считается, что этот процесс необходим для того, чтобы белок p21 выполнял регуляторные функции в мембране клетки — контролировал распад и метаболизм фосфолипида инозитолдифосфата под действием фермента фосфолипазы С. Именно в результате метаболизма этого фосфолипида образуется инозитолтрифосфат и диацилглицерин — важнейшие регуляторы деления клеток в митозе. Замена глицина на валин приводит к падению ГТФазной активности белка p21 примерно в 10 раз. Как следствие этого, нарушается нормальная передача внешних сигналов через мембрану и работа фосфолипазы С.

С помощью генов-зондов сейчас обнаружены гены, родственные генам *ras*, не только у человека и грызунов, но и у беспозвоночных (у дрозофилы), а также у дрожжей, гриба-слизевика; белок, похожий на p21, найден также в вирусе СПИД. В настоящее время установлено, что онкоген *ras* активирован примерно в 30—40 % опухолей человека: мочевого пузыря, легких, толстого кишечника, при острой миелоидной лейкемии и других. Онкобелок p21 сегодня изучен лучше других продуктов



13-го, 59-, 61- и 63-го аминокислотных остатков. Например, если место Глн<sub>61</sub> занимает аланин, ГТФазная активность снижается в 50 раз, а не в 10, как при валиновой замене. Причина этого, видимо, в том, что нуклеофильная группа —NH<sub>2</sub> в боковом радикале глутамина замещается неактивной метильной (—CH<sub>3</sub>) группой аланина, в результате нарушается нуклеофильная атака γ-фосфата ГТФ, он не гидролизуется, клеточное деление не регулируется.

На основании этих данных мы представили, что участок цепи белка p21 от 12-го до 63-го остатка играет главную роль в гидролизе ГТФ, т. е. является активным центром. Мы внимательно проанализировали аминокислотные замены, ведущие к потере ГТФазной активности белка p21, и создали динамическую модель этого центра<sup>7</sup>. По модели, в районе 12-го и 13-го остатков в нормальном белке имеется изгиб, или петля, в которой Гли<sub>12</sub> противостоит Глн<sub>61</sub>, а γ-фосфатная группа ГТФ локализована между ними. Компьютерный анализ, выполненный в США группой Ф. Маккормика, и рентгеноструктура белка p21, полученная в Беркли группой С. Кима, подтвердили наши выводы. По данным Кима, полипептидная цепь имеет 9 петель, четыре из них участвуют в связывании ГТФ. С нашей точки зрения, особый интерес представляет первая петля, образованная аминокислотными остатками 10—16. В ней, как мы и предсказывали, образуется изгиб в районе Гли<sub>12</sub> — Гли<sub>13</sub>, необходимый для связывания γ-фосфатной группы ГТФ. В непрямом контакте с этой петлей находится другая, в состав которой входит Глн<sub>61</sub>. Исследователи из Беркли в настоящее время проанализировали белок p21, в котором Гли<sub>12</sub> заменен на валин. По предварительным данным, за счет такой замены увеличивается размер первой петли и активность мутантного белка снижается<sup>8</sup>.

В настоящее время известно, что рак возникает на фоне иммунного дефицита, к которому может привести длительная

инфицированность малярийным плазмодием и другими паразитами, например вирусами, в том числе вирусом СПИД. Этот вирус поражает одни из лимфоцитов — Т-хелперы, дальнейший иммунный ответ выключается, бездействуют и другие лимфоциты — Т-киллеры, которые при нормально работающей иммунной системе убивают зарождающиеся раковые клетки. Таким образом, по-видимому, нарушение иммунного надзора лежит в основе множества причин, приводящих к трансформации клеток.

Подытожим рассказ о малярии и раковых заболеваниях и перечислим их общие черты.

Гены β-глобина и онкобелка p21 человека расположены в тесном соседстве в коротком плече 11-й хромосомы.

Существует сходство молекулярного механизма выведения токсических веществ из плазмодия и раковой клетки за счет похожих белков-насосов, которые являются продуктами гена так называемой мультилекарственной резистентности.

Косвенное сходство являет собой валиновая замена в β-глобине (серповидноклеточная анемия) и белке p21, вызывающая трансформацию нормальных клеток.

Мы проанализировали новейшие литературные данные и пришли к выводу, что резистентность мембраны эритроцита к внедрению плазмодия, требующая сложнейшего регулирования фосфолипидного обмена в мембране этой клетки крови, обусловлена валиновой заменой не в β-глобине, а в белке p21, расположенном в мембране. Эта мысль может показаться крамольной, поскольку отрицает устоявшееся мнение о противомаларийной защите серповидного гемоглобина, но мы считаем тем не менее, что такую точку зрения не стоит отвергать с порога. Чтобы со всей определенностью утвердить влияние валиновой замены в белке p21, а не в β-глобине, нужны экспериментальные данные. Пока их нет. Наши умозрительные заключения о сходстве некоторых молекулярных черт малярии и раковых заболеваний гипотетичны, но подтверждение нашего вывода о структуре активного центра белка p21 вселяет в нас надежду, что и молекулярное сходство этих двух кажущихся столь различными болезней не будут опровергнуты.

<sup>7</sup> Лалаянц И. Э., Милованова Л. С. // Журн. Всес. хим. об-ва. 1987. Т. 32. № 6. С. 706—708.

<sup>8</sup> Tong L., de Vos A., Milburn M. et al. // Nature. 1989. Vol. 337. № 6202. P. 90—93.

# Атомная энергетика в перекрестии М Н Н И Й



Атомная эра, неисчерпаемый источник, мирный атом... Сколько раз со страниц газет и журналов, в том числе и «Природы», звучали эти горделивые слова. Но произошла трагедия в Чернобыле, и атомная эра раскололась на «до» и «после». Никогда человечество не станет уже столь безмятежным, каким оно было «до». А что же его ожидает «после»? Эмоциональный отказ от опасного «ядерного богатства» или все же овладение им, но с открытыми глазами и без излишнего прекраснотушения! На этот сложный вопрос может ответить только само человечество всем последующим путем своего развития. Дело же ученых — максимально объективно, не скрывая и не выпячивая ни достоинств, ни трудностей, объяснять последствия тех или иных технических нововведений.

Да, «Природа» не впервые обращается к теме атомной энергетики. Мы неоднократно рассказывали и о научных основах ее развития, и о перспективных исследованиях, и о ее влиянии на окружающую среду в процессе нормальной безаварийной эксплуатации, и о дополнительной опасности со стороны АЭС в случае военного конфликта. Стоит, пожалуй, особо отметить публикацию об аварии на АЭС в Гаррисберге, США (Природа. 1980. № 6). Эта статья, с трудом преодолевшая в то время ведомственные барьеры, была едва ли не единственной за многие годы, из которой можно было узнать как о самой возможности серьезной аварии на АЭС, так и о ее последствиях. Недаром, по свидетельству очевидцев, сразу после аварии в Чернобыле эту статью штудировали даже физики, не занимавшиеся ядерными реакторами профессионально.

Используя для нового обращения к уже традиционной для «Природы» теме не совсем традиционную для нас форму беседы ученых «за круглым столом», мы стремились к тому, чтобы специалисты, стоявшие на самых разных позициях, получили возможность отстаивать свою точку зрения в открытом споре, а не заочно парировать выпады оппонентов с помощью «домашних заготовок».

Разговор — заинтересованный, страстный, порой даже резкий — длился около шести часов, и поэтому при подготовке его к публикации были неизбежны сокращения. Мы попытались, однако, сохранить все основные суждения и аргументацию выступавших, передать саму атмосферу встречи. Мы глубоко признательны всем ее участникам и надеемся, что инициатива «Природы» поможет сделать еще один шаг на трудном пути поиска истины или хотя бы разумного компромисса.



Юрий Михайлович Свирже-  
жев, доктор физико-мате-  
матических наук, заведую-  
щий отделом Вычислитель-  
ного центра АН СССР. За-  
нимается математиче-  
ским моделированием гло-  
бальных процессов в био-  
логии и медицине. В «При-  
роде» опубликовал статью:  
Долговременные послед-  
ствия ядерной войны —  
глобальная экологическая  
катастрофа (1985. № 6).

Юрий Викторович Петров,  
доктор физико-математи-  
ческих наук, заведующий  
сектором физики реакто-  
ров Ленинградского ин-  
ститута ядерной физики  
им. Б. П. Константинова  
АН СССР. Один из авторов  
проектов исследователь-  
ских реакторов ВВР-М и  
ПИК. В «Природе» опубли-  
ковал статью: Гибридные  
ядерные реакторы и мюон-  
ный катализ (1982. № 3).

Андрей Юрьевич Гагарин-  
ский, доктор физико-мате-  
матических наук, замести-  
тель директора Института  
атомной энергии им.  
И. В. Курчатова. Область  
научных интересов — си-  
стемные проблемы ато-  
мной энергетики и вопросы  
безопасности атомных  
электростанций, экспери-  
ментальная физика ядер-  
ных реакторов.

Роальд Владимирович Ор-  
лов, доктор технических  
наук, заведующий лабо-  
раторией экономических  
методов управления энер-  
гетикой Института энерге-  
тических исследований АН  
СССР и ГКНТ. Область  
научных интересов — про-  
гнозирование развития  
энергетики, формирова-  
ние топливно-энергетиче-  
ских балансов.

**В**ЕДУЩИЙ. Наша сегодняшняя беседа об атомной энергетике — одна из многочисленных дискуссий на эту тему, не прекращающихся сейчас в самых разных аудиториях — от кухонь коммунальных квартир до залов заседаний правительства. Хочется, чтобы этот разговор — разговор специалистов, профессионалов — оказался примером объективного, взвешенного подхода к острой проблеме. Для этого, видимо, не следует пытаться окончательно и бесповоротно ответить на все вопросы — хорошо бы по меньшей мере их правильно задать. И начать, на наш взгляд, следует с такого: нужен ли рост производства энергии нашему народному хозяйству, каким он должен быть сегодня и в будущем, какую его часть должны дать атомные станции?

**Ю. М. Свирзев.** Да, энергия нужна, но какой ценой? Об этом тоже стоит поговорить. Я бы настаивал на том, чтобы

говорить не «в шорах» — дескать, атомная энергия нужна, поэтому давайте заботиться, как развивать атомную энергетику и делать ее безопасной. Не с той точки зрения, что мы стали 30 лет назад на путь развития атомной энергетики и должны неминуемо идти по нему. Выясняется, что у нас много плохого в атомной энергетике. Выясняется, что у нас стратегия тришкиного кафтана: будем штопать дыры и двигаться дальше. Я хотел бы поговорить и об альтернативных путях развития энергетики. Их надо рассматривать. Их надо считать. Но как их считать, если на исследования в области атомной энергетики расходуется во много раз больше средств, чем на все альтернативные источники? Как показывают плановые цифры за последние 10 лет, если принять затраты на атомную энергетику за 100 %, то на исследования альтернативных подходов выделялось не более 1 %, а ведь в нашем мире все еще многое решают деньги и усилия. Поэтому я предлагаю критически рассмотреть ситуацию в энергетике.

Надо честно сказать, что существующий проект развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) экстенсивен, рассчитан на сохранение самых расточительных энергетических технологий, в его основу положена неверная посылка, что мы должны догнать американцев по уровню энергооборуженности. Но жизненный уровень и расход энергии, условного топлива на од-

Редакция «Природы» благодарит сотрудников Центра общественной информации Межведомственного совета по информации и связям с общественностью в области атомной энергетики за любезное содействие в проведении «круглого стола», сотрудников Института атомной энергии им. И. В. Курчатова, Комиссии по изучению производительных сил и природных ресурсов при Президиуме АН СССР, ВНИИ системных исследований АН СССР за помощь в подборе статистического материала, а также создателей фильма «Порог» за предоставленные кинодокументы.



**Александр Ефимович Шейндлин**, академик, почетный директор Института высоких температур АН СССР, вице-президент Московского международного энергетического клуба. Основные научные интересы связаны с проблемами перспективной энергетики.



**Георгий Алексеевич Копчинский**, кандидат технических наук, заведующий отделом атомной энергетики Бюро Совета Министров СССР по топливно-энергетическому комплексу. Занимается проблемами атомной энергетики и обеспечения ее безопасности.



**Николай Федорович Реймерс**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Центрального экономико-математического института АН СССР, председатель Бюро совета Экологического союза СССР. Занимается, в частности, вопросами экологической безопасности и экспертизы проектов. Неоднократно публиковался в «Природе».



**Вячеслав Викторович Алексеев**, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией возобновляемых источников энергии географического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Научные интересы связаны с физикой биосферы, в частности с биоконверсией солнечной энергии.

ного человека никак не связаны. Американцы потребляют почти 12 т условного топлива (т у. т.) на человека в год, в СССР — примерно 6 т у. т., в ФРГ — чуть-чуть меньше, но, ей-богу, я бы не взял на себя смелость утверждать, что жизненный уровень у нас немножко выше, чем в Западной Германии. Все ссылаются на американский опыт, но, поймите, Америка нам не указ — Америка живет расточительно в энергетическом смысле, живет за счет остального мира. Это надо учитывать, а мы собираемся ее догонять. Не надо нам ее догонять в этом смысле, в смысле расточительности.

И вот эта идеология глобального расточительства закладывается в Энергетическую программу. Она экологически не сбалансирована, не состыкована с другими программами развития производительных сил, она консервирует расточительные тенденции расходования энергии, которые существовали во всем мире в 70-х годах. Мы, скажем так, отстаем от всего мира лет на 10—15. Вот возьмите, например, швейцарский опыт: там расходуют условного топлива в 2 раза меньше, чем в ФРГ. А живут в общем-то не очень плохо.

**Ю. В. Петров.** Сначала давайте условимся о принципах нашей дискуссии. Первое, о чем хотелось бы договориться, будем ли мы пользоваться арифметикой, что-то считать или будем руководствоваться эмоциями?

**А. Ю. Гагаринский.** Я думаю, что если в разумных пределах мы будем оперировать цифрами, понятными неспециалистам или специалистам в другой области, это должно закрепить нашу аргументацию.

**Ю. М. Свирижев.** Я бы сказал, что цифры зачастую лукавы. Ими можно по-разному оперировать. Если один человек говорит, что нам нужен прирост энергии и рисует плакат, где прогнозу прироста соответствует идеальная прямая, то у других людей, привыкших иметь дело с серьезным отношением к прогнозу, это невольно вызывает сомнения. Другой пример: академик Велихов заявляет, что экономия энергии может составить максимум 6%. Однако имеется исследование, сделанное в Дюссельдорфе, где утверждает, что к 2010 г. только за счет энергосберегающих технологий можно сохранить примерно 30% энергии. Так что, понимаете, можно по-разному считать, разные критерии закладывать в основу оценок. И если учитывать сохранение нынешних тенденций расходования энергии и планировать их в будущем, то действительно не обойтись без линейного или даже более быстрого роста расхода энергии. Но если все-таки рассматривать разумные технологии и даже технологическую революцию, то все выглядит совершенно по-другому. Поэтому давайте, конечно, использовать цифры, но, главное, поговорим об оптимальных энергетических стратегиях.



**Игорь Иванович Кузьмин**, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института атомной энергии им. И. В. Курчатова. Занимается проблемами управления риском в крупных индустриальных регионах. В «Природе» опубликовал ряд статей (в соавторстве) по проблемам атомной энергетики (1978. № 10; 1980. № 6; 1981. № 2; 1985. № 6).



**Виктор Алексеевич Сидоренко**, член-корреспондент АН СССР, первый заместитель председателя Государственного комитета по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и атомной энергетике. Основные научные интересы связаны с проблемами атомной энергетики. В «Природе» опубликовал статьи (в соавторстве) по проблемам атомной энергетики (1978. № 10; 1980. № 6).



**Николай Сергеевич Бабаяев**, доктор физико-математических наук, ученый секретарь НТС Министерства атомной энергетики и промышленности СССР. Область научных интересов — ядерный топливный цикл и окружающая среда, экология и энергетика, проблемы применения изотопов. В «Природе» опубликовал статьи (в соавторстве) по проблемам атомной энергетики (1978. № 10; 1980. № 6).



**Виктор Александрович Книжников**, доктор медицинских наук, заведующий лабораторией радиационной гигиены населения Института биофизики Министерства здравоохранения СССР, член Национальной комиссии по радиологической защите при Минздраве СССР. Занимается изучением воздействия малых доз радиации и химических канцерогенов, разработкой средств массовой профилактики.

**Р. В. Орлов.** Я абсолютно согласен с Юрием Михайловичем: бессмысленно говорить об атомной энергетике без анализа общего уровня ожидаемого спроса и энергопотребления. Так вот, наша экономика с общим энергопотреблением около 2 млрд т у. т. в год характеризуется наиболее высоким уровнем энергоемкости валового национального продукта (ВНП) среди индустриально развитых стран. Этот показатель, например, у нас в полтора раза выше, чем в США, в 2 раза выше, чем в странах ЕЭС или Японии. Энергоемкость ВНП — очень характерный показатель. Причем при должном сопоставлении приведенные цифры совпадают и по материалам ЦСУ, и по материалам ЦРУ.

Специфична ситуация с электропотреблением (это ближе к теме дальнейшего обсуждения). В промышленности мы потребляем примерно столько же электроэнергии, сколько и США, — около 1 триллиона кВт · ч в год, но выпускаем продукции вдвое меньше. Более точно, электроемкость нашей продукции в 1,8 раза выше, чем в США. В то же время на социально-бытовые нужды мы тратим электроэнергии примерно в 3,5—4 раза меньше. Это разделение принципиально — без него нельзя говорить ни о каких тенденциях.

Общая же тенденция наиболее полно характеризуется изменением годового прироста потребления первичных энергоресурс-

сов, который на протяжении последних 15 лет составлял от 45 до 55 млн т у. т. И эта тенденция в основном сохранена в планах, которые обсуждаются сегодня.

Дело в том, что у нас есть утвержденный в 1983 г. вариант Энергетической программы СССР. Он несет в себе все дефекты того времени, и опираться на него мы не можем. Следующий вариант не утвержден.

**Ю. М. Свирижев.** Слава Богу!

**Р. В. Орлов.** Он прошел целый ряд обсуждений, но вот что вообще ставит под вопрос возможность его утверждения — Энергетическая программа не должна приниматься до выбора концепции экономического развития страны, до выработки ее основных позиций.

Сейчас есть две группы, критикующие Энергопрограмму. Одна группа, к которой принадлежу и я, считает, что столь повышенные темпы прироста могут быть снижены как в общем энергопотреблении, так и в электропотреблении, и тогда на какой-то период развитие атомной энергетики может быть значительно замедлено. А другая группа, мнение которой выражено в статье, вышедшей в журнале «Энергия»<sup>1</sup>, считает, что

<sup>1</sup> Аврех Г. Л., Вартазарова Л. С. // Энергия. 1988. № 10. С. 2—6.



Адольф Ульянович Харш, кандидат психологических наук, старший научный сотрудник кафедры социальной психологии факультета психологии Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Автор работ по психологии общения и психологии личности, в последние годы занимается проблемами последствий социальных и экологических катастроф.

Игорь Сергеевич Слесарев, доктор физико-математических наук, заместитель директора Отделения ядерных реакторов Института атомной энергии им. И. В. Курчатова. Занимается физикой ядерных реакторов, разработкой концепций реакторов нового поколения. Автор монографий по математическому моделированию физических процессов в реакторах.

Ясен Владимирович Шевелев, доктор технических наук, начальник отдела теории ядерных реакторов Института атомной энергии им. И. В. Курчатова. Основные научные интересы связаны с теорией ядерных реакторов, теплофизикой, экономикой ядерного топливного цикла.

Александр Сергеевич Никифоров, академик, директор Всесоюзного научно-исследовательского института неорганических материалов им. А. А. Бочвара. Занимается проблемами ядерного топливного цикла, в частности проблемой захоронения радиоактивных отходов.

научно-технический прогресс требует сейчас ускорения производства энергии даже по сравнению с Энергопрограммой.

**А. Е. Шейндлин.** Я не сомневаюсь, вы все отлично понимаете: когда говорят о прогнозе, надо прежде всего иметь в виду, что никакой прогноз не сбывается. Вот у меня случайно сохранились материалы прогноза 1960 г. Авторы, кстати, в основном те же, кто и сейчас занимается прогнозом, который должен лежать в основе исправленной Энергетической программы. В прогнозе 1960 г. предполагалось оценить, что будет сегодня, и ничего похожего нет. Это не случайно. Невозможно учесть изменения в технологии за длительный период времени, как и разного рода политические события, влияющие, скажем, на стоимость нефти и прочее. Тем не менее прогнозные оценки очень важны, ими заниматься надо. Но, как мне кажется, надо прежде всего оценить «левые» и «правые» варианты.

Скажем, будет ли атомная энергетика, о которой сегодня так много разговоров, развиваться так же стремительно, как это программировалось ранее, или ее совсем не будет? Вот «левое» и «правое». Надо смотреть, как можно замкнуть энергетический баланс. Без атомной энергетики, говорят многие (и, на мой взгляд, это верно), дальше идти невозможно. Так спрашивается, можно или нельзя? Такие предельные ва-

рианты пока не делаются в расчетах для прогнозов. Это очень плохо.

Другой вопрос: каковы новые технологии, о чем может идти речь, как вообще можно прогнозировать на 25—30 лет вперед на основе тех технологий, которые у нас имеются сегодня? А делается это именно так. Поэтому даже те варианты оценки, которые сейчас есть, несовершенны.

Следующая вещь, которую нужно учитывать,— экология. В нашей стране начали говорить об экологии всерьез года три — четыре назад. Подчеркиваю, только говорить. А ведь проблемы, связанные с экологией, могут решительным образом изменить все оценки технологий, отбор первичных источников энергии и многое другое. Поэтому мне кажется, что чрезвычайно важно было бы сегодня обсудить Энергетическую программу в последнем, не принятом варианте. Я знаю эту разработку — в существующем виде она нереальна, поэтому, видимо, и не принимается. Но я уверен, что принято будет что-то близкое к тому, что сейчас написано,— принято, но не выполнено, потому что реально это выполнить нельзя. Вот здесь сидит довольно много атомщиков, они могут сказать честно, можно ли реально ввести объемы атомной энергетики, записанные в последнем варианте Энергетической программы СССР? Я не буду называть цифры, вы их знаете, знаете также по совести, что это невыполнимо.

**Ю. В. Петров.** Согласны.

**А. Е. Шейндлин.** Но ведь этот документ будет принят, пусть даже с какими-то поправками и изменениями, ведь нельзя же не принимать. Такая вот парадоксальная ситуация.

**Р. В. Орлов.** А нужен ли вообще такой документ?

**А. Е. Шейндлин.** Это вопрос особый. Мне кажется, что печать должна сказать языком, доступным и для читателей, и для лиц, принимающих решения: будет принят нереальный документ, определяющий, в частности, развитие атомной энергетики.

**А. Ю. Гагаринский.** Я совершенно согласен с Александром Ефимовичем в том, что предлагающаяся программа имеет много нереальных черт. Но, с моей точки зрения, самая нереальная ее черта не та, о которой мы сейчас говорим. В этой неутвержденной программе предполагается, что 25—30 % энергетических ресурсов до 2000 г. будет получено за счет энергосбережения. Не 5—6 %, а 25—30 %. Получить таким способом примерно 900 млн т у. т. из общего прироста 1,5 млрд т у. т. — вот это, по-моему, невозможно. Это примерно так же, как достичь к 2000 г. такого же качества товаров, как в Японии или США. Это задача того же уровня. Я не говорю, что я против этого варианта. Его надо постараться провести в жизнь. Действительно, энергосбережение чрезвычайно важно. Но при этом в прессе часто звучат такие слова: займемся энергосбережением и новых мощностей вообще не нужно. Вот это неправда. И мы должны это четко и ясно говорить. Что касается сравнения с альтернативными источниками, то, наверное, все серьезные люди понимают, что до 2000 г. никаких альтернативных источников у нас нет и быть не может, даже если мы в 100 раз увеличим затраты на них. Энергетика — очень консервативная область, она так быстро развиваться не может. Ну, а если говорить о дальнейшей перспективе, то тут можно рассуждать, насколько эффективна солнечная энергетика и т. д. Но мне трудно представить себе, что энергетика с плотностью 250 Вт/м<sup>2</sup> может быть экологически чистой и подходящей для человечества. Мне представляется, что лучше делать Солнце на Земле, т. е. развивать термоядерные исследования. В нашем институте до последнего времени почти половина средств тратилась на «альтернативные источники» — исследова-

ние проблемы управляемого термоядерного синтеза. Но его осуществление ожидается не ранее 2030 г., а мы сейчас обсуждаем близкую энергетическую перспективу — только те варианты, те источники, которые уже есть. Что касается вопроса, каким будет производство электроэнергии на АЭС, я думаю, исходя из сегодняшних условий, неплохо бы выйти на уровень 80 ГВт, хотя надо бы 100, потому что каждый недостающий десяток гигаватт до 2000 г. — это те же тяжелые ситуации, которые ждут наше Закавказье после остановки Ереванской АЭС. Там вряд ли удастся быстро развернуть другие мощности, и люди будут в очень тяжелом положении.

**Р. В. Орлов.** Обсуждая Энергопрограмму, на первое место мы должны поставить вопрос, заданный Александром Ефимовичем Шейндлиным: а нужна ли вообще программа уровней? Или нужны версии, принципиально различные сценарии? В частности, сценарии с новым, совершенно измененным спросом и принципиально иной структурой экономики, предъявляющей совершенно иные требования к тому же энергоснабжению, с рациональным отношением ко всем видам источников, в том числе к атомной энергии. Это принципиальный, как мне представляется, вопрос об изменении управления развитием энергетики, об отказе от жесткой программы — такого-то уровня достичь сейчас, такого-то потом. Мы же видим, как плывут показатели всех видов. Важен механизм управления и, конечно, прогноз — прогноз в версиях, на который может опираться этот механизм. Программу задаваемых уровней необходимо превратить в программу экономического стимулирования рационального развития энергетики и, в частности, энергосберегающих мероприятий. Существовавшая до последнего времени директивная политика энергосбережения доказала свою несостоятельность хотя бы продолжающимся ростом энерго- и электроемкости валового национального продукта. И потому, на мой взгляд, главные задачи ближайших лет — отход от фондового распределения энергоресурсов, организация рыночного механизма в энергетике, обеспечение заинтересованности потребителей в уменьшении энергозатрат. Важнейшая роль государства здесь должна заключаться не в разработке директив, а в экономической поддержке энергосберегающих технологий и мер.

**Г. А. Копчинский.** Когда мы говорим об энергетической политике, все же надо

отдавать себе отчет в том, что энергетическая политика развитых стран, таких как США, Швеция, Япония, — это одно, а стран развивающихся, бедствующих — другое. Поэтому, выбирая стратегию и тактику энергообеспечения нашей страны, нам нужно понять, где же мы в этой градации. В отношении развивающихся стран об энергосбережении говорить просто нельзя. Более того, сегодня там наличие необходимых источников энергии является вопросом жизни и смерти. На заседании Московского энергетического клуба кто-то из зарубежных гостей говорил, что в некоторых странах Африки женщина все светлое время дня тратит на сбор дров для приготовления пищи. Как тут говорить об энергосбережении?! Так вот, нам все же надо четко определить, где мы находимся в этой иерархии. Мне думается, что мы еще далеко от США. Когда назывался разрыв в 10—15 лет — это был комплимент. Различие более серьезное. Мне представляется весьма справедливым то, о чем недавно говорил А. А. Макаров — один из авторов новой концепции Энергопрограммы. Если мы хотим все время свои достижения в энергосбережении сравнивать с Японией (мне бы хотелось говорить о Японии — помоему, там это наиболее удачно сделано), то не нужно забывать, что технологии, с помощью которых они осуществляют свою политику энергосбережения, — это не наши технологии, мы ими просто не обладаем. К тому же не надо забывать, что сегодня мы отстали и в социальном плане. Здесь говорилось, что доля энергии, которая идет на социально-бытовые нужды, уже почти в 3 раза меньше, чем в США: у нас, насколько я помню, 18 %, там — около 50 %. Поэтому разговор не о том, чтобы догнать и перегнать Америку, а о том, чтобы обеспечить нормальное развитие нашей социальной сферы, а это, товарищи, потребует, на мой взгляд, дополнительных энергозатрат. Так что я бы не преувеличивал значение такого прямого, «в лоб», подхода к энергосбережению, когда мы спорим, как будут меняться общее потребление энергии и ее удельные характеристики — по прямой или по экспоненте. Думаю, что никакой прямой у нас не будет.

Да, Энергопрограмма пока не утверждена. Да, вы правы, надо сначала уточнить концепцию социально-экономического развития, а потом уже Энергопрограмму. Но вот тенденции, которые заложены в новый вариант Энергопрограммы, я думаю, достойны внимания. Мы сегодня действительно потребляем 2 млрд т у. т. Если бы мы и дальше оставались в том же со-

Примерный расход энергии на удовлетворение некоторых потребностей современного человека, т у. т.\*

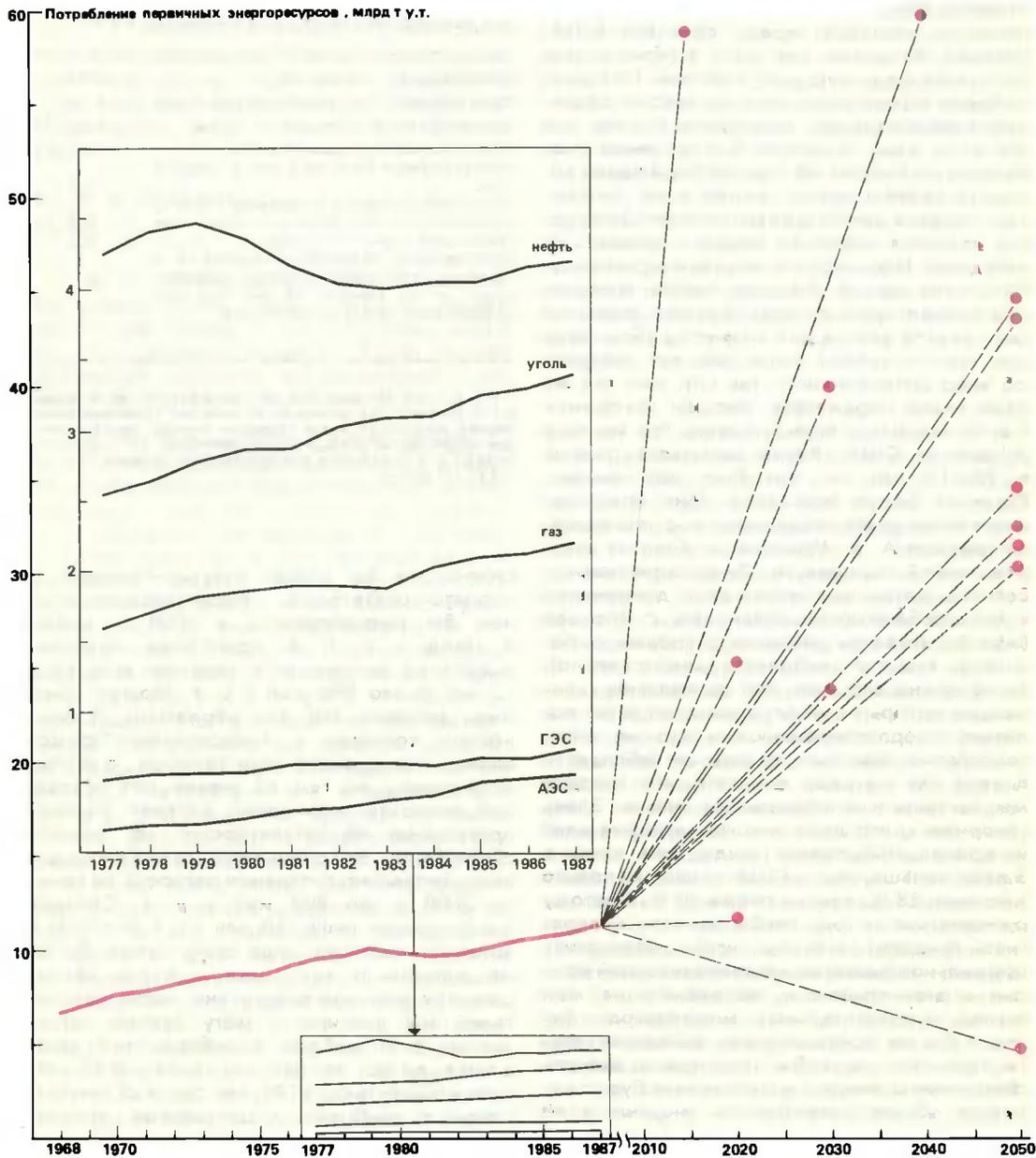
Производство 1 кг бумаги	$7 \cdot 10^{-4}$
Производство 1 кг синтетической ткани	$7 \cdot 10^{-3}$
Производство 1 кг сахара	$2,8 \cdot 10^{-3}$
Обеспечение 1 кг свежей рыбы	$1,7 \cdot 10^{-3}$
Приготовление пищи на 4 чел. в течение года	0,3
Строительство дома площадью $100 \text{ м}^2$	14
Освещение такого дома в течение года	0,3
Отопление — — — — —	3,5
Изготовление автомобиля массой 1 т	2
Производство топлива и масел, расходуемых за год (пробег 12 тыс. км) при использовании таким автомобилем	2

\* 1 т у. т. =  $7 \cdot 10^9$  ккал  $\approx 2,93 \cdot 10^{10}$  Дж  $\approx 8,14 \cdot 10^3$  кВт·ч (когда в т у. т. приводятся данные по атомной или гидроэнергетике, обычно указывается масса условного топлива, необходимого для производства эквивалентного количества электроэнергии на ТЭС с к. п. д. 33 %, т. е. используется соотношение 1 т у. т.  $\approx 2,71 \cdot 10^9$  кВт·ч).

стоянии, я бы сказал чугуно-стальной и «лопато-копательной» бесхозяйственности, нам бы потребовалось к 2000 г. около 4 млрд т у. т. А программа ориентирована на экономию в течение этих 11—12 лет около 900 млн т у. т. Можно говорить, реально это или нереально. Я полностью согласен с Александром Ефимовичем, что прогноз есть прогноз, а жизнь есть жизнь, но тем не менее нет оснований говорить, что новый вариант Энергопрограммы не ориентирован на энергосбережение. Это очень тяжелая задача — довести экономию топливных ресурсов на уровне 2000 г. до 900 млн т у. т. Сегодня мы экономим лишь 150 млн т у. т. И потом я хотел бы высказать еще одну мысль. Когда мы спорим о том, какими будут темпы развития атомной энергетике, каких показателей мы достигнем, могу сказать однозначно: если дебаты, подобные этим, продлятся долго, то как мы имели АЭС общей мощностью 35 ГВт, так они и останутся. Сегодня наиболее существенное препятствие, тормозящее развитие атомной энергетике (я не говорю о мерах безопасности — работа над ними идет своим чередом), — противодействие общественности. Да, действительно, мы теряем площадку, одну за другой. Я бы хотел в связи с этим поставить вопрос так: сведем ли мы на уровне 2000 г. баланс энергопотребления при суммарной мощности АЭС в 100 или 80 ГВт?

А. Ю. Гагаринский. Последнее реальнее.

Потребление первичных энергоресурсов, млрд т. у.т.



Динамика мирового потребления энергии (цветная кривая) и прогнозы на будущее, сделанные независимыми группами исследователей (цветные точки). На врезке — развитие различных видов энергетики. Данные о потреблении энергии по: BP Statistical Review of World Energy, L., June 1988; прогнозы по: Кузьмин И. И., Сидоров М. А. Ядерная энергетика и безопасность. М., 1988; State of the World, N. Y.; L., 1987.

Г. А. Колчинский. Вы правы, потому что мы уже время потеряли, а сегодня время — самый дорогой наш ресурс. Так вот, можно обсуждать цифры, но давайте все-таки подумаем, какие из энергоисточников для нас лучше с точки зрения экологии? А не делаем ли мы грубейшую ошибку, за которую будем потом расплачиваться дорогой ценой? Не преувеличиваем ли мы значение так называемых нетрадиционных источников? Не

опасна ли крупная недооценка парникового эффекта, о котором в нашей стране говорят на удивление мало, или кислотных дождей? Почему мы так спокойно относимся к тому, что у нас кислород сжигается во все больших и больших объемах?

**Ю. М. Свирижев.** О кислороде можно не беспокоиться.

**Г. А. Копчинский.** А я бы побеспокоился. Я бы не противопоставлял ни один из энергоисточников. Нам разные источники нужны: и ГЭС — может быть, один из самых прекрасных источников, и атомная энергетика. Нам нужны нетрадиционные источники. Но все же надо, поставив на первое место экологические проблемы, четко оценить, что человечество получает в результате использования того или другого энергоисточника.

**Н. Ф. Реймерс.** Позволю себе взглянуть на проблему несколько иными глазами. Я профессиональный эколог, и хотел бы уточнить, что экология не появилась три — четыре года назад, как сказал Александр Ефимович, а стала выходить из подполья.

**В. В. Алексеев.** Потому что раньше ей не давали хода.

**Н. Ф. Реймерс.** Много лет тому назад мне было поручено заниматься экологическими и социологическими проблемами энергетике. И я должен сказать, мы привыкли говорить полуправду и пользоваться полужаннами. Так, гидростанции — одно из самых страшных устройств с экологической точки зрения. Они вместе с мелиоративно-обводнительными сооружениями нарушают экологический баланс между речными и морскими системами, и совершенно неизвестно, к чему это поведет, а управлять этим процессом мы не можем. Конечно, нужно четко представлять, что такое хорошо, а что такое плохо, и не бросаться в крайности. Но вместе с тем есть принципиальные вопросы, которые мы редко затрагиваем. Первый: какова цель развития энергетике и всего народного хозяйства? Если мы будем по-прежнему считать, что увеличение национального продукта или какого-нибудь другого валового показателя, тех же самых масс металла, то ясно, к чему это нас приведет. Сейчас во всем мире происходит поворот к совершенно иной цели. Ныне показателем успеха служит средняя продолжительность жизни и снижение заболеваемости. Скажем, Япония имеет прекрасные

показатели в этом плане, хотя по многим экологическим параметрам характеризуется далеко не лучшим образом (к примеру, большая часть территории страны занята населенными пунктами).

Далее. Здесь говорилось, что энергетика якобы может развиваться бог знает до каких величин. А вот с точки зрения экологии человечество перешло все рубежи возможного развития — теперь идти можно только в противоположном направлении. Как? Это другой вопрос. И последнее. Когда мы начинаем обсуждать такие проблемы, сразу кто-то встает и спрашивает: «Да только что жрать, извините, будем?!» (это я цитирую журнал «Химия и жизнь»)<sup>2</sup>. Начинается истерия. Будто ситуация такова, что мы не можем обеспечить себя вполне приличными продуктами даже при меньшем энергопотреблении, чем сейчас. Не хочу касаться того, о чем должны говорить специалисты-атомщики. Но вот о проблемах оценки, что такое хорошо, а что такое плохо, поскольку я работаю в области экологической экспертизы энергетических проектов, должен сказать: нужно учитывать массу параметров, до нескольких десятков, и среди самых важных — социальные. Представьте себе, что сегодня, сейчас произошла авария на атомной станции во Франции. Что вероятность этого увеличивается, мы знаем: перешли от 30-летнего к 40-летнему сроку службы станций и т. д. Что тогда произойдет? Одна авария, скажем, в 10 раз слабее чернобыльской. С точки зрения социологии можно с определенностью утверждать (здесь прогноз, в отличие от экономических, будет точен): завтра же половина АЭС Франции закроются, потому что французы не будут терпеть Чернобыля. Кроме того, известно по подсчетам, что авария в 10 раз слабее, чем чернобыльская, затронула бы 30 млн человек во Франции, где, как вы знаете, немалая плотность населения и колоссальный процент пахотной земли. Дальше последует международная конвенция о запрещении атомных станций. Это совершенно точно, никаких сомнений нет. И все наши затраты пойдут насмарку. Такой социальный взрыв возможен в любой момент, и это тоже надо учитывать. Я не против атомной энергетике, хотя и отношу себя к «зеленому» движению. Немедленно снести АЭС едва ли целесообразно. Но считаю, что должны быть лимиты для развития каждой из отраслей энергетике. Когда у нас было 10 атомных станций, у нас были одни взгляды. Когда их стало значительно больше — другие.

<sup>2</sup> Станцо В. // Химия и жизнь. 1989. № 3. С. 7.

Основные характеристики энергетики различных стран к началу 1988 г.

Страна	Потребление первичных источников энергии			Потребление электроэнергии		Структура топливно-энергетического баланса, %				
	общее, млн т у. т.	на душу населения, т у. т./чел.	на единицу валового национального продукта, 10 <sup>-3</sup> т у. т./долл.	на душу населения, МВт·ч/чел.	на единицу валового национального продукта, кВт·ч/долл.	уголь	нефть	газ	гидроэнергетика	атомная энергетика
США	2 641,86	10,8	0,63	11,2	0,65	24,5	41,2	23,1	4,2	6,7
Япония	539,70	4,4	0,37	5,7	0,48	18,1	55,2	9,6	4,9	12,2
Франция	280,86	5,0	0,54	6,1	0,66	8,9	43,7	12,6	7,5	27,2
ФРГ	380,57	6,2	0,59	6,8	0,65	27,4	43,0	16,7	2,0	10,9
Китай	1 000,14	0,94	23,4	0,43	10,7	79,0	14,9	1,8	4,3	—
Страны Африки	288,14	0,48	0,71	!	!	34,3	41,8	15,1	7,9	0,5
СССР	2 063,42	7,3	0,96	5,9	0,78	26,2	31,2	36,6	3,8	2,8

[Рассчитано по данным: BP Statistical Review of World Energy, L., June 1988; Handbook of Economic Statistics 1985. A Reference aid directorate of intelligence, N. Y., 1986; Intern. Financial Statistics, IMF, Washington, 1988; National Accounts: main accelerations, U. N. N. Y., 1987.]

**Р. В. Орлов.** Но почему мы все-таки автоматически упускаем одну из главнейших альтернатив — энергосбережение? Принципиальнейшую альтернативу, о которой мы почему-то сегодня очень мало говорим.

**И. И. Кузьмин.** Прежде чем говорить об этой альтернативе, нужно ответить на один вопрос. Весь мир к энергосбережению шел через расточительство. Скажем, вместо тонны пластмасс вы производите тонну металла. На выпуск пластмасс вам нужно затратить энергии примерно в два раза больше. А в какой момент вы выигрыш получите? Когда вы тонной пластмасс замените 6 т металла. То есть сначала нужно набрать некий запас энергии, некий рывок вверх сделать, а потом спуститься. А вы хотите сразу. Я просто не знаю, есть такой опыт или нет?

**Р. В. Орлов.** Одним из вопросов, которыми занимался наш институт, — сопоставление динамики энергопотребления в СССР и развитых, а также слаборазвитых странах. То, о чем вы говорили, — предварительный этап развития с ростом энергопотребления — особенно характерен прежде всего для малых стран Африки и Азии, где очень слабо развита техническая база. Но все крупные развивающиеся страны, такие как Мексика, Бразилия, Индия, добились того же самого перелома в тенденциях изменения энергоёмкости, что и развитые страны, около 1973 г., а Китай — в 1979 г. после выступления Дэн Сяопина, когда было принято решение резко ускорить развитие эконо-

мики как раз за счет неэнергоёмких отраслей.

Понимаете, мы не предлагаем прекратить рост энергопотребления, но анализ энергоёмкости нельзя проводить для экономики страны в целом — по меньшей мере надо разделить промышленность и производственную сферу. Закономерности для этих сфер совершенно различны, и если мы отстаем в производственной сфере, то в промышленности — я уже называл эти цифры — и так уже энергоёмкость почти вдвое больше, чем в США.

**И. И. Кузьмин.** То есть мы уже сейчас расточительны.

**Р. В. Орлов.** Разумеется. Еще раз подчеркну, что Энергопрограмма в значительной мере ориентирована на старую схему развития экономики страны. Огромнейшие затраты на металл (выпуск около 130 млн т проката), гипертрофированная тяжелая промышленность, слабое развитие социальной сферы и т. д. — в общем все то, что сейчас подвергается критике.

Недавно я ознакомился с достижениями по энергосбережению в США. По мнению ряда американских специалистов, потенциал энергосбережения огромен, причем при существующей структуре экономики, используя уже разработанные технологии, можно сберечь около 50 % энергии, в целом получив при этом положительный экономический эффект. Известный пример с новыми экономичными лампочками, который приводился в одной из статей А. Е. Шейндлина, достаточно характерен. Мы специально про-

веряли все калькуляции и расчеты. Для Советского Союза, где на освещение идет около 12 % электроэнергии и используется до 60 % ламп накаливания, это одна из очень больших возможностей. При замене наших ламп на современные может быть сэкономлена энергия, примерно соответствующая значительной части планируемого прироста за счет АЭС. В Соединенных Штатах введен термин «дестеклянизация» — это увеличение примерно в 4 раза теплоизоляции зданий за счет совершенствования конструкции окон, использования теплоотражающих полимерных пленок и т. п. Мы просматривали калькуляцию всех этих методов, знакомились с технологиями. Нам скажут, что у нас нет этих технологий. Но, товарищи, почему рассматривать только схему развития наших технологий, при которой мы повторяем весь этот путь? Ведь сейчас даже в слаборазвитых странах прогресс идет скачкообразно! Мы можем взять соответствующие патенты, лицензии и сразу сделать рывок. Например, освоить производство новых телевизоров — почему у нас должны работать в 6 раз более энергоемкие телевизоры, чем везде в мире?

**В. В. Алексеев.** К этому нужно добавить, что в целом ряде промышленных технологий использование энергии иногда в 1000 раз больше теоретического минимума. Скажем, при производстве аммиака...

**Р. В. Орлов.** Можно привести и другие примеры. Но совершенно очевидно, что все эти резервы не будут использованы, если мы сохраним существующий хозяйственный механизм. Иными словами, мы вправе рассматривать проблематику, о которой здесь шла речь, только если мы намерены сохранить старый, административный, жестко регламентированный вид управления, и тогда действительно необходимо обеспечить рост энергопотребления, что, скорее всего, приведет к социальному взрыву и срывам в экономике. Другой путь — ориентация на принципиальную перестройку в экономике вообще и энергетике в частности.

Весь опыт Запада показывает, что в данном случае очень важен плюрализм в управлении энергосбережением. Это и определенная государственная политика как прямых заказов, так и мер, основанных на экономических методах стимулирования. Это и ситуация, когда энергосберегающие отрасли — в частности, электроэнергетика, как в США, — становятся электросберегающими, как ни парадоксально. Для этого Министерство энергетики США использует спе-

циальную схему, которая жестко определяет каждой фирме ареал электроснабжения. Специальные комиссии, подчиненные Верховному Суду, назначают цену на электроэнергию и позволяют торговать ею по рыночной цене только после удовлетворения всех потребностей ареала. В результате создается ситуация, когда компания заинтересована за каждый сэкономленный киловатт платить своим потребителям до 300 долл., поскольку создание новых мощностей требует около 3000 долл./кВт. Конечно, здесь немалую роль играет и воздействие на общество со стороны «зеленых», стимулирующее проведение энергосберегающей политики.

**В. А. Сидоренко.** Мы расточительны, поскольку у нас технологии расточительные. У них расточительность от избытка производства энергии, так что они могли очень быстро его сократить. А технологии перестроить быстро не удастся.

**Р. В. Орлов.** Позвольте не согласиться. Мы должны так изменить хозяйственный механизм, чтобы энергосберегающие технологии начали конкурировать с остальными. Наряду с разработкой программ реализации политики энергосбережения, мы должны в первую очередь использовать экономические рычаги: объективные цены на энергоресурсы, особые системы налогов, субсидии, привлечение акционерных обществ в главнейшую отрасль энергетики — не атомную, не угольную, не газовую, а в энергосбережение, единственный принципиально экологически чистый путь.

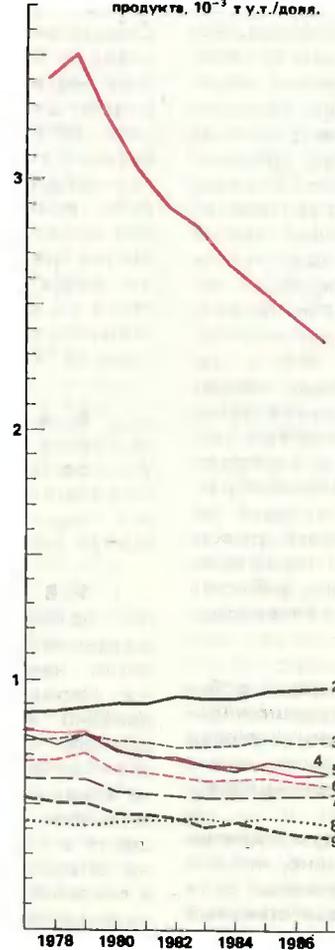
**Ведущий.** Однако, Рольд Владимирович, Вы сами признали, что рост энергопотребления, и тем более производства электроэнергии, в ближайшие годы прекратиться не может. Поэтому возникает вопрос: за счет каких источников нам следует обеспечить этот рост? Для ответа, видимо, нужно сравнить их хотя бы по некоторым из того множества параметров, о которых говорил Николай Федорович Реймерс.

**Ю. В. Петров.** Если разрешите, я попробую провести такое сравнение. В одном из своих докладов М. С. Горбачев привел данные, сколько площади было затоплено под равнинные ГЭС — это более 100 тыс. км<sup>2</sup>. Такое возможно только в стране, где земля не имеет цены. И если мы теперь посмотрим, какая общая площадь была потеряна из-за чернобыльской аварии, то оказывается, что около 3 тыс. км<sup>2</sup>. В одном случае

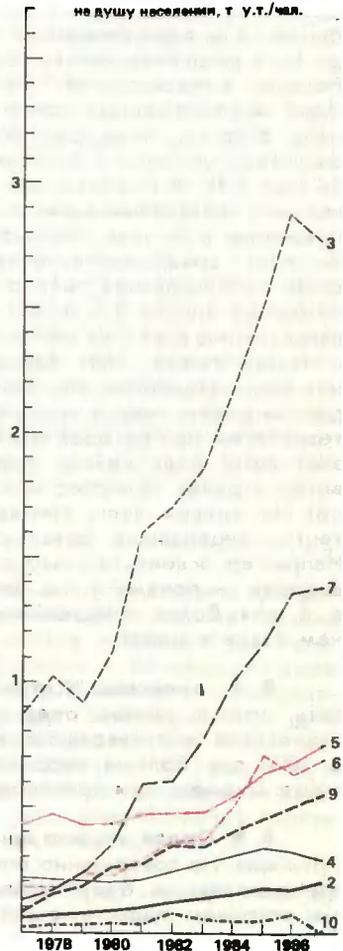
Изменение эффективности использования энергии (слева, по: BP Statistical Review of World Energy. L., June 1988; Handbook of Economic Statistics 1985. A Reference aid directorate of intelligence. N. Y., 1986) и развитие атомной энергетики в некоторых странах (справа, по: BP Statistical Review of World Energy. L., June 1988).

- 1 — Китай
- 2 — СССР
- 3 — Швеция
- 4 — Великобритания
- 5 — США
- 6 — ФРГ
- 7 — Франция
- 8 — Швейцария
- 9 — Япония
- 10 — Италия

Энергоемкость валового национального продукта,  $10^{-3}$  т у.т./доля.



Потребление энергоресурсов на АЭС на душу населения, т у.т./чел.



произошла катастрофа, а в другом — мы нормальным плановым образом потеряли раз в 30 больше площади, не говоря уже о том, что пришлось гораздо больше переселить людей, погибла рыба и т. д. и т. п. Это по поводу равнинной гидроэнергетики, кстати и по поводу гидроэнергетики малых рек. Конечно, мы совершенно безбожно расправились с малыми гидростанциями, но их общая мощность составляла лишь 0,3 ГВт (общая мощность электроэнергетики страны 300 ГВт). Совершенно ясно, что за их счет нам не удастся выйти из положения. Гораздо более серьезной альтернативой является, конечно, солнечная энергия — как принято считать, чистая и хорошая. Однако не надо забывать, что плотность солнечной энергии в несколько тысяч раз ниже плотности энергии, проходящей через поверхность, ска-

жем, твэлов атомного реактора. Поэтому солнечная станция той же мощности должна иметь площадь теплопередачи в несколько тысяч раз большую. А следовательно, чтобы они по стоимости были примерно равны, надо чтобы материал был в несколько тысяч раз дешевле. Вот этого-то как раз еще нет. Пока удастся создавать материалы только в сотни раз дешевле, но не в тысячи. Поэтому наша солнечная станция в Крыму производит электроэнергию по цене 50 коп. за кВт·ч (данные 1989 г.), а наши атомные станции — примерно по цене 1 коп. Специалисты считают, что при более широком использовании солнечной энергии цены упадут раза в 3, но это все равно будет все еще на уровне 15 коп. за кВт·ч, т. е. в 15 раз дороже, чем на АЭС. Если чернобыльские потери, оцениваемые в 8 млрд руб.,

включить в стоимость энергии наших АЭС, это поднимет цену меньше чем на полкопейки, в то время как для перехода на солнечную энергетику нам придется увеличить затраты в 30 раз, а это уже сопоставимо с нашим национальным доходом. Такие гигантские затраты мы себе позволить не можем. Во-вторых, если мы просмотрим весь солнечный цикл, станет очевидным, что такое огромное количество материалов потребует гигантского производства, больших заводов, которые неминуемо будут засорять окружающую среду. И тот факт, что этих материалов нужно очень много, означает, что засорение будет большим. Так что солнечный цикл отнюдь не такой чистый, как утверждают те, кто видит только момент непосредственного производства энергии. Эти несколько порядков в удельном потоке энергии через поверхность — вещь принципиальная, тут только дополнительными ассигнованиями на исследования проблему не решить, нужна новая физическая идея. Конечно, разработки надо вести, и, может быть, здесь произойдет прорыв, качественный скачок, но в ближайшем будущем ставку на солнечную энергетику делать нельзя.

**Н. Ф. Реймерс.** Что Вы можете сказать о таких технологиях, как асимметричные мембраны, низкотемпературный солнечно-водородный цикл?

**Ю. В. Петров.** Я знаю, что такого рода системы хороши в горячем климате, где-нибудь на юге и т. д. В Соединенных Штатах я видел, что они являются очень хорошим подспорьем, но пока речь может идти только об 1—2 % общего энергопотребления. Наиболее реальными путями, безусловно, являются гидро-, ядерная и тепловая энергетика на органическом топливе. Мне кажется, что гидроэнергетику (она производит примерно столько же, сколько атомная) как источник основного притока электроэнергии следует исключить — во всяком случае на равнинах. Что же касается угольной энергетики, то если подсчитать, сколько людей гибнет на каждый гигаваат в год электрической энергии при добыче и сжигании угля с учетом воздействия продуктов сгорания на население, и сравнить с теми же данными для ядерного топливного цикла (включая все его стадии), то мы увидим, что первый способ в десятки раз опаснее второго. Такой подход (сравнение риска) некоторым кажется циничным и негуманным — именно так мне сказала представительница «зеленых» из Гамбурга. И тем не менее, поскольку в ядерной энергетике при производстве того же количества электроэнергии

Сравнение стоимости [Р] электроэнергии угольных ТЭС и АЭС

Страна	$P_{ТЭС}/P_{АЭС}$
Бельгия	1,62
Великобритания	1,40—1,70
Канада	0,66—1,44
США	0,77—1,10
Франция	1,80
ФРГ	1,41—2,02
Япония	1,37

(По: Internat. Cost Comparison of Nuclear Energy, 1987. Vol. 26. № 1.)

Расход природных ресурсов для производства 1 ГВт × год электроэнергии в угольном и ядерном топливных циклах

Ресурс	Ядерный топливный цикл	Угольный топливный цикл
Земля, га	20—60 (50—200)*	100—400
Вода, млн м <sup>3</sup>	32 (1500)**	21 (1000)**
Материалы (без топлива), тыс. т	16	12
Кислород, млн т	—	8

\* При содержании урана в руде менее 0,1 %.

\*\* При прямом охлаждении конденсаторов (~50 м<sup>3</sup>/с для АЭС и ~30 м<sup>3</sup>/с для ТЭС мощностью 1 ГВт). (По: Ядерная энергетика, человек и окружающая среда. М., 1981.)

гибнет в десятки раз меньше людей, чем в угольной, вводя ядерную энергетику, мы спасаем человеческие жизни. На мой взгляд, это и есть истинный, а не абстрактный гуманизм.

**Ведущий.** Но это без учета аварий?

**Ю. В. Петров.** Конечно, аварии типа чернобыльской в будущем должны быть полностью исключены. Но, как ни странно, если посмотреть, сколько людей погибло и погибнет из-за чернобыльской аварии, то все равно окажется, что угольный топливный цикл в большей степени пагубен как для профессионалов, так и для населения.

**Ю. В. Свиричев.** Это опять же, как считать. Действительно, по известным оценкам, проведенным американскими экспертами под руководством профессора Расмуссена, вред от нормальной эксплуатации АЭС мощностью в 1 ГВт составляет 0,6—1,0 смерти в год. Для угольной электростанции той же мощности — 2,25 смерти в год. Правда, у многих эти оценки вызва-

Топливные ресурсы СССР на начало 1988 г. (по зарубежным оценкам)

Ресурс	Разведанные запасы	Доля от разведанных запасов всего мира, %	Время, за которое запасы будут исчерпаны при сегодняшнем уровне потребления, лет
Уголь	244,7 млрд т	23,8	450
Нефть	8 млрд т	6,6	13
Газ	41,1 трлн м <sup>3</sup>	38,2	57

(По: BP Statistical Review of World Energy. L., June 1988.)

Профессиональная вредность различных видов энергетик

Стадия	Топливный цикл			
	угольный	газовый	ядерный	нефтяной
Добыча	0,12—1,6 1,4	0,10—0,16 1,6—1,7	0,47 0,9	0,0033—0,1 0,26—100
Обработка	0,05—0,09 0,7—0,7	0,0004—0,004 0,05—0,14	0,06 2,1	0,01—0,1 3,1—7,8
Транспортировка	0,014—1,2 1,2—0,26	0,01 1,1—1,2	0,011 0,10	0,05—0,07 0,3—8,0
Преобразование	0,03—0,45 4—0	0,009—0,02 1,1—1,6	0,15 1,9	0,013—0,02 1,3—1,6
Снятие с эксплуатации	—	—	0,04 0,10	—

Черные цифры соответствуют смертности, цветные — инвалидности при производстве 1 ГВт·год электроэнергии. Данные Международного института прикладного системного анализа (Вена). (По: Советский физик. 1989. 17 апр. Ин-т эт. энергии им. И. В. Курчатова.)

ли сомнения, и в Международном институте прикладного системного анализа (Вена) сделали новые расчеты<sup>3</sup>. Там уже верхняя оценка суммарного риска для АЭС возросла раз в 20 и оказалась больше, чем для угольных станций. Естественно, учитывался весь технологический цикл.

Попробуем воспользоваться методикой, применяемой страховыми компаниями. Там приняты совсем другие критерии. Смерть — это слишком серьезный финал. Встанем на точку зрения конкретного работ-

ника, полагающего, что он может умереть от заболевания, связанного с его профессиональной деятельностью (это и точка зрения агента, страхующего его жизнь). Если оценивать значение такого риска средним количеством энергии, произведенным одним человеком до потери им трудоспособности, то оно при работе на урановом руднике, АЭС или заводе по переработке топлива может оказаться гораздо больше, чем на угольной шахте или ТЭС. Если же брать критерием среднее время, за которое будет утрачена трудоспособность, то за счет ущерба, наносимого здоровью, например, медленно текущим раком, картина будет скорее обратной. Это я привожу западногерманские оценки. Поймите, что существование человека с медленно текущим раком, человека тяжело больного, но продолжающего жить, для общества не менее трагично, чем его гибель при аварии. Мы посчитали по аналогичной методике и пришли к тому же выводу. Учитывался весь ядерный цикл: 60 % от общего риска приходится на добычу и обогащение топлива, 6—7 % — на переработку твэлов. Структура совсем другая.

**Ю. В. Петров.** Позвольте теперь сказать. Ввиду большого энергосодержания ядерного топлива получается (это нетрудно посчитать), что в случае уранового топливного цикла нам нужно добыть и поднять на гора первичной руды примерно раз в 30 меньше, чем угля. Это означает, что воздействие на окружающую среду, гибель шахтеров и иная профессиональная смертность в десятки раз меньше. Именно поэтому в угольном цикле в десятки раз больше жертв, чем в ядерном, а если говорить о транспортировке — там эти цифры просто несопоставимы.

**В. В. Алексеев.** Я хотел бы вернуться к солнечной энергетике, поскольку тут говорилось, что она неэффективна. То, что до 2000 г. ситуация более или менее определенная и никакие новые технологии заработать не смогут — это, конечно же, все понимают. Но у каждого человека есть интуитивная готовность принять солнечную энергетикку. Ведь существует опыт биосферы за 3 млрд лет, эволюционный опыт развития, в итоге которого именно благодаря солнечной энергии появился человек. Однако современным технократическим подходом, стремлением создать что-то новое этот опыт отбрасывается. А человек как был, так и останется элементом биосферы, неразрывно с ней связанным. По-видимому, с этой точки зрения и надо вести разговор о солнечной энер-

<sup>3</sup> The European Transition from Oil. L., 1981.

гетике. Да, «физические» технологии преобразования солнечной энергии не выдерживают критики с экономической точки зрения, так как расходы на преобразователи не оправдываются получаемой энергией. Но надо исходить из более глубокой оценки. Действительно, плотность потока энергии, используемой в промышленности, на 3—4 порядка выше плотности потока энергии от Солнца. Но что мы наблюдаем в биосфере? Плотность потока энергии, переносимой скачущей лошадью, на 2 порядка больше плотности потока солнечной энергии. Значит, при преобразовании энергии Солнца в мускульную энергию животных происходит ее концентрирование. Это достигается как во времени (в процессе роста растений), так и в пространстве (при выпасе животных). Быть может, аналогичные принципы — аккумулярование и сканирование — нужно использовать в солнечной энергетике.

Если говорить о солнечной энергетике, ориентирующейся на фотосинтез, то здесь очень важна энергоотдача — отношение общего количества энергии, полученного от энергосистемы, к энергозатратам, необходимым для создания этой энергосистемы и ее эксплуатации. Если энергоотдача источника меньше 1, такой источник нам не нужен. Так вот, при использовании фотосинтеза энергоотдача довольно высока. К примеру, при производстве этилового спирта из тростника, используемого в качестве топлива для автомобилей, она достигает 4—6.

Нужно учитывать, сколько энергии уходит на внутренние нужды энергокомплекса, и это вещь принципиальная. Например, на добычу нефти тратится 26 % энергии. Общее количество энергии в единицах условного топлива может расти, но при этом ее реальное потребление в народном хозяйстве падать. Могу привести пример. Существуют программы увеличения нефтедобычи за счет более полного извлечения нефти из месторождений. Но оказывается, что нужно затратить 8 т нефти, чтобы получить одну лишнюю тонну. И если такой валовый показатель выпуска электроэнергии, не учитывающий собственные нужды энергетики, сохранится, то у нас будет продолжаться то безобразное, которое имеет место сейчас. Те самые 2 млрд т у. т., о которых шла речь, это совсем не характеристика. Из них больше 30 % уходит на сам энергокомплекс. Энергоотдача, которая сейчас очень низка, должна быть основным показателем в Энергопрограмме. Тогда все встанет на свои места.

**Р. В. Орлов.** Вы поднимаете правильный вопрос, но это лишь один из той гаммы

Состояние атомной энергетики на конец 1988 г.

Страна	Эксплуатируется		Строится		Вклад АЭС в общую выработку электроэнергии, %
	Количество блоков АЭС	Электрическая мощность, МВт	Количество блоков АЭС	Электрическая мощность, МВт	
США	108	95 273	11	12 474	18
Франция	54	51 138	9	12 100	70
СССР	56	33 070	26	22 180	11
Япония	36	26 888	13	11 759	37
ФРГ	23	21 474	2	1 520	37
Канада	18	12 420	4	3 524	15
Великобритания	40	11 444	3	2 435	19
Швеция	12	9 646	—	—	50
Испания	10	7 519	1	990	30
Южная Корея	8	6 280	1	900	50
Бельгия	7	5 477	—	—	67
Тайвань	6	4 884	—	—	44
Финляндия	4	3 310	—	—	38
Чехословакия	8	3 207	8	5 120	26
Швейцария	5	2 932	—	—	39
Болгария	5	2 586	2	1 906	29
ЮАР	2	1 842	1	990	1
ГДР	5	1 694	6	3 432	10
Венгрия	4	1 645	—	—	33
Индия	6	1 154	8	1 760	1
Италия	2	1 120	3	1 999	0,1
Аргентина	2	935	1	692	1
Югославия	1	632	—	—	5
Бразилия	1	626	1	1 245	1
Нидерланды	2	507	—	—	6
Пакистан	1	125	—	—	1
Румыния	—	—	5	3 380	—
Иран	—	—	2	2 392	—
Китай	—	—	3	2 088	—
Мексика	—	—	2	1 308	—
Польша	—	—	2	880	—
Куба	—	—	2	816	—
<b>Всего:</b>	<b>426</b>	<b>306 544</b>	<b>114</b>	<b>93 830</b>	<b>16</b>

[По: Бюллетень МАГАТЭ. 1988. Т.30. № 4.]

вопросов, которые связаны с энерго- и электроснабжением.

**Н. С. Бабаев.** Мне кажется, неверно представлять дело так, будто развивается только атомная энергетика, а над альтернативными источниками никто не работает. Солнечной энергетикой, например, у нас занимаются в Среднеазиатском регионе, на Камчатке — вопросами использования геотермальной энергии, на Кольском полуострове — приливными станциями. Просто все это пока экономически нецелесообразно. Говорить можно только о дальней перспективе. Только и всего.

**Р. В. Орлов.** Мне непонятно, почему, говоря об альтернативных путях, мы не кос-

нулись газовой энергетики? На мой взгляд, это главный конкурент, во всяком случае на период до 2005 г.

**Ю. В. Петров.** Полностью с Вами согласен, если разговор идет о ближайших перспективах.

**Р. В. Орлов.** Может быть, мы сделали определенную ошибку, не договорившись, о каком периоде идет речь. Если мы говорим об Энергетической программе, то это подразумевает до 2005 г. И в этом случае основной альтернативой, как с экологической точки зрения, так и по возможным масштабам использования, является именно газовая энергетика.

**А. Е. Шейндлин.** Это в Европе только.

**Р. В. Орлов.** Отнюдь не только в Европе. Кузбасс, например, Казахстан — это тоже зоны газификации.

**Ю. В. Петров.** Вы действительно правы: из органических видов топлива газ — наиболее чистый. Но дело в том, что его запасы ограничены, а серьезная угроза парникового эффекта заставляет уменьшать сжигание всякого органического топлива.

**Р. В. Орлов.** Это уже другой вопрос. Но до 2005 г. упор прежде всего должен делаться именно на газификацию. Это основной вывод нашего института, и я полностью с ним согласен. Сейчас это наиболее экологически чистый, экономически приемлемый и надежный путь. Он позволит резко сократить темпы развития атомной энергетики, которая, как некоторые считают, находится в состоянии экспериментирования. Добившись более высокого уровня надежности АЭС, мы действительно сможем принять ее за основное направление развития после 2005 г. Тем более что, как мне представляется, к этому времени ухудшится ситуация с альтернативами, прежде всего с газовой промышленностью — начнется как раз тот этап, когда здесь потребуется существенное увеличение затрат. Что же касается нетрадиционных источников, которые здесь обсуждались, то хотелось бы отметить следующее. По-настоящему можно говорить об их развитии только в условиях нового хозяйственного механизма. В отличие от мастодонтов, которые могут подчиняться административной схеме, нетрадиционная энергетика — это местная энергетика, которой нельзя управлять программами и заданиями. Известна история с гелиоколлекторами

Братского завода, на которые был план выпуска, план поставок, но в регионы, где они были абсолютно не нужны и иногда использовались в качестве заборов, в то время как где-нибудь их и купили бы (допустим, дачники). Мне представляется, что нетрадиционная энергетика не является, конечно, конкурентом ни одному из видов, в том числе энергетике атомной, но она может стать чрезвычайно важным, социальным, если можно так сказать, направлением развития энергетики, например, в горных районах, где любые другие источники неконкурентоспособны.

**Н. Ф. Реймерс.** Действительно, все зависит от временного интервала. Сегодня с учетом возможности очистки и утилизации, в том числе и углекислого газа, тепловая энергетика, несмотря на парниковый эффект, предпочтительнее, к примеру, чем крупномасштабная гидроэнергетика. Кстати, Европа в отличие от нас уже не строит гиганты. А мы имели около 6 тыс. с лишним малых ГЭС и большую их часть погубили. Американцы же собираются восстанавливать все свои 4 тыс. малых ГЭС и получать на них, по некоторым прогнозам, до 25 % электроэнергии. Они явно считают их предпочтительнее, но все зависит от места, времени и формы.

**А. Е. Шейндлин.** Я не атомщик, и у меня нет каких-либо ведомственных интересов. Но я знаю, что атомная энергетика находится в тяжелом состоянии, и не только в связи с Чернобылем. Сегодня нет хорошей технологической базы для атомных электростанций — они создаются, к сожалению, с огромными нарушениями технологий, что вызывает дополнительные опасности, с которыми нельзя не считаться и которые трудно предусмотреть. Низкий уровень в этой области — факт, который, думаю, никто из присутствующих отрицать не будет. Как и то, что с эксплуатацией АЭС дело обстоит тоже не лучшим образом. Мы даже научить этому толком не можем, у нас нет тренажеров соответствующего уровня. Сейчас многое делается, но положение по-прежнему непростое. Однако что произойдет, если мы вдруг свернем атомную энергетику? Это будет разрушением экономики. Сегодня наша экономика, а я думаю, не только наша, не может существовать без огромного вклада атомной энергетики. Поэтому речь может идти только о предельно возможном ограничении атомной энергетики, которое не подорвет экономику и в то же время даст возможность пережить период, необходи-

мый для совершенствования соответствующих технологий. Нужно сконцентрировать усилия на безопасности ядерной энергетики, создании ядерных реакторов нового поколения, совершенствовании эксплуатации, но на это требуется время. Позволю себе выразить частное мнение. Если раза в полтора уменьшить планируемый объем атомной энергетики, то ничего катастрофического не произойдет, с этим можно справиться, заполнив образовавшееся «белое пятно» в Европейской части СССР, там где угля у нас явно нет, использованием газа. Лет на 15—20 у нас газа хватит с лихвой. Я не буду ссылаться на очень авторитетных людей, которые ведают запасами газа, но их мнение мне известно — это сделать можно. Теперь об угле, коль скоро я его упомянул. В Саарбрюкене — городе с 250-тысячным населением — в самом центре построена угольная станция. Технология очистки ее выбросов доведена до такого уровня (с привлечением известных методов, тут ничего секретного нет, просто деньги нужны), что даже никаких запахов не чувствуется.

**Ю. В. Петров.** При каких капитальных затратах?

**А. Е. Шейндлин.** По стоимости это на 30—40 % больше.

Мое мнение таково: ядерная энергетика нужна, но в ограниченном масштабе и с быстрым разворачиванием работ по обеспечению безопасности эксплуатации и разработке нового поколения реакторов. Альтернативы — это прежде всего газ, затем уголь со всей той технологией, которая обеспечит борьбу с окислами серы и окислами азота. {

**В. А. Книжников.** Для угольных станций это, возможно, не самое страшное.

**А. Е. Шейндлин.** Вы имеете в виду CO<sub>2</sub>?

**В. А. Книжников.** Нет. Я сейчас скажу. Мы докладывали об этом, и сейчас новые данные будут опубликованы в № 9 журнала «Гигиена и санитария». Высокодисперсная часть угольной золы, плохо улавливаемая электрофильтрами, является канцерогеном и может вызывать рак легких.

**А. Е. Шейндлин.** Электрофильтры, используемые на Западе, имеют коэффициент полезного действия 99,5 %, а наши около 80 %.

**В. А. Книжников.** Где-то 90 %.

**А. Е. Шейндлин.** 90 % — это еще плохо. В общем, и тут проблема в уровне технологии.

Теперь два слова по поводу солнечной энергетики и биоэнергетики. Ну не серьезно это! Солнечная энергетика и на дальнюю перспективу может рассматриваться только как энергетика автономная, но никак не энергетика, производящая огромное количество электрической и даже тепловой энергии. Экономически это бесперспективно. Это вовсе не означает, что работать не нужно. Быть может, появится какая-то совершенно новая технология, что, учитывая рассеянность солнечной энергии, сомнительно. По крайней мере сейчас это видится именно так. Станция в Крыму и аналогичные электростанции во всем мире невыгодны. Фотоэлектричество — пленочное и иное — что-то может дать, но об этом сейчас говорить еще рано. Ветровая энергетика, например хорошо развитая в Дании и Нидерландах, тоже не решает проблем.

**А. Ю. Гагаринский.** С экологической точки зрения это тоже небезопасно.

**А. Е. Шейндлин.** Да нет, это довольно чистая вещь, что тут говорить, но это дорого стоит, дорого! И наконец, по поводу гидроэнергетики. Это же абсурд, когда говорят, что гидроэнергетика бесперспективна. Есть электростанции, которые отторгают мало земли, например в горных районах, где соответствующий рельеф местности. Так, значит, что же решает? Рубль и экология! Или экология и рубль, если угоднo! В одном случае это выгодно, в другом — нет. Но гидроэнергетика — это чрезвычайно выгодная вещь, если она дешевая и экологически чистая. Как же можно нам самим такую возможность отвергать!

**Р. В. Орлов.** Например, Нурекская ГЭС — она великолепна.

**А. Е. Шейндлин.** А многие уважаемые мной писатели огульно отвергают любые гидроэлектростанции. Все дело в пропорции, которая должна вырабатываться на экономической, экологической и политической основе.

**Ведущий.** Похоже, проблему структуры топливно-энергетического баланса мы обсудили достаточно подробно. Конечно, вопросов было поставлено больше, чем дано

ответов, но этого и следовало ожидать. А вот доводы за и против атомной энергетики прозвучали далеко не все. Юрий Викторович Петров кое-что говорил о преимуществах АЭС, однако «зеленые», судя по публикациям, вряд ли с ним согласятся.

**А. У. Хараш.** Вы знаете, я хотел бы чуть-чуть поспорить с Юрием Викторовичем. К «зеленым» я себя не отношу, у меня несколько иная позиция, но, откровенно говоря, меня смущают Ваши подсчеты. Боюсь уподобиться даме из Гамбурга, но нечто подобное мог бы сказать и я. Вот Вы сравнивали 100 тыс. км<sup>2</sup> потерянных в гидроэнергетике, и 3 тыс. км<sup>2</sup> при аварии на ЧАЭС. Но когда речь идет о человеке, среде его обитания, такие прямые сравнения не убеждают. Технологии должны быть не только экологически, но и психологически чистыми, если можно так выразиться. И, на мой взгляд, чернобыльская авария вызвала психологические загрязнения не только среди людей, с которыми я работал в Чернобыле, Припяти, трехмиллионном Киеве, но и у многих других. Эти люди живы физически, но они мертвы социально. Запланированное расселение людей с насиженных земель, «прощание с Матерой» — это, безусловно, насилие, но его нельзя сравнивать с эвакуацией из Припяти. Вызванные ею страхи будут передаваться из поколения в поколение. Поэтому я и говорю: что сделано с этими людьми в социальном плане — ужасно. Я считаю, у нас государство не готово к эксплуатации технологий, связанных с такого рода риском — не будем говорить, большим или маленьким — с психологическим риском. Оно не готово отнестись к этим людям как к пострадавшим. Вот эта неготовность сострадать им и есть бедствие.

Я не говорю, что привел самый решающий аргумент против атомной энергетики — я просто считаю, что он обязательно должен приниматься во внимание. А принять его во внимание с помощью простых подсчетов просто-напросто невозможно.

И еще одна достаточно серьезная вещь. Мне хотелось бы проанализировать психологическое влияние тех 36 часов, которые прошли между аварией и началом эвакуации. Люди знают, что ими рисковали, решая, что делать — может быть, все-таки обойдется... Представьте себе, что это значит для человека — он психологически погублен, погублен самим принципом взвешивания, законом больших чисел и тому подобным. Результат этого — очень сильное сопротив-

ление строительству атомных станций. И не потому, что народ чего-то не понимает. Люди интуитивно приходят к выводу: как бы мал ни был риск, его надо учитывать на все 100 %. Здесь совершенно особая логика.

**В. А. Книжников.** Я задам только один вопрос. Вы сказали, что эвакуация Припяти была проведена с 36-часовым опозданием. Как психолог Вы, вероятно, понимаете, что подобного рода заявления, особенно если они будут прочитаны в журнале «Природа», произведут определенное впечатление на этих людей, которые, по Вашим словам, и так мертвы социально и живут в ожидании всяческих бед.

Так вот, я хотел бы спросить, знаете ли Вы, при каких дозах, согласно международному нормативу, надо проводить эвакуацию? Так вот: международный норматив — от 25 до 75 бэр в течение нескольких дней после аварии в зависимости от ситуации — зима или лето, состояние дорог и т. п. При дозе свыше 75 бэр эвакуация обязательна. Здесь же население не получило и 12 бэр, даже милиционеры и те, кто работал на улице. А средняя доза составила около 6 бэр. Иными словами, в нарушение собственных нормативов и международных рекомендаций эвакуация была проведена с большим запасом — как по дозе, так и по времени. Какие же основания страдать этих людей, которые получили по 6 бэр, отравлять им жизнь?

**А. У. Хараш.** Я не радиолог, но меня смущает этот средний подсчет (это как средняя температура по больнице), равно как и вообще очень многие рассуждения медиков, ответственных за жизнь и здоровье чернобыльцев. Как сказал академик Ильин, было 2 «прострела», один из которых «лишь лизнул» город! Как может медик сказать такое! Понимаете? Что означает «лизнуть» город, где 58 тыс. населения? Это несколько тысяч человек, попавших в зону, где уровень радиации был отнюдь не 12—13 р/ч. Судя по известной мне карте радиационного поражения, этот «язык» прошел над больницей, где было очень много народу. Он же достиг станции Янов, на которой скопились люди, информированные о взрыве из неофициальных источников. Они стояли и ждали поезда несколько часов, а сейчас этим людям говорят, что они ничем не больны, хотя они бюллетенят по 6—7 месяцев в году.

**Г. А. Копчинский.** Мы далеко отошли от темы «круглого стола». Либо мы все же придем к какому-нибудь общему выводу по поводу Чернобыля, либо наш разговор будет даже не бесполезным, а вредным. Я поясню свою позицию. 26 апреля 1986 г. я был поднят в 1 ч 50 мин ночи и, поверьте, был одним из самых активных участников событий, которые там происходили. Здесь есть товарищи, которые также не менее активно работали в связи с этой аварией. Я хочу сказать, что отвечаю за каждое свое слово. Потому позвольте и мне задать Вам несколько вопросов по поводу эвакуации. Скажите, как можно было, не думая об эвакуации и не готовя ее, в ночь на 27 апреля иметь 1100 автобусов под Припятью? Как можно было, не думая об эвакуации, собрать в воскресный день 1100 водителей? Как можно было в течение 4 часов осуществить эвакуацию сорока с лишним тысяч людей? И при этом Вы говорите, что эвакуация была задержана на 36 часов! Я бы хотел напомнить ситуацию, которая сложилась на американской станции «Три Майл Айленд», где произошла авария на реакторе в 1979 г. Радиоактивности там вышло — всего ничего, чепуха, хотя уровень поражения реактора сопоставим с тем, что произошло с активной зоной 4-го блока ЧАЭС. И тем не менее там тоже была дана команда на эвакуацию. Но только не в связи с радиацией, а в связи с той паникой, которая вспыхнула вокруг этой аварии. Вы говорите, что в первые часы на станции Янов скопились тысячи людей. Тут позвольте с вами не согласиться. Вы, по-моему, были одним из героев документального фильма, который называется «Порог». В этом фильме есть кадры, которыми авторы пытаются доказать, что население Припяти жило нормально, были свадьбы и гуляния...

**А. У. Хараш.** Я сам говорил с людьми, у которых были свадьбы.

**Г. А. Копчинский.** Я не отрицаю, свадьбы были. Но в Вашем описании нарушена логика. То все бегут на станцию Янов, то все спешат на свадьбу! И вот что я хотел бы сказать. Вы говорите о психологической ситуации, сложившейся вокруг аварии в Чернобыле. Я согласен, что сегодня самое страшное — это синдром Чернобыля, поразивший атомную энергетiku. Сегодня очень трудно объяснить людям, что атомная энергетика в том виде, в котором ее сегодня предлагают, — водо-водяные аппараты с соответствующими технологическими и

конструктивными усовершенствованиями — действительно обеспечивает повышение безопасности порядка на три или сколько там, не буду называть точную цифру, специалисты скажут лучше меня. Очень трудно объяснить очевидные экологические преимущества атомной энергетики. Почему? Потому что существует этот мощнейший психологический синдром. Так вот я хочу спросить: почему он возник? Кто-то сказал, что сразу после Чернобыля родилось сопротивление атомной энергетике. Но в действительности оно родилось года через полтора.

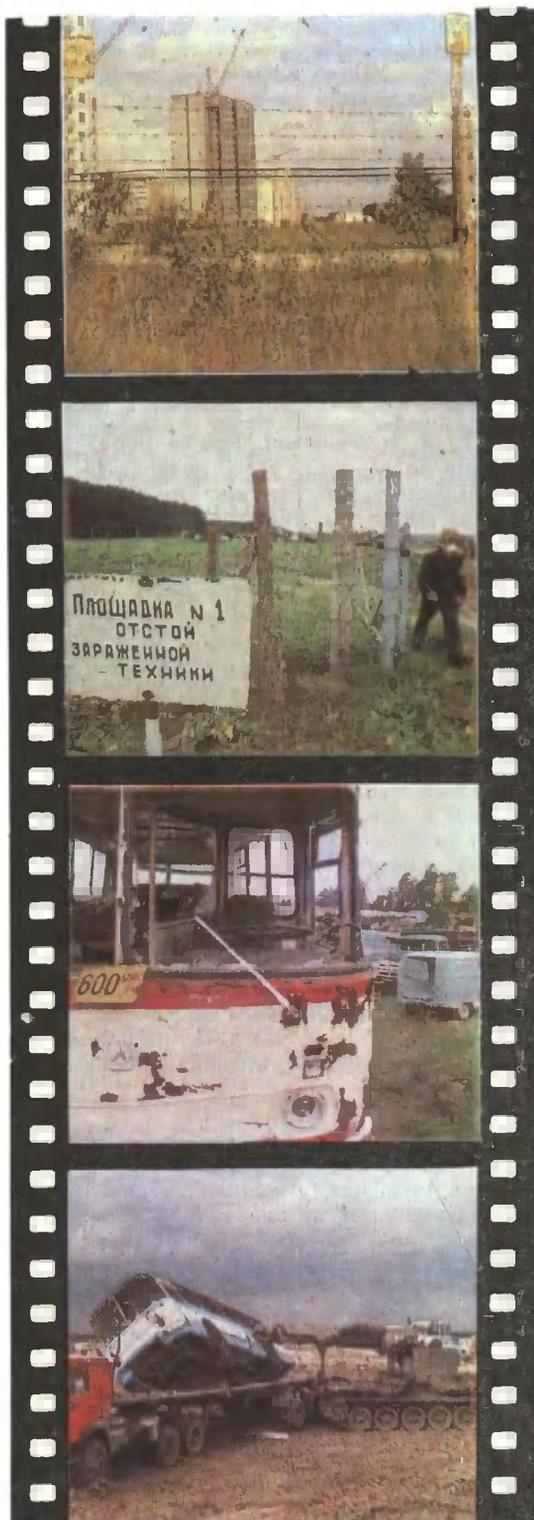
**Ю. М. Свирижев.** Гораздо раньше.

**Г. А. Копчинский.** Где-то через года полтора. Тогда, когда стали появляться в наших средствах массовой информации высказывания вроде тех, которые только что звучали. И этот чисто психологический импульс стал оказывать чрезвычайно сильное давление на общественность. Можно, конечно, говорить о психологической травме — трагедия есть трагедия, но я думаю, надо быть осторожным в комментариях этой трагедии. Скажем, уродства у животных, о которых рассказывалось в одном из выступлений «Московских новостей» и документальном фильме «Микрофон». Мы все тщательно проверили. Поверьте, связь этих явлений с аварией абсолютно не соответствует действительности. Наши коллеги за рубежом удивляются: «Да что это с вашей прессой происходит? Она уже гоняется за сенсациями почище американской». Но для нас важны не сенсации, важно, какое психологическое давление оказано на людей, живущих в той же Белоруссии, и сколько нервных заболеваний этим вызвано.

Поэтому еще раз хочу подчеркнуть, насколько осторожно нужно относиться к информации.

**А. У. Хараш.** Все-таки хочу пояснить практическое значение того, о чем сказал. Мнение, что для утешения людей нужно не подтверждать их опасения, — полнейший предрассудок, который не соответствует психологическим данным и полностью противоречит опыту практической психологии. Когда люди после взрыва находятся в Припяти на протяжении 36 часов, то пусть даже там не было радиоактивного заражения, давайте даже считать, что там было абсолютно чисто...

**В. А. Книжников.** Зачем «абсолютно»? Там было грязно, но не опасно. Радиация — не вирус. Опасность определяется дозой.



**А. У. Хараш.** Но они знают, что находились около вскрывшегося реактора. Сигнала тревоги и предупреждения по радио не было. Я не встречал ни одного человека, который в этот день не выходил бы из дому или прятался за закрытыми окнами. Люди были на пляже, ходили в «рыжий лес». Что они сейчас должны думать?

Нужно было людям сразу сказать, чтобы они приняли меры предосторожности. Тогда они бы избежали опасности той же радиофобии и не оставались сейчас под страхом, что получили дозу облучения, которая превышает допустимую. Надо беречь психику человека. Так вот, Ю. Щербак и многие другие, публикуя материалы о Чернобыле, о реальной чернобыльской опасности, рождают то самое уверенное спокойствие, которого людям не хватает. А что до информации, делающей людей невротиками, то приведу в качестве примера один такой материал. Это публикация в «Известиях» под названием «Как здоровье чернобыльцев?» — интервью, которое дала профессор А. Гуськова французским журналистам. В нем говорится, что, конечно же, у чернобыльцев все в порядке. Люди от таких лаконичных и безапелляционных утверждений приходят подчас в совершеннейшее неистовство и безумие. Когда утешение приходит в кричащее противоречие с реальностью, какой ее видят люди, пусть тысячу раз заблуждающиеся, это ведет к нервным срывам, фобиям и невротическим заболеваниям. Уж кому-кому, а врачу здесь надо быть предельно осторожным.

**Ю. В. Петров.** Так кто же виноват?

**А. У. Хараш.** В первую очередь тот, кто ведал безопасностью населения, кто должен был, не боясь паники, оповестить людей об аварии с первых же минут. Человек не такое уж нежное существо, как иногда считают. Когда он знает об опасности, это гораздо лучше. Неопределенность — вот самое страшное. Радиофобия — болезнь неопределенности, болезнь отсутствия информации.

**Ю. В. Петров.** Абсолютно точно!

**А. У. Хараш.** И пусть я не знаю всех обстоятельств, всех тонкостей, доступ-

ных физикам и биологам, пусть карты заражения неточны или я видел не ту, но я знаю состояние этих людей, не числящихся в облученных. И я знаю состояние людей, которые были в Киеве и питались слухами на протяжении огромного времени, питаются ими и по сей день, у которых нет дозиметров, а если есть, то нелегальные. Недаром предлагали повесить на Креватике дозиметр, чтобы весь Киев видел его показания собственными глазами, а не сообщать ради циничную обстановку по радио — радио никто не верит. И люди болеют не от радиации — да, с этим я согласен — они болеют от того, как с ними обходятся.

**В. А. Сидоренко.** У меня серьезный упрек Вам как психологу. Не за то, что Вы говорите: «Нужна информация, нужно было с первой секунды объявить», — я тоже так считаю. Но Вы сообщили как уже признанный и достоверный факт, что 36 часов решали, нужна эвакуация или не нужна, хотя заведомо знали, что эвакуировать людей нужно, и лишь играли их жизнью. Такое утверждение преступно с точки зрения психологического воздействия на аудиторию. Это две совершенно разные стороны вопроса. То, что не уведомили жителей в первую секунду, объясняется, скажем так, особенностями нашей системы, она оказалась неподготовленной к аварии, об этом уже говорили. Но утверждение, что все 36 часов была очевидна необходимость эвакуации, уже на Вашей совести.

**А. У. Хараш.** Простите, я ведь говорю не о том, что произошло за эти 36 часов с организмами жителей, а о том, что произошло впоследствии с их психикой из-за отсутствия своевременной и четкой информации об опасности.

**В. В. Алексеев.** Я тоже хочу подчеркнуть значение полной информации. Например сейчас на Ленинградской АЭС регулярно публикуются сводки о радиационной обстановке. А вот был я экспертом по Южно-украинскому комплексу, и там другое отношение к этому. Главный инженер станции дал официальную цифру: было шесть мелких утечек. Но утечек, оказывается, было тринадцать!

**В. А. Сидоренко.** Сказываются старые привычки... Вот это недопустимо! Это грозит полной потерей авторитета.

**В. В. Алексеев.** И потом, конечно, вопрос о дозиметрах. Люди должны их видеть своими глазами.



**В. А. Сидоренко.** Этот вопрос решать нужно тоже разумно и взвешенно. Я, например, считаю, что продавать их сегодня рано. Нет уверенности, что они, как японский телевизор, вечные и всегда правильно показывают. Пока этого не будет, нужно, чтоб в каждом селе был стационарный прибор, поверяемый метрической службой, на столбе.

**В. В. Алексеев.** Да, пусть хоть на столбе.

**В. А. Сидоренко.** А потом через какое-то время уже переходить к продаже индивидуальных дозиметров.

**В. А. Книжников.** Не так все просто. Даже в газетах встречались неправильные толкования: если вчера был фон 10 мкр/ч, а потом стал 20, то считают, что облучение возросло в 2 раза. На самом деле это не так, поскольку те микрорентгены, что регистрирует дозиметр, составляют где-то 15 % от общего радиационного воздействия, которому подвергается человек за счет всей суммы источников. Поэтому надо еще многое объяснять о разных источниках, внутреннем и внешнем облучении.

**Я. В. Шевелев.** Как только началось разбирательство причин чернобыльской аварии (я был в одной из комиссий), мы сразу же записали, что нужно немедленно снабдить все население дозиметрами. Три года вопрос не решается, и сейчас нам объясняют, что это дело сложное, нужно населению объяснить, оно будет не понимать. Ерунда все это. Конечно, нужно объяснять, на это надо тратить силы. Но население поймет. Сегодня к нам приезжали сотрудники Политехнического института из Балаково. Если им дать кредит, они готовы выпустить в следующем году дозиметры. Но, конечно, дозиметры не должны делаться бесконтрольно. Наше ведомство должно принять эти дозиметры, и, если они действительно подходят, поставить на них штамп.

**Г. А. Копчинский.** Сейчас проблема только в одном: нам нужно сделать не только надежный дозиметр, но и дешевый. У нас есть хорошие образцы, и сейчас мы занимаемся этим вопросом.

**Я. В. Шевелев.** Ну вот те, кто к нам приезжал, говорят, что у них есть идеи. Например, счетную машинку за 20 руб. дополнить маленьким устройством... Сельского жителя эта машинка, возможно, не заинте-

ресует, а горожанин ее охотно купит. Он будет пользоваться ею как компьютером, а потом пошел в лес — у него с собой дозиметр.

**Г. А. Копчинский.** Повторяю, проблема только одна — надо найти дешевый дозиметр.

**Я. В. Шевелев.** И эта проблема решаемая.

**И. С. Слесарев.** Боюсь, реакция «зеленых» на наши выступления показывает, что непонимание между нами нельзя объяснить только отсутствием информации. Складывается впечатление, что группа людей пытается найти какие-то грубые ошибки у физиков, которые якобы то ли по недомыслию, то ли по ведомственным соображениям что-то утаили или в чем-то не разобрались. Начинают простыми арифметическими действиями опровергать какие-то принятые решения. На мой взгляд, это бесполезная трата времени, так как в этой области работает очень много людей, не только у нас, и потому, скорее всего, таких ошибок нет.

**В. А. Сидоренко.** В том числе и в вопросах энергобаланса.

**И. С. Слесарев.** Да, и в вопросах энергобаланса тоже. Можно подумать, что собрались какие-то полуграмотные лоббисты и, пытаясь получить зарплату, подсунили дутые цифры.

**Ю. М. Свирижев.** Я бы сказал, лоббисты не полуграмотные, а очень грамотные.

**Н. Ф. Реймерс.** Если уж мы заговорили о позиции «зеленых», стоило бы ее сформулировать.

Как я уже говорил, нужно учитывать, что это все-таки люди, которые не являются специалистами. Поэтому они исходят из совершенно определенных убеждений. Первое: вне зависимости от типа — тепловые, атомные или еще какие-то — любые станции, которые добавляют тепло в тропосферу, ведут к термодинамическому кризису, и на уровне обыденного сознания это сейчас понимают практически все.

**И. И. Кузьмин.** Это совершенно неправильно.

**Н. Ф. Реймерс.** Во всяком случае, точки зрения сейчас разделились.

**И. И. Кузьмин.** Да не разделились! Есть единая точка зрения...

**Н. Ф. Реймерс.** Что значит единая? Это у вас единая, а у «зеленых» другая точка зрения. Повторяю: я излагаю вам точку зрения «зеленых», даже не свою. Вы поймите, что это стереотипы. Второе — концепция концентрации. В результате техногенных процессов на поверхности Земли концентрируются тяжелые металлы, радиация и все прочее. В природе же все это деконцентрировано, значит, наши действия идут вразрез с биосферными циклами. Все «зеленые» знают, что принципиально проблема утилизации атомных отходов не решена. Поэтому, в частности, федеральное правительство США приняло закон, по которому власти штатов имеют право запрещать строительство атомных станций до тех пор, пока не будет найдено решение этой проблемы. Третье — атомная энергетика преподносит нам все новые и новые сюрпризы. Когда строили, никто не думал, во что обойдется демонтаж станций, выработавших ресурс. Оказывается, демонтаж стоит от 7 до 40 % капитальных вложений.

**Н. С. Бабаев.** Нет-нет.

**Н. Ф. Реймерс.** Я привожу данные мировой литературы...

**Н. С. Бабаев.** И я могу привести данные мировой литературы: 9 %.

**Н. Ф. Реймерс.** А я говорю — от 7 до 40 %, все зависит от условий.

**И. И. Кузьмин.** Даже если 100 %, ничего страшного. Стоимость электроэнергии увеличится всего на 6 %.

**Н. Ф. Реймерс.** Я же повторяю: это точка зрения «зеленых», это их мнение о мире. Поймите, что мир и мнение о мире — это совершенно разные вещи.

**Ю. В. Петров.** Здесь вы правы.

**Н. Ф. Реймерс.** Люди подходят со своими стереотипами. И сколько бы вы ни пытались сломать эти стереотипы, они слишком прочно засели в умах людей — недаром, видно, мы в свое время боролись с атомной войной и описывали ужасы радиоактивного заражения.

Четвертое — все, кто отрицательно относятся к атомной энергетике, говорят: фи-

нансирование АЭС колоссально, финансирование ТЭС во много раз меньше, финансирование альтернативных источников — ничтожно. Значит, существует мафия, которая все это делает. Далее, явные противоречия. Вот, например, Ю. А. Израэль в «Правде» пишет, что легкие радиоактивные газы и все прочее, что уходит из трубы, не оказывает никакого влияния на климатические показатели. В научной статье тот же самый Израэль с соавторами (могу привести ссылку) говорит фактически противоположное<sup>4</sup>. Люди же сравнивают, они же умеют читать! Наконец, колоссальный массив утаивания всего, что происходит вокруг атомной энергетике, отсутствие полной гласности... Вот под действием всех этих причин и складывается позиция «зеленых». Я лично абсолютно солидарен с тем, что говорил Александр Ефимович Шейндлин, наши точки зрения практически совпадают: необходим принцип разумной достаточности. Но эта точка зрения не может быть объяснена «зеленым». Поэтому конфронтация между энергетиками (вообще энергетиками, не только атомщиками) и «зелеными» совершенно неизбежна.

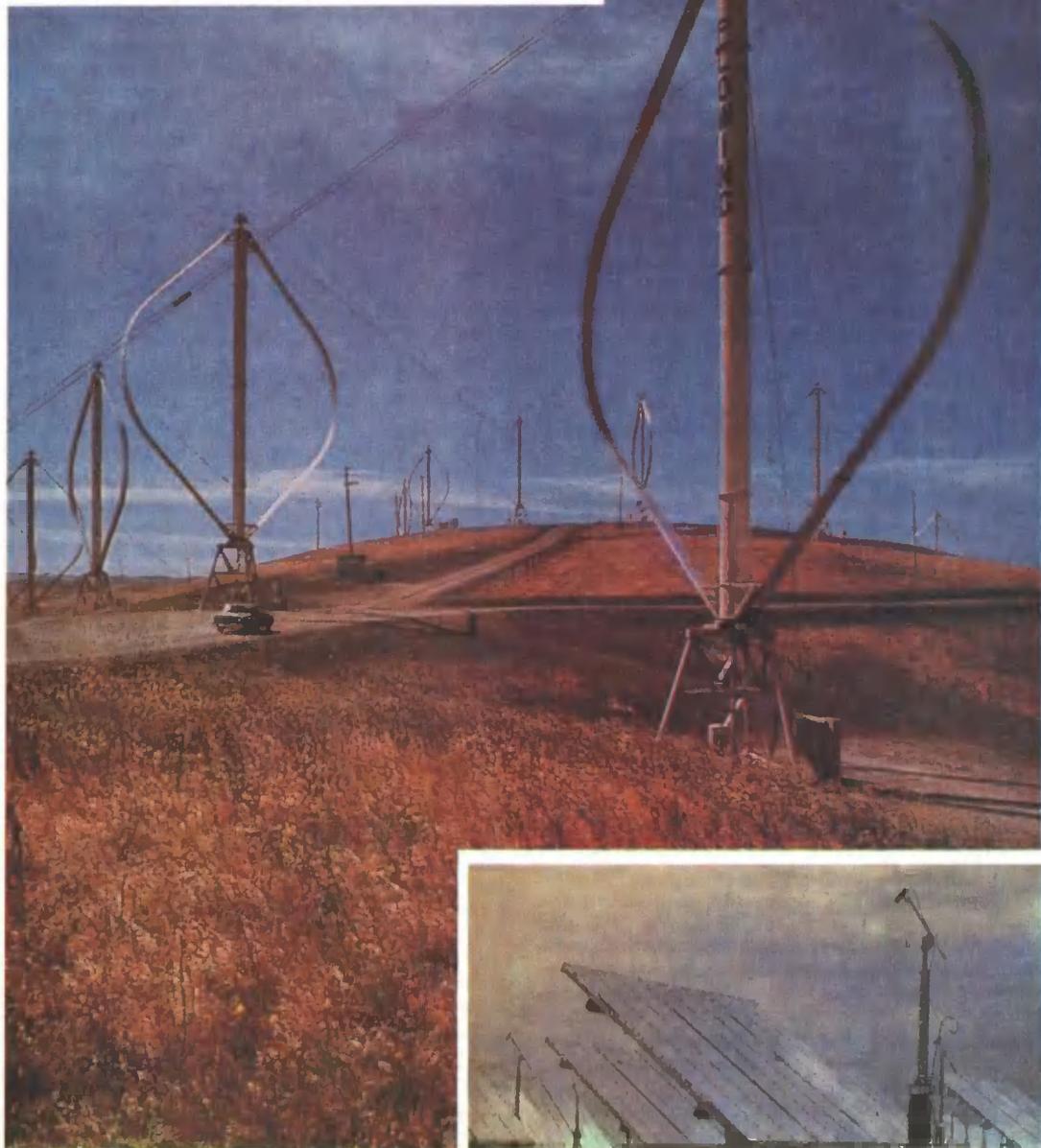
**А. С. Никифоров.** Почему же не может быть объяснена? Как раз может, и нужно объяснять, в этом-то и состоит наша задача! И у нас есть возможность все это объяснить и доказать!

**Г. А. Копчинский.** Если будут слушать...

**Н. Ф. Реймерс.** Прошу прощения, стереотипы, подкрепленные полуправдой и умолчанием, неразрушаемы. Разрушить их будет стоить дороже, чем построить 40 атомных станций.

**Г. А. Копчинский.** Да, мы имели возможность убедиться в этом. Сегодня, выезжая на новые площадки и встречаясь с общественностью, мы не можем найти общий язык. Во-первых, в связи с тем, что сама культура проведения подобных встреч слишком низка — как правило, это выкрики, перебивания, специалистам там слова не дают, может, где-то и специалисты не совсем правы. Нам не верят. Не верят по причинам в общем-то понятным. Трудно разговаривать после чернобыльской аварии. Трудно разго-

<sup>4</sup> Израэль Ю. А. Чернобыль: прошлое и прогноз на будущее // Правда. 1989. 20 марта. С. 4; Израэль Ю. А., Азаров И. М., Рябошенко А. Г. // Метрология и гидрология. 1982. № 6. С. 5—15.



варивать, трудно доказывать. Но некомпетентные выступления в печати громаднейший вред наносят в первую очередь нашему обществу.

**Н. С. Бабаев.** Когда я был в Австралии на двух конференциях по радиационной защите, их участники предложили написать обращение к правительствам с просьбой сдерживать появление безграмотных статей на страницах печати. Просто напрямую об этом просили, указав, что именно это наносит вред развитию общества, а не что-нибудь другое.

**Г. А. Копчинский.** Поэтому-то меня и волнует компетентность выступлений в прессе. Хочу еще раз пояснить свою основную мысль. Некомпетентные выступления подрывают не наш авторитет, не наш престиж — нет, они объективно наносят большой вред обществу.

**Ю. В. Петров.** В качестве примера можно привести выступление поэта Д. Кугультинова на пленуме Союза писателей. Человек, которого я очень уважаю, он воевал, пострадал в сталинские времена. И он совершенно искренне говорит, что не нужно строить ядерные электростанции для калмыков, они лучше будут топить киззяками. А того он не учел, что за те 100—200 лет, которые прошли с времен, когда люди отапливались киззяками, уже все дуга распахали, и лошади исчезли, и коров почти нет, киззяков осталось очень мало, и на всех их не хватит. А что делать с теми, кому киззяков не хватило? Решение-то ясное — надо построить где-то далеко атомную электростанцию, а электроэнергию подавать к ним. Американцы называют это принципом NIMB (not in my backyard, т. е. постройте, но только не у меня «во дворе»). Иными словами, благами электричества хотят пользоваться почти все, а предоставлять для этого возможности почти никто не хочет. И конечно, то, что писатели заняли эту позицию, и выступают очень смело, и их выступления носят авторитетный характер, и народ к ним прислушивается, — не радует. По существу они действуют как малые неразумные дети. Многие искренне полагают,

что помогают перестройке, требуя закрыть «грязную» атомную энергетiku. Появились уже свои «специалисты» по борьбе с ней. Другие узкие «специалисты» борются с угольными станциями, третьи — с гидроэнергетикой. В результате получается, что мы должны закрыть вообще все электростанции, и что тогда? Подобные непродуманные, несбалансированные высказывания реально приносят один лишь вред.

Поймите, мне хочется, чтобы в рядах людей, которые всерьез борются за перестройку, за социальную справедливость, за то, чтоб мы лучше жили, все-таки было хоть немного тех, кто знает арифметику и может перемножать и делить цифры, сравнивать их между собой. И мне странно, что в рядах этих передовых борцов таких людей почти нет.

**Ведущий.** Но ведь есть очень простой выход — каждый из специалистов, в том числе и присутствующих здесь, может влиться в эти ряды. Конечно, необходимо завоевать доверие, а для этого нужно быть предельно откровенными, нужно вслух обсуждать все нерешенные проблемы атомной энергетики. А из нашего разговора читатель, чего доброго, сделает вывод, что в этой отрасли нет проблем, кроме психологического давления общественности.

**Н. С. Бабаев.** Есть ли у нас нерешенные проблемы? Их немало, и мы ими занимаемся. К быстрому решению многих из них подтолкнул именно Чернобыль. Это в первую очередь проблемы повышения безопасности. Это и проблемы размещения, проблемы снятия атомных станций с эксплуатации (этим сейчас занимаемся очень плотно, первые объекты уже снимаем). И, конечно, крайне важна проблема захоронения, она у нас еще не решена, хотя теоретически все ясно.

**Ведущий.** Может, тогда и поговорим об этих и многих других, неназванных проблемах? Надо надеяться, такой конкретный разговор позволит всем участникам найти общий язык.

(Окончание в следующем номере)

© Беседу за «круглым столом» организовали и провели И. Н. Арутюнян и Г. М. Львовский.

Французская АЭС «Суперфеникс» с реактором на быстрых нейтронах, ветроэнергетические установки в Калифорнии и гелиостаты Крымской солнечной электростанции. Будущее каждого из этих способов производства энергии определяется их экономичностью, экологической чистотой и безопасностью.

# Охраняя, использовать

© В. Б. Куваев,

доктор биологических наук

Институт эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова  
АН СССР

М. Л. Шелгунова

Москва

П ОТРЕБЛЕНИЕ человечеством разнообразных природных ресурсов растет год от года. Так же обстоят дела и с лекарственными растениями: по мере развития науки в них обнаруживаются все больше полезных соединений (в 1952 г. только алкалоидов в растениях мировой флоры было известно около 700, а через 16 лет в одном СССР насчитывалось около 500) и содержащие их виды становятся сырьем для получения лекарственных препаратов. Естественно, что расширяется ассортимент необходимых медицинской промышленности растений, растут и заготовки

диких полезных трав. Так, в 1940 г. в нашей стране было заготовлено 18,4 тыс. т растительного сырья, а в 1985 — 35,8 тыс.

Запасы природного сырья скудеют, сокращаются ареалы лекарственных растений, изреживаются их популяции. Уже более 20 видов попали в «Красную книгу СССР», причем не какие-либо второстепенные для медицинских нужд, а важнейшие растения, например наперстянка шерстистая (*Digitalis lanata*), диоскорея кавказская (*Dioscorea caucasica*), женьшень (*Panax ginseng*), унгерния Виктора (*Ungernia victoris*). Эти виды сейчас или находятся под угрозой исчезновения, или пока «только» сокращается их численность. Между тем диоскорея — ценнейшее лекарственное растение, сырье

Современный и бывший ареалы горлицы весенней.



для промышленного синтеза стероидных гормонов; наперстянка — богаче других сородичей незаменяемыми в медицине сердечными гликозидами; женьшень содержит гликозиды тонизирующего действия; унгерея — источник ценного алкалоида галантамина из группы антихолинэстеразных средств, применяемых при мышечных заболеваниях — миастении, миопатии, при лечении остаточных явлений полиомиелита.

Что за причины привели к сокращению численности и ареалов полезных растений? Антропогенный пресс во всех своих проявлениях, в первую очередь — освоение природных территорий и, конечно же, неумеренные заготовки как специальными заготовительными конторами, так и частными лицами. Возьмем в качестве примера горцицвет весенний (*Adonis vernalis*), из которого готовят препараты, применяемые при сердечной недостаточности и который, кстати, мы экспортируем. Это растение лесостепей и степей не так давно занимало обширный сплошной ареал, теперь же в результате распашки степей, заготовок и других причин ареал распался на ряд неравноценных фрагментов, и дальнейшая эксплуатация каждо-

го из них с одинаковой нагрузкой может привести к уничтожению ослабленных популяций<sup>1</sup>.

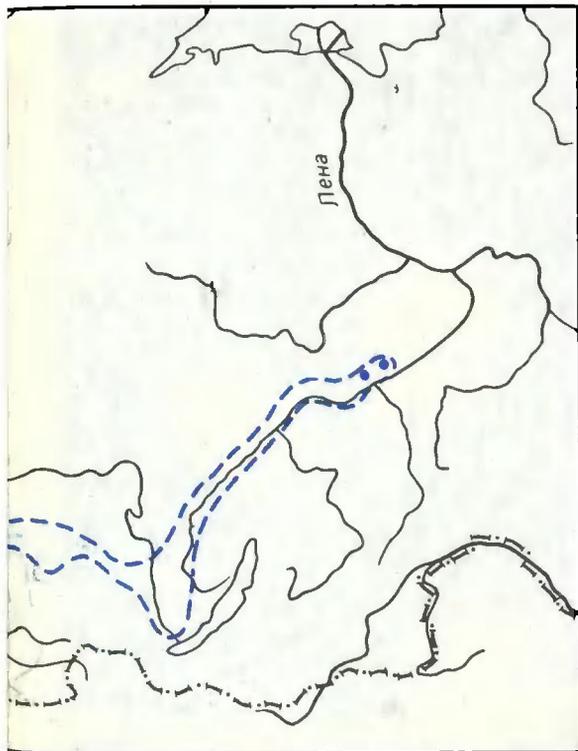
Такова судьба не одного горцицвета, но еще хуже состояние тех видов, которые находятся на периферии общего мирового ареала. Они оказались на грани исчезновения первыми.

Напрашивается вывод, что настало время отказаться от использования многих лекарственных растений, чтобы сохранить их как биологические виды, поддержать разнообразие биоты. Однако вряд ли такой отказ целесообразен, хотя мы имеем массу примеров того, как удовлетворение сиюминутных потребностей оборачивалось бедой спустя некоторое время. Сейчас действительно нет ничего, что можно было бы противопоставить эксплуатации некоторых лекарственных растений, даже редких и с сокращающейся численностью: заменить приготавливаемые из них препараты нечем, а химический синтез многих таких веществ, в том числе гликозидов наперстянок, пока не разработан. Вряд ли можно рассчитывать и на промышленное культивирование, поскольку не все виды полезных растений мы умеем выращивать на плантациях подобно сельскохозяйственным культурам, да многие и нет надобности культивировать.

Значит, нужно найти путь, который позволил бы совместить потребительские интересы с необходимостью сохранить источники растительного сырья. Бытующая среди большинства природоохранителей точка зрения проста: ставшие редкими полезные растения нужно охранять так же, как охраняют редких животных, — стоит вид объявить неприкосновенным для человека, и численность постепенно восстановится, ареал придет в прежние границы. Именно этим подходом обусловлено изъятие все большего числа видов и сообществ из эксплуатации.

Но по нашим, ботаническим, понятиям, этот метод далеко не всегда целесообразно и правомерно применять в отношении растений. Нельзя забывать, что растения — это продуценты органического вещества, «предназначенные» в пищу животным; все знают, что трава, съеденная скотом, на следующий год вырастает. Именно этим тривиальным фактом можно примирить охрану полезных растений и их эксплуатацию.

Использование растения в разумных пределах не только не препятствует, но даже способствует его процветанию. Вместо сре-



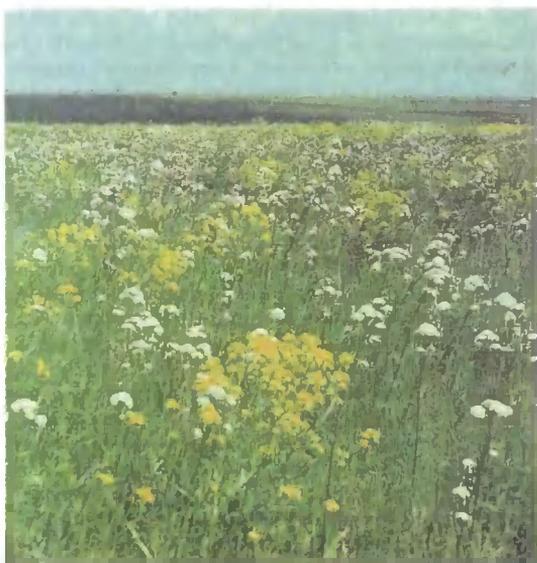
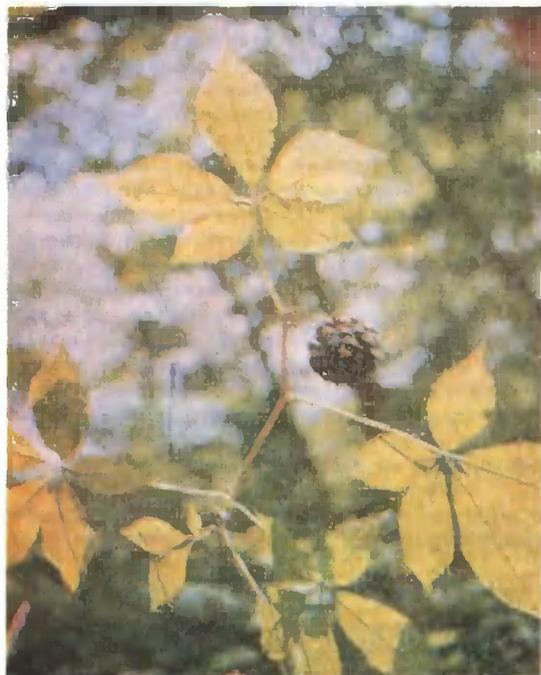
<sup>1</sup> Куваев В. Б., Денисова Л. В., Пошкурлат А. П. // Растительные ресурсы. 1981. Т. 17. Вып. 2. С. 272—281.



**Наперстянка шерстистая** — богатое сердечными гликозидами растение. Сейчас этот вид находится под угрозой исчезновения. В «Красной книге СССР».

Фото М. А. Кузнецовой.

**Элеутерококк колючий**. Он, как лимонник и женьшень, содержит гликозиды тонизирующего действия, или «гормоны адаптации».



**Заросли валерианы**. Пока ее запасы не истощены, так как большую часть сырья поставляют плантации.

**Горицвет весенний** — источник сердечных гликозидов.

Фото Л. Б. Заугольной.

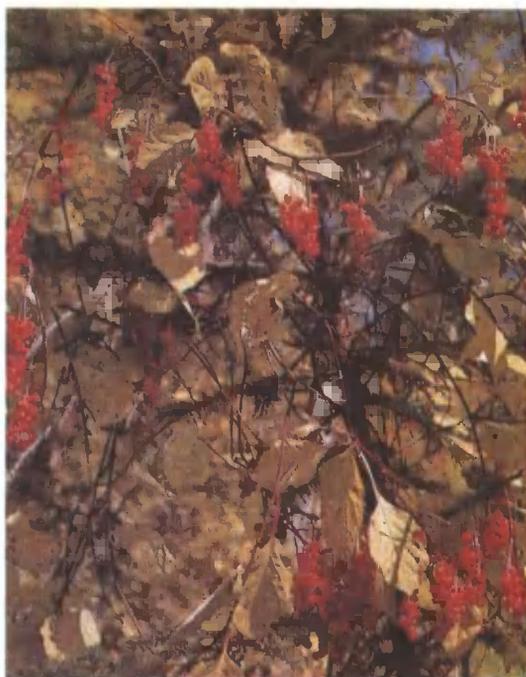




Красавка белладонна до 70-х годов служила источником алкалоидов болеутоляющего и спазмолитического действия. Вид включен в «Красную книгу СССР», но численность красавки в природе такова, что вид может быть исключен из числа охраняемых.

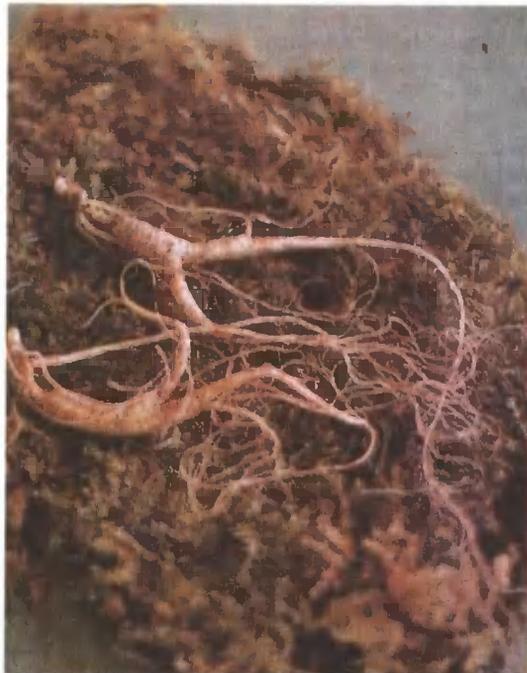
занных побегов эфедры хвощевой (*Ephedra equisetifolia*) через 2—3 года вырастают новые, более мощные. Примечательно, что в Киргизии неиспользуемые заросли эфедры находятся в худшем состоянии, чем регулярно эксплуатируемые при соблюдении правил и сроков сбора. Известен прием «омоложения плантаций» культивируемых лекарственных растений: если обрезать побеги шалфея лекарственного (*Salvia officinalis*), его рост усиливается, в результате с единицы площади удастся собрать больше сырья.

Что нужно, чтобы в практической жизни реализовать взаимоисключающие цели — сохранять и использовать лекарственные растения? В первую очередь — регламентировать места сбора растений и величину нагрузки, а для этого нужно точно картировать весь ареал каждого вида и определить численность и густоту зарослей. Задача эта не нова, запасы растительного сырья определяются экспедициями различных учреждений и ведомств. К настоящему времени ими накоплены обширные, но весьма пестрые данные по запасам отдельных видов лекарственных растений в разных областях СССР. Однако эти данные малодоступны для общей оценки, так как сведения расплывлены по разным источникам и ведомствам. Координировать результаты оценок мог бы Межведомственный совет по изучению,



Лимонник китайский — деревянистая лиана Дальнего Востока, содержащая гликозиды тонизирующего действия.

Корень женьшеня настоящего. Он издавна применялся в традиционной восточной медицине как тонизирующее средство. Вид под угрозой исчезновения, включен в «Красную книгу СССР».



рациональному использованию и охране ресурсов дикорастущих лекарственных растений, но он почему-то в последнее время бездействует. Правда, данные, полученные по прежним методикам учета сырьевых запасов, не дают о них истинного представления, поскольку не учтена структура ареалов.

Для чего нужно знать структуру, а не просто границы ареалов? Известно, что на периферии области своего распространения каждый вид довольно редок, заготовки здесь могут привести к его быстрому уничтожению. Но в ареале есть пространства с наиболее благоприятными условиями жизни растения, на таких участках его популяции многочисленны, вид доминирует в растительных сообществах (фитоценозах). В таких местах, названных одним из авторов статьи (В. Б. Куваевым) ценоареалом (часть ареала, где вид играет важную роль в фитоценозе), вид процветает и легко восстанавливается. Именно в ценоареале заготовки сырья наиболее выгодны экономически и наносят виду наименьший ущерб.

Чтобы восполнить пробел в оценке запасов лекарственных растений, от традиционного сплошного картирования полных ареалов нужно перейти к картированию ценоареалов. Одно из условий щадящей эксплуатации полезных растений — выявление промысловых запасов, а они целиком уместаются в ценоареале. Выявить его контур гораздо проще, быстрее и, следовательно, дешевле, чем составить карту всей территории, на которой распространено то или иное растение — ведь для этого приходится перекрывать ее сплошной сетью маршрутов по учету вида.

Сейчас выявлены и включены в Атлас ценоареалы немногим более 30 видов лекарственных растений<sup>3</sup>. Это лишь мизерная часть столь необходимой работы. К сожалению, картирование ценоареалов идет слишком медленно, заготовки планируются и вне их — там, где легко подорвать существование популяций с малой жизнеспособностью. На самом деле положение усугубляется еще и тем, что в уже известных ценоареалах растения изрежены интенсивными заготовками или вовсе погибли из-за распашки земель. Значит, чтобы определить эксплуатационную нагрузку, нужно составлять новые карты. Фактически для пользы дела этим нужно заниматься постоянно,

чтобы регулировать количество заготавливаемого сырья и не подрывать запасов растений. Это трудоемко и недешево, если картировать даже только ценоареалы, но прежним методом, т. е. учитывать растения во время наземных маршрутов. Сейчас довольно широко используются дистанционные методы учета — космические и аэрофотосъемки, но в картировании и оценке запасов полезных растений они применяются чрезвычайно мало.

Для этого есть и объективные причины, ведь для дешифровки фотоснимков нужны характерные для каждого вида лекарственных растений маркеры, например специфичная зона спектра. А если неизвестно, что может служить маркером, идентифицировать вид на снимке нельзя. Значит, эту область исследований необходимо активно развивать. Между тем заросли некоторых лекарственных растений, например эфедры, можно было бы выявить уже сейчас на имеющихся космических и аэрофотоснимках. Правда, сделать это можно не по специальным маркерам, а полагаясь на искусство дешифровщика, предвременно ознакомленного ботаниками с некоторыми зарослями эфедры в природе. Заметим, что такой способ годится пока лишь для единичных видов из-за дороговизны снимков, крайней сложности их приобретения, хранения и использования (такие снимки, как и крупномасштабные карты, у нас засекречены). Можно даже понять, что руководители учреждений, занимающихся оценкой растительных ресурсов, не горят желанием участвовать в работах с такими снимками. Мы надеемся, что выявление маркеров не заставит себя долго ждать, а снимки станут доступными специалистам-ресурсоведам, иначе могут иссякнуть запасы необходимейшего растительного сырья, а при непомерных сборах и сами виды окажутся на грани исчезновения.

Чтобы эксплуатация диких лекарственных растений была щадящей, кроме скорейшего выявления их природных запасов любым из описанных методов очень важно закрепить территории за заготовителями; «облагораживать» естественные заросли, высеивая или высаживая растения для восстановления подорванных заготовками популяций. Необходимо также вводить в культуру и выращивать ценные лекарственные растения на плантациях, тогда можно будет сочетать заготовки в природе и на плантациях и, следовательно, снизить нагрузку на дикие заросли.

Безусловно, все это стоит большого труда и затрат, но окупится нашим здо-

<sup>2</sup> Куваев В. Б. // Ботан. журн. 1965. Т. 50. № 8. С. 1121—1126.

<sup>3</sup> Атлас ареалов и ресурсов лекарственных растений СССР. М., 1976; 1983.

ровьем и сохранит природное разнообразие растений<sup>4</sup>. Не все придется начинать с нуля, кое в чем уже накоплен опыт, существуют и плантации, правда, не столь обширные, как нужно бы. Разработкой методов культивирования полезных растений занимаются во Всесоюзном научно-исследовательском институте лекарственных растений, в ботанических садах; биотехнологами разработан метод культивирования клеток женьшеня, теперь активно используемых в парфюмерии.

Итак, состояние многих видов лекарственных растений уже подорвано заготовками и иными антропогенными воздействиями, в результате одни виды официально исключены из медицинского использования (например желтая горечавка, ятрышники), а другие внесены в Красные книги (Союзную и республиканские) и, следовательно, не должны эксплуатироваться (диоскорея кавказская, женьшень и другие). В Красных книгах сейчас 52 вида, а общее число видов лекарственных растений отечественной флоры составляет около 230.

Любой вид, внесенный в Красные книги, не должен использоваться, но с лекарственными растениями это не совсем так. Например, женьшень и арнику горную продолжают заготавливать (лишь ежегодно согласовывался объем заготовок с бывшим Госагропромом), значит, закон об охране нарушается. Мы предлагаем компромисс между законом и удовлетворением потребностей в лекарственном сырье (специально для полезных диких растений ввести в Красной книге еще две категории (помимо пяти существующих)).

Первая из них, — это виды, нуждающиеся во временной охране. Сюда следует отнести растения, запасы которых истощены на всей основной площади распространения, но могут быть восстановлены за не-

сколько лет. К этой категории относятся 6 видов, в том числе арника горная, уже находящаяся в «Красной книге СССР». Если запретить заготовки арники на 2—3 года, ее численность увеличится, вид можно будет исключить из списка охраняемых и эксплуатировать, не нарушая закона.

Вторая категория — виды, нуждающиеся в частичной охране, т. е. не по всему ареалу, а только в тех областях страны, где их запасы подорваны заготовками. Таких видов 20, большинства их в Красных книгах нет. Это, например, тот же горцичет весенний: сейчас его можно заготавливать, не опасаясь за сохранность, только в нескольких регионах страны — Башкирской АССР, Белгородской, Воронежской, Куйбышевской, Курганской, Челябинской и Кемеровской областях. В Красной книге должны быть перечислены области, в которых эксплуатация запрещается.

Таким образом, в Красные книги следует внести 63 вида лекарственных растений, а не 52, которые значатся в них теперь (и вопреки закону часть из них продолжает эксплуатироваться). Пока мы не нашли поддержки в Госагропроме по выделению еще двух категорий полезных растений в Красных книгах и включению в них дополнительных видов. Руководство Госагропрома считает, что такие виды, как горцичет весенний, например, можно заготавливать везде и до той поры, пока состояние вида на всем ареале не будет соответствовать одной из пяти общепризнанных сейчас категорий.

Итак, судьба многих лекарственных растений, даже тех, запасы которых пока богаты, может оказаться трагичной при неумеренных, ничем не регламентированных заготовках. Видимо, не за горами время, когда ставшие редкими растения будет запрещено применять в медицине (подобно горечавке желтой). Это обернется бедой не только для здоровья людей, но и для разнообразия биосферы. Избежать этого можно, если сочетать различные формы разумной эксплуатации и охраны полезных растений.

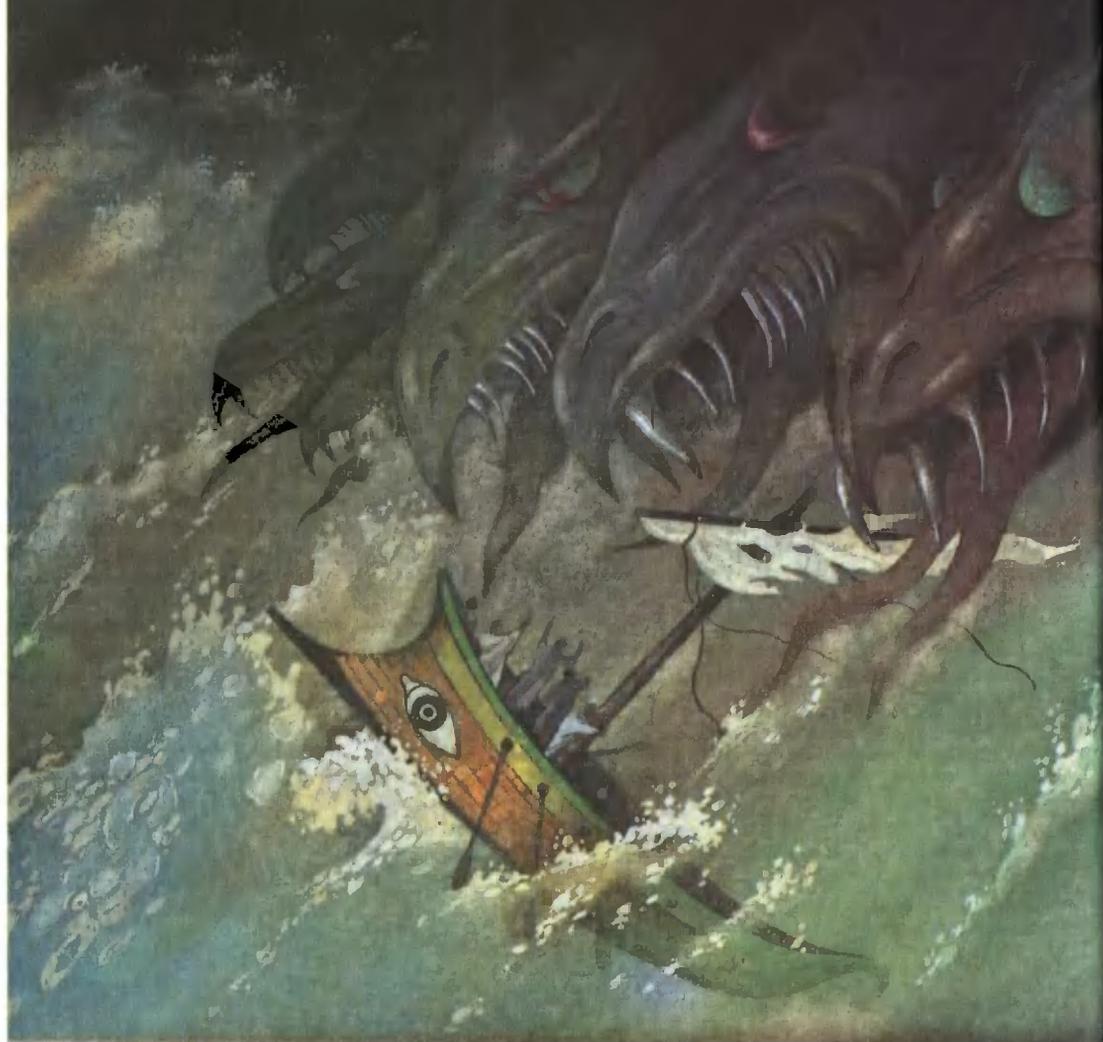
<sup>4</sup> Наша страна, испытывающая острую нужду в лекарственных травах и препаратах из них, экспортирует лекарственное сырье. Сейчас спрос на него особенно высок, поскольку во многих странах ведется активный поиск так называемых адаптогенов, или «гормонов адаптации». Наибольший интерес проявляют зарубежные фармацевтические фирмы к гликозидам из лимонника, элеутерококка, женьшеня. Может быть, поэтому ДВО АН СССР обещает японским партнерам препараты из женьшеня, лимонника и многих других видов лекарственных растений, а кооператив «Универсал» берется снабжать зарубежные фирмы 34 видами полезных растений? Трудно представить, что поставщики будут сначала осваивать методы оценки растительных запасов, составлять карты ценоареалов и в соответствии с правилами и сроками сбора будут вести заготовки, не превышая эксплуатационной нагрузки. (Прим. ред.)

# МИФЫ, ГИПОТЕЗЫ, РЕАЛЬНОСТЬ

И сегодня окружающий нас мир остается полон таинственных явлений; корабль, бесследно исчезнувший в Бермудском треугольнике, чудовище озера Лох-Несс, неопознанный летающий объект, замеченный тысячами очевидцев. . . По-видимому, каждое из таких сообщений основано на реальном событии, однако как трудно, а порой и невозможно добраться до этой реальности сквозь нагромождение сенсационных слухов, распространяющихся подчас со "сверхсветовой" скоростью.

Еще труднее выявить основу древних мифов, созданных воображением людей, бессильных перед непонятым им всемогуществом природы. Однако и за такими мифами нередко стоит мир природных явлений, распознавать которые хотя и трудно, но все же удается.

В одной из предлагаемых вниманию читателей статей предпринята попытка дать научное объяснение древнегреческому мифу о Сцилле и Харибде; в другой — "Исчезнувшие корабли" — мы продолжаем обсуждать гипотезы, объясняющие "загадку Бермудского треугольника".



© И.А. Лейкин **Сцилла и Харибда:**  
**от мифа**  
**к физической модели**



Илья Аронович Лейкин, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР. Занимается экспериментальными исследованиями морского ветрового волнения применительно к задачам дистанционного зондирования. Участник многих морских экспедиций.

**В** ПОСЛЕДНИЕ годы бурное развитие спутниковых методов наблюдений вызвало повышенный интерес океанологов к явлениям на поверхности океана<sup>1</sup>. Одно из таких явлений — сулой, представляющий собой необычно возбужденное состояние водной поверхности. Хотя сулой известен с глубокой древности и широко распространен, оказалось, что физические механизмы его возникновения до сих пор не вполне ясны.

Мы расскажем об этом любопытнейшем и загадочном явлении, начиная от мифа о Сцилле и Харибде (который, по-видимому, представляет собой древнейшее описание сулой) до результатов недавней экспедиции в Белое море, где впервые было проведено инструментальное исследование одного из типов сулой, позволившее предложить его физическую модель.

#### СУЛОЙ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ МОРЕПЛАВАТЕЛЕЙ

Морскую поверхность мы обычно представляем себе в виде бесконечной череды набегающих на берег волн; реже это штилевая поверхность, чуть покачиваемая волнами зыби, либо, напротив, громадные валы, обрушивающиеся на прибрежные скалы при шторме. Все это, так сказать, нормальные состояния поверхности моря, и их общая черта — пространственная однородность наблюдаемой картины. Сулой же относится к аномальным явлениям, при которых некоторые участки водной поверхности резко отличаются (прежде всего, визуально) от окружающего фона. Волнение в зоне сулой представляет собой беспорядочные крутые всплески (в отличие от сравнительно упорядоченного движения обычных морских волн такое волнение называется «толчея»), а поверхность напоминает кипящую воду и часто издает характерный шипящий звук, слышимый на большом расстоянии. Как пра-

<sup>1</sup> Монин А. С., Красицкий В. П. Явления на поверхности океана. Л., 1985; Федоров К. Н., Гинзбург А. И. Поверхностный слой океана. Л., 1988.

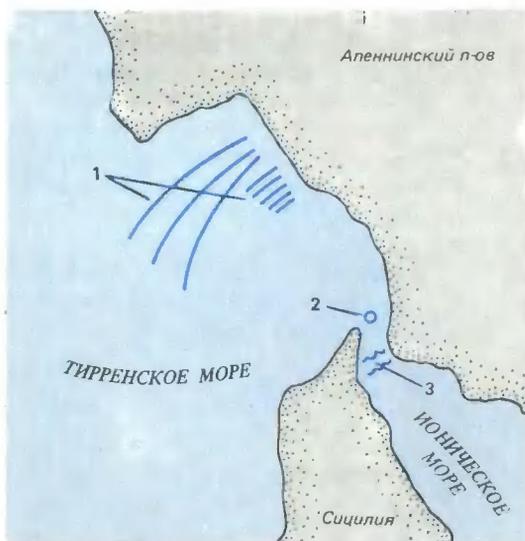
вило, сулой сопровождается небольшими, до нескольких метров, водоворотами.

Зона сулой обычно имеет вид вытянутой полосы, реже — обширного пятна неправильной формы и, как правило, неподвижна относительно береговой черты или особенностей рельефа дна, но может перемещаться в пространстве, иногда в зависимости от фазы прилива. Эта зона хорошо видна не только визуально, но и на экране судового радиолокатора и даже может быть принята за остров.

Условия образования сулой разнообразны. Так, в некоторых местах сулой возникает только при сильном ветре, направленном навстречу приливному течению, в других же наблюдается и при полном штиле. Однако во всех случаях для возникновения сулой необходимо сильное течение. При этом сулой может образоваться в местах соединения ветвей приливного течения или на границе течений, в устье крупной реки, при обтекании течением (постоянным или приливным) островов, мысов и отмелей. Поскольку скорость приливных течений в прибрежных мелководных районах с изрезанной береговой чертой часто достигает 2—3 м/с, что намного превышает скорости постоянных течений, то сулой и отмечается чаще всего именно в таких районах.

Связь сулой с сильным течением проявляется в немецком эквиваленте слова «сулой» — "Stromkabelung" (противоборство течений). Соответствующие английские выражения "current rip" и "tide rip" также содержат упоминание о течении (current) или приливе (tide). Русское слово «сулой» (реже — «сувой») имеет поморское происхождение и возникло применительно к специфическим явлениям в Белом море. В лоции Белого моря<sup>2</sup> и словаре местных поморских выражений говорится: «Сулой (сувой) — всплески, водовороты и толчея от встречи двух противоположных течений или от ветра и течения».

Разнообразие проявлений сулой не только объясняет определенную противоречивость трактовки термина «сулой» в различных источниках, но и приводит к тому, что зачастую этим термином описывают явления разной физической природы. Возможно, именно этим объясняется то обстоятельство, что до настоящего времени сулой как физическое явление остается малоизученным, а имеющиеся единичные публикации носят преимущественно описательный характер и основаны на визуальных наблюдениях



Упрощенная схема поверхностных явлений в Мессинском проливе, различимых на радиолокационном изображении, полученном с ИСЗ "Seasat": 1 — следы внутренних волн; 2 — вихрь «Харибда»; 3 — полосы тальи (по Alpers W., Salusti E., 1983).

мореплавателей. Так, недавно К. Н. Федоров и А. И. Гинзбург, проанализировав такого рода данные, впервые построили глобальную карту аномальных состояний поверхности океана<sup>3</sup>, согласно которой сулой весьма распространен и встречается в Белом, Охотском и Беринговом морях, в районе Зондских о-вов, у побережья Западной Африки и т. д.

Во многих из этих мест высота волн в сулой может достигать 4—5 м; в сочетании с сильными и изменчивыми течениями и водоворотами это делает зону сулой весьма опасной для плавания малых судов и в наше время. Неудивительно, что древние мореплаватели, осваивавшие прибрежную часть морей на парусных судах, приписывали этому загадочному и грозному явлению природы божественный характер. По-видимому, именно явление типа сулой описано в известном мифе о Сцилле и Харибде.

#### СЦИЛЛА И ХАРИБДА — ДРЕВНЕЙШЕЕ ОПИСАНИЕ СУЛОЯ

Напомним, что в греческой мифологии Сцилла и Харибда — это два чудовища, жившие по обеим сторонам узкого морского

<sup>2</sup> Лоция Белого моря. Гидрографическое управление ВМС СССР. 1954.

<sup>3</sup> Федоров К. Н., Гинзбург А. И. // Океанология. 1986. Т. XXVI. Вып. 1. С. 5—14.

пролива и губившие всех проплывавших мимо. Выражение «оказаться между Сциллой и Харибдой» до сих пор означает подвергаться двум равносерьезным опасностям. Вот как описывает этих чудовищ богиня Цирцея, рассказывая Одиссею об ожидающих его в плавании опасностях (Гомер, «Одиссея», пер. В. Жуковского, песнь 12, строки 73—107):

После ты две повстречаешь скалы: до  
широкого неба  
Острой вершиной восходит одна, облака  
окушают  
Темногущенные ту высоту, никогда  
не редя.  
Там никогда не бывает ни летом, ни осенью  
светел  
Воздух; туда не взойдет и оттоль не сойдет  
ни единый  
Смертный, хотя б с двадцатью был руками  
и двадцать  
Ног бы имел,— столь ужасно, как будто  
обтесанный, гладок  
Камень скалы; и на самой ее середине  
пещера,  
Темным жерлом обращенная к мраку  
Эреба на запад;  
Мимо нее ты пройдешь с кораблем,  
Одиссей многославный;  
Даже и сильный стрелок не достигнет  
направленной с моря  
Быстролетающей стрелою до входа высокой  
пещеры;  
Страшная Сцилла живет искони там.  
Без умолку лая,  
Визгом пронзительным, визгу щенка  
молдого подобным,  
Всю оглашает окрестность чудовище. К ней  
приближаться  
Страшно не людям одним, но и самым  
бессмертным. Двенадцать  
Двигается спереди лап у нее; на плечах же  
косматых  
Шесть подымается длинных, изгибистых  
шей; и на каждой  
Шее торчит голова, а на челюстях в три  
ряда зубы,  
Частые, острые, полные черною смертью,  
сверкают;  
.....  
Мимо ее ни один мореходец не мог  
невредимо  
С легким пройти кораблем: все зубастые  
пасти разинув  
Разом она по шести человек с корабля  
похищает.  
Близко увидишь другую скалу, Одиссей  
многославный:  
Ниже она; отстоит же от первой на выстрел  
из лука.  
Дико растет на скале той смоковница  
с сенью широкой.  
Страшно все море под тою скалою  
тревожит Харибда,  
Три раза в день поглощая и три раза в день  
извергая



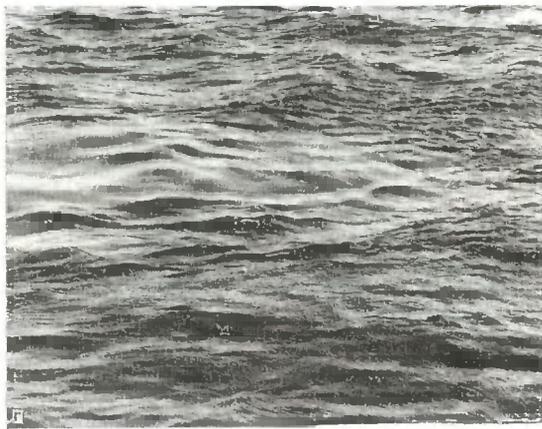
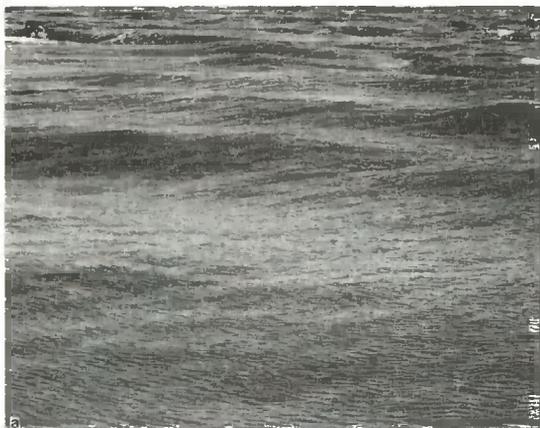
Район исследования сулоя (помечен крестиком) в Беломорской экспедиции.

Черную влагу. Не смей приближаться, когда  
поглощает:  
Сам Посейдон от погибели верной тогда  
не избавит.

Что же легло в основу этого мифа? Местом обитания Сциллы и Харибды (еще с античности) считается Мессинский пролив, расположенный между Сицилией и Апеннинским п-овом. Однако только в 20-е годы нашего столетия была детально исследована гидрология этого пролива и выяснены причины наблюдаемых в нем необычных и опасных для небольших судов явлений<sup>4</sup>.

Мессинский пролив, ширина которого в наиболее узком месте — 4 км, а средняя глубина — 85 м, соединяет Тирренское море с Ионическим. Для приливного течения, определяющего в этом месте водообмен между морями, пролив представляет собой барьер, так как глубина по мере удаления от узкой части пролива быстро возрастает: до 300—600 м в сторону Тирренского моря и до 1300 м — в сторону Ионического. Хотя амплитуда приливных движений в районе пролива очень мала (около 10 см), приливная волна в Тирренском и Ионическом морях находится почти в противофазе: когда в одном из морей отмечается наибольший уровень воды (прилив), в соседнем — наименьший уровень (отлив), и наоборот. В результате на участке пролива всего в 3 км наклон

<sup>4</sup> Alpers W., Salusti E. // J. Geophys. Res. 1983. Vol. 88. № 3. P. 1800—1808.



Характерные проявления сулоя: а — полоса обрушения, на переднем плане — переходная зона; б — толчея («кипящая вода»); в — водоворот; г — пятно выглаживания, маслянисто-гладкая поверхность которого контрастно выделяется на фоне слабой толчеи.

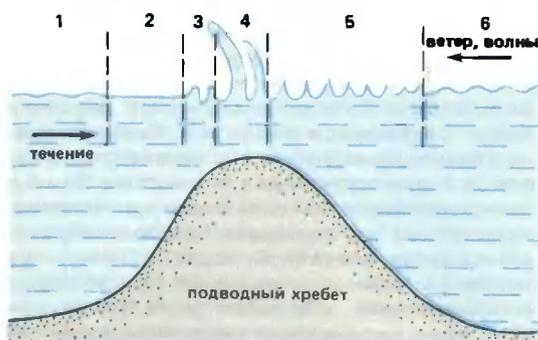
водной поверхности достигает 1—2 см/км, что приводит к очень сильному (до 2,8 м/с) приливному течению. Быстрое течение в сочетании со специфическим рельефом дна и береговой черты и является причиной возникновения нескольких водоворотов, из которых два наиболее мощных известны с глубиной древности и называются Сцилла и Харибда.

При смене направления течения через пролив (начальная стадия прилива либо отлива) течение на некоторое время становится двухслойным: более соленые (и потому более тяжелые) воды Ионического моря «подтекают» под движущиеся навстречу менее соленые (более легкие) воды Тирренского моря или наоборот. При этом на поверхности пролива вблизи линии, разделяющей потоки с противоположным направлением

движения, образуются (даже при слабом ветре) две или три полосы толчеи с крутыми всплесками, которые медленно, со скоростью 0,5—2,5 м/с, продвигаются по проливу. Местные жители называют это явление тальи (tagli).

Вернемся теперь к рассказу Цирцеи. Нетрудно заключить, что Харибда — это морской водоворот приливного происхождения. То обстоятельство, что мифологическая Харибда извергает (или поглощает) воды три раза в день, а не четыре, как это должно быть для наблюдаемого в Мессинском проливе полусуточного (т. е. повторяющегося дважды в сутки) прилива, легко объяснимо: древние греки плавали в проливе только в светлое время суток, а ночной прилив (отлив) оставался ими незамеченным.

Что же касается Сциллы, то это чудовище, по-видимому, символизирует смертельный ужас мореплавателей перед необычно крутыми волнами типа толчеи, которые внезапно обрушивались на легкие суденышки, смывая с палубы людей. Как было отмечено выше, такие волны (хотя и не



Пространственная схема фронтального сулоя (разрез в направлении, перпендикулярном фронту сулоя): 1 и 6 — фоновое ветровое волнение; 2 — зона спокойной воды; 3 — переходная область; 4 — полоса обрушений; 5 — толчея, Ветровые волны движутся из глубоководной области в область с резким уменьшением глубины и соответствующим возрастанием скорости встречного приливного течения, которое становится для них непреодолимой преградой.

столь ужасные) действительно наблюдаются в Мессинском проливе (талы), и хотя в наше время оба названия — Сцилла и Харибда — используются для обозначения водоворотов, анализ текста «Одиссеи» не оставляет сомнений, что в нем идет речь о двух совершенно различных явлениях. Возможно также, что образ Сциллы является собирательным и навеян аналогичными явлениями в других известных древним грекам морях.

### ЭКСПЕДИЦИЯ В БЕЛОЕ МОРЕ

Теперь, ознакомившись в общих чертах с сулоем, перейдем к описанию одного из его классических типов, который был исследован летом<sup>5</sup> 1983 г. экспедицией на судне «Шельф», организованной Институтом океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР под руководством Г. И. Баренблатта<sup>5</sup>.

Для изучения сулоя был выбран один из мелководных районов Белого моря, расположенный между Соловецкими о-вами и мысом Летний Орлов. В этом районе — хорошо известном по лоции месте возникновения сулоя — отмечаются правильные полусуточные приливы. Глубина моря, достигающая здесь 40—50 м, уменьшается над банками до 5—10 м, Описываемые ниже

наблюдения проводились при слабом ветре (от штиля до 7—8 м/с) и волнении моря до 4 баллов и охватывали участок вблизи вытянутой почти перпендикулярно к направлению приливного течения протяженной банки, глубина над которой составляла 10 м. Наблюдения включали измерения: скорости приливного течения; рельефа дна судовым эхолотом; морского волнения с помощью волнографа, установленного на дрейфующем по течению буе.

Каким же предстал перед нами сулой? При общем взгляде на поверхность моря прежде всего выделяются две четко разграниченные области: более спокойной (по сравнению с фоновым ветровым волнением) и более возбужденной поверхности, причем приливное течение всегда направлено от спокойной области к возбужденной. Наличие границы (фронта) между этими областями определило выбор названия для сулоя такого типа — фронтальный. На этой границе привлекает внимание **полоса обрушений**. Она образована крутыми обрушивающимися волнами (высотой 1—2 м) и напоминает прибой на отлогом берегу. Протяженность этой полосы вдоль фронта достигала нескольких километров при ширине 50—100 м. Выше по течению располагается узкая **переходная зона**, которую образуют пологие волны, затухающие с удалением от полосы обрушений и как бы набегающие на обширную **зону спокойной воды**. Ниже по течению от полосы обрушений располагается еще более обширная **зона толчеи**, в тыловой части которой встречаются **водовороты** (диаметром до нескольких метров) и **пятна выглаживания** — контрастно выделяющиеся среди бушующей толчеи пятна спокойной, как бы маслянистой воды. По мере удаления от фронта сулоя пятна выглаживания постепенно расширяются, образуя более протяженные **слики** (участки с сильно ослабленным волнением). Постепенно интенсивность толчеи падает и волнение плавно переходит в фоновое.

Исследуемый сулой повторялся четыре раза в сутки и сохранялся в неизменном виде до трех часов. В период между сулоями на этом месте наблюдалась лишь протяженная полоса чуть более возбужденной поверхности.

Анализ данных о течении и рельефе дна показал, что, во-первых, сулой всегда имеет место во время установившегося по направлению приливного (либо отливного) течения и, во-вторых, его фронт (полоса обрушений) всегда располагается непосредственно над подводным хребтом. Учитывая, что почти во всех исследованных случаях

<sup>5</sup> Баренблатт Г. И., Лейкин И. А., Казьмина А. С. и др. // Доклады АН СССР. 1985. Т. 281, № 6. С. 1435—1439; Лейкин И. А. // Известия АН СССР. Сер. «Физика атмосферы и океана». 1987. Т. 23, № 1. С. 52—58.

направление ветровых волн и течения было противоположным, можно представить следующую схему фронтального сулоя: ветровые волны движутся навстречу течению из глубоководной области, где скорость течения сравнительно невелика (по нашим данным, 0,25—0,5 м/с), к области с резким уменьшением глубины и соответствующим возрастанием скорости течения (до 2 м/с в одном из наблюдений). Здесь, над подводным хребтом, волны встречают какую-то преграду, которая не позволяет им продвигаться выше по течению и вызывает обрушение гребней.

По нашим измерениям, длина ветровых волн  $\lambda$  во всех случаях не превышала 10 м, и, следовательно, даже над банкой сохраняются условия глубокой воды (волны не чувствуют дно, если глубина превышает половину длины волны). Поэтому подводный хребет не должен оказывать непосредственного влияния на волны, он только увеличивает локальную скорость приливного течения. Это сильное течение и служит, как мы увидим, преградой для ветровых волн.

Рассмотрение задачи о трансформации поверхностных волн на горизонтально-неоднородном течении показывает: если гравитационная поверхностная волна распространяется в область с плавно нарастающей вдоль трассы скоростью течения  $V$ , то частота волны  $\Omega$  в неподвижной системе отсчета сохраняется, волновое число  $k=2\pi/\lambda$  увеличивается в соответствии с дисперсионным соотношением  $\Omega=\omega-kV$  (где  $\omega=-(gk)^{1/2}$  — частота волн в системе отсчета, связанной с течением,  $g$  — ускорение свободного падения), а групповая скорость волн, т. е. скорость переноса энергии, уменьшается. При достижении скоростью течения некоторого критического значения  $V_{кр} = g/4\Omega$  групповая скорость волны падает до нуля, дальнейшее распространение волны становится невозможным и происходит блокировка — остановка и отражение волны. Кроме того, с возрастанием скорости течения увеличивается также амплитуда волны  $A$ , что в связи с одновременным увеличением волнового числа  $k$  приводит к быстрому росту крутизны волны  $\varepsilon=Ak$ . В результате еще до блокировки может произойти потеря устойчивости гребня волны и его обрушение.

Реальное морское волнение имеет целый спектр волновых компонент с различными частотами  $\Omega_i$  и направлениями движения. Если предположить, что все спектральные компоненты однонаправлены (что вполне допустимо для энергонесущих составляющих волнения) и распространяются

при возрастающем встречном течении, то для каждой из этих составляющих справедлива рассмотренная выше схема трансформации волны. Поэтому по мере продвижения навстречу течению в спектре волнения будут сохраняться лишь все более низкочастотные компоненты, и, наконец, в некоторой точке произойдет блокировка самого низкочастотного из них. Выше по течению, куда волны не проходят, должна образоваться зона спокойной воды, а ниже, где наряду с прямыми волнами присутствуют и отраженные, возникнет зона толчеи — как из-за возрастания крутизны волн на встречном течении, так и из-за интерференции прямых и отраженных волн.

Сопоставив результаты измерений волнения с данными о течении, мы убедились, что зарегистрированная над банкой скорость течения вполне достаточна для обрушения, а затем и для блокировки наблюдавшихся ветровых волн.

Особый интерес представляли частотные спектры волнения в зоне толчеи. Независимо от причин, приводящих к возникновению этого характерного для сулоя явления, можно предположить, что в зоне толчеи спектр волн  $S(\omega)$  в системе отсчета, связанной с потоком (а именно в такой системе измерялось волнение дрейфующим по течению буем), должен определяться только самой частотой  $\omega$  и ускорением свободного падения  $g$ , определяющим опрокидывание гребней волн. Анализ размерностей приводит при этом к известному океанологам спектру Филлипса:  $S(\omega)=\beta g \omega^{-5}$  ( $\beta=1,2 \cdot 10^{-2}$  — безразмерная константа), предложенному первоначально для описания равновесного (т. е. не зависящего от волнообразующих факторов) интервала в спектре развитых ветровых волн. В измеренных нами спектрах толчеи действительно обнаружен обширный интервал, соответствующий закону « $\omega^{-5}$ », что подтвердило сделанное выше предположение.

Эффект блокировки должен иметь место и при совпадающем направлении волн и течения, хотя и с некоторыми отличиями; возникающая при этом толчея должна, согласно расчетам, располагаться ниже по течению относительно подводного хребта, что соответствует нашим немногочисленным наблюдениям.

Необходимо отметить, что специфические поверхностные волны в зоне сулоя могут быть вызваны, возможно, и другими причинами, например за счет формирования волн на свободной поверхности при обтекании подводного препятствия. Такого типа

волны нетрудно заметить в ручье или небольшой речке над лежащим на дне камнем. Однако применительно к интересующему нас случаю, когда размеры препятствия (хребта) соизмеримы с глубиной потока, оценить значимость этого эффекта и параметры возникающих волн довольно трудно.

В целом же нам представляется, что механизм возникновения сулоя за счет трансформации поверхностных волн на горизонтально-неоднородном течении является определяющим как в исследованном нами случае, так и в других часто встречающихся ситуациях, когда ветровые волны или волны зыби попадают в область с изменяющимся вдоль трассы течением.

В заключение отметим, что происхождение ряда поверхностных явлений, типичных для сулоя и отмеченных в наших наблюдениях, пока остается неисследованным, хотя некоторые предположения на этот счет

можно высказать. Так, при скорости течения и неровностях рельефа дна, характерных для обтекания в районе измерений, за хребтом должна возникать система вихрей, которые, по-видимому, и проявляются на поверхности в виде водоворотов. При той стратификации, которая типична для Белого моря в летний период, холодная вода снизу может засасываться этими вихрями; свидетельством тому служит отмеченное нами изменение в этих местах цвета воды и вынос на поверхность глубинных водорослей, а также выпадение тумана. Возникающая при выносе на поверхность более тяжелых глубинных вод неустойчивость может привести к турбулизации возникающей конвекции. В свою очередь, турбулентная область может отбирать энергию волн, что, возможно, и обуславливает появление на поверхности пятен выглаживания. Выяснение всех этих вопросов требует дальнейших натуральных исследований.

## Исчезнувшие корабли

© **А. Н. Павлов**, кандидат технических наук  
**А. В. Топорков**, инженер  
г. Белгород

**С** ОГЛАСНО статистическим данным, ежегодно в морях и океанах гибнет свыше 200 кораблей водоизмещением более 8000 т каждый, причем обстоятельства гибели многих из них остаются неизвестными — некоторые просто «исчезают», например такой гигант, как нефтерудовоз «Берге Ванга».

По нашему мнению, причиной исчезновения кораблей может служить следующее. На дне океана или моря возникают условия, при которых активно выделяется какой-либо газ ( $\text{CO}_2$  или  $\text{CH}_4$ ). В местах его выхода плотность воды за счет высокой концентрации газа уменьшается на 20—30 %, вследствие чего на столько же уменьшается запас плавучести кораблей, рассчитанных, как правило, на плотность воды не менее  $1 \text{ г/см}^3$ , — в итоге они быстро погружаются в жидкость, перенасыщенную газом.

Одна из причин выделения газов на дне океанов и морей — открытое в 1961 г. советскими учеными во главе с А. А. Трофимуком и Н. В. Черс-

ким свойство природных газов образовывать в земной коре залежи, находящиеся в твердом газогидратном состоянии<sup>1</sup>, причем один объем воды в гидратном состоянии связывает до 220 объемов газа. Газогидратные залежи расположены не только под слоем вечномерзлых пород, но и под дном Мирового океана, где давления достигают 20—30 МПа. Важная особенность этих залежей — их бурный переход из твердого в газообразное состояние при повышении температуры, снижении давления или наличии катализатора, ускоряющего освобождение молекул газа. В районах с активной вулканической и тектонической деятельностью под дном океана всегда могут сформироваться такие условия для внезапного превращения твердых газогидратных залежей в газообразные с последующим интенсивным выходом газа из воды при весь-

ма высоких давлениях на дне, снижающихся по мере подъема газа.

Обильное образование газов на дне океана может происходить и при соприкосновении с морской водой выделяющейся горячей магмы: в этом случае (например, вдоль тектонической трещины на дне) происходит интенсивное парообразование. Очевидно, могут быть и другие источники бурного газообразования.

Поскольку заранее предсказать место и время извержения газов в океане пока невозможно, следует, по-видимому, для повышения безопасности плавания в «газоопасных» районах океана (аналогичных воздушным ямам, опасным для самолетов) технически рассчитывать корабли на плавание в водах с плотностью менее  $1 \text{ г/см}^3$ .

На наш взгляд, целесообразно поставить космический эксперимент, который позволил бы обнаружить изменения плотности морской воды, связанные с интенсивным газообразованием той или иной природы. Представляется также необходимым на основе систематизации данных об исчезнувших кораблях провести картирование потенциально газоопасных областей Мирового океана и разработку методики прогнозирования концентрации газа в этих районах.

<sup>1</sup> См., напр.: Соколов Б. А. К загадке Бермудского треугольника // Природа. 1988. № 5. С. 34—35.

# Силурийские мечехвосты на службе у человека

© А. П. Кузнецов,

доктор биологических наук

Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР  
Москва

**И**ЗУЧЕНИЕ физиологически активных веществ, получаемых из морских организмов, за последнее десятилетие стало одним из перспективных направлений фармакологии. Поиски новых источников этих чрезвычайно важных соединений приводят порой исследователей к самым неожиданным объектам и заставляет взглянуть на них по-новому.

Одним из таких организмов, привлечшим внимание био-

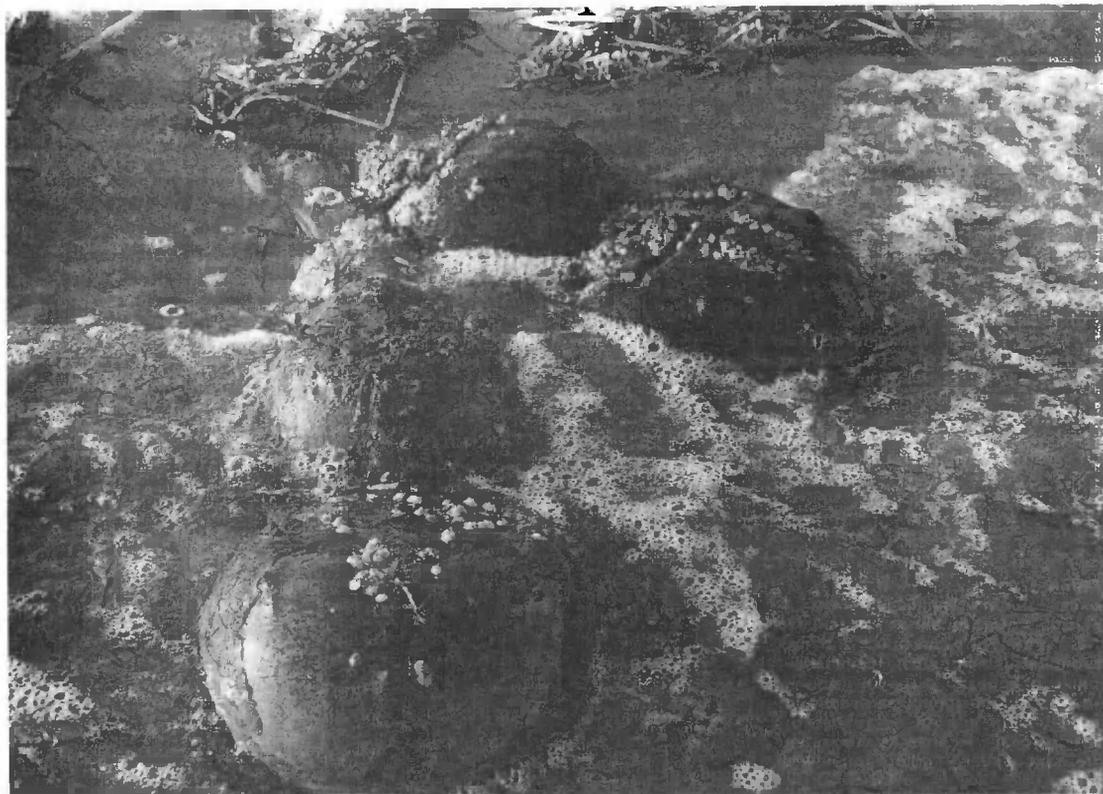
химиков и фармакологов, стали мечехвосты — древнейшие морские членистоногие, известные еще с силура и дожившие до наших дней.

До недавнего времени мечехвосты считались бесполезными или даже вредными для человека. Только в некоторых странах Юго-Восточной Азии местные жители употребляли их в пищу. В США, хотя мечехвосты и использовались издавна как добавка при производстве удобрений, они всегда считались сорным видом, мешающим лову, и потому их уничтожение даже поощрялось.

Такое отношение к этим древним беспозвоночным сохранялось до тех пор, пока из гемолимфы мечехвостов не был получен препарат, вызвавший своего рода революцию в медицине, фармакологии и санитарии США. Хотя этот препарат появился только в конце 70-х годов, создание его имеет свою давнюю историю.

Еще в 1885 г. американский исследователь В. Хауэл обнаружил, что гемолимфа североамериканского мечехвоста (*Limulus polyphemus*) сгущается в присутствии некоего, неизвестного тогда «возбудителя».

**Мечехвосты на песчаных пляжах Вудс-Хола.**

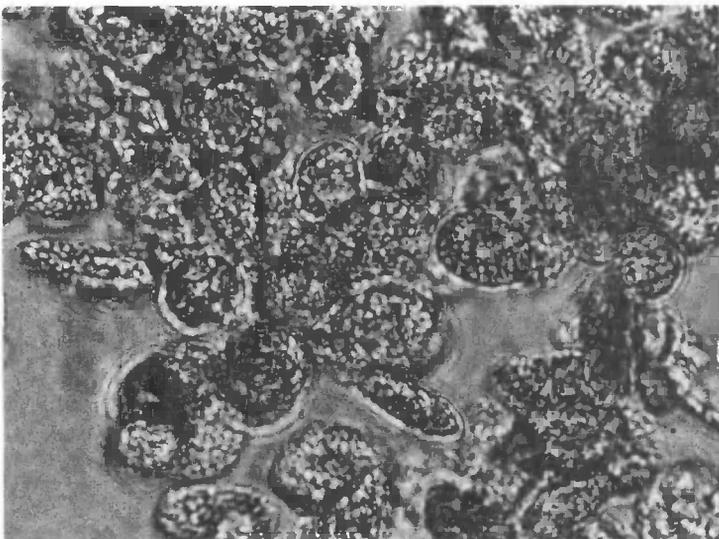


Только спустя несколько десятилетий виновник этого феномена был найден — им оказались грамотрицательные бактерии, а точнее — их эндотоксины, выделяемые при распаде бактериальной клетки. Это открытие заставило биохимиков обратиться к мечехвостам. Дело в том, что когда стало ясно, что бактериальные токсины вызывают целый ряд инфекционных заболеваний (брюшной тиф, паратифы, дизентерию и др.), возникла острая необходимость надежных способов их обнаружения.

При изучении необычной реакции гемолимфы мечехвостов на присутствие эндотоксина выяснилось, что амебоциты мечехвостов (подвижные клетки внутренней среды беспозвоночных, аналогичные лейкоцитам) обладают уникальным свойством: их клеточная плазма, так называемый лизат, чувствительна к самым ничтожным концентрациям эндотоксина. При этом содержащийся в плазме амебоцитов белок коагулоген связывает активные компоненты эндотоксинов (липополисахариды) и превращается в коагулин<sup>1</sup>.

По-видимому, такой защитный механизм против действия бактериальных эндотоксинов выработался у мечехвостов в ходе длительной эволюции. Ведь в морских прибрежных мелководьях, где обитали и обитают до сих пор мечехвосты, имеется огромное количество грамотрицательных бактерий. Так, по подсчетам американских микробиологов, в окрестностях Вудс-Хола (штат Массачусетс) — современном ареале *L. polyphemus* — в 1 мл морской воды содержится миллионы этих бактерий, а в 1 г донного грунта — миллиарды<sup>2</sup>.

Как известно, во многих странах мира в настоящее время тесты на присутствие эндотоксинов (а этот тест широко используется не только для диагностики инфекционных заболеваний, но и для определения санитар-



Амебоциты, выделенные из североамериканского мечехвоста.

ных норм в самых разных средах) проводятся на кроликах, хотя чувствительность и скорость этого метода явно недостаточны.

В 1964 г. в США были получены первые препараты из плазмы амебоцитов североамериканского мечехвоста для определения эндотоксинов, названные ЛАЛ (лизат амебоцитов лимулосов). Уже первые испытания нового препарата показали его неоспоримое преимущество перед обычным тестом: так, точный диагноз цереброспинального менингита с помощью амебоцитного лизата требует всего 10 мин, тогда как обычный анализ на кроликах занимает 36—48 ч<sup>3</sup>.

Первые партии препарата в США стали выпускать в конце 70-х годов, а с 1981 г. началось их широкое производство. В настоящее время только одна американская лаборатория (сейчас производством ЛАЛ заняты 8 ассоциаций) обрабатывает до 70 тыс. мечехвостов в год. Ловят их только весной — летом. Из гемолимфы, взятой от одной особи (1/3 общего объема жидкости) можно получить 100 доз препарата. После забора гемо-

лимфы животных выпускают в море, и через несколько дней объем взятой жидкости восстанавливается. На месте пункции у мечехвостов остается хорошо различимая метка, что позволяет вести строгий учет: особи, «сдавшие кровь», в текущем году отпускаются с миром.

В настоящее время в США эндотоксины определяют только с помощью препарата ЛАЛ. Более того, этот препарат экспортируется во многие страны Европы, Азии и Африки.

Аналогичный препарат производится и в Японии из обитающего в Японском море мечехвоста *Tachypleus tridentatus* (*Limulus longispina*). Как считают японские специалисты, их препарат по некоторым показателям даже превосходит американский, хотя выпускается он только в исследовательских целях. Япония объявила *T. tridentatus* национальным достоянием и принимает меры для увеличения его численности. Создан научный центр по изучению и разведению мечехвостов. На его базе ведутся исследования по экологии, физиологии, биохимии и генетике этого вида. Для сравнительного анализа и опытов по гибридизации изучаются также более южные виды *T. gigas*, *Carcinoscoropus rotundicaudata*.

Такой широкий интерес к силурийским беспозвоночным как источнику физиологически активного вещества понятен. Ведь разработка препаратов для

<sup>1</sup> Levin J., Bang F. B. // Bull. Johns Hopkins Hosp. 1964. Vol. 115. P. 265; Shishikura F., Nakamura S., Takahashi K. // J. Biochem. 1983. Vol. 94. P. 1279—1287.

<sup>2</sup> Novitsky T. // Oceanus. 1984. Vol. 27. № 1. P. 13—18.

<sup>3</sup> Там же.



Взятие гемолимфы.

Фото любезно предоставлены президентом Ассоциации Кейп Код Т. Новицким.

определения сверхнизких концентраций бактериальных токсинов в лекарствах, крови, пищевых продуктах, воде и других средах, а также для диагностики серьезных инфекционных заболеваний принадлежит к крупнейшим достижениям биологии последнего времени.

Очевидно, что получение аналогичного отечественного препарата из мечехвостов было бы крайне желательно, и для

этого есть все необходимые предпосылки. Нам кажется, что этот вопрос заслуживает самого пристального внимания и требует незамедлительного решения. Речь идет прежде всего о расширении областей распространения мечехвостов, их интродукции и акклиматизации в новых регионах.

Известно, что четыре современных вида мечехвостов (*L. polyphemus*, *T. tridentatus*; *T. gigas*; *C. rotundicandata*) встречаются у атлантических берегов Северной Америки, у западных берегов Японии и Тайваня, в прибрежных водах у островов и архипелагов Восточно-Китай-

ского и Южно-Китайского морей<sup>4</sup>.

Для нас, видимо, самый простой путь — акклиматизация североамериканского вида, поскольку климатические условия, биотическая и экологическая обстановка в нашей прибрежной зоне Японского моря близки к условиям естественного ареала этого вида. Кроме того, американские мечехвосты исключительно выносливы: они могут обходиться без воды несколько часов, что значительно облегчает их транспортировку. В меньшей мере это относится к японскому виду *T. tridentatus*: для него режим наших вод слишком суров, несмотря на то, что северная граница его ареала приближена к нашим водам.

При успешной акклиматизации мечехвостов возможны два варианта эксперимента: интродукция вида в прибрежную экосистему песчаных пляжей и разведение его в условиях марикультуры, что, по всей вероятности, предпочтительнее. Хотя и для интродукции, вероятно, нет особых препятствий, поскольку современное состояние и структура наших прибрежных сообществ позволяют рассчитывать, что мечехвосты не станут серьезными конкурентами местных промысловых видов и не нанесут ущерба существующим экосистемам.

Весьма перспективна также уже начатая организация советско-вьетнамского исследовательского центра на базе *T. gigas*, вьетнамских популяций мечехвостов<sup>5</sup>. И хотя численность юго-восточных азиатских видов мечехвостов существенно ниже североамериканского вида, исследования численности, экологии, физиологии и биохимии вьетнамских популяций могут принести успех в важном деле — создании отечественного препарата.

<sup>4</sup> Sekiguchi K., Nakamura K. Ecology of the extant Horseshoe crab (Limulidae). N. Y., 1979.

<sup>5</sup> Sekiguchi K. Ecology of Horseshoe crabs. Tokyo, 1988.

© А. Л. Ревзон

# Аэрокосмические исследования в строительстве



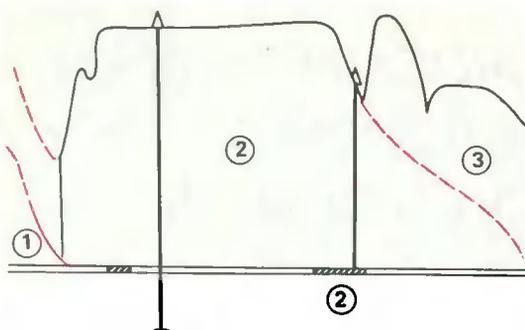
Андрей Львович Ревзон, доктор географических наук, заведующий лабораторией аэрокосмических методов изысканий Всесоюзного научно-исследовательского института транспортного строительства Министерства транспортного строительства СССР. Занимается применением аэрокосмических методов в геоморфологии, инженерной геологии, инженерных изысканиях для строительства. Автор многих научных статей и книг по этим проблемам, в том числе: *Аэрокосмические методы в гидрогеологии и инженерной геологии* (в соавторстве с А. В. Садовым). М., 1979.

**О** НЕДОСТАТКАХ в планировании и проектировании крупнейших строек сегодня, в эпоху гласности, известно немало. Не оправдала надежд БАМ, на которую уже потрачено 12 млрд руб. Завершение строительства на участке Северо-Муйского тоннеля, намеченное на 1984 г., все откладывается, а его стоимость уже в 2 раза превысила проектную. Законсервировано строительство Кавказской перевальной железной дороги — в проекте не учтены важные социальные и экологические факторы. Я привожу примеры более близкого мне транспортного строительства, но их множество и в других областях.

Одна из причин ошибок — зачастую полная экологическая необоснованность строительства, неумение пользоваться даже существующей информацией о среде и ее взаимодействии с плодами человеческой деятельности. Человек строил и будет строить железные и автомобильные дороги, города, горнодобывающие комплексы, трубопроводы, водохозяйственные сооружения. Было бы наивно предполагать, что природный ландшафт станет от этого лучше. Но сегодня оправдано только экологически грамотное техногенное воздействие, наносящее минимальный вред среде, включая и самого человека. Думается, новой стратегией хозяйственного освоения природной среды должно стать не сооружение разнообразных строительных объектов, а создание природно-технических систем — транспортных, водохозяйственных, гидроэнергетических и т. п., сочетающих «интересы» природной среды и инженерного сооружения.

До сего дня главные задачи строителя — возьмем опять для примера транспортника — сооружение магистрали и обеспечение ее бесперебойного функционирования. Нельзя сказать, что, выполняя эти задачи, он не учитывает природных условий вообще.

Еще при проектировании железнодорожных объектов в районах развития опасных геологических процессов, например оползней, предусматриваются противооползневые мероприятия, защищающие дорогу. Однако, защищая дорогу, транспорт-



Фрагмент инженерно-геологического разреза по оси тоннеля, положенный в основу его проекта. Пробуренные при изысканиях скважины не выявили участков с высоким горным давлением [заштрихованы]. 1 — конгломераты из гальки и гравия; 2 — глинистые сланцы с прослоями песчаников; 3 — конгломераты из глины и валунов.

ник не задумывается о том, как это повлияет на состояние ландшафта. Одна из наиболее распространенных противоположных мер — дренаж подземных вод с помощью скважин. Но известен ряд случаев, когда систематическая откачка вод приводила к истощению почв и водных ресурсов. В результате уменьшалась урожайность, люди были вынуждены уехать в другие районы страны.

Всего этого можно было бы избежать, имея полную информацию о природных компонентах создаваемой природно-технической системы. Для этого мы имеем не-

мало возможностей, пока, к сожалению, плохо используемых. Одна из них — аэрокосмические исследования.

В нашей лаборатории аэрокосмических методов изысканий разработан способ (мы называем его технологией) комплексного аэрокосмического зондирования для обоснования проектирования, строительства и эксплуатации природно-технических систем. В его основу положены космическая фотосъемка, а также три вида аэрофотосъемки: обычная, многозональная и тепловая инфракрасная, т. е. те дистанционные методы, которые позволяют получать принципиально новую по качеству и полноте информацию о природе.

## МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ

Космическая фотосъемка используется в строительстве с начала 80-х годов. Высота и скорость движения космического аппарата обеспечивает большую обзорность съемки. Она дала возможность получать информацию о труднодоступных территориях в различных масштабных и спектральных диапазонах. Съемку можно по мере надобности повторять с определенной периодичностью, что дает возможность проследить динамику природных процессов. Однако съемка с космических аппаратов не позволяет получать точность и пространственное разрешение, как на аэрофотоснимках масштабов 1:25 000 и крупнее. Поз-

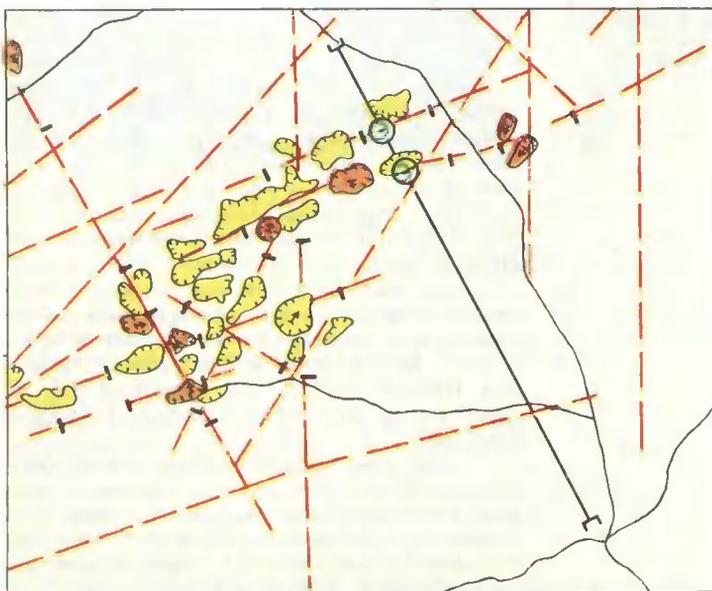


Схема района предполагаемого строительства горного тоннеля, составленная по космическим снимкам в 1983 г.

- Зоны разломов:**
- опасные для строительства
  - относительно безопасные
- Оползни:**
- движущиеся
  - стабилизировавшиеся
- Трасса тоннеля**
- Трасса тоннеля
  - Участки прогнозируемых аварийных ситуаций

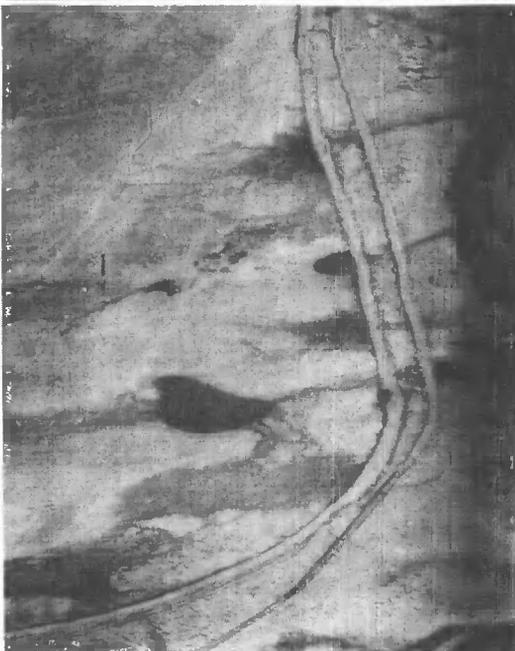
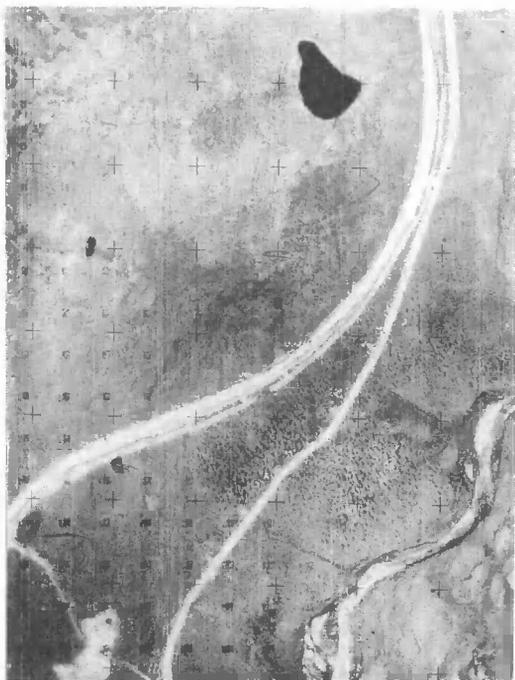
тому космические снимки не используют для создания крупномасштабных топографических карт и фотопланов. Зато они позволяют выявлять протяженные зоны разломов земной коры и оценивать их влияние на сейсмичность территорий, выделять районы проявления неблагоприятных для строительства экзогенных процессов, определять особенности размещения подземных вод, гидрографической сети и водосборных бассейнов, снежного покрова, масштабы затопления, отыскивать новые месторождения стройматериалов. Особенно полезны космические снимки при инженерных изысканиях в экстремальных условиях высокогорья, пустынь, Крайнего Севера главным образом на первых этапах, связанных с решением задач многовариантного проектирования.

Многозональная аэрофотосъемка ведется с помощью разработанной в ГДР системы, обеспечивающей синхронную съемку в четырех диапазонах видимой части спектра (от 0,4 до 0,74 мкм): синем, зеленом, желто-оранжевом и красном в масштабах 1:24 000—1:70 000. Последующее оптико-электронное преобразование снимков позволяет получать различные цветные синтезированные изображения с подбором оптимального варианта для каждой задачи и увеличением исходных изображений до масштаба 1:5000.

Опыт нашего института по использованию многозональной аэрофотосъемки в инженерно-геологических изысканиях показал, что она информативней обычной в 1,6—1,8 раза. На таких снимках можно получить данные о влажности почв и грунтов, судить о переносе тепла и влаги в ландшафтах. Многозональная аэрофотосъемка позволяет классифицировать зоны разломов, выделяемых по космическим снимкам, на различные категории по их обводненности, для каждой из которых характерен определенный характер грунтов, специфика залегания подземных вод и условия их миграции. В горах такая съемка обеспечивает полную информацию об обвалах, осыпях, лавинах, селях, карсте, оползнях; на берегах морей и водохранилищ — об их разрушениях, состоянии пляжей, мелководий, берегозащитных сооружений. На снимке в красной части спектра четко фикс-



Синтезированный многозональный аэрофотоснимок района проектирования Кавказской перевальной железной дороги. Голубые пятна на склонах — обводненные грунты.



Вверху — аэрофотоснимок участка строящейся железной дороги на п-ове Ямал. Видны деформации земляного полотна, плоскобугристые торфяники. Внизу — тепловой инфракрасный аэроснимок того же участка, позволяющий выделить зоны подтопления насыпи грунтовыми водами [темное вдоль насыпи] и прогнозировать деформации земляного полотна на участках развития термокарста.

сируются различия в увлажнении поверхности, незаметные на обычных аэрофотоснимках. Большие надежды мы возлагаем на такую съемку при изысканиях в северной климатической зоне при оценке активности термокарста, пучения грунтов и образования наледей.

Сравнительно новая тепловая инфракрасная аэросъемка ведется с использованием тепловизионных систем, устанавливаемых на борту самолетов и вертолетов. Они регистрируют тепловые контрасты объектов местности, определяемые их естественным тепловым излучением. Существующие в Швеции и Франции тепловизоры способны получать цветные тепловые изображения и передавать температуру в виде изотерм с интервалами  $0,5-1^{\circ}\text{C}$ , осуществлять цифровую запись сигналов в процессе съемки на магнитную ленту.

Отечественный тепловизор «Вулкан» производит съемку в диапазоне  $3-5$  и  $8-13$  мкм и дает черно-белые изображения без количественных характеристик. Термометрические работы должны вестись на земле синхронно с аэрофотосъемкой. Поэтому стоимость таких работ очень велика и применение их в нашей стране пока ограничено участками, где температурную информацию сложно получить традиционными методами.

Тепловая съемка, выполненная сотрудниками нашего института и производственного объединения «Аэрогеология» по трассам железных и автомобильных дорог, проектируемых на Крайнем Севере, позволила выделить площади с различным насыщением грунтов льдом, определить границы участков их сезонного протаявания, с большей вероятностью обнаруживать подземные льды, оценить масштабы подтопления инженерных сооружений. В горных районах такие работы выявили обводненные зоны разломов и дали возможность оценить количество воды в тектонически раздробленных горных породах.

Каждый из перечисленных методов имеет свою специфику. Однако максимальный эффект получается, когда их применяют в указанной последовательности. При этом каждый предыдущий как бы определяет задачи последующему. Выделяется несколько направлений применения комплекса аэрокосмических методов в изучении природно-технических систем: обоснование размещения инженерных сооружений, геотехнический контроль за состоянием сооружений и экологическая экспертиза природно-технических систем.

## КАК РАБОТАТЬ СО СНИМКАМИ?

Когда определяют оптимальное размещение и технические параметры будущего сооружения и планируют наземные изыскательные работы, эффективно применение космической фотосъемки. С ее помощью можно получить до 70 % инженерно-геологической и географической информации, необходимой для многовариантных проектов практически всех типов линейных инженерных сооружений, например горных тоннелей глубокого заложения. Одна из главных задач при этом — безаварийность и высокая скорость проходки тоннелей, а также надежность их эксплуатации. Серьезное препятствие для успешной проходки — подземные воды, насыщающие горные породы. Часто они лишь просачиваются, реже прорываются в тоннель мощным потоком — при вскрытии сильно обводненных горных пород (песка, супеси, щебнистого материала). Такая авария затягивает строительство и удорожает его. Наиболее опасны зоны, пронизанные множеством трещин вдоль разломов земной коры.

Обнаружить тектонические разломы по материалам космической съемки нетрудно. Но сам по себе разлом еще не препятствие для строителей. Несколько раз с высокой скоростью преодолелись значительные по мощности зоны дробления скальных пород. Важно отделить опасные для проходки и нормальной эксплуатации разломы от безопасных.

Признаки опасности выявляются при дешифрировании космических снимков. Это прежде всего развитие и локализация вблизи разлома форм рельефа, связанных с влиянием подземных вод, выветриванием горных пород, а также гравитационными процессами — наледей, карстовых просадок, оползней, обвалов и т. п.

Не менее важен для оценки опасности разломов учет кинематических характеристик рельефа зон дробления пород — амплитуд смещения блоков, углов наклона плоскостей смещения, выраженных в рельефе в виде ступеней, уступов, каньонов, асимметричных речных долин и т. п.

В 1984 г. при проходке водоотводящего горного гидротехнического тоннеля недалеко от Тбилиси произошли две крупные аварии — гибель проходчик, причинен значительный материальный ущерб. Причина — проходка тоннеля в зоне тектонических разломов, не выявленной при инженерных изысканиях. По линии проходки были заложены скважины, но ни одна из них в разлом не попала. Между тем еще в 1983 г.

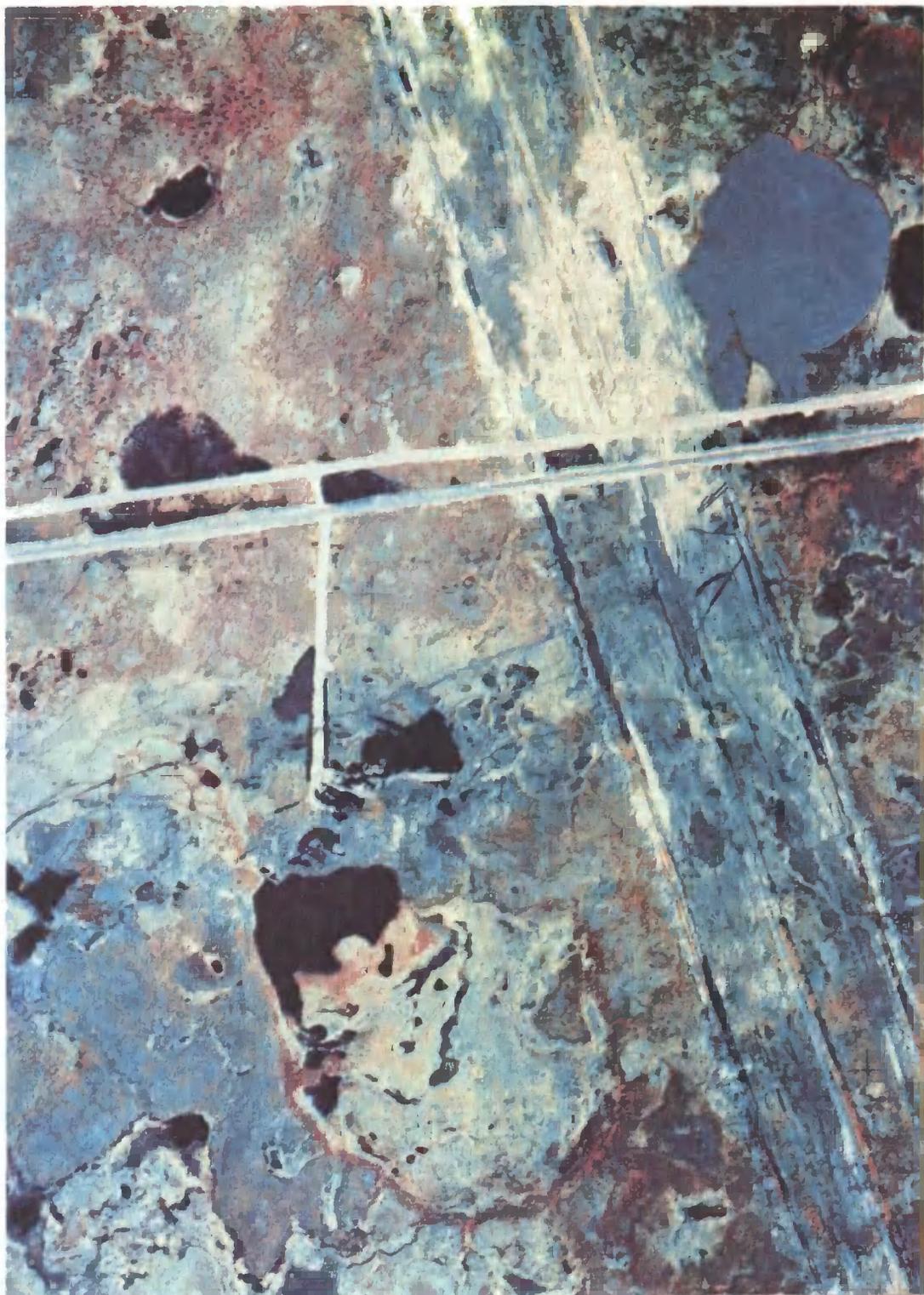
нами именно для обоснования проектирования этого тоннеля была сделана интерпретация космических снимков данного района (представлена на одном из рисунков). Участки аварийных ситуаций на ней совпали с пересечениями трассы тоннеля с опасными для строительства зонами разломов. Увы, снимки и их интерпретация до строителей не дошли.

Этот пример, к сожалению, не единичен. Такой же неполной информацией обладали и строители упомянутого Северомуйского тоннеля. Ангарокаянская катастрофа, во время которой в разлом прорвались водные потоки, еще свежа в памяти. До сих пор сказываются ошибки проектировщиков на других участках магистрали, где слабая изученность инженерно-геологических условий в период проектирования обернулась дополнительными сотнями миллионов рублей и годами незавершенного строительства.

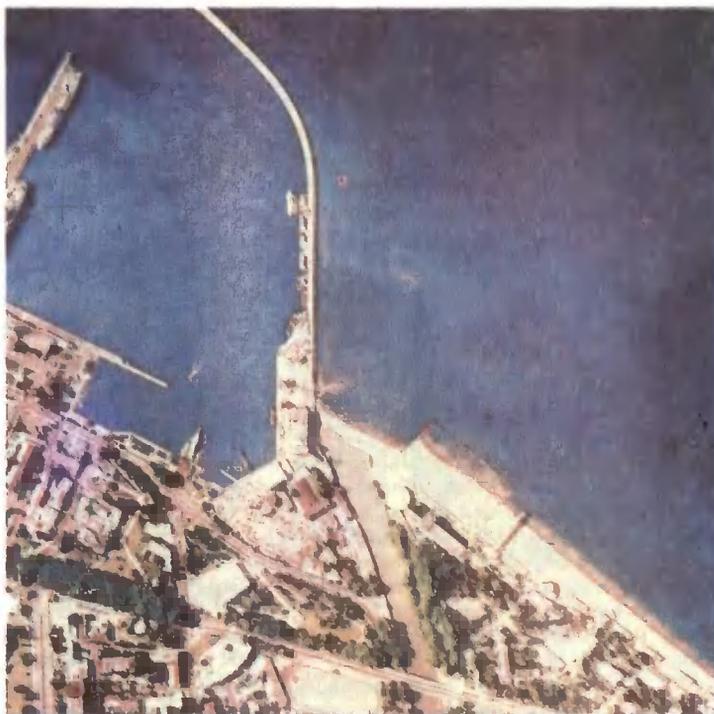
В процессе строительства и на первых этапах эксплуатации природно-технических систем идет болезненное «вживание» их техногенных элементов в природную среду. Активизируются природные процессы, приводящие нередко к аварийным ситуациям. К реакциям «отторжения» средой техногенного воздействия можно отнести просадку сооружений в первые годы эксплуатации, усиление эрозионных, оползневых, обвально-осыпных процессов в откосах железнодорожных выемок, развитие карста на берегах водохранилищ в первые годы после заполнения их чаши и т. п.

Если такие процессы идут на больших территориях, оперативно оценить их масштабы и состояние природно-технической системы в целом можно лишь на основе применения дистанционных методов. Наиболее эффективно для этого сочетать различные виды аэрофотосъемки с наземными исследованиями. Базовой является обычная аэросъемка как наиболее доступный и дешевый метод. Многозональная и тепловая дополняют обычную. Возможности новых аэрометодов при решении задач геотехнического контроля можно проиллюстрировать на конкретных примерах.

Так, чтобы обеспечить освоение крупнейших газовых месторождений Тазовского п-ова, строится железная дорога Ягельная — Ямбург. При ее проектировании в ряде случаев были допущены ошибки в конструкции земляного полотна и технологии сооружения, в частности на участках пересечения с магистральным газопроводом. Синтезированный многозональный аэрофотоснимок одного из этих участков, выполненный в масш-



Синтезированный многозональный аэрофотоснимок участка строящейся железной дороги на Тазовском п-ове. На пересечении железнодорожного полотна с тремя нитками газопровода наблюдаются начальные стадии протаивания мерзлых грунтов и подтопление насыпей, что создает предпосылки аварийных ситуаций.



Синтезированный многозональный аэрофотоснимок акватории черноморского порта и рекреационного ландшафта, на котором отчетливо видны: очаг загрязнения акватории; перенос формирующих пляж наносов вдоль берега; берегозащитные сооружения.

Синтезированный многозональный аэрофотоснимок участка БАМа, демонстрирующий нарушение растительного покрова и рельефа в зоне сооружения железной дороги после ее сдачи в эксплуатацию и развитие термокарста в основании земляного полотна.



табе 1:5000, фиксирует ошибки проектировщиков, не предусмотревших возможность изменения теплового режима этого участка под действием газопровода. В результате после сооружения земляного полотна железной дороги в его основании активизировался термокарст и сооружение начало подтапливаться. Это создает аварийную обстановку и для железной дороги, и для газопровода. Печальный пример одной из разновидностей подобных ситуаций — катастрофа на железной дороге на перегоне Челябинск — Уфа.

Развитие термокарстовых процессов проявилось и на одном из участков строящейся железнодорожной линии Обская — Бованенково на п-ове Ямал. Если обычный аэрофотоснимок масштаба 1:10 000 позволяет определить лишь участок деформации земляного полотна, то на тепловом инфракрасном четко фиксируется поток грунтовых вод, подтопляющий насыпь. Более того, по вариациям тона можно прогнозировать деформации инженерных сооружений на тех участках, где они еще не произошли, но гидрогеологические предпосылки для этого уже имеются.

Дистанционный геотехнический контроль состояния инженерных сооружений эффективен не только при строительстве, но и на всех стадиях эксплуатации и реконструкции железных и автомобильных дорог, трубопроводов ЛЭП, оросительных каналов, берегозащитных сооружений.

В ближайшее время в свои права вступит новый вид исследований функционирования природно-технических систем — экологическая экспертиза. В ее задачи, с нашей точки зрения, должен войти комплексный (позапный) контроль не только предпроектных разработок (в частности, технико-экономического обоснования строи-

тельства), но и проектной документации, а также качества строительства.

Цель поэтапной экспертизы — обеспечить необходимый уровень качества проектирования и строительства с учетом сохранения экологического равновесия в зоне влияния создаваемой природно-технической системы на среду обитания человека.

На первом этапе основная задача такой экспертизы — контроль экологической и экономической целесообразности выбранного варианта размещения сооружения. Здесь общественное мнение справедливо склоняется в пользу независимой вневедомственной экспертизы. Но на последующих этапах проектирования и строительства, когда необходим контроль за соответствием проектных решений экологическим обоснованным нормам, необходимо участие авторов проектов и строителей. На всех трех этапах проведения экологической экспертизы могут успешно применяться аэрокосмические методы. Пока же они носят фиксирующий характер. Многозональная космическая и аэрофотосъемка облегчают выявление очагов и источников загрязнения вод, и в том числе прибрежно-морских акваторий. Особенно актуальна такая съемка в рекреационных зонах в связи с необходимостью экологического контроля за состоянием береговой зоны. Наблюдения за нарушением растительного покрова и рельефа в районах строительства позволяют обосновать виды и объемы рекультивации земель, планировать мероприятия по восстановлению экологического равновесия.

Возможности комплексного аэрокосмического зондирования делают целесообразным и экономически выгодным их использование на всех этапах создания и функционирования природно-технических систем.

© Ф.Х. Гельмуханов  
П.Л. Чаповский  
А.М. Шалагин

# Новые эффекты газовой кинетики



Фарис Хафизович Гельмуханов, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Института автоматизации и электрометрии СО АН СССР (Новосибирск). Основные работы посвящены рентгеновской и оптической спектроскопии, кинетической теории газов.



Павел Львович Чаповский, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник того же института. Область научных интересов — физика лазеров, светоиндуцированные газокинетические явления.



Анатолий Михайлович Шалагин, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией проблем взаимодействия лазерного излучения с газовыми средами того же института. Занимается нелинейной спектроскопией, физикой лазеров и светоиндуцированными газокинетическими явлениями.

**В** ОЗДЕЙСТВИЕ излучения на газ приводит к явлениям двух типов. В одних оно изменяет внутреннее состояние частиц (такие явления традиционно изучают в многочисленных разделах спектроскопии и квантовой электроники), в других, на которых мы и сосредоточим основное внимание, излучение осуществляет «механическое» воздействие на газ, меняя скорость и энергию поступательного движения его частиц. Как результат, изменяются такие макроскопические характеристики газа, как температура и давление, в нем появляются направленные потоки частиц, потоки импульса и энергии.

Исторически первым и теперь уже классическим примером таких явлений служит световое давление, а за последние 10 лет в этой области обнаружен ряд эффектов, основанных на неизвестных ранее физических механизмах. Существенно, что в некоторых практически важных ситуациях они на много порядков превосходят световое давление и другие известные феномены «механического» воздействия излучения на газ, например лазерную термодиффузию или

электрострикцию. Один из таких эффектов — светоиндуцированный дрейф (СИД), теоретическое предсказание которого положило начало новому направлению работ на стыке газовой кинетики и оптики<sup>1</sup>.

## СВЕТОИНДУЦИРОВАННЫЙ ДРЕЙФ

Излучение, проходя через газ, состоящий из поглощающего и буферного компонентов, преобразует хаотическое (тепловое) движение частиц газа в направленное движение (дрейф) компонентов смеси друг относительно друга. Чтобы понять, как это происходит, нам придется подробнее остановиться на поглощении излучения газом.

Рассмотрим взаимодействие модельных двухуровневых атомов газа с бегущей монохроматической волной. Хорошо известно, что такое взаимодействие носит квантовый характер: в результате поглощения фотона атом переходит из основного по-

<sup>1</sup> Гельмуханов Ф. Х., Шалагин А. М. // Письма в ЖЭТФ. 1979. Т. 29. № 12. С. 773—776; Они же // ЖЭТФ. 1980. Т. 78. № 5. С. 1674—1686.

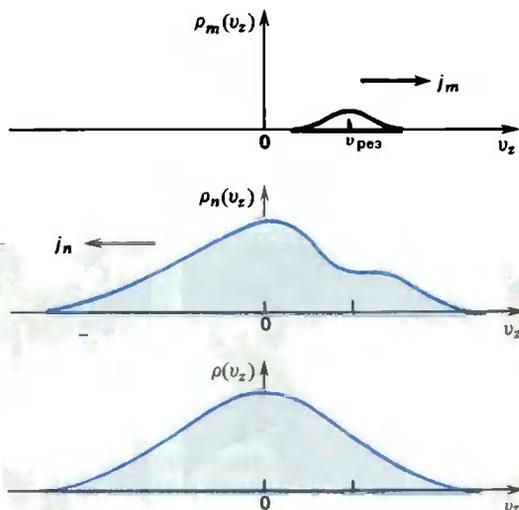
стояния  $n$  в возбужденное  $m$ , а обратный переход (вынужденный или спонтанный) происходит с испусканием фотона.

Хаотическое движение атомов газа удобно описывать с помощью распределений частиц по скоростям, в нашем случае — по проекциям скорости на волновой вектор излучения  $k$  для частиц на уровнях  $n$  и  $m$ :  $q_m(v_z)$  и  $q_n(v_z)$ .

Благодаря эффекту Доплера монохроматическое излучение поглощается лишь частицами, имеющими составляющую скорости  $v_z$  вдоль волнового вектора излучения вблизи «резонансного» значения  $v_{рез} = \Omega/k$ , где  $\Omega = \omega - \omega_0$  — отстройка частоты излучения  $\omega$  от центра линии поглощения  $\omega_0$ . Иными словами, монохроматическое излучение осуществляет селективное (по скоростям частиц) возбуждение.

Переход атомов при поглощении фотонов на верхний энергетический уровень приводит к формированию пика в распределении частиц по скоростям на верхнем уровне и провала — на нижнем уровне. Такие структуры носят название беннетовских.

Пренебрежем световым давлением (как показали эксперименты, такое допущение действительно правомерно), тогда поглощение фотона не должно изменять скоростей частиц, а следовательно, и суммарное распределение частиц по скоростям  $q(v_z) = q_m(v_z) + q_n(v_z)$ . Так, если распределение  $q(v_z)$  было равновесным, казалось бы, оно таким и останется. Как это ни парадоксально, так происходит далеко не всегда, и вот почему. Образование пика и провала Беннета приводит к появлению потоков возбужденных и невозбужденных частиц  $j_m$  и  $j_n$ . В условиях, когда световое давление не играет существенной роли, излучение создает равные по величине встречные потоки таких частиц. В двухкомпонентной газовой смеси, когда кроме поглощающих частиц в среде находятся еще и буферные частицы, эти потоки тормозятся буферными частицами. Торможение частиц в газе определяется их транспортными характеристиками (эффективными размерами), которые зависят от внутреннего строения частиц и, естественно, меняются при возбуждении. Силы, тормозящие потоки  $j_m$  и  $j_n$ , оказываются разными, и, как следствие, появляется результирующая сила, действующая на поглощающие частицы со стороны буферных<sup>2</sup>. Она и приводит к отталкиванию по-



возбуждению атомов излучением. Из-за селективного характера этого процесса в распределении частиц по скорости на верхнем энергетическом уровне ( $m$ ) возникает пик, а на нижнем уровне ( $n$ ) — провал (беннетовские структуры). В отсутствие столкновений с частицами буферного газа и без учета светового давления полная функция распределения  $q(v_z) = q_m(v_z) + q_n(v_z)$  остается равновесной, поэтому потоки возбужденных  $j_m$  и невозбужденных  $j_n$  равны и противоположны по направлению — газ поглощающих частиц как целое неподвижен.

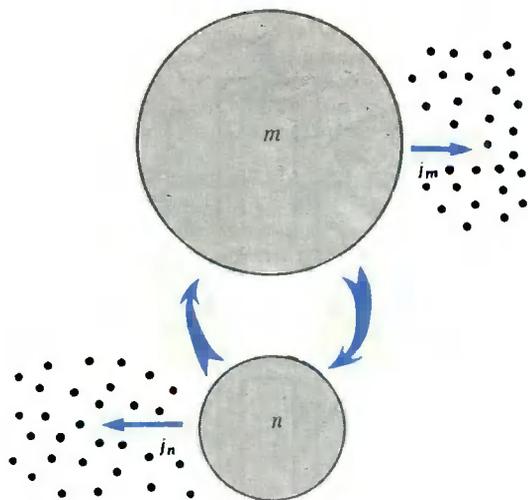
поглощающих и буферных компонентов друг от друга, т. е. к эффекту СИД.

Важно отметить, что СИД возникает не из-за передачи импульса (либо энергии) фотонов газу, а в силу способности монохроматического излучения изменять транспортные характеристики частиц в заданном скоростном интервале.

Из приведенного описания видно, что эффект СИД основан на хорошо известных эффектах газовой кинетики и лазерной физики: образовании в лазерном поле потоков возбужденных и невозбужденных частиц и их торможении о буферные частицы. Комбинация этих известных эффектов дала новое яркое физическое явление<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Наиболее интенсивные исследования нового класса газокINETических явлений, ярким, но, как выяснилось, не единственным представителем которого является эффект СИД, сосредоточены в Институте автоматки и электрометрии СО АН СССР. Работы ведутся еще в ряде институтов СО АН СССР: Институте химической кинетики и горения, Институте физики им. Л. В. Киренского, Институте физики полупроводников, а также в других организациях. За рубежом исследованиями эффекта СИД занимаются в Польше, ФРГ, США, Нидерландах, Италии. Наиболее активное участие в исследованиях приняла лаборатория им. Х. Гюйгенса Лейденского университета (Нидерланды).

<sup>2</sup> Конечно, встречные потоки возбужденных и невозбужденных частиц тормозятся и друг о друга, но это не создает, в силу закона сохранения импульса, никакого перемещения газа поглощающих частиц.



Светоиндуцированный дрейф. Из-за различия эффективных размеров возбужденных [m] и невозбужденных [n] частиц силы торможения соответствующих потоков  $j_m$  и  $j_n$  о буферный газ (черные точки) различаются. Это приводит к дрейфу поглощающих частиц, т. е. к эффекту СИД. (Изогнутые стрелки символизируют оптические переходы.)

Теория показывает, что в качестве транспортных характеристик, обуславливающих эффект СИД, выступают частоты столкновений поглощающих частиц в возбужденном ( $\nu_m$ ) и невозбужденном ( $\nu_n$ ) состояниях с буферными частицами. Эти величины имеют простой физический смысл: их обратные значения ( $1/\nu_m$  и  $1/\nu_n$ ) равны характерным временам, за которые поглощающие частицы (возбужденные или невозбужденные) теряют направленную скорость в газе буферных частиц. Эффект СИД возникает, только если  $\Delta\nu = \nu_m - \nu_n \neq 0$ .

Максимальную скорость дрейфа поглощающих частиц, согласно теории светоиндуцированного дрейфа, следует ожидать для простейших атомов (например, щелочных металлов). В этом случае скорость дрейфа может достигать величины

$$u \sim v_0 \Delta\nu / \nu_m$$

отличаясь от тепловой скорости  $v_0$  только фактором  $\Delta\nu / \nu_m$ .

Установлено, что  $\Delta\nu / \nu_m$  для атомов может достигать величины  $\sim 1$ . Таким образом, в оптимальных условиях скорость дрейфа может быть порядка тепловой, т. е. около 1000 м/с. Более того, теоретические расчеты предсказывают, что, используя излучение со специально сформированным спектром, можно достичь даже сверхзвуковой скорости дрейфа.

Светоиндуцированный дрейф позволяет пространственно разделить компоненты газовой смеси. В кювете с закрытыми торцами поглощающие частицы будут накапливаться у одного из ее торцов, а буферные — у другого. Возникающие градиенты концентрации создают диффузионные потоки частиц, которые препятствуют неограниченному накоплению частиц у торцов кюветы: перемещение частиц прекращается, когда светоиндуцированный поток уравновешивается встречным диффузионным потоком.

В тех случаях, когда излучение слабо поглощается в кювете с газом (оптически тонкая среда), установившееся распределение поглощающих частиц описывается формулой типа барометрической

$$\varrho(z)/\varrho(0) = \exp(-|u| z/D),$$

где  $\varrho(0)$  есть максимальное значение концентрации поглощающих частиц, а  $D$  — коэффициент диффузии. Расчеты показывают, что в оптимальных условиях эффект СИД может создавать очень большие градиенты концентраций, так что все поглощающие частицы могут быть сконцентрированы у торца кюветы в слое толщиной  $10^{-3}$  см.

Яркой особенностью эффекта СИД является то, что в газовой смеси возникают перепады только парциальных давлений поглощающих и буферных частиц при неизменном полном давлении газа.

### СИД В РОЛИ ДЕМОНА МАКСВЕЛЛА

Чтобы понять, какое место занимает светоиндуцированный дрейф в иерархии многочисленных эффектов газовой кинетики, обратимся к специфическим чертам этого эффекта.

Поскольку в его физической картине можно игнорировать световое давление, импульс газовой смеси должен сохраняться. Кроме того, можно считать, что торможение парциальных потоков  $j_m$  и  $j_n$  осуществляется в результате только упругих столкновений частиц. Это означает, что диссипация энергии излучения в газе несущественна для возникновения эффекта СИД. Более того, можно рассматривать атомарные системы, в которых релаксация возбужденных состояний идет преимущественно за счет спонтанных распадов, а переход из возбужденного состояния в основное за счет столкновений пренебрежимо мал, так что не происходит диссипации энергии излучения в тепло. Излучение лишь временно пребывает

в газе, выходя из него в виде спонтанного излучения практически с той же энергией. Иными словами, эффект СИД позволяет осуществить движение и разделение компонентов газовой смеси без затрат импульса и энергии излучения.

Этот особый вид воздействия излучения на газ, реализуемый эффектом СИД, подобен действию гипотетического демона Максвелла, роль которого в данном случае играет излучение. (Напомним, что демон Максвелла — «существо», способное с помощью заслонки, установленной в месте соединения сосудов, преграждать доступ частицам одного сорта в один резервуар, а частицам другого сорта — в другой резервуар без затрат энергии.)

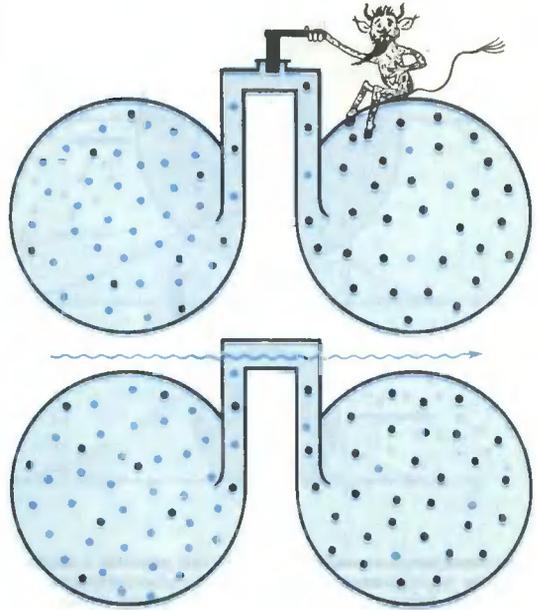
Появление макроскопических потоков и разделение компонентов газовой смеси сопровождается понижением энтропии газа (упорядочением). В замкнутой системе «газ+поле излучения», согласно второму принципу термодинамики, энтропия не должна убывать. Уменьшение энтропии газа заведомо компенсируется увеличением энтропии излучения: упорядоченное (направленное) излучение в процессе рассеяния превращается в изотропное, т. е. разупорядоченное. Таким образом, в процессе СИД между излучением и средой может происходить только обмен энтропией.

Разумеется, в реальных условиях взаимодействие излучения с газом может в той или иной степени сопровождаться диссипацией энергии излучения в тепло (в особенности это характерно для процессов возбуждения колебательных состояний молекул). Однако диссипация энергии — это сопутствующий процесс, не относящийся к механизму эффекта СИД.

### ЭКСПЕРИМЕНТ. ОПТИЧЕСКИЙ ВЕНТИЛЬ

Наш рассказ о новом физическом явлении был бы неполным без описания основных результатов экспериментов. Чтобы постановка этих экспериментов была более понятной, сделаем еще один короткий экскурс в теорию эффекта СИД.

Эффект СИД имеет специфическую (антисимметричную) зависимость от величины  $\Omega = \omega - \omega_0$ . Действительно, излучение возбуждает атомы, имеющие скорость  $v_z$  вблизи  $v_{рез} = \Omega/k$ . При изменении знака  $\Omega$  направления парциальных потоков изменятся на противоположные, а значит, будет инвертировано и направление скорости дрейфа без изменения ее величины. При возбуждении в центре линии поглощения



СИД в роли демона Максвелла. Ранее считалось, что разделение компонентов газовой смеси без затрат энергии или импульса под силу только гипотетическому демону Максвелла (вверху). Оказывается, такое разделение может быть выполнено с помощью излучения, приводящего к эффекту СИД (внизу).

( $\omega = \omega_0$ ) эффект СИД отсутствует, несмотря на то что коэффициент поглощения в этом случае максимален. Антисимметричная зависимость эффекта СИД от частоты излучения служит надежным тестом при экспериментальном доказательстве его существования.

Первый эксперимент по наблюдению светоиндуцированного дрейфа был выполнен с парами натрия<sup>1</sup>. Кювета с благородным буферным газом представляла собой стеклянный капилляр, в центр которого вляян отросток с металлическим натрием. При нагревании отростка в капилляр, через который проходило излучение лазера на красители, поступают пары натрия. В соответствии с теорией, атомы натрия распространялись либо в левую, либо в правую часть капилляра — в зависимости от знака  $\Omega$ . Здесь излучение выступает в роли «вентиля», переключющего направление дрейфа паров натрия по капилляру. Работу оптического вентиля можно было наблюдать визуально благодаря флуоресценции паров натрия в оптической области спектра.

<sup>1</sup> Андцыгин В. Д. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1979 Т. 30. № 5. С. 262—265.

В современной постановке этого эксперимента стенки кюветы покрываются парафином, который препятствует адсорбции натрия. В результате время дрейфа существенно уменьшилось по сравнению с первыми опытами и достигло  $10^{-2}$  с. Максимальная скорость дрейфа атомов натрия в современных экспериментах составляет около 50 м/с.

Эксперименты с натрием дали возможность измерить важный для эффекта СИД параметр  $\Delta v/v_m$ . Он оказался зависящим (что естественно) от сорта буферных частиц. Максимальное значение (0,4) получено для натрия в ксеноне, выбранном в качестве буферного газа.

Эффект СИД в описанном эксперименте, как и ожидалось, на много порядков превосходит эффект светового давления.

### СИД МОЛЕКУЛ

Другой класс объектов, который подвергся в последнее время детальному исследованию с точки зрения эффекта СИД,— это молекулы. В экспериментах использовалось инфракрасное излучение  $\text{CO}_2$ -лазера, которое вызывало переходы между колебательно-вращательными уровнями молекул<sup>5</sup>.

Примечательно, что именно в опытах с молекулами впервые с помощью эффекта СИД осуществлено разделение изотопов. В этом отношении типичен эксперимент с молекулами фтористого метила ( $\text{CH}_3\text{F}$ ), в природной смеси которого содержится около 1% молекул с изотопом углерода  $^{13}\text{C}$ . Излучение  $\text{CO}_2$ -лазера настраивается в резонанс с линией поглощения молекул  $^{13}\text{CH}_3\text{F}$ , тогда остальные 99% молекул смеси служат буферными частицами. Эффект СИД приводит к перераспределению молекул  $^{13}\text{CH}_3\text{F}$  и  $^{12}\text{CH}_3\text{F}$  вдоль кюветы, что и регистрировалось масс-спектрометром.

Изменение транспортных частот столкновений молекул оказалось малым: фактор  $\Delta v/v_m$  для молекул  $\text{CH}_3\text{F}$  составил только  $10^{-2}$ , а для молекул  $\text{SF}_6$  и того меньше — около  $10^{-4}$ . Удивительный результат был получен для аммиака ( $\text{NH}_3$ ): колебательное возбуждение его молекул приводит не к увеличению транспортной частоты столкновений, а к уменьшению ( $\Delta v/v_m \approx -2,5 \times 10^{-2}$ ). Это означает, что в возбужденном состоянии молекула аммиака компактнее, чем в основном.

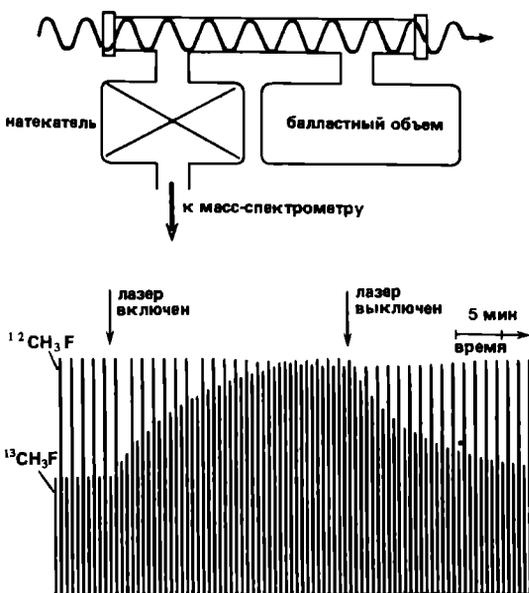


Схема экспериментального наблюдения эффекта СИД молекул (вверху). Типичная масс-спектрограмма развития эффекта СИД во времени представляет собой циклическую запись концентраций изотопических модификаций молекул  $\text{CH}_3\text{F}$  (внизу). В отсутствие излучения соотношение концентраций фиксировано и соответствует природному составу (для удобства чувствительность масс-спектрометра при записи концентрации  $^{13}\text{CH}_3\text{F}$  увеличена в 40 раз). После включения излучения концентрация  $^{13}\text{CH}_3\text{F}$  увеличивается примерно вдвое. Состав газа возвращается к исходному, когда излучение перестает действовать.

Типичным для большинства изученных молекул является значение  $\Delta v/v_m \approx 10^{-2}$ . Но и этого отличия частот столкновений достаточно для получения весьма ощутимых эффектов. В частности, при использовании  $\text{CO}_2$ -лазера умеренной интенсивности ( $\leq 10$  Вт) на длине порядка 1 м достигалось изменение концентрации поглощающего компонента в несколько раз.

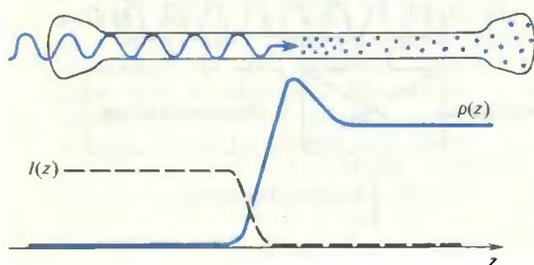
### СВЕТОВОЙ ПОРШЕНЬ

В оптически плотном газе, где излучение поглощается на расстоянии, много меньшем протяженности кюветы, возникает еще одно интересное проявление эффекта СИД, предсказанное еще в 1979 г.<sup>6</sup>, а затем подтвержденное экспериментально<sup>7</sup>. В этих условиях излучение, создаю-

<sup>5</sup> Гельмуханов Ф. Х., Шалагин А. М. // Письма в ЖЭТФ. 1979. Т. 29. № 12. М. 773—776.

<sup>7</sup> Werij H. G. C. et al. // Phys. Rev. Lett. 1984. Vol. 52. № 25. P. 2237—2240.

<sup>5</sup> Панфилов В. Н. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1981. Т. 33. № 1. С. 52—55.

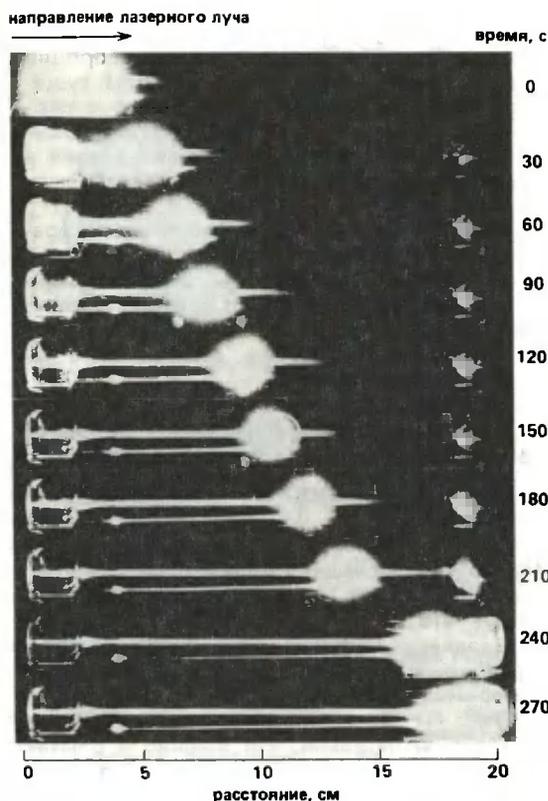


**Световой поршень.** В оптически плотной среде в первый момент времени излучение проникает в кювету лишь на малое расстояние от входа, равное длине фотопоглощения. Затем поглощающие частицы начинают дрейфовать в этой области, освобождая ее и поджимая поглощающий компонент той части кюветы, куда еще не проникло излучение. Возникает движущаяся граница раздела — своеобразный поршень, вблизи которого происходит резкое изменение концентрации поглощающих частиц и одновременно практически полное поглощение излучения. Соответствующие распределения вдоль оси ячейки интенсивности излучения  $I(z)$  и плотности поглощающих частиц  $\rho(z)$  приведены внизу.

щее дрейф в направлении своего распространения, проникает вначале в кювету лишь на малое расстояние. В этой области поглощающие частицы начинают дрейфовать, освобождая ее и поджимая поглощающий компонент в той части кюветы, куда еще не проникло излучение. На следующем этапе оно проходит в кювету дальше, занимая освободившееся от поглощающих частиц пространство. Возникает, таким образом, движущаяся граница раздела — своеобразный «световой поршень», сжимающий газ поглощающих частиц. Для буферных частиц этот «поршень» практически прозрачен.

### ДРЕЙФ СГУСТКА ПАРОВ

Несмотря на большое количество и разнообразие экспериментов по эффекту СИД, прямое измерение скорости светиндуцированного дрейфа, удалось осуществить лишь в 1986 г. в изящном эксперименте<sup>8</sup> с парами натрия. Вспомогательное излучение в этом эксперименте с помощью эффекта СИД формирует в левой части основного капилляра сгусток паров натрия размером 1—3 см. Процесс формирования сгустка натрия достаточно прост. Вспомогательное излучение приоткрывает натрию выход из дополнительного капилляра

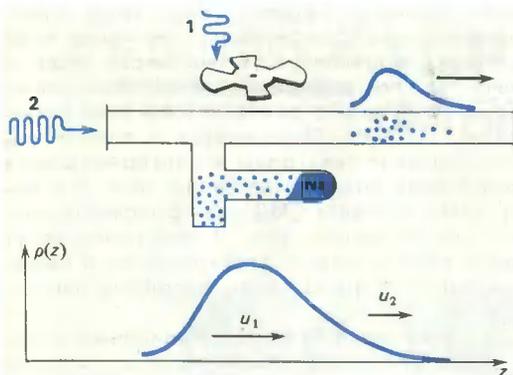


Экспериментальное наблюдение светового поршня в парах натрия [см.: Werij H. G. C. et al. // Phys. Rev. Lett. 1984. Vol. 52. No 25. P. 2237—2240. Фотография любезно предоставлена авторами работы]. Излучение проникает в пар натрия на малое расстояние, поэтому их свечение за поршнем практически отсутствует. Видно, что почти весь натрий перемещается из левой части кюветы в правую.

ляра лишь на короткое время и затем вновь его запирает (с помощью того же эффекта СИД). После того как сгусток натрия сформирован, он подхватывается излучением, распространяющимся по основному капилляру, и стремительно перемещается из конца в конец кюветы. Так как все операции по формированию и перемещению сгустка установка продлевает автоматически и быстро, возникает захватывающая картина. Один за другим из источника вылетают светящиеся сгустки и, как пули, мчатся по капилляру.

Возможны два режима распространения таких сгустков. Первый осуществляется, когда сгусток является оптически тонким — проходящее сквозь него излучение практически не меняется по интенсивности. В такой ситуации у всех частей сгустка скорость

<sup>8</sup> Atutov S. N. et al. // Optics Commun. 1986. Vol. 60. No 1, 2. P. 41—44.



**Дрейф сгустков паров натрия.** Вспомогательный луч (1), периодически прерываемый вертушкой, формирует сгусток паров натрия, который под действием мощного лазерного луча (2) быстро дрейфует по капилляру. Скорость заднего фронта ( $u_1$ ) сгустка частиц больше скорости переднего фронта ( $u_2$ ). Это приводит к сжатию сгустка и препятствует его диффузионному расплыванию — образуется диссипативный солитон (внизу).

дрейфа одинакова, и сгусток при распространении по капилляру быстро увеличивается в размерах из-за диффузионного расплывания.

В другом, очень интересном, режиме сгусток представляет собой оптически плотную среду (поэтому интенсивность излучения заметно уменьшается из-за поглощения парами натрия). В этой ситуации скорость светоиндуцированного дрейфа в разных частях сгустка неодинакова. И возможно выполнение условий, когда сгусток, перемещаясь по капилляру, будет сжиматься, а не расширяться. Со временем сгусток приобретает стационарную форму, которая уже не меняется при дальнейшем распространении. Подобные сгустки стабильной формы можно назвать диссипативными солитонами.

Исследование эффекта СИД атомарных газов в описанной здесь постановке дает богатую информацию, позволяя, в частности, непосредственно измерять скорость дрейфа.

## ПРИМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТА СИД

Исследование эффекта СИД находится фактически еще в начальной фазе. Поэтому сейчас трудно прогнозировать в полной мере значение эффекта для различных приложений. Мы ограничимся здесь наиболее яркими примерами, которые, на наш взгляд, хорошо иллюстрируют перспективы использования эффекта.

Первый из них относится к технологии. В настоящее время интенсивно развиваются методы обнаружения и исследования вещества в малых количествах. Эффект СИД позволяет значительно повысить чувствительность существующих лазерных методов (абсорбционных, флуоресцентных и т. д.). Обычно область регистрации при использовании этих методов существенно меньше всего остального объема, содержащего микропримесь. С помощью эффекта СИД в нее можно собрать микропримесь со всего объема и тем самым на много порядков повысить эффективность соответствующего метода регистрации. Перспективность такого пути продемонстрирована в эксперименте с парами натрия, концентрацию которого в такой «ловушке» удалось увеличить в 1000 раз. Этот далеко не предельный результат позволил увидеть невооруженным глазом свечение паров натрия в «ловушке» при комнатной температуре источника паров.

Возможность управления микропримесями с помощью эффекта СИД должна, на наш взгляд, найти применения в микро- и нанотехнологии. СИД способен либо препятствовать поступлению микропримеси в область технологических операций, либо, наоборот, осуществлять дозированную ее поставку.

Как мы уже выяснили, величина эффекта СИД весьма чувствительна к изменению транспортных характеристик при оптическом возбуждении. Это позволяет, экспериментально изучая СИД, получать сведения о частотах столкновений возбужденных частиц и выявлять изменение параметров потенциалов межмолекулярного взаимодействия при оптическом возбуждении. На сегодня СИД дает наиболее достоверные данные такого рода. Они важны не только для эффекта СИД, позволяя прогнозировать его величину, но и для всех случаев, где участвуют возбужденные частицы. Не случайно поэтому эксперименты по эффекту СИД инициировали теоретические работы, посвященные расчету транспортных характеристик атомов и молекул в возбужденных состояниях.

Хорошо известно, что в ряде астрофизических явлений важную роль играет световое давление. С другой стороны, как уже указывалось, в определенных условиях эффект СИД превосходит световое давление на много порядков. Естественно поэтому предположить возможность существенного проявления этого эффекта в космических условиях. Как оказалось, СИД может иметь прямое отношение к феномену так называемых химически пекулярных

звезд. Наблюдаемые в атмосфере аномалии химического состава этих звезд (относительная концентрация ряда химических элементов на несколько порядков отличается от нормальной) до последнего времени не находили удовлетворительного объяснения. На звездах, конечно, отсутствуют лазеры, однако для возникновения эффекта СИД, как оказалось, не нужны уникальные свойства лазерного излучения. СИД возникает и тогда, когда излучение имеет широкий спектр, но обладает заметной спектральной неоднородностью и асимметрией в окрестности доплеровской линии поглощения выбранного элемента. Тепловое излучение звезды, проходя внешние слои атмосферы, приобретает такую неоднородность в виде известных фраунгоферовых линий поглощения. Оказывается, что в формируемой атмосфере химически пекулярных звезд неоднородности спектра излучения вполне достаточно, чтобы эффект СИД проявился и осуществил наблюдаемые изменения в химическом и изотопном составе атмосфер<sup>9</sup>.

Новейшие данные по химическому и изотопному составу планет Солнечной системы привели к гипотезе о неоднородности химического и изотопного состава протопланетного вещества<sup>10</sup>. Нам представляется важным обратить внимание астрофизиков на эффект СИД как на реальный физический механизм, способный обеспечить сепарацию химических элементов и изотопов в протопланетном облаке. Возбуждающим излучением в данном случае служит излучение протосолнца в молекулярных линиях.

Открытие эффекта СИД заставило по-новому взглянуть на кинетические процессы в газовых и газоподобных средах, подвергнутых воздействию излучения. Оказалось, что специфическое действие излучения (подобное демону Максвелла) на функцию распределения частиц газа по скоростям порождает целый ряд новых газокинетических эффектов.

Самым ярким из всех них по-преж-

нему остается эффект СИД. Существуют, однако, его модификации, имеющие иное внешнее проявление. В частности, если в качестве поглощающих частиц выступают ионы, то их дрейф проявляется в виде электрического тока. Оказывается, в определенных условиях электроны в полупроводниках ведут себя подобно частицам газа, и в результате эффекта СИД электронов возникает электрический ток. Аналогично могут вести себя не только электроны, но и квазичастицы в твердых телах, например экситоны.

В качестве буферного компонента могут выступать не только частицы газа, но и макроскопические тела, например стенки кюветы. В этом отношении интересна так называемая поверхностная модификация эффекта СИД, которая в настоящее время рассматривается как одна из перспективных методик исследования поверхности.

Помимо потоков частиц в газе под действием излучения возникают потоки тепла и внутренней энергии. В этих условиях давление, температура и коэффициенты переноса становятся анизотропными и может происходить селективное охлаждение и нагрев компонентов газа. Пространственная неоднородность интенсивности излучения приводит к новому эффекту — диффузионному вытягиванию поглощающих частиц в световой пучок или выталкиванию из него.

Качественно новые кинетические эффекты возникают также в связи с наличием у частиц вращательных степеней свободы и анизотропией потенциала межмолекулярного взаимодействия. Благодаря этому в поле излучения возможны макроскопические вихревые движения, возникновение определенной ориентации у молекул.

В нестационарных условиях на основе эффекта СИД и анизотропии давления генерируются звуковые волны. Существенные изменения претерпевает спектр звуковых колебаний, в частности в нем появляются новые ветви.

Все это убедительно демонстрирует, что новый раздел физической кинетики — светоиндуцированная газовая кинетика — переживает период активного развития, причем главное внимание уделяется экспериментальной регистрации и исследованию новых эффектов.

<sup>9</sup> Атутов С. Н., Шалагин А. М. // Письма в Астрон. журн. 1988. Т. 14. № 7. С. 664—671.

<sup>10</sup> Барсуков В. Л. Космохимия сегодня // Природа. 1988. № 10. С. 4—12.

# © Б. В. Чесноков **ТЕРРИКОНЫ—** **„ФАБРИКА“ МИНЕРАЛОВ**



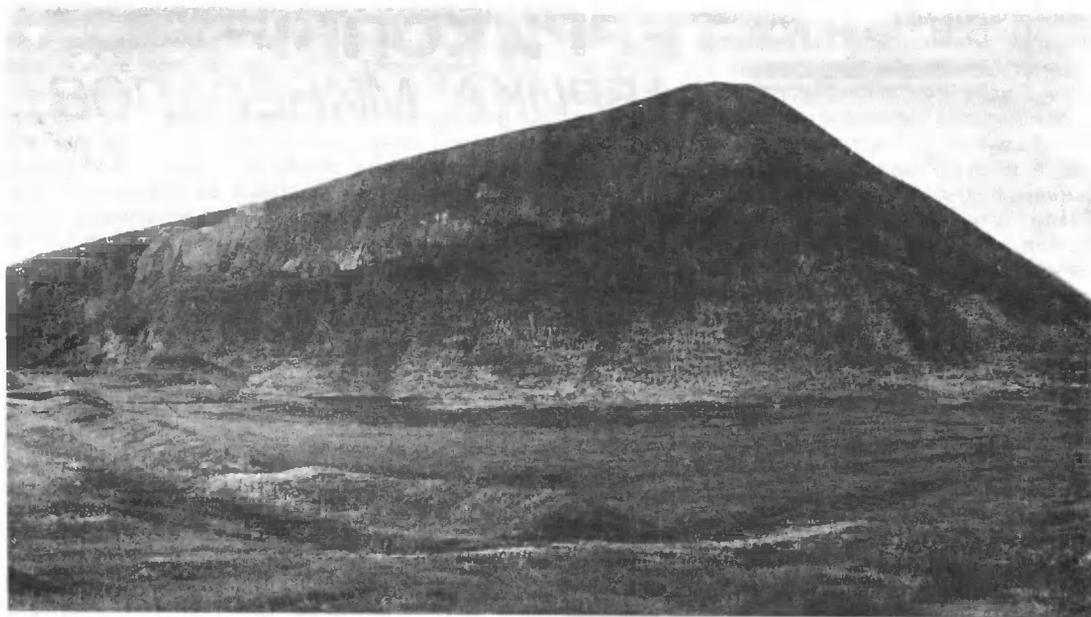
Борис Валентинович Чесноков, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией минералогии техногенеза Института минералогии Уральского отделения АН СССР. Занимается проблемами происхождения минералов, минералогическим картированием. Монография: Относительный возраст минеральных индивидов и агрегатов. М., 1971

**В** 1984 г. в Ильменском государственном заповеднике им. В. И. Ленина, неподалеку от уральского города Миасса, была организована первая лаборатория минералогии техногенеза. Термин «техногенез» не нов — так еще в 30-е годы А. Е. Ферсман назвал геохимические и минералогические последствия технической деятельности человека. Задача лаборатории — изучение минералов, рождающихся на наших глазах. А их на промышленном Урале возникает немало — в шахтах, карьерах, трубопроводах, нефтяных скважинах и другом оборудовании.

Но, пожалуй, наиболее интересный объект наших исследований — минералы так называемых горелых (горящих и отгоревших) отвалов угледобывающих предприятий.

Чаще всего самовозгораются терриконы — конусообразные сооружения из пустых пород, извлекаемых в шахтах, реже — плоские отвалы таких пород из угольных разрезов. При воздействии на отвальные породы атмосферных газов, воды, микроорганизмов происходит их гидратация, растворение, окисление, физическое выветривание. Окисление может быть столь быстрым, что отвал самовозгорается. Многолетнее его горение приносит немало бед — выделяющиеся при этом вредные газы и пыль отравляют воздух и воду. Поэтому горелый отвал — настоящее экологическое бедствие, влияние которого распространяется на значительную площадь. Но наряду с этим такой отвал — замечательная минералогическая и геохимическая лаборатория, в большинстве случаев доступная для работы. Высокая температура в отвале инициирует многообразные процессы образования минералов, часть которых в природе еще не наблюдалась. Такие техногенные продукты недавно решено относить к минералам.

В настоящее время терриконы нашего Челябинского угольного бассейна — благоприятные объекты для исследований. Интенсивное горение на большинстве из них уже прекратилось, и при известной осторожности работать на них можно. К тому же многие прогоревшие терриконы разрабатываются для нужд местного дорожного строительства. Поэтому в забоях и обнажившихся при



Террикон высотой в 60 м [1985 г.]. Прихребтовая и вершинная части лишены растительности. Начало отсыпки 1953 г., окончание 1970.

Здесь и далее фото автора.

обвалах стенках отчетливо видна их внутренняя структура.

Шахтный террикон — конусообразное сооружение высотой 60—80 м и объемом до 1 млн м<sup>3</sup> и более. Его хребто-видная часть относительно пологая (около 18°), по ней к вершине подвозят пустую породу. Лобовая часть террикона крутая (около 34°). Исходная негорелая масса терриконов Челябинского бассейна состоит из глинистых пород (аргиллитов, глин), песчаников, карбонатных и углистых пород, угля. В ней выделяются обломки стволов окаменелого дерева (до 20—40 см в диаметре), обычно из тонкозернистого доломита, а также технический мусор.

При горении в отвалах редко возникает пламя, чаще они тлеют. Наиболее интенсивно горение в лобовой части, куда непрерывно поступает свежий материал. Здесь в ветреную погоду очаги тления раздуваются, и раскаленные породы видно даже днем. Температура в них доходит до 1000 °С и выше. При этом куски пород спекаются в пласты.

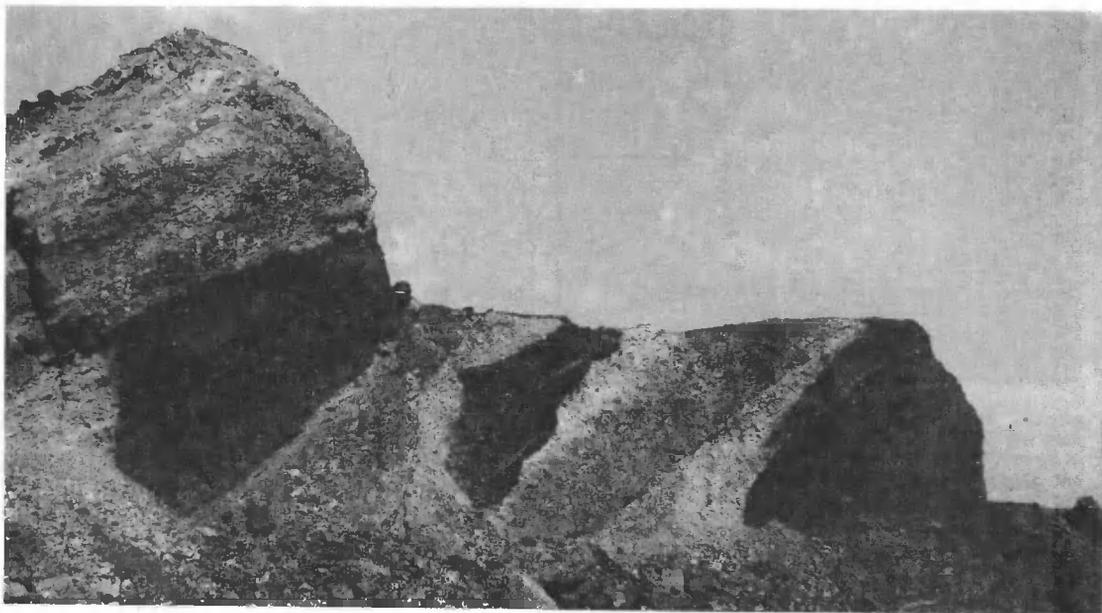
После окончания отсыпки терриконы тлеют в разных местах до 10 лет и более,

о чем свидетельствуют выходы горячих (до 500 °С) газов в их хребтовой части. В местах их выхода образуются сульфаты и хлориды, похожие на отложения вулканических фумарол.

Большую часть объема отвала занимают куски обожженных исходных пород — кирпично-красные горелые породы (горельники). Среди этой рыхлой массы выделяются более темные буро-вишневые спекшиеся пласты. В хребтовой части отвала, обогащенной мелкообломочным и глинистым материалом и поэтому плохо аэрируемой, заметны черные блоки (до 20 м в поперечнике), сильно прокаленные без доступа воздуха и отделенные от горельника резкой границей. В термически активных отвалах эти блоки медленно тлеют по периферии. В этих частях отвала температура иногда достигает 1200 °С.

Таким образом, в одном терриконе можно наблюдать ассоциации, сформировавшиеся в окислительных (горельник, спёк) и восстановительных (черные блоки) условиях.

Что же происходит в терриконе при обжиге? В целом кристаллохимический состав отвала значительно упрощается и усредняется. Если исходная масса состоит из водных и безводных силикатов, оксидов и гидроксидов, карбонатов, сульфатов, сульфидов, угля, углистого и битуминозного вещества и т. д., то горелые породы сложены в основном только безводными силикатами и оксидами. При обжиге удаляется адсорби-



Три черных блока в привершинной части террикона.

рованная, кристаллизационная и гидроксидная вода, полностью разлагаются карбонаты (с удалением углекислоты), сгорают все горючие вещества (включая сульфиды), металлы превращаются в оксиды. Главные факторы, обуславливающие такой ход процессов, — длительное действие высоких температур и наличие свободного кислорода.

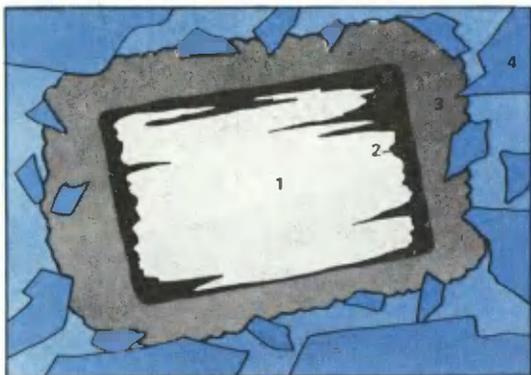
Глинистые породы горельника, сложенные в основном слоистыми силикатами типа гидрослюд, каолинита и хлорита, образуют скрытокристаллические агрегаты кордиерита, муллита, тридимита, гематита. Тонкодисперсной примесью последнего и обусловлен кирпично-красный цвет таких пород. Куски глинистых пород с повышенным содержанием карбонатов вскипают и превращаются в серые или лилово-серые пузыристые агрегаты. На стенках газовых пузырей в них образуются кристаллы многих безводных силикатов и оксидов, в том числе топаза и корунда.

Наиболее интересны в горельниках продукты обжига карбонатов — доломитовых кусков окаменелого дерева. На их месте возникает «орех» с ангидритовой скорлупой и мелкокристаллическим пористым ядром

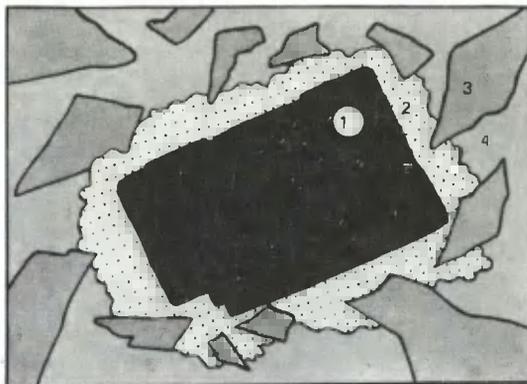
из периклаза и извести. Если исходный доломит окаменелого дерева был железистым, в ядре остаются тонкозернистые железистые агрегаты. Куски еще одних железистых карбонатов — сидеритов — превращаются в пузыристые буро-черные массы из оксидов железа.

Всего в горелых породах нами обнаружено и изучено 37 высокотемпературных минералов (не считая продуктов обжига металлических предметов), из которых 19 относятся к оксидам и 18 к силикатам. Это разнообразие минеральных видов при ограниченном числе кристаллохимических типов соединений (безводные оксиды и силикаты) обусловлено довольно пестрым и контрастным химическим составом исходной отвальной массы, а также неравномерностью распределения температур в отвалах.

Черным блокам цвет придает тонкодисперсный углерод типа сажи, покрывающий и пропитывающий обломки пород и образующий отдельные рыхлые скопления. В сильно прокаленных участках довольно широко распространен мелкочешуйчатый графит. Общее свойство всех слагающих черные блоки продуктов — безводность и относительная простота химического состава. Первая особенность обусловлена длительным действием высоких температур, а вторая — восстановительным характером среды, позволяющим образовывать самородные элементы (углерод, железо, сера), простые



«Орех», образовавшийся при обжиге куска окаменелого дерева. 1 — рыхлое ядро, сложенное периклазом и известью; 2 — выделения срабродольскита; 3 — ангидритовая «скорлупа»; 4 — горелые породы.



Кусок углеродизированного окаменелого дерева (1) в породе черного блока; 2 — силикатная корка; 3 — куски пород; 4 — породная «мелочь».

сульфиды, карбиды, оксиды и силикаты, содержащие железо в низкой степени окисления. Кристаллохимические типы соединений в черных блоках многочисленны: самородные элементы, карбиды, сульфиды, хлориды, фториды, оксиды и многочисленные безводные силикаты, в том числе фтористые.

Каменный уголь в этих блоках превращен в блестящее твердое вещество, сходное с широко известным шунгитом. Форма обломков угля при этом сохраняется, хотя объем их заметно меньше. Куски «шунгита» почти не содержат летучих компонентов, хотя в исходных образцах их много. Оторвавшись от угля, углистых пород и битуминозного вещества, летучие образовали на поверхности отвалов над черными блоками асфальтоподобную битумную корку толщиной 10—20 см. Следовательно, в черных блоках шли процессы, аналогичные сухой перегонке каменного угля.

Современная древесина (куски крепи, шпал и т. д.) в черных блоках превращена в обычный, крепкий и «звонкий», древесный уголь. В трещинах угля мы встречали прекрасные кристаллы силикатов, карбидов и сульфидов, отложенные из горячих газов.

Углеродизированы в черных блоках и карбонаты. Особенно хорошо заметно это на примере кусков окаменелого дерева. Оно превращается в волокнистое углеродное вещество, наследующее слоистое и волокнистое строение окаменелой древесины. Эти углеродные псевдоморфозы черного цвета весьма непрочны и очень легки (их плотность около 0,3 г/см<sup>3</sup>). Кальций и магний практически полностью выносятся из объема

псевдоморфозы и образуют силикатную корку, окружающую кусок измененного окаменелого дерева.

Сидериты превращаются в углеродистые сажистые массы, содержащие скопления сульфидов железа и магнетита.

Глинистые породы в черных блоках становятся тонкозернистыми продуктами, также содержащими углеродистое вещество. На его поверхности много кристаллов и сростков.

Черные блоки до нас не изучались. В этих уникальных объектах нами обнаружено 40 минералов. Многие из них представлены хорошо ограненными кристаллами, нарощими на поверхность кусков пород и на стенки трещин в них. Это пневматолиты — отложения горячих газов.

Формирующийся черный блок — мощный источник различных газов. В основном они образуются при дегидратации отвальной массы и сухой перегонке содержащегося в ней углистого и битуминозного вещества. Горячие газы, выходящие из глубин горящего террикона, содержат значительные количества водорода, оксида углерода, метана, сероводорода. Над крупными терриконами Донбасса многократно наблюдалось пламенное горение таких газов<sup>1</sup>. Довольно часто черные блоки перекрываются малопроницаемыми слоями отвала, обогащенными глинистым материалом. В таком блоке из-за дегазации вещества создается избыточное газовое давление, препятствующее

<sup>1</sup> Меркулов В. А. Охрана природы на угольных шахтах. М., 1981.



Отложения нашатыря возле выхода горячих газов.

щее его аэрации. Приток газов к тлеющим контактам черного блока может значительно усилить процесс горения. Нередко спекание и оплавление пород на границе блоков с горельником объясняется именно этой причиной. Когда в черном блоке скопится много газов, террикон может взорваться.

Интенсивное горение происходило несколько лет назад на крупном терриконе угольного разреза Коркинский. Он хорошо аэрировался и содержал довольно много угля. В ряде очагов породы плавилась. Расплавленная масса заполняла полости между глыбами или стекала в трещины, образовавшиеся при усадке отвала, образуя своеобразные тела, сложенные в основном плагиоклазом, пироксеном и оливином. Порода этих внедрений (даек) весьма похожа на базальт по строению, минеральному и химическому составу. Для них характерны формы капель, языков, сталактитов и сталагмитов. Исходным материалом для расплава была отвальная «мелочь» — относительно легкоплавкая смесь разных, в том числе карбонатных, осадочных пород. Крупные куски глинистых пород не плавилась; очень часто они запечатаны в «базальтах».

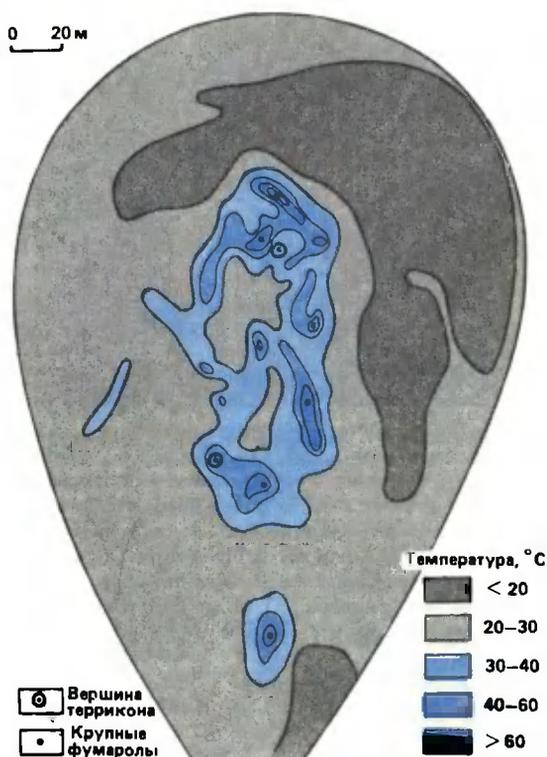
Куски сидеритов, захваченные «базальтом», превращены в черные желваки из губчатых масс самородного железа, железистых агрегатов, графита, серы. В них был также установлен новый минерал баженовит. Вообще генезис минерала этих желваков, думается, может подойти для Венеры или другой планеты, близкой к ней по характеру «окружающей среды». В «базальтовом» комплексе обнаружено 25 минералов.

Любопытные образования мы увидели в местах выхода горячих газов на поверхности террикона — фумаролах. Наибольшее их количество располагается над тлеющими участками черных блоков в хребтовой и вершинной частях терриконов. Всего в фумаролах обнаружено 52 минерала, в основном изученных Е. П. Щербаковой. Здесь образуются специфические минеральные отложения, представленные преимущественно сульфатами и хлоридами. Среди сульфатов главными являются безводные, основные и водные сульфаты алюминия. Это продукты разложения глинистых пород серной кислоты.

Почти во всех фумаролах в том или ином количестве присутствует нашатырь, из которого целиком состоят некоторые отложения. Широко распространены хлориды железа. Значительное число сульфатов и хлоридов содержит аммоний, которого обычно мало в фумаролах вулканических.

Весьма интересна минерализация металлических предметов в отвалах. От не сильного удара молотком рельс, торчащий из горельника, разлетается на куски: он полностью превращен в магнетит (металл перешел в минерал, из которого когда-то был получен!). Агрессивность горячих газов — причина такого глубокого изменения, которое коррозией как-то неудобно и назвать. С точки зрения минералога — это минерализация металлических предметов с образованием полных или почти полных псевдоморфоз.

Железные предметы (куски труб, арматуры, детали механизмов) — нацело или частично превращены в зернистые агрегаты магнетита или гематита. Чем длительнее и интенсивнее обжиг, тем больше железа переходит в периферические зоны псевдоморфозы, а срединные части ее разрыхляются. В итоге поперечник бывшего предмета может увеличиться вдвое, а в центральной его



Распределение температуры на глубине 5 см от поверхности террикона. Выделяются наиболее крупные фумаролы с температурой выходящих газов от 100 до 200 °С.

части возникает полость. Так из стержня может возникнуть «труба».

Нами собран также обширный материал по минерализации в терриконах бетона, асбоцемента, стекла, пластмасс, резины и др.

Всего в горелых терриконах Челябинского бассейна мы обнаружили около 30 новых минералов. Частично они уже утверж-

дены Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации.

Почти все новые минералы найдены в макроскопических количествах, а некоторые — в виде значительных масс.

Кроме чисто научного значения наша работа может иметь и практическое применение. В ряде угольных бассейнов породы терриконов уже используют для получения стройматериалов<sup>2</sup>. В Челябинском же бассейне вопрос их рационального использования пока не решен. Нами составлен «Кадастр отвалов горелых пород Челябинского угольного бассейна», который может быть полезен для этих целей. Эти породы могут применяться как заполнители бетонов и асфальтобетонов, для фильтров водоочистки, как абразивное сырье и т. д.; породы черных блоков — как высокосольное топливо.

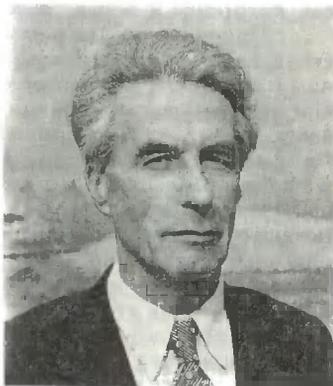
Террикон — настоящий склад ценного сырья. К тому же он легко доступен для разработки, так как находится в промышленном районе, где всегда ощущается нужда в стройматериалах.

Правда, в хребтовой и вершинной частях отвалов скапливаются наиболее токсичные легкорастворимые минеральные отложения (сульфаты, хлориды, углекислоты и др.). Поэтому перед разработкой отвала токсичный слой толщиной 0,5 м, протягивающийся по хребту отвала от основания до вершины, приходится снимать и прибегать к его захоронению.

Систематическое изучение горелых отвалов, которых в нашей стране немало, еще только начинается. Необходимы постоянные наблюдения за ними во всех угольных бассейнах. Особенно важен экологический аспект исследований — определение состава и количества выбрасываемых терриконами вредных компонентов, а также размеров зон их влияния. Исходя из этого, нужно решать судьбу этих творений человеческих рук.

<sup>2</sup> Книгина Г. И. Строительные материалы из горелых пород. М., 1966.

# © Г.Б. Жданов **Стандарты, развитие и научные школы**



Георгий Борисович Жданов, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник — консультант Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР, заместитель руководителя международного эксперимента «Памир» по изучению взаимодействий частиц сверхвысокой энергии в космических лучах. Автор ряда научно-популярных книг о космических лучах и статей по философским вопросам естествознания.

**С**ЛУЧИЛОСЬ ТАК, что автору довелось прочесть почти одновременно несколько интересных произведений, относящихся, казалось бы, к весьма далеким друг от друга явлениям в природе и обществе. Речь шла о новых тенденциях развития физики, общих законах эволюции, причинах застоя в научной и философской жизни нашей страны за последние 20 лет и, наконец, о становлении и развитии наиболее ярких научных школ у физиков<sup>1</sup>. Во всех этих работах в разном, правда, облике обсуждались одни и те же проблемы. Это — особая роль неравновесности состояний, соотношение стереотипов и лидерства, значение «кооперативных» эффектов в поведении, а затем и в мышлении. Случайность это, закономерность или общая тенденция? Об этом предоставим возможность судить читателю.

Конечно, возникает вопрос, допустима ли прямая эстраполяция, если не законов, то хотя бы тенденций, скажем, чисто биологического уровня к проявлениям активности сознания? Позиция автора состоит в том, что можно и нужно говорить о преемственности некоторых механизмов эволюции, учитывая вместе с тем и возникновение качественно новых сторон развития материи и сознания.

## СТАНДАРТЫ ПОВЕДЕНИЯ В БИОЛОГИЧЕСКОЙ И СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРАХ

Поведение живого организма нельзя рассматривать как мотивированное только его генетическими программами, внутренним состоянием и реакцией на изменение окружающей среды. В процессе борьбы за существование определенную роль для развития играет обучение по принципу подражания («делай, как я»). И здесь допусти-

<sup>1</sup> Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М., 1987; Моисеев Н. Н. Алгоритмы развития. М., 1987; Розов М. А. // Вопр. философии. 1988. № 8. С. 23; Шкловский И. С. // Химия и жизнь. 1987. № 9. С. 70; Храмов Ю. А. Научные школы в физике. Киев, 1987; Франк-Каменецкий М. Д. Механизмы торможения в науке // Иного не дано. М., 1988; Моисеев Н. Н. Универсальный эволюционизм и коэволюция // Природа. 1989. № 4. С. 3—9.

мо говорить о консервативном элементе сохранения развития популяции по аналогии с механизмом генетической памяти. При этом основными факторами эволюции являются, разумеется, естественный отбор, наследственность и изменчивость.

На встрече группового единства действий мы встречаемся с той общей особенностью коллектива, которая в применении к социальным группам именуется в литературе кооперативностью (в смысле согласованности действий, а точнее — существенной зависимости данного поступка одного члена коллектива от поступков окружающих). При математическом моделировании подобных процессов мы приходим к нелинейным процессам, поскольку вероятность поступка для данного индивида зависит от числа индивидов, уже совершивших его.

Подчеркнем, что вышеизложенное касается только одной — консервативной — стороны биологической эволюции. Без изменчивости никакая эволюция была бы невозможна, ибо и память, и стандарты поведения могут только отбирать и закреплять в процессе естественного отбора прогрессивные результаты изменчивости.

И, наконец, чисто терминологическое замечание: в применении к стандартам поведения более точен термин «стереотип поведения» (которым широко пользовался, в частности, И. П. Павлов), поскольку речь идет уже не об «элементарном акте», а обычно о целом комплексе действий определенного типа. В дальнейшем, однако, термин «стандарт» будет сохранен с оговоркой более широкого смысла его понимания.

## СТАНДАРТЫ В СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЕ

В развитии человеческого общества феномен прямого подражания играет такую же роль, как и в биологической эволюции. И тем не менее на далеко не случайные его проявления хотелось бы обратить внимание.

Достаточно напомнить о моде, которая, впрочем, основана не столько на желании укладываться в рамки стандарта, сколько на стремлении к самовыражению, выделению из унылой обыденности.

Стремление к стандартам поведения, отличающим данную общественную группу от остальных (по идее — в лучшую сторону), связано с престижем и образом жизни. «Быть не хуже других», не считаясь с ценой (а иногда и прямо по критерию высокой цены), — этот принцип одинаково эффективен при выборе жилья, магазинов, авто-

машин и т. д. Немалую роль в социальной сфере играют и ритуалы, дипломатические протоколы как официально узаконенные обычаи, а также всякого рода традиции и церемонии, приуроченные к различного рода «узловым моментам» общественной и семейной жизни (собрания, свадьбы, похороны и т. п.).

Подчинение (вольное и невольное) стандарту без какого-либо критического к нему отношения характерно при следовании как моральным принципам («так поступают все!»), так и при выборе религии. По существу, речь идет, как правило, не о свободном выборе, а о следовании устоявшимся традициям, которые изрядно расширяются лишь в критические периоды социальных потрясений. К этой же категории широко распространенных моральных и идеологических стандартов относится и понятие образа, в частности образа врага.

Множество примеров можно привести из массовой культуры, под которой понимают обычно совокупность стандартных стилей и приемов, сознательно адаптирующих достижения общечеловеческой культуры к невысокому и потому общедоступному, не требующему особого духовного напряжения уровню понимания и восприятия.

В науке одним из основных стандартов является парадигма — свод правил и норм, определяющих общие методы достижения и критерии обоснованности наших знаний, устоявшуюся систему представлений о мире.

Два общих замечания. В ряде приведенных выше примеров еще не играет принципиальной роли проблема лидерства: кто и как устанавливает стандарты, сменяющие друг друга иногда самым неожиданным образом. Исходный толчок, смена стандарта — это во многом дело случая, хотя очень важна и эффективность тех или иных стандартов в экономических или политических интересах (отсюда, в частности, и закрепление мод интенсивной рекламой). Особая ситуация складывается в идеологической (в том числе — религиозной) сфере. Здесь уже важен облик лидера.

Далее мы увидим, как понятие о «кооперативном» характере системы, с которой отождествляется та или иная социальная группа, в ходе эволюции распространяется не только на стиль поведения, но и на образ мышления. Большая роль такого вида мотивации как следование известному стандарту поведения и мышления позволяет рассматривать ее как одно из проявлений информационной (в отличие от силовой) формы причинности в природе и обществе.

## СТАНДАРТЫ И ПЛЮРАЛИЗМ В НАУКЕ

Как и в ряде технических направлений, для надежных и эффективных взаимоотношений человека со средой большую роль играет дублирование каналов связи. Это обстоятельство, в частности, используется в технике выступлений, когда слуховой канал связи с аудиторией подкрепляется и дополняется зрительным. Существование двух и более, в первом приближении параллельных, а на деле сложно взаимосвязанных каналов обработки информации,— один из источников неоднозначной взаимозависимости наших сведений о мире от его объективных характеристик. Поэтому характеристики возникающей в нашем мозгу картины мира не являются простыми (в частности, линейными) функциями внешних раздражений и сигналов, как это предполагается обычно в концепции отражения свойств материи человеческим сознанием.

Еще более ярким свидетельством нелинейности процесса отражения мира сознанием служит весьма развитый механизм ассоциаций при размещении и обратном излучении огромных потоков информации. Именно на нем основано накопление жизненного опыта и профессиональных знаний, именно он обеспечивает возможность опережающего (прогнозирующего) и в то же время запаздывающего (из-за необходимости накопления ассоциаций) отражения материального мира нашим сознанием.

Весьма существенной чертой научного познания как коллективного процесса является неоднозначность, плюрализм подходов, постановок и решений возникающих проблем. Заметное отставание нашей фундаментальной науки заставляет всерьез задуматься об эффективности существующей системы (организации и планирования научной деятельности, которая опирается на жестко регламентированную структуру научных подразделений с их штатными, финансовыми и строительными ресурсами, расписанными по соответствующим научным темам. В этих условиях совершенно необходимые для прогресса науки спонтанно возникающие новые идеи, особенно — требующие для своей реализации больших усилий и затрат, наталкиваются на огромные трудности, поскольку все заранее расписано на десятилетия вперед. Психологическая инерция тоже не позволяет вовремя отказаться от уже сложившихся, устоявшихся методов, стилей и направлений исследования. Наложил свой отпечаток на организацию и управление наукой и общий командно-административный стиль с

его неизбежными бюрократическими излишествами.

Все это отвлекает много сил на выполнение далеких от науки бумажных «работ» и мешает выдвижению молодых талантов и творческому соревнованию научных идей. Более того, четко налаженный механизм «изготовления» диссертаций в рамках запланированных и не подлежащих сомнениям направлений развития науки служит весьма ощутимым «противовесом» разработке новых, нестандартных идей. Для преодоления этих факторов торможения крайне важны неформальные объединения ученых в виде научных школ, опирающихся на авторитет их неформальных лидеров. При этом нередко возникает противопоставление авторитета руководящей должности и авторитета талантливой личности.

## НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ

Обратимся к тем особенностям процессов развития человеческого познания, которые определяют собой, в конечном итоге, противоречивую роль стандартов поведения и мышления в развитии науки.

Здесь важно следующее: объективная роль тех критических, неравновесных ситуаций в изучении законов природы (или общества), которые стимулируют выдвижение неформального научного лидера и организацию вокруг него коллективной познавательной деятельности в виде некоторой, не обязательно оформленной организацией научно школы;

факторы, определяющие качества лидера такой школы, его авторитет как личности, богатой идеями и достойной подражания, которая стимулирует появление перспективных проблем и норм обоснования нового знания, стиль научного общения, обеспечивающий высокую плодотворность деятельности данной школы;

научные семинары как основное средство наиболее интенсивного развития новых и совершенствования получаемых результатов и как основной «полигон» для практического внедрения соответствующих стандартов поведения и мышления, характеризующих специфический дух школы и ее этические принципы;

соотношение между требованиями единства научной программы и основных принципов объяснения изучаемой области конкретных явлений, с одной стороны, и единства стиля деятельности, обеспечивающего максимальную творческую инициативу членов школы в сочетании с высокой кон-

центрацией усилий на наиболее перспективных участках научного «штурма», — с другой.

Под критическими ситуациями в познании я имею в виду, прежде всего, периоды, когда существующие концепции и теории уже не в состоянии объяснить совокупность известных фактов из данной области экспериментальной науки, как их ни усложняй и ни «заштопывай». Типичными примерами таких теорий являются птолемеева структура движения планет солнечной системы или структура атомных спектров (до Н. Бора), слишком усложнившаяся систематика элементарных частиц (до кварков), или неожиданное открытие высокотемпературной сверхпроводимости. Для кардинального решения проблемы требуется научный лидер (хотя бы один!), талант и мужество которого позволят отказаться от традиционной, «очевидной» точки зрения на вещи.

Бывает и так, что все достаточно ясно, но в общем «уныло», бесперспективно, и вдруг появилась интересная научная идея, только непонятно, с какой стороны ее «ухватить» для практической реализации, как это было, например, с гипотезой А. Эйнштейна об индуцированном излучении атомов в электромагнитном поле резонансной частоты. Уже В. А. Фабрикант понимал, что, в принципе, можно получить оптический усилитель на индуцированном излучении. Но только идея об использовании активной среды в резонаторе позволила Н. Г. Басову, А. М. Прохорову и Ч. Таунсу предложить широкий спектр генераторов электромагнитных волн, работающих на принципе индуцированного излучения.

## О НАУЧНЫХ ЛИДЕРАХ И СЕМИНАРАХ

Итак, лидер, а иногда (правда, редко) и несколько почти равноправных лидеров появились благодаря счастливому и, в общем, случайному сочетанию многих объективных условий и субъективных качеств.

Как же возникает авторитет лидера как человека, достойного подражания и как «центра притяжения» талантов? Конечно, лидеру нужны оригинальность идей, с одной стороны, и целеустремленность, энтузиазм и работоспособность — с другой (нередко эти качества вступают в очень сильное противоречие). Не менее важно искусство ярко и доступно излагать свои мысли, убеждать сомневающихся (к сожалению, эти свойства отсутствуют иногда даже у выдающихся ученых!). Вот почему именно высшая школа часто становилась центром формирования школы научной.

Очень важны и высокие моральные качества лидера, принципиальность, щедрость души, доброжелательность по отношению к ученикам и всем входящим в «храм науки», а также широта и разносторонность интересов — все то, что создает ореол личного обаяния и даже личной преданности у учеников и последователей. Именно этот набор благородных качеств (характерные примеры — И. Е. Тамм в СССР, Э. Резерфорд в Англии) создает исключительно благоприятную атмосферу для формирования того дружного научного коллектива, который объединяет людей, работающих даже над решением совершенно разных проблем и создает весомый эталон высоких качеств ученого и гражданина. Хотелось бы отметить воспитываемое на примерах деятельности выдающихся ученых чувство ответственности за судьбы мировой цивилизации, столь характерное, в частности, для А. Эйнштейна, Н. Бора, С. Пауэрла, К. Сагана, Д. В. Скобельцына, А. Д. Сахарова и многих других крупных ученых XX в.

Высокие требования к профессиональному мастерству не должны сопровождаться подавлением инициативы и самостоятельности учеников. Так, лидер первой советской школы А. Ф. Иоффе, прошедший основательную школу прецизионного физического эксперимента в Германии у В. Рентгена, отчетливо представлял себе как достоинства, так и недостатки пресловутого «орднунга». И он на своем опыте понял, как тяжело отзывается на учениках стремление главы школы уложить их творческую инициативу в прокрустово ложе устоявшихся канонов и личных пристрастий.

Лидер школы не обязательно должен быть умелым организатором. Именно в этом пункте намечается наиболее существенное различие между лидером (т. е. неформальным главой) школы и руководителем научного подразделения. Последнему принципиально редко приходится решать принципиальные научные проблемы, ибо выбор метода и задач исследований, как правило, уже сделан на годы вперед. Зато его нередко «заедает текучка» повседневных организационных забот, которые далеко не всегда и не полностью можно переложить на плечи заместителей. Ответственному за свое дело руководителю просто немыслимо абстрагироваться от целого ряда задач как внутреннего, так и внешнего характера, т. е. подбор и расстановка кадров, контроль за своевременной и добротной публикацией результатов работ, а также деньги, штаты, помещения, оборудование — все то, что требует личного престижа в

вышестоящих инстанциях, высоких званий («погон»), обширных связей. И здесь (особенно часто в годы культа личности и застоя) срывается принцип «цель оправдывает средства», создающий свой особый стандарт поведения «процветающего» ученого, процветающего далеко не всегда в прямой зависимости от реальных научных заслуг (вспомним школу Т. Д. Лысенко).

Важной и далеко не решенной проблемой является отработка критериев эффективности научной деятельности лабораторий. Как правило, ее оценка основана на таких формальных «валовых» показателях, как число статей, книг, отчетов, докладов, диссертаций, премий. Дополнительными критериями (особенно для диссертаций) служат степень актуальности исследований, их завершенность и возможности практического применения результатов. К сожалению, все они при достаточном опыте могут быть удовлетворены (опять же формально!) без труда. Действительно, если уж исследование начато, оправдать его относительную актуальность очень легко, исследование можно считать вполне завершенным, строго говоря, лишь в том редком случае, когда оно доказало бесперспективность данного метода или направления. Что касается «практического» использования, то пишут и о включении материала в учебные курсы, и об использовании результатов на других этапах решения той же задачи, и о каком-либо, пусть самом незначительном «внедрении» в практику других лабораторий или в промышленность (последнее, конечно, происходит весьма редко даже в отраслевых институтах).

Между тем для реальной оценки результативности научных школ, и особенно их лидеров, довольно безотказно действует такой, в общем, несложный критерий, как частота цитирования (без автосцитирования) в мировой научной литературе с учетом также мнения научной общественности (положительных, или, наоборот, разгромных рецензий). Правда, здесь приходится учитывать и сдвиг во времени (идеи, действительно кардинально преобразующие науку, часто воспринимаются научной общественностью далеко не сразу), и, с другой стороны, весьма солидную иногда поправку на неоправданную рекламу, адресованную (не без умысла) широкому, но мало компетентному кругу неспециалистов.

Говоря о взаимоотношениях лидера и школы в целом, надо отметить его высокие требования к степени обособанности новых результатов, создание непрерывных стимулов для творческой инициативы уче-

ников, наконец, высокий энтузиазм и исполнительское мастерство. Яркое сочетание всех этих особенностей было характерно, в частности, для школ В. И. Векслера (ФИАН, затем ОИЯИ) и П. Л. Капицы (Институт физических проблем АН СССР).

Отличительной чертой любой научной школы всегда был и остается традиционный научный семинар (вспомним хотя бы знаменитый «капичник» в Москве, выступление на котором уже само по себе было знаком высокого качества). Семинар — это наилучшая форма воспитания научных кадров, ибо он формирует и поддерживает не столько определенную научную парадигму (как совокупность основных принципов познания), сколько сочетание высоких морально-этических норм с духом критического отношения к устоявшимся и часто уже отжившим свой век взглядам и предубеждениям. Очень показательны в этом плане были семинары Л. И. Мандельштама в ФИАНе и Л. Д. Ландау в Институте физических проблем.

Основой научных революций и формирования новых научных школ является, по Т. Куну, смена исчерпавших себя парадигм. Правда, многое зависит от степени их фундаментальности. Можно с полным основанием говорить о формировании новой парадигмы в результате крупнейших открытий физики XX в. и прежде всего — теории относительности и квантовой механики, но это уже не заслуга какой-то одной научной школы. Совокупность концепций и традиция определенной научной школы, с одной стороны, значительно скромнее по масштабам переворота научного мировоззрения, а с другой — значительно шире по спектру традиций, норм, стандартов поведения и мышления данного научного сообщества.

Кроме того, неверно было бы изображать историю развития науки только как бесконечное чередование все новых и новых школ с характерными для каждой из них принципами и методами исследования (включая при этом в понятие «методы исследования» такие вопросы как, скажем, культура дискуссий, способы убеждения научных оппонентов и т. д.). Асимптотический характер приближения человеческого познания к абсолютной истине в сочетании с представлением о творческом характере этого процесса приводят к выводу о неоднозначности, многовариантности программ исследования. Поэтому для плодотворного развития науки необходимо отсутствие монополии на истину, т. е. наличие нескольких свободно соревнующихся между

собой научных школ, конкурсный отбор молодых талантов и выдвижение проектов новых исследований и, наконец, активно развивающееся научно-общественное мнение. Особенно важно все это в условиях выбора между несколькими дорогостоящими и уже поэтому альтернативными проектами, как при планировании современных ускорителей.

В чем различие между школами и научными подразделениями? Во-первых, в том, что концепции, принципы и традиции школы никогда не укладываются в узкие рамки «сьюминутных» конкретных задач, а достигнутые результаты часто служат фундаментом для широких и глубоких философских обобщений (вспомним хотя бы принцип дополнительности Бора). Во-вторых, в школе вырабатывается единый стандарт культуры научного общения и поощрения творческой инициативы, а при жесткой организационной структуре научных подразделений на первый план, как правило, выступает стандартизация методов получения и интерпретации результатов. Главное же в том, что научная школа воспитывает профессионализм широкого плана в сочетании с высокими моральными качествами ученого, а жестко регламентированная инфраструктура науки — узкий профессионализм и конформизм поведения.

Таким образом, на ранних стадиях эволюции живой материи постепенно развиваются процессы стандартизации как консервативный элемент эволюции. В общественной жизни мы также сталкиваемся с исторически обусловленными разнообразными формами стандартизации как поведения, так и мышления.

На примере анализа научных школ была показана важность тех факторов, ко-

торые способствуют наилучшему отбору и развитию творческих личностей, соревнованию различных, на первый взгляд, взаимно исключаящих направлений. Именно эти факторы и обеспечиваются наилучшим образом при наличии успешно развивающихся научных школ с их неформальными лидерами.

Хотелось бы особо отметить значимость проблемы формирования и оценки роли научных школ. В науке не менее, чем в искусстве (и гораздо более, чем, скажем, в экономике), опасна излишняя регламентация, ведущая к подавлению творческой инициативы членов научного общества, и в то же время недопустимо чрезмерное распыление сил, неизбежное при отсутствии авторитетных научных школ.

Конечно, научные школы и подразделения не могут быть четко разграничены во времени и пространстве, и одна форма объединения ученых отнюдь не исключает, а дополняет другую. Хочется подчеркнуть важность своевременной и всесторонней оценки мнения научной общественности в осуществлении тех или иных проектов и реформ для эффективного преодоления негативных факторов, связанных с укоренившимися стереотипами и догмами мышления.

Итак, проблема стереотипов мышления и действия в науке это, прежде всего, вопрос о роли честно соревнующихся друг с другом научных школ в преодолении ограниченных стереотипов задач и методов исследования, о плюрализме их стилей и идейных арсеналов. И в то же время это и серьезный разговор о сохранении и развитии высоких стандартов и критериев в оценках как научных заслуг и творческих потенциалов членов научного сообщества, так и их нравственных устоев.

# В. М. ГОЛЬДШМИДТ

## — ОСНОВОПОЛОЖНИК

### ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ

Говоря об истоках геохимии и кристаллохимии, мы непременно вспоминаем В. И. Вернадского, А. Е. Ферсмана, Н. В. Белова, отмечаем их громадный вклад в развитие этих областей естествознания вновь и вновь обращаемся к их наследию. Но при этом в тени невольно оказывается фигура известного всему миру геохимика и кристаллохимика Виктора Морица Гольдшмидта.

Вообще, область нашего незнания о зарубежных исследователях — даже самых крупных — весьма обширна. Если мы более-менее достоверно можем судить об их научном вкладе, то личность этих ученых, их человеческие качества нам почти неизвестны. Этой публикацией «Природа» знакомит читателей с яркой и полной трагизма судьбой Гольдшмидта, его подвижничеством в науке, а также с его основными работами, составившими фундамент современной геохимии и кристаллохимии.

## ЗНАМЕНИТЫЙ НЕЗНАКОМЕЦ

© Н. Р. Хисина,

кандидат геолого-минералогических наук  
Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР  
Москва

**М**ИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ правило фаз Гольдшмидта, правило Гольдшмидта о близости размеров взаимозамещающихся атомов в кристаллической структуре, система эмпирических ионных радиусов Гольдшмидта... В 60-е годы, когда мы «проходили» все эти правила в университете, они воспринимались нами как не менее фундаментальные, чем, скажем, закон Кулона. И Гольдшмидт казался нам таким классиком, что легко было представить его жившим и умершим в далеком XIX в.

Впрочем, о своем отношении к основоположнику геохимии я не особенно задумывалась, пока к 100-летию со дня рождения Гольдшмидта мне не предложили собрать о нем биографический материал. Вскоре выяснилось, что такого материала в русскоязычных публикациях фактически не существует. Не осталось и тех, кто знал Гольдшмидта лично и мог бы рассказать о нем что-то свое. Даже портрет Гольдшмидта для юбилейной статьи в научном журнале был найден с большим трудом.

И все же мои поиски оказались не напрасны. С помощью В. С. Неаполитанской — хранительницы музея Вернадского в нашем институте — удалось разыскать письма Гольдшмидта к Вернадскому (21 письмо) и какие-то строки о Гольдшмидте в воспоминаниях В. В. Щербины. Что-то рассказал В. А. Франк-Каменецкий со слов немецких

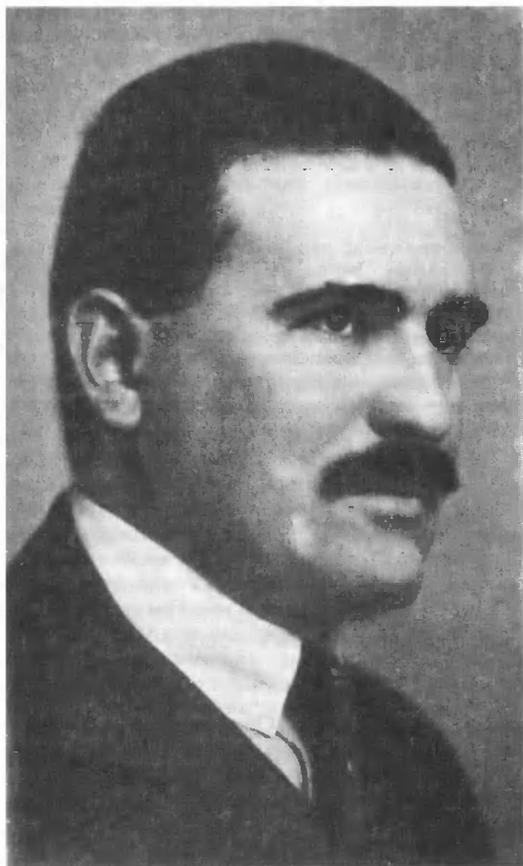
коллег Гольдшмидта. Обнаружились краткие некрологи о Гольдшмидте, написанные А. П. Виноградовым и Д. П. Григорьевым, а также вступительные строки Ферсмана к его «Геохимии», где упоминается Гольдшмидт... Вот, пожалуй, и все. Предпоследние публикации — в 1947 г., в связи со смертью Гольдшмидта, последние — в 1988 г., в связи со 100-летием со дня его рождения<sup>1</sup>.

Есть ли в этом что-нибудь необычное? Почему поколения отечественных геохимиков 60-х, 70-х, 80-х годов, зная правила Гольдшмидта и пользуясь ими, почти ничего не знают о самом ученом?

Может быть, Гольдшмидт сильно устарел? Или это следствие типичного для современной науки отношения к классикам, которым курят фимиам в дни юбилеев, предпочитая не вспоминать о них ежедневно? И не в том ли дело, что мы просто не можем жить и работать без собственных Ломоносовых?

Во всем мире Гольдшмидта по праву считают основоположником современной кристаллохимии и геохимии, во всяком случае одним из основоположников. Конечно, он не был философом и мыслителем масшта-

<sup>1</sup> Франк-Каменецкий В. А. // Зап. Всес. минералог. об-ва. 1988. Вып. 4. Ч. 117. С. 495; Урусов В. С., Пушаровский Д. Ю. // Минералог. журн. 1989. № 1. С. 87—91.



ВИКТОР МОРИЦ ГОЛЬДШМИДТ. 27.I.1888—20.III.1947.

ба Вернадского. Но именно Гольдшmidt заложил основы, на которых в нашей стране были созданы учения А. Е. Ферсмана и Д. С. Коржинского. Многие направления научных интересов Гольдшmidtа получили развитие в работах Виноградова и его школы. Как остроумно заметил П. Росбауд, «то обстоятельство, что в одной только России после войны появилось около 25 тыс. геохимиков, наводит на мысль о важности современной геохимии»<sup>2</sup>. По воспоминаниям учеников Виноградова, в 60-е годы они обра-

щались к нему с предложением перевести на русский язык «Геохимию» Гольдшmidtа, изданную посмертно в Англии в 1954 г. На это Александр Павлович ответил, что мы напишем свою «Геохимию». Этот учебник Виноградовым так и не был написан, а «Геохимия» Гольдшmidtа до сих пор не переведена на русский.

В начале 1988 г. в Западной Европе и Америке прошли юбилейные торжества по случаю 100-летия со дня рождения Гольдшmidtа. 11—13 мая 1988 г. в США состоялась 1-я Гольдшmidtовская конференция. В ней участвовали геохимики из США, Канады, 11 стран Западной Европы, а также из Австралии, Японии, Китая, Израиля. Программа конференции охватывала широкий круг проблем: от космогенных радионуклидов до минералогии и петрологии мантии, кристаллохимии, геохронологии. Во все эти направления Гольдшmidt внес основополагающий вклад. В юбилейном году вышел специальный номер международного журнала "Applied Geochemistry", целиком посвященный Гольдшmidtу. Материалы этого номера, в котором собраны воспоминания друзей и коллег Гольдшmidtа, положены в основу данной публикации.

Виктор Мориц Гольдшmidt родился 27 января 1888 г. в Цюрихе. Его отец, Генрих Якоб Гольдшmidt, был известным физико-химиком, работавшим до этого в Праге. Вскоре после рождения сына он получил место профессора в Амстердаме, а затем семья переехала в Гейдельберг, где Виктор Мориц получил начальное образование.

«Правдивая вежливость» — один из жизненных принципов, внушенных ему, по воспоминаниям самого Гольдшmidtа, матерью. Вот как рассказывал он Росбауду незадолго до смерти о своих детских впечатлениях. Когда отец уехал в Гейдельберг, шестилетнего Виктора Морица отдали в частную школу. При этом мать напутствовала мальчику всегда быть вежливым и говорить правду, даже неприятную. Через несколько дней учитель, рослый мужчина с черной бородой и отталкивающей внешностью, обратился к маленькому Виктору Морицу с вопросом, нравится ли ему в школе. Заключение учителя были такими: «Я надеюсь, мы будем хорошими друзьями. Я уже нравлюсь тебе?» На это Виктор Мориц, помня напутствие матери, после минутной

\* Фотографии, использованные в статье, любезно предоставлены профессором А. А. Левинсоном, редактором-составителем специального номера международного журнала Applied Geochemistry, посвященного 100-летию со дня рождения В. М. Гольдшmidtа.  
<sup>2</sup> Rosbaud P. // Appl. Geochem. 1988. Vol. 3. № 4. P. 362. Кстати, о Поле Росбауде. В годы второй мировой войны он был редактором журнала «Naturwissenschaften», близко знал всех ведущих немецких физиков, был вхож в их лаборатории и передавал

английской разведке важнейшую информацию о ходе урановых дел в Германии. Нелегальная кличка Росбауда «Гриф». Подробнее см.: Gramisch A. The Griffin. Houghton Mifflin, 1986.

паузы ответил: «Не особенно, господин учитель».

Мрачный юмор, пессимизм, безупречная вежливость, сдержанность и педантизм — таковы, судя по воспоминаниям современников, внешние черты характера Гольдшмидта.

Отчасти пессимизм и замкнутость Гольдшмидта были результатом его еврейского происхождения и испытанных в детстве проявлений антисемитизма. Возможно, поэтому он не полностью доверял людям, если знал их недостаточно близко. В то же время сам Гольдшмидт был к людям неизменно добр, чувствителен к проявлениям искренней дружбы. Многие поступки характеризуют его как человека ярко выраженных симпатий и антипатий.

В 1900 г. отец Гольдшмидта получает место профессора химии в Университете Христиании (ныне Осло), единственном тогда университете на территории Норвегии. В 1905 г. в том же университете Виктор Мориц начинает изучать минералогию, геологию, неорганическую и физическую химию. Геологии он учился у известного исследователя В. С. Бреггера, под влиянием которого сформировались его будущие научные интересы. Зимой 1908 и 1911 гг. Гольдшмидт стажуется у Ф. Бекке в Вене и П. Грота в Мюнхене. В 1911. выходит первый его фундаментальный труд, посвященный контактовому метаморфизму пород Норвегии. В этой работе Гольдшмидт впервые использует физико-химические подходы к решению геологических проблем, рассматривая земной шар как единую физико-химическую систему. В том же 1911 г. он получает докторскую степень. С 1912 г. Гольдшмидт — доцент, а в 1914 г., в возрасте 26 лет, — полный профессор и директор Минералогического института при Университете Христиании. В 1917 г. Гольдшмидт возглавляет правительственную комиссию Норвегии по минеральному сырью и становится заведующим лабораторией минерального сырья в университете.

Гольдшмидт первым оценил значение развивающихся известным кристаллографом В. Л. Бреггом рентгенодифракционных методов для расшифровки кристаллических структур минералов. Применение им и его учениками рентгеновских методов к изучению кристаллической структуры многих природных и искусственных соединений привело к рождению кристаллохимии, которую Вернадский позднее определил как «химию твердого состояния материи». Нельзя не согласиться с заключением Брегга, сделанным еще в 1933 г.: «Кристаллохимия неорга-

нических соединений построена на основании В. М. Гольдшмидтом фундаменте»<sup>3</sup>.

В годы первой мировой войны научная деятельность Гольдшмидта почти целиком была направлена на решение сырьевых проблем. Он организует при Норвежском геологическом комитете специальную сырьевую комиссию, изучает возможность получения калия из биотитовых слюд, а глинозема и алюминия — из лабрадоровых пород, начинает углубленное исследование глин как источника сырья.

Для подхода Гольдшмидта к решению практических задач интересен следующий эпизод, рассказанный в свое время Ферсманом<sup>4</sup> и переходивший потом из одной публикации в другую. Эта история связана с таможенной борьбой Норвегии и Великобритании. В Норвегии в больших количествах производили карбид кальция, использовавшийся, в частности, в ацетиленовых фонарях на рыбачьих судах. Его экспортировали и в Великобританию. Когда для защиты химической промышленности от иностранных конкурентов в Лондоне был принят закон о высокоом таможенном обложении ввозимых органических соединений, то под него попал и карбид кальция. Норвегии это грозило большими убытками, так как вывоз карбида давал до 30 млн норвежских крон в год. И вот Гольдшмидту предстояло в британском суде доказать, что карбид кальция не является органическим соединением, и этим выиграть дело. Он немедленно отплыл в Англию и с парохода, пользуясь радиотелеграфом, сумел организовать экспрессное рентгенографическое исследование кристаллической структуры этого соединения как в своей лаборатории в Осло, так и в лаборатории Брегга в Лондоне. Суду Гольдшмидт представил следующее доказательство: кристаллы карбида кальция построены не по типу сложнейших решеток органических соединений, а аналогичны по структуре хлористому натрию. Эти доводы, иллюстрируемые внесенными в зал суда эффектными моделями структур, решили дело в пользу Норвегии.

В начале 1927 г. состоялась первая встреча Гольдшмидта и Вернадского. Они вели переговоры об издании международного журнала по геохимии. Вскоре Гольдшмидт пишет Вернадскому: «Осло, 23.11.1927. <...> Два дня тому назад я получил конфиденциальное письмо от Академического

<sup>3</sup> The Crystalline State / Ed. W. N. Bragg and W. L. Bragg. Vol. 1. A General Survey. Ch. XII. L., 1933. P. 352.

<sup>4</sup> Ферсман А. Е. Новые центры новой науки. Л., 1925. С. 34—35.



1-й Сольвеевский конгресс, 1911 г. На этом уникальном фото, сделанном в отеле «Метрополь» в Брюсселе, запечатлены «сливки» европейских физиков начала века. Сидят, слева направо: В. Нернст, М. Бриллюэн, Э. Сольве, Х. Лорэнц, Э. Варбург, Ж. Б. Перрен, В. Вин, М. Склодовская-Кюри, А. Пуанкаре. Стоят: В. М. Гольдшмидт, М. Планк, Г. Рубенс, А. Зоммерфельд, Ф. Линдемани, Л. де Бройль, М. Кнудсен, [1] Хазенер, [1] Хостеле, [1] Херзен, Дж. Джинс, Э. Резерфорд, Г. Камерлинг-Оннес, А. Эйнштейн, П. Ланжевен.

издательства в Лейпциге с запросом, соглашусь ли я взять на себя редактирование особого раздела «Gerlands Beiträge zur Geophysic» под заглавием «Beiträge zur Geochimie». Я ответил издательству, что я принципиально не отказываюсь, но хотел бы узнать более подробно условия. (...) Должен заметить по этому поводу, что было бы гораздо лучше, если бы Вы, уважаемый коллега, взяли на себя редакторство, и я не хотел бы давать издательству окончательное согласие, если есть возможность склонить к этому Вас. (...) Я убежден, что для журнала было бы очень полезно, если бы редакция была в Ваших руках, а я сотрудничал бы с радостью с Вами при таком положении...»<sup>5</sup> Увы, насколько мне известно, инициатива Гольдшмидта и Вернадско-

го о создании международного геохимического журнала в то время успеха не имела.

В 1929 г. Гольдшмидт принимает приглашение занять место профессора и главы Минералогического института в Геттингенском университете. В Германию Гольдшмидт переезжает с отцом — мать незадолго до этого умерла.

В личной жизни, насколько можно судить по воспоминаниям друзей, Гольдшмидт был замкнутым, лишенным видимых страстей человеком. Всецело посвятив себя науке, он никогда не был женат и при жизни родителей почти не расставался с ними. Причем с отцом его связывала не только глубокая сыновья любовь, но и общие духовные и профессиональные интересы. В воспоминаниях современников встречается такая трогательная подробность: в период совместной жизни в Геттингене окружающие называли их Старый брат и Молодой брат.

Гольдшмидт очень любил животных и, как он говорил, ненавидел писать статьи и

<sup>5</sup> Письма В. М. Гольдшмидта В. И. Вернадскому. Архив музея В. И. Вернадского. ГЕОХИ АН СССР.

книги. Была у него и другая слабость, известная всем знакомым, — любовь к хорошей кухне. Ему нравилось приглашать в гости коллег, дабы те могли разделить с ним удовольствие от вкусных блюд. В этой связи интересна одна деталь: когда в 1929 г. Гольдшмидт перебирается из Осло в Геттинген, вместе с ним отправляется не только отец, но и Мария Брендиген — домашняя экономка и кухарка.

Период между 1929 и 1933 гг. был, вероятно, самым счастливым в жизни отца и сына Гольдшмидтов. В Геттингене Гольдшмидт завоевал любовь и восхищение своих коллег, перестал быть «одиноким волком», каким ощущал себя в Осло.

Он покупает дом, где помимо хозяев и экономки проживают многочисленные домочадцы: такса, терроризировавшая отца и сына, три белки, оккупировавшие ванную комнату, жаба и летучая мышь. Каждый из домочадцев имел имя. Сад возле дома казался птичьим царством. Рассказывают, что Гольдшмидт учился кошачьему языку, но курс обучения пришлось прервать, когда однажды его атаковал огромный кот, которому язык ученика, видимо, показался чересчур грубым.

Прусское правительство предоставило Гольдшмидту большие средства. Он получил возможность построить прекрасный институт, оборудовать его новейшими приборами для геохимических исследований, пригласить ряд помощников. «На примере Гольдшмидта, — писал по этому поводу Ферсман, — можно видеть, какую громадную роль для исследователя такого типа представляет та материальная обстановка, в которой он работает»<sup>6</sup>.

Научная деятельность Гольдшмидта в геттингенский период весьма плодотворна. С 1930 по 1935 гг. он публикует серию статей по геохимии редких элементов, исследуя при этом не только породы Земли, но и вещество метеоритов, им разрабатываются новые аналитические методы определения малых концентраций (ниже 0,01 %). Гольдшмидт первым стал широко применять методы рентгеноспектрального и спектрального анализа к геологическим объектам, развил количественный спектральный анализ в геохимии. Особенно интересны его работы по геохимии германия в углях. Гольдшмидт обнаружил, что германий и другие редкие элементы концентрируются в угольной золе<sup>7</sup>. Для некоторых углей содержа-



Гольдшмидт и Эйнштейн на одном из островов в Осло-фиорде, где они осматривали нижнепалеозойские осадочные породы. 1920 г.

ние окиси германия в золе доходит до 9 %. Очень высокой оказалась и концентрация мышьяка. Гольдшмидт предположил, что причиной профессионального заболевания трубочистов — рака кожи — может быть высокое содержание мышьяка в саже труб и дымоходов.

В те годы еще не существовало металлургии редких металлов, и они полностью уходили в отвалы. Тем не менее работы Гольдшмидта привели к пониманию геохимических и кристаллохимических закономерностей в поведении редких элементов, показали, где их искать, каковы биохимические и биофизические механизмы их обогащения.

В мае 1932 г. в Геттингене побывал Вернадский, который выступил с докладами по геохимии и биогеохимии. По предложению Гольдшмидта Вернадский останавливался у него.

С декабря 1932 г. по март 1933 г. у Гольдшмидта стажировался молодой советский геохимик, в будущем профессор, Владимир Виталиевич Щербина. Из письма Гольдшмидта Вернадскому: «Геттинген,

<sup>6</sup> Ферсман А. Е. Упом. соч. С. 34.

<sup>7</sup> Аналогичные исследования проводились в нашей стране В. А. Зильберминцем. Подробнее см.:

Волков В. П. «Родина сумеет еще отблагодарить Вас...» // Природа. 1988. № 11. С. 48—57.



С отцом, Г. Я. Гольдшмидтом, на конференции в Майнц-Висбадене. 1932 г.

8.02.1933. (...) В моем институте работает г. Щербина из Ленинграда над геохимическими проблемами. Г. Щербина лично производит исключительно благоприятное впечатление, и мне кажется, что его научная производительность хорошая. Но несколько удивлен тем, что наш институт не получил заранее никакого запроса, и тем, что материалы, над которыми он должен работать, не присланы сюда. Он работает сейчас над ванадием и ванадиевыми материалами. Я был бы Вам очень благодарен, если бы Вы справились, нельзя ли прислать сюда материалы, которые он должен исследовать. (...) Речь идет о минералах нефелинсиенитовой группы»<sup>8</sup>.

Пребывание Щербины в Геттингене было недолгим, ввиду накалявшейся политической обстановки.

В 1933 г. Геттинген, как и остальные учебные центры Германии, попадает под власть нацистской идеологии. Усиливаются антисемитские выступления. Многие ученые глубоко ненавидят нацизм, но не пытаются протестовать. Гольдшмидт и его старший отец, никогда прежде не входившие ни в какие партии, примкнули к маленькой еврейской общине в Геттингене.

Рассказывают, что после прихода Гитлера к власти Гольдшмидт появился в университете постриженный необычно коротко. Изумленным коллегам он объяснил, дотра-

гиваясь до своей головы: «Это чтобы она лучше могла катиться». Затем продолжил: «Я обязан Гитлеру по двум причинам. Во-первых если бы не он, то я сейчас был бы знаменитым профессором, которому нечего желать, кроме покоя и почестей. Теперь же я потерял все и получил шанс снова стать молодым. Кроме того, видите ли, в обычной жизни вести себя порядочно — естественное побуждение каждого. При нацизме все наоборот, и тем не менее я встретил людей, которые ведут себя порядочно — даже среди представителей образованного класса»<sup>9</sup>.

В 1935 г. Гольдшмидты вынуждены покинуть Германию. Они возвращаются в Норвегию почти нищими. При выезде разрешалось брать с собой только личные вещи и 10 марок наличными. Лишь позднее благодаря стараниям Ф.-К. Дрешер-Каде-на — преемника Гольдшмидта в Геттингене — часть банковского состояния Гольдшмидта была переведена в Норвегию. В Осло Гольдшмидт арендует нижний этаж небольшого дома в Хольменколлене.

Вот несколько фрагментов из писем Гольдшмидта Вернадскому, написанных в эту пору. «Осло, 18.09.1935. Этим письмом я Вам кратко сообщаю, что сложил с себя обязанности профессора в Геттингене. Я ликвидировал свое имущество в Геттингене и вернулся в Осло. Здесь у меня прежнее поле деятельности в Геологическом музее, и эту зиму я снова буду работать по норвежскому сырью...»

<sup>8</sup> Письма В. М. Гольдшмидта В. И. Вернадскому.

<sup>9</sup> Rosbaud. P. Op. cit. P. 377.



На полевой практике со студентами. 1939 г.

«Осло, 27.12.1935. Я и отец здоровы. Но, к сожалению, у меня совершенно нет средств для научной работы. Как Вы знаете, большую часть расходов по моей научной работе я покрывал из моих личных средств, но мои средства остались в Геттингене и там задержаны. А здесь минералогический кабинет за 6 лет моего отсутствия совсем замер, так как никто им не интересовался. Я занимаюсь сейчас только заданиями со стороны промышленности и надеюсь таким путем собрать средства для научной работы, но, конечно, это будет не сразу. Сейчас я даже не могу выписать научные журналы...»

«Осло, 10.02.1936. (...) Для научной работы у меня все еще нет возможностей, так как до сих пор еще не разрешен перевод моих денег из Германии. Я занимаюсь по-прежнему исключительно производственными заданиями»<sup>10</sup>.

Вскоре умирает отец. Можно только догадываться, насколько тяжела эта утрата для сына. Единственным утешением он находит в мысли, что благодаря смерти отец избежал ужасов нацизма. Всю энергию Гольдшмидт продолжает делить между научной работой и помощью беженцам из Германии. В своем горе он очень сдержан. Из письма Вернадскому: «Осло, 22.12.1938. (...) Я с большим удовольствием посылаю Вам биографию моего отца, которая напе-

чатана Норвежской академией наук и составлена проф. Гасселем. Сам я работаю теперь снова над моими геохимическими исследованиями. Моя лаборатория в Осло мною совершенно заново оборудована...»<sup>11</sup>

По воспоминаниям Росбауда, навещавшего Гольдшмидта в Осло вскоре после смерти его отца, он выглядел постаревшим, юмор его сделался еще более мрачным. Он все еще наслаждался трапезами, иногда с алкоголем, его старомодная вежливость была по-прежнему безупречна. Как-то Росбауд попросил Гольдшмидта пойти вместе в крематорий, чтобы возложить цветы на место захоронения его родителей. «Мы стояли перед урнами, сделанными из прекрасного зеленого норвежского оливинита, две из которых содержали прах его родителей, и третьей, пустой, предназначенной для него самого. Наконец, Виктор Морич сухо изрек: «Да, да. Вся семья в магнеливом ортосиликате»<sup>12</sup>.

С началом войны и оккупацией Норвегии для Гольдшмидта наступили самые черные дни в его жизни. Об этом сохранилось несколько довольно противоречивых свидетельств.

Судя по воспоминаниям Х. Е. Зюсса, который побывал у Гольдшмидта в Норвегии в 1942 г., тот был уверен, что нацистский призрак вскоре будет развеян и новое германское правительство заключит с союзниками мир. Зюсс предупредил Гольдшмидта, что в Норвегии ему оставаться опасно и лучше было бы переехать в

<sup>11</sup> Там же.

<sup>12</sup> Rosbaud P. Op. cit. P. 366.

<sup>10</sup> Письма В. М. Гольдшмидта В. И. Вернадскому.



Одна из последних фотографий Гольдшмидта, сделанная в 1944 г., когда он жил в Англии.

Швецию или Англию. На это, к его изумлению, Гольдшмидт заявил, что он все еще остается немецким профессором и государственным служащим и пока он не сможет вернуться в Германию, его место в университете Осло<sup>13</sup>.

Вскоре Гольдшмидта арестовали, а в октябре 1942 г. заключили в концентрационный лагерь. В числе многих и многих евреев он подлежал депортации в Польшу для уничтожения.

Однажды в концлагере, как позднее Гольдшмидт рассказывал Росбауду, он, обессиленный истязаниями, обратился к двум своим соседям по камере с призывом запомнить имена их мучителей, чтобы оставшиеся в живых могли впоследствии за них отомстить. Один из узников, бывший уличный торговец, ортодоксальный иудей, ответил: «Мсть не для нас, карать может только Бог». Другой, атеист и социалист, бывший в мирной жизни фабрикантом, сказал: «Нельзя на зло отвечать злом, ибо зло тогда не будет конца». Гольдшмидту удалось спастись, а эти двое вскоре погибли в газовых камерах. После этого до конца жизни Гольдшмидт придерживался мо-

рального принципа непротивления злу насильем, усвоенного им в столь страшной обстановке.

Гольдшмидт был освобожден перед самой отправкой в Польшу. Это случилось, как утверждают в своих воспоминаниях Росбауд, Зюсс и С. Е. Тилли, благодаря вмешательству норвежской полиции. Немалую роль сыграло также поручительство норвежской компании Norsk Hydro в том, что Гольдшмидт выполняет важную работу, необходимую для победы Рейха.

Однако существует и другая версия — о спасении Гольдшмидта участниками норвежского Сопротивления. Своим происхождением она обязана, вероятно, самому Гольдшмидту. Вот как об этом вспоминает Б. Мэйсон: «Стокгольм, декабрь 1942 г. (...) Однажды вечером в рождественскую неделю 1942 г. я работал в лаборатории, когда раздался телефонный звонок и проф. Вестгрен пригласил меня зайти к нему повидаться с нашим общим другом. Велико было мое изумление, когда, войдя в гостиную, я увидел Гольдшмидта. Он очень похудел. По словам Гольдшмидта, его должны были отправить кораблем в Польшу, когда появилась группа в форме гестапо и вывела его из толпы заключенных. Люди в украденной гестаповской форме были участниками норвежского Сопротивления...»<sup>14</sup>.

Вскоре после освобождения Гольдшмидта из концлагеря Зюсс вместе с Х. Йенсеном были у него в гостях в Осло. По воспоминаниям Зюсса, стол ломился от деликатесов. Гольдшмидт сказал: «Угощайтесь. Все это было конфисковано гестапо. Ешьте сколько хотите». При этом присутствовала женщина, которую Гольдшмидт не представил и которая вела себя, как хозяйка дома. Зюсс и Йенсен настойчиво убеждали Гольдшмидта бежать в Швецию. При расставании Гольдшмидт сказал: «Если мне придется теперь покинуть Норвегию, передайте мои приветы всем нашим друзьям». На следующее утро Гольдшмидт и находящаяся в доме женщина (видимо, беженка из Германии) с помощью норвежских подпольщиков переправились в Швецию. Шведскую границу они пересекли, будучи запрятаны в стог сена.

В марте 1943 г. британские власти организовали перелет Гольдшмидта в Англию. Там он работал в Абердине, в Маклеевском почвенном институте, а затем — в Харпендене, на Ротамстедской опытной станции. Интересна одна подробность, рас-

<sup>13</sup> Süss H. E. // Appl. Geochem. 1988. Vol. 3. № 4. P. 385.

<sup>14</sup> Mason B. // Ibid. R. 382.

сказанная Росбаудом. Еще в Геттингене, когда нацистские злодеяния следовали одно за другим, Гольдшмидт и его отец носили с собой ампулы с ядом — на крайний случай. Позднее в Осло университетский коллега Гольдшмидта спросил его однажды об ампуле. «Яд — только для профессоров химии, — ответил Гольдшмидт. — Вы как профессор механики должны иметь на этот случай веревку». В Англии яд ему не был нужен, и в Ротамстеде Гольдшмидт устроил церемонию захоронения яда в саду.

В июне 1946 г. Гольдшмидт возвратился в Осло, но дни его были сочтены и 20 марта 1947 г. его не стало.

В Норвегии высоко чтят память Гольдшмидта. Как сказал в своей траурной речи О. Гассель, хотя Гольдшмидт и не был норвежцем по рождению и не чувствовал себя таковым, он имеет полное право

считаться истинным норвежцем по тому вкладу, который сделан им в геологию и минералогию страны<sup>15</sup>.

Слава Гольдшмидта была огромна уже при жизни — он имел почетную степень Абердинского университета (Великобритания), награжден медалью Волластона, был лауреатом премии Нансена, почетным иностранным членом большинства ведущих академий Европы, в том числе Лондонского королевского общества и Академии наук СССР, а также Всесоюзного минералогического общества. По словам Росбауда, «если бы Гольдшмидт прожил дольше, он мог бы стать Нобелевским лауреатом, звания которого он заслуживает»<sup>16</sup>.

<sup>15</sup> Hassel O. // Ibid. 379.

<sup>16</sup> Rosbaud P. // Ibid. P. 367.

## Правила Гольдшмидта

© А. А. Ярошевский,

доктор геолого-минералогических наук

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

**В** О ВСТУПЛЕНИИ к первому изданию своей многотомной «Геохимии» А. Е. Ферсман писал: «Геохимия была бы чисто описательной дисциплиной, протоколирующей лишь природные явления миграции отдельных элементов, если бы Ниггли в Швейцарии и Гольдшмидту в Норвегии не удалось связать строение атома с его судьбами в земной коре и в космосе<sup>1</sup>. Однако роль В. М. Гольдшмидта как одного из основоположников геохимии этим не исчерпывается. Пытливый физикохимик, увлеченность химией земной коры и космоса, искусство аналитика и экспериментатора, а главное — умение проникать в глубь явлений выдвинули его в ряд крупнейших ученых эпохи Великой Научной Революции в естествознании. Им были открыты новые подходы в науке о естественной истории химических элементов, поставлены новые проблемы и создана экспериментальная база для их решения, предложены первые решения, ставшие классическими в геохимии и кристалло-

химии. Некоторые из сформулированных им принципов вошли в науку под его именем.

### МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ПРАВИЛО ФАЗ

Максимальное число  $p$  твердых минералов, которые одновременно совместно устойчиво существуют, равно числу  $n$  компонентов, составляющих эти минералы [при произвольном давлении и температуре].

Гольдшмидт, 1911 г.

Гольдшмидт был первым ученым, который в поисках закономерностей, ограничивающих количество сосуществующих в природных ассоциациях минералов, обратился к термодинамике. С этими вопросами он столкнулся в самых ранних своих исследованиях, при изучении контактового метаморфизма в окрестностях Осло<sup>2</sup>. Он показал, что минеральные ассоциации в контактовых роговиках подчиняются правилу

<sup>1</sup> Ферсман А. Е. Избр. тр. Т. 3. М., 1955. С. 36.

<sup>2</sup> Goldschmidt V. M. // Norske Vidensk. Skrift, Math.-Naturv. Kl. 1911. № 1. P. 120.

H												He					
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	**	104 Ky	105 Ns													

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Mv	102 No	103 Lr
-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------

Геохимическая классификация элементов Гольдшмидта. Розовым цветом показаны литофильные элементы, серым — халькофильные, точками — сидерофильные, — штриховкой — атмосферные. Неокрашенными остались клеточки элементов, почти не встречающихся в природе. Промежуточные по свойствам элементы, проявляющие себя в зависимости от условий по-разному, показаны несколькими знаками. [Классификация построена по отношению к железу.]

фаз Гиббса, т. е. контролируются законами химического равновесия. В общем случае, при произвольных значениях температуры и давления (две степени свободы), правило фаз Гиббса:

$$f = n + 2 - k,$$

где  $f$  — число степеней свободы,  $n$  — количество фаз,  $k$  — число независимых компонентов, преобразуется в выражение

$$n = k,$$

которое и получило название «минералогическое правило фаз Гольдшмидта».

Этот подход, дополненный принципом минеральных фаций П. Эскола, стал основой нового физико-химического направления в петрологии и геохимии — анализа парагенезисов минералов. Следующий шаг в этом направлении сделал Д. С. Коржинский. Он ввел представление о вполне подвижных

компонентах (состояние которых в образовании минералов контролируется их химическими потенциалами) и обосновал возможность использования термодинамики равновесий при анализе парагенезисов минералов в природных открытых системах, где возможно лишь локальное равновесие. Согласно доказанной теореме, правило фаз для таких систем должно быть записано в следующем виде:

$$f = n + 2 - k_i + k_m,$$

где  $k_i$  — число инертных компонентов,  $k_m$  — число вполне подвижных компонентов. В общем случае, при произвольных значениях температуры, давления и химических потенциалов вполне подвижных компонентов,

$$n = k_i.$$

Это соотношение вошло в науку как «минералогическое правило фаз Коржинского»<sup>3</sup>.

Подход, разработанный в трудах Гольдшмидта и Коржинского, впервые поставил анализ условий образования минеральных ассоциаций в различных геологических процессах на строгую физико-химическую основу.

<sup>3</sup> Коржинский Д. С. Физико-химические основы анализа парагенезисов минералов. М., 1957.

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ СЕМЕЙСТВА ИЗВЕРЖЕННЫХ ПОРОД

«Семейством» я обозначаю совокупность изверженных пород, которые встречаются в настолько тесной геологической связи, что приходится принять для них общее происхождение.

Гольдшмидт, 1922 г.

Магматизм — основной эндогенный процесс, ведущий к дифференциации земного вещества. Эта дифференциация проявляется прежде всего в большом разнообразии химического состава магматических пород. Однако это разнообразие подчиняется определенным закономерностям.

Еще в прошлом веке возникла идея о дифференциации магмы, согласно которой магматические породы существенно разнообразнее по составу, чем исходные магмы. Тем самым разнообразие пород стало рассматриваться как следствие эволюции магматической системы. Вскрыть законы этой эволюции стало центральной задачей петрологии и новой тогда науки — геохимии. Идея Гольдшмидта о существовании генетически связанных пород, образующих закономерные семейства, явилась первым шагом к ее решению<sup>4</sup>.

Гольдшмидт выделил следующие признаки, которые позволяют объединять изверженные породы в семейства: близость по возрасту, пространственная связь, существование взаимных переходов в составе и содержании отдельных минералов, характерные для всех членов каждого семейства химические отличия, повторяемость семейств как в пределах одной магматической провинции, так и в аналогичных провинциях. При этом он отметил закономерную связь семейств изверженных пород с определенной геологической обстановкой.

Эти идеи Гольдшмидта глубоко проникли в работу петрологов и геохимиков. Представления о вулканических сериях, ассоциациях интрузивных магматических пород, которые характеризуются отчетливыми геохимическими различиями (разное содержание элементов, закономерное изменение этих содержаний в ходе дифференциации, устойчивые связи геохимических особенностей изверженных пород с геолого-тектоническими условиями магматизма), лежат в фундаменте современных знаний о магма-

тизме. В рамках таких представлений строятся все физико-химические модели магматической эволюции земного вещества. Наиболее полное развитие этот подход получил в учении о магматических формациях, основы которого созданы Ю. А. Кузнецовым<sup>5</sup>.

## ГЕОХИМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Различные химические элементы распределены... по земному шару... соответственно своим химическим и физико-химическим свойствам.

Гольдшмидт, 1930 г.

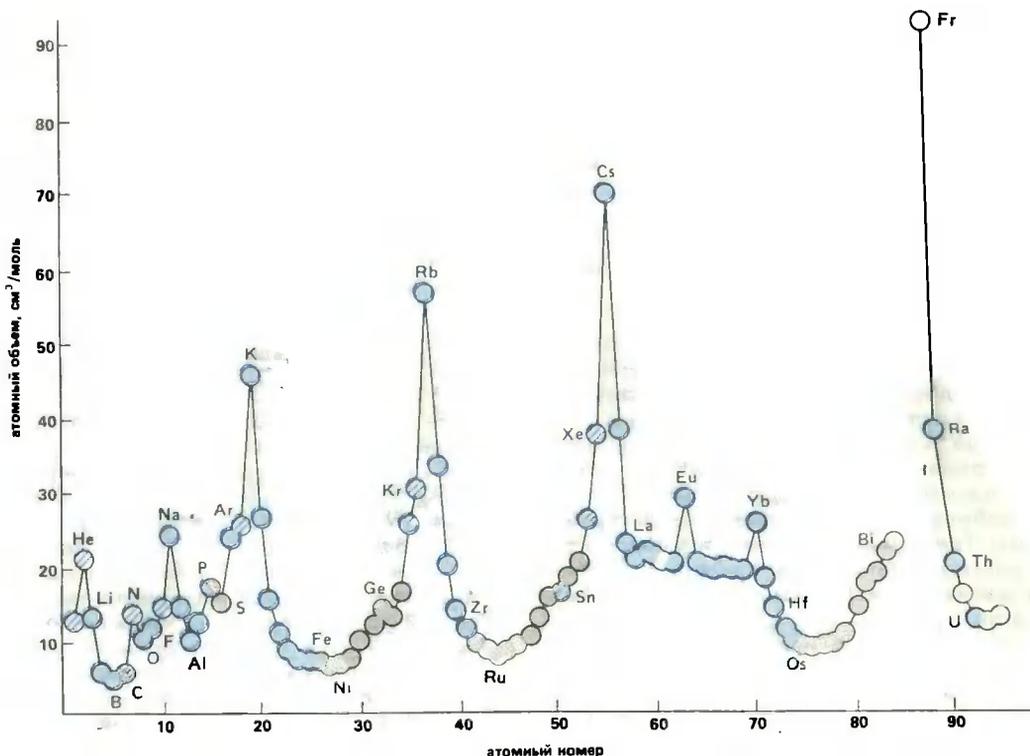
В поисках основных принципов распределения химических элементов уже в ранних работах Гольдшмидт обратился к законам, определяющим устойчивость различных типов их соединений в природе. Два обобщения оказались здесь важнейшими. Во-первых, число минералов в природе значительно меньше, чем число возможных химических соединений. Многие соединения, устойчивые в лаборатории, не встречаются как минералы в природе. В значительной степени это связано с тем, что в сложных природных химических системах важнейшим фактором, ограничивающим устойчивость соединений, служат обменные химические реакции, запрещающие существование одних соединений в присутствии других. Например, термодинамические свойства соединений определяют сдвиг равновесия  $MgS + FeO \rightarrow MgO + FeS$  вправо, т. е. сульфид магния неустойчив в присутствии закиси железа.

Во-вторых, в полном согласии с этими термодинамическими соотношениями все химические элементы закономерно распределяются между соответствующими типами соединений в природе. Очень красивым в этом отношении объектом оказались метеориты, в которых ведущие минеральные фазы представлены силикатами (кислородные соединения), сульфидом железа и металлическим железом.

Опираясь на геохимические данные о распределении элементов между этими фазами и термодинамические свойства окислов и сульфидов, Гольдшмидт предложил свою знаменитую «геохимическую классификацию элементов». Он выделил следующие группы элементов: **литофильные** (для которых в природных условиях характерна

<sup>4</sup> Гольдшмидт В. М. Типы семейств изверженных пород // Основные идеи геохимии. Вып. 1. Л., 1933. С. 15—24.

<sup>5</sup> Кузнецов Ю. А. Главные типы магматических формаций. М., 1964.



Кривая атомных объемов. Для всех элементов, кроме газов и ртути, атомный объем равен отношению атомного веса к плотности чистого вещества в твердом состоянии. Разными цветами показаны элементы, относящиеся к различным группам геохимической классификации Гольдшмидта [обозначения те же, что и на предыдущем рисунке].

устойчивость кислородных соединений), **халькофильные** (для которых типичны сульфидные соединения) и **сидерофильные** (которые устойчивы в самородном состоянии, а в метеоритах — в сплавах с железом). Гольдшмидт считал, что именно эти основополагающие свойства элементов контролируют их распределение при глобальной дифференциации Земли, сопровождавшейся разделением силикатной, металлической и сульфидной фаз космического вещества. Дополнительно к этим группам он выделил **атмофильные** элементы, для которых характерны образование газообразных соединений и накопление в атмосфере и гидросфере, а также **биофильные**, подчеркивая тем самым роль живого вещества в их геохимической истории.

Доказательство того, что в основе такой классификации лежат фундаментальные

свойства элементов, Гольдшмидт видел в четкой корреляции геохимических особенностей элементов с их положением на кривой атомных объемов, отражающей свойства химической связи элементов. Сидерофильные элементы характеризуются минимальными значениями атомных объемов, литофильные располагаются на нисходящих ветвях зависимости атомных объемов от номера элемента, халькофильные — на восходящих.

Предложенная Гольдшмидтом геохимическая классификация элементов приобрела огромную популярность в геохимии. Особенности строения электронных оболочек атомов, лежащие в ее основе, объясняют все тонкости поведения элементов в природе: устойчивость различных типов соединений, и такие важнейшие для геохимии свойства соединений, как растворимость в воде, температура плавления и др. Но хочется подчеркнуть еще раз основную идею этой классификации: распределение элементов между различными типами соединений в природе контролируется термодинамикой обменных равновесий. В такой формулировке принцип, лежащий в основе классификации Гольдшмидта, имеет фундаментальное значение в геохимии.

## КОСМИЧЕСКАЯ РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Частота элемента в космосе находится в зависимости от свойств ядра его атома.  
Гольдшмидт, 1930 г.

Вопрос о химическом составе природного вещества — центральный в геохимии. Можно даже сказать, что геохимия как наука стала формироваться на основе накопления, систематизации и научного анализа данных о распространенности элементов в природе. Первые фундаментальные результаты в этой области для земной коры были получены В. И. Вернадским и американским геохимиком Ф. Кларком в конце XIX — начале XX вв. (хотя определенные закономерности количественных соотношений элементов в природе были ясны уже Д. И. Менделееву). И сразу возник вопрос: являются ли установленные закономерности особенностью вещества земной коры, или они отражают более общие — космические — законы?

Единственным доступным для исследований объектом космического происхождения в те годы были метеориты. Уже в первом десятилетии нашего века Дж. Оддо в Италии и У. Гаркинс в Америке отметили, что закономерные соотношения распространенности четных и нечетных элементов равно характеризует как земное, так и метеоритное вещество. Но данных не хватало. Требовались систематические исследования. Они были выполнены в 20-х годах Гольдшмидтом и его коллегами И. и В. Ноддаками.

На основе этих результатов, сведенных им в исчерпывающую таблицу<sup>6</sup>, Гольдшмидт сформулировал основные законы космической распространенности элементов: уменьшение среднего содержания с увеличением атомного номера (веса), преобладание четных элементов над соседними нечетными, существование дефицитных элементов (Li, Be, B) и т. д. Гольдшмидт показал связь распространенности элементов с устойчивостью атомных ядер, подчеркнув при этом, что «законы, которым подчиняется частота химических элементов, по-видимому, одинаковы во всех до сих пор доступных наблюдению частях Вселенной»<sup>7</sup>.

Наши знания о составе космического вещества с тех пор неизмеримо возросли, однако выявленные Гольдшмидтом закономерности сохраняют свое значение и подтверждены всем развитием науки. А выдвигавшая им идея о связи распространенности элементов со строением ядер их атомов стала исходным пунктом во всех исследованиях происхождения химических элементов.

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗЕМНОЙ КОРЕ

Распределение элемента находится в зависимости от свойств его наружных электронов.

Гольдшмидт, 1930 г.

Глубокая дифференциация земного вещества, формирование земной коры и разнообразия слагающих ее горных пород и минеральных месторождений привели к нарушению первичного (космического) соотношения элементов. Законы этой дифференциации и поведения (миграции) элементов в геологических процессах составляют еще один круг фундаментальных проблем геохимии. И здесь вклад Гольдшмидта является основополагающим.

Гольдшмидт говорит о первичной дифференциации Земли, понимая под этим первоначальное разделение земного шара на геохимические зоны в соответствии с распределением элементов между главными фазами метеоритного вещества: металлической (siderофильные элементы), сульфидной (халькофильные элементы), силикатной (литофильные элементы) и газовой (атмофильные элементы). Это первая стадия геохимической эволюции, по Гольдшмидту. В настоящее время мы ушли от этих представлений и не проводим аналогии между гипотетическим расслоением Земли в жидком состоянии и металлургическим процессом. Однако идея о разделении вещества планеты на металлическое ядро (вероятно, включающее сульфиды) и силикатную мантию — в процессе ли аккреции Земли или в ходе ее дальнейшей эволюции, при плавлении металлической фазы и скоплении ее в центре — остается основополагающей. Иначе невозможно объяснить ни современные геофизические данные о строении Земли, ни геохимические особенности вещества верхней мантии и земной коры, которое резко (в сотни и тысячи раз) обеднено по сравнению с метеоритным веществом всеми siderофильными элементами и заметно

<sup>6</sup> Goldschmidt V. M. // Norske Vidensk. Skrift, Math.-Naturv. Kl. 1938. № 4. P. 1—148.

<sup>7</sup> Гольдшмидт В. М. Геохимические законы распределения и частота элементов в космосе // Основные идеи геохимии. Вып. 1. Л., 1933. С. 276.

обеднено халькофильными элементами. Таким образом, установленные Гольдшмидтом законы распределения элементов между указанными фазами лежат в основе современных геохимических представлений.

Второй стадией геохимической эволюции Земли, по Гольдшмидту, является кристаллизация силикатного расплава, которая приводит к образованию горных пород. И здесь поведение элементов определяется открытыми Гольдшмидтом законами распределения элементов между жидкими и твердыми фазами, базирующимися на кристаллохимических принципах, каждая управляют стабильностью кристаллических решеток и распределением элементов в кристаллах. «Поведение редких элементов,— пишет Гольдшмидт,— связано с зависимостью строения кристалла от величины участвующих атомов (или ионов)<sup>8</sup>. Такой подход позволил Гольдшмидту говорить, с одной стороны, об ассоциации элементов, связанных с первоначальными выделениями силикатных магм (Mg, Fe, Cr, Ni, Co и др.), которые «захватываются» при кристаллизации высокотемпературных минералов, а с другой — об ассоциации элементов остаточных магм, где накапливаются элементы, атомы которых либо слишком малы, либо слишком велики, чтобы войти в состав обычных минералов силикатной магмы (Be, V, La, Th, U и др.).

Ныне мы отказались от представлений о единой первичной силикатной магме и заменили их представлениями о выплавлении магм в различной геологической обстановке в условиях верхней мантии Земли и земной коры<sup>9</sup>. Но физико-химические (и кристаллохимические) принципы, лежащие в основе наших современных представлений о магматической эволюции земного вещества, целиком базируются на идеях Гольдшмидта: как состав первичных магм, так и их геохимическая эволюция обусловлены прежде всего законами распределения элементов между жидкими и твердыми фазами.

Как третью стадию эволюции Земли Гольдшмидт рассматривал разнообразнейшие процессы, которые происходят в литосфере после затвердевания силикатного расплава, прежде всего протекающие на поверхности Земли при выветривании и образовании осадков. Он получил количественные данные о химическом составе главных продуктов выветривания — глины и, опираясь на них,

рассмотрел еще одну фундаментальную проблему геохимии — геохимический баланс вещества в процессах выветривания и осадконакопления. Он показал, что в целом распространенность химических элементов в осадочных породах соответствует среднему составу магматического вещества коры, имеющего глубинное происхождение и являющегося источником вещества осадков. Но при этом существует ряд элементов и соединений ( $H_2O$ ,  $CO_2$ , Cl, Br, V, J, S), количество которых в осадках и гидросфере гораздо больше того, что могло бы поступить при выветривании глубинных кристаллических пород. На этом основании Гольдшмидт ввел представление об «избыточных летучих»<sup>10</sup>, само название которых указывает на независимый от выветривания их источник. Гольдшмидт считал, что таким источником была первичная атмосфера. Мы в настоящее время связываем их поступление с дегазацией мантии в течение геологической истории. Тем не менее данные, полученные Гольдшмидтом, и составленный им геохимический баланс остаются и сегодня основным доказательством независимости накопления летучих соединений на поверхности Земли от выветривания глубинных пород.

#### ПРАВИЛА ИЗОМОРФИЗМА

Распределение отдельных химических элементов между различными минералами... образующимися при охлаждении... жидких расплавов, является прямым следствием изоморфизма.

Гольдшмидт, 1926 г.

Гольдшмидт явился одним из создателей не только геохимии, но и кристаллохимии. Он первым сформулировал основной закон кристаллохимии — принцип стабильности кристаллических решеток: строение кристалла определяется числом его структурных единиц, соотношением их размеров и их поляризационными свойствами<sup>11</sup>. (В современной формулировке этот закон выглядит несколько по-иному: структура и физические свойства кристалла определяются энергией взаимодействия атомов (их групп, молекул), зависящей от числа структурных единиц, их размеров и электронного строения их валентных оболочек<sup>12</sup>.) Этот за-

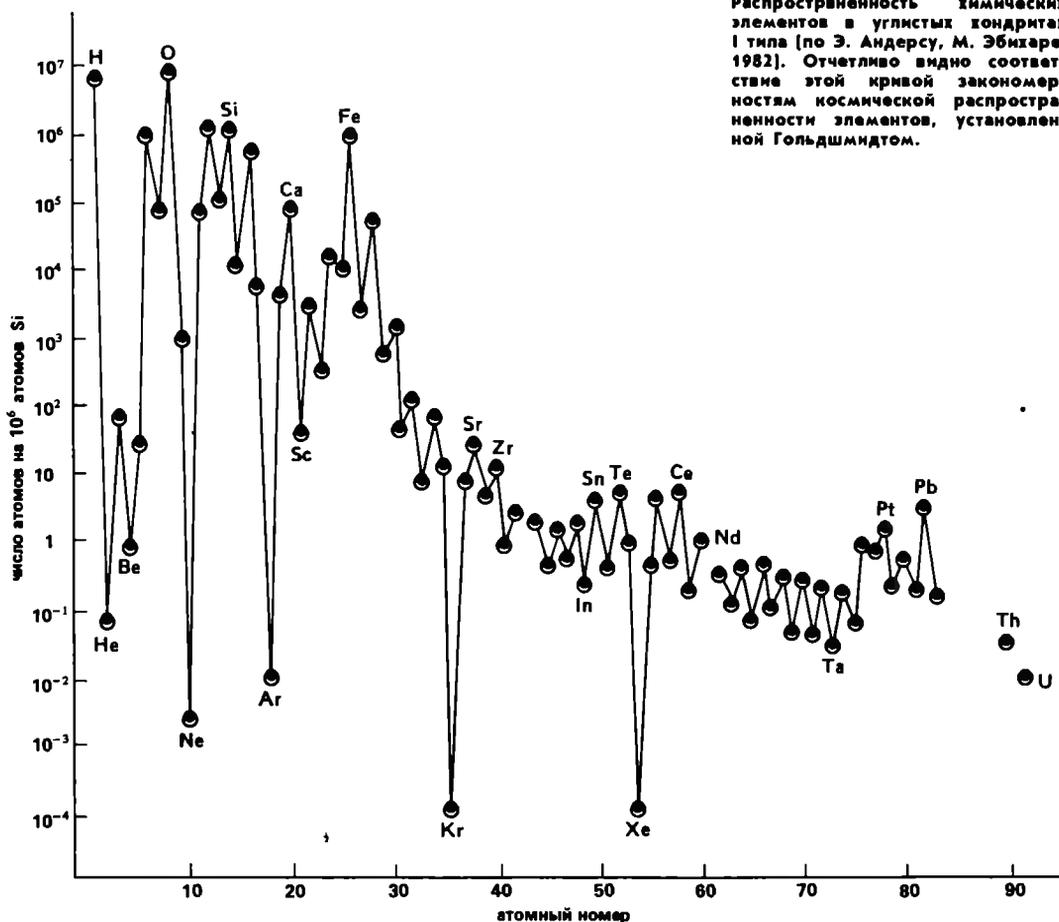
<sup>10</sup> Гольдшмидт В. М. // Успехи химии. 1934. Т. III. Вып. 3. С. 448—483.

<sup>11</sup> Обзор работ Гольдшмидта по кристаллохимии дан в кн.: Основные идеи геохимии. Вып. 1. Л., 1933. С. 75—200.

<sup>12</sup> Урусов В. С. Теоретическая кристаллохимия. М., 1987.

<sup>8</sup> Там же. С. 255.

<sup>9</sup> Виноградов А. П. Химическая эволюция Земли. М., 1959.



кон выявил зависимость между устойчивостью кристаллической постройки (геометрией структуры, физическими свойствами кристалла, растворимостью в воде и т. д.) и фундаментальными параметрами атомов и ионов, а также создал основу для поиска объяснений, по крайней мере качественных, эмпирических закономерностей распределения химических элементов в кристаллическом веществе земной коры.

Одна из важнейших закономерностей в минералогии и геохимии — широчайшее распространение изоморфных смесей, неизбежных также твердыми растворами, или фазами переменного состава. Их существование имеет ряд принципиальных следствий: во-первых, оно резко ограничивает число минеральных видов по сравнению с возможным разнообразием химических соединений в земной коре; во-вторых, изоморфные смеси являются основной формой состояния большинства «второстепенных» (встречаю-

щихся в земной коре в незначительных концентрациях) химических элементов; в-третьих, изоморфизм определяет возможность совместного вхождения групп химических элементов в общие кристаллические постройки, что оказалось важнейшей причиной образования в природе закономерных ассоциаций химических элементов (вспомним замечательное эмпирическое обобщение — знаменитые изоморфные ряды Вернадского); в-четвертых, термодинамические закономерности кристаллизации изоморфных смесей определяют направленность разделения геохимически связанных элементов при затвердевании магматических и водных систем и ведут к геохимической дифференциации вещества Земли. Объяснить эти закономерности и предсказать поведение химических элементов в процессе кристаллизационной дифференциации — одна из центральных задач геохимии.

Стабильность изоморфных смесей

(вместо сосуществующих «чистых» конечных членов) предопределена общим для многокомпонентных систем законом: выигрышем энтропии при образовании однородной смеси — раствора. Однако конкретное взаимодействие атомов и ионов при образовании растворов твердых, жидких или газообразных ведет к появлению сил, ограничивающих пределы смесимости и вызывающих распад твердых растворов. Общая причина возникновения этих сил — различие свойств замещающих друг друга кристаллохимических единиц, и прежде всего — различие их размеров.

Эмпирические наблюдения позволили Гольдшмиду установить правило, связывающее стабильность твердого раствора (для ионных кристаллов) с разницей радиусов ионов, получившее название «правило 15 %». Оно звучит так: изоморфные смеси образуются в широких пределах при температурах, лежащих далеко от точки плавления, если радиусы соответствующих составляющих единиц отличаются друг от друга не более чем на 15 %. Несмотря на очевидную «мягкость», это правило долгие годы (а отчасти и теперь) служит неплохим ориентиром при оценке возможности существования в природе тех или иных изоморфных смесей. Строгий количественный анализ стабильности изоморфных смесей стал возможен благодаря дальнейшему развитию термодинамики и энергетической кристаллохимии<sup>13</sup>.

Разделение изоморфных элементов при кристаллизации твердых растворов обусловлено, по мнению Гольдшмидта, разной стабильностью соответствующих соединений взаимозамещаемых атомов (ионов). Простая логика, основанная на представлениях об энергии электростатической связи, привела Гольдшмидта к формулировке правил «захвата» и «допуска» ионов в кристаллические структуры при их совместной кристаллизации. Если при кристаллизации минералов из магмы ионы близких размеров и одинакового заряда (валентности) замещают друг друга, то предпочтительнее связываются ионы наименьшего размера (они захватываются растущими кристаллами). Если же замещаются ионы близких размеров, но разных зарядов, то предпочтитель-

нее связываются (захватываются) ионы с большим зарядом<sup>14</sup>. Применимость этих правил в геохимии Гольдшмидт проиллюстрировал многочисленными примерами.

Фундаментальное значение этих правил очевидно. Они до сих пор остаются руководящими при предсказании ожидаемого распределения элементов в ходе кристаллизации магматического расплава для тех весьма частых случаев, которые не изучены экспериментально. Однако многочисленные примеры нарушения этих правил постоянно привлекали теоретиков, стремившихся их «подправить», «улучшить». Основная идея этих работ (например, Д. Шоу, А. Рингвуда) сводилась к поиску способов, которые позволили бы учесть влияние факторов, ведущих к отклонению связи от чисто ионной. Но настоящее решение проблемы пришло в результате последовательного анализа, основанного на термодинамической теории твердых растворов. Оказалось, что сформулированные Гольдшмидтом правила в принципе применимы только в простейших случаях кристаллизации, т. е. когда образуется непрерывная серия твердых растворов без экстремумов на линиях ликвидуса и солидуса. Во всех остальных случаях различия в свойствах замещающих друг друга ионов оказываются столь существенными, что обычно элементы-примеси, находящиеся в малых концентрациях, лишь допускаются в структуры ионахозяина независимо от их размера и заряда.

Сказанным далеко не исчерпывается сделанное Гольдшмидтом в геохимии и кристаллохимии. Очень интересны его работы по геохимии отдельных элементов<sup>15</sup>, по геохимии процессов магматизма, выветривания, осадкообразования. Итоги его многолетней деятельности сведены в крупной монографии, которая и по сей день ждет перевода на русский язык<sup>16</sup>. Гольдшмидт по праву считается одним из создателей геохимии, вместе с Вернадским, Кларком и Ферсманом заложившим фундамент этой увлекательнейшей отрасли современного естествознания.

<sup>14</sup> Гольдшмидт В. М. Геохимические принципы распределения редких элементов // Редкие элементы в изверженных породах и минералах М., 1952. С. 9—16.

<sup>15</sup> Гольдшмидт В. М. Сборник статей по геохимии редких элементов. М.; Л., 1938.

<sup>16</sup> Goldschmidt V. M. Geochemistry. Oxford, 1954.

<sup>13</sup> Соболев В. С., Соболева О. С. // Научн. зап. Львовского ун-та. Сер. хим. 1948. Т. 9. № 1. С. 5—17; Урусов В. С. Теория изоморфной смесимости. М., 1977.

## Космические исследования

### Запуски космических аппаратов в СССР: май — июнь 1989 г.

В мае — июне 1989 г. запущено 14 спутников, в том числе 10 спутников серии «Космос».

«Космос-2022 и -2023» предназначены для отработки элементов и аппаратуры космической навигационной системы «Лонасс» для определения местонахождения самолетов гражданской авиации и судов морского и рыболовного флотов Советского Союза. Основная задача «Космоса-2024» — получение информации для более точного определения и прогнозирования движения космических аппаратов, а также для геодезических и геофизических исследований.

На спутниках «Ресурс-Ф»,<sup>3</sup> разработанных КБ «Фотон» Главкосмоса СССР, установлена фотоаппаратура для проведения разномасштабной многозональной и спектрально-анализирующей съемки, цель которой — продолжение исследований природных ресурсов в интересах различных отраслей народного хозяйства и международного сотрудничества.

С помощью первого спутника «Ресурс-Ф» выведены два пассивных отделяемых спутника «Пион» для исследования плотности верхней атмосферы, созданные в студенческом КБ Куйбышевского авиационного института им. С. П. Королева.

На спутнике связи «Радуга-1» установлена многоствольная ретрансляционная аппаратура для дальнейшего расширения телефонно-телеграфной радиосвязи на территории СССР. Очередной спутник связи «Молния-3» обеспечивает эксплуатацию системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи и передачу программ Централь-

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей	апогей	наклонение, град	период обращения, дни
«Космос-2019»	5.V	247	268	62,9	89,5
«Космос-2020»	17.V	180	365	64,8	89,7
«Космос-2021»	24.V	204	302	70	89,3
«Ресурс-Ф»	25.V	188	263	82,3	88,7
«Космос-2022»	31.V	19 140	19 140	64	675
«Космос-2023»					
«Космос-2024»*					
«Космос-2025»	1.VI	252	275	62,8	89,6
«Космос-2026»	7.VI	969	1022	82,9	104,8
«Молния-3»	8.VI	631	40 696	62,9	737
«Космос-2027»	14.VI	484	522	65,9	94,6
«Космос-2028»	16.VI	217	314	70	89,5
«Радуга-1»	22.VI	36 538	36 538	1,5	1 472
«Ресурс-Ф»	27.VI	195	262	82,6	88,7

\* «Космос-2022, ...-2024» запущены одной ракетой-носителем «Протон».

ного телевидения на пункты сети «Орбита» и в рамках международного сотрудничества.

Все аппараты запущены ракетами-носителями «Космос», «Союз», «Молния», «Протон». Продолжался полет в автоматическом режиме орбитального научно-исследовательского комплекса «Мир». Регулярно проводились геофизические эксперименты по изучению ионосферы и магнитосферы Земли, измерялись потоки микрометеоритов в околоземном космическом пространстве.

С 30 мая продолжены исследования по внеатмосферной астрономии на международной орбитальной обсерватории «Рентген»; за две недели июня проведено около 40 сеансов наблюдений. Зарегистрировано дальнейшее ослабление излучения от сверхновой в Большом Магеллановом Облаке. Изучался также рентгеновский пульсар в созвездии Центавр; выполнены первые измерения излучения от новой в созвездии Лебедь, вспыхнувшей в конце мая 1989 г.

23 июня 1989 г. в Москве подписано соглашение о полете английского космонавта на советском космическом корабле и станции «Мир». Полет планиру-

ется в апреле—июне 1991 г., его стоимость по проекту «Джюно» («Юнона») 16 млн ф. ст.

## Космические исследования

### «Магеллан»

5 мая 1989 г. от корабля «Атлантис», запущенного по программе «Спейс шаттл», был отделен космический аппарат «Магеллан» с двухступенчатым межорбитальным буксиром. Спустя час на безопасном расстоянии от корабля была включена двигательная установка буксира, в результате «Магеллан» перешел на траекторию полета к Венере, которой он достигнет через 456 сут — 10 августа 1990 г.

Масса аппарата 3450 кг (с буксиром — 18 240 кг, а без тормозного двигателя, обеспечивающего перевод на орбиту вокруг Венеры, — 1455 кг), высота 9,1 м, размах солнечных батарей — 6,3 м; основные элементы конструкции — остронаправленная параболическая антенна диаметром 3,7 м для ра-

диолокатора и связи с Землей, отсек оборудования, рама с двигателями ориентации и торсионной двигатель.

Энергопитание обеспечивают солнечные батареи общей площадью 10,2 м<sup>2</sup> и мощностью 1,2 кВт. Система ориентации трехосная с маховиком и 24 микродвигателями.

«Магеллан» оснащен радиолокатором бокового обзора с синтезированной апертурой, работающим на частоте 2,385 ГГц. Предполагается, что «Магеллан» проведет с орбиты радиолокационное картографирование поверхности Венеры. В течение 243 сут планируется отснять 90 % поверхности планеты с разрешением до 90 м. Информация будет записываться бортовыми устройствами в цифровой форме для последующей передачи на Землю.

Кроме того, планируется регистрация теплового излучения и яркостной температуры свыше 70 % поверхности, измерение радиолокационным высоотермом высоты элементов рельефа с вертикальным разрешением не хуже 50 м (это позволит составить топографическую карту Венеры с опорными точками через каждые 20 км), уточнение гравитационного поля и строения недр.

Общие затраты на исследование к моменту завершения работы «Магеллана» оцениваются в 530 млн долл., включая стоимость самого аппарата (378 млн долл.).

«Магеллан» — четвертый аппарат, проводящий радиолокационное картографирование Венеры. Американский космический аппарат «Пионер — Венера-1» в 1978 г. с помощью радиолокационного картографа выполнил измерения через каждые 25—100 км в полосе между 63° ю. ш. и 74° с. ш. Советские автоматические межпланетные станции «Венера-15 и -16» в 1983—1984 гг. получили радиолокационные изображения примерно 25 % поверхности планеты в Северном полушарии, обращаясь по эллиптическим орбитам с большим эксцентриситетом и перигелием у Северного полюса.

© С. А. Никитин  
Москва

## Астрофизика

### Структура микромира и Вселенная

В модели, предложенной М. Ю. Хлоповым (Институт прикладной математики АН СССР) и З. Г. Бережани (Специальная астрофизическая обсерватория АН СССР), объясняются наблюдаемые сходства и различия свойств известных кварков и лептонов, а также предлагается единое физическое описание всех основных типов частиц, из которых, по мнению специалистов, сформирована скрытая масса Вселенной.

Для объяснения строения окружающего вещества достаточно одного поколения элементарных частиц: *u*- и *d*-кварков, составляющих протон и нейтрон, а также электрона и электронного нейтрино. Однако открыто и второе поколение: *s*-кварки, участвующие в построении очарованных частиц; *z*-кварки, входящие в состав странных частиц; *m*-юон и *m*-юонное нейтрино. Ведется поиск *t*-кварка, который, как полагают теоретики, вместе с уже обнаруженными *b*-кварком, *t*-лептоном и *t*-нейтрино, формирует третье поколение. Во взаимодействии сходных частиц различных поколений (например, электрона, *m*-юона и *t*-лептона) отмечается симметрия, а их наблюдаемые отличия приписываются разнице масс. Но ни природа симметрии, ни механизм ее нарушения не объяснены.

Модель Хлопова и Бережани предполагает исходную симметрию между поколениями и связывает наблюдаемую иерархию масс частиц с ее нарушением. Это позволяет построить динамическую теорию симметрии поколений по аналогии с теорией электрослабого взаимодействия Вайнберга — Салама — Глэшоу, причем допускаются квантовые переходы между сходными частицами: *m*-юоном и электроном, *s*- и *d*-кварком и т. д., а также распады частиц (типа  $K \rightarrow \mu e$ ), не наблюдавшиеся в экспериментах, с вероятностью значительно меньшей, чем при слабом взаимодействии.

В этой модели у всех

известных кварков и лептонов имеются сверхтяжелые партнеры, связи с которыми и вызывают различие масс частиц разных поколений. Нарушение симметрии поколений нарушает и «чистоту» семейства — сходные частицы разных поколений смешиваются друг с другом, причем степень смешивания определяется соотношением масс. Следствия теории — ненулевая масса нейтрино и испускание аксионов при переходах между сходными частицами разных поколений. Тем самым обеспечивается единое описание нестабильных массивных нейтрино и аксионов, а также единая основа космологических моделей образования структуры Вселенной.

Экспериментальный поиск переходов между сходными частицами различных поколений дает нижнюю оценку величины, определяющей нарушение симметрии. Анализ космологических следствий модели ограничивает эту величину сверху в интервале  $10^2$ — $10^9$  ГэВ. Выделяются три значения, отвечающие вкладам аксионов, нейтрино с массой около 20 эВ и нейтрино с массой 80 эВ и временем жизни  $3 \cdot 10^6$  лет. Выбор в астрономических исследованиях структуры Вселенной между тремя этими возможными формами скрытой массы отвечал бы прецизионному измерению нарушения симметрии поколений.

Препринт САО АН СССР. 1988.  
№ 25.

## Астрофизика

### Как вращается Солнце!

Известно, что скорость вращения солнечного вещества у полюсов значительно меньше, чем у экватора. Однако скорости вращения под поверхностью Солнца до сих пор были неизвестны.

К. Либбрехт (K. Libbrecht; Калифорнийский технологический институт, Пасадена, США), работая на солнечной обсерватории Биг-Бэр в Южной Кали-

формии, обнаружил, что «недра» Солнца, ограниченные сферой радиусом порядка 2/3 солнечного, вращаются с почти постоянной скоростью, делая оборот за 27 дней. «Внешняя» часть Солнца имеет различные скорости вращения: один оборот занимает от 25 до 35 дней (у полюсов). В глубине скорость вращения увеличивается на границе зоны турбулентной конвекции, обеспечивающей перенос тепла от горячих внутренних областей в более холодные внешние. Эта граница расположена на расстоянии около 1/3 солнечного радиуса (210 тыс. км) от поверхности.

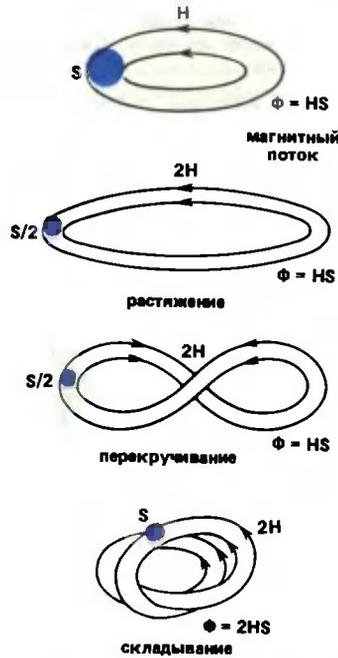
Как же удалось заглянуть под поверхность Солнца? Были использованы эффекты, связанные с возникновением и распространением в солнечных недрах звуковых волн, вызывающих на поверхности колебания, амплитуда которых зависит от глубины, на которой возникают эти волны. Измерялось доплеровское смещение частоты солнечного излучения, связанное с этими колебаниями. По результатам экспериментов рассчитывались: скорости колебания газа на поверхности Солнца, частота и скорость звуковых волн, прошедших через внутренние области Солнца в определенном направлении. Далее проводился численный анализ данных для различных областей поверхности и звуковых волн, распространяющихся с запада на восток (в направлении вращения Солнца) и в противоположном направлении.

New Scientist. 1989. Vol. 122. № 1659. P. 28 (Великобритания).

Астрофизика

**Магнитные поля в скоплениях галактик**

Центральные области некоторых скоплений галактик, в том числе хорошо изученного скопления в созвездии Волосы Вероники, испускают диффузное радионизлучение, которое указывает на присутствие в межгалактическом пространстве магнитных полей. Их напряжен-



Модель гидромагнитного турбулентного динамо. После растяжения, перекручивания и сложения магнитных силовых линий магнитный поток  $\Phi$  удваивается. Если в некотором месте течение с такой топологией поддерживается достаточно долго и повторяется несколько показанных циклов, магнитное поле  $H$  быстро усиливается.  $S$  — площадь сечения магнитного жгута.

ность  $H \approx 2 \cdot 10^{-6}$  Э, что сравнимо с напряженностью межзвездных магнитных полей, хотя плотность межгалактического газа ( $2 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-3}$ ) в тысячу раз меньше, чем в межзвездной среде. Как показал анализ данных, магнитное поле хаотично, его характерный масштаб  $L \approx 20$  кпк и сравним с размером галактик, в то время как диаметр радиогало в скоплении Волосы Вероники достигает  $10^3$  кпк.

По мнению А. А. Рузмайкина, А. М. Шукурова (Институт земного магнетизма и распространения радиоволн АН СССР) и Д. Д. Соколова (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова),

происхождение магнитных полей, создающих радиогало скоплений галактик, по-видимому, связано с действием гидромагнитного турбулентного динамо в межгалактическом газе, т. е. с ростом магнитной энергии за счет кинетической энергии турбулентности. Поле образуется в электронейтральной проводящей среде благодаря необычной структуре течения в некоторых областях турбулентного потока. Ясно, что течения необходимого типа создаются не всегда и не в каждой турбулентной ячейке. Поэтому даже в однородном турбулентном потоке возникают «перемежаемые» магнитные поля — т. е. поля, сосредоточенные в жгуты и расположенные на более слабом квазиоднородном фоне. Условия действия такого динамо — случайный характер течения и большое (свыше  $10^3$ ) магнитное число Рейнольдса.

Турбулентность в межгалактическом газе скоплений, видимо, возникает в «следах», которые оставляют в этом газе галактики, движущиеся с околозвуковой скоростью. Поскольку число Рейнольдса в них очень велико (порядка  $10^{12}$ ), «следы» турбулентны и, накладываясь друг на друга, создают квазиоднородное турбулентное течение.

Диаметр магнитных жгутов, генерируемых турбулентным динамо, равен  $L$ , а их толщина —  $2$  пк. Часть жгутов имеет дополнительную спиральную закрутку с диаметрами спиралей  $10, 5$  и  $2$  кпк. Величина  $H$  в жгутах близка к  $10^{-5}$  Э. Однако из-за эффекта «перемежаемости» магнитного поля средняя плотность магнитной энергии составляет всего  $4\%$  плотности кинетической энергии. Не все магнитные жгуты замкнуты внутри ячеек турбулентности, значительная часть магнитных силовых линий простирается на гораздо большие расстояния.

Предсказываемое теорией распределение магнитных полей в радиогало скоплений галактик подтверждается недавними наблюдениями скопления галактик, окружающего радиогалактику Лебедь А.

Препринт ИКИ АН СССР. 1988. № 1423.

## Хаос в Солнечной системе

Дж. Уисдом (J. Wisdom; Массачусетский технологический институт, Кембридж, США) представил данные, согласно которым планеты и малые тела Солнечной системы временами движутся хаотически. Это не противоречит законам небесной механики, так как в некоторых случаях ее уравнения имеют «хаотическое» решение.

Например, спутник Сатурна Гиперион совершает беспорядочное вращение вокруг собственной оси, связанное, по-видимому, с неправильностью его формы. Наклон оси и скорость вращения изменяются весьма часто — всего за два орбитальных оборота Гипериона.

Все другие естественные спутники планет, чья форма образовалась под влиянием приливных сил, вращаются более упорядоченно, но их взаимодействия с соседними телами (так называемые резонансы) указывают на то, что в прошлом каждый из спутников какое-то время также двигался хаотически.

Хаос может объяснить и некоторые странности в орбитальной динамике тел Солнечной системы. Так, незаполненные области в поясе астероидов, именуемые зонами (пробелами) Кирквуда, очевидно, возникли в результате хаотического изменения орбит астероидов, а переход некоторых из них на орбиты, пересекающиеся с земной, и превращение в метеоры связаны с их хаотическими взаимодействиями с Юпитером.

Даже столь крупное тело, как Плутон, участвует в «беспорядке». Этому способствует тот факт, что плоскость его орбиты наклонена на  $16^\circ$  к плоскости орбит остальных планет. Используя быстродействующую ЭВМ и современные данные, Уисдом вычислил движение Плутона за последние 800 млн лет. Оказалось, что по мере удаления в прошлое период колебаний и «нарушений порядка» в обращении Плутона вокруг Солнца возрастает. Следовательно, заключил Уисдом, неустойчивость Плутона на орбите

растет, и со временем планета может с нее «сорваться» и уйти в другую область Солнечной системы.

Eos. Transactions of the American Geophysical Union. 1988. Vol. 69. № 24. P. 654 (США).

## Планетология

### Магнитное поле Нептуна

И. де Патер (I. de Pater; Университет штата Калифорния, Беркли, США) на конференции Американского астрономического общества сообщил результаты исследования радиоизлучения планеты Нептун.

Измерения проводились с помощью Большой сети радиотелескопов, расположенной в Сокорро (штат Нью-Мексико, США). На длине волны 20 см это излучение оказалось очень мощным, поэтому предполагается, что оно испускается электронами солнечного ветра, захваченными собственным магнитным полем планеты.

Напряженность этого поля на поверхности Нептуна должна быть близка к 1 Гс, что в четыре раза меньше, чем у Юпитера, но вдвое больше, чем у Земли.

Этот факт имеет важное значение, так как в августе 1989 г. вблизи Нептуна должен был пролететь американский космический аппарат «Вояджер-2». Он может подвергнуться воздействию этого поля. На Земле такие поля связаны с генерацией полярных сияний и захватом частиц в радиационные пояса, окружающие нашу планету.

Science News. 1988. Vol. 134. № 20. P. 310 (США).

## Химия атмосферы

### Хлорфторуглероды и погода

Г. Брассер (G. Brasseur; Бельгийский институт космической астрономии) и М. Хитчман (M. Hitchman; Национальный центр атмосферных исследова-

ний США, Боулдер, штат Колорадо) построили математическую модель земной атмосферы; в ней учитывается влияние хлора, выделяющегося при разложении хлорфторуглеродов и других трассирующих газов на стратосферный озон. В модели учитывались процессы, происходящие не только на различных высотах, но и на различных широтах.

Даже если производство хлорфторуглеродов будет ограничено в соответствии с международным Монреальским соглашением 1987 г., содержание активного хлора в стратосфере будет увеличиваться еще некоторое время и к 2050 г. достигнет 6 или 7 частей на 1 млрд (в начале 80-х годов — 2 части на 1 млрд). За этот же период количество закиси азота, вероятно, возрастет на 20 %, а метана — удвоится. К концу XXI в. удвоится и концентрация двуокиси углерода.

Все эти газы, вызывая парниковый эффект, существенно влияют на состав и температуру верхних слоев атмосферы. В результате тепло остается в поверхностном слое и стратосфера заметно охлаждается. Это повышает концентрацию озона, усиливая реакции, в которых он уничтожается, лучше идут при высоких температурах. Химическое воздействие метана противоречиво: на одних высотах он способствует разрушению озона, на других — росту его содержания.

Все эти соображения включены в новую модель. По «сценарию» развития атмосферы к 2050 г. потеря озона в вертикальном слое воздуха между  $45^\circ$  с.ш. и  $45^\circ$  ю.ш. (т.е. для 70 % земной поверхности) составит примерно 1 %, у полюсов возможно меньшее понижение — около 0,2 %.

Изменения невелики, так как большая часть озона сосредоточена в нижней стратосфере, где плотность воздуха относительно возрастает, и даже небольшое увеличение содержания озона здесь может перекрыть практически любое уменьшение в вышележащей области, где воздух разрежен.

Однако, как подчеркивают исследователи, влияние этих процессов на температуру су-

щественно. Следует учитывать, что охлаждению стратосферы одновременно способствуют два фактора: «парниковое» удержание тепла в приземном слое и разрушение озона в высоких широтах. Поэтому, согласно «сценарию», в экваториальной области на высотах около 50 км температура может понизиться на 15°.

Следовательно, считают авторы модели, основное беспокойство вызывает не усиление ультрафиолетового излучения на поверхности Земли, а воздействие перечисленных процессов на тепловой баланс стратосферы. Низкие температуры в ней могут повлиять на конвекцию, изменив господствующие ветры и погоду в глобальном масштабе.

Science. 1988. Vol. 240. № 4852. P. 634 (США).

#### Химия атмосферы

### Двуокись серы против парникового эффекта

Климат Земли чувствителен к содержанию углекислого газа в атмосфере, что проявляется в парниковом эффекте. Однако повышение средней температуры атмосферы с ростом концентрации  $\text{CO}_2$ , предсказываемое современными моделями глобального климата, по крайней мере вдвое превосходит наблюдаемое.

Т. Уигли (Т. М. Wigly; Отдел климатических исследований Университета Восточной Англии, Норидж, Великобритания) полагает, что существует глобальный фактор, в определенной степени компенсирующий парниковый эффект. Таким фактором он считает поступление в атмосферу двуокиси серы ( $\text{SO}_2$ ) антропогенного происхождения, увеличившееся в XX в. в 6—7 раз. Дело в том, что после химических преобразований в атмосфере  $\text{SO}_2$  превращается в вещество, способное служить так называемыми ядрами конденсации. Они играют важную роль в физике атмосферы, способствуя конденсации водяного пара и образованию облаков (естественный источник

ядер конденсации — частицы солей, выносимые из океана). Увеличение содержания ядер конденсации в атмосфере повышает плотность и отражающую способность верхней границы облачности, что уменьшает поступление солнечного тепла в атмосферу и понижает ее температуру.

Расчеты Уигли с помощью простой климатической модели показали, что уменьшение температуры атмосферы за счет этого эффекта сопоставимо с нагревом, вызванным парниковым эффектом. В пользу предложенной гипотезы говорит и такое соображение. Более 90 %  $\text{SO}_2$  поступает в атмосферу в Северном полушарии, и концентрация ядер конденсации здесь в 2—3 раза выше, чем в Южном. Соответственно, охлаждающий эффект должен сильнее проявляться в Северном полушарии, т. е. разность средних температур атмосферы в Южном и Северном полушариях должна постоянно увеличиваться. О том, что это именно так, свидетельствуют данные четырех независимых рядов климатических наблюдений. Среднее увеличение разности температур между полушариями за 1900—1985 гг. составило около 0,1 °С.

Если высказанные предположения верны, человечество может столкнуться с трагическим парадоксом: защита атмосферы от загрязнения сернистыми соединениями (и, соответственно, избавление от кислотных дождей и других опасных последствий) приведет к тяжелым климатическим последствиям из-за усиления парникового эффекта.

Nature. 1989. Vol. 339. № 6223. P. 365—367 (Великобритания).

#### Физика

### Регистрация инфракрасного излучения

В последнее время широкое распространение получили методы регистрации и визуализации инфракрасного излучения, основанные на изменении характеристик различных материа-

лов под действием тепла. По таким показателям, как чувствительность, динамический диапазон, разрешающая способность, выделяется инфракрасная фотография, основанная на тепловой сенсibilизации галогенид-серебряных эмульсий.

Исследователи из Института общей физики АН СССР изучали возможности использования инфракрасной фотографии для регистрации излучения лазера на алюмоиттриевом гранате с ионами эрбия (длина волны 2,94 мкм). Галогенид-серебряные эмульсии чувствительны к излучению с длиной волны не более 1,3 мкм. Тепловая сенсibilизация, основанная на увеличении чувствительности фотослоя с температурой, позволила регистрировать на обычных фотопленки инфракрасное излучение за этой границей.

При поглощении инфракрасного излучения на фотопленке создается распределение температуры, скрытое изображение которого получается при последующей равномерной засветке фотопленки видимым излучением. При проявлении скрытого изображения визуализуется.

Минимальная регистрируемая плотность энергии (чувствительность) составила 1 мДж/см<sup>2</sup>; в диапазоне 2—200 мДж/см<sup>2</sup> плотность почернения увеличивалась линейно, свыше 200 мДж/см<sup>2</sup> эмульсионный слой начинал плавиться, а при 0,5 Дж/см<sup>2</sup> и выше — разрушался. Таким образом, динамический диапазон фотоматериала для инфракрасного излучения в области 3 мкм составляет примерно два порядка. Пространственное разрешение метода проверялось с помощью специальной штриховой маски на кремниевой подложке. Ее изображение проецировалось на пленку контактным способом. Максимальное разрешение составило 50 линий/мм.

Высокие показатели метода позволяют проводить с его помощью широкий круг исследований, связанных с диагностикой лазерного излучения в диапазоне около 3 мкм. Впервые таким методом ширин спектральной линии  $\text{YAG}:\text{Er}^{3+}$ -лазера была измерена непосред-

ственно, т. е. без преобразования частоты. С помощью кварцевого интерферометра получены интерференционные картины для излучения инфракрасного лазера в режиме одиночных импульсов и при частоте повторений 1 Гц. В первом случае ширина спектра генерации не превышает  $0,3 \text{ см}^{-1}$ , во втором — около  $3 \text{ см}^{-1}$ .

Квантовая электроника. 1988. Т. 15. № 1. С. 229—232.

Физика

## Частицы высоких энергий из созвездия Лебедь X-3

Предполагается, что в нашей Галактике в области созвездия Лебедь X-3 существует черная дыра. Поскольку свойства этих объектов, предсказанных общей теорией относительности Эйнштейна, даже теоретически, не говоря уже об эксперименте, изучены недостаточно полно, интересны любые проявления физических процессов в этом созвездии. Так, в начале 80-х годов широко обсуждался тот факт, что одним из источников частиц высоких энергий ( $\sim 10^{16}$  эВ) является как раз Лебедь X-3. И вот теперь группа Г. Кассиди (G. L. Kassidy; Университет штата Итака, США), проведя статистический анализ данных по космическим лучам с энергией  $10^{18}$  эВ, зарегистрированных детекторами установки «Мушиный глаз», показала, что в направлении из Лебеда X-3 наблюдается избыток и таких частиц.

Анализировались данные, накопленные детекторами с ноября 1981 г. по май 1988 г. За это время было зарегистрировано 5609 хорошо реконструированных<sup>1</sup> ливней — потоков вторичных частиц, рожденных при взаимодействии ускоренной космической частицы со средой; энергия первичных частиц превышала  $0,5 \cdot 10^{18}$  эВ. Второй «Муши-

ный глаз» работал с ноября 1986 г. по май 1988 г., и 1107 ливней, зафиксированных обоими детекторами, были реконструированы с большой точностью.

По мнению авторов, избыток частиц в направлении на Лебедь X-3 можно увидеть уже после минимального анализа данных. Они демонстрируют это с помощью диаграммы для числа ливней в зависимости от галактической долготы. В области галактической долготы Лебеда X-3 заметен существенный избыток числа ливней.

Как отмечают авторы, данные по частицам высоких энергий из Лебеда X-3 — первое прямое свидетельство ускорения частиц до энергий  $10^{18}$  эВ в нашей Галактике.

Physical Review Letters. 1989. Vol. 62. № 4. P. 383—386 (США).

Физика

## Алмазная пленка в полупроводниковой технологии

Кремний, 40 лет используемый в электронной промышленности, уже исчерпывает свои возможности. Ведутся поиски новых полупроводниковых материалов, обладающих большим быстродействием и стойкостью к радиации.

В. Рабалаис (США) и Е. Лифшиц (Израиль) разработали метод, позволяющий выращивать тонкую алмазную пленку на кремниевой подложке, используя эпитаксию — ориентированный рост одного монокристалла на поверхности другого. В основе заложен принцип так называемого химического парового напыления, промежуточного между напылением ионных на поверхность подложки и внедрением их в глубокие слои материала. Энергичные атомы углерода при осаждении внедряются в подповерхностный слой материала. Процесс протекает при комнатной температуре, что в обычных условиях привело бы к образованию графита. В данном же случае энергия атомов углерода подбирается так, чтобы раз-

рушить связи в кристаллической решетке графита, оставив нетронутой кристаллическую решетку алмаза. В результате удается осуществить эпитаксиальный рост алмазной пленки на кремниевой поверхности.

Описанный метод позволяет создать новый класс полупроводниковых материалов, обладающих хорошим быстродействием и стойких к радиации. В таких материалах нуждаются космическое, военное и ядерно-энергетическое производства. Кроме того, полупроводниковые приборы на основе алмазных пленок более высокочастотны, чем традиционные.

New Scientist. 1989. Vol. 121. № 1656. P. 39 (Великобритания).

Физика

## Обнаружена поляризация параметрического рентгенового излучения

В 1985 г. в экспериментах на синхротроне Томского политехнического института при прохождении ультрарелятивистских электронов через кристаллы впервые наблюдалось параметрическое рентгеновое излучение (ПРИ)<sup>1</sup>. Оно отличается линейчатим спектром с кратными значениями энергии фотонов и высокой спектрально-угловой плотностью в направлении брэгговских углов  $\theta_B$ .

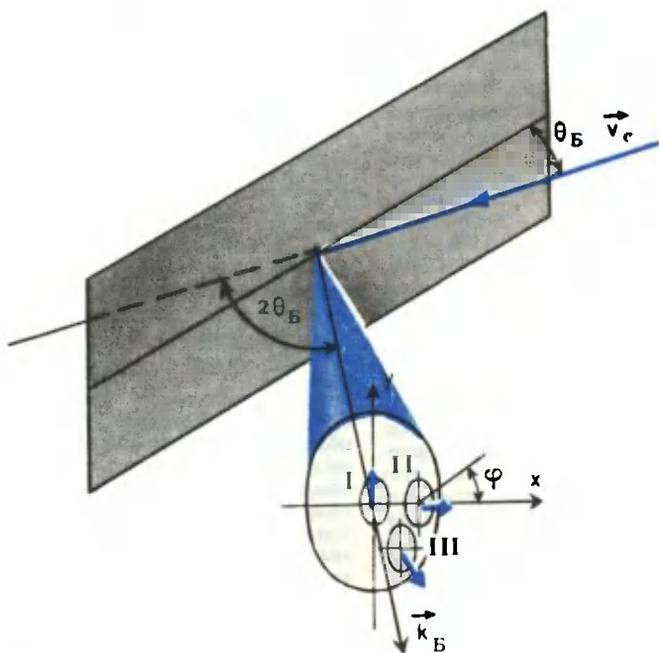
Механизм генерации этого излучения в кристаллах предлагалось рассматривать как динамическую дифракцию собственного поля релятивистского электрона, описываемого набором псевдодофононов, на кристаллических плоскостях<sup>2</sup>. При таком рассмотрении параметрическое рентгеновое излучение, соответствующее брэгговскому рефлексу, в целом должно обладать линейной поляризацией.

Для экспериментальной проверки этого предположения был использован комптоновский

<sup>1</sup> Параметрическое рентгеновое излучение // Природа. 1986. № 11. С. 107.

<sup>2</sup> Афанасьев А. М., Агиян М. А. // ЖЭТФ. 1978. Т. 74. С. 570.

<sup>1</sup> Реконструировать ливень — значит восстановить направление и величину скорости первичной частицы.



Геометрия эксперимента:  $v_e$  — направление релятивистского электрона,  $k_B$  — брэгговское направление фотонов,  $\theta_B$  — угол Брэгга; I, II, III — области рефлекса ПРИ, в которых измерялась линейная поляризация излучения [цветные стрелки показывают направление плоскости поляризации],  $\varphi$  — азимутальный угол.

поляриметр из двух NaI [TI]-детекторов и флюоресцирующего рассеивателя в виде пластины толщиной 4 мм. Детекторы располагались в плоскости, перпендикулярной брэгговскому направлению, под углом  $90^\circ$  друг относительно друга. Комптоновский поляриметр мог перемещаться в двух взаимно-перпендикулярных направлениях (вдоль осей X и Y) по рефлексу параметрического рентгеновского излучения.

В эксперименте измеряли азимутальную зависимость выхода рассеянных фотонов ПРИ в диапазоне изменения азимутального угла  $0 < \varphi < 360^\circ$ . Подобные измерения позволяют определить как степень поляризации P, так и угол наклона плоскости максимальной линей-

ной поляризации. В брэгговском направлении (область I) поляризация оказалась минимальной ( $P \approx 0,14$ ), а угол наклона плоскости поляризации соответствует ее положению для обычной дифракции рентгеновского излучения. Вне брэгговского направления (области II, III) степень линейной поляризации высокая ( $P > 0,8$ ), а изменение направления плоскости поляризации соответствует ее азимутальной вариации, характерной для известного в оптическом диапазоне излучения Вавилова — Черенкова.

В рентгеновской области наблюдение излучения типа Вавилова — Черенкова считалось невозможным, однако имелась теория Барышевского — Феранчука<sup>3</sup>, которая предлагала рассматривать ПРИ как рентгеновский аналог этого излучения. Обнаруженные теперь поляризационные свойства ПРИ подтверждают такое предположение.

Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 48. Вып. 6. С. 311—314.

<sup>3</sup> Барышевский В. Г., Феранчук И. Д. // ЖЭТФ. 1971. Т. 61. С. 914; 1973. Т. 64. С. 760.

## Рисунок на ткань — в присутствии покупателя

Нанесение рисунка на ткань — довольно дорогостоящий процесс. Во-первых, он требует больших количества воды, во-вторых, значительных затрат энергии при сушке мокрой ткани. Кроме того, необходимо очищать использованную воду. Поэтому перспективно «сухое» нанесение рисунка на ткань.

В Технологическом институте г. Атланты (штат Джорджия, США) разработан способ печатания цветных рисунков с помощью видоизмененной копировальной установки «Ксерокс». Модернизация установки позволила печатать рисунок на непрерывном рулоне ткани шириной 90 см. Способ позволяет, в частности, сократить расход энергии почти в 10 раз и более «чист» экологически. Однако, прежде чем внедрять новую технологию, предстоит решить ряд проблем, таких как прочность красителя при стирке ткани или под действием солнца а также получение более четкого многоцветного изображения на ткани, не столь гладкой, как бумага.

Как утверждают разработчики, в будущем покупателю в магазине за десять минут на любое изделие (постельное белье, предметы одежды) могут нанести рисунок, выбранный им из каталога образцов.

Еще перспективнее установка, наносящая рисунок на ткань с помощью лазерных печатающих устройств ЭВМ.

Все разработки финансируются Министерством энергетики США.

New Scientist. 1989. Vol. 122. № 1639. P. 32 (Великобритания).

## Эдитинг — редактирование генетического текста

Генетическая информация хранится в геноме (как пра-

вило, в ДНК), затем в процессе транскрипции считывается РНК-копия (мРНК), которая служит матрицей для синтеза белка.

Представляет ли мРНК точную копию своего гена, или его нуклеотидная последовательность подвергается «редактированию»?

Примеры «редактирования» мРНК известны, например сплайсинг. В геноме эукариот кодирующие, смысловые участки ДНК (экзоны) чередуются с некодирующими (интронами). Весь «текст» переписывается в РНК-предшественник, из которого затем интроны вырезаются, а экзоны состыкуются между собой.

Но может ли молекулярный «редактор» править текст, точно скопированный с соответствующего гена (например, вставлять или вычеркивать отдельные «слова» или «буквы», исправлять закодированные в геноме «опечатки»)?

При исследовании генома митохондрий, выделенных из простейших микроорганизмов, обнаружено, что матричные РНК, соответствующие гену субъединицы II фермента цитохром С-оксидазы, содержат по четыре незакодированных в геноме остатка уридилловой кислоты U<sup>1</sup>.

Такое встраивание U в определенные участки мРНК в процессе или после завершения синтеза РНК получило название эдитинг (от англ. editing — редактирование).

Исследование эдитинга субъединицы III этого же фермента показало, что более 50 % последовательности мРНК не соответствует гену, а возникает за счет «редактирования»<sup>2</sup>. Важно, что эдитинг приводит к различным последствиям: изменению начала считывания, возникновению новых инициаторных кодонов.

После открытия эдитинга самое интересное — поиски генов, идентичных по первичной структуре «отредактированным» мРНК. Видимо, соответствующие гены пока не обнаружены, так

как являются РНК-содержащими, а до сих пор искали только ДНК.

© А. Г. Евстафьева,  
кандидат химических наук  
Москва

Молекулярная биология

## Теломераза — новый фермент, синтезирующий концы хромосом

Особенностью репликации (снятия копий) линейных молекул ДНК является то, что ферменты, осуществляющие этот процесс (ДНК-полимеразы), всегда используют в качестве затравки небольшие фрагменты РНК, к которым они присоединяют дезоксирибонуклеотиды. После завершения репликации затравки удаляются, и нить ДНК на самом конце, казалось бы, остается недостроенной на величину затравки. Таким образом, концы линейных молекул ДНК, называемых теломерами, не могут быть полностью скопированы и последовательные циклы вели бы к их укорачиванию и утрате генетической информации. В природе этот процесс должен быть как-то скомпенсирован. У бактерий, например, хромосомные ДНК замкнуты в кольца (так называемые плазмиды).

Е. Блэкберн с сотрудниками (E. Blackburn; отдел молекулярной биологии Калифорнийского университета, Беркли, США) определили последовательности концов ДНК разных объектов, включая человека. Она оказалась необычной — многократные повторы TTGGGG (Т — тимин, G — гуанин).

У американских исследователей возникло предположение, что эти последовательности синтезируются специальным ферментом. Были получены данные о структуре фермента и предложена модель его работы<sup>1</sup>. Фермент, названный тело-

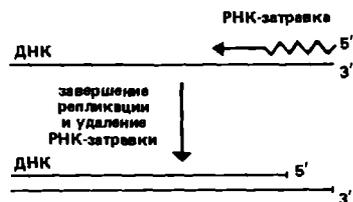


Схема недорепликации концов линейных молекул ДНК.

меразой, состоит из белковой части и небольшой молекулы РНК (159 нуклеотидов). РНК необходима для ферментативной активности, в ней содержится комплементарная последовательность из 9 нуклеотидов, которая служит матрицей для синтеза теломерных последовательностей.

Итак, открыты новый фермент, синтезирующий концы хромосом, и принцип завершения их репликации.

Однако возникают новые проблемы: справляясь с недорепликацией концов хромосом, теломеразы могут их синтезировать слишком длинными. На повестке дня вопрос, каков механизм регуляции длины теломеров?

© О. Н. Данилевская,  
кандидат биологических наук  
Москва

Молекулярная биология

## Белок — «транспортёр» ДНК

Д. Вествебер и Г. Шатц (D. Vestweber, G. Chatz; Базельский биоцентр, Швейцария) показали, что изолированные митохондрии дрожжей могут поглощать куски одно- или двуничей ДНК длиной в 24 пары нуклеотидов. Это происходит, когда 5'-конец ДНК химически связан с одним из митохондриальных белков. Внутри митохондрий примерно половина ДНК-белковых комплексов теряет белковую часть под действием протеолитических ферментов. При этом не происхо-

<sup>1</sup> Benne R., Van den Burg J. et al. // Cell. 1986. Vol. 46. P. 819.  
<sup>2</sup> Lamond A. // Trends in Biochem. Sci. 1988. Vol. 13. No 8. P. 283;  
Feagin J. E. et al. // Cell. 1988. Vol. 53. No 3. P. 413.

<sup>1</sup> Blackburn E. et al. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1988. Vol. 85. P. 6622.

<sup>2</sup> Blackburn E. et al. // Nature. 1989. Vol. 337. No 6205. P. 331.

дит денатурации двуни-  
вой ДНК.

Размер частиц, содержащих 24 пары нуклеотидов, примерно 2 нм. Пока неизвестно, как столь крупная частица может проникать через мембрану митохондрий, не меняя ее потенциала. Обнаруженный способ транспорта ДНК с помощью ковалентно связанного белка обнаружен и у других клеточных органелл и мембранных систем. Так, некоторые бактериальные белки-токсины легко проходят через плазматическую мембрану клеток эукариот. Мутантные токсины, утратившие токсичность, но сохранившие способность проходить сквозь мембрану, использованы для переноса коротких ДНК внутри животных клеток. Эти куски ДНК, «прилипают» к вирусным РНК, подавляют или замедляют развитие вирусной инфекции. Авторы полагают, что работы могут найти практическое применение в медицине.

Nature. 1989. Vol. 338. N 6211.  
P. 170—172 (Великобритания).

Биохимия

### Лечение опухолей гибридным белком

Лечение опухолей у экспериментальных животных  $\gamma$ -интерфероном или фактором некроза опухолей (ФНО-В) во многих случаях дает положительный результат. Еще более явное торможение опухолевого роста обнаружено при их совместном применении. Это послужило основанием для экспериментов, проведенных сотрудниками отделения биологии Индианского университета (Блумингэм, США). Выделил гены, кодирующие синтез обоих веществ, исследователи соединили их генноинженерным путем и ввели в кишечную палочку. В результате этот штамм кишечной палочки стал вырабатывать гибридный белок —  $\gamma$ -интерферон + фактор некроза опухолей, который испытывали на опухолевых клетках линии МН-180. Обнаружили, что он действует эффективнее не

только каждого из упомянутых веществ в отдельности, но и их смеси.

Аналогичные результаты получены и при испытании противовирусной активности гибридного белка к вирусам энцефаломиокардита и вазиккулярного стоматита.

Объяснения такой эффективности гибридного белка пока нет, но результаты свидетельствуют о возможности использования его в клинике.

Science. 1988. Vol. 241. № 4872.  
P. 1501—1502 (США).

Биохимия

### Химический синтез антител с ферментативной активностью

Недавно две группы американских исследователей, подобранных соответствующий антиген, получили антитела, обладающие ферментативной активностью<sup>1</sup>. Этот путь получения каталитических антител, имитирующих некоторые ферментативные реакции, например окислительно-восстановительные или перенос ацильных групп, можно условно назвать иммунологическим, или биологическим.

Позднее эти ученые С. Поллак и П. Шульц (S. Pollack, P. Schultz; Калифорнийский университет, США) предложили другой — химический — способ получения антител с теми же свойствами. Они получили антитела к модельному соединению (2,4-динитрофенолу). Известно, что в активный центр ферментов, гидролизующих эфиры, входит имидазол — пятичленный гетероцикл с двумя атомами азота. Авторы модифицировали одну из аминокислот антитела (Lys 52) химическими реагентами, в результате чего имидазол оказался искусственно включенным в антитело. Эти антитела исследователи назвали полусинтетическими. Активность таких антител проверялась в реакции

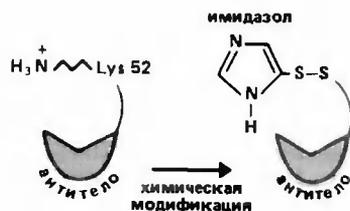


Схема введения имидазола в антитело.

гидролиза производных 2,4-динитрофенола.

При обработке полусинтетических антител специфическими реагентами, взаимодействующими с имидазолом, например диэтилпирокарбонатом, ферментативная активность антител исчезала. Следовательно, именно имидазол «повиновен» в появлении этой дополнительной функции антител.

По мнению авторов, химическое включение в антитело других функциональных групп (в частности, комплексов с переходными металлами) или кофакторов ферментов, позволит получать полусинтетические антитела с большим разнообразием новых функций.

Journal of the American Chemical Society. 1989. Vol. 111. № 5.  
P. 1929—1931 (США).

Иммунология

### СПИД у мышей

Известно, что только человек и шимпанзе восприимчивы к СПИДу. Недавно 3 группы исследователей сообщили о возможности использовать мышей в качестве лабораторных животных при изучении СПИДа и некоторых других тяжелых заболеваний. Двум группам американских исследователей удалось впервые заразить мышью вирусом приобретенного иммунодефицита человека (ВИЧ). У нескольких мышей наблюдались симптомы, напоминающие клиническую картину СПИДа у человека. К сожалению, по вине технического персонала большая часть мышей погибла.

<sup>1</sup> См., напр.: Антитела с ферментативной активностью // Природа. 1988. № 9. С. 108.

Установлено, что для проникновения ВИЧ в клетки животных на поверхности клеток должны присутствовать специальные рецепторы, с которыми связывается вирус. У мышей этих рецепторов нет. Сотрудники Национального института здоровья (Бетесда, США) провели инъекции генетического материала ВИЧ в оплодотворенные яйцеклетки мышей. Эмбрионы с введенной ДНК ВИЧ, имплантированные в приемной матери-мышь, нормально развивались. Большая часть клеток этих эмбрионов была заражена ВИЧ. Ни у одной из полученных 13 трансгенных мышей не обнаружилось симптомы СПИДа, однако при скрещивании с нормальными лабораторными мышами у части потомства развивался СПИД. В частности, примерно у половины потомства одной из мышей наблюдалось кожное заболевание, напоминающее псориаз, обычное у больных СПИДом. Эти мыши имели увеличенные лимфатические узлы и гибли в юном возрасте. Анализ показал, что их клетки содержали ДНК ВИЧ.

Трансгенные мыши — отличная модель для изучения СПИДа, так как весьма удобны для постановки лабораторных экспериментов и генетически хорошо изучены. На них можно изучать отдельные явления, наблюдаемые при заболевании, однако для получения целостной картины приходится по-прежнему применять других животных. На мышах трудно изучать механизм взаимодействия ВИЧ и животных клеток, и вряд ли с их помощью удастся получить вакцину против ВИЧ. Хотя у мышей наблюдается ослабление функции лимфоцитов, они не страдают такой крайней формой СПИДа, как человек.

Несмотря на это, мыши могут быть очень полезны для проверки эффективности предлагаемых лекарств. Кроме того, исследователи надеются, что им удастся ввести разные гены из ДНК ВИЧ в эмбрионы мышей и изучать роль отдельных вирусных генов при патогенезе.

Другой подход, позволяющий использовать мышей при изучении СПИДа, предложен специалистами Станфордского университета (Калифор-

ния). Они вводили ДНК ВИЧ в специально созданные линии мышей, несущих отдельные элементы иммунной системы человека (имплантированы эмбриональные тимус и лимфатические узлы). Вирус успешно заражал находящиеся у мышей клетки человека. И хотя у мышей при этом не проявлялось никаких признаков СПИДа, есть надежда, что созданная модельная система позволит изучать развитие инфекции у человека.

Ученые Торонтского университета (Канада) пересаживали стволовые клетки (недифференцированные предшественники всех клеток иммунной системы человека) мышам с иммунным дефицитом и изучали развитие человеческих клеток крови. Если предварительно воздействовать на геном пересаживаемых клеток, можно получить модели развития лейкемии, СПИДа и ряда других заболеваний.

Science News. 1988. Vol. 134. P. 404 (США).

#### Иммунология

### Второй фронт в борьбе со СПИДом

Две группы американских специалистов из исследовательских лабораторий фирмы Merck Sharp and Dohme в Нью-Джерси и Пенсильвании опубликовали результаты рентгеноструктурного исследования пространственной структуры протеазы (фермента, катализирующего расщепление пептидных связей в белках) вируса СПИДа при разрезании З. А. Этот фермент представляет собой димер, состоящий из двух одинаковых субъединиц; его большие участки, включая активный центр, имеют сходство с семейством так называемых «кислых» (или аспартильных) протеаз и с протеазой, выделенной из вируса саркомы Рауса. Общее для всех этих ферментов — аминокислотная триада Asp — Thr — Gly (или Asp — Ser — Gly) в активном центре и наибольшая активность в кислых средах.



Модель пространственной структуры протеазы вируса СПИДа.

Вирус СПИДа и онковирусы относятся к ретровирусам, передача генетической информации в которых осуществляется не по классической схеме ДНК—РНК—белок, а по схеме РНК—ДНК—белок. Важную роль в репродукции ретровирусов играют три фермента: обратная транскриптаза, интеграз и протеаза. До сих пор попытки создать лекарства против ретровирусов были сосредоточены на получении ингибиторов обратной транскриптазы, например азидотимидина — наиболее широко используемого средства против СПИДа. Исследование протеазы вируса СПИДа открывает, по мнению авторов, второй фронт в борьбе с этой болезнью. Протеаза вируса СПИДа — первый из белков этого ретровируса, для которого исследована пространственная структура.

Кристаллы протеазы вируса СПИДа имеют ось симметрии второго порядка. Димер имеет форму эллипсоида с параметрами  $55 \times 35 \times 25$  Å. Структура стабилизирована водородными связями. Протеаза содержит два цистеиновых остатка, но они не образуют водородных дисульфидных связей ни внутри, ни между мономерами. Объединение двух одинаковых мономеров в симметричную структуру представляет собой

элегантный метод создания активного фермента с минимумом генетической информации.

Знание активного центра и пространственной структуры протеазы вируса СПИДа открывает перспективы создания терапевтических средств воздействия именно на этот фермент.

Nature. 1989. Vol. 337. № 6208. P. 596—597; 615—620 (Великобритания).

#### Физиология

### Как иммунная система разрушает щитовидную железу

В щитовидной железе синтезируются гормоны тироксин и трийодтирозин, регулирующие обмен веществ. Ослабление функций щитовидной железы вызывает заболевание микседему, при котором отекают ткани, волосы становятся ломкими, замедляется ритм сердца, развивается слабоумие. Часто это происходит вследствие аутоиммунного заболевания, когда, по непонятным причинам, иммунная система организма реагирует на «свою» щитовидную железу, как на чужеродную ткань, разрушая ее.

Иммунологи А. Уитмен и А. Рис (А. Р. Weetman, A. J. Rees; Королевская медицинская школа в Лондоне, Великобритания) выяснили механизм разрушения щитовидной железы. К клеткам щитовидной железы добавляли производимые иммунной системой белки — иммуномедиаторы  $\gamma$ -интерферон (ИФН), фактор некроза опухолей (ФНО) и интерлейкин-1 (ИЛ-1). Оказалось, что иммуномедиаторы по отдельности и в сочетаниях ИФН + ИЛ-1 или ФНО + ИЛ-1 не повреждали клетки, но в комбинации ИФН + ФНО это наблюдалось. Если сначала добавляли ИФН, а затем ФНО, эффект был выражен намного сильнее, чем при обратной последовательности.

Оказалось, что под действием ИФН на поверхности клеток щитовидной железы появляются определенные антигены — молекулы гликопротеинов,

атакуемые ФНО. Авторы убеждены, что именно так обстоит дело и при аутоиммунном заболевании, разрушающем щитовидную железу.

Immunology. 1988. Vol. 63. P. 285—289 (Великобритания).

#### Физиология

### Опиоиды ослабляют действие простагландинов

Простагландины выполняют в организме функции гормоноподобных регуляторов различных жизненно важных процессов. Аналогичные функции выявлены и у опиоидных пептидов — продуктов нервной ткани. И. Грин и М. Тадайон (I. Green, M. Tadayon; Университет в Суссексе, Великобритания) исследовали, одинаково ли влияют простагландины и опиоидные пептиды на выделение инсулина, при недостатке которого развивается сахарный диабет. Ранее было показано, что простагландины регулируют секрецию инсулина, в частности простагландин  $E_2$  (ПГЕ<sub>2</sub>) подавляет ее. Грин и Тадайон добавляли опиоидный пептид динорфин к клеткам поджелудочной железы, секретирующим инсулин и ПГЕ<sub>2</sub>. Оказалось, что динорфин в дозе  $10^{-9}$  М подавляет секрецию ПГЕ<sub>2</sub> и усиливает — инсулина. Действие динорфина прекращалось после добавления извне ПГЕ<sub>2</sub> в концентрации  $10^{-5}$  М.

Итак, простагландины и опиоидные пептиды оказывают противоположное действие. Авторы высказывают предположение о возможности использования опиоидных пептидов для лечения сахарного диабета.

Life Sciences. 1988. Vol. 42. P. 2123—2130 (США).

#### Микробиология

### Тяжелые металлы против инфекций!

Канадские ученые обнаружили в 1988 г. на о. Бичи (Ка-

надский Арктический архипелаг) могилы участников известной арктической экспедиции Дж. Франклина 1845—1848 гг. В. Брейна и Д. Хартнелла. Для проведения микробиологических исследований тела эксгумировали, а после взятия проб перезахоронили. Исследователи полагают, что моряки умерли, отравившись свинцом, попавшим в организм вместе с пищей из консервов. Крайне интересно, что в тканях обнаружены бактерии, находящиеся в состоянии покоя и в то же время устойчивые к современным антибиотикам.

К. Ковалевска-Гроховска (K. Kowalewska-Grochowska; Университет провинции Альберта) сообщила на съезде Американского микробиологического общества, что, по ее мнению, тяжелые металлы усиливают стойкость организма к болезнетворным микроорганизмам, а загрязнение среды тяжелыми металлами повышает устойчивость бактерий к антибиотикам.

Polar Record. 1989. Vol. 25. № 152. P. 70 (Великобритания).

#### Микробиология

### Микробиологическая утилизация компонентов, загрязняющих почву

Американский микробиолог А. Чакрабарти (A. Chakrabarty; Чикагский университет) создал штамм почвенных бактерий, способный разрушать такие серьезные загрязнители почвы, как ДДТ, диоксин и полихлорированные бифенолы. Он получил также штамм *Pseudomonas*, который может расти в присутствии углеводородов.

Углевородами обладают гидрофобными свойствами — отталкивают воду, а заодно и обитающие в ней бактерии. В норме бактерии, окруженные водой, не могут достаточно близко подойти к молекулам углеводородов, чтобы захватить и утилизировать их. Новый штамм представляет собой мутант и имеет ген, кодирующий образование эмульгирующего

агента, который дает возможность водному раствору, содержащему эти бактерии, и маслу смешиваться: в результате бактерии разрушают углеводороды. Штамм успешно прошел полевые испытания. При его добавлении в резервуары с нефтью, содержащей много примесей, бактерии заметно очищали нефть.

Чакрабартти культивировал полученные им бактерии с токсическими химическими веществами, такими, как печально известный дефолиант — 2,4,5-трихлорфеноксиуксусная кислота. При добавлении штамма *Pseudomonas* к образцам загрязненной почвы, содержащей 1000 частей этого токсина на миллион, уровень загрязнений снижался до 7 частей на миллион в течение недели. Более того, в такой почве бактерии способны расти и размножаться, хотя и медленнее, чем в нормальных условиях.

По мнению Чакрабартти, полученный им штамм имеет большие перспективы для очистки зараженных почв.

New Scientist. 1988. Vol. 117. № 1601.  
P. 36 (Великобритания).

#### Биотехнология

### Молекулярное животноводство

В декабре 1982 г. на обложке журнала «Nature» была помещена фотография двух мышей, вдвое отличающихся по размерам. Более крупная мышь была трансгенной, т. е. несла в клетках чужеродный ген, и впервые продемонстрировала возможности геновой инженерии. Этот результат удалось получить с помощью геновой конструкции, включающей ген гормона роста крысы и регуляторные последовательности — промоторы, необходимые для получения копий, т. е. экспрессии гена и синтеза крысиного гормона в клетках мыши.

За последние годы методика получения трансгенных животных разработана для крупного рогатого скота, овец, сви-

ней и даже кур. Цель большинства исследований — получение сельскохозяйственных животных с экономически ценными признаками: более эффективным усвоением пищи, быстрым ростом, устойчивостью к заболеваниям. Однако наиболее интересно использовать их как живые биореакторы, производящие ценные рекомбинантные белки и лекарственные препараты и выделяющие их непосредственно в кровь или молоко. Уже получены трансгенные линии мышей, выделяющих в молоко профибринолизин — человеческий активатор плазминогена, важного компонента системы свертываемости крови. Экспрессия чужеродного гена происходит только в период лактации, полученное вещество секретруется в кровь и сохраняет биологическую активность. Этот ценный признак стабильно наследуется. Однако уровень экспрессии встроенных чужеродных генов пока низок, но его можно повысить, подбирая промоторные последовательности. Кроме того, трансгенные животные страдают от дисбаланса гормонов, что часто приводит к ранней смерти, стерильности самок и другим негативным последствиям.

И тем не менее достигнуты некоторые успехи. Так, Дж. Симонс с сотрудниками (G. P. Simons; Эдинбург, Шотландия) получили трансгенные линии овец, выделяющих в молоко человеческий фактор IX, или альфа-1-антитрипсин, влияющий на свертываемость человеческой крови. Признак передается по наследству, и, хотя уровень экспрессии низок, фактор IX проявляет нормальную активность. Получены трансгенные свиньи, несущие бычий или человеческий ген гормона роста. Однако они растут ненамного быстрее контрольных, хотя ген экспрессируется и его продукт найден в крови животных. Сделаны попытки получить трансгенных коров, выделяющих человеческий бета-интерферон в молоко, но пока эффективность получения трансгенного крупного рогатого скота очень низка.

Многие западные фирмы вкладывают большие средства в работы по получению трансгенных животных, поэтому уже

в ближайшее время можно ожидать новых успехов в этой области.

Biotechnology. 1988. Vol. 6. № 10.  
P. 1149—1154 (США).

#### Биология

### О происхождении ластоногих

При взгляде на моржа, тюленя и морского льва сразу же заметно их большое сходство. Наука с этим давно согласилась, объединив их в отряд ластоногих и предположив, что все ластоногие имели общего предка. Молекулярная филогения, которая определяет эволюционные связи, изучая структуру белковых молекул, подтвердила гипотезу происхождения этих млекопитающих от одного предка. Однако многие биологи продолжают в этом сомневаться, считая, что сходство этих семейств объясняется в основном тем, что они издавна живут в одной среде и для решения одинаковых проблем, поставленных перед ними природой, эволюция прибегла к «типовому проекту», снабдив необязательно родственных животных почти одинаковым строением тела.

Некоторые исследователи считают, что предков было два: морские львы и моржи происходят от вымершего уже существа, более всего напоминавшего нынешнего сухопутного медведя, тюлени же связаны близким родством с кунямицами, горностаями и ласками. В доказательство приводятся находки некоторых ископаемых животных, а также географическое распределение современных ластоногих: тюлени живут в Атлантике, а моржи и морские львы — в Тихом океане; значит, скорее всего, их разные предки обитали в различных акваториях.

Недавно А. Уисс (A. Wiss; Музей естественной истории в Вашингтоне, США), подробно исследовав скелеты ластоногих, особенно кости конечностей, установил чрезвычайно сходство в их строении. Например, первый сустав у всех трех групп

плотный и крепкий, а следующие за ним по мере приближения к пятому суставу постепенно уменьшаются и обладают все менее сочленяемыми поверхностями. Ничего подобного у других современных хищников нет. Уисс обнаружил и иные черты, в частности строение черепа, роднящие всех современных ластоногих с давно вымершими, но отсутствующие у нынешних хищных животных. Это убедительно свидетельствует о происхождении ластоногих от единого предка. Впрочем, существуют интересные различия в использовании ластов: морж и тюлень перемещаются в воде, сильно взмахивая задними лапами, а морской лев — передними.

Ныне картина эволюции ластоногих большинству ученых представляется так: все они произошли от единого сухопутного предка, близкого предку медведей; затем от общего ствола отделилась ветвь морских львов, а уже за нею — моржи и тюлени.

Nature. 1988. Vol. 334. № 6181. P. 427 (Великобритания).

Зоология

## Самолечение скворцов

Л. Кларк (L. Clark; Монелльский центр по изучению химической чувствительности, Филадельфия, штат Пенсильвания, США) обнаружил, что скворцы вплетают в свои гнезда стебли растений, обладающих токсичностью по отношению к некоторым насекомым и бактериям. По мнению Кларка, эти растения могут существенно уменьшить число паразитов в гнезде.

International Wildlife. 1988. July — August. P. 48 (США).



Экология

## Нильский окунь не виноват

Около 20 лет назад в оз. Виктория, омывающее берега

Танзании, Кении и Уганды, выпустили нильского окуня, ранее здесь не водившегося. Предполагалось, что эта крупная рыба (взрослая особь весит 10—20 кг) сумеет разнообразить стол местных жителей, да и иностранный турист не преминет поймать такого гиганта. Однако со временем начали поступать сообщения, что интродукция нового вида привела к катастрофе. В жарком африканском климате рыбу, прежде чем поставлять на рынок, нужно коптить, а дров на берегах Виктории нет. Сами рыбаки непривычную пищу потребляют неохотно, зато нильский окунь якобы истребил почти всю другую рыбу, населявшую озеро.

Среди ихтиологов оз. Виктория славится тем, что только здесь встречаются почти 200 видов гаплохроминов — мелких яркоокрашенных рыбок, имеющих немалый интерес для изучения биологической эволюции: изолированный миллионы лет огромный пресноводный бассейн позволил им сохранить многие черты, другими рыбами давно утраченные.

Гаплохромины и небольшая рыба тилапия составляли значительную часть рациона жителей окрестных кенийских и танзанийских деревень. Появление огромного окуня их вовсе не обрадовало, и новосела стали обвинять в исчезновении привычной пищи.

Два года кенийскую и танзанийскую акватории озера исследовали две международные экспедиции, включавшие ихтиологов и лимнологов из Музея естественной истории в Лондоне, Лейденского университета (Нидерланды) и Национального музея Кении в Найроби. Анализ показал, что в ряде районов Виктории все еще встречаются, и в большом числе, гаплохромины и другие традиционные виды рыбы. Нередко там же пробный улов приносил и немало нильского окуня. Но все подобные участки — это места, где ловля рыбы не разрешена и запрет строго соблюдается. В незаповедных районах, даже находящихся поблизости, гаплохроминов почти нет, а окунь встречается в изобилии.

Специалисты пришли к выводу, что виноват не новосел,

а перелов рыбы. Мелкоячеистые сети, которыми в последние годы пользовались африканские рыбаки, вероятно, стали причиной исчезновения эндемичных видов в оз. Виктория.

New Scientist. 1988. Vol. 119. № 1622. P. 34 (Великобритания).



Экология

## Африканская пчела завоевывает Америку

С тех пор как в 1956 г. с экспериментальной пасеки в Сан-Паулу (Бразилия) улетели 26 роев дикой африканской пчелы (*Apis mellifera scutellata*), это насекомое захватывает все новые пространства в странах Латинской Америки. Африканская пчела невероятно агрессивна. Если улей потревожен, пчелы без разбору нападают на все движущиеся, а иногда и неподвижные объекты вокруг. От ее укусов уже погибло около 350 человек (число погибших голов домашнего скота и собак точно не установлено).

Встретившись с европейскими пчелами, африканские прежде всего умерщвляют матку, а затем захватывают колонию. Производимый ими мед уступает меду европейских пчел. Как опылители африканские пчелы (вечные кочевники) тоже ненадежны. Сельское хозяйство завоеванных ими стран понесло значительные убытки.

Недавно северная граница распространения африканской пчелы продвинулась из Южной Америки почти до оконечности п-ова Юкатан, и высказывались опасения, что к концу 1988 г. она появится уже на юге Техаса (США), где развито пчеловодство.

Энтомолог Д. Флетчер (D. Fletcher; Бакнеллский университет в Льюисбурге, штат Пенсильвания) в качестве радикальной меры предложил выпустить перед «фронтом наступления» африканской пчелы миролюбивый штамм этого насекомого, полагая, что возникший гибрид будет менее агрессивным. Однако его оппоненты, в частности Д. Рубик (D. Roubik;

Смитсоновский институт тропических исследований, Панама), считают, что такой метод весьма труден и предлагают применить биологический контроль с использованием бронеосца и скусна, которые питаются пчелами и не боятся их укусов. Некоторые специалисты надеются, что, по мере приближения к умеренной климатической зоне США, африканские пчелы окажутся неспособными переносить зимние холода и, все чаще встречаясь с европейскими, утратят свою доминирующую роль.

New Scientist. 1988. Vol. 117. № 1600.  
P. 28 (Великобритания).



Экология

## Премия по экологии — метеорологу

В 1988 г. Университет Южной Калифорнии (США) удостоил премии им. Тайлера за экологические исследования видного шведского метеоролога Берта Болина (B. Bolin). Профессор Стокгольмского университета, директор Международного метеорологического института в Стокгольме, член Шведской королевской и Норвежской академии наук, Болин известен своими трудами в области химии атмосферы и климатологии, в частности монографиями «Глобальный углеродный цикл» (1979), «Основные биогеохимические циклы и их взаимодействия» (1983), «Парниковый эффект, изменения климата и экосистем» (1986).

Одним из первых Болин стал изучать влияние человеческой деятельности на атмосферу, гидросферу и всю среду обитания. Особое его внимание привлечено к воздействию массового сжигания ископаемых топлив и сведения лесов на концентрацию  $\text{CO}_2$  в атмосфере; из его работ следует, что за последние 100 лет она возросла на 25%, а дальнейший ее рост может привести к резким климатическим изменениям.

В 1960-х годах Болин играл ведущую роль в разработке Программы исследова-

ния глобальных атмосферных процессов (ПИГАП), рожденной совместными усилиями Всемирной метеорологической организации и Международного совета научных союзов. В значительной мере благодаря его усилиям этот совет в 1987 г. одобрил разработку Международной геосферно-биосферной программы «Изучение глобальных изменений». Ей предстоит превратиться в крупнейшее международное начинание, цель которого — выявить механизм изменений климата и характер взаимодействия всех физических, химических и биологических процессов на Земле. Эта деятельность, развернувшись с конца текущего столетия, захватит начало следующего века и распространится на весь земной шар. Самому Болина в этой грандиозной программе больше всего привлекает изучение углеродного цикла в биосфере. Важная часть этих исследований — определение способности Мирового океана поглощать все возрастающие количества  $\text{CO}_2$  из атмосферы.

Премия им. Тайлера, учрежденная американским меценатом, существует с 1973 г. (ее денежная часть в различные годы составляла от 150 до 200 тыс. долл.). Это наиболее престижная награда по экологии в США, а возможно, и в мире. Берт Болин — 23-й ее лауреат.

Ambio. 1988. Vol. XVII. № 3.  
P. 249 (Швеция).

Геология

## 123-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»

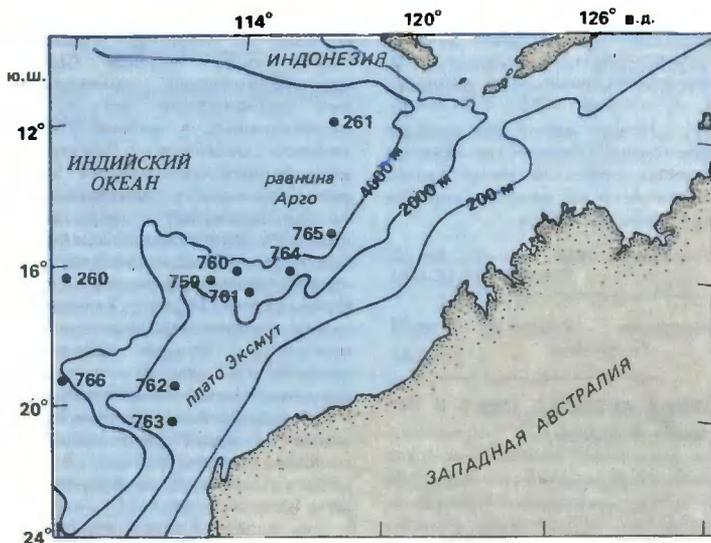
Рейс проходил в Индийском океане, в районе абсальной равнины Арго и подводного плато Эксмут. Здесь находится граница между континентом — древним материком Гондваной и располагающимся к северу от него палеоокеаном Тетис. Экспедицией пробурены две скважины: № 765 — самая глубоководная (толща воды над ней — 5721,4 м; мощность осадочного

слоя 931,2 м) и № 766 (глубина океана 3997,5 м; мощность осадков 466,7 м), завершившие серию скважин, заложенных в данном районе по Программе глубоководного бурения. С их помощью предполагалось решить ряд вопросов, связанных с ранней историей Индийского океана.

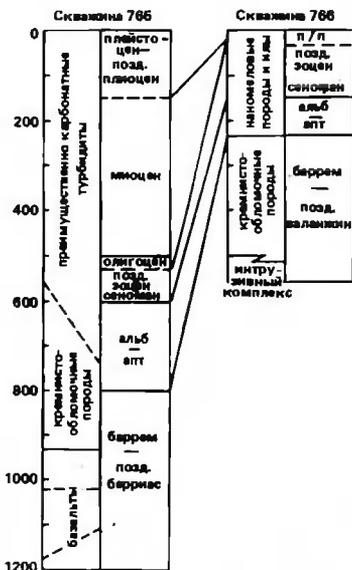
Считается, что в раннем мезозое (250 млн лет назад) западная окраина Австралии была частью континентальной рифтовой зоны восточной Гондваны. Геологическое превращение океана Тетис в Индийский произошло в поздней юре (150 млн лет назад). В результате спрединга — раздвига Северо-Западной Австралии и известной сопряженной литосферной плиты образовалась подводная равнина Арго. В раннем мелу от Гондваны отделился единый блок Индия, Западной Австралии и Антарктиды; возникший пролив связал молодой Индийский океан и Южную Атлантику. Раздвиг между Антарктидой и Австралией начался на границе мезозоя и кайнозоя (65 млн лет назад) и вызвал устойчивый дрейф Австралии к северу. Затем, в среднетретичное время (30 млн лет назад) Австралия столкнулась с Индонезийским архипелагом, образовав при этом Ново-Гвинейскую кордильеру и активную зону субдукции южнее Индонезии.

Бурение дало интересные результаты, среди которых самое неожиданное то, что установленный ранее по палеомагнитным данным позднеюрский возраст фундамента (скважина № 261) оказался раннемеловым. Определения проводились по микрокаменелостям из коричнево-красных глин и пластов вулканического пепла. Таким образом, равнина Арго в действительности на 20 млн лет моложе. В меловое время (134 млн лет назад) начался спрединг между Австралией и Индостаном, что подтверждают обнаруженные в основании

<sup>1</sup> Подробнее см.: Хаин В. Е., Божко Н. А. Гондвана — исчезнувший суперконтинент // Природа. 1989. № 6. С. 36—45; Казань В. Г. История океана Тетис // Там же. № 9. С. 40—45.



Скважины, пробуренные на дне Индийского океана в 122-м и 123-м рейсах «ДЖОЙДЕС Резолюши», а также «Гломаром Челленджером» по Программе глубоководного бурения (скважины № 260, 261). Цифры на изобатах — глубина океана.



Стратиграфия скважин 123-го рейса «ДЖОЙДЕС Резолюши».

скважины № 766 интрузии толеитовых базальтов, типичные для срединных хребтов.

Осадки на раннем этапе погружения океанического дна

накапливались достаточно быстро (1,5—4 см/тыс. лет), затем медленнее, что отразилось на их составе: терригенно-дельтовый тип сменился открыто-океаническим. В конце раннего эоцена в обеих скважинах наблюдается перерыв в накоплении осадков, вызванный, вероятно, сильным размывом в связи с формированием Антарктического глубоководья. В неогене накопление осадков ускорилось, видимо, за счет поступления материала по подводным каньонам.

Образцы керна с микроокаменелостями позволили детализировать геохронологическую шкалу для позднеюрского и раннемелового времени. Скважина № 765 стала первой из серии геохимических: на борту судна определялись концентрации K, U, Th, Ca, Si, Fe, Al (обычно вариации состава осадков связаны с вариациями в содержаниях Si, Fe, Al). Базальты осевой части Индоокеанского срединного хребта существенно отличаются от базальтов Тихого и Атлантического океанов. Возможно, каждый регион имеет собственный источник мантийного вещества. Раннемеловые базальты также отличаются по составу от современных: по-видимому, мантийный источник за последние 150 млн лет претерпел изменения.

Nature. 1989. Vol. 337. № 6207. P. 506—507 (Великобритания).

## Советско - американское сотрудничество в изучении морского дна

Осенью 1988 г. в Беринговом море работала экспедиция на американском научно-исследовательском судне «Томас Вашингтон», возглавляемая геофизиком П. Лонсдейлом (P. Lonsdale; Скриппсовский океанографический институт). Она проходила в соответствии с международной программой «Карусель» ("Roundabout"), главная цель которой — организация серии научных экспедиций в следующих один за другим по часовой стрелке северных и центральных районах Тихого океана для комплексного изучения их геологического строения и тектонической эволюции. Впервые за много лет в такой экспедиции принимали участие советские специалисты — геолог М. Л. Красный и геофизик В. Н. Патрикеев (Сахалинский институт морской геологии и геофизики ДВО АН СССР), что является претворением в жизнь договора об исследованиях в океане между СССР и США, подписанного в Москве в декабре 1987 г.

Основным объектом изучения было расположенное к югу от Командорских о-вов поднятие Обручева в месте его сочленения с северной частью Императорского хребта. Благоприятные погодные условия позволили получить высококачественные данные по гравиметрии, магнитометрии и сделать снимки дна многолучевым эхолотом системы «Sea Beam». Было проведено также сейсмическое профилирование по ряду галсов. В полученных колонках осадочного слоя преобладают обломки диоритов и других континентальных пород, которые, как полагают участники экспедиции, являются материалом ледового разноса.

На 49,7° с. ш. экспедицией открыт неизвестный ранее гайот (подводная гора с плоской вершиной), изолированный от остальной части Императорского хребта. Здесь проведена детальная магнитная съемка,

которая позволит определить палеошироту «горячей точки», сформировавшейся в позднем мелу Гавайско-Императорский хребет, и в частности этот гайот. Данные исследования помогут пролить свет на некоторые аспекты, касающиеся происхождения, развития и характера тектонической активности «горячих точек».

Работы по программе «Карусель» должны завершиться в 1989 г.

Eos. Transactions of the American Geophysical Union. 1988. Vol. 69. № 36. P. 833 (США).

## Геология

### Прогноз экономичности нефтедобычи

Долгое время среди специалистов по нефтеразведке идут споры о методах точного прогноза объемов добычи нефти, которые были бы экономически оправданными.

Используя суперкомпьютеры и стереофонические громкоговорители, специалисты нефтяной корпорации «Эксон» вывели уравнение, связывающее электрическое сопротивление нефтеносной породы с ее внутренней геометрией.

Решение уравнения дает значительно более точные значения проницаемости пород. А пока еще нефтяные компании ведут глубокое бурение, а затем анализируют получаемые образцы, но при этом некоторые образцы разрушаются. При разработке своей методики сотрудники корпорации исследовали пробы нефти различной вязкости, пропуская их через битое стекло, которое должно было имитировать породы разной пористости. С помощью стереофонических громкоговорителей к образцам прикладывали переменное давление, после чего замеряли скорость просачивания нефти. В результате установлено, что проницаемость нефтеносной породы зависит от ее электрической проводимости и внутренней геометрии. Величина электрической проводимости может быть полу-

чена обычными широко используемыми приборами, а геометрические характеристики — методом магнитного резонанса.

Новый метод не требует проведения большого объема буровых работ, к тому же он практически не наносит ущерба окружающей среде.

Environment. 1988. Vol. 30. № 10. P. 23—24 (США).

## Геофизика

### Новая граница плит в заливе Аляска!

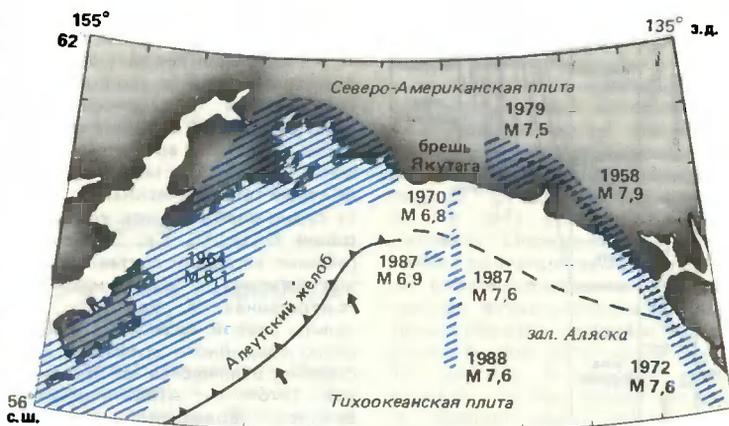
Известно, что большая часть землетрясений приурочена к границам литосферных плит, т. е. к зонам, где происходит сближение, расхождение и скольжение их друг относительно друга. Особый интерес представляют внутриплитовые землетрясения, происходящие вдали от границ. Серию таких землетрясений 1987—1988 гг. в зал. Аляска<sup>1</sup> изучали Дж. Лар-

<sup>1</sup>См.: Странные землетрясения на Аляске // Природа. 1989. № 3. С. 121.

Р. Пейдж и Дж. Стефанс (J. Lahr, R. Page, G. Stephens; Геологическая служба США).

Эпицентры землетрясений магнитудами 6,9 и 7,6 располагались в океане у восточного окончания Алеутской дуги, к югу от сложной зоны перехода между трансформной и конвергентной границами плит. Их очаги были вытянуты почти в меридиональном направлении и находились на глубине около 10 км. Землетрясения сопровождалась разрывом коры общей протяженностью 250 км и правосторонними смещениями вдоль него. В очагах землетрясений оси сжатия и растяжения ориентированы соответственно в северо-восточном и северо-западном направлениях.

В зал. Аляска землетрясения отмечались напротив зоны сейсмического молчания (бреши Якутага) — области, где длительное время отсутствовали какие бы то ни были серьезные геофизические события. В настоящее время здесь наблюдаются сильные сжимающие напряжения. С другой стороны, после мощного Аляскинского землетрясения 1964 г. к западу от сейсмической бреши произошло проскальзывание Тихоокеанской плиты под Северо-



-  Трансформная граница
-  Конвергентная граница
-  Зона перехода
-  1972 год землетрясения и его магнитуда

Очаги землетрясений 1987—1988 гг. в зал. Аляска и области разрывов (закрашены) на границе между Тихоокеанской и Северо-Американской плитами [стрелками и показано направление перемещения Тихоокеанской плиты относительно Северо-Американской].

Американскую, поэтому в пределах первой преобладают растягивающие напряжения. Предполагается, что сейсмичность в зал. Аляска вызвана наложением сжимающих и растягивающих напряжений в Тихоокеанской плите, подверженной вследствие этого сегментации.

Сейсмическая активность была известна здесь и раньше, однако связать ее с какими-либо тектоническими структурами до сих пор не удавалось из-за слабой изученности этого участка морского дна. По всей видимости, она обусловлена формированием новой границы плит.

Geophysical Research Letters. 1988. Vol. 15. № 13. P. 1483—1486 (США).

Метеорология

## Крайности погоды 1988 г. в Африке

В 1988 г. сезон дождей в районе Африканского Рога (восточный выступ континента, на котором расположена в основном территория Сомали) был необычайно длительным и обильным. Здесь осадки связаны с так называемой внутритропической зоной конвергенции — пересекающей всю Африку широкой полосой, где сухие ветры с севера встречаются с более влажными экваториальными. Влажные воздушные массы «выжимаются» вверх, что приводит к весьма интенсивным грозам. Весной зона конвергенции всегда смещается к северу, осенью — к югу. Обычно северная ее граница пролегает на широте столицы Судана Хартума; здесь, как правило, выпадают умеренные осадки и только в сезон дождей.

Этот стереотип был резко нарушен в 1988 г. — зона конвергенции продвинулась необычно далеко к северу. В самом влажном месяце — августе — на территории Судана выпадает в среднем 75 мм осадков. В августе 1988 г. лишь за 13 ч выпало 200 мм, что привело к беспрецедентному наводнению. Нил вышел из берегов, затопив большую часть Хартума и оставив

без крова более 1,5 млн человек. Сильно пострадали районы южной части Сахары; в Нигерии на одной из рек рухнула крупная плотина.

Гидрологи считают, что основная причина наводнения в Судане — дожди, выпавшие в Эфиопии. Негорная часть этой страны является водосбором Голубого Нила, дающего до 90 % нильских вод. Белый Нил сливается с Голубым у Хартума. Именно здесь после дождей в Эфиопии и началось наводнение: глубина Нила превысила 16 м, за 10 сут река поднялась на 2 м. Резкий сброс воды из Эфиопии в Голубой Нил связан со значительной потерей ею зеленого покрова и почвенного слоя из-за многолетней засухи. Однако сказывается и отсутствие дренажных систем.

Д. Рийкс (D. Rijks; Всемирная метеорологическая организация, Женева, Швейцария) полагает, что бедствие 1988 г. в Африке может быть связано с глобальным потеплением климата. Примером удаленных, но сильных связей местных метеорологических процессов с глобальными циклами погоды служит недавно обнаруженная корреляция между цикличностью Эль-Ниньо и климатическими процессами в Азии и Африке<sup>1</sup>.

New Scientist. 1988. Vol. 119. № 1627. P.27 (Великобритания).

Гидрология

## Венеция отгораживается от моря

Хотя погружение Венеции ниже уровня моря приостановилось (в значительной степени благодаря прекратившемуся выкачиванию подземных вод), город нуждается в защите от аномальных приливов и общего повышения уровня океана, вызванного глобальным потеплением.

В связи с этим местное гидрологическое управление

совместно с консорциумом строительных фирм разработало план, предусматривающий строительство на морском дне цепи гигантских прямоугольных стальных «канистр» — экспериментальных электромеханических модулей. Каждый из них, длиной 20 м, шириной 4 м и высотой 17 м, имеет массу 1300 т. В обычное время модули заполнены водой, но при критическом повышении уровня специальные мощные компрессоры быстро нагнетают в них воздух, они всплывают, образуя ограждение, отделяющее Венецианскую лагуну от моря.

Недавно завершились испытания участка такого ограждения в натуральную величину, а перед этим проводилось математическое моделирование такой системы на ЭВМ и проверка физической модели в уменьшенном масштабе. Все это позволило правильно выбрать форму «канистр» и место их расположения на дне. Учеными установлена необходимость сохранения доступа в порт и требования природоохранных организаций, озбоченных состоянием окружающей среды.

Окончательные испытания системы завершатся осенью 1989 г., после чего развернется строительство. Предполагается, что к 1995 г. Венеция будет полностью отгорожена от капризов морской стихии.

New Scientist. 1989. Vol. 122. № 1660. P. 29 (Великобритания).

География

## «Атлантида» XXI века

В юго-западной части Тихого океана, в Полинезии, лежит о-ва Тувалу — 9 низменных коралловых атоллов общей площадью около 30 км<sup>2</sup> (с 1978 г. они провозглашены независимым государством Тувалу). Однако в будущем существование этой страны, как сообщила группа английских ученых во главе с географом Дж. Льюисом (J. Lewis; Батский университет, графство Сомерсетшир), находится под угрозой.

Почти все эти атоллы возвышаются над уровнем моря

<sup>1</sup> Подробнее см.: Эль-Ниньо и засуха в Африке // Природа. 1988. № 3. С. 114—115; Метеорологическая катастрофа в Азии и Африке // Там же. № 10. С. 119.

не более чем на 2 м. Если прогноз, учитывающий последствия парникового эффекта, окажется верным, то как минимум на 2 м должен к концу XXI в. подняться уровень Мирового океана. В этом случае через каких-нибудь 100 лет Тувалу накроют волны. На его островах живет около 8500 человек. Многие из них, узнав о подобном предсказании, полагают, что им придется переселяться в Новую Зеландию и Австралию.

К потопам тувалийцам не привыкать. Чтобы избежать штормового нагона вод, они издавна строят дома на высоких сваях. Но от новой грозной опасности этим не уберечься. Не помогут и земляные валы или дамбы: у «крупнейшего» из островов — Фунафути (площадь 2,5 км<sup>2</sup>) протяженность изрезанной береговой линии превышает 54 км, так что никакого привозного грунта не хватит, да и разместить его негде. Кроме того, коралловые острова столь пористы, что основание дамб пришлось бы закапывать на непомерную глубину.

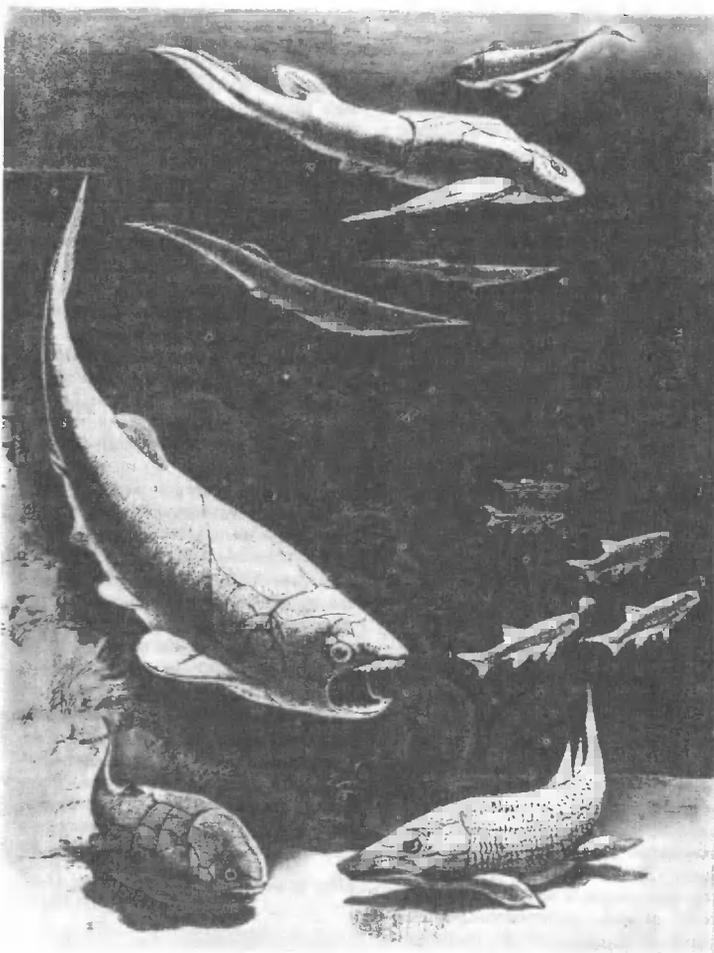
Ныне тувалийцы ощущают себя жителями Атлантиды нового времени и надеются лишь на то, что научный прогноз окажется ошибочным.

New Scientist. 1989. Vol. 121. № 1657.  
P. 22 (Великобритания).

#### Палеонтология

### Удивительные рыбы из Гого

Г. Тумбс (H. Toombs; Музей естественной истории в Лондоне) обнаружил в 1963 г. в музее г. Перт (Австралия) образцы ископаемых рыб, которые были собраны геологами в начале 40-х годов на северо-западе этой страны, близ фермы Гого. Тумбс известен в палеонтологии как новатор, разработавший методику выделения из карбонатных пород остатков ископаемых животных с помощью химического препарирования. Образцов музейные образцы, он предоставил для исследования палеонтологам отлично сохра-



Обитатели палеоавстралийского рифа Гого (реконструкция): на дне справа лежит двоякдышащая рыба; над ней плывут мелкие лучеперые — палеониски; крупные рыбы в левой части рисунка — хищные панцирные артродиры.

нившиеся объемные скелеты девонских рыб, которые выглядели так, будто животные погибли всего несколько дней назад. Целая серия экспедиций в район фермы Гого приносила все новые уникальные находки. А недавно Дж. Лонг (J. Long; Тасманийский университет, Хобарт, Австралия) подвел итог более чем 25-летним исследованиям.

Девонская фауна Гого позволила изучить недоступные

прежде черты строения позвоночных, важные для решения многих вопросов их эволюции, а также дала науке много ранее вообще неизвестных форм рыб, относящихся к панцирным плакодермам, лучеперым, двоякдышащим и кистеперым. Многие роды из найденных здесь — эндемичны. Очень своеобразно, например, выглядят трубкорылые *Tubonasus* и *Rolfosteus*. Такая их похужила на трубку структура служила, вероятно, для засасывания в ротовую полость донного детрита, которым они питались. К настоящему времени палеонтологи определили уже 34 новых вида рыб из Гого, и есть надежда, что это число будет возрастать.

New Scientist. 1988. Vol. 120.  
№ 1639. P. 40—44 (Великобритания).

## Археология

**Когда человек овладел огнем!**

По распространенному среди археологов мнению, огонь стал служить человеку сравнительно недавно (не более 500 тыс. лет назад): вероятно всего, когда *Homo erectus* (человек прямоходящий) или даже самые первые представители современного вида *H. sapiens* поселились в холодных областях Европы и Азии<sup>1</sup>. Когда находили обожженные кости возрастом 700 тыс. и даже 1 млн лет, обычно считали, что они подверглись действию естественного огня (молнии, лесного пожара), а не были сознательно обожжены в костре нашими предками, ибо рядом не оказывалось орудий труда. Но в конце 1988 г. южноафриканские археологи Б. Брейн (B. Brain; Трансваальский музей) и А. Селлен (A. Sellen; Кейптаунский университет) в уже хорошо известной археологам — по находкам древнейших каменных орудий и остатков скелета гоминид — Сварткранской пещере (провинция Трансвааль, ЮАР) обнаружили 270 обожженных костей в слое известняка возрастом 1—1,8 млн лет. Лабораторный анализ показал, что эти остатки нагревались до температуры свыше 400 °С и не испытывали воздействия какого-либо химического вещества, способного вызвать их почернение. Тот факт, что кости лежали в различных слоях, указывает на многократное разведение огня в одном и том же кострище в течение длительного периода (удары молнии к подобным последствием привести не могли).

Большая часть костных остатков принадлежала различным видам антилоп, по размерам сравнимым с современной гну; некоторые кости с уверенностью можно отнести к зебре, африканскому кабану — бородавочнику, бабуну, а также к одному из видов гоминид. И хотя пока не ясно, какой именно из этих видов разводил костры 1—

15 млн лет назад, ученые уверены, что это крупнейшее событие в истории человечества должно быть существенно отодвинуто в глубь времен.

Nature. 1988. Vol. 336. No 6198. P. 464—466, New Scientist. 1989. Vol. 121. No 1647. P. 35 (Великобритания).

## Археология

**Как угасала империя майя!**

Благодаря раскопкам археологов США в городах майя на п-ове Юкатан (Мексика) и на территории Белиза выяснилось, что старая гипотеза о полном упадке древнейшей («классической») цивилизации майя в данном регионе в IX—X вв. н. э. не соответствует действительности. Уже сейчас очевидно, что ряд городов майя в Белизе развивались и позже. Следовательно, в разных местах обширной территории, где была распространена культура майя, события протекали неодинаково: в то время как в джунглях Северной Гватемалы и на Юкатане многие города переживали глубокий кризис, некоторые их соседи вступили в пору расцвета.

Особенно интересны результаты пятилетних раскопок в районе Нохмуля (север Белиза) под руководством Н. Хаммонда (N. Hammond; Бостонский университет, штат Массачусетс, США). Здесь открыто несколько поселений, процветавших многие десятилетия как раз тогда, когда все известные столицы и крупные центры империи майя приходили в упадок. Исследователи установили, что обширное строительство в Нохмуле началось еще в первые века нашей эры. Среди сооружений выделяются акрополь, несколько пирамидальных храмов и широких площадок, построенных на специально насыпанных холмах с плоской вершиной. Около 400 г. «строительная лихорадка» в Нохмуле прервалась, численность населения сократилась, запустение охватило город. Но примерно в 800 г., когда первая стадия заката государства майя достигла его границ, Нохмуль стал возрождаться: среди прежних руин,

а то и прямо поверх них, возводились новые величественные сооружения. Город приобрел странные формы: одни дома стояли на земле, другие — порознь на невысоких возвышениях, а третьи — целыми группами на огромных платформах. Это свидетельствует, в частности, о большом расщеплении общества. А недавно археологи вскрыли здесь отлично сохранившуюся площадку для игры в мяч, относящуюся к поздней стадии существования этого поселения. Похожие «стадионы» ученые находили и в «классических» городах майя; некоторые из них принимали игроков и зрителей еще около 250 г.

Максимальное число жителей Нохмуля в эпоху его процветания археологи назвать пока не могут, но считают, что по тогдашним масштабам это был средней величины город с населением в несколько тысяч. Судя по гончарным изделиям, многие жители пришли сюда с севера Юкатана, привнеся свои навыки и обычаи. Внутри пирамид обнаружено несколько склепов, где захоронена знать. Склепы аккуратно перекрыты мощными известняковыми плитами. В одном из захоронений лежало около тысячи обсидиановых заготовок (нуклеусов), из которых древние умельцы делали различные орудия.

«Строительный бум» наблюдался в IX—X вв. и в других поселениях на севере Юкатана: очевидно, центр активности майя из городов на юге полуострова переместился сюда. Причина этого остается загадкой. Хаммонд придерживается идеи о перенаселенности империи, истощившей ее ресурсы и сделавшей управление неэффективным. Другие специалисты видят причину упадка в постоянных войнах. Военные поражения в конце концов могли подорвать веру майя в божественное происхождение и безграничное могущество своих правителей, на чем веками держалось государство.

В 1989—1990 гг. раскопки в Нохмуле продолжает археолог Тулейнского университета (Новый Орлеан, штат Луизиана, США).

Science News. 1988. Vol. 134. No 11. P. 165 (США).

<sup>1</sup> См. также: Когда к человеку пришел огонь? // Природа. 1983. No 11. С. 117.

# Драма идей и человеческие судьбы

© Г. С. Бисноватый-Коган,  
доктор физико-математических наук  
Москва

Я. Б. Зельдович написал около 20 книг, но в научно-популярном жанре — одну единственную. Это «Драма идей в познании природы». Она была сдана в набор за 15 дней до его смерти. Эта книга — о том, что Я. Б. Зельдович считал самым главным в физике, что больше всего его интересовало — о фундаментальных законах микро-и макрофизики и их взаимосвязи.

Работы Я. Б. Зельдовича охватывают практически всю современную физику. В гидродинамике, физике горения и взрыва, ядерной физике, физике элементарных частиц, релятивистской астрофизике и космологии он оставил свой неповторимый след.

Его эрудиция позволяла находить неожиданные аналогии, создавать, развивать и обобщать теории, часто перенося известные ему из других дисциплин результаты и методы на новые области физики. В Я. Б. Зельдовиче поражала способность обращать внимание на «простые» эффекты и явления, которые оказывались важнейшими для практики и научного познания. Достаточно назвать теорию цепной реакции деления урана, идею ультрахолодных нейтронов, эффект нарушения четности в атомных процессах.

Широко известные достижения астрофизики последних 25 лет также тесно связаны с именем Я. Б. Зельдовича. Целые области экспериментальной астрофизики и направления в теории рождены его работами: нейтринная астрофизика сверхновых, теория аккреции на нейтронные звезды и черные дыры, ставшая теоретическим фундаментом современной рентгеновской астрономии, и др.



Я. Б. Зельдович, М. Ю. Хлопов. ДРАМА ИДЕЙ В ПОЗНАНИИ ПРИРОДЫ. (ЧАСТИЦЫ, ПОЛЯ, ЗАРЯДЫ.) М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит. (Б-чка «Квант»; вып. 67), 1988. 240 с.

Любимой теорией Я. Б. Зельдовича была космология. Неоценим его вклад как в теорию, так и в популяризацию современной космологии. В науку прочно вошли такие названия, как «спектр первичных флуктуаций Зельдовича», «эффект Зельдовича — Сюняева» при искажении спектра фонового микроволнового излучения, «блины Зельдовича», которые появляются на нелинейных стадиях развития первичных возмущений, ведущих к образованию скоплений галактик. «Блинная деятельность» оказалась особенно плодотворной и продолжается до сих пор в мно-

гочисленных работах советских и зарубежных астрофизиков.

В 1966 г. появилась его работа (совместно с С. С. Герштейном), в которой впервые рассмотрена связь микрофизики и космологии. Эта работа открыла новые пути исследования Вселенной (с учетом гипотетических частиц, обладающих самими фантастическими свойствами) и теории элементарных частиц на основе сопоставления рассчитанных свойств Вселенной с наблюдательными: возрастом, степенью развития крупномасштабной структуры и т. д.

В дальнейшем Я. Б. Зельдович вместе со вторым автором рецензируемой книги М. Ю. Хлоповым выполнил очень важную работу, посвященную плотности магнитных монополей и оказавшую большое влияние на развитие «инфляционной» модели Вселенной. Десять лет спустя появилась эта книга. В ней дана картина современной теоретической физики и космологии в их развитии. Авторы показывают прогресс физики за последние 25 лет как непосредственное и естественное продолжение классической, квантовой физики и теории относительности.

Рецензируемую книгу можно, пожалуй, сравнить с «Эволюцией физики» А. Эйнштейна и Л. Инфельда. Даже в названии своей книги Я. Б. Зельдович и М. Ю. Хлопов использовали слова Эйнштейна — «драма идей», которыми он характеризовал замысел своей работы.

Цель Я. Б. Зельдовича и М. Ю. Хлопова, по их собственным словам, нарисовать драму идей в истории физики «крупными мазками» (с. 18). Примерно то же пытались сделать

Эйнштейн и Инфельд, которые ставили задачу «широкими мазками» обрисовать попытки человеческого разума найти связь между миром идей и миром явлений».

Я. Б. Зельдович и М. Ю. Хлопов рассчитывали прежде всего на заинтересованного читателя, которого тайны природы привлекают не меньше, чем тайны человеческих взаимоотношений. Основные идеи книги будут, вероятно, понятны людям со средним образованием, но более всего она подойдет лицам, изучавшим высшую математику и основы физики, т. е. инженерам, физикам всех направлений, химикам, геологам, а также студентам старших курсов соответствующих вузов.

В книге отчетливо проявляется индивидуальность каждого из авторов. М. Ю. Хлопов — один из наиболее активных ученых, занимающихся проблемами связи микро- и макрофизики. Его работы в этой области пользуются широкой известностью. Многие из них выполнены под влиянием и непосредственным руководством Я. Б. Зельдовича. Перу М. Ю. Хлопова принадлежит научно-популярная книга «Вселенная — гигантский ускоритель», которая в ряде мест пересекается с рецензируемой.

Стиль изложения, присущий М. Ю. Хлопову, наиболее заметен в главе 3, посвященной новым проблемам физики элементарных частиц. Эта глава написана сухе и конспективнее, чем остальные, более насыщена отдельными фактами, в ней меньше обобщений и обсуждений принципиальных вопросов.

Если книга будет переиздаться, М. Ю. Хлопову можно пожелать сделать ее однороднее по стилю и содержанию. Позволю себе высказать еще некоторые соображения.

Во введении подчеркнута стремление авторов рассмотреть развитие физики как целого, смену основных направлений и общих убеждений, не учитывая деятельности «отдельных провидцев». «Ушедший слишком далеко вперед, — пишут авторы, — часто отрывается от современной науки и практически не оказывает влия-

ния на современников и на общий, поступательный ход развития науки» (с. 18). С этим утверждением трудно согласиться. Плодотворные идеи не умирают. Даже если они входят в общественное сознание через много лет после рождения, их роль вряд ли стоит умалять. М. Планку наверняка была известна корпускулярная теория света И. Ньютона, а современное развитие космонавтики неотделимо от идей К. Э. Циолковского, не признанного его современниками. Отметим другое. Пренебрежение к новым идеям характеризует среду, в которой работает ученый. И если какая-то плодотворная идея оказывается недооцененной современниками, значительная доля вины за это лежит на его коллегах, работавших рядом.

Содержание книги можно разделить на три неравные части. Первые три главы посвящены развитию идей и представлений микрофизики, начиная с классической электродинамики, через квантовую физику, квантовую электродинамику вплоть до современного этапа ее развития, основанного на идеях симметрии, приведших к созданию хромодинамики. Главы эти неравноценны. В первых двух развернута волнующая картина научного творчества, отмечены основные ученые, внесшие важнейший вклад, приведены их высказывания, отражающие историю сомнения, ошибок и озарений. В живой и доступной манере здесь изложены основные физические идеи.

В третьей главе, как уже говорилось, полная драматизма история науки заменяется как бы накатанной колеей. Создается впечатление о плавном развитии теории от Э. Ферми и Ч. Янга к М. Гелл-Манну и Дж. Цвейгу и далее к С. Вайнбергу, Ш. Глешоу и А. Саламу. Последующее развитие хромодинамики вплоть до наших дней описано безымянно. Не упомянуты даже калибровочная теория Янга — Миллса, ставшая прообразом всех современных теорий поля. После Ц. Ву не назван ни один из экспериментаторов. Из советских ученых в тексте упомянут один «советский физик-теоретик Л. Д. Лан-

дау». Б. М. Понтекорво назван в связи со своими воспоминаниями об Э. Ферми. Больше повезло Л. Б. Окуню, к популярной книге которого часто отсылается читатель. Исследователи «вращения поляризации света в парах висмута» из Новосибирска остались анонимными. В то же время целый параграф посвящен «зеркальному миру» — практически непроверяемому неоднозначному следствию некоторых вариантов теории, далекому от «основного направления».

Вторая часть книги состоит из четвертой главы «Гравитация». Изложение физических вопросов очень насыщено, несмотря на краткость. Здесь удалось рассказать о большинстве важнейших результатов и идей современной космологии: барионной асимметрии Вселенной, инфляционной стадии расширения, роли вакуума и даже наметить пути развития теории «всего на свете», включающей гравитацию.

Третья часть, представляющая собой математическое дополнение, содержит сведения, «дающие возможность понимать основной текст тем, кто кончал среднюю школу до ее реформы» (с. 179). Речь идет о понимании первой главы. На самом деле изложенные в дополнении сведения помогут многое освежить в памяти, но вряд ли доступны тем, кто встречается с ними впервые.

Можно спорить, нужно ли в принципе математическое дополнение, помогающее чтению лишь первой главы. И что лучше — добавить сведения, облегчающие восприятие остальных глав, или подробнее изложить материал третьей и частично четвертой глав, приблизив их к уровню первых двух. Последнее, думается, предпочтительнее.

Книгу с интересом прочтут многие. Для людей, знавших Я. Б. Зельдовича и работавших с ним, она особенно ценна тем, что с ее страниц временами слышен его живой голос, который так много нам недосказал.

**Биология**

**Н. В. Парин.** РЫБЫ ОТКРЫТОГО ОКЕАНА / Отв. ред. А. П. Андрияшев. М.: Наука, сер. «Человек и окружающая среда», 1988. 272 с. Ц. 75 к.

Автор книги — сотрудник Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР, участник 18 океанографических экспедиций, более 30 лет назад начал изучать рыб, обитающих в открытом океане и исследованных гораздо хуже, чем рыбы прибрежных зон.

«В целом считаю книгу большой удачей автора, — пишет в предисловии член-корреспондент АН СССР А. П. Андрияшев. — Она будет полезна не только для получения специальных ихтиологических знаний, но и для расширения исследовательского горизонта и повышения океанографической культуры многих морских биологов самого разного профиля...»

Автор рассматривает основные направления эволюции океанических рыб, показывает их систематическое и экологическое разнообразие. Читателя ждет знакомство с обитателями приповерхностных вод, например такими, как летучие рыбы, которых насчитывается более 60 видов, и родственное им семейство макрелешуковых, реагирующих на источник искусственного освещения, а также с обитателями глубин — светящимися анчоусами, рыбами с телескопическими глазами, и многими другими. Одна из глав посвящена донным, придонным и придонно-пелагическим рыбам, к которым относятся акулы, скаты, европейская химера и др.

Текст, насыщенный научными данными, перемежается отступлениями (они выделены петитом), в которых автор рассказывает эпизоды из экспедиционной работы. Книга снабжена огромным количеством рисунков и таблиц, в которых приводится полный перечень видов, семейств, родов, показаны ареалы, пути миграции, сообщаются данные о питании, размножении и т. д.

**Геология**

**А. П. Горбунов.** КАМЕННЫЕ ЛЕДНИКИ. Новосибирск: Наука, сер. «Человек и окружающая среда», 1988. 111 с. Ц. 25 к.

Каменные ледники (глетчеры) широко распространены во многих горных системах, но изучены они плохо. Объясняется это тем, что они труднодоступны и трудноузнаваемы. Глетчеры своим видом очень напоминают конечные морены ледников, обвальные массивы и осыпи, но их отличает чрезвычайно опасное свойство — подвижность.

В восьми небольших главах автор знакомит читателя со строением каменных ледников, их зарождением и эволюцией, рассматривает влияние глетчеров на природу горных областей. В процессе своего движения они способны «выедать» альпийские луга, рождают подпрудные озера, оттеснять горные реки. Особенно большую опасность представляют «рукотворные» глетчеры — те, что вырастают из отвалов горных выработок в зоне вечной мерзлоты.

Исследование каменных ледников научит своевременно распознавать эту опасность. Кроме того, глетчеры способны расказать специалисту о недавнем геологическом прошлом той или иной горной страны. А значит, подчеркивает автор, каменные ледники открывают возможность для прогнозов развития природной среды, столь необходимых для рационального хозяйствования в горах.

**История науки**

**Е. М. Крепс.** О ПРОЖИТОМ И ПЕРЕЖИТОМ / Отв. ред. и авт. предисл. С. Р. Микулинский. М.: Наука, сер. «Ученые СССР. Очерки. Воспоминания. Материалы», 1989. 200 с. Ц. 2 р. 10 к.

Эту книгу Евгений Михайлович Крепс (1899—1985) написал за несколько лет до кончины, но опубликованными ему удалось увидеть лишь отдельные

главы в журнале «Вопросы истории естествознания и техники» (1983, 1984).

Академик, известный ученый, он получил выдающиеся результаты в области эволюционной и сравнительной физиологии и биохимии нервной системы, физиологии высшей нервной деятельности; положил начало в нашей стране исследованиям морских беспозвоночных и общей физиологии морских организмов; выполнил фундаментальные работы по проблемам кругооборота веществ в мире, эволюции энергетических процессов в мышечной ткани, по изучению липидов мозга; занимался и физиологией труда водрозлазов. Но прежде он был учеником И. П. Павлова, затем одним из ближайших сотрудников Л. А. Орбели. Позднее стал директором Института эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова АН СССР, Героем Социалистического Труда.

Воспоминания Е. М. Крепса о своем долгом жизненном пути представляют не только историко-научный интерес. Это рассказ о драматических поворотах судеб, о многообразии человеческих характеров. Евгений Михайлович рассказал, как он пришел в науку, как формировалось его мировоззрение, что стимулировало его исследования и определяло их направление, что обеспечивало успех. «И это, — по словам известного историка науки С. Р. Микулинского, — быть может, самое ценное. Сами работы можно прочесть. Можно узнать о них из обзоров. Для этого не нужны воспоминания. Но то, что несут в себе они, больше нигде не найти».

# Нильс Бор в ФИАНе

Член-корреспондент АН СССР

© Е. Л. Фейнберг

Москва

**В** МАЕ 1961 г., за 16 месяцев до своей смерти, Нильс Бор совершил двухнедельную поездку в СССР. В Москве он дважды посетил Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР — ФИАН, и мне посчастливилось каждый раз подолгу видеть его вблизи. Я видел Бора и в прежние его приезды в Москву, в 1934 и 1938 гг., но тогда я наблюдал его из глубины переполненных залов. Впечатление, произведенное на этот раз, было столь сильным, что я сделал то, чего не делал никогда и что нужно делать в подобных случаях всегда: вечером, после бесед, я записывал то, что мне казалось самым интересным. Эти записи пролежали в столе до празднования столетия Бора в 1985 г. и были оглашены на посвященном ему симпозиуме<sup>1</sup>.

В настоящей публикации почти полностью опущена первая часть записей, которая относится к тем дням, когда я видел его в Дубне и на вечере в Институте П. Л. Капицы.

При подготовке текста к печати я постарался проверить места, показавшиеся мне сомнительными, у близких к Бору людей (нужно учесть, что в произношении Бора английские слова часто были очень неразборчивы) и устранить некоторые неточности.

12.05.1961.

Три дня подряд — 10, 11 и 12 мая — я видел Бора. (...)

10-го я был в Дубне на совещании по слабым взаимодействиям, когда для осмотра Дубны прибыл Бор с сыном Оге. Он вошел в зал, как всегда

сутулясь, и остановился на возвышении, спокойно пережидая аплодисменты подымавшейся со своих мест аудитории. Щелкали фотоаппараты, счастливо улыбаясь смотрели все, вплоть до пожилых интриганов, а он стоял и ждал. Его густые рыжевато-бесцветные брови свисают с наружных краев глаз так, что, если смотреть сбоку, они закрывают половину глаза, как шторы. Его огромный лоб, спокойно опирающийся на ровную сильную горизонтальную надбровную линию, затемняет глаза. Крупный нос, в меру мясистые, не дряблые щеки, редкие зачесанные назад седые волосы создают образ, в котором смешаны старый, потрудившийся рыбак и пастор<sup>2</sup>. Но вдруг он улыбается, выставляя крупные, старчески потемневшие челюсти, и к глазам снизу поднимаются порозовевшие подушечки, и глаза радостно сияют, и вокруг губ складывается смущение. Он улыбается всем своим тяжелым лицом и быстро снова переходит к сосредоточенному, слегка сумрачному спокойствию. (...)

Наконец, сегодня Бор был в ФИАНе.

Он приехал один и всходил по освещенным солнцем широким ступеням подъезда в коротком летнем пальто и в синей велюровой шляпе с низко примятой тульей, сильно наклоняясь вперед, как его мог бы изобразить Жан Габен. Его ввели в кабинет директора Д. В. Скобельцина, где принимал его Игорь Евгеньевич Тамм и было еще несколько человек: В. Л. Гинзбург, И. М. Франк, Н. А. Добротин, А. М. Прохоров (Бор не мог разобрать, что такое *maser*, когда И. Е. представлял Прохорова), И. Д.

Рожанский<sup>3</sup> и я. Сев на старинный, обитый коричневой кожей диван, Бор вынул две трубки, кожаный кисет (в виде бумажника) и огромный коробок спичек и сразу начал непрерывную работу с ними. Начались неловкие разговоры, пошли вопросы.

На мой вопрос, видит ли он хоть какие-нибудь новые доводы, по сравнению с обычными, у Бора (Тамм добавил: де Бройля, Вишье и др.<sup>4</sup>), Бор улыбнулся всей мощью своей огромной улыбки, выставив вперед киль верхней челюсти. Морщинки, расходясь от углов глаз, покрыли щеки, голубые глаза засияли доброй усмешкой бога, который знает, и ответил: «О, нет... ни малейшего нового аргумента! И вообще, — проговорил он, — теперь уже невозможно движение назад. Квантовая механика положила начало новому этапу, как и теория относительности, и возвратиться назад невозможно». Гинзбург спросил его, что он думает о новой теории<sup>5</sup>. Но Бор ответил вяло. Говоря, он не всегда сразу «разогревается».

Потом Бор пошел в конференц-зал, который был набит

<sup>3</sup> И. Д. Рожанский — физик, специалист по истории науки и антик — сопровождал Бора в поездке по СССР. См. его воспоминания об этом: Рожанский И. Д. // Вопросы истории естествознания и техники. 1987. Вып. 1. С. 129—136.

<sup>4</sup> Американский (потом английский) физик-теоретик Д. Бом и французские теоретики Л. де Бройль (один из создателей волновой теории материи) и его сотрудник А. Вишье много лет пытались создать теорию, которая избавила бы квантовую механику от таких непонятных, с точки зрения классической физики, принципиально важных явлений, как редукция пакета и т. д.

<sup>5</sup> Имелись в виду многочисленные попытки создания новой квантовой теории частиц и полей, начавшиеся в середине 50-х годов.

<sup>1</sup> См.: Нильс Бор и наука XX века. Сборник докладов, представленных на симпозиуме по случаю столетия со дня рождения Нильса Бора; Пушину, 5—7 октября 1985 г. Киев, 1988.

<sup>2</sup> Любопытно, что Д. С. Данин в своей книге «Нильс Бор» (М., 1979), ничего, конечно, не зная об этой моей записи, тоже говорит, что в облике Бора смешивались пастор и рыбак.

битком — человек 700. Были и философы — пришли, видимо, смотреть идеалиста<sup>6</sup>.

После обычных неполадок с микрофоном Бор начал свою лекцию. И. Е. Тамм переводил — блестяще. Поразительно, как и сам Бор, и И. Е. могут выносить такое напряжение. В зале было душно, особенно при зашторенных окнах, хотя все три двери в дальней стене напротив эстрады были раскрыты. Было видно, что народ стоит и там, и в фойе.

Бор говорил все о том же, почти то же самое, что в 1934 г. в Большой физической аудитории старого здания физфака, когда тоже переводил И. Е. Он — по-прежнему в той же эпохе парадоксов и споров с Эйнштейном, но каждый раз, когда он раскрывает сущность парадокса, объясняет, почему Эйнштейн был неправ, его лицо снова все освещается в радостной и немного торжествующей улыбке осознания. Излагая первый парадокс — с двумя целями — и говоря о предложении Эйнштейна определить, через какую цель прошел электрон, Бор серьезно и даже с оттенком тревоги добавляет: «Это был очень страшный момент. Ведь если бы предположение Эйнштейна оказалось правильным, это означало бы крушение всей создававшейся стройной системы». При этом он смотрит несколько вверх, закатив глаза, видны белки его больших глаз, и крупный, не загнутый вниз нос вызывающе задран.

И после того, излагая другие парадоксы (например, с часами в подвешенной на пружинах кабине, отмечающими момент выхода фотона одновременно со взвешиванием), он добавляет: «Это был драматический момент». И в третьем случае — в 1927 г.: «Это был тяжелый вопрос. Видно было, в каких умственных и душевных муках рождалось его понимание квантовой природы мира. Он сказал: «без квантовых законов

не было бы окружающего нас мира». «Говорят о какой-то копенгагенской трактовке квантовой механики. Но никакой такой трактовки нет. Есть квантовая механика, которая является трактовкой экспериментальных сведений». «В атомных явлениях нельзя отвлечься от воздействия измерительного прибора. От учета этого наша информация становится богаче». Говорил о принципе дополнительности, обусловленном воздействием измерения, которого нет в классической физике. «Квантовая механика есть простейшая из наук, в которой это воздействие проявляется. Известно, например, как сильно оно проявляется в психологии». «Квантовая механика отвечает на вопрос о результатах эксперимента. Это вполне объективное заключение, не зависящее от субъекта».

Конечно, он не сказал ничего нового. Это было обаятельное и трогательное зрелище. Понимать его почти невозможно, хотя, читая лекцию, он произносил английские слова гораздо тверже и яснее, чем в частном разговоре.

После лекции перешли в кабинет Скобельцына, где уселись парами по четырем сторонам небольшого (ломберного) столика, накрытого на 8 человек. Мне — благодаря подтолкнувшему меня Добротину — досталось место рядом с Бором (вернее, за тем же углом стола, за которым сидел Бор, так что я все время мог рассматривать его сбоку очень близко).

Бор вынул обе трубки — черные, прокуренные, — спички, и его руки пришли в непрерывное движение. К столь же непрерывной несуетливой работе приступил и язык. Спичками он чиркал все время — а трубка горела очень редко. Слова, которые он произносил, разобрать мне удавалось не всегда. Его способность говорить меня поразила. После двухчасовой лекции, когда он отдыхал только пока переводил И. Е., он еще два часа говорил за столом и перестал только тогда, когда Рожанский настойчиво напомнил, что до отлета в Тбилиси осталось еще три с половиной часа.

В произношении Бора «титич» значит «physics», «сюзисн» означает «superposition». У него



отнюдь не старческие, не тонкие и не толстые пальцы. Узловатости суставов нет. На правой руке узкое золотое кольцо. Старческие изменения на коже по существу заметны только в какой-то припухлости под левым глазом. Он говорит и чиркает спичками неторопливо, но почему-то вставить слово оказывается невозможным. Он обращается главным образом к И. Е. и часто — к сидевшему напротив него Гинзбургу, который, видимо, ему понравился.

В обсуждении научных тем удивительно отсутствие у него масштабов в оценке того, что должно быть широко понятно и что — трудно. На вопрос, считает ли он необходимым введение элементарной длины, он ответил весьма утвердительно и в пояснение стал подробно разъяснять доводы, которые и без того понятны, вроде того что из  $h$  и  $c$  нельзя построить новой величины размерности длины, что на малых расстояниях проявляется образование пар, понятия пространства и времени должны измениться и т. п.

Когда Гинзбург спросил его о споре с Дж. Дж. Томсоном, то он сказал, что это слишком кратко и упрощенно сформулировано, что Дж. Дж. был гениальным человеком, который первый заговорил об электромаг-

<sup>6</sup> Прошу извинить меня за то, что я здесь дал выход накопившемуся раздражению против наших философско-вульгаризаторов, осуждавших Бора за «буржуазный идеализм». На самом деле после 1953 г. положение в философии, хотя и постепенно, сильно менялось к лучшему.



В кабинете директора ФИАНа 17 мая 1961 г. Слева направо: Н. Бор, И. Е. Тамм (спиной к фотоаппарату), И. Д. Рожанский, Е. Л. Фейнберг, Н. А. Добротин, В. Л. Гинзбург, И. М. Франк.

Фото Л. В. Сухова.

нитной массе электрона. Но Дж. Дж. написал статью, которая была полностью ошибочной, в частности содержала утверждение о диамагнетизме свободных электронов. Здесь Бор начал объяснять, почему в классической физике свободные электроны не могут давать диамагнетизм. Объяснял, пока Гинзбург, не выдержав, не сказал, что мы все хорошо знаем эти его соображения. Видимо, Бор не понимает, что его доводы 1911 г. всею известны. «После этого,— добавил Бор,— поддерживать прежние отношения с Дж. Дж. оказалось трудным»<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> В письме ко мне в 1972 г. многолетний близкий сотрудник Бора Леон Розенфельд (1904—1974), которого я просил подтвердить правильность моей записи, написал, что у меня чрезмерно подчеркнут этот эпизод. Розенфельд пишет (перевожу с английского): «Это верно, что Бор не нашел общего языка с Дж. Дж. Томсоном, но вопрос о диамагнетизме металлов не играл здесь главной роли: все было результатом неудачного наложения застенчивости Бора, его неумения выражаться по-английски и томсоновского "островного" мышления ("иностранец", плохо говорящий по-английски, не может быть очень

Бор писал на бумаге этой самой моей ручкой, которой я сейчас пишу. Кружки и стрелки были корявыми, линии дрожащими, и смотреть на это было больно. Но когда его попросили расписаться на обороте фотографий, только что снятых, то он медленно написал четким школьным почерком: «Niels Bohr» (пожалуй, даже ровнее) —

хорош). В действительности Бор, когда работал над своей диссертацией, изучал томсоновские работы очень тщательно и обнаружил в них несколько серьезных ошибок. Он наивно думал, что Томсон будет доволен, если ему укажут на эти ошибки. Поэтому, увидав его впервые, он раскрыл том на одной из страниц томсоновской статьи, содержащей подобную ошибку, и, кивнув пальцем в формулу, сказал с милой улыбкой все, что был способен сказать: "Это неправильно". Он растерялся, увидев, что Томсон вовсе не обрадовался, а, наоборот, стал убегать от Бора, когда видел, что тот приближается к нему с раскрытой книгой в руках. Это разочарование тем не менее не повлияло на восхищение, с которым Бор относился к Томсону. Он лишь сделал вывод, что нужно лучше изучать английский. Это он и осуществил, читая "Записки Пиквикского клуба" и отыскивая каждое слово в словаре».

как и всегда пишут «еще бодрые старики». Он расписался и на подсунутой Гинзбургом бумажке, Гинзбург забрал бумажку себе (я отказался от его благородного предложения разделить листок со мной, разорвав его пополам).

Снова заговорили об Эйнштейне, о том, почему он работал в одиночестве. Бор сказал: «Эйнштейн был не только гений, он был еще и прекрасный, очень добрый человек. Его улыбка и сейчас стоит передо мной. Но он привык все делать сам и делать прекрасно. Это постепенно выработало в нем веру в свою непогрешимость. Он стал даже говорить языком декретов. Это постепенно выработало в нем веру в свою непогрешимость. Он стал даже говорить языком декретов. Это стало возможным, что на вопрос журналиста о квантовой механике он ответил: "Это нелепость". А ведь он не знал квантовой механики. Для ее понимания необходимы были совместные обсуждения. Это ему было недоступно».

Я спросил, как Резерфорд отреагировал на старую квантовую модель атома. Бор ответил: «Он не сказал, что это глупо. Но он не мог примириться с тем, что электрон, начиная переход, знает, на какую именно орбиту он перейдет. Я ему го-

ворил, что это совершенно так же, как с branching ratio<sup>8</sup> при радиоактивном распаде. Но это его не убеждало».

Гинзбург спросил, что он думает насчет утверждения В. А. Фока, будто после их бесед Бор несколько изменил свои точки зрения. Бор ответил: «Фок очень милый человек. Когда я его впервые увидел, я подумал, что он похож на Пьера Безухова<sup>9</sup>. Мы были очень рады, что он приезжал в Копенгаген. Но я своих мнений ни в чем не менял. С 1934 г. я не изменил ни одного слова. Просто Фок думал, что наши точки зрения неправильны. Но он приехал, понял их и понял, что они правильны».

Мне захотелось защитить Фока, и я сказал: «Вы должны знать, что Фок доблестно защищал квантовую механику в трудные времена, когда невежественные философы нападали на нее». Бор улыбнулся и сказал: «Философы сами по себе очень хорошие люди. Но к ним относятся с состраданием не только в вашей стране, но и всюду — в Америке, в Дании. В Дании говорят, что философ — несчастный человек, он никогда ничего не узнает».

Бор с удовольствием рассказывает анекдоты. О Дираке, конечно, о его неразговорчивости. О том, как он читал лекцию в Америке, и когда в ответ на предложение задавать вопросы, слушатель сказал: «Я не понимаю такое-то место», — Дирак произнес: «Это не вопрос, это утверждение». В связи с молчаливостью Дирака вспомнил анекдот об англичанине, который подарил молчащего попугая (Бор сказал по-русски: «попогай») и на жалобу нового владельца ответил: «Простите, я спутал, у меня их было два; я думал, что подарил говорящего, а оказалось, что подарил думающего». О том, как после лекции Бора в Америке вперед вышел студент и спросил: «Неуже-

ли действительно были такие ослы, которые думали, что электрон движется по орбите?»<sup>10</sup>.

В конце концов Бор подчинился распоряжку — так же с готовностью, как подчинялся всегда, и уехал. Подошел к Гинзбургу перед отъездом и сказал ему что-то, что тот не понял. Улыбаясь распрощался, на его лицо опять нашла тень не то озбоченности, не то старческой сосредоточенности, и он, осторожно ступая, пошел вниз по лестнице.

17.05.

Бор возвратился из трехдневной поездки в Тбилиси и снова был у нас в Институте. Снова в течение почти трех часов я его наблюдал.

Перед этим Бор был в Университете, где ему вручали почетный диплом, и оттуда к трем часам дня он приехал — вместе с сыном Оге и Рожанским — в ФИАН. Мы его ждали. Скобельцын, вернувшийся из Румынии, тоже был.

Бор, по моим представлениям, должен был быть безумно усталым. Может быть, поэтому, мне показалось, что он больше сутулится, более пристально вглядывается, куда поставить ногу, чем в прежние разы. Однако он выдержал весь визит (без ленчал), обход нескольких лабораторий, после этого — беседу в кабинете Скобельцына, и снова с трудом удалось превратить разговор. А вечером у него еще встреча с писателями. Послезавтра в 6 часов утра он улетает, чтобы в тот же день вечером председательствовать на заседании в датской Академии наук<sup>11</sup>.

После краткой беседы в кабинете (Д. В., сидя визави, рассказывал о структуре ФИАН, мы с Гинзбургом и И. Е. беседовали с Оге<sup>12</sup>, Бор же хмуро кивал головой в ответ на слова Д. В.), пошли осматривать неко-

торые лаборатории. Бору показали автоматическую установку для просмотра фотоэмульсионных трэков, синхротрон В. А. Петухова на 700 МэВ, лазер Н. Г. Басова, установку для ориентирования ядер А. М. Прохорова. Бор предпочел осматривать установки, а не разговаривать с теоретиками.

По поручению И. Е. я сопровождал Бора. Мы долго ходили по лестницам, по двору. Он терпеливо все выносил. Вопросы он не задает, и кажется, что он только делал вид, будто понимает. Но когда один сотрудник, при всей развязности поведения (он чуть не толкал Бора и по своей обычной манере часто подхохотывал), не смог объяснить, в чем физика изучаемого им процесса, а я, руководствуясь его сбивчивыми замечаниями, неудачно пытался дать объяснение (хотя сам еще не понял), то сидевший на стуле Бор поднял на него глаза, удивленно посмотрел, потом так же на меня, и попросил печатный материал. Но и его не было.

Бор ходил по институтскому двору довольно быстро, чуть-чуть кланяясь при каждом шаге, сильно сутулясь, руки свободно размахиваются, полузагнутые ладони вывернуты назад — в позе старого высокого человека, какая была у А. Ф. Иоффе, в общем, в позе орангутана. (Кто-то сказал про Бора: «гениальный неандерталец».) Каждая лестница — небольшая проблема. Я переводил ему объяснения Петухова — ему интересно. Над планом поисков магнитного монополя вместе подшучивали. Он слушал, снова сидя на стуле, поднимая к нам, стоявшим, внимательно лицо, с готовностью расплывающееся во всеобъемлющей улыбке. Непосредственность перехода от полной серьезности к полной и радостной оживленности всего тяжелого лица — какая-то детская.

Он ходил покорно и только время от времени вынимал из кармана кисет, трубку и спички, хотя закурить не было времени,

<sup>8</sup> Отношение вероятностей двух разных возможных типов распада одного и того же возбужденного (радиоактивного) ядра.

<sup>9</sup> Действительно, Фок был высокого роста, с полным бледноватым лицом, носил очки с круглыми стеклами, говорил раздучливо и т. п. — таким мы все представляем себе Пьера Безухова.

<sup>10</sup> Это относится к так называемой «старой» боровской модели атома (1913). В более последовательной квантовомеханической теории атома орбит не существует.

<sup>11</sup> Рожанский сказал мне, что в Тбилиси, на каком-то банкете, Бор в его присутствии один выпил целую бутылку «Хванчкары». (Прим. 1961 г.)

<sup>12</sup> Оге хорошо говорил по-русски. К моему удивлению, он меня узнал (не виделся после его визита в 1956 г.). Подошел и спросил: «Ну, што новенького?» (Прим. 1961 г.)

и он это знал. Просто ему нужно было за них подержаться, это его талисман.

Все облегченно вздохнули, когда вернулись в кабинет Д. В. (его уже не было), и расцелись на креслах и диване. Я снова оказался против Бора. Нужно было ждать Оге, пошедшего в лабораторию И. М. Франка, и И. Е. воспользовался этим, чтобы пригласить наших молодых теоретиков. Их представили, каждого, и каждому Бор пожимал, сидя, руку. Когда И. Е. заговорил о работе Отдела<sup>13</sup> (было сказано несколько слов), я напомнил Бору, что до войны М. А. Марков писал ему и получил подробный ответ об ограничениях, налагаемых на измеримость поля ограниченностью существующих зарядов ( $Z < 137$ ). Бор, видимо из вежливости, напряженно старался припомнить и делал вид, что какие-то воспоминания это в нем будит. Но когда я сказал, в чем дело, он мгновенно переменялся: столь же тихо и медленно, как он говорил до сих пор, но сразу в деловой манере он сказал: «Абсолютного ограничения измеримости здесь быть не может». Мобилизация была мгновенной. Я уклонился от обсуждения (я сам плохо помнил эту работу отсутствовавшего Маркова, да и цель моя была только напомнить Бору его имя)<sup>14</sup>.

После этого молодые люди стали задавать вопросы, и Бор с удовольствием пустился в воспоминания, орудия трубками, спичками и улыбкой. Он часто поворачивался ко мне, и я снова разглядывал его в упор. Глаза снова были голубые, но голубизна была тусклая. Видимо, он очень устал.

Первое воспоминание касалось растворенной в кислоте нобелевской медали. Оказывается, все было очень конкретно, эта романтическая история имела сугубо рациональные основания. От этого она кажется еще лучше. Во-первых, речь шла о медали не Бора, а Лауэ<sup>15</sup>. Ког-

да нацисты стали отбирать золото, Лауэ переслал Бору на сохранение свои нобелевскую и планковскую медали. Но когда нацисты пришли в Данию, возникла опасность, что они найдут медали и, поскольку на них было имя Лауэ, тот может пострадать. Химик Д. Хевеши придумал растворить их в царской водке, что и сделали. Планковская медаль, сделанная в Германии, оказалась, содержала много всякой дряни и растворилась плохо. Но раствор нобелевской долго стоял в бутылки. После войны золото выделили, послали в Нобелевский комитет в Стокгольме и там заново изготовили медаль (о Лауэ говорит с симпатией в тоне).

Второй рассказ — о бегстве из Дании.

«У нас было тяжелое время. Конечно, не такое тяжелое, как у вас. Мы узнали, что нацисты занесли меня и моего брата (математик Харальд) под номером один в свой список врагов (хотя я не еврей, только моя мать была еврейкой). Нужно было бежать». (Следует трудно понятный рассказ об условиях секретности, из-за которых что-то вышло не так с лодкой.) Все они погрузились (с семьями) и через два с половиной часа, проскочив немецкие патрули, прибыли в Швецию<sup>16</sup>. Немцы были очень обозлены и организовали впоследствии преследование. За Бором англичане прислали самолет «Москито», где места только для двух летчиков (это были норвежцы). Бора посадили в бомбовый люк, дали парашют, научили, как надувать лодку при посадке в воду. Ничего этого он не умел и, насколько я понял, вообще летел на самолете впервые. На него натянули шлем с телефонами для сообщения с пилотом (тот должен был предупредить, когда будет его выбирать в случае нападения немцев), но шлем оказался мал, его натягивали с двух сторон с трудом, и телефоны не сра-

ботали. Поэтому он не узнал, что нужно воспользоваться кислородным прибором, и в Англию его вынули из самолета без сознания. «Это страшно», — сказал И. Е. «Нет, страшнее было потом», — продолжил Бор. Оге в качестве личного секретаря Бора должен был прилететь следующим таким же самолетом (жена и трое сыновей остались в Швеции), но Бор узнал, что немцы сбили этот самолет. Оказалось, однако, что в последнюю минуту англичане высадили Оге и повели английского военного, ехавшего из России. Оге прилетел третьим самолетом.

Во время войны Бор и Оге трижды<sup>17</sup> ездили из США в Англию — в одну сторону пароходом, в другую — самолетом. Миссия Бора состояла в поддержании согласия между союзниками (?)<sup>18</sup>.

Третий рассказ — столь же свободный ответ, с готовностью, на вопрос, показавшийся мне беззастенчивым: правильно ли Юнг описал поведение Гейзенберга<sup>19</sup>. Бор даже оживился: «Гейзенберг очень честный человек. Но поразительно, как человек способен забывать свои взгляды, если он их поистине не изменял. В рассказе Юнга нет ни слова правды» (это часто употребляемое Бором выражение, которое, види-

<sup>17</sup> Сомневаюсь в точности этой записи.

<sup>18</sup> Я тогда не понял, в чем дело. На самом деле, речь идет о том, как Бор пытался убедить Рузвельта и Черчилля сообщить о работах по атомной бомбе советскому правительству. Но из этого ничего не вышло. Опытные политики играли Бором как мячиком, перебрасывая его друг другу.

<sup>19</sup> Имеется в виду известная книга К. Юнга «Ярче тысячи солнц», в которой рассказывается, что Гейзенберг приезжал осенью 1941 г. в Копенгаген, чтобы сообщить, что Германия не сумеет создать атомную бомбу и нужно побудить английских и американских физиков не создавать ее. Но он не мог говорить прямо, а его осторожная речь только напугала Бора, тот перестал его понимать после первых слов о бомбе, и из разговора ничего не получилось. Эта же версия излагается и в других книгах. Недавно я написал об этом более подробно. См.: Фейнберг Е. // Знамя. 1989. № 3. С. 124—144.

<sup>13</sup> Тамм возглавлял Теоретический отдел ФИАНе.

<sup>14</sup> Оказалось, я рассказывал Бору не о той работе Маркова, о которой речь шла в их переписке. См.: Марков М. А. // Вопр. истории естествознания и техники. 1968. Вып. 3. С. 146—149.

<sup>15</sup> М. фон Лауэ (1879—1960) — физик-теоретик, оставшийся в гитлеровской Германии; вел себя очень благородно, спасал людей и снискал особое уважение физиков.

<sup>16</sup> Почти все 20 000 датских евреев, которым, как узнали, грозила депортация в концлагерь, в течение нескольких дней были вывезены датским Сопротивлением в Швецию.

мо, не следует понимать буквально). «Гейзенберг приехал осенью 41-го года, когда Гитлер завоевал Францию и быстро продвигался в России. Гейзенберг уговаривал, что победа Гитлера неизбежна, глупо в ней сомневаться. Нацисты не уважают науку и поэтому плохо относятся к ученым. Нужно объединиться и помогать Гитлеру, и тогда, когда он победит, отношение к ученым изменится. Нужно сотрудничать с созданными нацистами институтами».

Бор раскуривает трубку и, не выпуская ее изо рта, попыхая, смотрит на меня удивленно. Его лицо сильно от всего этого вытянуто, свисающие по бокам глаз брови не скрывают огромные, чуть желтоватые белки и голубые зрачки. Он очень удивлен даже сейчас. «Он считал, что победа Гитлера неизбежна! Я не мог сказать ему прямо "нет"<sup>20</sup>. Я сказал, что не могу решать такой вопрос единолично, необходимо посоветоваться с сотрудниками». (Значит, Бор ему не доверял, Юнг прав, что они друг перед другом скрытничали.) «Из того, что Гейзенберг говорил, мы пришли к выводу, что у Гитлера будет атомное оружие<sup>21</sup>. Иначе почему же

победа неизбежна? Я ведь уже до войны знал, что атомное оружие возможно, и опубликовал заметку о том, что оно скорее возможно с  $^{235}\text{U}$ , чем с  $^{238}\text{U}$ » (и снова Бор начинает объяснять элементарные вещи — почему 235, а не 238). «Но тогда Лоуренсу с электромагнитным методом разделения изотопов потребовалось бы, чтобы все электростанции Америки работали на него много лет». (Здесь беру грех на душу — сомневаюсь в его столь детальном понимании в 1939 г. Ведь он не знал, сколько нейтронов выделяется на акт деления, и потому вряд ли мог подчитать критическую массу.)

«Но потом ни Гейзенберг, ни приезжавший с ним Вейцекер уже не поднимали этого вопроса<sup>22</sup> (то ли поняли, что я возмущен, то ли повлияли первые поражения в России, под Москвой). Постепенно их взгляды менялись. Я написал об этом Юнгу, но это не подошло. Удивительно, как люди забывают свои слова, если их взгляды меняются постепенно». Здесь Гинзбург вставил: «Люди склонны забывать те свои взгля-

ды, которые хотели бы забыть». Бор в этот момент раскуривал трубку, но понимание засветилось в его полуулыбке.

Начали вставать и раскуриваться. Я подошел к Оге, который появился незадолго перед этим, и спросил его: «Считаете ли вы, что с Гейзенбергом нельзя поддерживать отношения?» Он отрицал это, ссылаясь на доброе отношение Гейзенберга к отцу. Говорил, что Гейзенберг хотя и националист, «но не любит нацистов и антисемитизм», и т. п. Но когда я сказал, что книга Юнга принесла у нас больше пользы, чем вреда, очень решительно повторил: «Мы не любим эту книгу», и решительность была очень подчеркнута<sup>23</sup>.

Все уже уходило. Мы, конечно, пошли до машины. Бор раскланялся и сел в машину первый. Но когда он увидел, что мы подошли к машине близко и Оге пожимает руку каждому, то, с трудом сгибаясь под слишком низкой для него крышей лимузины, вышел снова и одарил каждого рукопожатием и улыбой своего огромного лица.

<sup>21</sup> По свидетельству близких к Бору людей, он никогда не допускал, что у Гитлера уже есть такое оружие. Но, разумеется, как и все западные и наши физики, опасаясь, что он сможет его получить.

<sup>22</sup> Младший друг и ученик Гейзенберга физик-теоретик К. Ф. фон Вейцекер, приехавший вместе с ним, ожидал результатов разговора Гейзенберга с Бором в отеле.

<sup>23</sup> То, что, согласно моим записям, рассказал Бор о знаменитой встрече с Гейзенбергом, решительно отличается от описанного в литературе, в том числе в воспоминаниях Гейзенберга. Отрицательное отношение к книге Юнга, вероятно, объясняется прежде всего тем, что в ней утверждается, будто немецкие физики сознательно саботировали создание бомбы. Это явно неправильно.

<sup>20</sup> Иначе говоря, прямо отказаться от сотрудничества с Гитлером. Лишний показатель того, как недоверчиво и недоброжелательно Бор относился к своему бывшему близкому другу. Подробнее см.: Знамя. 1989. № 3. С. 124—144.

Научные редакторы:  
И. Н. АРУТЮНЯН,  
О. О. АСТАХОВА,  
Л. П. БЕЛЯНОВА,  
М. Ю. ЗУБРЕВА,  
Г. В. КОРОТКЕВИЧ,  
Г. М. ЛЬВОВСКИЙ,  
Л. Д. МАЙОРОВА,  
Н. Д. МОРОЗОВА,  
Е. М. ПУШКИНА,  
Н. В. УСПЕНСКАЯ

Литературные редакторы  
Г. И. ПАНКОВА, С. С. ПЕРЕПЕЛКИНА

Художник  
П. П. ФРЕМОВ

Художественные редакторы:  
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Заведующая редакцией  
О. В. ВОЛОШИНА

Корректоры:  
О. Н. БОГАЧЕВА, Т. Д. МИРЛИС

В художественном оформлении  
номера принимали участие:  
А. Ю. БУШУЕВ,  
Р. Э. МАТКАЗИН,  
А. А. НЕМЧИНОВ,  
Е. К. ТЕНЧУРИНА

Ордена Трудового Красного  
Знамени издательство «Наука»

Адрес редакции: 117049, Москва,  
ГСП-1, Мароновский пер., 26  
Тел. 238-24-56, 238-26-33

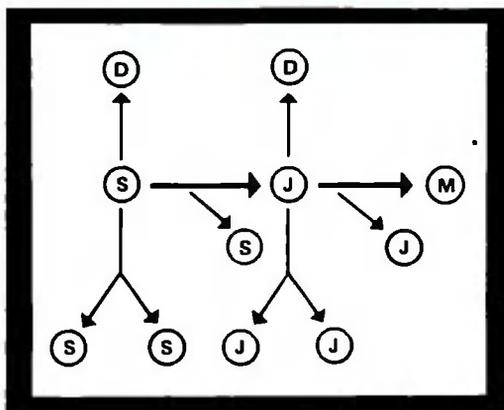
Сдано в набор 31.07.89  
Подписано в печать 25.09.89  
Т—16026  
Формат 70×100 1/16  
Бумага офсетная, № 1  
Офсетная печать  
Усл. печ. л. 10,32  
Усл. кр.-отт. 1462,3 тыс.  
Уч.-изд. л. 15,0  
Тираж 54 625 экз.  
Зак. 1860  
Цена 80 к.

Ордена Трудового  
Красного Знамени  
Чеховский полиграфический  
комбинат Государственного  
комитета СССР  
по печати  
142300, г. Чехов  
Московской области



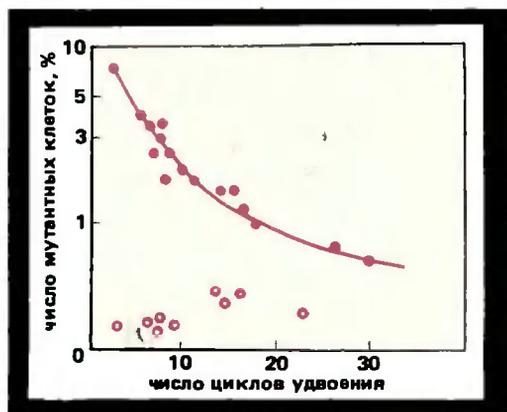
Вещество материков Венеры перемещается не только крупными блоками, как на Земле, но и гигантскими потоками, стекающими к низинам. Такой способ мобилизации вещества обнаружен лишь на Венере.

**Суханов А. Л. МОБИЛЬНЫЕ МАТЕРИКИ ВЕНЕРЫ**



Нередко новая научная идея опережает время и остается незамеченной или непонятой, но рано или поздно открывается вновь. Похожая судьба у двухмутационной гипотезы рака.

**Урываева И. В. ИСТОРИЯ ГИПОТЕЗЫ КАНЦЕРОГЕНЕЗА**



Неуклонное развитие атомной энергетики придает особое значение исследованиям влияния радиации на человека.

**Шевченко В. А. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА**

Как повысить безопасность атомной энергетики, вернуть к ней доверие общественности? За «круглым столом» прозвучали разные ответы специалистов на этот вопрос.

**АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В ПЕРЕКРЕСТИИ МНЕНИЙ (окончание)**

# ПРИРОДА

80 к.  
Индекс 70707



ISSN 0032-081X. Природа. 1990. № 10. 16