

ISSN 0032-874X

# ПРИРОДА

1-89



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор  
академик  
Н. Г. БАСОВ

Кандидат физико-математических наук  
А. И. АНТИПОВ

Доктор физико-математических наук  
Е. В. АРТЮШКОВ

Член-корреспондент АН СССР  
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук  
А. А. ВЕЛИЧКО

Академик  
В. А. ГОВЫРИН

Заместитель главного редактора  
Ю. Н. ЕЛДЫШЕВ

Член-корреспондент АН СССР  
Г. А. ЗАВАРЗИН

Академик  
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук  
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук  
С. П. КАПИЦА

Доктор физико-математических наук  
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук  
А. А. КОМАР

Академик  
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор 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. ФЕОКИСТОВ

Академик  
В. Е. ХАИН

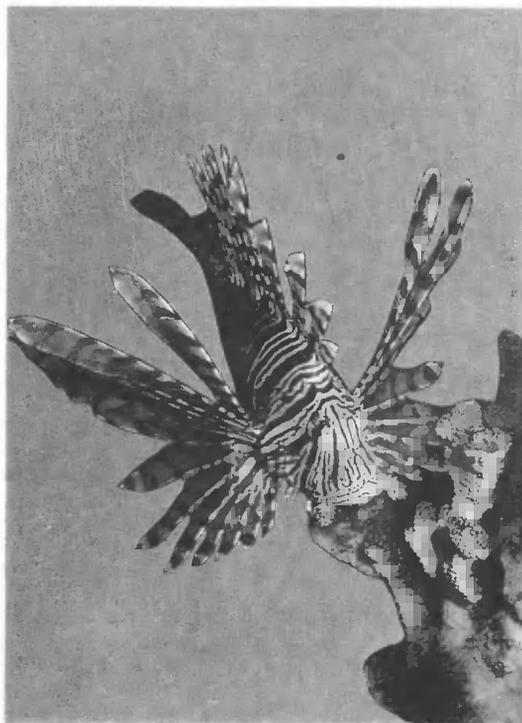
Доктор физико-математических наук  
А. М. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук  
В. А. ЧУЯНОВ

# ПРИРОДА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ  
ПОПУЛЯРНЫЙ  
ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
АКАДЕМИИ НАУК СССР

Основан в 1912 году



НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Крылатка (*Pterois volitans*) — ядовитая тропическая морская рыбка, которую за красоту держат аквариумисты в домашних аквариумах. См. в номере: Еманов В. С. Морская лаборатория вдали от моря.

Фото С. М. Кочетова.

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Бронзовые украшения и оружие II — начала I тысячелетий до н. э., найденные на территории Абхазии. См. в номере: Бжания В. В. Древние Башкалсарские рудники.



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.



© Москва «Наука»  
Природа 1989

## В НОМЕРЕ

- 3** **Бочков Н. П.**  
**НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ**  
**НАСЛЕДСТВЕННОСТИ ЧЕЛОВЕКА**  
Здоровье будущих поколений — основная забота медицинской генетики. Остановить рост наследственных заболеваний, связанных с угрожающим состоянием планеты, поможет своевременный прогноз и профилактика наследственных болезней.
- 11** **Феоктистов Л. П.**  
**ВАРИАНТ БЕЗОПАСНОГО РЕАКТОРА**  
Создание такого реактора, построенного по принципу накопления, а не выгорания делящегося материала, — один из возможных путей «выживания» ядерной энергетики.
- 16** **Кутепов А. М., Кузнецов В. И.**  
**ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЙ**  
**В ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**  
Прогнозирование научных открытий невозможно без учета социальных, экономических и других факторов, в особенности — иерархической структуры научного знания.
- 23** **Казютинский В. В., Балашов Ю. В.**  
**АНТРОПНЫЙ ПРИНЦИП: ИСТОРИЯ**  
**И СОВРЕМЕННОСТЬ**  
Антропный космологический принцип на новом научном материале конструктивно раскрывает древнюю идею о взаимосвязи человека и Вселенной. Дискуссии вокруг этого вопроса приобрели сегодня невиданную научную и мировоззренческую остроту.
- 33** **НЕ СТАНОВИТЬСЯ В ПОЗУ МЛАДШЕГО ПАРТНЕРА!** (Интервью с **Р. З. Сагдеевым**)  
Чем отличается стратегия космических исследований в СССР и на Западе? Как сделать космические проекты более дешевыми? Пришли ли гласность и перестройка в космическую промышленность? На эти и многие другие вопросы отвечает один из руководителей советской космической программы.
- 47** **Еманов В. С.**  
**МОРСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ВДАЛИ ОТ МОРЯ**  
Чтобы не изымать из морей животных и растения для научных исследований, необходимы морские биологические лаборатории, в которых эти организмы могли бы жить и размножаться, как в виариях.
- 55** **Бжания В. В.**  
**ДРЕВНИЕ БАШКАПСАРСКИЕ РУДНИКИ**  
Кавказ был крупнейшим очагом металлургии Причерноморья в III—I тысячелетиях до н. э.
- 60** **Алексеева Т. И., Алексеев В. П.**  
**АНТРОПОЛОГИЯ О ПРОИСХОЖДЕНИИ**  
**СЛАВЯН**  
Изучение внешнего облика славян помогает прояснить некоторые вопросы их истории.
- 70** **Кропоткин П. Н.**  
**НОВАЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ**  
Предложена модель, объединяющая мобилизм с пульсационной теорией. Основная причина тектонических процессов в этой модели — чередование сжатий и расширения Земли.
- 81** **Айзатулин Т. А., Фащук Д. Я.**  
**БЕЛЫЕ ПЯТНА ЧЕРНОГО МОРЯ**  
Не ждет ли Черное море судьба Мертвого, в котором глубинные соленые, насыщенные сероводородом воды вышли на поверхность?
- 89** **Веркии Б. И., Гредескул С. А., Пастур Л. А., Фрейман Ю. А., Храмов Ю. А.**  
**ЛЕВ ВАСИЛЬЕВИЧ ШУБНИКОВ**  
Один из крупнейших советских физиков Л. В. Шубников пал жертвой сталинских репрессий. Долгое время его имя было окружено вынужденным молчанием, и его вклад в мировую науку еще по-настоящему не осознан.
- 98** **ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ**  
**1988 ГОДА**  
**Герштейн С. С.**  
**ПО ФИЗИКЕ — Л. ЛЕДЕРМАН,**  
**М. ШВАРЦ, ДЖ. ШТЕЙНБЕРГЕР (98)**  
**Абдулаев Н. Г., Золотарев А. С.**  
**ПО ХИМИИ — Й. ДАЙЗЕНХОФЕР,**  
**Р. ХУБЕР И Х. МИХЕЛЬ (101)**  
**Харкевич Д. А., Галегов Г. А., Краевский А. А.**  
**ПО МЕДИЦИНЕ — ДЖ. БЛЭК, Г. ИЛай-ОН,**  
**ДЖ. ХИТЧИНГС (104)**
- 107** **НОВОСТИ НАУКИ (22)**  
**РЕЦЕНЗИИ**
- 121** **МЫСЛИ ПО ПОВОДУ ЖУРНАЛА «ВОПРОСЫ**  
**ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ»**  
**Зинченко В. П.**  
**КУЛЬТУРА И ЛИЧНОСТЬ В ИСТОРИИ НАУКИ**  
**(121)**  
**Киржиц Д. А.**  
**ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУР-**  
**НОЙ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ (124)**
- 127** **НОВЫЕ КНИГИ**

## CONTENTS

- 3** *Bochkov N. P.*  
**PRESENT AND FUTURE STATE OF HUMAN HEREDITY**  
 Well-timed prediction and profilaxis of hereditary diseases will be helpful in stemming the tide of hereditary diseases that reflects the critical state of global environment.
- 11** *Feoktistov L. P.*  
**A MODEL OF SAFE NUCLEAR REACTOR**  
 One of the possible paths to "survivability" of atomic energetics is to develop safe reactors realizing the principle of accumulation of fission material, instead of its burning out.
- 16** *Kutepov A. M., Kuznetsov V. I.*  
**CHOICE OF DIRECTION IN FUNDAMENTAL RESEARCH**  
 Prediction of scientific discoveries is impossible without consideration of social, economic and other factors, particularly the structural hierarchy of scientific knowledge.
- 23** *Kazyutinsky V. V., Balashov Yu. V.*  
**ANTHROPIC PRINCIPLE: HISTORY AND PRESENT STATUS**  
 Basing on the recent scientific cosmological anthropic principle develops the ancient idea of Man—Universe interrelation. Today this problem generates discussions of unparalleled scientific and philosophical intensity.
- 33** **REJECT THE STANCE OF JUNIOR PARTNER!**  
 (Interview with *R. Z. Sagdeev*)  
 What are the differences between the strategies of space exploration in the USSR and in the West? How to make space projects cheaper? Have perestroika and glasnost succeeded in penetrating space industries? One of the leaders of Soviet space programme answers these and other questions.
- 47** *Emanov V. S.*  
**OFF—SEA MARINE LABORATORY**  
 Such laboratories, where marine species could live, be bred and multiplied, may be of help in avoiding catching sea animals and taking up plants from the sea for reseach purposes.
- 55** *Bzhaniya V. V.*  
**ANCIENT BASHKAPSAR MINES**  
 The Caucasus was the largest centre of metallurgy in the Black Sea areas in the III—I millenia B. C.
- 60** *Alekseeva T. I., Alekseev V. P.*  
**ANTHROPOLOGICAL VIEW OF THE ORIGIN OF SLAVS**  
 A study of Slavic peoples' physique helps clarify some aspects of their history.
- 70** *Kropotkin P. N.*  
**A NOVEL GEODYNAMIC MODEL**  
 A model, which combines mobilism with pulsation theory, is suggested here. The main cause of tectonic processes in this model is the alternation of expansions and contractions of the Earth.
- 81** *Aizatulin T. A., Fashchuk D. Ya.*  
**BLANK SPACES OF THE BLACK SEA**  
 Deep salty water, saturated in hydrogen sulfide, rose to the surface of the Dead Sea. Does the same future await the Black Sea?
- 89** *Verkin B. I., Gredeskul S. A., Pastur L. A., Freiman Yu. A., Khramov Yu. A.*  
**LEV VASILEVICH SHUBNIKOV**  
 One of the greatest talents in Soviet physics, Lev Shubnikov, fell victim of Stalinist purges. Uneasy silence surrounded his name for many years, and his contribution to the 20th century science has not been truly recognized.
- 98** **1988 NOBEL PRIZE WINNERS**
- 107** **SCIENCE NEWS (22)**
- 121** **BOOK REVIEWS**
- 127** **NEW BOOKS**

# Н.П. Бочков **Настоящее и будущее НАСЛЕДСТВЕННОСТИ ЧЕЛОВЕКА**



Николай Павлович Бочков, академик Академии медицинских наук СССР, директор Института медицинской генетики АМН СССР. Основные научные интересы связаны с проблемами мутагенеза у человека и медико-генетического консультирования.

**Н**А ПОРОГЕ III тысячелетия цивилизация набила на своем лбу научно-технической самоуверенности и технологической спеси уже немало шишек. Опустынивание плодородных земель, загрязнение океанов и рек, кислотные дожди, прогрессирующая кавернизация зеленых легких планеты, не говоря уже о радиоактивном кошмаре, заставили человечество осенять себя спасительным знаменем, когда уже грянул гром. В тревожном набате наследственной угрозы не слышны еще раскаты. Иногда лишь в отчетах медицинских учреждений развитых стран мелькает тревожная статистика. Но что значат ее беды по сравнению с распространением СПИДа?

Медицинские генетики не собираются пугать человечество наследственной угрозой. Их задача — прогнозы и предостережения. Законы наследственности человека строги, как и всякие законы. Именно поэтому важно, чтобы непредвиденное нарушение их, в отличие от кислотных дождей и атомных бед, не застало нас врасплох.

Генетики уже более 100 лет задумывались о наследственной угрозе, называя это «вырождением человеческого рода». Первые шаги по защите наследственности человека или ее «улучшению» подвергались то осмеянию, то шельмованию, то беспощадному гонению. Но генетики продолжали работать. И современные медицинские генетики, «стоя на плечах гигантов», дают в руки не только медицине, но и всему обществу оружие для избавления от накопленной в

предыдущих поколениях наследственной патологии и предотвращения наследственной угрозы от факторов окружающей среды.

Наука знает теперь, что такое ген и как во многих случаях он работает. Можно с уверенностью сказать, что биологические и медицинские науки будущего столетия во многом будут опираться на генетику. Наши знания об эволюции, росте и дифференцировке органов и систем, а также психической деятельности будут во многом зависеть от изучения генома человека, т. е. от успехов генетики человека.

В длительной биологической эволюции человека накопились разные виды полиморфизмов по биохимическим, иммунологическим, морфологическим признакам, создающие уникальность каждого человека. Одновременно появлялись и патологические мутации, вызывающие наследственные заболевания. «Груз» этих мутаций весьма существен с медицинской и социальной точек зрения. Ежегодно в мире рождается около 1,5 млн детей с тяжелыми наследственными болезнями, например 150 тыс. — с болезнью Дауна (в нашей стране — 5—6 тыс.). В странах с развитым здравоохранением дети с наследственной патологией в больницах общего профиля составляют 15—20%. Из детей, умерших до 1 года, 30% погибают от наследственных болезней. Детская слепота в 70% и глухонмота в 50% случаев обусловлены наследственными факторами. Хромосомные и геномные мутации служат причиной спонтанных аборт, врожденных пороков разви-

тия, эндокринных нарушений и других аномалий роста и развития. В некоторых семьях все дети рождаются с наследственной патологией. Это лишь некоторые наиболее характерные примеры «груза» наследственной патологии.

В генетике человека «инвентаризация» наследственных болезней первоначально строилась на наблюдениях врачей. Уже в XVIII—XIX вв. были описаны такие заметные патологические признаки, как карликовость, слепота, ломкость костей, альбинизм, и подмечен их наследственный характер. По мере развития генетики стал возможен анализ наследования групп крови, болезней обмена веществ, электрофоретических вариантов белков и ферментов. Все это расширяло возможности изучения человека как объекта генетических исследований.

В конце 50-х годов нашего столетия наметились новые подходы к изучению хромосом человека, усовершенствованные затем в 70-х годах. Наконец, в 70-е годы генетики стали широко использовать молекулярно-биологические методы, такие как анализ первичных белковых продуктов генов, анализ мРНК и процессов ее созревания, расшифровка нуклеотидной последовательности и искусственный синтез генов. Эти методы позволяют сравнивать наследственные характеристики нормальных и патологических признаков человека. Математическое моделирование с использованием ЭВМ дает информацию о наследовании признаков на основе изучения различных родословных. Составлены родословные целых групп в несколько сот тысяч человек (мормоны в США). В небольших странах (Дания, Финляндия, Израиль) ведутся регистры наследственных болезней для всего населения.

Из года в год растет количество вновь обнаруживаемых моногенных признаков человека; в каталоге их уже более 4,3 тыс. Все эти мутации относятся примерно к 2 тыс. локусов (генов), а у человека их около 100 тыс. Однако уже сейчас можно уверенно говорить об анатомии генома человека, потому что налицо впечатляющие успехи не только в инвентаризации моногенных признаков, но и в их «топографической анатомии», т. е. в составлении генетических карт хромосом. Такие карты составляют для каждой пары гомологичных хромосом. Кроме номера хромосомы указывают названия

мутантных генов, их расстояние от концов хромосомы, а также место центромеры. Сегодня генетики располагают 18 методами картирования хромосом. Это и анализ передачи признаков в больших родословных, и гибридизация соматических клеток, и изучение клеток с хромосомными аномалиями, и гибридизация ДНК на препаратах хромосом, и рестрикция эндонуклеазами участков ДНК, и т. д.<sup>1</sup> К настоящему времени в конкретных хромосомах локализовано свыше 1300 генов и 2200 других маркеров<sup>2</sup>. Маркерами на хромосомах могут быть не только гены, но и различные наследуемые варианты ДНК.

Сведения о новых генах и маркерах пополняются каждые 2 года на 50 %. В связи с этим организована международная библиотека (банк данных) картированных генов, которая имеет номенклатурную регламентацию, чтобы не дублировались названия и символы генов.

Знания структуры («аномалии») генома и тонкой структуры генов человека особенно важны при изучении наследственных болезней. По существу, новая глава в генетике человека — патологическая анатомия генома<sup>3</sup>. Уже во всех хромосомах локализованы гены, мутации которых приводят к наследственным болезням. Обширные сведения по локализации мутантных генов с патологическим действием, наряду с анализом сцепления генов, дают возможность уточнять диагноз болезней или подавление «больного» гена «здоровым», которое может передаваться потомкам. Так, уже удалось точно определить (с указанием области хромосом), что ген муковисцидоза (системное заболевание, при котором поражаются секреторные клетки поджелудочной железы, бронхов, трахеи) находится в хромосоме 7, гены мышечной дистрофии Дюшена, пигментного ретинита (атрофия сетчатой оболочки) — в X-хромосоме, один из генов болезни Альцгеймера (старческое слабоумие) — в хромосоме 21, а семейного полипоза (формирование полипов и их перерождение в злокачественные опухоли в толстом кишечнике) — в хромосоме 5.

Эффективность изучения генома человека позволяет надеяться на полную его расшифровку в ближайшие 15 лет. Такая

<sup>1</sup> McKusick V. A. Mendelian Inheritance in Man. Baltimore; London, 1986.

<sup>2</sup> Goodfellow P. N. // Trends in Genetics. 1987. Vol. 3. № 11. P. 304—305.

<sup>3</sup> McKusick V. A. // Medicine. 1986. Vol. 65. № 1. P. 1—33.

задача возложена на проект «Геном человека», который обсуждается с 1985 г. и уже начинает действовать. Большинство генетиков считают решение этой задачи реальным на основе современной технологии, а именно с помощью методов рестрикции ДНК, клонирования ее фрагментов, автоматического изучения нуклеотидных последовательностей в ДНК (секвенирования) и др. Предполагается на первом этапе (5—10 лет) расчитать ДНК (примерно на 600 тыс. фрагментов), определить их длину и порядок расположения в хромосомах. На втором этапе будет изучена последовательность оснований ДНК. Вся методология полного секвенирования генома человека отработана, технические средства уже созданы. Вопрос заключается только в достаточном финансировании исследований (по подсчетам американских коллег, это составит около 3 млрд долл.)<sup>4</sup> К этой работе подключилось Министерство энергетики США, выделив 1 млрд долл. для двух лабораторий (Лос-Аламосской и Лоуренсовской).

Реализация проекта «Геном человека», т. е. полная расшифровка наследственной информации, записанной в ДНК человека, позволит понять строение и функцию генов и хромосом, без чего невозможна профилактика наследственной патологии.

---

## II'

Генетика человека приблизилась к новому этапу своего развития в изучении не только организации наследственных структур, но и их функционирования. Более чем для 400 наследственных признаков установлена связь изменения ферментативной активности белка или даже его аминокислотной последовательности с врожденной патологией. Биохимические механизмы действия патологического гена прослеживаются от первичного продукта до формирования клинической картины.

Многочисленные примеры с выясненным первичным биохимическим дефектом можно привести из списка болезней, затрагивающих обмен углеводов, липидов, аминокислот, витаминов, биосинтеза гормонов, транспортных и структурных белков. Количество расшифрованных форм из года в год увеличивается. Не остаются в стороне и

наследственные болезни, связанные с восстановлением (репарацией) поврежденной ДНК. Подробно проанализированы, например, ферментативные репарационные процессы при наследственных болезнях, сопровождающихся развитием злокачественных опухолей.

В медицине начался такой период ее развития, в котором диагноз наследственной болезни может быть записан в химических формулах. Уже сейчас это можно делать для многих наследственных болезней. Например, расшифрована первичная структура более 700 различных вариантов гемоглобина, встречающихся у населения всех континентов земного шара<sup>5</sup>.

---

## III

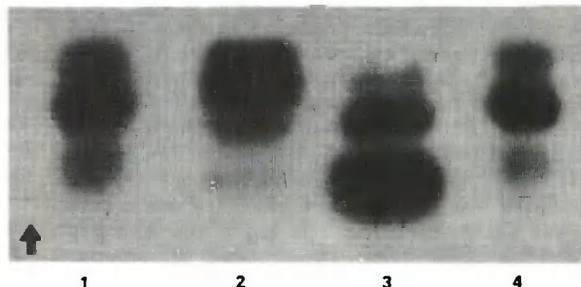
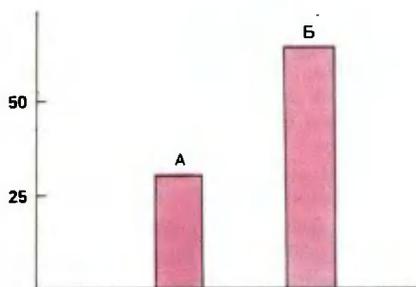
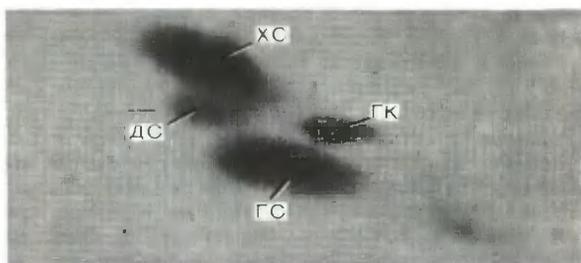
Для понимания наследственности человека в целом недостаточно индивидуального генетического анализа, каким бы глубоким он ни был. В конечном счете генетические закономерности всегда выходят за рамки анализа индивида как такового на популяционный уровень. Популяционная генетика человека — обширная область исследований, одновременно концентрирующая теоретические знания по генетическим аспектам эволюции человека и прикладные сведения по эпидемиологии и географии наследственной патологии.

Иммунологическими и биохимическими методами обнаружен необъятный генетический полиморфизм человеческих популяций как результат длительной эволюции на фоне вновь возникающих мутаций, отбора, дрейфа генов и миграции населения. Его объем можно оценить по следующему примеру. Число вариантов гамет организма, гетерозиготного хотя бы по одному локусу каждой из 23 пар хромосом, составит  $2^{23}$ , или более 10 млрд; т. е. среди всего населения Земли (более 5 млрд человек) даже при таком минимальном условии полиморфизма трудно найти двух одинаковых людей. На самом деле у человека около 30 тыс. полиморфных генов, различные сочетания которых при образовании гамет и зигот обеспечивают биологическую неповторимость каждого индивида.

Высокая степень полиморфизма человеческих популяций подтвердилась и углубилась в молекулярно-генетических исследова-

<sup>4</sup> Neel J. V. The Ecumenical Future of Human Genetics // Human Genetics // Proc. of the 7th Int. Congress, Berlin, 1986. B., 1987. P. 34—43.

<sup>5</sup> Kleman K., Lubin B., Kutlar A. et al. // Haemoglobin, 1987. Vol. 11. P. 403—431.



**Пренатальная диагностика болезни Хантера** (лаборатория биохимических диагностических программ Института медицинской генетики АМН СССР). Вверху: двумерный электрофорез гликозаминогликанов в амниотической жидкости на 18—20 неделе беременности в норме (слева) и при мукополисахаридозе (справа). ХС — хондритинсульфат; ДС — дерматансульфат; ГС — гепарансульфат; ГК — гиалуроновая кислота. Внизу слева: накопление  $^{35}\text{S}$ -гликозаминогликанов в культивируемых клетках амниотической жидкости в норме и при мукополисахаридозе [Б]. Внизу справа: проверка диагностики после прерывания беременности методом электрофореза клеток печени плода. 1, 4 — стандарты гликозаминогликанов; 2 — печень нормального плода; 3 — печень плода с болезнью Хантера (один из типов мукополисахаридозов).

ниях. Установлены вариации в длине участков ДНК после «разрезания» ДНК ферментами рестриктазами. Этот вид полиморфизма называется полиморфизмом длины рестриктных фрагментов. Кроме того, совсем недавно обнаружено изменение числа tandemных повторов коротких звеньев ДНК в разных хромосомах (мини-сателлитная ДНК). Некоторые участки хромосом настолько вариабельны по этому признаку, что регистрацию их с помощью электрофореза называют генетической (или генной) «дактилоскопией»<sup>6</sup>. Этот метод особенно полезен для обследования семьи, если речь идет об областях хромосом, в которых локализованы патологические гены, чтобы оценить их передачу потомству.

Расшифровка закономерностей формирования генотипической структуры популяций человека создала предпосылки для изучения популяционной географии наследственных болезней<sup>7</sup>. Это направление воз-

никло и оформилось в нашей стране. В таких исследованиях учитывается не только распространение наследственных болезней, но и история формирования популяции, система браков (распространенность кровнородственных браков) в прошлом и настоящем, географические, климатические, экономические особенности, медицинская и санитарная статистика и т. д. Эти сведения дают возможность планировать объем и виды специализированной медицинской помощи, а также прогнозировать частоту наследственной патологии в конкретных регионах.

#### IV

В диагностическом арсенале врача-генетика сегодня используется набор специальных методов: генеалогический, цитогенетический, биохимический, молекулярно-генетический, иммуногенетический, метод сцепления генов.

Клинический диагноз наследственной болезни чаще всего относится к целой группе заболеваний с одними и теми же конечными патологическими проявлениями. Генети-

<sup>6</sup> Рысков А. П. Генная дактилоскопия // Природа. 1988. № 3. С. 18—21.

<sup>7</sup> Гинтер Е. К. Популяционная география наследственных болезней // Перспективы медицинской генетики. М., 1982. С. 162—186.

ческая гетерогенность многих наследственных болезней хорошо доказана. С генетической точки зрения в ходе диагностики должна быть идентифицирована конкретная мутация как этиологический фактор заболевания у данного больного. Такая диагностика стала возможной путем изучения либо ДНК, либо первичных продуктов гена. В качестве примера можно привести разницу между клинической и генетической диагностикой мукополисахаридозов. Эта группа наследственных болезней обмена веществ обусловлена мутациями генов, контролирующих синтез ферментов, расщепляющих гликозаминогликаны (раньше их называли мукополисахаридами). Нарушение расщепления этих соединений приводит к их внутриклеточному накоплению и гибели клеток. Мутации затрагивают разные участки генов, что приводит к разным изменениям структуры и функции белка, а следовательно, и к разным нарушениям клетки. Отсюда многообразная клиническая картина, поражение костной ткани, умственная отсталость, изменение сердечных клапанов и сосудов, тугоухость, помутнение роговицы и др. Клинические различают только две формы мукополисахаридозов (Гурлер-подобную и Моркио-подобную). Не будем перечислять их симптомы, а обратимся к генетической диагностике (их не менее 12 форм заболеваний). Мутантные локусы выявляют методом энзимодиагностики — определения соответствующих ферментов, расщепляющих тот или иной мукополисахарид (дерматансульфат, гепарансульфат, кератансульфат). Однако иногда выявить мутантный фермент невозможно. В этих случаях применяют метод так называемого метаболического кооперирования, при котором клетки пациента культивируют одновременно с каждым клеточным штаммом для всех типов мукополисахаридозов. Экскрецию гликозаминогликанов изучают в культуральной жидкости. При одинаковой мутации в клетках не наблюдается метаболической коррекции в культуре. Это и позволяет поставить диагноз.

В настоящее время генетики диагностируют уже около 700 наследственных болезней обмена веществ, хотя и не все еще достаточно точно. Однако расшифровка механизмов действия генов и продуктов их первичного действия идет такими быстрыми темпами, что можно надеяться на заполнение в ближайшие годы остающихся еще сегодня белых пятен в главе наследственных болезней обмена веществ. При этом важно подчеркнуть, что заболевание можно распознать на любой стадии онтогенеза.

В диагностике хромосомных болезней

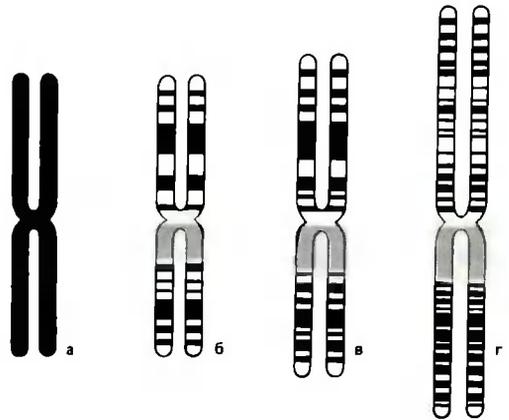


Схема хромосомы 1 при разных методах окраски на разных стадиях митоза: а — сплошная окраска метафазной хромосомы (распознается только хромосома в целом); б — дифференцированная окраска метафазной хромосомы (распознаются оба плеча хромосомы и 23—25 отдельных сегментов); в — дифференцированная окраска прометафазной хромосомы (распознаются более 35 сегментов); г — дифференцированная окраска прометафазной хромосомы (распознаются более 50 сегментов).

за 30 лет (год их открытия — 1959) отмечен такой прогресс, который трудно было предсказать и медикам, и биологам. Сначала была сделана групповая дифференцировка хромосом, затем разработаны методы индивидуальной идентификации. Это обеспечило открытие основных форм хромосомных болезней, обусловленных изменением числа хромосом или их структуры. В последние годы на вооружение взяты более эффективные методы: высокоразрешающий анализ ранних митотических хромосом, молекулярно-генетические зонды. Благодаря новым методам удалось показать хромосомную этиологию ряда врожденных пороков развития, считавшихся ранее генными (или точковыми) мутациями (синдромы AWGR, Прадера — Вилли, Лангера — Гидеона и др.).

Сейчас наследственную болезнь можно обнаружить до формирования клинической картины, нередко даже в дородовом периоде. В этих случаях говорят о предклинической и дородовой диагностике. Число рано выявляемых наследственных нарушений из года в год увеличивается, и можно предполагать, что со временем удастся получить генетический «портрет» каждого человека, где будут зафиксированы патологические мутации. Существенное достижение медицинской генетики, широко применяемое в практике, — простые экспресс-методы ранней диагностики.



Мальчик с синдромом Лангера — Гидеона. Основные симптомы: челюстно-лицевые аномалии, множественные экзостозы, умственная отсталость. Болезнь вызвана делецией (выпадением) мельчайшего участка в длинном плече хромосомы 8, показанного стрелкой [24.1] (Из коллекции лаборатории клинической цитогенетики Института медицинской генетики АМН СССР.)

Дородовая (пренатальная) диагностика наследственных болезней, позволяющая исключить рождение больного ребенка, принципиально изменила подходы к деторождению в наследственно отягощенных семьях. В настоящее время здесь широко используют ультразвук, фетоскопию (зондирование эластичным зондом со светопроводом) и другие методы, которые позволяют оценить состояние плода и взять кровь его для исследования.

Но особенно эффективны два метода: биопсия хориона и амниоцентез. Маленькие кусочки ворсин хориона (наружной зародышевой оболочки) нетрудно получить на 8—10-й неделе беременности (это не вредит дальнейшему ее протеканию). Клетки хориона — хороший объект для цитогенетической, биохимической и молекулярно-генетической диагностики. Прокол плодного пузыря (амниоцентез) делают на 14—16-й неделе беременности. Шприцем отсасывают небольшое количество (10 мл) околоплодной жидкости, в которой всегда имеются слузистые клетки плода. Их культивируют, и через 1—3 недели они пригодны для любых

лабораторных анализов. Исследование клеток хориона и амниотической жидкости сейчас позволяет диагностировать все известные хромосомные болезни и более 100 генных болезней.

v

Хотя лечение наследственных болезней, поражающих тканевые структуры или биохимические внутриклеточные процессы, — наиболее трудный раздел клинической медицины, генетика человека и биология развития уже сделали чрезвычайно много для клиники.

В настоящее время для лечения наследственных болезней используются диетическая, заместительная гормоно- и ферментотерапия, удаление из организма токсических продуктов сорбционными методами, хирургическая коррекция, физиотерапевтические процедуры. Можно надеяться, что в дальнейшем будут разработаны новые методы лечения многих наследственных заболеваний на основе биотехнологии.

С медицинской точки зрения наиболее эффективным считается этиологическое лечение. Для наследственных болезней это означает введение генов в клетки больного, т. е. генная терапия («хирургия» или «инженерия»). Для полной генетической компенсации необходимый ген должен быть введен в зиготу. Хотя такие эксперименты ведутся на животных, но результаты еще не постоянные, поэтому вопрос об этиологическом лечении на уровне гамет и зигот еще требует дальнейших разработок. Более реальной представляется генная терапия путем введения генов в соматические клетки (например, костный мозг) и пересадка их в организм. Из большого числа соматических клеток всегда найдутся трансформированные в нужном направлении клетки.

Другой аспект использования генной инженерии — это производство полипептидов, белков человека, гормонов и других физиологически активных соединений, необходимых для лечения наследственных болезней. Биотехнология существенно расширяет арсенал средств для «прицельного» патогенетического лечения наследственных болезней (например, производство гормона роста, инсулина и т. д.).

Тяжесть течения наследственных заболеваний, малоэффективное лечение многих из них, передача их поколения в поколение — все это определяет безусловную необходимость их профилактики, составля-

ющей приоритетное направление теоретических и прикладных исследований. В настоящее время разрабатывается четыре направления в их профилактике<sup>8</sup>.

**Первое** связано с охраной окружающей среды, т. е. с гигиеническим нормированием и исключением мутагенов. Их идентификация и удаление из окружающей среды — это одновременно удаление и тератогенов, и канцерогенов. Не каждый новый фактор среды повышает вероятность мутаций, поэтому генетики разрабатывают методы, с помощью которых можно выявить мутагенную активность химических веществ на клетки человека, а также методы генетического мониторинга. В будущем не только должна быть введена строгая система оценки мутагенности факторов среды обитания человека, необходимая для охраны биосферы, необходимо исключить мутагенные лекарственные средства и пищевые добавки, а также необоснованные рентгенологические и радиологические облучения. Сейчас проводится работа по оценке мутагенных нагрузок населения СССР, особенно лиц, контактирующих с активными химическими соединениями на производстве.

С охраной окружающей среды связана и профилактика еще одной группы наследственных болезней — экогенетических, которые развиваются у наследственно предрасположенных лиц под влиянием определенных факторов внешней среды.

**Второе** направление основывается на планировании семьи. Речь идет об отказе от вступления в брак кровных родственников и гетерозиготных носителей, а также об отказе от деторождения при высоком риске наследственной патологии. Существенно повысить эффективность планирования семьи может широкая диспансеризация населения, медицинское обслуживание по типу семейного врача, медико-генетическое консультирование, опирающееся на более совершенные методы диагностики гетерозиготных состояний и уточненных методов расчета вероятности рождения больного ребенка. Медико-генетическое консультирование предупреждает рождение больных детей в 3—5 % семей, обратившихся по поводу прогноза здоровья будущего ребенка.

Большое значение для профилактики наследственных болезней имеет возраст матери. Оптимальным для деторождения является возраст от 20 до 35 лет. Более ранние и поздние роды увеличивают риск

рождения ребенка с наследственной и врожденной патологией (хромосомные и доминантные болезни). Так, уменьшение количества женщин, родивших после 35 лет (с 10 до 5 % от общего количества родов) снизило частоту болезни Дауна на 15—20 %. Такая закономерность обнаружена в Москве, Минске, Ангарске и других городах.

Для профилактики очень важно сокращение кровнородственных браков. Изучение отягощенной наследственности в связи с высокой частотой таких браков в республиках Средней Азии показало, что сознательный отказ от их заключения может вдвое снизить частоту аутосомно-рецессивной наследственной патологии<sup>9</sup>.

**Третье** направление — дородовая диагностика. Если установлена наследственная патология эмбриона или плода, то беременность можно прервать. В нашем институте с помощью пренатальной диагностики выявляется 8—10 % плодов с наследственными заболеваниями. Теоретически можно также представить искусственно вызванную гибель гамет с патологическим геном и, соответственно, предотвращение зачатия патологического эмбриона.

Наиболее универсальный **четвертый** путь профилактики — управление действием генов. В основе его лежит фенотипическая коррекция действия патологических генов на одном из этапов их проявления. Воздействовать на работу генов можно в разные периоды онтогенеза. В принципе возможна и внутриутробная коррекция путем диетической и лекарственной терапии беременной. Так, усиленное витаминное питание за несколько месяцев до зачатия и в первые месяцы беременности снижает частоту рождения детей с расщелинами губы и неба<sup>10</sup>. Наиболее широко применяется сейчас коррекция наследственных болезней обмена веществ после рождения: искусственная диета при фенилкетонурии, галактоземии, целиакии у детей. Особенно эффективна профилактика болезней, проявляющихся под влиянием факторов внешней среды у взрослых. Например, можно избежать гемолитических эритроцитарных энзимопатий, если устранить проявляющие их факторы (сульфаниламиды и др.) или предупредить раннюю эмфизему легких, обусловленную недостатком  $\alpha$ -1-антитрипсина, бросив курить и работать в запыленной среде.

<sup>9</sup> Ревезов А. А., Кошечкин В. А., Гинтер Е. К., Тураева Ш. М. // Генетика. 1983. Т. 19. № 5. С. 840—846.

<sup>10</sup> Tolarova M. // Clin. Genetics. 1985. Vol. 28. P. 473—475.

<sup>8</sup> Бочков Н. П. // Клинич. медицина. 1988. № 4. С. 98—105.

## VI

Наш груз мутаций складывался десятками тысячелетий. Все, что мы накопили в популяциях в виде наследственной патологии или в виде сбалансированного полиморфизма,— наше прошлое. С этим накопленным прошлым мы живем в настоящем, причем в резко меняющихся условиях. Будущее нашего груза мутаций зависит от того, как меняется мутационный процесс под воздействием новых факторов окружающей среды, нехарактерных ранее популяционных процессов (резкая миграция), за счет повышающегося уровня медицинской помощи, включая медико-генетическую. И мы должны научиться прогнозировать груз мутаций, разрабатывать методы профилактики наследственных болезней.

Можно предложить две крайних точки зрения на перспективу отягощенности человеческих популяций мутациями в будущем. Первая — сильное «засорение» мутациями за счет индуцированного мутагенеза и улучшения репродуктивной функции мутантов; вторая — полное избавление от мутаций. Современное состояние медицинской генетики не позволяет принять ни ту, ни другую точку зрения.

Безусловно, можно снизить дополнительный мутационный груз, исключив из среды обитания человека мутагенные факторы внешней среды. Методические возможности для этого есть. Широкое внедрение медико-генетического консультирования и пренатальной диагностики постепенно уменьшит количество патологических ге-

нов. Напротив, концентрация генов, вызывающих болезни, для которых разработаны методы лечения и восстановления репродуктивной способности, будет медленно повышаться. Однако это мало отразится на экономической или социальной стороне общества, поскольку эти индивиды будут социально адаптированы. Постановка вопроса о каких-либо законодательных евгенических мероприятиях в связи с этим не правомерна. По мере прогресса человечества понятие о норме расширяется. Все большее число больных становится социально адаптированными в полной мере.

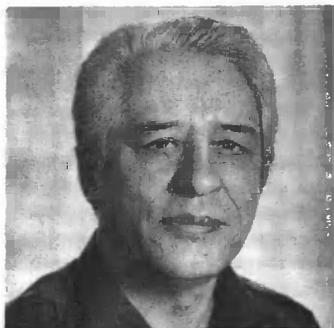
Каким будет груз мутаций, зависит не только от медицинской помощи больным, но также и от популяционных процессов. Расширение границ браков и уменьшение инбридинга приведет к уменьшению числа больных.

В связи с репродуктивной компенсацией вклад генотипов с разной наследственной отягощенностью и репродуктивной способностью в последующие поколения выравнивается. Однако доля такой компенсации в широком спектре патологических генов вряд ли будет значительной.

Своевременное распознавание экогенетических проявлений и устранение соответствующих факторов из среды обитания человека уменьшит наследственную отягощенность популяций. Это один из гигиенических приемов перевода нашего груза мутаций в не проявляющееся состояние при сохранении наследственного полиморфизма человечества — главного биологического богатства вида *Homo sapiens*, доставшегося современному человеку ценой длительной эволюции.

Л. П. Феокистов

# ВАРИАНТ БЕЗОПАСНОГО РЕАКТОРА



Лев Петрович Феокистов, член-корреспондент АН СССР, работает в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР, заведует кафедрой Московского инженерно-физического института. Основные научные интересы относятся к области ядерной физики и техники. Заместитель главного редактора журнала «Природа». Лауреат Ленинской премии и Государственной премии СССР. Герой Социалистического Труда.

**Ч**ТОБЫ придать наглядность рассказу о ядерной энергетике и ее преимуществах, часто демонстрируют такую картинку: стрела с двумя наконечниками, на одном из которых изображен маленький кусочек металла, на другом — длинный железнодорожный состав, груженный углем. При такой постановке вопроса вывод очевиден — в пользу ядерной энергетике. Однако после аварии в Чернобыле справедливость требует дополнить картинку еще одним символом — красной стрелкой с радиоактивной Землей на конце, предупреждающей о возможности аварии. Действительно, мы должны твердо осознавать, что получение ядерной энергии при всех ее преимуществах сопряжено с радиоактивностью, и «выживаемость» ядерной энергетике будет зависеть от того, насколько успешно удастся справиться с этой тяжелой «радиоактивной» проблемой. Здесь мы представляем читателю один из возможных путей — создание внутренне безопасного ядерного реактора, который ни при каких условиях, в том числе и аварийных, не может перейти через критическое состояние, когда возможен ядерный взрыв<sup>1</sup>. Следует, правда, вовремя оговориться, что пока это всего лишь попытка ответить на

вопрос, возможен ли в принципе такой реактор, какова его теоретическая концепция?

Первый ядерный реактор был построен в 1942 г. в США под руководством Э. Ферми, первый европейский реактор — в 1946 г. в Москве под руководством И. В. Курчатова, а к 1982 г. в мире уже работало около тысячи реакторов различного типа. При всех отличиях они имеют одну и ту же принципиальную схему: в так называемой активной зоне, где находится ядерное топливо, под действием нейтронов происходит цепная реакция деления, а выделенная при этом энергия отводится с помощью теплоносителя (воды, органической жидкости, расплавленного металла, газа и т. д.); активная зона окружена отражателем нейтронов, а управление цепной реакцией осуществляется с помощью стержней-поглотителей, которые поддерживают выделение энергии на нужном уровне и обеспечивают равномерность его распределения по объему реактора. Ядерное топливо в большинстве случаев распределено в активной зоне в виде стержней, называемых тепловыделяющими элементами (ТВЭЛами). По мере выгорания делящегося компонента топлива ( $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ ) условия, необходимые для горения, постепенно ухудшаются из-за исчезновения активных атомов и накопления осколков, поглощающих нейтроны. И вот для того чтобы срок

<sup>1</sup> См.: Феокистов Л. П. Анализ одной концепции физически безопасного реактора. Препринт ИАЭ-4605/4. 1988.

эксплуатации ТВЭЛов был не слишком мал, в конструкцию реакторов вводятся стержни из веществ, сильно поглощающих нейтроны (В, Cd и др.). В начале кампании реактора стержни погружены глубоко в активную зону, а затем по мере «порчи» ТВЭЛов постепенно выводятся из нее до тех пор, пока ТВЭЛы не отработают свое и их надо будет заменить. Таким образом, с помощью управляющих стержней в активной зоне поддерживается стационарный (критический) режим. Перемещая стержни около положения, соответствующего критическому состоянию, цепной процесс можно заставить либо усиливаться, либо затухать, т. е. регулировать мощность реактора. Очевидно, что если внезапно из активной зоны удалить все управляющие стержни (вследствие, скажем, какой-то роковой ошибки), то реактор станет надкритическим и, следовательно, взрывоопасным. В этом смысле никакой из существующих реакторов нельзя отнести к безусловно безопасным.

Остановимся теперь чуть подробнее на тепловых и быстрых реакторах. В тепловом реакторе много замедлителя, и нейтронный спектр в нем близок к равновесному максвелловскому с температурой, равной температуре среды. В быстром реакторе, наоборот, всячески избегают замедления нейтронов, поэтому их спектр близок к делительному — они столь же энергетичны, как при рождении в процессе деления. Отсутствие замедлителя исключает использование воды — наиболее дешевого теплоносителя (вместо воды здесь используют жидкие металлы). Из-за этого конструктивное оформление быстрого реактора сложнее, чем у теплового, капитальные затраты выше. Но у быстрых реакторов есть колоссальное преимущество — в них наряду с исчезновением атомов, способных к делению (нечетные изотопы урана и плутония), происходит регенерация некоторых из них (например, образование  $^{239}\text{Pu}$  в реакции  $^{238}\text{U} + n$ ). Это свойство реакторов принято характеризовать коэффициентом воспроизводства  $K$  — отношением рожденных атомов, способных к делению, к исчезнувшим. Для тепловых реакторов  $K$ , очевидно, всегда меньше 1 — в них под действием тепловых нейтронов происходит в основном выжигание  $^{235}\text{U}$ , извлекаемого из природного урана. У быстрого реактора  $K$  больше 1, и в горение вовлекается дешевый и распространенный  $^{238}\text{U}$ . Такой реактор является одновременно реактором-размножителем, способным снабдить делящимся веществом как быстрые реакторы, так и тепловые, причем во все возрастающей пропорции.

Быстрый реактор разделен на две зоны: центральную (активную), где происходит цепная реакция, и периферийную, из  $^{238}\text{U}$ , где накапливается плутоний. Предполагается, что в так называемом замкнутом цикле делящийся материал реактора по прошествии некоторого времени будет извлекаться и направляться на перерабатывающие химические комбинаты, после чего выделенный из него плутоний и уран вновь поступят в активные зоны реакторов. Подчеркнем, что в активной зоне быстрого реактора происходит в основном выгорание активного компонента топлива, и в этом смысле картина принципиально не отличается от теплового реактора.

А что если две зоны реактора заменить одной, смешав их в такой пропорции, чтобы была обеспечена и критичность, и тенденция к накоплению? Две функции нейтронной реакции — выгорание и регенерация — оказываются пространственно совмещенными.

Отрицательная сторона смешивания очевидна: возрастает критическая масса топлива и тем больше, чем сильнее «разбавлены»  $^{235}\text{U}$  или  $^{239}\text{Pu}$  изотопом  $^{238}\text{U}$  (см. табл.).

Зависимость критической массы  $M_{кр}$  смеси  $^{238}\text{U} + ^{239}\text{Pu}$  от концентрации  $^{239}\text{Pu}$

$^{239}\text{Pu}$ , %	100	50	25	10	7,5	6	5	4,8
$M_{кр}$ , кг	11	34	120	800	2000	5500	30000	$\infty$
$^{239}\text{Pu}$ , кг	11	17	30	80	150	330	1500	$\infty$

Обратим внимание на то, что критическая масса зависит от концентрации  $^{239}\text{Pu}$  не по простому закону обратной пропорциональности: так, например, при уменьшении концентрации от 100 до 50 % критическая масса возрастает более чем в 3 раза. Более того, существует пороговое значение концентрации, при которой  $M_{кр}$  возрастает до бесконечности. Это связано с тем, что важно не просто количество делящегося вещества, в среднем расстояние между его ядрами.

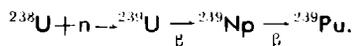
Тем не менее недостаток смешивания, о котором идет речь, не столь уж принципиален, если принять во внимание, что для стандартного блока АЭС мощностью примерно 1 ГВт (эл) ежегодное выгорание делящегося компонента топлива составит около 1 т, а его изначальное количество в реакторе — несколько тонн.

Теперь, обсудив отрицательную сторону смешивания зон в реакторе, попробуем ответить на вопрос: а зачем вообще смешивать, в чем польза?

Главных причин две.

Во-первых, мы как бы устраиваем замкнутое производство топлива внутри самого реактора, без обращения к заводам для его переработки. В самом деле, зачем появившийся в реакторе плутоний отправлять на специальный завод, чтобы через несколько лет вернуть его обратно? Гораздо выгоднее сжечь его на месте без дополнительных затрат, не теряя времени. Во-вторых, если происходит накопление активного компонента, то отпадает необходимость в начальной надкритичности, которая во всех существующих реакторах подавляется стержнями управления. Достаточно такой реактор довести до критического состояния, и он сам, автоматически, будет поддерживать стационарное состояние, поскольку будет стремиться увеличить число делящихся атомов. Это центральный пункт изложения — он непрост для понимания, поэтому остановимся на нем подробнее.

В описании развития нейтронных цепей и кинетики превращения одних элементов в другие фигурируют два временных параметра, имеющих отношение к существу рассматриваемой нами задачи. Один из них — это время жизни нейтрона в среде  $t_n = 10^{-6}$  с. Рожденный при делении (т. е. исчезновении плутония) нейтрон поглотится в  $^{238}\text{U}$  именно через время  $t_n$ . «Погибший» атом будет заменен новым, но уже по прошествии времени  $t \approx 2,5$  дня, определяемого периодами полураспада элементов при  $\beta$ -процессах в цепочке реакций:



Мы видим, что эти два временных параметра сильно различаются по масштабу: один исчисляется миллионными долями секунды, другой — днями. Если реактор годами находится в стационарном состоянии, то задержка в появлении плутония, выражаемая днями, роли не играет. Совсем другое дело, если система, находившаяся в критическом состоянии, внезапно, в силу каких-то причин, обрела небольшую надкритичность. Излишки плутония, обеспечивающие надкритичность, подвергнутся делению и исчезнут с характерным временем  $t_n$  — система вернется в критическое состояние. Возникшие в этих актах деления нейтроны приведут, в свою очередь, к появлению плутония, но спустя дни, и, что важно, не одновременно. В определенном

смысле с аналогичной ситуацией мы сталкиваемся в обычных реакторах, где огромное значение имеют так называемые запаздывающие нейтроны деления, появляющиеся через десятки секунд. Это обстоятельство широко используется в управлении реактором, где, в случае если не перейден порог критического состояния по запаздывающим нейтронам, скорость развития цепной реакции диктуется временем появления запаздывающих нейтронов. Это время достаточно велико, чтобы успела сработать механическая система защиты реактора. В нашем случае, поскольку накопление плутония идет «снизу», роль задержки выполняет время  $t_{1,2}$  (а это дни), в точности аналогичное по своему кинетическому смыслу упомянутому времени запаздывания нейтронов деления.

Теперь остается выяснить, при каких условиях реактор работает в режиме накопления, а не выгорания.

Как уже отмечалось, плутоний в реакторе одновременно и рождается и исчезает, причем число актов «рождения» не зависит от концентрации плутония, тогда как число «смертей» прямо ей пропорционально. Это приводит к тому, что концентрация плутония стремится к равновесной  $\bar{p}$ , при которой оба процесса сбалансированы. Независимо от того, какова изначальная концентрация плутония  $p_0$  (больше или меньше  $\bar{p}$ ), со временем она стремится к  $\bar{p}$ . Если  $p_0 > \bar{p}$ , плутоний выгорает, при  $p_0 < \bar{p}$ , напротив, накапливается.

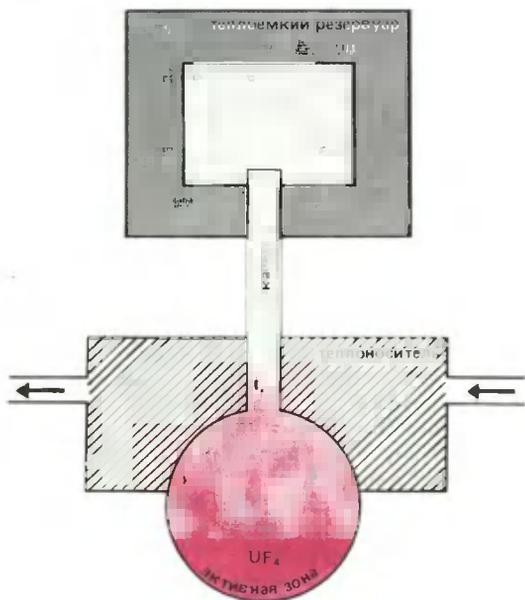
Вместе с тем вследствие захвата нейтронов атомами  $^{238}\text{U}$  в смеси урана и плутония есть некая минимальная концентрация плутония  $p_k$ , при которой достигается критическое состояние, т. е. возможно существование стационарного режима в реакторе.

Критическая концентрация  $p_k$  определяется иными константами, нежели  $\bar{p}$ . Поэтому в принципе  $p_k$  может быть как больше, так и меньше  $\bar{p}$ . Фактически оказывается, что это соотношение зависит от спектра нейтронов, т. е. от типа реактора: для теплового реактора  $p_k > \bar{p}$ , для быстрого —  $p_k < \bar{p}$ . Иными словами, построение реактора, в котором топливо накапливается, в принципе возможно.

Приведенный выше коэффициент воспроизводства  $K$  может быть выражен через константы  $p_k$  и  $\bar{p}$ :

$$K = \frac{\bar{p}}{p_k} (1 - p_k)$$

Отсюда видно, что для реактора с  $K > 1$   $p_k < \bar{p}$ , т. е. он может работать в режиме накопления, а не выгорания.



Возможная схема реактора с кипящей активной зоной. Резервуар, стенки которого обладают высокой теплоемкостью, не влияет на работу реактора в нормальных режимах (пары  $UF_4$  оседают на охлаждаемых стенках соединительного канала, не доходя до резервуара), а служит для обеспечения безопасности в случае аварийного отключения подачи теплоносителя.

То обстоятельство, что  $\rho > \bar{\rho}$ , но не может стать больше  $\rho_k$ , приводит к тому, что критическое состояние поддерживается автоматически, иными словами, не требуется регулировка управляющими стержнями, по крайней мере в таком режиме, как в реакторах выгорания. А это означает, что такой реактор оказывается безопасным по отношению к ядерному взрыву. Можно сказать, что «взрыв» в нем развивается дни и поэтому легко преодолевается средствами защиты.

В принципе в таком реакторе возможно эффективное (на 50—70 %) выгорание топлива. В самом деле, что может остановить цепную реакцию? Только одно: поскольку концентрация  $\bar{\rho}$  пропорциональна количеству  $^{238}U$ , наступит момент, когда  $\bar{\rho}$  станет меньше  $\rho_k$ . При этом, если начальные условия, например, таковы, что  $\bar{\rho}/\rho_k = 2$ , то и уран сгорит примерно наполовину.

Эффективное выгорание ослабляет проблемы, связанные с нехваткой топлива, и позволяет, по крайней мере на первых порах, отказаться от регенерации топлива, т. е. работать в открытом цикле.

Остановимся на некоторых аспектах конкретной реализации предлагаемой идеи.

1. В отличие от обычного реактора, в котором темп энерговыделения зависит от скорости отвода тепла, в реакторе, предназначенном для накопления активного материала, мощность является совершенно определенной функцией времени, обладающей максимумом. Для  $K \geq 1$  характерное время горения составляет  $t_r = \frac{10}{K-1} \cdot t_{1/2}$ . Такой темп

энерговыделения может оказаться чрезмерным, и тогда нужно будет управлять реактором. Но это не будет возвращением к старому режиму управления. Допустим, внутрь активной зоны вводится  $^{238}U$ , поглощающий нейтроны и тем самым сдерживающий слишком быстрое нарастание мощности (делать это надо с вполне определенной скоростью: если слишком быстро — можно заглушить реактор, если слишком медленно — процедура становится бесполезной). Оказывается, прирост массы урана к концу работы реактора невелик: в  $(K-1)^2$  раз больше начальной массы урана. Важно, что при этом мощность реактора определяется уже теплосъемом. Можно, например, так подобрать скорость ввода новых порций урана, что мощность реактора будет стабилизирована. При этом важно подчеркнуть, что при навязанном нами, т. е. заложенном в саму конструкцию реактора, законе ввода дополнительного урана (а это уже не управление!), мощность может колебаться, но масштаб этих колебаний соизмерим с точностью наших расчетов (10—20 %). Простейшая обратная связь, например по мощности реактора, полностью корректирует ввод урана-поглотителя и стабилизирует картину.

2. Представим себе цилиндр из урана диаметром около 1 м, причем в небольшой его области к урану подмешан плутоний с таким расчетом, чтобы система стала критичной. Начинается энерговыделение. Нейтроны поступают в соседнюю область, где вначале плутония не было, и там происходит его накопление. Поскольку  $\rho_k < \bar{\rho}$ , наступает момент, когда эта область становится критической и центр энерговыделения смещается в нее. Спустя некоторое время начальные условия «забываются» и в системе начинается распространяться бегущая волна, аналогичная привычной картине горения (вспомним бикфордов шнур). Скорость такой волны есть

$$D \approx (K-1) \cdot L/t_{1/2}$$

где  $L$  — длина пробега нейтрона (в см)<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Уточненные значения  $D$  могут быть получены из численного решения соответствующих уравнений диф-

Очевидно, что решение в виде бегущей волны возможно только при  $K > 1$ . Расчеты показывают, что для  $^{239}\text{Pu}$  (или  $^{233}\text{U}$ ) значение  $D$  составит сантиметры (или миллиметры) за сутки. Разумеется, того же эффекта можно добиться, не пуская волну по цилиндру, а двигая его так, чтобы зона горения оставалась неподвижной.

3. Реактор с накоплением и эффективным выгоранием может оказаться выгодным в схеме с кипящей активной зоной. Представим себе пустотелый шар, на дне которого размещено необходимое для возбуждения цепной реакции количество урана и плутония в виде подходящих химических соединений, скажем  $\text{UF}_4$ . По мере энерговыделения температура взятого соединения повышается: сначала до температуры плавления ( $T_{\text{пл}} \sim 1000^\circ\text{C}$ ), а затем до температуры кипения ( $T_{\text{кип}} \sim 1500^\circ\text{C}$ ). Пары поднимаются и оседают на стенке, температура которой поддерживается наружным теплоносителем в диапазоне между  $T_{\text{пл}}$  и  $T_{\text{кип}}$ . Капли сконденсировавшейся жидкости скатываются вниз, вновь попадая в активную зону реактора.

Уровень жидкости на дне и темп испарения можно подобрать таким образом, чтобы критическое состояние поддерживалось автоматически, а мощность определялась отводом тепла. Предположим теперь, что теплосъем несколько изменился (например, увеличился). Тогда стенка остынет, и на ней станет больше оседать металла. Следовательно, должен увеличиться темп испарения. Остановка реактора происходит при подаче холодного ( $T < T_{\text{пл}}$ ) теплоносителя,

при этом температура стенки опускается ниже  $T_{\text{пл}}$ , уран оседает на ней, не попадая более в активную зону. При запуске происходит обратный процесс: горячий теплоноситель с  $T > T_{\text{пл}}$  прогревает стенки и «растаявший» уран стекает на дно, создавая там необходимую критическую массу. В случае аварийного отключения подачи теплоносителя процесс деления автоматически прекратится, если реактор снабдить дополнительным резервуаром с высокой теплоемкостью стенок, в котором осядет часть металла, испарившаяся при перегреве реактора. При правильном выборе конструкции введение такого устройства не должно сказываться на работе реактора в нормальном режиме.

Автоматический режим поддержания критического состояния создает предпосылки для более экзотических, даже фантастических проектов. Поскольку уран — металл тяжелый, нетрудно вообразить себе реактор с удельным весом, превышающим средний удельный вес пород у поверхности Земли. Тогда, предоставленный самому себе, он станет погружаться в глубь нее в том случае, если сможет развить температуру выше температуры плавления окружающих пород.

Варьируя форму и размеры такого реактора, можно достичь приемлемой скорости погружения в Землю (примерно километр в год). Тогда на месте погружения образуется обширная область ( $\sim 0,1 \text{ км}^3$ ) разогретой земли, из которой можно черпать тепло, как на геотермальных станциях. Важно, что земные породы слабо активируются нейтронами реактора, а возникающие все же радиоактивные изотопы имеют короткий период полураспада. Быть может, на этом пути удастся решить одну из основных проблем атомной энергетики — захоронение радиоактивных отходов.

**А. М. Кутепов  
В. И. Кузнецов**

# Выбор направлений в фундаментальных исследованиях



**Алексей Митрофанович Кутепов**, член-корреспондент АН СССР, заведующий кафедрой процессов и аппаратов Московского института химического машиностроения. Специалист в области химической технологии. Область научных интересов — интенсификация химических процессов, безотходная технология. Автор многих работ в области химической технологии, теории процессов и аппаратов.



**Владимир Иванович Кузнецов**, доктор химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института истории естествознания и техники АН СССР, академик Международной академии истории науки. Специалист в области истории химии. Автор 16 монографий, в том числе: Эволюция представлений об основных законах химии. М., 1967; Диалектика развития химии. М., 1978; Химия и химическая технология. Эволюция взаимодействия. М., 1984.

**Т**РЕБОВАНИЕ опережающего развития фундаментальных научных исследований, содержащееся в решении XXVII съезда КПСС, имеет основополагающее значение для интенсификации общественного производства. Именно фундаментальные исследования, ориентированные на познание еще неизвестных глубинных закономерностей природы, могут привести к научным результатам, способным лечь в основание принципиально нового производства и открыть возможности резкого повышения производительности труда. В отличие от фундаментальных, прикладные исследования базируются на уже познанных законах природы и устоявшихся принципах, распространяют их вширь по фронту существующего материального производства и лишь совершенствуют его. Только фундаментальные исследования могут обеспечить такую степень интеграции материального и духовного производства, при которой отпадает необходимость преодолеть сопротивление, возникающее сегодня в процессе «внедрения» лабораторных результатов в промышленность.

Речь идет о создании высоко наукоемких<sup>1</sup> отраслей промышленности и — одновременно — индустриально развитых областей науки, в которых научные лаборатории с их малогабаритными, компактными установками способны выполнять функции промышленного производства и вырабатывать многотоннажную продукцию. В качестве примера можно привести недавно созданный в ГДР силами ученых этой страны и СССР лабораторный метановый плазмотрон объемом всего лишь 20 л, управляемый одним лаборантом (!), но производящий 75 т ацетилена в сутки, т. е. равный по производительности целому заводу. И сегодня такого рода научные достижения уже не призрак, а реальный ориентир развития науки и производства.

<sup>1</sup> По определению, принятому во многих странах, наукоемкой считается отрасль индустрии, в которой затраты на научные исследования и разработки превышают 5 % стоимости продукции.

Недаром поэтому теперь все настойчивее проводится в жизнь идея о приоритетном значении фундаментальной науки, предопределяющей выход общественного производства на качественно более высокий уровень. Однако реализация этой идеи зачастую происходит стихийно, без должного теоретического осмысления, которое в решении данной задачи особенно важно. Дело в том, что фундаментальная наука (и как банк накапливающейся информации, и как бесструктурная совокупность научных данных и процедур их получения). Поэтому обращение к ней как к чему-то многообещающему без учета ее структуры и составных частей чревато недостатками, подобными тем, которые присущи поискам ценных руд без знания законов рудообразования.

#### ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ХИМИЧЕСКОГО ЗНАНИЯ

Тревожным свидетельством наличия такого рода недостатков является резко снижающаяся эффективность фундаментальных исследований (проводимых высококвалифицированными научными силами) в одной из ведущих областей химии — области органического синтеза. На этот недостаток еще в 1950-х годах обращал внимание академик Н. Н. Семенов, тревогу которого тогда разделяли немногие. Теперь же этот недостаток стал особенно ощутимым и вызывает общую озабоченность. На вопрос о том, чем же он вызван, пожалуй, наиболее правильный ответ дают все те же соображения Семенова, приведенные недавно с учетом сегодняшнего состояния дел профессором Ростовского университета А. Ф. Пожарским.

Суть заключается в том, что у многих химиков нашей страны начиная с 1950—1960-х годов родилась не столь уж беспочвенная концепция, согласно которой эра классической органической химии (с органическим синтезом во главе угла) будто бы находится на закате; на первый план выдвигаются квантовомеханические расчеты структуры молекул и другие проблемы структурной химии. Концепция эта распространилась в широких кругах исследователей, потому что, с одной стороны, она опиралась на авторитет квантовой механики и количественные методы исследований, а с другой — позволяла мириться со слабой оснащенностью наших лабораторий, в особенности вузовских, при-

борами и реактивами. В результате же на древе нашей науки стали одна за другой появляться сухие ветви, а за упущения в управлении фундаментальной наукой нашей стране приходится и теперь расплачиваться миллионами инвалютных рублей, расходующихся на приобретение за рубежом недостающих химических товаров.

Эти упущения имеют глубоко идущие гносеологические корни. Дело в том, что в химии длительное время абсолютизировались классические представления о структурных теориях как вершине химических знаний. Эти теории в XIX в. действительно обеспечили триумфальный марш органического синтеза, а в начале XX в. стали основой ряда важнейших отраслей химической промышленности. Проникновение в химию с 1930—1940 гг. принципов квантовой механики послужило физическим обоснованием феноменологических структурных теорий и еще более укрепило представления об их фундаментальности, эвристичности, незаменимости. Никаких идей об иерархии уровней химического знания, о перспективах их развития, выходящих за пределы изучения структуры молекул, химия, по крайней мере до 1950-х годов, не имела.

Но восхищение достоинствами структурной химии не могло быть долговечным. Развитие автомобильной промышленности, авиации, энергетики и приборостроения в 1930—1950 гг. выдвинуло новые, необычные требования — нужны были материалы со строго заданными свойствами и в невиданных масштабах: высокооктановое моторное топливо, особые смазки, специальные каучуки и пластмассы, высокостойкие изоляторы, жаропрочные органические и неорганические материалы, полупроводники. Для получения этих материалов способы, основанные на структурных теориях, были уже непригодны: они не обеспечивали экономически приемлемых выходов продуктов, ориентировались на сырье растительного происхождения, в том числе пищевые ресурсы, были лишены возможностей гибкого управления технологическими процессами. Лежащий в основе этих способов классический тезис о зависимости свойств любого вещества от его состава и структуры выполнялся лишь наполовину. Действительно, свойства вещества, вступающего во взаимодействие в ходе химической реакции с другим веществом, зависят еще от состава и структуры последнего. Но вторым веществом может оказаться не только планируемый реагент, но и любые другие, оказавшиеся в зоне реакции.

Семенов первым в нашей стране и од-

ним из первых ученых вообще в 1954 г. поставил перед химиками задачу перехода на новый более высокий уровень развития химии, на котором молекула реагента должна рассматриваться лишь как одна из составных частей в общей системе, состоящей из сорегента, стенок реактора, катализаторов, растворителей, примесей и любых других веществ — участников химического процесса.

С тех пор прошло около 35 лет. За это время постепенно, на основе многочисленных фактических данных, в том числе достижений в области химической кинетики, полученных школой Семенова, складывались представления об иерархической структуре химии. Впрочем, первый шаг к выяснению этой структуры был сделан еще Д. И. Менделеевым, высказавшим мысль о том, что отыскание единого и общего в изменяемом и частном составляет основную задачу познания<sup>2</sup>. Для химии таким единым и неизменным является проблема определения свойств как ключ к решению производственной задачи получения материалов с заданными свойствами. Эта проблема — стержень химии. Ее важнейшей особенностью является то, что она имеет всего четыре способа решения — свойства веществ, а отсюда и способы их изменения, химическая технология зависят от: 1) элементного состава; 2) структуры; 3) кинетики реакции; 4) способности к самоорганизации. Со сменой способов решения этой проблемы можно связать ступени развития химии. При этом химия и химическое производство предстают как единая развивающаяся система, включающая четыре иерархически связанных уровня развития химических знаний: 1) учение о составе; 2) структурная химия; 3) учение о химическом процессе; 4) эволюционная химия<sup>3</sup>.

### ПРОБЛЕМА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Чтобы представить себе особенности этих уровней, в качестве примера рассмотрим решение одной и той же проблемы — синтеза каучука — на трех верхних уровнях.

В 1920—1930 гг., когда возникла острейшая потребность в резине для авиа- и авто-

промышленности, а капиталистические страны наложили запрет на ее продажу, химикам нашей страны удалось разработать способ синтеза каучука. Этот успех во всем мире был признан как величайшая победа фундаментальной науки. Уже в начале 1930-х годов в СССР было налажено производство этого ценнейшего стратегического продукта. Но затраты на него были необычайно велики: сотни тысяч тонн зерна или картофеля шли на приготовление этилового спирта, из которого с эффективностью 28 % получали мономер дивинил, а из него — каучук. С учетом производства сельскохозяйственного сырья, на получение каучука затрачивался в год труд не менее 150—200 тыс. человек. Других технологических и экономических более эффективных способов производства каучука тогда не было и не могло быть в силу ограниченности достигнутого уровня развития химии.

На новом уровне химических знаний, который в 1950-х годах обосновал Семенов, каучук производили из мономеров, получаемых из нефтяного сырья. Этот путь обеспечивает высокий рост производства различных видов синтетического каучука при затратах рабочей силы и энергии в 20—30 раз меньше и полном отказе от пищевого сырья. Однако и это еще не предел. Производительность труда на химических заводах можно увеличить в сотни раз.

В результате фундаментальных исследований на уровне эволюционной химии теперь в принципе уже доказано, что громоздкие промышленные установки для получения мономеров, каждую из которых обслуживают 180—200 рабочих, можно заменить аппаратами плазмопиролиза той же производительности, но объемом всего в 1 м<sup>3</sup>, управляемыми одним-двумя рабочими. Это почти фантастика, но она уже приближается к промышленной реализации: такие установки прошли лабораторные испытания. При этом энергозатраты на 1 кг продукции сокращаются с 5—6 до 3 кВт·ч.

В настоящее время в химии фундаментальные исследования осуществляются на всех четырех уровнях. Но на первых двух они приводят к результатам, имеющим значение в основном лишь для экстенсивного развития химического производства. На третьем уровне они обеспечивают интенсификацию производства преимущественно за счет увеличения единичных мощностей промышленных агрегатов. Например, старый агрегат по производству аммиака из азота воздуха и водорода, получаемого из метана, мощностью 200 тыс. т/год обслуживают 810 рабочих, а агрегат

<sup>2</sup> Менделеев Д. И. Избр. соч. Т. II. М.; Л., 1934. С. 381.

<sup>3</sup> Четвертый уровень развития химии называют также «учением об эволюции неравновесных химических систем» или «обобщенной (неравновесной) химической кинетикой», ставшей теоретическим основанием плазмохимии.

новой конструкции мощностью 400 тыс. т/год — всего 70 рабочих. На четвертом же уровне фундаментальные исследования приводят к результатам, обеспечивающим интенсификацию производства за счет принципиально новых и, как правило, гибких и безотходных технологий. Именно в результате таких исследований установлено, например, что для производства азотных удобрений значительно выгоднее использовать окислы азота, чем аммиак. Сырьем для окислов азота служит азот и кислород воздуха, а это полностью устраняет предварительное и дорогостоящее производство водорода из метана для синтеза аммиака. Энергозатраты на тонну продукции уменьшаются в 2—3 раза, а емкость реакторов на единицу мощности сокращается в 10—15 раз<sup>4</sup>.

В результате исследований на эволюционном уровне ученые Института катализа Сибирского отделения Академии наук СССР внесли коренные изменения в познание основных закономерностей каталитических процессов и, как следствие этого, — в химическую технологию. Уже созданы основы так называемой нестационарной технологии<sup>5</sup>. Жесткие функциональные связи между узлами химических установок, громоздкую аппаратуру, расточительное энергопотребление и неудобства управления процессами оказалось возможным заменить компактной аппаратурой с гибкими, механизмами регулирования энергетического самообеспечения и самоподдержания процессов. Эффективность такого рода изменений огромна, и она уже реализуется в Межотраслевом научно-техническом комплексе (МНТК) «Катализатор», созданном в 1986 г. и включающем научные учреждения и предприятия разных ведомств.

Таким образом, наиболее важных открытий для интенсификации химического производства следует ожидать от фундаментальных исследовательских работ на третьем и особенно на четвертом уровнях.

### УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ В НАУКЕ

Но иерархия уровней научного знания как критерий определения наиболее

перспективных направлений фундаментальных научных исследований распространяется не только на химию. Значительно раньше, чем в химии, он стал действовать в физике. Открытие в 1918 г. Н. Бором методологического принципа соответствия послужило тогда мощным стимулом к выявлению по крайней мере двух первых ступеней в развитии физики: ньютоновой и волновой механики. И этим немедленно «воспользовался» В. Гейзенберг, построивший иерархическую лестницу из пяти «концептуальных систем физики», или пяти уровней развития физических знаний, продвижение вверх по которой сулило обнадеживающие перспективы<sup>6</sup>. Нет необходимости подробнее упоминать о том, что с 1920-х годов дальнейшее развитие фундаментальных исследований по физике базировалось на активном осознании логики развития науки, в том числе на использовании иерархических моделей различных ступеней познания.

Как в советской, так и в зарубежной литературе иерархическая структура научных знаний рассматривалась применительно и к другим отраслям естествознания. Отмечалось, в частности, что современная биология поднялась на несравненно более высокие уровни своего развития, включив в себя принципиально новые, по отношению к классическим, идеи о целостности, системности, органическом детерминизме и т. д. Можно заключить поэтому, что и биологи подошли к конкретным иерархическим моделям своей науки, способным адекватно отразить и ее историю, и ее будущность как смену экстенсивных путей ее развития интенсивными, как последовательность конкретных научных революций, вызвавших появление биологических знаний все более высокого порядка.

Наконец, сегодня уже можно смело говорить о принципиально новом подходе к изучению закономерностей развития всего естествознания в целом. В основу этого подхода (согласно работам лауреата Нобелевской премии И. Пригожина), очевидно, следует положить различные взгляды на решение проблемы пространства и времени. В истории естествознания, возникшего в Новое время (физики, химии, биологии, наук о небе и Земле), отчетливо видны два первых уровня его развития: ньютоновская и релятивистская механика. Если говорить об этом очень кратко, то на первом уровне доминирует пространство, а на втором — прос-

<sup>4</sup> См.: Полак Л. С., Михайлов А. С. Саморазвитие неравновесных физико-химических систем. М., 1983.

<sup>5</sup> О нестационарных технологиях см.: Матрос Ю. Ш. // Журн. Всес. хим. об-ва. 1977. Т. XXII. № 5. С. 576—580.

<sup>6</sup> См.: Гейзенберг В. Физика и философия. М., 1963.

транство и время равноправны. Но и на том и на другом уровнях господствует доктрина всеобщей обратимости процессов, происходящих в природе; необратимость же представляется как частность, ведущая к возрастанию энтропии, от упорядоченности к хаосу.

Однако сегодня все настойчивее и доказательнее раздаются голоса естествоиспытателей о ведущей роли времени в характеристике природных процессов. Как ни странно, но только недавно естествоиспытатели поняли, что нельзя не учитывать однонаправленности времени. Тезис о преобладании необратимости в природных процессах становится основой естественнонаучной идеологии. И свое положение он завоевывает не только в теоретической полемике, но и в новых эволюционных теориях в физике, химии, биологии, обеспечивающих рождение принципиально нового производства и повышение производительности труда в сотни и тысячи раз. Главным же действенным началом этих теорий является принцип историзма, ставший эмблемой нового — третьего уровня развития естествознания.

#### ПРИНЦИП ИСТОРИЗМА В НАУКЕ

Замечательной особенностью научных знаний на уровне эволюционных теорий является синтез в них новейших достижений в «противоположных» областях — области экстремальных состояний (для химии —  $(4-10) \cdot 10^3$  °С) и области нормальных давлений и температур — «резервуара жизни». Объединяет эти две крайности принцип историзма, который до недавнего времени развивался только на материале эволюционной биологии и общественных наук. Сегодня же он стал руководящим принципом и в химии, и в физике, особенно после публикации работ И. Пригожина по термодинамике неравновесных процессов<sup>7</sup>. Мы знаем, что длительность элементарного акта химических реакций может достигать  $10-13$  с, но в условиях, при которых протекают химические процессы в современной заводской практике, такие скорости исключаются целым рядом неблагоприятных факторов, в частности равновесием прямой и обратной реакций: вторая снижает скорость первой до разрешенного термодинамикой предела.

Экстремальные факторы или каталитическое воздействие, моделирующее «лабораторию» живого организма, почти полностью устраняют обратимость реакций, и благодаря этому возникают условия для достижения максимально возможной скорости. Вот почему реактор объемом в  $1 \text{ м}^3$ , обслуживаемый одним человеком, в принципе может заменить целый завод с несколькими тысячами рабочих.

Эволюционные идеи сегодня стремительно охватывают все области естествознания. Однако еще в 1950-х годах ни в одной отрасли естествознания, за исключением биологии, не возникал вопрос о происхождении «видов» — электронов, атомов, молекул и т. п. Все эти «виды» конструировались из менее сложных частиц, как здание из кирпичей. «Для нас, убежденных физиков, — писал А. Эйнштейн, — различие между прошлым, настоящим и будущим не более чем иллюзия, хотя и навязчивая»<sup>8</sup>. Только биолог не мог сконструировать растение или животное, поэтому он вынужден был прибегать к принципу историзма и искать пути эволюции материи. Но уже в 1960-х годах химия первой обратилась к решению эволюционных проблем, без чего она просто не могла продвигаться вперед в изучении качественных превращений вещества.

К настоящему времени по проблемам эволюции опубликовано великое множество научных и популярных статей, монографий, сборников. Однако жизнь требует постановки таких научно-исследовательских работ, которые, с одной стороны, углубляли бы наши знания о конкретных механизмах эволюции материальных систем (что необходимо для резкого повышения эффективности производства), а с другой — становились бы основой новых прогрессивных технологий. Думается, что такие работы следует форсировать по крайней мере в двух направлениях: во-первых, в направлении интенсификации производства новых материалов с заданными свойствами в экстремальных условиях, обеспечивающих необратимость процесса, или «далеких от равновесия», как их именуют в неравновесной термодинамике; во-вторых, по пути освоения опыта живой природы, накопленного в ходе биологической эволюции, в производстве ферментов, гормонов, стимуляторов роста растений, кормовых белков и вообще продуктов органического синтеза, в развитии биотехнологии, в моделировании фотосинтеза и т. д.

<sup>7</sup> См., напр.: Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М., 1986.

<sup>8</sup> Цит. по: Пригожин И. От существующего к возникающему. М., 1985. С. 203.

## КАК СОЗДАТЬ ТЕХНОЛОГИЮ ЗАВТРАШНЕГО ДНЯ

К первому направлению исследований следует отнести весь тот теперь уже довольно обширный комплекс пионерских работ, который связан с использованием плазмы, лазерного излучения, метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и т. п. В этом отношении показательные работы в области плазмоймии, о которых упоминалось выше. Сегодня можно с уверенностью говорить о вторжении в производство плазменной технологии как революционизирующем факторе. С помощью плазмотронов в товарную продукцию начинают превращать всевозможные отходы химической промышленности. Плазму применяют для резкого ускорения варки стали (следует заметить, что первые в мире плазменные печи созданы совместными усилиями ученых СССР и ГДР). В сочетании с вакуумно-индукционной плавкой плазма позволяет получать особо качественные стали из некондиционного сырья. Американская фирма «Малти-Арк», которая приобрела права на создание советской вакуумно-плазменной установки «Булат» и производство инструментов с упрочняющим покрытием, наносимым с помощью этой аппаратуры, подчеркивает в своем рекламном проспекте: «Это не просто усовершенствование. Это технологическая революция. Это технология завтрашнего дня для сегодняшней продукции».

Ориентиром в исследованиях того же направления могут служить работы в области термической обработки, резки, сварки и поверхностного упрочнения металлов и металлокерамики, где применяют такие мощные носители энергии, как электронные пучки и электродуговые плазмотроны, а за счет применения лазеров добиваются повышения плотности энергии в миллионы раз. Например, Всесоюзным научно-исследовательским институтом электротермического оборудования (Москва) совместно со Специализированным конструкторским бюро Саратовского завода электротермического оборудования разработан метод ионно-плазменной обработки поверхности инструментов, износостойкость которых увеличивается в четыре раза. Плазменно-механическая обработка марганцевых сталей и титановых сплавов по сравнению с их обычной закалкой повышает производительность труда в 10—15 раз<sup>6</sup>.

Поистине широчайшие перспективы интенсификации производства новых материа-

лов создает метод СВС. В отличие от традиционных методов спекания металлических порошков он позволяет резко сократить трудовые и энергетические затраты в производстве металлокерамики, намного упрощает аппаратуру и совершенно устраняет потребность в нагреве и прессовании порошков.

Конечно, приведенные примеры свидетельствуют лишь о самых первых шагах в решении фундаментальных проблем науки о необратимых процессах, происходящих в экстремальных условиях. В повестке дня — не только использование этих процессов в технике, но и более глубокое исследование самих явлений необратимости и самоорганизации, еще совсем недавно «запрещенных» классической термодинамикой.

Что касается второго направления исследований, то оно охватывает более широкий круг проблем, составляющих новый уровень естественнонаучных знаний. Сюда включаются проблемы бионики в широком смысле этого слова: моделирование биокатализаторов, разработка абиотических каталитических систем и нестационарной технологии, мембранной технологии, биотехнологии, химии иммобилизованных систем, биогенеза во всех его аспектах, имитации зеленого листа для получения с помощью солнечного (в том числе рассеянного) света из воды высококалорийного и экологически совершенного топлива — водорода. Решение этих проблем находится лишь в начальной стадии, но уже сегодня приносит свои плоды. Оно служит важной предпосылкой не только ускорения внедрения лабораторных результатов в промышленность, но и укрепления связей науки с производством, в частности создания МНТК и НПО как органичной целостности исследовательских и производственных элементов.

Жизнь показала, что в МНТК и НПО цикл создания и внедрения новой техники и технологии в нашей стране сократился в 1,5—2 раза. Резервы здесь огромны. И разветвление фундаментальных научных исследований на высших ступенях развития современного естествознания может служить мощным фактором приведения этих резервов в действие.

Конечно, критерии выбора наиболее перспективных направлений фундаментальных исследований не ограничиваются только этими факторами. К таким критериям

<sup>6</sup> Марчук Г. И. // Наука и жизнь. 1985. № 6. С. 6; № 7. С. 3—5; № 8. С. 2—7; № 9. С. 2—5.

относятся еще экономические, социальные и другие, учет которых, однако, невозможен вне связи с закономерностями развития науки. Поэтому главная цель настоящей статьи — показать ошибочность упрощенного, чересчур абстрактного подхода к вопросу о приоритетной роли фундаментальной науки, обратить внимание на диалектический характер ее развития, изучение которого позволяет видеть наиболее вероятные области революционизирующих научных открытий.

В заключение хотелось бы обратить внимание еще на одну важную сторону проблемы выбора наиболее перспективных направлений развития отдельных естественных наук. В решении этой проблемы должны быть заинтересованы не только ученые-исследователи, но в не меньшей мере и ученые-педагоги. Наши вузы сегодня готовят инженеров и научных работников начала третьего тысячелетия, когда наука и производство будут существенно иными, чем сейчас. Обучаем же мы студентов в основном по учебникам 1950—1960-х годов, в лучшем случае информируя их о главных достижениях науки 1980-х годов. Что же надо сделать, чтобы гибким технологиям, внедря-

емым сегодня в производство, соответствовали и гибкие методы обучения и воспитания будущих специалистов? Ответ однозначен. Во-первых, ни в учебниках, ни в лекциях нельзя допускать абсолютизации данных современной науки, ибо «то, что ныне признается истиной, имеет свою ошибочную сторону, которая теперь скрыта, но со временем выступит наружу; и совершенно так же то, что признано теперь заблуждением, имеет истинную сторону...»<sup>10</sup> Наука же 1990-х годов, несомненно, принесет такого рода изменения. Во-вторых, ученые — преподаватели вузов — должны видеть ближайшие перспективы развития своей науки. А иного надежного пути, кроме изучения и диалектической экстраполяции ее развития, кроме восхождения от диалектических абстракций к конкретному преломлению их в логической иерархической структуре данной науки, для этого не существует<sup>11</sup>. Только с этих позиций возможен выбор направлений в фундаментальных исследованиях.

<sup>10</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 21. С. 303.

<sup>11</sup> Там же. Т. 20. С. 538; 565—570.

## НОВОСТИ НАУКИ

### Химия

#### Марганец при фотосинтезе

Кислород из воды при фотосинтезе зеленых растений выделяет так называемая фотосистема II, в которой обязательно присутствует марганец. В модельных экспериментах установлено, что каталитическое выделение кислорода из воды в присутствии соединений переходных металлов (кобальта, железа, марганца, никеля, меди и других) проходит через стадию формирования комплексов, включающих ионы металлов и воду. Но почему именно марганец был включен в природную фотосистему в процессе эволюции?

Е. И. Кнерельман с со-

трудниками (Институт химической физики АН СССР, Черноголовка) изучали модельную реакцию выделения кислорода из воды под действием окислителей различной силы: более сильного —  $\text{Ru}(\text{bpy})_3^{3+}$ , где  $\text{bpy}$  — 2,2'-дипиридил, и более слабого —  $\text{Fe}(\text{bpy})_3^{3+}$ , подобно первичному акцептору электронов природного фотосинтеза. В качестве катализаторов использовались комплексы марганца, железа, никеля, кобальта и меди, закрепленные на липидной мембране. Показано, что более сильный окислитель способен выделять кислород в присутствии комплексов всех металлов, тогда как более слабый только в присутствии комплексов марганца, никеля и кобальта. Существенно, что каталитические свойства марганца при встраивании его в мембрану усиливаются. Марганец —

наиболее распространенный элемент из упомянутых (его содержание в конкрециях Мирового океана составляет 18,6 %, а меди и никеля — 0,66 и 0,45 % соответственно). Кроме того, марганец образует очень непрочные комплексы с различными соединениями, и это облегчает его ввод в биомембраны в виде катиона. Осаждаясь на липидной мембране, марганец сохраняет ее структуру, в то время как другие переходные металлы вызывают агрегацию мембранных частиц. Совокупность данных, полученных в модельных экспериментах, подтверждает функциональную роль марганца, включенного в природную фотосистему.

Доклады АН СССР. 1988. Т. 299.  
№ 2. С. 388—391.

В. В. Казютинский  
Ю. В. Балашов

# Антропный принцип: история и современность



Вадим Васильевич Казютинский, кандидат философских наук, старший научный сотрудник Института философии АН СССР. Специалист в области методологии науки. Область научных интересов — философские проблемы астрофизики, космологии и поиска вневременных цивилизаций. Автор ряда книг, брошюр и статей по этим проблемам. Совместно с В. А. Амбарцумяном в «Природе», опубликовал статью: Революция в современной астрономии (1970, № 4).



Юрий Владимирович Балашов, кандидат философских наук, ассистент кафедры философии Московского физико-технического института. Специалист в области философских вопросов естествознания. Область научных интересов — философские и методологические проблемы космогонии.

**К**ОСМОЛОГИЯ всегда отличалась склонностью ставить вопросы, далеко выходящие за рамки этой науки. В последние два десятилетия все большее внимание в этом плане привлекает антропный космологический принцип. Выход фундаментальной монографии Дж. Барроу и Ф. Типлера<sup>1</sup> зафиксировал, что интерес к антропному принципу (АП) достиг кульминации, о чем свидетельствуют, в числе прочего, около сотни рецензий на данную книгу, опубликованных в ведущих физических, биологических, философских, научно-популярных и религиозно-теологических изданиях. Далеко не каждая научная тема вызывает столь бурные и противоречивые дискуссии. В чем же причины такого внимания?

Их по крайней мере две. Во-первых, многие хотели бы видеть в АП ответ на вопрос: почему природа устроена именно так, а не иначе? Согласно некоторым версиям АП, наша Вселенная обладает наблюдаемыми нами свойствами по той причине, что во Вселенной с иными свойствами наблюдателя бы просто не было и, следовательно, некому было бы задавать вопросы об устройстве мироздания. Отсюда иногда заключают, что во Вселенной «по-видимому, действует скрытый принцип, организующий ее определенным образом». Он расценивается даже как «единственная попытка научно объяснить кажущуюся таинственной структуру физического мира»<sup>2</sup>.

Во-вторых, АП затрагивает одну из вечных философских тем — идею единства человека и Вселенной. Но какова природа этого единства? На этот вопрос даются диаметрально противоположные ответы, выражаемые часто в остро парадоксальной, даже эпатажной форме, что лишь подогревает дискуссии. Далеко не все авторы отзываются об АП в позитивном духе. Некоторые предпочитают вовсе обходить его молчанием. Это вполне понятно, поскольку АП выглядит довольно необычно среди других научных принципов. Но иногда, впрочем,

<sup>1</sup> Barrow J. D., Tipler F. J. The Anthropic Cosmological Principle. Oxford, 1986.

<sup>2</sup> Дэвис П. Случайная Вселенная. М., 1985. С. 132

критические замечания сводятся к тезису: АП либо тривиален, либо неверен. Мы стараемся показать, что это не так.

### ПРИНЦИП КОПЕРНИКА — БРУНО И АНТРОПНЫЙ ПРИНЦИП

Один из авторов АП Б. Картер считает основанный на нем подход определенной реакцией против чрезмерно слепого следования «принципу Коперника». По Копернику, замечает он, «мы не должны, не имея на то оснований, предполагать, что занимаем привилегированное центральное положение во Вселенной». Заметим, что этот тезис, строго говоря, правильнее было бы связывать с именем Бруно, а не Коперника. Последний лишил Землю выделенного положения во Вселенной, однако наделил этим статусом Солнце. В рассуждении Картера речь идет о равноправии, эквивалентности всех токов или мест во Вселенной. Такое миропонимание, нашедшее отражение и в современном космологическом принципе, непосредственно восходит к учению Бруно о «множественности миров». Несомненно, впрочем, что Коперник стоит у истоков этой идейной эволюции, точнее — революции. К сожалению, продолжает Картер, возникла тенденция «расширить этот принцип до весьма сомнительной догмы, суть которой заключается в том, что наше положение не может быть привилегированным ни в каком смысле». Но эта догма, по мнению Картера, несостоятельна, если принять во внимание, что «а) необходимой предпосылкой нашего существования являются специально благоприятные условия (температура, химический состав окружающей среды и т. д.); б) Вселенная эволюционирует и не является пространственно однородной». Отсюда следует, что «хотя наше положение не обязательно является центральным, оно неизбежно в некотором смысле привилегированное»<sup>3</sup>. В чем же состоит эта привилегированность? Иногда ее сводят к наличию на Земле разумной жизни. Однако о «выделенности» Земли в указанном смысле стоило бы говорить лишь при условии, что наша цивилизация является единственной во Вселенной, как считал, например, английский биолог А. Уоллес, который, на наш взгляд, впервые сформулировал АП на языке естество-

вознания. Но большинство исследователей, занимающихся АП, придают идее нашей выделенности во Вселенной совсем иное значение, имея в виду связь процессов формирования во Вселенной сложно организованных структур (вплоть до человека) не только с локальными, но, прежде всего, с глобальными свойствами расширяющейся Вселенной.

### РАЗВИТИЕ АНТРОПНОГО ПРИНЦИПА

АП был сформулирован в естествознании, но он имеет длительную мировоззренческую предысторию, начало которой теряется в истоках человеческой культуры. Идея единства человека и Вселенной разрабатывалась во многих философских и религиозных учениях. В ряде случаев (например, в восточной философии) эта идея принимала форму «растворения» человека в мире. В других, наоборот, форму антропоцентризма (Аристотель) или «предустановленной гармонии» (Лейбниц). На рубеже XIX—XX вв. проблема единства человека и Вселенной стала все больше привлекать внимание естествоиспытателей, что почти сразу привело к появлению формулировок, словесно очень близких к современным версиям АП. Разумеется, помимо формулировок важен концептуальный фон, на котором раскрывается их смысл, — научная картина мира. Поскольку на протяжении XX в. этот фон радикально изменился, современные трактовки АП существенно богаче его ранних формулировок, хотя бы они и выражались сходными словами.

Собственно научная история АП включает, на наш взгляд, три этапа, которые за исключением лучших терминов можно условно обозначить так: дорелятивистский, макро-космопический-релятивистский и современный. Последний выделен тем, что здесь в контекст антропных аргументов впервые вошла связь микрофизических параметров нашего мира с его глобальными свойствами.

Первый этап открывается, как уже было отмечено, работами Уоллеса, в которых мы находим редкую для эпохи классического естествознания попытку возрождения телеологии и вполне аристотелевского по духу антропоцентризма. Анализируя развитие концепции множественности обитаемых миров к концу XIX в., Уоллес справедливо отметил, что она не подкрепляется конкретными доказательствами. Поставив своей целью заново обосновать концепцию астро-

<sup>3</sup> Картер Б. Совпадение больших чисел и антропологический принцип в космологии // Космология. Теории и наблюдения. М., 1978. С. 369—370.

номического антропоцентризма, отвергнув коперниканской революцией, Уоллес стремился найти конкретные аргументы в ее пользу из анализа современной ему естественнонаучной картины мира. Он подчеркивал, что одним из важнейших результатов астрономии является «установление факта единства всей этой обширной, видимой нами Вселенной», которая состоит из одних и тех же химических элементов, подчиняется одним и тем же физическим законам. Уоллес присоединялся также к астрономам, которые в условиях крайне немногочисленных достоверных знаний о крупномасштабной структуре Вселенной считали фактом наше почти центральное положение в ней. Далее Уоллес доказывал, что возможность возникновения где-либо во Вселенной жизни и разума зависит от большого числа взаимосвязанных условий. Его аргументация в этом вопросе в основном сохраняет значение до сих пор, как и сделанный им вывод, что «любая другая планета в Солнечной системе, кроме нашей Земли, необитаема». вполне современно звучит и следующий вывод Уоллеса: «Почти столь же вероятно, что никакое другое Солнце не имеет обитаемых планет», т. е. наша человеческая цивилизация — единственная во Вселенной.

Но что самое поразительное — Уоллес завершает свои рассуждения выводом, в котором легко угадывается, основная идея АП: «Человек — этот венец сознательной органической жизни: — мог развиться здесь, на Земле, только при наличии всей этой чудовищно обширной материальной Вселенной, которую мы видим вокруг нас». Далее Уоллес высказывает мысли, предвосхищающие современные дискуссии вокруг АП, — идею «случайной Вселенной» и предлагаемые в связи с нею телеологические аргументы. «Но если мы и признаем верным это заключение, то от этого еще нет резонов тревожиться ни ученым, ни религиозным людям, потому что и те, и другие, каждый по-своему, легко справятся с этим положением... будут объяснять этот факт счастливым стечением обстоятельств».

Уоллес высказывает на уровне знаний своего времени идею множественности вселенных, по которой наш мир считается «лучшим из миров», ибо в нем случайно возникло сочетание факторов, благоприятное для образования сложных структур. «В бесконечном пространстве может быть бесконечное число вселенных», причем «могут быть и, вероятно, существуют, другие вселенные, состоящие из какой-нибудь другой материи, подчиняющиеся другим зако-

нам. Но позиция самого Уоллеса приводит его к телеологическому истолкованию сформулированного им АП. Он относит себя к тем, кто усматривает в эволюции «лишь дополнительное доказательство высшего превосходства духа», и заключает: «Когда им покажут, что есть единственный и высший продукт этой обширной Вселенной, им стоит сделать только еще один шаг, чтобы уверовать, что вся Вселенная в действительности явилась для этой цели»<sup>1</sup>. Таким образом, Уоллес четко различал естественнонаучное содержание своей идеи о необходимости для появления человека огромной по масштабу Вселенной со сложной структурой и строго определенным набором взаимосвязанных свойств, и возможность включения этой идеи в диаметрально противоположные мировоззренческие контексты.

Дальнейшее развитие познания, вопреки надеждам Уоллеса, окончательно похорило астрономический антропоцентризм и показало, что естественные науки не нуждаются в концепции, согласно которой природа эволюционирует в соответствии с присущими ей целями. Экзотически выглядели взгляды Уоллеса и на фоне почти всеобщего признания идей Бруно. Именно эти последние послужили на рубеже XIX—XX вв. одним из исходных моментов принципиально нового понимания Вселенной как «мира человека», выдвинутого в концепции антропокосмизма, прежде всего в «космической философии» К. Э. Циолковского. Она была сложным, неоднозначным явлением. Размышления Циолковского о месте и роли высоко развитых цивилизаций в эволюции Вселенной, в основе своей стихийно-материалистические, были иногда включены в религиозно-мистический контекст. Объясняется это, в числе прочего, социокультурными чертами переходной эпохи, в которую жил Циолковский. Постоянно обращаясь к проблеме «причины» или «смысла» космоса, Циолковский еще на заре XX в. сформулировал эту проблему точно так же, как она ставится в космологии наших дней: «Если мы скажем, что мир всегда был, есть и будет, и дальше этого не захотим идти», то «трудно избежать вопроса: почему все проявляется в той, а не в другой форме, почему существуют те, а не другие законы природы? Ведь возможны и другие...» Это — не что иное, как постановка проблемы, активно обсуждаемая сегодня: почему Вселенная такова, какой мы ее наблюдаем? В поисках решения

<sup>1</sup> Уоллес А. Р. Место человека во Вселенной. СПб, 1904. С. 267—290.

этой проблемы Циолковский писал, что поскольку человеческое существование не случайно, а имманентно космосу, «тот космос, который мы знаем, не может быть иным», т. е. в свою очередь дал вполне ясную формулировку АП в космологии<sup>5</sup>.

Второй этап разработки АП охватывает 50—60-е годы. На этом этапе впервые выясняются конкретные макроскопические свойства Вселенной, без которых появление человека в ней было бы невозможно. Известный советский космолог А. Л. Зельманов еще в 1955 г. отметил связь между такой особенностью окружающей нас Вселенной, как наличие условий, допускающих развитие жизни, разума, космических цивилизаций, и иными ее особенностями, прежде всего — достаточно быстрым и длительным ее расширением. Позднее Зельманов выразил эту мысль весьма ярко: «...возможность существования субъекта, изучающего Вселенную, определяется свойствами изучаемого объекта... Мы являемся свидетелями процессов определенного типа потому, что процессы другого типа протекают без свидетелей»<sup>6</sup>.

Разработку аналогичных идей принял также советский астроном Г. М. Идлис. В 1956 г. он также поставил вопрос о связи основных черт наблюдаемой астрономической Вселенной с проблемой возникновения в ней жизни. Анализируя эту проблему, Идлис рассматривал необходимые для эволюции жизни макроскопические факторы, например подходящие температурные условия на планете, обращаясь вокруг звезды определенного типа, объединение звезд в галактики. В этом контексте упоминается, в частности, расширение Метагалактики, без которого температура пылинок в космическом пространстве оказалась бы чрезмерно высокой и их конденсация стала бы невозможной. Напротив, расширение Метагалактики благоприятствует соответствующим эволюционным процессам, и, таким образом, «расширяющаяся Метагалактика вполне можно считать типичной обитаемой системой галактик». В конечном итоге отсюда вытекает ряд общих

выводов о связи макросвойств Вселенной с условиями для жизни. «Мы наблюдаем заведомо не произвольную область Вселенной, а ту, особая структура которой сделала ее пригодной для возникновения и развития жизни». По справедливому замечанию Идлиса, изложенный вывод по существу возрождает флуктуационную гипотезу Больцмана, согласно которой явная неравновесность состояния наблюдаемой нами части мира есть следствие гигантской флуктуации в равновесной системе.

Отличие аргументов Зельманова и Идлиса от современного понимания АП состоит в том, что ими рассматривались только макроскопические условия для эволюционного процесса, в частности из крупномасштабных свойств Метагалактики, без которых возникновение жизни вряд ли оказалось бы возможным, выделяется лишь ее расширение. Тонкая связь параметров микро- и мегамира еще не включалась в число таких объектов. Наиболее глубокие и принципиальные аспекты антропных аргументов появились лишь в новой познавательной ситуации, для которой характерно все более тесное взаимопроникновение физики мега- и микромира. Этот интереснейший симбиоз восходит к пионерским работам Г. Гамова и его коллег по космологическому нуклеосинтезу. Теперь же, на наших глазах, углубляется исключительно плодотворное взаимодействие космологии ранней Вселенной и «объединительных» теорий физики элементарных частиц. Именно с указанными процессами объединения связаны современные версии АП.

Непосредственные их истоки, впрочем, следует искать не на магистральном пути физики XX в., а на боковых «тропинках», в свое время почти не замеченных, но (как это часто бывает в истории науки) получивших во многом неожиданное и яркое продолжение уже в наши дни.

В 30-е годы ряд крупнейших физиков заинтересовался вопросом (праздным, как считали многие) о происхождении численных значений фундаментальных физических констант, таких как гравитационная постоянная, спектр масс элементарных частиц и др. Так, А. Эддингтон посвятил последние годы жизни грандиозной попытке обосновать «фундаментальную теорию», в которой численные значения некоторых безразмерных комбинаций физических констант, замечательным образом группирующихся вокруг «больших чисел» —  $10^{40}$  и  $10^{80}$ , выводились бы чисто дедуктивно, без

<sup>5</sup> Циолковский К. Э. Этика и естественные основы нравственности. 1902—1903. Архив АН СССР. Ф. 555. Оп. 1. Ед. хран. 372. Л. 93; Он же: Простые мысли о вечности, материи и чувстве. 1933. Архив АН СССР. Ф. 555. Оп. 1. Ед. хр. 495. Л. 13.

<sup>6</sup> Зельманов А. Л. Некоторые философские аспекты современной космологии и смежных проблем физики // Дialeктика и современное естествознание. М., 1970. С. 396.

<sup>7</sup> Идлис Г. М. // Изв. Астроф. ин-та КазССР. 1958. 7. С. 52.

обращения к каким бы то ни было эмпирическим данным. Более реалистичная попытка объяснить совпадения «больших чисел» была предпринята в 1937 г. П. Дираком<sup>8</sup>. Будучи убежденным в эмпирическом прохождении природных констант, Дирак считал, что их величины обусловлены некоторым универсальным фактором, сказывающимся на всех эмпирических ситуациях, — возрастом фридмановской Вселенной. Выразив этот возраст, равный примерно  $T_u \sim 10^{10}$  лет, в атомной шкале времени  $\tau = e^2/m_e c^3$ , Дирак получил безразмерное число  $T = T_u/\tau \sim 10^{40}$ . Согласно этой гипотезе Дирака, любая другая безразмерная комбинация физических констант, равная по порядку величин  $(10^{40})^n$ , должна быть равна  $T^n$ . Поскольку  $T$  меняется с течением космологического времени, соответствующим образом должны меняться и все другие «большие числа». Таким образом, совпадение «больших чисел» объяснялось их связью с возрастом Вселенной (а следовательно, и между собой).

Полемизируя с Дираком, Р. Дикке предположил в 1961 г. другое объяснение совпадения двух «больших чисел» —  $T$  и  $\alpha_G^{-1} = \hbar c/Gm_p^2 \sim 10^{40}$  — обратной гравитационной постоянной тонкой структуры. Дикке отбросил идею изменчивости констант, но попытался понять, чем выделена космологическая эпоха, для которой характерно указанное совпадение. Он обратил внимание на то, что только в эту эпоху могут существовать элементы тяжелее водорода, необходимые для существования наблюдателей, поскольку для синтеза тяжелых элементов внутри звезд требуется хотя бы один полный цикл звездной эволюции. Проведя соответствующие оценки, Дикке получил равенство, объясняющее совпадение названных выше «больших чисел» и сделал вывод, что в отсутствие этого равенства во Вселенной не существовало бы физиков, способных размышлять над этими проблемами<sup>9</sup>.

### СЛАБЫЙ И СИЛЬНЫЙ АНТРОПНЫЙ ПРИНЦИП

Аргументы Дикке (хотя и не только они) побудили Картера в 1973 г. ввести

две «канонические» формулировки АП. Слабый АП: «Наше положение во Вселенной с необходимостью является привилегированным в том смысле, что оно должно быть совместимо с нашим существованием как наблюдателей». Сильный АП: «Вселенная (и, следовательно, фундаментальные параметры, от которых она зависит) должна быть такой, чтобы в ней на некотором этапе эволюции допускалось существование наблюдателей»<sup>10</sup>.

Обратимся сперва к слабому АП. Он, по существу, лишь обобщает доводы Дикке. Речь в них идет, повторим, об объяснении выделенности той космологической эпохи, в которую во Вселенной существуют разумные существа, при условии, что их возникновение в принципе возможно в ту или иную эпоху, т. е. не противоречит законам природы и общему характеру космологической эволюции. Совпадение двух указанных «больших чисел» при этом перестает быть загадочным, поскольку задает по порядку величины тот замечательный возраст Вселенной, при котором выполняются необходимые условия существования «наблюдателей»: наличие тяжелых элементов и достаточного количества поставляющих энергию звезд. Не следует поэтому удивляться, что мы живем именно в данную космологическую эпоху и, стало быть, фиксируем указанное численное совпадение; в другую эпоху мы бы отсутствовали по ряду убедительных физических причин, и значения, которые уже не совпадали, остались бы незафиксированными. Более того, не следует стараться объяснить совпадения «больших чисел» иным способом, например по образцу Дирака. Всякая попытка этого рода может направить исследование по ложному пути ввиду игнорирования слабого АП — в этом и состоит суть аргументов Дикке против гипотезы Дирака.

Итак, слабый АП принимает как данность законы природы, численные значения фундаментальных констант и текущих космологических параметров, констатируя, однако, привилегированность (в указанном выше смысле) нашего положения во Вселенной. Сильный АП идет дальше и указывает на специфичность самой Вселенной, которую мы населяем. Оказывается, для устойчивого существования основных структурных элементов нашего высокоорганизованного мира (атомов, ядер, звезд, галактик) необходима очень тонкая «подгонка» ряда

<sup>8</sup> Dirac P. A. M. // Nature. 1937. Vol. 139. No 3612. P. 323.

<sup>9</sup> Dicke R. H. // Nature. 1961. Vol. 192. No 4801. P. 440—441; см. также: Новиков И. Д., Полнарев А. Г., Розенталь И. Л. // Изв. АН ЭСР СССР. 1982. Т. 31. No 3. С. 284.

<sup>10</sup> Картер Б. Цит. соч. С. 372.

численных величин физических констант — даже небольшое мысленное варьирование одной из них приводит к резкой потере этой устойчивости или выпадению определенного критического звена эволюции, порождающего данные элементы. В свете проведенных целым рядом физиков оценок «благоприятное» прохождение эволюции через все критические этапы от космологического нуклеосинтеза до образования галактик и звезд и, в конечном итоге, рождения жизни и разума в окрестности одной из них, оказывается почти невероятным. Однако тот факт, что оно все же состоялось, заставляет заключить, что условия, необходимые для этого и задаваемые во многом именно спектром численных значений фундаментальных физических и космологических параметров, были с самого начала «обеспечены» с высокой точностью.

Эти соображения, выглядящие неприемлемо в научном контексте и способные, вероятно, вызвать протест, можно понимать по-разному. Отсюда весьма широкий спектр интерпретаций сильного АП. Прежде всего, к приведенной выше его формулировке можно отнестись как к метафоре. При таком, наиболее корректном, как мы считаем, подходе АП не утверждает, что если бы Вселенную некому было наблюдать, то она не существовала бы. Однако поскольку «наблюдатели» налицо, Вселенная должна быть такой, какова она есть. Заметим далее, что в сильном АП в этом смысле не так уж много «антропного». И. Л. Розенталь обоснованно считает, что в данном случае вообще можно исключить ссылку на познающего субъекта из соответствующих высказываний. Ведь речь здесь идет не о том, что выделяет разумную жизнь из неживой природы, а о том, что объединяет их на том уровне (атомном и ядерном), где нет еще различия между живым и неживым. Реальное физическое содержание, выражаемое сильным АП, строго говоря, исчерпывается представлением о неустойчивости фундаментальной структуры материального мира к небольшому мысленному изменению констант и других параметров. Все, что сверх этого ошибочно ассоциируется иногда с приведенным тезисом Картера, представляет собой уже интерпретацию данного содержания.

То, что интерпретация и объяснение в данном случае необходимы (заметим, что формулировка слабого АП этого, вообще говоря, не требует), не вызывает никаких сомнений ввиду «деликатности» изложенной ситуации. В самом деле, уже на уровне

неживой природы имеются сложноорганизованные структуры — ядра, атомы, звезды, галактики, для возникновения которых в ходе эволюционного процесса должна была быть «создана» чрезвычайно жесткая космологическая ситуация, выраженная в «тонкой подгонке» констант и других параметров.

---

### АНТРОПНЫЙ ПРИНЦИП И «АНСАМБЛЬ ВСЕЛЕННЫХ»

---

Один из возможных выходов из этого положения, немедленно предложенный самим Картером, связан с концепцией «ансамбля вселенных». Постулируется множество вселенных, в котором в результате некоего стохастического процесса реализуются все возможные комбинации фундаментальных постоянных и других параметров. В этом множестве тогда обязательно найдутся вселенные с «благоприятным устройством», способные, быть может, породить и разумную жизнь и посредством нее «осознать себя» на некотором этапе эволюции. Наша Вселенная, очевидно, принадлежит к этому выделенному подмножеству. Представления такого рода действительно дают объяснение эффекта «тонкой подгонки» параметров нашего мира, а точнее — приводят к успокоительному выводу, что объяснения в данном случае не требуются.

Однако не слишком ли дорогую цену приходится платить за избавление нашего мира (Метагалактики) от его необъяснимой исключительности? Ведь для этой цели специально вводится бесконечное число новых сущностей — «других вселенных», которые к тому же не должны никак друг на друга воздействовать (в противном случае они будут не «другими вселенными», а взаимосвязанными частями одной Вселенной) и потому принципиально не наблюдаемы (ибо всякое наблюдение предполагает взаимодействие). И где найти столь экзотическую теорию, которая могла бы описать подобную систему несвязанных между собой миров? К счастью для сторонников этой идеи, в физике нашлись уже готовые теории, во многом подходящие для конкретной реализации идеи ансамбля. В 1957 г. Х. Эверетт предложил «многомировую» интерпретацию квантовой механической концепции измерения, в соответствии с которой в результате взаимодействия квантовой системы с прибором происходит не редукция волновой функции (как

в стандартной, копенгагенской интерпретации), а одновременная реализация всех возможностей, определяемых набором собственных состояний системы. Формализм теории требует интерпретировать это событие как «расщепление» Вселенной на множество в одинаковой мере реальных вселенных, различающихся лишь исходом данного взаимодействия и состоянием сознания наблюдателя, его зафиксировавшего. Физическая Вселенная, таким образом, непрерывно «ветвится», порождая все новые копии полностью изолированных друг от друга миров. Наблюдатель, однако, в каждый момент находится лишь в одном мире и не подозревает о существовании остальных. Применение концепции Эверетта к начальным стадиям космологической эволюции позволяет наделить физическим смыслом гипотезу ансамбля вселенных с разным физическим устройством.

Другую возможность для этого дают современные «инфляционные» сценарии эволюции, допускающие существование в нынешней Вселенной причинно разделенных областей, в которых могли реализоваться различные типы фундаментальных симметрий вследствие фазовых переходов, осуществившихся на начальных этапах эволюции. Вся астрономическая Вселенная представляет собой в этой схеме лишь малую часть одной из таких областей.

Применение гипотезы ансамбля вселенных делает сильный АП, во всяком случае, физически допустимым утверждением, чем-то напоминающим слабый АП. Именно к этим двум версиям антропных аргументов в полной мере применим, на наш взгляд, термин «принцип самоотбора», к которому склоняются теперь Картер, а также Барроу и Типлер и некоторые другие исследователи проблемы. Картер, впрочем, употребляет этот термин лишь в контексте сильных антропных аргументов, а Барроу и Типлер практически отождествляют его со слабым АП. Мы, повторим, считаем, что понятие «самоотбора» в равной степени адекватно передает суть и слабых антропных аргументов, и «многомирового» варианта сильного АП, что и делает эти версии вполне законными в научном отношении, в отличие от некоторых других трактовок АП.

Поясним смысл термина «самоотбор» путем аналогии с хорошо знакомым селективным эффектом, входящим во все эмпирические процедуры. Так, астроном видит в телескоп определенное ограни-

ченное число галактик не потому, что их число в действительности таково, а из-за того, что разрешающая способность прибора не позволяет увидеть другие. Правильная интерпретация наблюдений требует неперемного учета этого приборного эффекта. (Подобный селективный механизм проявляется даже в обыденной жизни. Если, к примеру, рыбак пользуется сетью с крупными ячейками и в его улове, следовательно, отсутствует мелкая рыба, то отсюда было бы опрометчиво заключать, что мелкая рыба в данном месте вообще не водится.

Сходным образом исследователь фундаментальной структуры Вселенной отмечает совпадение «больших чисел» и вполне определенный спектр величин физических параметров не потому, что совпадение имеет место всегда (как в гипотезе Дирака) и величины параметров не могут быть иными, а из-за того, что сам факт существования наблюдателя накладывает ограничения на то, что может им наблюдаться. Корректная интерпретация этих наблюдений требует учета антропных аргументов, в противном случае исследование природы может пойти по ложному следу: мы станем искать связи там, где их в действительности нет; например, будем пытаться объяснить величины физических параметров из других соображений или обратимся к гипотезе Дирака, не подозревая, что таких принципов может и не быть, а для целей объяснения достаточно одного лишь принципа самоотбора. С этой точки зрения АП представляет собой, быть может, лишь весьма нетривиальный вариант принципа наблюдаемости и не лишен в этом смысле «негативной эвристики». Такое его использование может быть уместным в тех случаях, когда более строгие методы неприменимы.

Справедливость аргументов, основанных на «многомирной» трактовке сильного АП, как нетрудно видеть, в целом основана на придании ансамблю вселенных с различным физическим устройством статуса реальности. Этот статус, однако, принципиально гипотетичен, и если данная гипотеза неверна, то все доводы, вытекающие из сильного АП в этой трактовке, перестают работать. Следует поэтому проанализировать исходную проблему «космических совпадений» и для случая уникальной Вселенной. Заметим, что если рациональное решение проблемы существует для этого случая, то его можно, очевидно, распространить и на ансамбль вселенных, между тем как обратное неверно.

## СИЛЬНЫЙ АНТРОПНЫЙ ПРИНЦИП В УНИКАЛЬНОЙ ВСЕЛЕННОЙ

Итак, если Вселенная уникальна, то принцип самоотбора не действует, поскольку у природы в этом случае нет возможности «выбора». Но по-прежнему требуется объяснить факт неустойчивости материальных основ мироздания по отношению к небольшому изменению физических и космологических величин. Начнем с упоминания той версии «объяснения», которая, вообще говоря, не имеет отношения к науке. Предполагается, что во Вселенной в буквальном смысле имела место тонкая подгонка физических параметров и появление «наблюдателей» подразумевалось с самого начала. Нет ничего удивительного в том, что к такой трактовке АП проявили особый интерес религиозно настроенные философы (Дж. Лесли, Дж. Дэвис и др.), справедливо усмотревшие в ней прозрачные параллели с традицией «естественной теологии» и особенно с «аргументом от замысла»: сложность творения и тонкая «пригнанность» его частей друг к другу свидетельствуют о существовании разумного творца. Идеям такого рода можно придавать разные оттенки, но от этого они не становятся совместимыми с научным мировоззрением.

Но оказывается, не менее экзотическую интерпретацию проблемы «неустойчивости» можно выдвинуть, не выходя слишком далеко за пределы науки. Так, основываясь на своеобразно истолкованных постулатах копенгагенской интерпретации квантовой механики, Дж. А. Уилер формулирует «принцип участия», по которому «наблюдатель столь же существует для появления Вселенной, как и Вселенная для появления наблюдателя»<sup>11</sup>. Реальной с этой точки зрения будет лишь потенциально «жизнеобеспеченная» Вселенная, т. е. такая, в которой значения физических констант с самого начала гарантируют появление жизни и разума на некотором этапе эволюции. Вселенная как бы «ввергает себя в бытие» посредством наблюдений, осуществляемых на достаточно поздней стадии разумными существами, дополняющих «элементарное квантовое явление» до целого. Все другие «возможные миры», в которых не

предусмотрен феномен наблюдения, единственно способный придать всякой возможности статус реальности, не существуют в строгом онтологическом смысле.

Концепции Уилера всегда будоражат воображение, поэтому оценивать их беспристрастно очень трудно. Известно, однако, что сам Уилер относится к «принципу участия» не без доли здоровой иронии. Ф. Типлер, также вставший перед проблемой оценки данного принципа, поступил, пожалуй, наиболее деликатно, указав, что Уилеру до сих пор не удалось придать своим идеям строгой количественной формулировки. Мы присоединяемся к этому авторитетному мнению.

Упомянутая выше телеологическая трактовка АП с позиций «аргумента от замысла», а также «версия участия» и связанный с ней широко известный уилеровский вопрос о возможной «замешанности» человека в «проектировании» Вселенной во многом стимулировали мировоззренческие дискуссии вокруг АП. При этом высказываются самые разные мнения о философском статусе АП в целом и его праве на существование в современной науке. Д. Я. Мартынов, к примеру, считает, что «АП неприемлем для материализма, утверждающего полную независимость природы, внешнего мира от человеческого сознания»<sup>12</sup>. Мы согласны с этим мнением лишь постольку, поскольку речь идет о тех мировоззренческих истолкованиях АП, которые действительно настаивают на подобной зависимости. Однако, как мы видели, АП не представляет собой однозначного утверждения; это, скорее, целый спектр интерпретаций, оценок, позиций, доведенных до различной степени строгости и детализации. Далеко не все трактовки АП провозглашают реальную, онтологическую зависимость мира от сознания человека. Те из них, которые мы объединили под общим названием «принцип самоотбора», суть, напомним, лишь применение, хотя и нетривиальное, принципа наблюдаемости — одного из важнейших методологических регулятивов эмпирической науки. Такое употребление антропных аргументов мы считаем совершенно правомочным.

Важно, однако, сознавать, что и в этом случае антропные аргументы не столько объясняют реальное положение дел в физическом мире, сколько представляют собой

<sup>11</sup> Wheeler J. A. *Genesis and Observership // Foundational Problems in the Special Sciences*. Dordrecht, 1977. P. 27.

<sup>12</sup> Мартынов Д. Я. Антропный принцип в астрономии и его философское значение // *Вселенная, астрономия, философия*. М., 1988. С. 64.

уклонение от прямого объяснения. В самом деле, объяснить необходимо ведь «тонкую подгонку» физических и космологических параметров в свете неустойчивости сложно-организованных систем к их даже небольшому варьированию. Особенно остро эта проблема встает в случае уникальной Вселенной. Между тем селективный эффект, на который указывает принцип самоотбора, действует, как мы видели, не в мире, а в сфере субъект-объектных отношений, ограничивая определенным образом возможности нашего наблюдения. А при условии уникальности Вселенной сильные антропные аргументы, связанные с этим эффектом, вообще не работают.

Итак, если оставить в стороне телеологические взгляды и «версию участия», то с «антропным фактором» не связан никакой действительный отбор физической конституции нашего мира. Однако, нельзя ли взглянуть на антропные аргументы с иной стороны, считать их не столько ответами, сколько конкретными вопросами, на которые естественно ожидать ответа от физической науки в форме прямых причинно-следственных связей и в рамках строгой теории? Иными словами, не действует ли во Вселенной некий реальный (но не связанный с человеческим существованием) механизм отбора, отсеивающий в ходе эволюции «неблагоприятные» для морфогенеза обстоятельства?

#### АНТРОПНЫЕ АРГУМЕНТЫ И ФИЗИЧЕСКОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ

Для анализа такой возможности обратимся еще к одному историко-научному сюжету, связанному с появлением антропных аргументов. Речь пойдет о традиционной для космологии проблеме соотношения законов и начальных (граничных) условий в физическом описании эволюционирующей Вселенной. В отличие от локальных физических задач, в которых начальным и граничным условиям традиционно отводится роль случайного и несущественного фактора, космологическая проблема в некотором смысле уравнивает в правах начальные условия эволюции и законы, по которым она происходила. В самом деле, уравнения теории гравитации имеют бесконечное множество космологических решений, из которых, между тем, реализовалось только одно — то, которое описывает эволюцию нашей Вселенной. Почему природа выбрала именно это решение? Можно ска-

зать, что таковы были начальные условия? Но почему именно таковы? Начальные условия, приводящие к изотропной крупномасштабной структуре Вселенной, как показали Коллинз и Хокинг, настолько маловероятны, что однородные и изотропные решения чрезвычайно нетипичны. Между тем, оказывается, что лишь во Вселенной, удовлетворяющей этим «тонко подогнанным» условиям, возможно образование галактик и звезд и вся дальнейшая прогрессивная эволюция. Почему же, с этой точки зрения, Вселенная столь изотропна, спрашивают Коллинз и Хокинг? И отвечают: потому, что в ней существуют жизнь и разум, и, следовательно, нет смысла искать другие причины реализации этих, почти невероятных начальных условий<sup>13</sup>. Эта типичная «антропная констатация» появилась в 1973 г. А в 1980 г. был предложен новый, альтернативный ответ на тот же вопрос — инфляционная теория ранней Вселенной. Согласно этой теории, вскоре после начала эволюции Вселенная проходит через этап очень быстрого расширения («раздувания» или «инфляции»), сглаживающего любые начальные неоднородности и, тем самым, в известной степени, обесценивающего роль начальных условий. Нынешнее состояние Вселенной почти не зависит от этих условий и является как бы «аттрактором» для всех «траекторий», описывающих эволюцию. Идеально подходящее для образования нашего мира состояние является, с этой точки зрения, наиболее естественным и легко объяснимым.

Таким способом объясняются, однако, лишь субстратные характеристики Вселенной — плотности и т. д. Нельзя ли распространить эту схему объяснения на более фундаментальные аспекты универсума, включая, быть может, спектр масс элементарных частиц, численные значения мировых констант и т. п.? Не окажутся ли и эти характеристики своеобразным «аттрактором» в пространстве возможных типов физического устройства? Пока нет оснований на это надеяться. Но сама постановка проблемы именно в таком ракурсе возможна благодаря интенсивному взаимодействию физики элементарных частиц и космологии при изучении ранней Вселенной.

В современном естествознании можно также усмотреть признаки иного подхода к

<sup>13</sup> Collins C. B., Hawking S. W. // *Astrophys. J.* 1973. Vol. 180. № 2. P. 317—334.

проблеме генезиса физического устройства Вселенной, основанного на широкой экстраполяции идей теории самоорганизации<sup>14</sup>. И хотя поиск факторов, призванных объяснить происхождение и обусловленность физического кодекса нашего мира, не вышел еще на уровень строгого физического анализа, АП, как видно, может сыграть в этом поиске катализирующую роль. Антропные аргументы в их корректной форме должны быть квалифицированы именно как вопросы, адресованные к будущим динамическим объяснениям. Теория инфляционной Вселенной, как мы видели, уже дала первый ответ на такого рода вопрос. Но, возможно, самые значительные достижения на этом пути еще впереди.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы, разумеется, не могли охватить здесь всего круга вопросов, связанных с АП и дискуссиями вокруг него<sup>15</sup>. (По мнению многих авторов и рецензентов, это не удалось сделать даже на 706 страницах убористого текста в упомянутой книге Барроу и Типлера!). За пределами нашего рассмотрения осталась, в числе других, проблема размерности пространства, исследование которой в XX в. в работах П. Эренфеста, Дж. Уиттроу и других ученых, также привело к антропным аргументам.

В литературе, поток которой пока не убывает, идут споры по многим аспектам АП и его приложений. (У авторов данной статьи также нет полного единодушия по ряду конкретных моментов.)

Наиболее дискуссионными продолжают оставаться прежде всего вопросы, касающиеся структуры и классификации антропных аргументов. Согласно одной распространенной точке зрения, эти аргументы формулируются на трех уровнях, которые следует четко различать: уровне

внутринаучных оснований космологии, где обнаруживается «взрывная» неустойчивость структуры физического мира по отношению к варьированию констант и других параметров; уровне философских оснований естествознания, где проводится различие между сильным, слабым и другими вариантами АП; мировоззренческом уровне, на котором сталкиваются, к примеру, научные и теологические взгляды, а также вырабатывается общее отношение к АП в целом. Другая точка зрения состоит в том, что во всех корректных в научном отношении апелляциях к АП речь идет об одном и том же физическом содержании и его альтернативных интерпретациях, включающих как те, в которых антропные аргументы сами по себе считаются удовлетворительным ответом на вопрос «почему наша Вселенная устроена так, а не иначе?», так и те, в которых антропные аргументы служат лишь «бланками» для будущих «полноценных» объяснений этого устройства. При выяснении предпочтительности тех или иных версий АП необходимо, очевидно, учитывать статус идеи множественности вселенных в современной космологии. Если, к примеру, эта идея утвердится в ней, то некоторые варианты АП получат несомненный перевес над другими.

Наконец, в любом случае остается открытым вопрос о реальной эффективности антропных аргументов в науке. Ученые, непосредственно занимающиеся разработкой АП, как правило, оценивают эту эффективность достаточно высоко и считают, что данный принцип если и не решает некоторые поставленные развитием физики и космологии проблемы, то по крайней мере способствует их решению. С другой стороны, в ряде работ высказывается гораздо более сдержанная оценка АП и его перспектив.

Тем не менее, подводя общий итог, мы хотим вернуться к тому, с чего начали, — к междисциплинарному характеру обсуждения АП. На наш взгляд, то обстоятельство, что возникшая в естествознании столь необычная и неоднозначная идея быстро проникла в сферу общенаучной (в том числе гуманитарной) культуры, не случайно: в этом отражаются комплексные, синтетические ориентации современной науки.

<sup>14</sup> См.: Jantsch E. *The Self-Organizing Universe*. Oxford, 1980.

<sup>15</sup> Более широко эти вопросы представлены, напр., в работах: Казютинский В. В. Мировоззренческие и методологические аспекты антропологического (антропного) принципа в космологии. // Тр. XVI Чтений К. Э. Циолковского. М., 1982. С. 31—42; Балашов Ю. В., Казютинский В. В. Антропный принцип в космологии: естественнонаучные и мировоззренческие аспекты // *Логика, методология и философия науки*. Вып. 2. М., 1987. С. 89—123; Балашов Ю. В. // *Вопр. философии*. 1988. № 7. С. 117—127.

ИНТЕРВЬЮ С  
Р.З. Сагдеевым



# НЕ СТАНОВИТЬСЯ В ПОЗУ младшего партнера!

*Розльд Зиннурович Сагдеев, академик. Специалист в области физики плазмы и космических исследований. Председатель Комитета советских ученых «За мир против ядерной угрозы». Герой Социалистического Труда. Лауреат Ленинской и Государственной премий. Член Национальной академии наук США, Шведской Королевской академии, Общества им. Макса Планка и ряда других академий.*

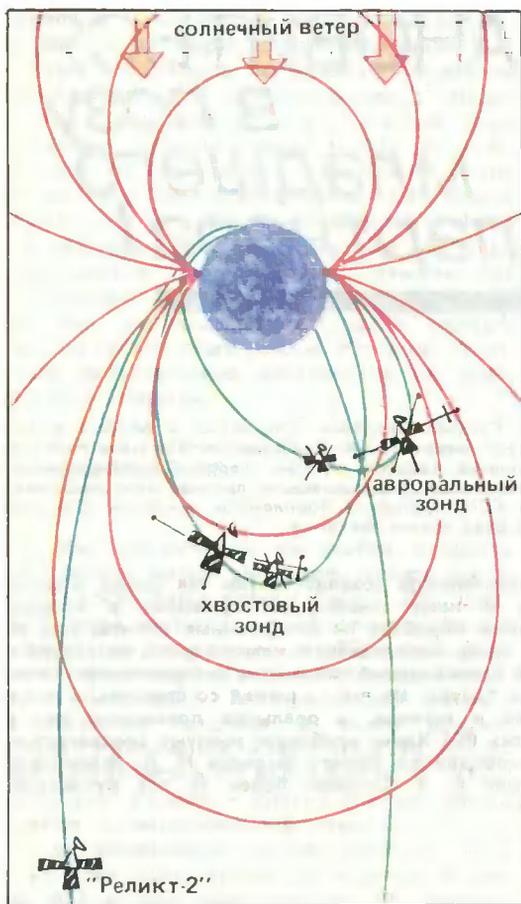
Космические исследования, несмотря на относительную молодость (не так давно отмечалось 30-летие космической эры), прочно вошли в нашу жизнь. Мы привыкли к очередным запускам: пилотируемых и автоматических грузовых кораблей на околоземные орбиты, уже не очень хорошо помним, сколько человек насчитывает отряд космонавтов в нашей стране, не говоря о США. Правда, продолжаем восхищаться, разглядывая великолепные снимки, на которых запечатлены Земля или, например, планеты-гиганты Уран, Юпитер, Сатурн. Но это — взгляд со стороны. А что в действительности происходит в этой области науки и техники, о реальном положении дел в которой мы долгое время знали меньше, чем хотелось бы! Какие проблемы волнуют специалистов, посвятивших себя космонавтике! В беседе с корреспондентом нашего журнала Н. Д. Морозовой своими мыслями по этому поводу делится академик Р. З. Сагдеев, более 15 лет руководивший Институтом космических исследований АН СССР.

Для двух великих космических держав — СССР и США — 1992 год будет богат крупными историческими событиями: исполняется 500 лет со дня открытия Америки, 75 лет Великой Октябрьской социалистической революции, 35-летие космической эры. Правда ли, что по предложению этих двух стран 1992 год предполагается объявить Всемирным годом космоса!

Действительно, такая идея обсуждается сейчас в различных международных союзах, и, по-видимому, ИКСУ — Международный совет научных союзов — поддержит ее. (Напомню, что в ИКСУ входят все научные союзы, в том числе и наш КОСПАР — Комитет по космическим исследованиям). Все помнят, с каким колоссальным успехом прошел Международный геофизический год (1957—1958), во время которого как раз был запущен первый искусственный спутник Земли. Этот год необыкновенно сблизил ученых многих стран, с огромным энтузиазмом международная научная общественность восприняла весть о запуске советского

спутника. И сейчас, через 30 лет после этого события, те же идеи руководят учеными, которые предлагают на сей раз объявить уже Международный год космоса. Если такое решение будет принято, я уверен, его поддержит и ЮНЕСКО.

Значимость столь важного мероприятия трудно переоценить; оно даст повод обменяться мыслями о том, что сделано в космосе за прошедшие годы и что нужно сделать в дальнейшем. Прежде всего, это должно укрепить международное сотрудничество. Кроме того, сейчас очень важно вести активную пропаганду достижений космонавтики, космической науки среди широких масс, потому что, с одной стороны, в решении многих глобальных задач современности космические наука и техника могут сыграть огромную роль, я имею в виду прежде всего задачи экологии и экономики, не говоря уже о самой космической науке, которая переживает период бурного расцвета. А с другой стороны, расходы на космические исследования чрезвычайно ве-



Траектории аврорального и хвостового зондов в проекте «Интербол», а также орбита космического аппарата «Реликт-2», на котором будут проводиться плазменные и магнитные измерения, синхронные с этим проектом. Цветом показаны силовые линии геомагнитного поля.

лики. В свое время академик Л. А. Арцимович определил науку как способ удовлетворения любознательности ученых за счет государства. Так вот, космические исследования никоим образом нельзя отнести к дешевым способам удовлетворения этой любознательности. Поэтому принятие решений о главных направлениях в развитии космических исследований всегда сопряжено с тяжелым грузом ответственности.

При разработке советской космической программы у нас была возможность обсудить свой подход на Международном космическом форуме, проходившем в Москве в октябре 1987 г. На нем мы заявили ученым из 35 стран о своей твердой уверенности в том, что космические иссле-

дования не должны стать ареной состязаний, конкуренции. И экономические аспекты оказываются далеко не последним по значению фактором. Поэтому-то очень важно объяснить, зачем предпринимается столько усилий, тратятся огромные средства, а в рамках международной кооперации ученых необходимо искать пути, как это сделать дешевле.

**Итак, можно сказать, что космические исследования — уже достаточно «зрелая» область науки, которая, по Вашему выражению, переживает сейчас пору расцвета. А какие наиболее фундаментальные ее достижения Вы бы отметили у нас в стране и за рубежом?**

Я считаю, что до сих пор одним из самых крупных достижений в области космических исследований остается открытие радиационных поясов и магнитосферы Земли. Не случайно и сегодня земная магнитосфера со своей сложной плазменной динамикой, ускорением частиц и неустойчивостями продолжает интересовать многих ученых. В этой области ведется множество работ, запускаются специальные спутники. Ряд трудных для измерения процессов, таких как ударные волны, пересоединение силовых линий магнитного поля, турбулентность, вызывают необходимость постановки новых поколений экспериментов. Чтобы понять причинно-следственные связи между событиями в сложной солнечной магнитосферно-ионосферной системе, необходимо зондировать различные ее критические области одновременно с помощью широкой сети искусственных спутников и действующих совместно с ними наземных станций.

Так, готовящийся сейчас проект «Интербол» предполагает исследования околоземного космического пространства с помощью системы зондов. Этот проект, планируемый на 1990—1991 гг., включает два спутника типа «Прогноз», каждый из которых будет иметь еще свой субспутник. Основная задача «Интербола» — изучение физических механизмов, ответственных за передачу энергии солнечного ветра магнитосфере, аккумуляцию там этой энергии и последующую диссипацию ее в авроральных областях магнитосферы, в ионосфере и атмосфере Земли во время магнитосферных суббурь. Один из спутников — «хвостовой зонд» со своим субспутником — будет выведен на орбиту, которая пройдет через хвост земной магнитосферы, являющийся энергетическим резервуаром магнитосферных суббурь, другой («авроральный зонд» со своим субспутником) — на орбиту, проходящую через

область над так называемым авроральным овалом на высоте 5—15 тыс. км. Для этой области характерны процессы ускорения заряженных частиц и присутствие электрических токов, которые соединяют электромагнитное поле в хвосте магнитосферы с проводящей ионосферой. Наряду с этими экспериментами в проекте «Интербол» будут изучаться плазма и магнитные структуры дальних областей магнитосферного хвоста. Для этого планируется использовать приборы, находящиеся на борту астрофизического спутника «Реликт-2».

Далее, отвечая на Ваш вопрос, мне хочется отметить, что значительно изменились наши представления о планетах Солнечной системы. Теперь мы получили возможность непосредственного контакта с ними. И в первую очередь это относится к Венере, которую мы начали изучать средствами космической техники более 25 лет назад и за это время направили к ней 18 космических аппаратов. Нам удалось получить сначала черно-белые, а затем и цветные изображения поверхности планеты в местах посадки этих аппаратов. *In situ* был определен элементный состав грунта, т. е. решена довольно сложная техническая задача. Использование радаров позволило получить радиокарту поверхности планеты и определить ее типичные морфологические особенности. Большое внимание уделялось исследованию атмосферы и облачного слоя на Венере. Много новых интересных данных, и не только о Венере, но и о комете Галлея, было получено во время экспедиции «Вега», но об этом в «Природе» уже подробно рассказывалось, и я не буду на этом останавливаться<sup>1</sup>. Подводя, таким образом, некоторые итоги, могу сказать, что изучение планет еще в течение ряда десятилетий будет оставаться очень важной областью исследований; в этом у меня нет сомнений.

Астрономия, выйдя в космос, получила возможность по-новому увидеть Вселенную: к наблюдениям в оптическом и радиодиапазонах добавились ультрафиолет, рентген, очень надежно регистрируются  $\gamma$ -кванты. Вот и сейчас с помощью рентгеновских телескопов обсерватории «Квант» ведутся наблюдения за сверхновой, вспыхнувшей в 1987 г. в Большом Магеллановом Облаке. Впервые астрономы могут впрямую исследовать процессы, протекающие, можно

сказать, на ближайших подступах к нейтронным звездам и черным дырам<sup>2</sup>.

**Что, на Ваш взгляд, дали и что могли бы дать космические исследования другим областям науки? И в связи с этим — можно ли уже сегодня говорить о какой-то практической отдаче биологических или, например, технологических экспериментов в космосе?**

С моей точки зрения, биологические эксперименты представляют самостоятельную область космической науки. Прежде всего, они позволили получить представления о возможностях человеческого организма, вообще живого, существовать, функционировать в условиях нулевой силы тяжести. Я не берусь сказать, какое практическое значение они будут иметь в ближайшем десятилетие (кроме, естественно, тех относительно коротких — несколько месяцев — полетов космонавтов, свидетелями которых мы сейчас являемся). Но если лет через 20—30 все же состоится пилотируемый полет на Марс, это будет довольно сложное мероприятие, ведь пребывание человека в космосе потребует продлить до двух-трех лет. Повторяю, пока трудно говорить о какой-то практической отдаче космической биологии для медицины, например, но как физик я бы сказал, что чрезвычайно интересно изучать вещества в экстремальных условиях — при больших давлениях, высоких или, наоборот, сверхнизких температурах; это сразу помогает раздвинуть границы наших представлений об изучаемых явлениях. Если для современной медицины, биологии отсутствие силы тяжести — пример таких экстремальных условий, то я думаю, что на этом пути возможны интересные открытия, но, повторяю, мне трудно судить об этом.

Такой же принцип оценки я бы применил и к технологии, в частности к выращиванию кристаллов в условиях невесомости. К сожалению, в этом направлении не сделано решающего шага. Время от времени появляются сообщения о каких-то небольших достижениях, но, мне кажется, мы еще очень далеки как от большой науки, так и от серьезных внедрений этих достижений в нашу земную практику. Я бы сказал, что на какое-то время в этой области возник вакуум, в нее не приходили серьезные специалисты по физике твердого тела, те, кто определяют направление развития этой

<sup>1</sup> Марочник Л. С., Скуридин Г. А. На встречу с кометой Галлея // Природа. 1982. № 2. С. 2—18; Балебанов В. М., Мороз В. И., Мухин Л. М. Первый этап экспедиции «Вега»: исследование поверхности Венеры // Природа. 1985. № 6. С. 3—12.

<sup>2</sup> Ефремов Ю. Н. Вспышка сверхновой в Большом Магеллановом Облаке // Природа. 1987. № 6. С. 102—104.

науки здесь, на Земле. В итоге вакуум заполнили инженеры, спешившие поскорее что-то внедрить. Пока, к сожалению, ситуация меняется очень медленно. По-видимому, и нашей Академии необходимо предпринять решительные шаги для исправления сложившейся ситуации.

После некоторого перерыва советская космическая программа вновь обратилась к Марсу. Я имею в виду проект «Фобос», который начался в июле 1988 г. стартом двух автоматических межпланетных станций к Марсу и его спутнику Фобосу. Как известно, это многоцелевая программа, предусматривающая комплексное исследование планеты, ее спутника, Солнца и межпланетного пространства. Фобос должен стать первым малым телом Солнечной системы, поверхности которого достигнет космический аппарат. С момента запуска АМС прошло более шести месяцев. Удалось ли получить за это время какие-то интересные результаты!

Хочу напомнить, что пока на трассе перелета к Марсу большинство научных приборов не было включено, и тем не менее уже стали поступать первые и, как мне кажется, интересные данные.

Так, в научную программу проекта были включены советско-французские эксперименты по изучению  $\gamma$ -излучения от солнечных вспышек и всплесков  $\gamma$ -излучения от нейтронных звезд. Проведение этих измерений одновременно на околоземных ИСЗ и межпланетных станциях позволит очень точно локализовать космические источники  $\gamma$ -всплесков и осуществить стереоскопические измерения солнечных вспышек (ведь сейчас, кроме «Фобосов»,  $\gamma$ -всплески регистрируют еще два американских спутника — «СММ» и «Пионер—Венера»). На перелете от Земли к Марсу приборы «Фобосов» работали непрерывно и регистрировали  $\gamma$ -всплески с интервалом 1—3 дня. Благодаря высокой чувствительности детекторов и использованию микропроцессоров для первичной обработки данных удалось измерить временную структуру  $\gamma$ -всплесков с разрешением около 1 мс. Уже ясно, что спектры всплесков имеют сложную многокомпонентную форму и меняются за доли секунды. После проведения совместной обработки данных, полученных на всех космических аппаратах, экспериментаторы надеются определить положение неизвестных источников  $\gamma$ -излучения (как на небе, так и на диске Солнца) с точностью в несколько угловых секунд.

И еще об одном полученном резуль-

тате мне бы хотелось рассказать, так как касается он физики плазмы — области, наиболее близкой моим научным интересам. Приборы «Фобосов» зафиксировали пересечение фронта ударной волны на границе земной магнитосферы, причем пересечение это было многократным. На относительно медленном движении АМС это сказывалось так, как будто бы фронт ударной волны то забегал вперед, то возвращался обратно. В результате мы получили примерно дюжину таких пересечений. Надо сказать, что само по себе пересечение фронта ударной волны на Земле не представляет такого интереса. Но для нас это был чрезвычайно важный тест, свидетельствующий о нормальной работе приборов, находящихся на борту АМС. Теперь мы окончательно убедились, что чувствительность аппаратуры настолько высока, что в классе плазменных измерений мы вышли на мировой уровень. Речь идет о приборе АПВ-Ф — анализаторе плазменных волн.

Приборы аналогичного типа стояли и на станциях «Вега», но ситуация в тот момент была другая: плазменная активность кометы Галлея была настолько высока, что мы совершенно не беспокоились, хватит ли чувствительности детекторов. А в проекте «Фобос» поставлен ряд очень тонких задач, требующих повышенной чувствительности аппаратуры. У специалистов нет сомнений, что удастся исследовать ударную волну вблизи Марса, но гораздо интереснее проследить, как маленький спутник (я имею в виду Фобос) поперечником всего в два десятка километров движется в плазме, ведь он будет создавать возмущения гораздо меньшей интенсивности.

Этот эксперимент оказался последним, в котором участвовал известный американский физик, исследователь солнечного ветра и магнитосферы, большой и давний друг нашего института Фредерик Скарф. Он был занят и в проекте «Вега»; «Фобос» стал его последним детищем — Скарф скоропостижно скончался буквально через несколько дней после старта аппаратов. Сейчас мы готовим к публикации полученные материалы. А вспомнил я об этом потому, что именно Скарф несколько лет назад нашел очень интересный наглядный способ представления результатов исследования плазменных колебаний при такого рода пересечениях ударных волн или других сходных областей. Идея проста — спектр электрических и магнитных колебаний, характерных для такого рода процессов, лежит в области привычных для нас звуковых волн. Скарф просто превратил электромагнитные шумы в

звуковые, и получилась необычная полифоническая музыка, настоящая «звуковая картина». Впервые эта методика была применена при исследовании магнитосферы Юпитера с помощью межпланетной станции «Вояджер». Надеюсь, что и на этот раз мы воспроизведем «музыку» Марса и Фобоса по рецептам Скарфа.

**К сожалению, 2 сентября 1988 г. связь со станцией «Фобос-1» была потеряна. Как это отразится на всей программе исследований и что в связи с этим предпринимается?**

Безусловно, для нас это был тяжелый удар. 6 сентября 1988 г. в 17 ч московского времени в адрес членов международной кооперации, участвующих в проекте, была направлена телеграмма такого содержания: «Центр управления сообщил нам, что «Фобос-1» из-за ошибки в команде потерял ориентацию и не отвечает на сигналы с Земли. Центр управления пытается восстановить контакт с космическим аппаратом. Мы будем держать вас в курсе дела».

Пока ситуация не изменилась. Принимаются все меры, чтобы восстановить связь с аппаратом. Сделать это будет, по-видимому, очень трудно. Но пока существует хоть малейшая теоретическая возможность связаться с «Фобосом-1», такие усилия не прекращаются.

Что же касается научной программы исследований, то хочу напомнить, что в проекте участвуют две АМС, во многом дублирующие друг друга, хотя, к сожалению, не во всем. Есть несколько приборов, стоящих на «Фобосе-1», и не имеющих аналогов на «Фобосе-2». В первую очередь я имею в виду прибор «Терек», в задачу которого входило исследование рентгеновского излучения Солнца. Он был изготовлен специалистами СССР и ЧССР. Теперь мы лишились во многом уникальной научной информации, и это бесконечно обидно.

Невольно вспоминается, как успешно всего два года назад проходила миссия «Вега», несмотря на то что это был первый многоцелевой проект. Безусловно, осуществление подобных космических проектов — очень трудное дело, в котором не должно быть мелочей, слишком дорого приходится платить за ошибки. По-видимому, должна возрасти и роль ученых. Не это ли Вы имели в виду, выступая на Международном научном совете по проекту «Фобос», проходившем в

**Институте космических исследований АН СССР в июле 1988 г., когда призвали покончить с «диктатом производителя»!**

С понятием диктата производителя в нашем народном хозяйстве каждый знаком, я бы сказал, на собственной шкуре, достаточно, например, зайти в любой магазин. В действительности это явление, конечно, гораздо шире, и, к сожалению, те, кто работают в космонавтике, тоже ощущают на себе последствия сложившейся в нашей экономике порочной системы. Скажем, многочисленные — от первой до шестнадцатой — серии «Венер» появились вовсе не потому, что наши ученые так уж безумно тянулись к Венере, просто вопрос стоял так: или Венера (в крайнем случае, Марс), или ничего. И очень часто приходилось сталкиваться с тем, что отсутствовала настоящая состязательность между промышленными предприятиями, специализирующимися по этой тематике. В каждой конкретной области возникали монополии, а в результате у ученых почти не было выбора.

Более того, приходилось даже терпеть, когда на тебя стучат кулаком по столу. К сожалению, эта практика еще себя не изжила, как показали последние события, связанные с анализом ситуации на «Фобосе-1». По-видимому, в авиакосмическую промышленность гласность и демократия придут в последнюю очередь. Вообще же очень часто, мне кажется, «закрытостью» прикрываются для того, чтобы облегчить себе жизнь. В первую очередь я отношу это и к тем руководителям, которые не обладают достаточными способностями, чтобы профессионально (и — как следствие — успешно) вести свое дело.

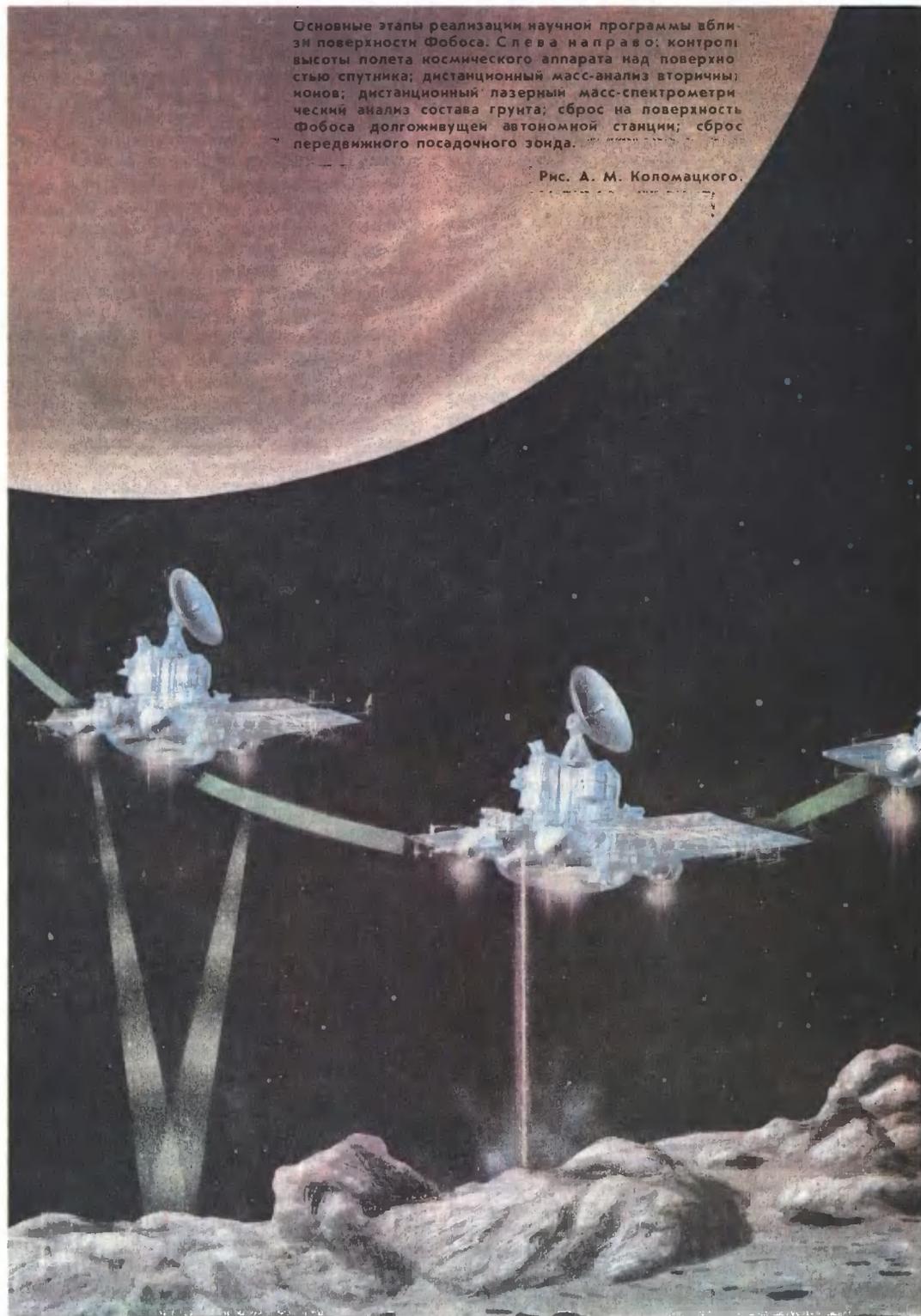
**И тем не менее очень хочется верить, что в итоге во все сферы нашей жизни гласность и демократия все же придут. Но мне осталось не ясным, почему до недавнего времени в качестве объекта исследований выбирались именно Венера или Марс!**

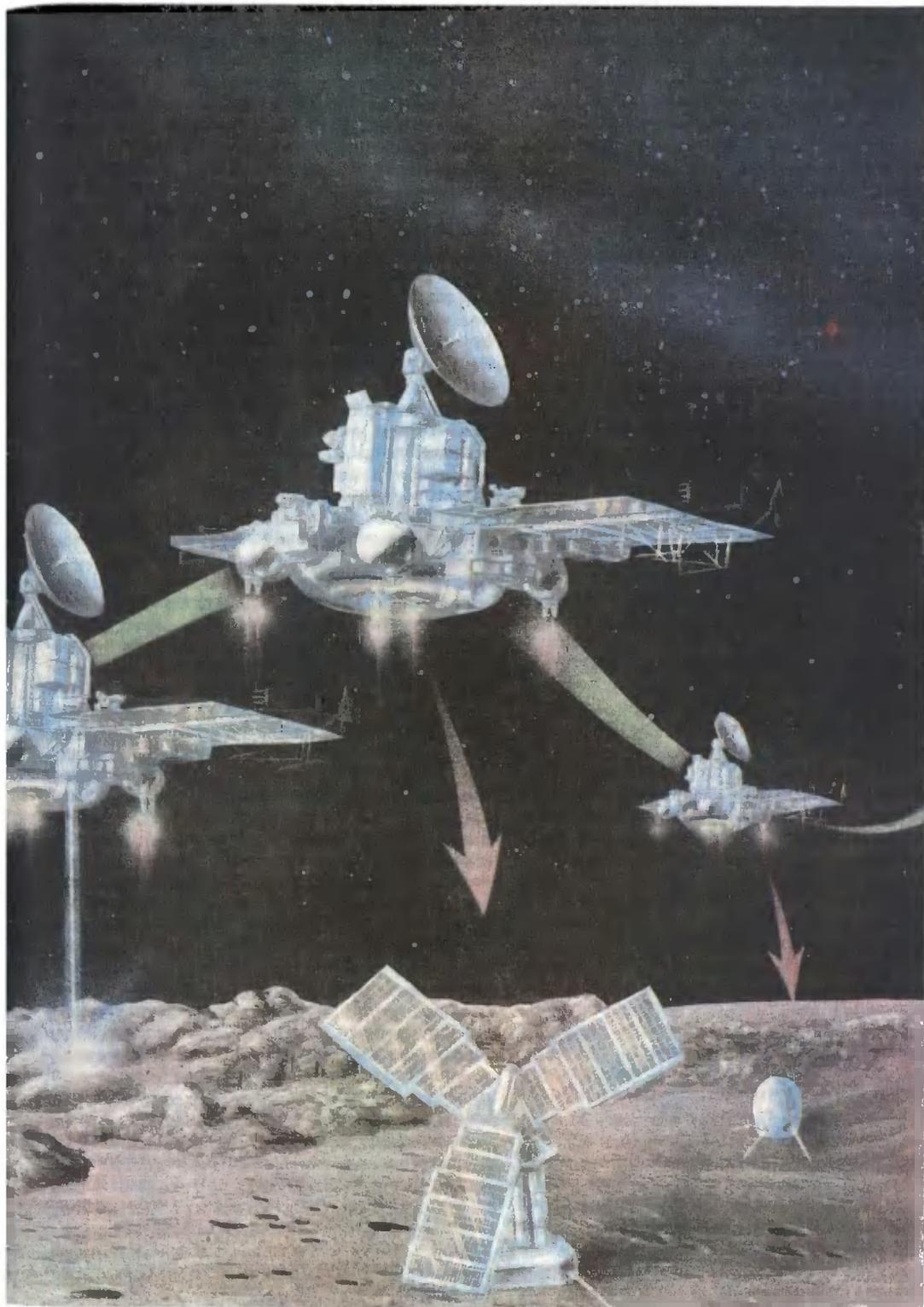
Для каждого космического проекта со своей научной или технической изюминкой требуется разработка соответствующего космического аппарата. Для этого конструкторы совместно с учеными создают техническое задание, каждый раз новое. А в наших условиях задача состояла в том, чтобы уже имеющуюся «машину» постараться использовать еще и еще раз. Нам просто повезло, что в свое время аппарат серии «Венера» был задуман и первые его экземпляры созданы таким замечательным энтузиастом, как Г. Н. Бабакин. Можно только удивляться долголетию этих аппаратов, ведь на кон-

<sup>1</sup> Связь с АМС «Фобос-1» восстановить не удалось. (Прим. ред.)

Основные этапы реализации научной программы вблизи поверхности Фобоса. Слева направо: контроль высоты полета космического аппарата над поверхностью спутника; дистанционный масс-анализ вторичных ионов; дистанционный лазерный масс-спектрометрический анализ состава грунта; сброс на поверхность Фобоса долгоживущей автономной станции; сброс передвижного посадочного зонда.

Рис. А. М. Коломацкого.





струкции, созданной на их основе в конце 60-х годов для полетов к Марсу (вспомним «Марс-3—7»), с некоторыми, конечно, модификациями, нам удалось в середине 80-х годов вытянуть такой сложный многоцелевой проект, как «Вега».

Поэтому еще раз хочу подчеркнуть, что в системе с самого начала должна быть заложена состязательность и тогда дело потребителя (в данном случае — ученого), исходя из своих интересов, выбрать лучший, оптимальный вариант конструкторской разработки.

**То, что сейчас планируется осуществить при реализации проекта «Марс-94», и будет примером такой состязательности!**

Все зависит от того, как пойдет перестройка. Ведь есть еще много уголков (и совсем не малых), куда она практически не дошла из-за «закрытости». Но все-таки я надеюсь, что к 1994 г. мы создадим хороший проект. И очень важно с самого начала принципы научной демократии и гласности распространить на всю нашу международную кооперацию ученых. Ведь сумели же мы на базе Института космических исследований создать совершенно замечательное неформальное научное объединение, в которое входят лаборатории 15 стран, а в некоторых проектах, разрабатываемых сейчас, число участников еще большее. Главное, чтобы все осознали, что каждый член такой международной кооперации имеет право на свое мнение.

И, на мой взгляд, совершенно неважно, что в конкурирующих вариантах, разрабатываемых двумя промышленными предприятиями по проекту «Марс-94», предлагается использовать разные ракеты-носители — «Протон» или «Энергию», т. е. космические станции будут отличаться общим весом выводимой в космос научной аппаратуры. Главное, что в процессе подготовки этого проекта сразу возник элемент состязательности. Ведь каждая из групп, предлагающая свой вариант технического решения полета к Марсу, старается теперь найти наиболее интересные особенности своего сценария, чтобы доказать, что именно он позволит науке получить то, что она хочет, и в наиболее полном объеме.

**Существует разное отношение к пилотируемым полетам, в частности на Марс. Относитесь Вы себя к сторонникам таких полетов или Вы — за автоматы!**

Я считаю, что пилотируемый полет — очень важное мероприятие. Его нельзя обосновать только необходимостью решать

определенные научные задачи. Он имеет еще и очень важный политический аспект, поскольку представляет собой своего рода противовес чисто военным проектам, например таким, как СОИ. Но необходимо при этом четко понимать, что это еще и очень сложный проект. Ясно, что сегодня к нему никто не готов: и технику нужно развивать, и больше следует получить информации о самом Марсе, о том, что мы называем его «инженерной моделью». Я имею в виду сводку, набор данных, которыми должны располагать инженеры и конструкторы, чтобы создать уникальную технику, вывести ее на орбиту Марса, а затем осуществить пролет и посадку через атмосферу планеты в мало известных условиях.

Вот на таком первом этапе в качестве предшественника пилотируемого полета обязательно должны выступать беспилотные миссии аппаратов-роботов. Их нужно планировать как первые звенья в длинной цепочке полетов. Ведь уже сегодня нужно думать о генеральной линии исследований, а не просто «выхватывать» какие-то отдельные полеты.

**А существует ли в настоящее время такая генеральная линия!**

**Можно ли говорить об отличии в стратегии космических программ в нашей стране и на Западе!**

Смею утверждать, что у нас она есть. Благодаря гласности, которая проникла в нашу космическую науку очень быстро, мы просто были готовы к этому, понимая, что иначе работать нельзя. Свою точку зрения на развитие космических исследований мы сумели высказать и апробировать (конечно, эта точка зрения не есть нечто застывшее, она непрерывно развивается, мы учитываем и предложения наших партнеров). Теперь эта точка зрения стала, я бы сказал, общепринятой концепцией.

Сначала нужно создать хорошие орбитальные аппараты, потом осуществить посадку спускаемых модулей на поверхность Марса, затем необходимо заставить посадочный аппарат двигаться по поверхности планеты, т. е. сделать его марсоходом, научиться преодолевать препятствия и путешествовать через разные геологические и климатические зоны Марса. Возможно, на этом пути удастся обнаружить какие-то признаки жизни, по крайней мере следы когда-то существовавших организмов.

**Вы считаете, что вопрос: «Есть ли жизнь на Марсе!» еще не закрыт!**

Да, мне так кажется. Во всяком случае, наш долг использовать любые полеты к этой планете, чтобы получить окончательный ответ. Отрицательный ответ тоже будет чрезвычайно важным.

Затем, в ходе обсуждения проекта «Марс-94» наши зарубежные коллеги предложили добавить к описанному выше сценарию еще и запуск аэростатных зондов и даже выдвинули очень интересную идею их конструкции: двойная оболочка, заполненная гелием и горячим воздухом, на ночь «укладывающаяся спать» на поверхность Марса, а днем под действием солнечных лучей снова поднимающаяся и продолжающая свой полет.

Следующий этап, тоже беспилотный, — возврат образцов грунта из наиболее интересных районов Марса на Землю. Если к этому времени будет отработана техника передвижения по поверхности Марса (а она потребует не только необычной конструкции самого передвигающегося аппарата, но и, по сути, настоящего искусственного интеллекта, который управлял бы этим марсоходом), то можно рассчитывать, что с помощью такого марсохода удастся собрать образцы вещества в самых разных районах планеты и доставить их к ракете, ждущей своего отправления на Землю.

Вот такой сценарий, такую последовательность действий вполне реально, на мой взгляд, осуществить еще в этом столетии. Очень важно, чтобы проекты были международными — тогда каждому из участников они обойдутся гораздо дешевле, ведь мы уже не можем позволить себе бездумного соревнования — кто раньше осуществит запуск, с параллельными затратами огромных средств. Но главное, чтобы все мы — участники проекта — почувствовали, что являемся посланцами одной маленькой и, к сожалению, довольно хрупкой планеты, планеты Земля.

**Весной 1988 г. Вы были в США, где встречались с американскими учеными и политическими деятелями. Обсуждалась ли возможность совместной подготовки и проведения полета к Марсу? Если да, то чего удалось достичь в этих переговорах?**

На сегодня наши встречи с американскими учеными происходят таким образом: мы обмениваемся идеями, вырабатываем, а бы сказал, пока еще только умозрительные сценарии. Интерес огромный — с обеих сторон (кстати, и в Европе тоже). Но вопрос о договоренности уже затрагивает высшее руководство обеих стран. Вы знаете, что М. С. Горбачев в своих выступлениях

несколько раз специально останавливался на вопросе о совместных исследованиях Марса. Конечно, его интерес нас вдохновляет. Но нужно, чтобы такой же энтузиазм появился и у американской администрации. Сейчас ей пока было некогда, как Вы знаете, в США шла предвыборная кампания, но мы надеемся, что новая администрация с большим интересом отнесется к этим космическим проектам.

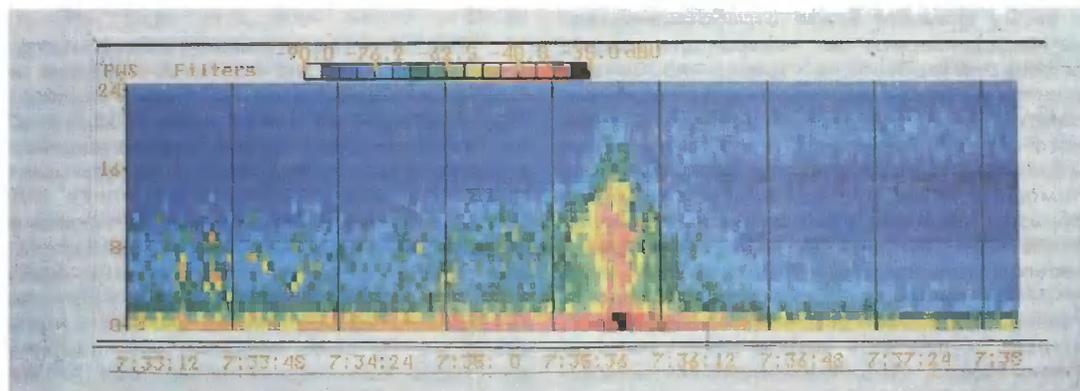
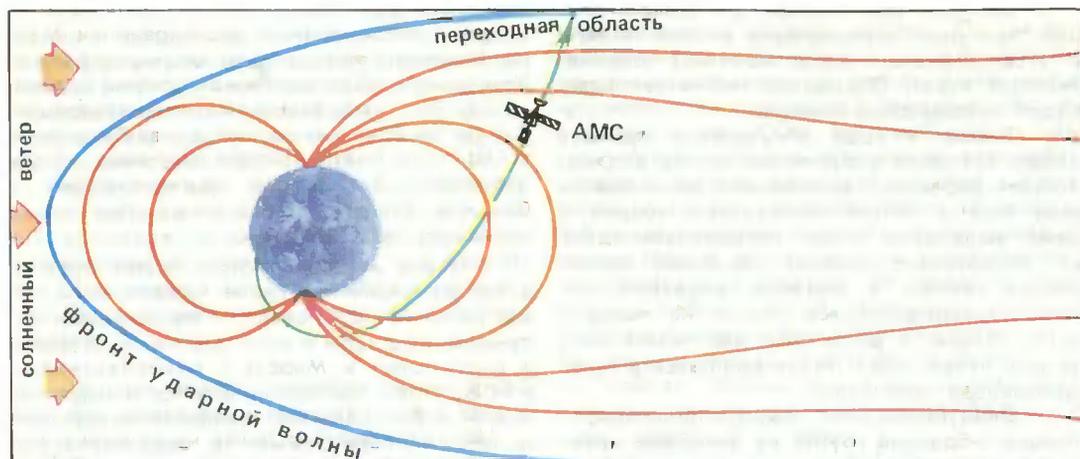
И все же после Московской встречи в верхах какие-то сдвиги наметились. Так, мы получили возможность официально обсуждать подступы к этой проблеме (я имею в виду полет к Марсу) с руководителями НАСА. Пока мы обмениваемся замечаниями о беспилотных сценариях советского полета к Марсу, имея в виду начать в будущем обсуждение совместных миссий.

**Как известно, стоимость обоих многоцелевых космических проектов — «Веги» и «Фобоса» — достаточно высокая. Ошибки, свои в программе могут дорого обойтись. Не поможет ли здесь математическое моделирование планируемых экспериментов?**

В любой области науки, не только в космонавтике, математическое моделирование становится сейчас императивом, необходимостью. Так было во время проведения проекта «Вега»: многие явления и процессы мы пытались моделировать задолго до старта космических аппаратов. То же самое произошло и при подготовке проекта «Фобос». Так, баллистика вся построена на математическом моделировании; то же можно сказать и о многих других экспериментах. И чем дальше, тем больше нам придется прибегать к математическому моделированию. Поэтому мы очень рассчитываем на появление суперЭВМ. Они для нас не престижная игрушка, а прежде всего инструмент, с помощью которого можно проводить значительную часть работ. Конечно, это не заменяет настоящее физическое моделирование, но в огромной степени помогает ему. И кто знает, возможно, в будущем и заменит его! К сожалению, пока мы не можем получить отечественных суперЭВМ.

**С чем это связано?**

В пресловутые застойные годы, когда прогресс всего нашего общества затормозился, в том числе и развитие многих важных направлений в науке, появилась и еще одна печальная особенность — доклады начальству, чрезвычайно умело лакировавшие действительность. Это создавало видимость



Первые результаты, полученные с помощью приборов «Фобос-1». Вверху — схема пролета АМС через земную магнитосферу и ее переходную область с пересечением ударной волны. Внизу — спектрограмма электрической компоненты плазменных колебаний на околоземной ударной волне. По оси абсцисс — время в секундах (интервал 36 с; измерения проводились каждые 3 с); по оси ординат — номера фильтров (частот), № 0 соответствует ~ 1 Гц, № 24 — 150 Гц. Цветом показана интенсивность каждой спектральной компоненты частоты, причем максимальной интенсивности соответствует черный цвет, минимальной — белый. Спектрограмма получена с части прибора АПВ-Ф, изготовленной в Европейском космическом агентстве.

благополучия и наверху, и внизу. А в результате целые научные направления оказались в запущенном состоянии. Сейчас их надо активно развивать.

Но у этой проблемы есть еще одна, не менее страшная сторона — у молодых ученых и инженеров, которые работают над тем или иным проектом и являются свидетелями того, как их руководители умело «втирают очки», у них просто опускаются руки. Или того хуже — они сами начинают работать по-другому, среди них возникают такие же очковтиратели. И вот это-то самое страшное!

И тем не менее хотелось бы верить в энтузиазм и разумный оптимизм нашей

молодежи, рассчитывать на ее творческий потенциал. И так, сейчас полным ходом идут исследования по проекту «Фобос». Но, наверное, одновременно проходит обсуждение, а возможно, и подготовка других, не менее важных космических программ. Какие из них у нас в стране и за рубежом Вы бы отметили особенно?

Действительно, сейчас в центре внимания международной общественности, безусловно, находится проект «Фобос». По мере приближения межпланетных станций к Марсу интерес к нему будет только возрастать.

Но в 1989 г. состоится еще одно выдающееся научное событие — американский космический корабль «Вояджер», после того как он встретился с Юпитером и его спут-

никами, с системой Сатурна и Ураном, приблизится к планете Нептун. Это пример необычайного космического долголетия. Мы все бесконечно восхищены и, честно говоря, безумно завидуем. Но хочу подчеркнуть, что в данном случае все в огромной степени определяется высочайшей технологической культурой, с которой был создан этот аппарат. Ведь нужно, чтобы вся его система в целом и каждый отдельный маленький компонент — будь то микросхема или конденсатор — сумели работать в экстремальных условиях (повышенная радиация, огромные перепады температур и т. д.) без вмешательства человека в течение многих лет.

### Сколько же функционирует этот космический «долгожитель»?

Он был запущен в 1978 г., так что находится в полете уже более 10 лет. Но и это не рекорд. Иногда в шутку присылают приглашения на банкет по случаю, скажем, 15-летия бесперебойной работы «Пионера-6». Этот аппарат — предшественник «Вояджера»; и таких аппаратов много. А у нас только слюнки текут — ведь ничего подобного у нас нет!

В ближайшие годы должен осуществиться еще один выдающийся проект — вывод в космос космического телескопа, получившего наименование «спейс-телескоп», или «Обсерватория им. Э. Хаббла», с диаметром зеркала 2,5 м. Это уникальный инструмент; как только он будет выведен на орбиту, астрономы с его помощью увидят намного дальше, чем в любые мощные наземные телескопы, но главное — увидят по-другому, потому что у этого телескопа совсем другой диапазон принимаемых длин волн (не только видимая, но и ультрафиолетовая часть спектра), а кроме того, для него характерны гигантские угловые точности, поскольку не мешает атмосфера — не создает мерцаний.

Но этот инструмент стал жертвой проекта «Шаттл». Дело в том, что в последнее десятилетие американская космическая программа содержала в себе врожденный порок — все космические проекты были привязаны к кораблю многоразового использования, шаттлу. Это было прямое политическое вмешательство (пример командно-административных методов руководства), результат неудачного решения и того, что не учитывалось мнение ученых и инженеров. Сейчас даже руководители НАСА нашли в себе смелость признать ошибку (более того, считают ее исторической) и теперь наряду с кораблем многоразового исполь-

зования создают (и восстанавливают) целую гамму обычных одноразовых носителей. Но спейс-телескоп, его механические интерфейсы сконструированы таким образом, что все они привязаны только к шаттлу, поэтому трудно сказать точно, когда этот телескоп будет выведен в космос. Могут лишь отметить, что наши американские коллеги чрезвычайно обеспокоены сложившейся ситуацией.

В аналогичном положении находятся и несколько других проектов. Например, «Галилео» — полет к Юпитеру с выбросом «десанта» в глубокую атмосферу планеты. Очень жаль, что американские специалисты в свое время не воспользовались нашим предложением заказать для своих программ советские носители. Сейчас уже поздно, но, наверное, полтора-два года назад об этом еще можно было подумать.

### А почему поздно сейчас?

Причина все та же — сложные механические интерфейсы, о которых я говорил в связи с проектом спейс-телескопа, и в случае «Галилео» требуют очень серьезных изменений, а полеты шаттлов уже возобновились<sup>4</sup>. Но есть целый ряд других космических проектов, и не только научных, но и коммерческих, готовящихся у нас в стране, в которых Запад мог бы принять участие, и притом с большой пользой для себя. Это было бы обоудовыгодно. Но опять мешают политические соображения. По чисто политическим причинам в США не захотели воспользоваться услугами нашей космической промышленности.

### Вы перечислили наиболее интересные американские космические проекты. А как обстоят дела в нашей стране!

У нас сейчас наготове два астрономических спутника (один, возможно, будет запущен в начале 1989 г., а другой — в середине 1989 г.). В первую очередь я имею в виду обсерваторию «Гамма» (совместная советско-французская программа). Сроки ее запуска уже несколько раз переносились. Нас это очень волнует, с большим сопротивлением соглашаемся мы на очередной перенос сроков, о котором сообщает Главкосмос. Очень надеемся, что на сей раз дата запуска обсерватории «Гамма» не будет перенесена.

<sup>4</sup> 15 ноября 1988 г. и у нас в стране был осуществлен старт корабля многоразового использования «Буран». На орбиту он был выведен с помощью ракеты «Энергия», а посадку осуществил в автоматическом режиме. (Прим. ред.)

### **В связи с чем переносятся сроки!**

Я думаю, что сказывается та же основная причина, от которой страдает все наше хозяйство, — необязательность.

Второй астрономический спутник — рентгеновская обсерватория «Гранат». Этот проект родился на несколько лет позже «Гаммы», поэтому он современнее, в нем более тонкие, чувствительные приборы. Это тоже совместный советско-французский проект. Думаю, что, если обе обсерватории будут выведены на орбиту без дальнейших проволочек, они скажут свое слово в космической науке. Но США могут опередить нас, у них наготове спутник GRO для гамма-астрономии; вес его научной аппаратуры в четыре раза больше, чем на обсерватории «Гамма». Он тоже ждет носителя — и его должен вывести на орбиту шаттл.

**Все больше стран начинают развивать у себя космические исследования. Уже не редкость создание международных коопераций в этой области; Вы сами в нашей беседе неоднократно упоминали об этом. Не пора ли уже сегодня выработать четкие международные правовые положения по космосу!**

Независимо от того, какими будут международные правовые нормы, отношения между космическими державами будут зависеть от политических целей, которые партнеры преследуют. Но рамки, в которых эти цели могли бы осуществляться, надежные, твердые рамки, безусловно, нужны.

Уже сейчас имеется целый ряд правовых международных норм (например, запрет на вывод в космос ядерного оружия или другого оружия массового уничтожения). С моей точки зрения, их необходимо дополнить отказом от милитаризации космического пространства в широком смысле, т. е. запретить вывод в космос и космические испытания любого оружия. Предполагается заключить ряд правовых соглашений, касающихся использования космического пространства в народном хозяйстве, в экономике.

Таким образом, эта область уже имеет свою науку — международное космическое право. Наука эта развивается, время от времени проходят международные конференции, семинары, и все, кто связан с космосом, заинтересованы в развитии этой сферы деятельности.

**Рояльд Зиннурович, в нашей беседе Вы рассказали о тех космических проектах, которые либо уже идут полным ходом,**

**либо будут проведены в ближайшие годы. А если заглянуть в будущее. Каким Вам видится космический проект XXII в. (ведь до начала XXI в. осталось всего 11 лет)!**

Стыдно признаться, но реалии нашей практической хозяйственной жизни сводят роль руководителя любого научного коллектива, занимающегося космосом, будь то директор института или заведующий лабораторией, к тому, что приходится тратить почти 90 % времени на решение сиюминутных задач — «пробивать» заказы, причем не только такие грандиозные, как заказ на спутник, на очередной запуск, но и на прибор, который должен полететь; доставать отдельные комплекующие узлы, которые выпускаются (или нет) нашей промышленностью, — и все это огромная работа. А в итоге получается, что в той текучке, которая при правильной организации экономики в стране, и в науке в том числе, не должна отнимать столько времени, мы не в состоянии подумать о проектах если и не XXII в., то хотя бы XXI в.

И тем не менее надеюсь, что в XXI в. мы станем свидетелями свободных перемещений человека в пределах Солнечной системы, возможно, правда, не мы, а наши потомки. Думаю, что в очередной приходе кометы Галлея в 2061 г. человечеству наверняка удастся разгадать ее загадку. Наверное, было бы опасно посадить космический аппарат с человеком на борту на поверхность ядра этой кометы, но, кто знает, возможно, к тому времени придумают защиту от пылевых потоков. Во всяком случае, взять пробу вещества непосредственно из ядра кометы и доставить ее на Землю — для наших потомков (а я думаю, что и наши внуки имеют шансы дожить до этого события) окажется вполне разрешимой задачей.

**Что Вы подразумеваете под загадкой кометы Галлея!**

Сегодня мы не можем ответить на многие вопросы физики комет, например, почему эта комета ведет себя столь необычно. Достаточно ей подлететь к Солнцу на минимальное расстояние, как затем в течение нескольких недель она продолжает с огромной силой «парить». Такая тепловая «память» кометы сохраняется недолго. Поскольку мы знаем теплоемкость ее вещества, можно сделать примерные оценки, но из них следует, что подобный процесс испарения не должен продолжаться столь долго. И тем не менее комета продолжает «парить», причем гораздо более интенсивно, чем на таком же расстоянии

при полете к Солнцу. Природа подобной асимметрии непонятна. По-видимому, на поверхности кометного ядра происходят какие-то неизвестные физико-химические процессы, которые нам пока не удалось полностью исследовать.

И, наконец, вопрос о происхождении комет. Он до сих пор не решен. Для этого прежде всего нужно доставить кометное вещество на Землю.

**Следующий вопрос выходит за рамки нашей сегодняшней беседы. Имея в виду те общественно-политические события, тот процесс, который происходит у нас в стране, как Вы понимаете демократизацию и гласность в науке, как, по Вашему мнению, должна перестраивать свою работу Академия наук СССР!**

Мне кажется, наша Академия — своего рода особая точка в мировой семье научных сообществ. Будучи однажды избранными в Академию, члены ее получают такой букет привилегий, которым не обладает член ни одной академии мира. Я не имею в виду просто дополнительные материальные блага; в конце концов, те процессы, которые идут в стране (включая неизбежную инфляцию), эту разницу постепенно уменьшают, и дальше она будет сокращаться еще сильнее. Речь идет о том, что помимо почета, которым пользуются и члены зарубежных академий (ведь само избрание — акт признания заслуг), члены нашей Академии получают рычаги влияния и на научную политику. Как правило, академики руководят институтами, а если какой-то из институтов не сумеет заполучить в качестве директора академика, он просто считает себя бедным родственником. Очень часто независимо от научных заслуг директора такого института во время очередных выборов в Академию положение пытаются «исправить». Кроме того, влияние на научную политику осуществляется через Секции, Отделения и Проблемные советы АН СССР, которыми руководят академики. В итоге тысячи великолепных ученых — докторов и кандидатов наук, тех, кому из-за неудачного жребия не удалось стать членом Академии (а таких случаев немало), — в значительной степени исключены из реального процесса проведения научной политики.

Поэтому демократизация в науке прежде всего должна высвободить гигантский творческий потенциал основной творящей науку массы.

**Что, конкретно, Вы предлагаете сделать!**

Возможные меры достаточно широко обсуждаются, и президент АН СССР Г. И. Марчук неоднократно высказывался об этом, в частности в печати. Речь шла о все большей автономии Отделений, о передаче полномочий с уровня Президиума и Секций на уровень Отделений. Эта идея сразу получила поддержку, но довольно быстро стало ясно, что если Отделения сосредоточат в своих руках всю полноту власти, то в конце концов это будет реставрацией осужденной сегодня концепции министерских главков.

В настоящее время идет процесс активизации институтов; они должны получить большую автономию. Поэтому следующий, на мой взгляд, этап — использование институтами полученных прав и подлинная демократизация внутри институтов. Для этого существует много разных мероприятий. Прежде всего, выборы директора института и членов ученого совета. Должен сразу сказать, что я против того, чтобы эти выборы превращались в бесконтрольное вече. Потому что тогда суждения людей некомпетентных, стоящих где-то около науки, по существу приравниваются к мнению специалистов, и в итоге процесс выборов (впрочем, как и любой другой) становится неуправляемым. Но, безусловно, голос каждого научного сотрудника должен быть услышан.

Далее, я считаю, что демократизация научной жизни института должна включать в себя дальнейшую передачу полномочий (в том числе финансовых и хозяйственных) лабораториям, которые должны стать основным звеном в научном сообществе. Необходимо вести поиск новых форм финансирования научных коллективов на конкурсных основах, развивать состязательность между ними. Вот тогда наши ученые, многие из которых имеют мировое признание, смогут реально влиять на научную политику в стране, и она не будет вершиться только в узком, келейном кругу членов Академии. Тогда-то наша наука действительно сделает настоящий шаг вперед.

При этом, естественно, нужно резко улучшить и те материальные условия, в которых наука развивается. Потому что предоставить лаборатории автономию, но не дать ей возможности приобрести, например, компьютер, означает не сделать ровным счетом ничего.

**Вы были делегатом XIX партийной конференции. Каково Ваше самое сильное впечатление от этого важнейшего события**

в жизни нашей страны за прошедший год!

Выступление М. С. Горбачева, а для ученого — в особенности тот раздел его доклада, который был посвящен науке. У меня тогда сложилось впечатление, что в этом докладе о проблемах и нуждах нашей науки сказано все, о чем хотелось сказать и мне. Может быть, в какой-то степени вялая реакция делегатов партконференции на выступления руководителей нашей Академии объяснялась еще и тем, что трудно было добавить что-то новое.

Но вот что меня очень огорчило — многие делегаты походя «вытирали ноги» о науку. В качестве примера сошлюсь на выступление генерального директора Ивановского станкостроительного производственного объединения им. 50-летия СССР В. П. Кабаидзе. Я бы даже сказал, что в каком-то смысле такой стиль был бы более уместен на концерте Геннадия Хазанова. При таком отношении к науке даже талант организатора-хозяйственника, которым, бесспорно, обладает товарищ Кабаидзе, не поможет нашей промышленности вывести советскую технику на передовые рубежи.

Я понимаю, в чем корни подобного отношения к науке. Действительно, в течение многих десятилетий, особенно в период застоя, наша наука была «карманной» — о ней вспоминали в основном тогда, когда надо было обосновать, например, очередное постановление о новом генеральном наступлении на природу. И теперь возникла обратная волна. Совершенно справедлива постановка вопроса о моральной и социальной ответственности ученого. Не случайно не утихают дискуссии вокруг конкретных фактов, например загрязнения Байкала или пресловутой переброски рек, и вокруг имен конкретных ученых, лично причастных к тем печально известным решениям.

Во многом мы сами виноваты, что сейчас наблюдается потеря интереса к науке, скептицизм по отношению к ней. И вот здесь огромная роль принадлежит пропаганде достижений науки, тому, как наука, ее значение подаются средствами массовой информации. Одна из идей — издание специальной газеты АН СССР; с таким предложением выступил на конференции президент АН СССР.

Имеется в виду еще одно научно-популярное издание, которых, вроде бы, и так достаточно, или что-то принципиально новое!

Основная цель — чтобы все ученые, все члены научного сообщества почувство-

вали себя одной семьей, чтобы обратная связь была более быстрой, а не такой медленной, как, скажем, осуществляемая с помощью издающихся сейчас журналов. Поэтому-то и нужна, если и не ежедневная, то хотя бы еженедельная газета<sup>5</sup>.

Но и такая газета не решит задачу пропаганды достижений и роли науки среди широких масс, так как читать ее будут в основном ученые. И здесь я поддерживаю идею, которую высказал недавно академик Л. И. Абалкин: необходимо, чтобы одна из наших центральных газет, например «Правда», раз в неделю целую полосу отводила науке. Возможно, для этой цели больше подойдут «Известия» (но только не «Советская Россия»!).

Вообще же с сожалением должен отметить, что в последнее время пошла какая-то полоса публикаций по паранауке. Но возникла она не сейчас. Помню, лет 12 назад я выступал с популярной лекцией в большом лектории Госплана. Огромный зал, сотни сотрудников. Мой доклад был посвящен использованию достижений космонавтики в народном хозяйстве. По окончании доклада мне стали задавать вопросы — устно и в форме записок. Было около 20 записок, и все посвящены одной проблеме — летающим тарелкам! Одну за другой я разворачивал их, ожидая вопроса, действительно относящегося к теме моего доклада. Но когда я раскрыл последнюю и понял, что в ней содержится все тот же вопрос, я не выдержал и в сердцах воскликнул: «Теперь, узнав, что больше всего в космических исследованиях интересуется сотрудников Госплана, я понимаю, почему у нас такой развал в народном хозяйстве!» Академик М. В. Келдыш долго смеялся, когда я ему обо всем рассказал, а потом заметил: «А ведь Вы поступили очень неосторожно — от них зависит финансирование научных исследований».

Думаю, тогда мы слишком часто становились в позу младшего партнера, смело не защищали интересы науки. Надеюсь, те времена прошли навсегда.

**В заключение, Рояльд Зиннурович, мне остается поблагодарить Вас за интересную и содержательную беседу. Надеюсь, читатели «Природы» еще не раз узнают от Вас о достижениях и проблемах космических исследований — одного из самых молодых и самых перспективных направлений науки.**

<sup>5</sup> С 1989 г. будет выходить еженедельник «Наука и высшая школа». (Прим. ред.)

В.С. Еманов

**МОРСКАЯ  
ЛАБОРАТОРИЯ**  
*вдали от МОРЯ*



Морская звезда рода хириция.



Владимир Станиславович Еманов, младший научный сотрудник Института биологии развития им. Н. К. Кольцова АН СССР, заведующий морской аквариальной лабораторией. Занимается созданием искусственных морских аквариальных систем, изучением методов отлова, содержания и культивирования морских животных.

**Т**РУДНО представить, насколько беднее были бы знания во многих разделах биологии и медицины, не будь экспериментальных животных. Сейчас даже трудно вообразить работу какого-либо биологического или медицинского учреждения без вивария и животных, которые там содержатся и размножаются. Мало того, в вивариях выводятся специальные линии животных, необходимые для исследований по генетике, иммунологии и т. д. Кто только из наземных существ не служил объектом для изучения биохимических процессов, живой моделью исследуемых заболеваний! На крысах и мышах, хомячках и кроликах испытывается действие лекарственных препаратов, которыми потом лечат человеческие недуги.

Теперь наступила пора устраивать виварии для обитателей морей. Зоологам, биохимикам, эмбриологам, физиологам и другим специалистам морские организмы в экспериментальной работе необходимы не менее наземных и так же, как последние, должны быть под рукой у исследователя. Пока же морские объекты приходится добывать на далеких от научных центров морских биологических станциях, которые сейчас по существу служат местом пристанища для разнообразных экспедиций по сбору биологического материала в прибреж-

ных акваториях и лабораториями, где можно поставить лишь простейшие опыты, поскольку в большинстве случаев оборудованные и научное оснащение биостанций несовершенны.

Но в пору своего возникновения биологические станции создавались как научно-исследовательские учреждения, предназначенные для стационарного изучения растений и животных в природных условиях. В связи с усиленным изучением физиологии и эмбриологии первыми возникли именно морские биостанции. В 1859 г. была организована небольшая лаборатория в Конкарно во Франции (Бискайский залив), за ней в 1871 г. — морская биостанция в Севастополе. Толчком для ее организации послужили блестящие открытия А. О. Ковалевского и И. И. Мечникова, выполненные на морских животных Средиземного моря. Через 10 лет возникла еще одна — Соловецкая биостанция на Белом море (в 1899 г. она была перенесена на Мурманское побережье Кольского залива), в 1898 г. — Астраханская, в 1912 г. — Бакинская.

После Октябрьской революции число биостанций стало быстро расти. Их организовали не только Академия наук СССР и академии союзных республик, но и крупнейшие университеты страны. Некоторые биостанции со временем были преобразованы в институты: Мурманская, еще раз (в 1936 г.) перенесенная на новое место — в Дальнезеленую губу, — стала Мурманским морским биологическим институтом Кольского филиала АН СССР; Севастопольская — Институтом биологии южных морей АН УССР. Работа биостанций постепенно приобрела специализированное практическое направление (в особенности рыбохозяйственное), стали проводиться исследования по разработке биологических основ рационального использования и воспроизводства рыбных и других (животных и растительных) ресурсов морей.

Однако морские организмы по-прежнему оставались неотъемлемыми объектами и фундаментальных исследований. И до сего дня в этом качестве морские организмы не перестают интересовать специалистов, а в последние годы внимание к ним усилилось и как к источникам биологически активных веществ — незаменимому сырью для пищевой промышленности и медицины.

Но большинство фундаментальных исследований проводится в научных учреждениях, расположенных вдали от морских берегов. Поэтому и отправляются исследователи в прибрежные акватории морей за

материалом для экспериментов и везут его к себе в институт в зафиксированном виде (попросту — в спирте или формалине). Мало того что работать им приходится в нелегких экспедиционных условиях, находясь в полной зависимости от сезонности и капризов погоды, на такие экспедиции тратятся немалые средства, расходуются силы и время множества специалистов.

Тем не менее изучение морских организмов продолжается и развивается едва ли не в каждом учреждении биологического профиля нашей необъятной страны. Продолжаются и экспедиции. Из-за ограниченности во времени и желания запастись объектом исследования впрок далеко не всегда черпается разумное количество морских организмов (да и добывают их почти всегда в одном и том же месте), скудеют запасы, научные результаты добываются ценой уничтожения большого числа порой редких, ценных животных. Никакими открытиями и достижениями невозможно будет оправдать исчезновение хоть одного вида, независимо от того, изъят ли он для экспериментов на самих биостанциях или теми, кто везет будущих подопытных животных за тридевять земель.

Как же избежать траты средств и сил, сохранить природные богатства прибрежных морских зон и все же сделать морские организмы доступными для исследований? Один из способов — создание хорошо оснащенных и оборудованных морских биологических лабораторий при тех институтах, где такие исследования ведутся.

За опытом организации подобных лабораторий московским специалистам далеко ехать не надо. Не один год существует в Московском зоопарке лаборатория биотехники, которую возглавляет ее организатор О. И. Шубравый. Несмотря на то что ему и его сподвижникам даже самое необходимое для устройства морского аквариума приходилось (да и сейчас приходится) изготавливать кустарно, они сумели сконструировать высокоэффективные аквариальные замкнутые системы, работающие на искусственной морской воде, и мощные культиваторы, в которых выращивают живой корм. По сути, в большом аквариуме (объемом 2000 л) создано искусственное море, где содержатся разнообразные организмы, многие из которых размножаются и существуют на протяжении нескольких поколений. Уникальны разработанные морские искусственные системы жизнеобеспечения и методика содержания представителей арктической фауны.

Несмотря на нехватку помещений, отсутствие хорошо оборудованных рабочих мест, год от года все большее число исследователей морских животных работало в этой лаборатории. Сюда стекались специалисты многих научных организаций: Московского университета, Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР, Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР, нашего института. Приезжали из Ленинграда сотрудники Зоологического института АН СССР и даже из тех учреждений, которые сами имеют биостанции или находятся по соседству с морями — из Института биологии южных морей АН УССР (Севастополь) и Института биологии моря ДВО АН СССР (Владивосток). Интерес со стороны ленинградских, севастопольских и владивостокских исследователей к искусственной морской экосистеме, созданной Шубравым, убедительно подтверждает необходимость создания морских лабораторий.

Лаборатория биотехники Московского зоопарка сделала свое дело: ее пример и опыт послужили другим для организации подобных ей лабораторий. Так, недавно была создана и теперь успешно работает морская биологическая лаборатория в Московском университете — на кафедре физиологии растений биологического факультета. Здесь в замкнутых системах отработаны методы содержания и культивирования большого числа морских растений, которые используются в исследованиях по изучению влияния загрязнений на морские экосистемы. Известно, что сейчас многие морские травы и водоросли выращивают на плантациях, а тонкости условий их выращивания можно надежно отработать именно в лабораторных установках.

Создана морская лаборатория и в нашем институте. Существует она немногим больше года, и автор этих строк пока единственный ее сотрудник. Объектами исследований многих подразделений института издавна являются различные морские беспозвоночные, потребность в увеличении их видового состава со временем растет. Морским ежам, звездам, двусторчатым моллюскам, ставшим уже классическими объектами для многих экспериментальных работ, приходится потесниться на лабораторном столе и дать место представителям других систематических групп, в частности рыбам. Естественно, что наша морская биологическая лаборатория должна обеспечить исследователям более широкий спектр морских животных, поэтому в замкнутых аквариальных комплексах содержатся



Дальневосточная актиния на раковине морского гребешка.



Креветка тропической морской фауны в домашнем аквариуме Д. Н. Степанова.



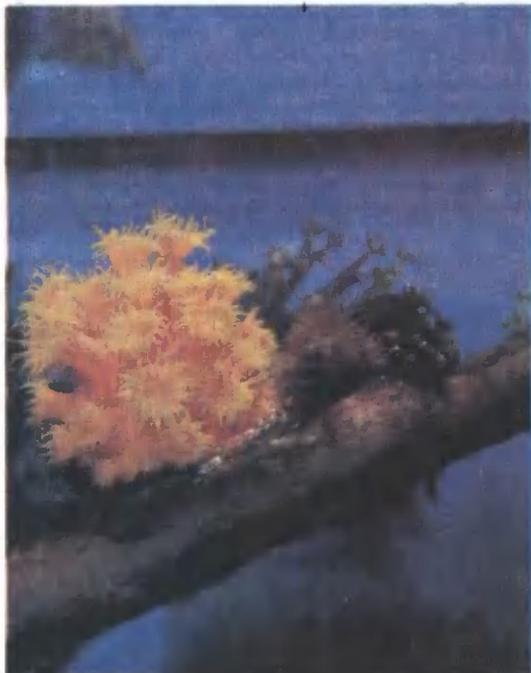
Рак-отшельник, надевший на себя губку.



Серый морской еж.

Амурская звезда.

Бесскелетный коралл, обитатель тропических морей,  
в домашнем аквариуме Д. Н. Степанова.



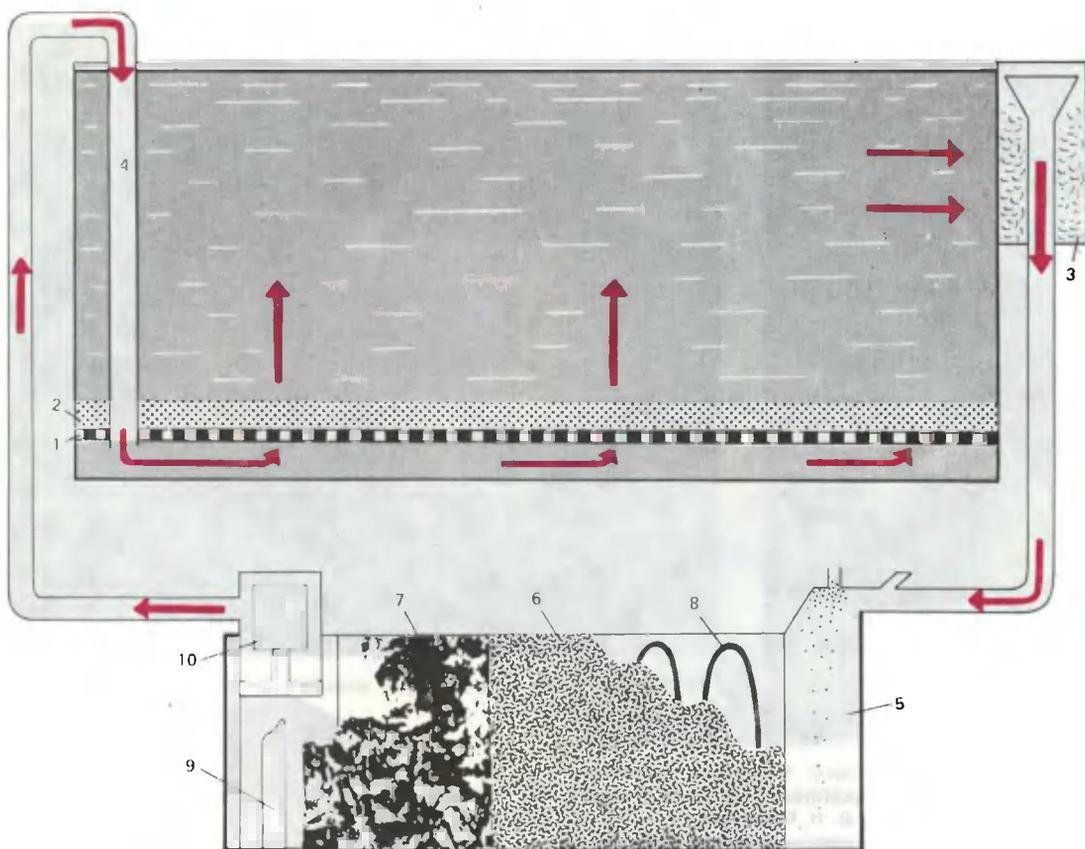


Схема и работа замкнутой аквариальной системы с противоточным способом регенерации воды. Основной резервуар (вверху) имеет водопроницаемое фальшдно (1) с насыпанным на него слоем гравия (2), служащим биологическим фильтром; сливную коробку (3) с механическим фильтром и трубу (4), по которой возвращается вода, очищенная в фильтровальном резервуаре (внизу). В него морская вода поступает из основного резервуара и проходит сначала через пенный флотатор (5), слой гравия (6), в котором

нитрифицирующие бактерии превращают ядовитые для животных нитриты в менее токсичные нитраты, и слой активированного угля (7) — химический фильтр, освобождающий воду от накапливающихся продуктов жизнедеятельности организмов. В этом фильтровальном резервуаре имеется теплообменник (8) и ультрафиолетовый стерилизатор (9). Очищенная вода подается в основной резервуар центробежным насосом (10).

представители почти всех крупных таксономических единиц: простейших, губок, кишечнополостных, червей, членистоногих, моллюсков, иглокожих, полухордовых и хордовых. Надо сказать, что пока далеко не все эти животные используются в экспериментальной работе, но тем не менее поиски условий их содержания и размножения продолжают, поскольку завтра могут стать жизненно необходимыми те организмы, которые сегодня не привлекают внимания.

На основе опыта работы лаборатории биотехники Московского зоопарка у нас изготовлены 5 аквариумов с внутренними

фильтрами (один на 100 л и четыре — по 250 л) и 4 аквариальных замкнутых комплекса с выносной системой регенерации воды (одна объемом 400 л, две — по 600 л и одна — на 1000 л). В замкнутых аквариальных системах предусмотрена очистка воды от механических примесей и токсических веществ, образующихся в процессе жизнедеятельности животных и накапливающихся в воде.

Сейчас у нас содержатся животные из нескольких морей — Баренцева, Белого, Азовского, Черного, Средиземного и Японского. Богаче всех представлена фауна Японского моря. Это 3 вида морских ежей,

6 видов морских звезд, 4 вида двусторчатых моллюсков, 3 вида голотурий и несколько видов рыб. В искусственных условиях хорошо себя чувствует бугорчатая асцидия (*Halocynthia roretzi*), которая в последнее время встречается в природе чрезвычайно редко.

Среди представителей черноморской фауны — актинии рода *Eupha*, креветки рода *Palaemon*, морской конек (*Hippocampus* sp.), рыбы семейства собачек (4 вида) и губанов (1 вид), 2 вида скорпен.

Вместе с беломорскими актиниями рода *Metridium* живут асцидии, ракообразные (в том числе несколько видов раковотшельников и крабов) — обитатели холодных глубин Японского моря. Из представителей фауны Баренцева моря держим только морского ежа *Strongilocentrotus drobachaensis* — классический объект для исследований по биологии развития. Общее число видов в нашей морской лаборатории составляет около 50.

Искусственная морская вода готовится из 25 компонентов по рецепту, разработанному английским исследователем С. Споттом и усовершенствованному О. И. Шубравым. В зависимости от того, какие организмы нужно содержать, состав воды может модифицироваться. Температура в аквариумах и системах поддерживается с помощью термодатчиков, подключенных либо к нагревательным, либо к холодильным установкам.

Ни аквариумы, ни замкнутые системы не представляют собой подобие какого-либо из перечисленных морей, в одном резервуаре сосуществуют, как упоминалось, виды Белого и Японского морей, главное отличие которых не в солености, а в температуре воды, или даже Японского и Азовского, сильно отличающихся средней соленостью, но имеющих общие виды животных, способных переносить изменения солености, например двусторчатые моллюски (мидии) и креветки.

Корм животных различный. Для одних в специальных культиваторах выращивается фито- и зоопланктон, других приходится кормить свежеморожеными морскими продуктами: кальмаром, рыбой, арктическим крилем, морской капустой; даем и измельченную морковь.

Чтобы приблизить питание животных к природному, мы детально изучаем их биологию, исследуем пищевые цепи морских биоценозов. Только вооружившись такими знаниями, можно создать новые и усовершенствовать существующие фито- и зоопланктонные культиваторы и обеспечить необходимым количеством разнообразного

высококачественного корма будущих подопытных животных.

Наша морская биологическая лаборатория еще далека от идеальной, продолжается совершенствование аквариальных комплексов, разработка новых высокоэффективных фильтров, систем регенерации воды. В настоящее время в качестве биологического фильтра «работают» только нитрифицирующие бактерии, которые превращают токсичные нитриты в менее ядовитые нитраты, удаляемые с водой при частичной ее замене. В лаборатории биотехники зоопарка уже создан опытный образец системы, в которой осуществляется денитрификация, т. е. полное восстановление азотистых соединений до свободного азота.

С одной стороны, наша цель — приблизить к природным условия жизни животных в искусственных морях, а с другой — мы должны добиться того, чтобы животные размножались, например, вопреки природной сезонности. Экспериментаторы не будут зависеть от ритмики размножения подопытного объекта лишь тогда, когда мы научимся стимулировать этот важнейший процесс. Сейчас мы уже применяем электростимуляцию морских ежей, гормональную стимуляцию морских звезд и термостимуляцию кишечнорастных животных и двусторчатых моллюсков для получения от них зрелых половых клеток.

Чтобы оградить животный и растительный мир наших морей от чрезмерного научного использования, мы ставим перед собой задачу разработать методы, которые позволили бы проводить длительные и многократные эксперименты на одном и том же животном.

Бесспорно, необходимо будет постоянно пополнять и обновлять коллекции морской лаборатории, для чего нужно тщательно отработать методы отлова, транспортировки и акклиматизации морских организмов. Пока методы отлова просты и обычны для любых организмов: сбор вручную аквалангистом или с помощью трала. Исследователь-аквалангист еще может отобрать животное определенного пола (если существует метод определения), но в трал попадают любые организмы. Нам, например, ни разу не удалось размножить осьминога, но не потому, что плохи условия содержания, а потому что никогда не были выловлены самка и самец одновременно. А определить пол животного при отлове очень важно: ведь для его размножения в лаборатории нужно много самок и лишь несколько самцов. Пока мы научились опре-



Тропическая актиния в домашнем аквариуме Д. Н. Степанова.

Фото С. М. Кочетова

делять пол только морских звезд, не нанося им сколько-нибудь заметного вреда.

Выловленных животных мы везем к себе в полиэтиленовых пакетах с морской водой, заполненных кислородом, которого им хватает на весь путь от Владивостока до Москвы (по воздуху). Беспозвоночные животные по прибытии сразу помещаются в аквариум, а рыб приходится держать некоторое время в карантине, чтобы избавиться от паразитических организмов.

Итак, мы создаем все условия, чтобы обитатели нашей морской лаборатории действительно стали лабораторными животными, послужили науке наравне с наземными существами, давно живущими в вивариях. Но морские лаборатории могут принести пользу

и другому важному делу — просветительскому.

Интерес к жизни моря огромен, подводный мир привлекает к себе внимание большинства людей. Как же любому из нас заглянуть в морские глубины, познакомиться с их обитателями — осьминогами, омарами, причудливыми рыбами, другими удивительными животными и растениями? Ни телевидение, ни кино, ни лучшие музейные экспонаты не могут соперничать с непосредственным восприятием подводного царства. А увидеть его можно через стекло морского аквариума. Морская биологическая лаборатория, имеющая выставочную экспозицию, может легко удовлетворить интересы самых требовательных наблюдателей, стать живой книгой подводного мира. Вопрос лишь в том, многих ли сможет принять такая лаборатория, если она существует в научно-исследовательском институте? Ответ очевиден — очень немногих.

Чтобы морские аквариумы выполняли просветительскую функцию, они должны быть самостоятельными. Можно было бы создать в Москве при Академии наук СССР хорошо оснащенный морской научный центр, который работал бы по принципу самокупаемости и самофинансирования. Сфера деятельности подобного центра может быть довольно широкой: от выполнения узких практических заданий до решения крупных научных проблем как в совместных с другими организациями работах, так и собственными силами. Морской центр с собственными научными кадрами может стать хорошей учебной и практической базой для многих средних и высших учебных заведений, в нем можно наладить лекторскую и пропагандистскую работу среди населения, оказать помощь многочисленным любителям в создании морских аквариумов.

Энтузиастов, готовых взяться за создание такого морского научного центра, среди специалистов уже сейчас вполне достаточно. Но быть ли ему — зависит от поддержки и помощи различных научных организаций Академии наук СССР.

# Древние БАШКАПСАРСКИЕ рудники

В. В. Благовя,  
кандидат исторических наук  
Институт археологии АН СССР  
Москва



## К ИСТОРИИ ОТКРЫТИЯ БАШКАПСАРСКИХ РУДНИКОВ

На Западном Кавказе, где находятся Башкапсарские рудники, люди начали использовать металл уже в конце IV тысячелетия до н. э. Достаточно большое число найденных здесь бронзовых изделий III—II тысячелетий до н. э., сопоставление их состава с многочисленными на Кавказе медными рудопроявлениями позволило специалистам высказать мысль о местных корнях древнего металлургического производства. Но поскольку до недавнего времени памятники горного дела здесь не изучались, тезис об использовании древнейшими металлургами местных руд оставался неподтвержденным. Вот почему с огромным интересом было воспринято сообщение сотрудников Адаггейской геологической партии о том, что в горах Абхазии,

у перевала Аданге, во время прокладки современной штольни на южном склоне горы Башкапсара встречена полость древней горной выработки, каменные молоты и остатки деревянных подпорочных столбов<sup>1</sup>. В 1975 г. для ознакомления с этими рудниками в Башкапсару отправился Причерноморский отряд Института археологии АН СССР, в составе которого работал и сотрудник Абхазского государственного музея Е. К. Аджинджал (начальник отряда — В. В. Бжания).

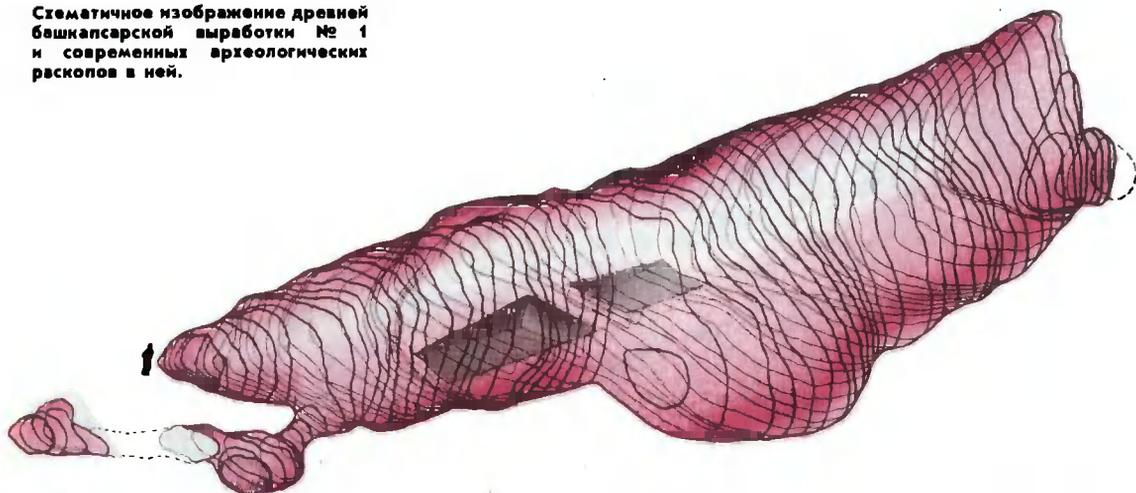
Надо здесь отметить, что

Гора Башкапсара [3500 м]. Район древних горных выработок расположен на высоте 2200—2300 м [цель скальных обнажений].

совместные археологические исследования научных центров Москвы и Ленинграда с абхазскими научными учреждениями имеют длительную историю. Еще в 20—30-х годах в Абхазии работали экспедиции под руководством известных ученых — И. И. Мещанинова, А. С. Башкирова, С. Н. Замятина, А. А. Исссена, Б. Б. Пиотровского и др. Особенно крупные исследования были проведены за последние 20 лет. Совместной экспедицией Института археологии АН СССР и Абхазского института языка, литературы и истории АН ГрузССР изучены десятки древнейших стоянок и поселений, раскопаны могильники, курганы, долмены эпохи бронзы, наконец, впервые археологами изучены древние медные рудники в урочище Башкапсара.

<sup>1</sup> Подробнее об этих находках и собственных исследованиях см.: Чертолани Ш. Г. Древние горные выработки меди в верховьях Бзыби и Кодори // Археологические исследования в Грузии в 1969 г. Тбилиси, 1971; Хомерики Г. С., Жордания В. В. Медно-полиметаллические рудопроявления Западного Кавказа // Тез. докл. Башкапсарского полевого археол. семинара. Сухуми, 1988. С. 9.

Схематичное изображение древней башкапсарской выработки № 1 и современных археологических раскопов в ней.



В 1975 г. в одной из выработок нами был заложен небольшой раскоп, а в нем найдены обломки четырех каменных молотов с желобками для крепления рукояти. Из двух угольных горизонтов были взяты пробы для анализа по  $^{14}\text{C}$ . В Ленинградском отделении Института археологии образец из верхнего слоя был датирован VIII в. до н. э., а из нижнего — XII в. до н. э. В последующие годы наша совместная экспедиция еще не раз кратковременно осматривала Башкапсарские рудники, но длительных раскопок не проводила: организовать крупные экспедиционные работы в горах, вдали от населенных пунктов, в условиях дискомфорта, перебоев в снабжении продовольствием, при резких температурных перепадах, наладить четкую работу на отвесных скалах или в темноте сырых шахт очень сложно и опасно, а кроме того дорого (70—80 % экспедиционных ассигнований уходит на оплату авиатранспорта). Стационарные археологические работы в Башкапсаре удалось начать только через 11 лет, в 1986 г., когда при поддержке Абхазского обкома КПСС была организована совместная экспедиция Абхазского государственного музея Министерства культуры Абхазской АССР, Абхазского института ЯЛИ АН ГрузССР и Института археологии АН СССР. Ввиду сложности постановки работ в горных условиях экспедиция с са-

мого начала был придан комплексный характер: перед ней поставлено несколько краеведческих задач, а в ее состав наряду с археологами включены этнографы, лингвисты, ботаники, зоологи.

Завершая этот краткий исторический обзор, отметим, что открытие Башкапсарских рудников относится все же не к упомянутым годам геологических работ и наших первых археологических исследований. Еще в 1930 г. в статье С. П. Басарии, опубликованной в первом выпуске «Известий Абхазского научного общества», сообщалось о «громкой железной пещере» в Башкапсаре. Но, по-видимому, сведения об абхазских рудниках попали в геологические центры Москвы и Петербурга много раньше. В книге французского исследователя Дюбуа де Монпере, путешествовавшего более 150 лет назад вдоль Кавказского Причерноморья, сообщалось, что летом 1833 г. он был в Сухуми в гостях у местного князя, который рассказал ему о том, как по просьбе царского военного командования он организовал нелегально поездку в горы двух русских инженеров, переодетых в национальную абхазскую одежду, для проверки месторождения, откуда абхазцы привозили металлическую руду. Они, в сопровождении сильного эскорта, по чрезвычайно трудной дороге долиной р. Келасури поднялись в горы и че-

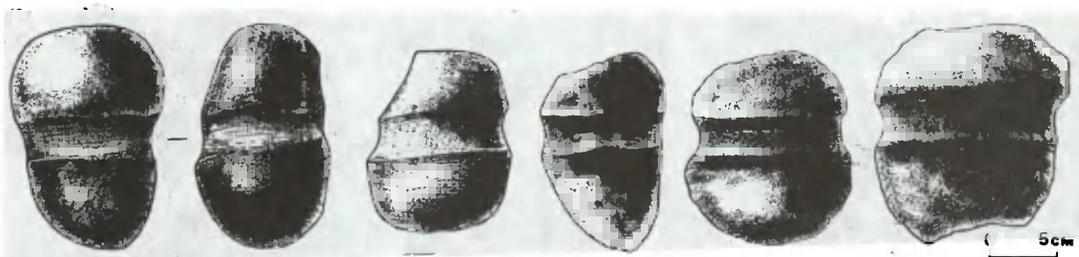
рез несколько дней, «испытыв всевозможные лишения», вернулись с образцами руды. Не исключено, что те русские инженеры и были первыми геологами, осмотревшими Башкапсарские рудники<sup>2</sup>.

## ГЕОГРАФИЯ И ГЕОЛОГИЯ БАШКАПСАРЫ

Урочище Башкапсара расположено в высокогорной части южного склона Главного Кавказского хребта, в центре горной Абхазии, у перевала Аданге и истоков р. Бзыбь (первые 10 км Бзыбской долины и называются урочищем Башкапсара). Если отмерить по карте, то до него по прямой к северу от Сухуми всего 80 км, но путь этот нелегок. Чтобы добраться до перевала, нужно ехать несколько десятков километров по размываемой дождями грунтовой дороге, затем по руслу реки, часто преодолевая брод, а дальше через лес подняться к зоне альпийских лугов. Но после дождей русло становится непроходимым, мосты сносятся. Поэтому пока наиболее действенным транспортным средством является вертолет.

Башкапсара — дугообразная цепь скалистых горных вершин. Бзыбская долина рас-

<sup>2</sup> Дюбуа де Монпере Ф. Путешествие вокруг Кавказа. Сухуми, 1937. С. 141.



Прорисовка каменных мелотов эпохи бронзы, найденных на Башкапсарских рудниках.

положена у открытой стороны этой цепи, а на противоположной находится перевал Аданге (2200 м над ур. м.) — седловина между двумя горами, северная из которых называется Башкапсарской горой. В ней и находятся древние медные рудники.

От снежной шапки вершина горы (3,5 тыс. м над ур. м.) освобождается только на два месяца, а по ущельям снег иногда держится круглый год. Верхний участок горы до высоты 2500 м — это скалистые обнажения с большим вертикальным уклоном. На высоте 2500—2400 м имеется уступ — платформа из более мягких осадочных пород. Вниз от этой платформы до высоты 2200 м идут почти вертикальные обнажения темно-серо-коричневого цвета — именно в этих толщах встречается руда. В центральной части горы на высоте 2200 м есть еще один уступ — здесь начинают появляться кустарники, а по лощинам до этой высоты поднимается горная кавказская низкорослая береза. Настоящий хвойный лес начинается у подножия горы, на высоте 2000—1800 м.

Климат Башкапсары чрезвычайно влажный с частыми дождями и туманами. Суровая зима длится 6—7 месяцев. Снежный покров достигает 3—4 м и обычно держится с середины ноября до конца мая. Среднегодовая температура воздуха 9,4 °С. Ранней осенью нередко резкие температурные перепады, но бывают они и раньше: например, 20 августа 1987 г. выпал снег и на высоте расположения древних рудников держался на поверхности скал 3 дня.

Издавна урочище Башкапсара известно у местного населения как народный курорт: 3 минеральных источника привлекают сюда немалое число больных. Особого внимания заслуживают башкапсарские железисто-квасцовые источники. Присутствие в сравнительно слабо минерализованной воде повышенного количества ионов меди, заимствованной при прохождении сквозь рудные зоны, позволяет рассматривать такие воды как поисковый признак на медь и, в свою очередь, на древние медные разработки.

Любопытна этимология местных названий. На абхазском языке слово «башкапсара», например, — сложное, производное от двух корней: «баш» и «капсара». Капсара в переводе — россыпь. В горной топонимике это слово встречается и в другом сочетании: «ашанца капсара» — россыпь кремня. Значит, Башкапсара надо понимать как россыпь Баша. Но в современном абхазском языке отдельно слово «баш» ничего не означает, зато встречается в словосочетаниях: «баша нумтан» — не давай просто так, бесплатно, без копейки; «баша умцан» — не стоит ходить, не ходи зря; «ибашоп» — ничего не стоит, ерунда, дешево. Не исключено, что некогда слово «баш» было не абстрактным стоимостным понятием, а конкретным обозначением стоимостной единицы. Это понятие могло обозначать медную руду, медь, а несколько позже — единицу денежной стоимости, монету, сделанную из того же металла (медяк). Корень абхазского слова «медь» — б'юа. Это слово очень древнее — восходит к празападнокавказскому языку, распад которого предполагается не позднее III тысячелетия до н. э. Как отмечает С. А. Старостин, корень обще-

западнокавказского слова «медь» уже тогда участвовал в ряде корнесложений с названиями цветов, обозначавших различные металлы, в частности «белую медь»<sup>3</sup>. В абхазском языке это корнесложение звучит как б'юаш. По-видимому, первоначально Башкапсара произносилась как Б'юашкапсара — место россыпи белой меди. Это удивительно точно соответствует характеристике местности. Именно белые и блестящие вкрапления халькопиритовых и пиритополиметаллических руд ярко контрастируют на темно-сером фоне Башкапсарских скал.

В урочище Башкапсара известно несколько рудопроявлений. Все они, по определению геологов, относятся к адангейской группе и лежат в зоне медно-пирротинового пояса, протянувшегося по всей территории Абхазии вдоль южного склона Главного Кавказского хребта. Протяженность Адангейского рудопроявления 8 км, ширина от 0,8 до 1,5 км, площадь 15 км<sup>2</sup>. Большая часть рудного поля сложена осадочными и эффузивными породами. Участок с Башкапсарскими рудниками представляет собой скальные обнажения в трещиноватых толщах глинистого сланца с медно-пирротиновыми жилами. По горизонтальной оси зона рудников тянется на 450 м, по вертикали занимает около 200 м. С запада и востока обнажение ограничено балками горных потоков, еще одна балка проходит по центральной части скального массива. Своим внешним видом обнажение заметно

<sup>3</sup> Старостин С. А. Металлургические термины в общезападнокавказском // Тез. докл. Башкапсарского полевого археол. семинара. С. 64—65.



Бронзовое оружие. Колхидская культура II тысячелетие до н. э.

контрастирует с окружающим рельефом. Обращенная к солнцу поверхность скал из-за многочисленных рудных включений в более мягкую осадочную породу нагревается неравномерно, поэтому скалы трещиноваты, рассыпаются на мелкие и крупные отдельные, которые образуют большие осыпи. В зоне древних выработок заложено и пять современных геологических штолен; под выходами из них — тоже горы отвала, но он своей мелкой комковатой структурой и ярким рыжеватым оттенком заметно отличается от выбросов пустой породы из древних шахт.

#### ГОРНАЯ ТЕХНИКА ДРЕВНИХ РУДОКОПОВ

На Башкапсарской горе нашей экспедицией обнаружено 13 бесспорных неизвестных ранее выработок, в 9 из них проведены раскопки. Как выяснилось, на этом месторождении существовали выработки открытого типа, вертикальные шахты и горизонтальные штоль-

ни, встречаются многоярусные штольни с боковыми камерами. Нами прослежен характер заполнения выработок, установлена последовательность разработки рудного тела, определена техника ведения горных работ.

По мнению специалиста в области горного дела Т. П. Муджири, Башкапсарские рудники, равно как и другие древние рудники Западного Кавказа, исследуемые в настоящее время на территории Грузии в Сванетии и Горной Раче, не имеют себе равных в мире среди рудников одного времени с ними: они поражают сложностью системы выработок, их объемами, совершенной системой вентиляции.

Самая большая выработка на Башкапсаре (выработка № 1) — это древняя штольня, известная по статье С. П. Басарии как «Железная пещера». Вход в нее имеет высоту 1,8 м и ширину по основанию 2,2 м. За входом в выработку идет 10-метровый крутой спуск с уклоном 30°, а далее начинается относительно пологая 50-

метровая часть штольни. Таким образом, общая ее протяженность 60 м; наибольшая ширина в средней части 30 м, высота выработки 15 м. На полу — большие скопления отвалов пустой породы и нагромождения крупных скальных блоков, образовавшихся при обвалах. В центральной части штольни — маленькое озерцо диаметром 8 м и глубиной 3 м с прозрачной холодной водой. На стенах и потолке — ниши и уступы со следами вторично сцементированных скопленной пустой породы и угля, указывающими на многоступенчатый характер образования штольни. В 1988 г. в эту штольню был расчищен неизвестный прежде проход из соседней выработки № 2. В результате открылась сложная система штолен, расположенных на разных высотных уровнях. О длительности и многократности выработки руды свидетельствуют полученные датировки образцов, относящиеся к XII и VIII вв. до н. э., т. е. выработка № 1 функционировала на протяжении 400 лет.



Фрагмент сосуда со сложной орнаментальной композицией. Здесь одновременно сочетаются элементы декора сосудов из пещерных поселений III—II тысячелетий до н. э. Кавказского Причерноморья и керамических украшений из Предкавказских степных территорий эпохи бронзы. Башкапсара, выработка № 1, эпоха бронзы.

Разрабатывая жилу, древние рудокопы на кострах, подведенных под породу, разогревали ее, а затем обливали холодной водой. Используя образовавшиеся трещины, откалывали каменными молотами куски породы. Крупные куски пустой породы сбрасывали по склону, а более мелкими камнями и щебенкой наращивали пол, чтобы дотянуться до уходящей вверх рудоносной жилы.

#### АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАХОДКИ

Обычно исследования рудников не дают большого археологического материала (сырые шахты — весьма неудобное место для обитания). Не много вещественных находок и у нас, и тем не менее почти во всех выработках найдены каменные молоты (около 50). Особую ценность представляют обломки деревянных подпорочных столбов и фрагменты глиняных сосудов.

Наиболее выразителен керамический комплекс из вы-

работки № 1, хотя найдено здесь всего 8 обломков. Все эти черепки толщиной 0,6 см принадлежат широкогорлому горшку с прямым слегка отогнутым по краю венчиком. Черепок очень хрупкий: видимо, обжиг был несильным и не доводил глину до слитности массы. Внешняя поверхность сосуда зачищена во время формовки мелкой гребенкой; ее следы нанесены хотя и горизонтально, но вразброс, неаккуратно. Это говорит о том, что зачистка производилась не на гончарном круге. Под венчиком горшка наклеплен горизонтальный глиняный жгут, рассеченный косыми параллельными вдавлениями зубчатого штампа. От этого горизонтального пояса спадают короткие вертикальные валики, тоже рассеченные косыми вдавлениями зубчатого штампа. Под поясом через равные промежутки наклеплены пуповки, такие же пуповки и на верхних концах вертикальных валиков. Кверху от концов вертикальных жгутов поднимаются параллельные полосы, создающие зигзаг или

треугольник. С открытой части зигзага в один ряд спадает вниз вертикальный зигзаг, также нанесенный поворотами короткого зубчатого штампа. Под выпуклым горизонтальным поясом расположены 5 горизонтальных тонких полос. Орнамент, исполненный в описанной технике и со столь сложной композицией, нам пока неизвестен. Бесспорно, однако, что это эпоха бронзы.

Башкапсарские рудники функционировали длительное время. На сегодня у нас уже имеется серия определений возраста по  $^{14}\text{C}$ : выработка № 1 — конец II тысячелетия до н. э.—VIII в. до н. э.; выработка № 7 — середина II тысячелетия до н. э.; выработка № 4 — конец III тысячелетия до н. э. Если последняя датировка подтвердится последующими определениями, тогда Башкапсарские рудники будут самыми древними из известных на территории нашей страны.

Т.И. Алексеева  
В.П. Алексеев

# АНТРОПОЛОГИЯ О ПРОИСХОЖДЕНИИ СЛАВЯН



Татьяна Ивановна Алексеева, доктор исторических наук, заведующая лабораторией физиологической антропологии и экологии человека Института антропологии Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Специализируется в области физиологической антропологии, палеоэкологии, антропологии Восточной Европы. Основные монографии: Происхождение славян по данным антропологии. М., 1973; Географическая среда и биология человека. М., 1977; Адаптивные процессы в человеческих популяциях. М., 1985.



Валерий Павлович Алексеев, академик, директор Института археологии АН СССР. Специализируется преимущественно в изучении антропологии древнего населения. Автор многих книг, в том числе: Происхождение народов Восточной Европы. М., 1969; Происхождение народов Кавказа. М., 1974; Историческая антропология. М., 1979; Становление человечества. М., 1984.

**А**НТРОПОЛОГИЧЕСКИЕ материалы, т. е. данные о физическом типе людей — размерах и пропорциях головы, цвете волос и глаз, форме носа и строении верхнего века, например, — могут и должны привлекаться к решению вопроса о происхождении того или иного народа. Дело в том, что антропологические типы никогда не распространяются без культуры и языка, тогда как последние передаются и независимо от антропологического типа. Расовые особенности человечества ни в коей мере не определяют направления исторического процесса, тем не менее формирование физического типа народа, его распространение и изменение связаны с историей этого народа, хотя причинной зависимости здесь нет.

Особое значение антропологические материалы приобретают в понимании этнических процессов у бесписьменных народов, но без них не обойдется и изучение этногенеза народов, о которых есть археологические и этнографические данные, известны письменные сведения. Прежде всего, данные антропологии позволяют определить удельный вес субстратных (местных) и суперстратных (пришлых) компонентов в этнической истории народов, а следовательно, помогают решить вопрос об автохтонном или же миграционном их происхождении. Физические черты очень мало изменяются со временем, и это дает возможность реконструировать линию преемственности населения определенной территории на протяжении ряда эпох, даже при отсутствии данных по какой-либо из этих эпох. Антропология вскрывает процессы древних смешений народов, выявляет неблагоприятные воздействия экологической ситуации и т. п.

Это не значит, конечно, что антропологи претендуют на первостепенную роль своей науки в исследовании древнейшей истории народов. Любая историческая наука подходит к проблемам этнической истории только на уровне научных гипотез. Такова и антропология, но в ней объектом исследования служат не предметы культуры, а черты внешнего облика человека, позво-

Детали фрески Андрея Рублева во владимирском Успенском соборе (1408). Перед нами на канонические лица, в живые русские лица, представляющие восточно-европейский антропологический тип славян.



ляющие реконструировать различные исторические этапы сложения народа.

Исследователей, занимающихся историей древнейшего славянства, волнуют несколько ключевых вопросов. Прежде всего это вопрос об антропологическом составе славян. Иными словами, существует ли какая-то комбинация физических черт, которая может быть связана со славянами, или разнообразие черт столь велико, что ни о каком антропологическом единстве не может быть и речи? Судя по данным истории, археологии, языкознания, славяне имели длительную историю. Следовательно, физический облик современных славян складывался на протяжении многих и многих веков. Каковы его истоки? Далее, если антропологическое единство славян существует, то, по-видимому, оно сформировалось на какой-то ограниченной территории. Где тогда эта прародина? Если антропологический состав славян разнообразен, то что лежит в основе этого разнообразия? Каковы взаимоотношения славян с окружающим населением и фиксируются ли они данными антропологии?

#### КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ

Если отвлечься от разнообразных летописных сведений о физических особенностях тех или иных славянских племен, содержащих обычно упоминания о случайных чертах, то научный период в изучении славянской антропологии начинается примерно в 70-х годах прошлого века. В это время И. Майер и И. Коперницкий в Польше, А. П. Богданов в России, впервые осознав

значение краниологических и в более широком смысле слова антропологических материалов для реконструкции этнической истории, приступили к раскопкам древних могильников и поздних кладбищ с целью получения краниологических и остеологических данных и начали описывать краниологические коллекции. Их многообразная и яркая деятельность оживила всю исследовательскую работу в области антропологии, в разных славянских странах началось изучение физического облика отдельных групп местного населения. К настоящему времени уже складывается представление об антропологическом составе славянских народов, опирающееся на краниологические, соматологические и геногеографические материалы, собранные разными исследователями в славянских странах<sup>1</sup>.

В существующей антропологической литературе отражены самые разнообразные гипотезы происхождения славянских народов. Отвлекаясь от деталей, их можно объединить в две группы: одна из этих групп — гипотезы генерализующего плана, утверждающие единство антропологического состава славян, вторая — гипотезы дифференцирующего плана, согласно которым славяне отличаются антропологическим разнообразием и не образуют антропологического единства. В соответствии с генерализующими гипотезами история славян рассматривается как сложение на какой-то территории определенной расовой общности, включавшей общих предков всех славян-

<sup>1</sup> Подробный обзор см.: Алексеев В. П. Происхождение народов Восточной Европы. (Краниологическое исследование.) М., 1969; Алексеева Т. И. Этногенез восточных славян по данным антропологии. М., 1973.



Скульптурные реконструкции, выполненные по черепам женщины и мужчины из могильника Караванха Вологодской области. Северо-лесная неолитическая каргопольская культура — поздний вариант ямочно-гребенчатой, III — середина I тысячелетия до н. э. Реконструкция М. М. Герасимова.

ских народов, расселение и дифференциация этой общности, сложение расовых особенностей современных народов на основе этой общности при участии на окраине славянского ареала инородных элементов разного происхождения. Авторы дифференцирующих гипотез, как показывает само их название, не видят антропологических аналогий между отдельными славянскими народами, полагают, что разные народы формировались из различных расовых компонентов, не связанных между собой общностью происхождения. Обе группы гипотез поразному ориентируют нас в вопросах культурной истории и глоттогенеза (происхождения языка) славянских народов: взгляды первой группы в общих чертах соответствуют основным генетическим положениям индоевропейского языкознания в широком смысле слова, взгляды второй — глоттогонической концепции Н. Я. Марра, под влиянием которой они частично и сформировались. Многочисленные антропологические материалы по древнему и современному славянскому населению, с нашей точки зрения, дают основание для выделения определенной географически локализованной расовой общности и последовательного рассмотрения миграционных потоков из так называемой прародины славян.

#### МНОГОМИЛЛИОННЫЕ НАРОДЫ: АНТРОПОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ЭТНОГЕНЕЗ

Расхожие представления о монголоидности славян и неоднократные указания на нее в старых антропологических работах принадлежат истории. Все без исключения славянские народы относятся к европеоид-

ной расе, о чем говорят существенные для расовой диагностики признаки. У славян довольно сильно растут волосы на лице и на теле, острый горизонтальный профиль лица, сильно выступает нос и высоко расположено переносье, мало развиты скулы, отсутствует типичное для монголоидного населения набухание верхнего века. Принадлежность славян к европеоидной расе в целом не означает, однако, их расовой чистоты на уровне основных антропологических подразделений человечества. Смешение всегда играло огромную роль в процессах расообразования, в том числе и на территории Центральной и Восточной Европы. Как показано исследованиями Н. Н. Чебоксарова, вероятное проникновение монголоидных элементов с востока на запад (возможно, до Одера) проходило в два этапа и связано хронологически с двумя разновременными событиями: медленной инфильтрацией монголоидов в неолитическое время и монгольским нашествием<sup>2</sup>. Поэтому, по всей вероятности, только у южных славян нет монголоидной примеси, все другие славянские народы сохраняют слабые следы такой примеси, выражающиеся в тенденциях к понижению роста бороды, уплощенности лица и носа.

Ареал славянских народов лежит в пределах той обширной зоны, которая разделяет ареалы северных и южных европеоидов, выделяющихся в пределах европеоидной расы максимально светлой и максимально темной пигментацией. Население этой переходной зоны отличается промежу-

<sup>2</sup> Чебоксаров Н. Н. Монголоидные элементы в населении Центральной Европы // Уч. зап. МГУ. 1941. Вып. 63. С. 235—270.

Реконструкция Г. В. Либединской представителей фатьяновской культуры по мужскому черепу из Халдеевского могильника (Ярославская обл., XVIII—XIV вв. до н. э.) и по женскому черепу из Тимофеевского могильника (Ивановская обл., XVIII—XVI вв. до н. э.).



точной по интенсивности пигментацией и большим разнообразием локальных сочетаний антропологических признаков. Детальная их классификация пока не разработана, но предложено объединять локальные варианты в две группы — западноевропейскую и центрально-восточноевропейскую. Критерием для выделения этих групп является в первом случае отсутствие, во втором — наличие монголоидной примеси. Почти все славянские народы относятся ко второй группе, исключение составляют, как уже говорилось, южные славяне.

В собранных в разных странах материалах по соматологии славянских народов проявляются некоторые методические различия, что затрудняет групповое сравнение и требует осторожности при прямом сопоставлении данных различных исследователей. Все же можно с известным основанием говорить о пяти антропологических типах, которые представлены в составе славян, отличаются заметной морфологической спецификой и образуют компактные ареалы. Это беломоро-балтийский (название предложено Н. Н. Чебоксаровым), восточноевропейский (И. Е. Деникер), днепро-карпатский и понтийский (В. В. Бунак), а также динарский (И. Е. Деникер).

Беломоро-балтийскую группу популяций представляют белорусы, в какой-то мере поляки, северные территориальные группы русского народа. Это светлокотье и светловолосые со средними размерами лицевого скелета, преимущественно мезоили брахикефалы<sup>3</sup>. Беломоро-балтийская

группа включается в северную или балтийскую ветвь европеоидов и отличается от западнобалтийской (или атланти-балтийской), к которой относится большинство скандинавских народов, уменьшением выступающего носа, ослаблением роста бороды, небольшим набуханием верхнего века. Все это признаки, свидетельствующие об очень небольшой и древней по происхождению монголоидной примеси, появившейся в результате распространения монголоидов на запад по лесной полосе Западной Сибири и Восточной Европы в неолитическое время.

Восточноевропейская группа популяций — это все территориальные группы русского народа, кроме северных, и часть белорусов преимущественно восточных и южных районов. Эту группу отличает от беломоро-балтийской потемнение цвета волос и глаз. Благодаря тому что антропологическое своеобразие территориальных русских и белорусских групп изучено почти исчерпывающим образом<sup>4</sup>, на территории Восточно-Европейской равнины выделено и охарактеризовано несколько местных комбинаций признаков, различающихся в основном вариациями головного указателя, шириной и пропорциями лица. Однако все эти комбинации имеют локальное значение. Происхождение восточноевропейской группы популяций пока недостаточно ясно. В. В. Бунак уводит его в неолит, чему противоречат два факта: отсутствие археологической пре-

даци указателя: долихокефалы — относительно длинноголовые, брахикефалы — относительно широкоголовые, мезокефалы — среднеголовые.

<sup>3</sup> Одним из важных расоводиагностических признаков служит головной (черепной) указатель — отношение ширины головы к длине. Существуют следующие гра-

<sup>4</sup> Происхождение и этническая история русского народа // Тр. Ин-та этногр. АН СССР. Нов. серия. 1965. Т. 88. С. 414.



Реконструкция М. М. Герасимова по черепу мужчины из Балановского могильника фатьяновской культуры [Чувашия, II тысячелетие до н. э.].

Реконструкция М. М. Герасимова по женскому черепу со стоянки Володары [Среднее Поволжье]. Неолитическая волосовская культура.

емственности на территории Восточно-Европейской равнины между неолитическими и славянскими археологическими памятниками и исключительно морфологическое разнообразие восточноевропейского населения, проживающего здесь с эпохи неолита и бронзы. В рассмотрении нужно включить и длинноголовое широколицее население фатьяновской культуры, продвинувшееся на Верхнюю Волгу из Прибалтики, и антропологически близкое ему, но отличающееся меньшими размерами население, оставившее Балановский могильник в Среднем Поволжье, и поражающие своей хрупкостью антропологические находки эпохи неолита Волго-Окского междуречья<sup>5</sup>. Основные особенности восточноевропейской группы сформировались, надо полагать, позже, возможно, на протяжении эпохи раннего железа и раннего средневековья, когда предки восточнославянских народов осваивали их нынешнюю территорию. В этом формировании участвовали и местные компоненты древнего происхождения.

В днепро-карпатскую группу популяций можно включить украинцев, прикарпатские этнографические группы, словаков, частично чехов. Это сравнительно темнопигментированное, брахицефальное население, с относительно широким лицом. Аналогии ему мы находим в населении, оставившем средневековые славянские могильники в Словакии и Бранештский могиль-

ник в Молдавии<sup>6</sup>. В темнопигментированных и довольно массивных брахицефалах Прикарпатской области трудно не увидеть морфологического сходства с представителями альпийского типа (по У. Рипли) — населением Австрии, Швейцарии и частично Северной Италии. Возможно, днепрокарпатская группа популяций представляет собой северо-восточный вариант этой локальной расы.

Наиболее типичными представителями понтийской группы популяций из славянских народов являются болгары. Очень темный цвет волос, средний рост, долихоили мезокефалия, среднеширокое или узкое лицо — вот характерные особенности этой комбинации<sup>7</sup>. Происхождение понтийской комбинации, как одного из вариантов южной ветви европеоидов, прослеживается по палеоантропологическим данным с эпохи неолита и свидетельствует о мощной определяющей роли местного дославянского населения в формировании антропологического состава современных болгар. Бесследно для него прошли и поздние исторические события, такие как турецкое завоевание — болгары-мусульмане не отличаются антропологически от болгар-христиан.

Наконец, динарская группа популяций охватывает высокогорные народы Югославии; особенно ярко динарские особенности проявляются у черногорцев. На территории Черногории живут самые высокие среди ев-

<sup>5</sup> Денисова Р. Я. Антропология древних балтов. Рига, 1975. С. 400; Бадер О. Н. Балановский могильник. М., 1963. С. 370; Акимова М. С. Новые палеоантропологические находки эпохи неолита на территории лесной полосы Европейской части СССР // Кр. сообщ. Ин-та этногр. АН СССР. 1953. Вып. 18. С. 55—65.

<sup>6</sup> Сводку данных по западным и южным славянам см.: Алексеева Т. И. Указ. соч. С. 9—41; также: Великанова М. С. Палеоантропология Прутско-Днепровского междуречья. М., 1975. С. 280.

<sup>7</sup> Попов М. Антропология болгарского народа. Физический облик болгар. София, 1959. С. 305.

Реконструкция Г. В. Либединской представителей черняховской культуры по мужскому и женскому черепам из Малавештского могильника [Рышканский район Молдавской ССР, II—IV вв. н. э.].



ролеоидов люди; динарцам свойственна резкая брахикефалия, очень большая ширина лица, преобладание выпуклых форм носа, значительное развитие волосяного покрова. По сравнению с другими территориальными вариантами южной ветви европеоидов они отличаются некоторой светлоглазостью. Вся эта комбинация признаков похожа на морфологический комплекс, носителями которого являются народы Центрального Кавказа. На этом основании некоторые авторы высказывались в пользу их генетического родства. Вопрос о формировании динарской группы популяций не получил в существующей литературе однозначного решения. С одной стороны, многие признаки динарской комбинации как-будто древние, с другой — в палеоантропологических материалах аналогий ей находятся с трудом. Во всяком случае, среди славян признаки динарской расы проявляются из-за контактов с местным дославянским населением.

Краткий обзор антропологического состава славянских народов показывает, что антропологически современные славяне не отличаются единством, более того, они представляют разные ветви европеоидной расы. Те признаки, которыми характеризуются отдельные группы славян, представлены и у соседних народов. Так, например, беломоро-балтийский и восточноевропейский типы встречаются в среде балтийских и финских народов, а также некоторых тюркоязычных народов Поволжья; днепро-карпатский — у венгров и австрийцев; понтийский и динарский — у народов Северного и Центрального Кавказа, у албанцев.

Как же трактовать такое антропологическое разнообразие славян? Может быть, не было исходной общности физического

облика и, следовательно, не было прародины? Обратимся к исследованиям средневекового населения, известного по многочисленным славянским могильникам Центральной, Восточной и частично Южной Европы.

Большинство краниологических серий принадлежит X—XII вв., так как до этого времени господствовал обряд трупосожжения. Преобладающей комбинацией антропологических признаков в славянском населении оказывается долихомезокrania, средняя ширина лица, резко профилированное лицо и среднее или сильное выступание носа. Кроме того, пропорции лицевого скелета и черепной коробки, а также их соотношения позволяют отметить определенное единство средневекового славянского населения. В то же время обращает на себя внимание сходство его со средневековыми балтами и явное отличие от средневековых германцев. Краниологические данные дают возможность проследить и истоки формирования того морфологического своеобразия, которое отличает все в целом славянские народы.

Аналогичный антропологический комплекс прослеживается в более раннее время в палеоантропологических материалах из могильников культуры шнуговой керамики, распространенной в Центральной Европе и в Прибалтийском регионе в эпоху бронзы. Есть основание думать, что формирование славян происходило в ближайшем соседстве с балтами на сходной антропологической основе. Такой вывод подтверждает неоднократно аргументировавшийся лингвистами факт былого балто-славянского единства.

Что касается прародины славянских народов, то по антропологическим данным



Реконструкции Г. В. Либединской представителей славянского населения по черепу женщины из городища Старая Рязань, XI—XII вв., и по черепу мужчины из Иверовской группы курганов (Калининская обл., XII—XIII вв.).

она может быть локализована в пределах обширной территории, ограниченной верхним и средним течением Западной Двины на севере, верхним и средним течением Вислы на западе, левыми притоками Дуная в среднем его течении, средним и нижним течением Днепра на востоке. Современными археологическими данными территория возможной прародины славян вписывается в этот регион, но по протяженности она у археологов значительно меньше — южная граница доходит лишь до Днестра, северная — до Припяти<sup>8</sup>.

В последнее время, впрочем, в археологической литературе появилась тенденция критического отношения к центрально-европейской прародине славян<sup>9</sup>. Не исключено, что со временем многое в решении проблемы этногенеза славян придется пересмотреть. Что касается антропологических материалов, то по ним общеславянское единство локализуется все-таки в Центральной Европе. Во всяком случае, это явствует из имеющихся в нашем распоряжении материалов.

Расселение славян на обширных пространствах Европы, которое, судя по археологическим данным, наиболее интенсивно происходило в VI—VII вв., с течением времени изменило их антропологический состав. На западе германцы, на юге фракийцы, кельты, иллирийцы, на востоке

иранцы и финно-угры, на севере балты — вот широкий спектр народов, с которыми славян столкнула их история и которые так или иначе воздействовали на них.

#### ОБ ЭТНИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ ВОСТОЧНЫХ СЛАВЯН

Как же возникало разнообразие физического облика славян? За самым ярким примером обратимся к восточным славянам. «Повесть временных лет», принадлежащая летописцу Нестору и относящаяся к XII в., дает представление о расселении славян в Восточной Европе этого времени<sup>10</sup>. Кривичей она помещает в верховья Волги, Двины и Днепра; словен — близ Ильмень-озера; вятичей — на Оке; радимичей — на Соже; дреговичи живут между Припятью и Западной Двиною; по Десне, Семи и Суле — северяне. Нет точного указания на местоположения полян, хотя и сказано, то они «пришедше и съдоша по Днепру». Б. А. Рыбаков считает, что к территории полян относится все среднее течение Днепра, нижнее течение Десны, верхнее течение Сулы, а также города Киев, Чернигов и Переяславль-Хмельницкий<sup>11</sup>. Уличи и тиверцы, согласно «Повести временных лет», расселились по Днестру и, по-видимому, в устье Дуная. Дрeвляне, живущие в лесах, помещаются рядом с полянами. И. П. Русанова на основе анализа обряда захоронения конкретизирует границы их террито-

<sup>8</sup> Алексеева Т. И. Указ. соч. С. 244—274; Седов В. В. Происхождение и ранняя история славян. М., 1979. С. 155.

<sup>9</sup> Шукин М. Б. О трех путях археологического поиска предков раннеисторических славян. Перспективы третьего пути // Археологический сборник. Л., 1987. С. 103—118.

<sup>10</sup> Повесть временных лет. Т. 1. М.; Л., 1950. С. 11—14.

<sup>11</sup> Рыбаков Б. А. // Сов. этнография. 1947. Вып. 6—7. С. 81—105.

Реконструкция Т. С. Балуевой по черепу мужчины-скифа из Гумаровской группы курганов (Оренбургская обл., VII—IV вв. до н. э.).

Реконструкция Г. В. Либединской по черепу мужчины-половца (Саратовская обл., XII—XIII вв. н. э.).



рии — в Случьско-Припятском между-  
речье<sup>12</sup>.

Курганы восточных славян датируются IX—XIII вв., до этого времени здесь господствовал обряд трупосожжения. Судя по датировкам курганных групп, трупоположение на территории восточного славянства появляется в Поднепровье и Поднестровье к X в., на северо-западе Новгородских земель — к XI, в Волго-Окском между-  
речье — к XII в. По мнению В. В. Седова, обряд трупоположения в Южной Руси — наследие черняховского погребального обряда, испытавшего влияние поздних форм иранского язычества<sup>13</sup>. Эту концепцию оспаривать нет оснований, тем более что некоторые курганы с трупоположениями на территории полян — первой восточнославянской группы, подвергшейся христианизации, — датируются IX в. Тем не менее следует обратить внимание на то, что обряд трупоположения распространяется после X в. во всей Северной Руси, куда вряд ли доходило иранское влияние. И если элементы христианизации прослежены на всех территориях, занятых средневековым восточнославянским населением, где при сохранении курганного обряда захоронения, наряду с языческими погребениями на горизонте, появляются типично христианские захоронения в ямах, обедняется погребальный инвентарь, величина курганов уменьшается, то почему бы не предположить, что и сам обряд трупоположения возникает под влиянием христианизации. В славянских курганных захоронениях совершенно отчетливо

проявляются элементы двоеверия, столь характерные для Древней Руси<sup>14</sup>.

Вполне понятно, что славяне приходили не на пустое место. По данным археологии, языкознания и летописным источникам, до их появления в Восточной Европе балты занимали огромные пространства по Неману, Западной Двине, в верховьях Днепра и Оки; потомки скифо-сарматского населения заселяли бассейн Южного Буга, земли в среднем и нижнем течении Днепра и по его притокам; финно-угорские народы жили в широкой полосе от Балтийского моря до среднего течения Волги; многочисленные кочевнические группы заполнили причерноморские степи. Антропологически все эти группы населения изучены довольно подробно, черты физического их облика нам известны, поэтому установить, что происходило со всеми этими народами по мере расселения славян в их землях, нетрудно.

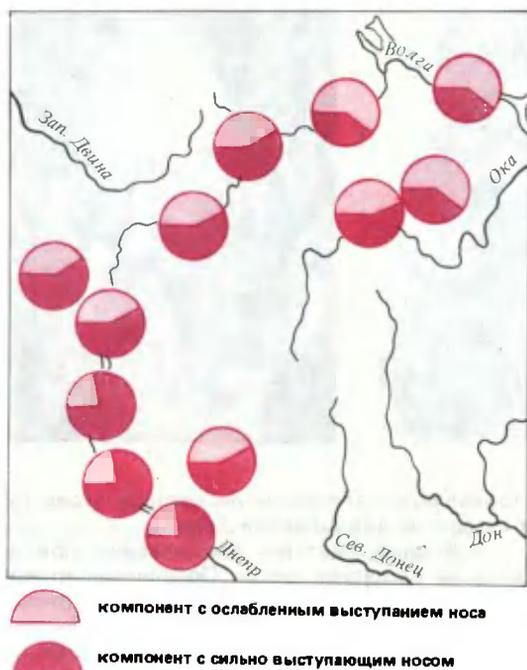
Судя по вещевому комплексу славянских погребений, находкам материальной культуры на городищах и селищах, славянская колонизация носила характер внедрения преимущественно мирного земледельческого населения в инородную среду. В результате этого процесса основным фактором формирования антропологических особенностей славян была метисация.

Это подтверждается рассмотрением внутригрупповых корреляций в пределах всего восточнославянского населения эпохи средневековья. Выяснилось, что в сложении физического облика восточных славян

<sup>12</sup> Русанова И. П. // Сов. археология. 1960. № 1. С. 63—70.

<sup>13</sup> Седов В. В. Указ. соч. С. 84.

<sup>14</sup> Мильков В. В., Пилюгина Н. Б. Христианство и язычество: проблема двоеверия // Введение христианства на Руси. М., 1987. С. 263—273.



Соотношение двух основных антропологических компонентов в облике восточнославянского населения эпохи средневековья.

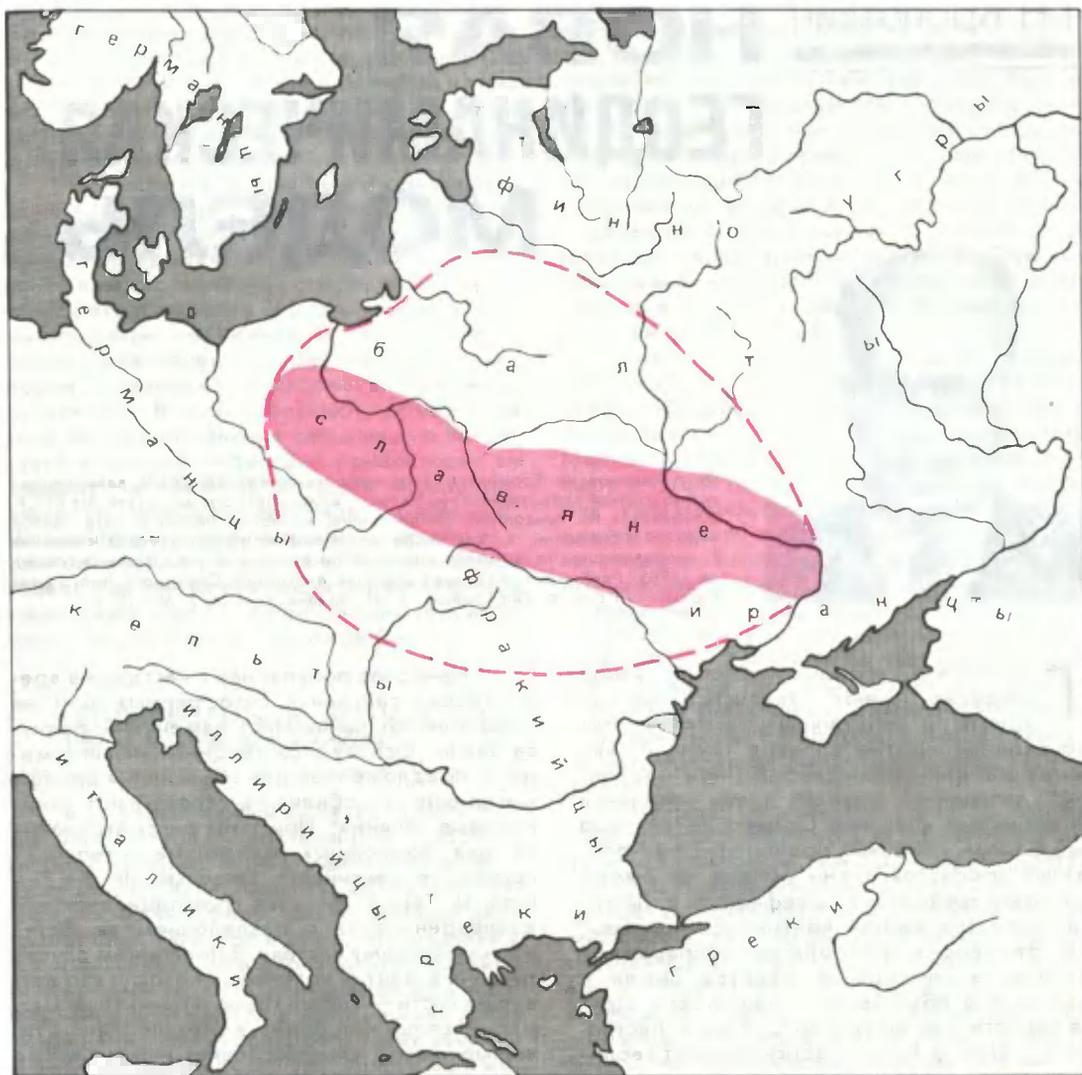
принимало участие по крайней мере два морфологических комплекса. Один характеризуется долихократией, крупными размерами лицевого и мозгового отделов черепа, резкой профилированностью лица, сильным выступанием носа. Другой комплекс отличается меньшими размерами лицевого и мозгового отделов черепа, мезократией, ослабленным выступанием носа и незначительной уплощенностью лица, т. е. чертами слабо выраженной монголоидности. Процентное соотношение этих комплексов меняется в зависимости от географической локализации славянских племен — по направлению к востоку увеличивается удельный вес антропологического комплекса, характеризующегося незначительной монголоидной примесью. Комплекс с ослаблением европеоидных черт распространен среди финно-угорских групп Восточной Европы — летописные мери, муромы, мешеры, чудь, веси, известных по могильникам северо-западной части Восточной Европы, Волго-Окского междуречья и Поволжья. Это население, подвергшееся славянской колонизации, передало свои антропологические черты словенам новгородским, вятичам

и кривичам, впоследствии ставшим основой русских. Антропологический комплекс с резко выраженными европеоидными чертами распространен среди средневекового летто-литовского населения, особенно среди латгалов, аукштайтов и ятвягов. У восточных славян этот комплекс проявляется среди вольнян, полоцких кривичей, древлян, проживших начало белорусскому и частично украинскому народу. На территории расселения полян, ставших впоследствии антропологической основой украинцев, в эпоху средневековья обнаруживаются черты ираноязычного населения, известного по могильникам черняховской культуры, сформировавшейся во II—III вв. н. э. на скифо-сарматской территории и являющейся в значительной мере, несмотря на свой многонациональный характер, культурной наследницей скифов и сарматов<sup>15</sup>. Все эти факты позволяют заключить, что антропологическая дифференциация средневекового восточнославянского населения в значительной мере отражает антропологический состав населения Восточной Европы до прихода славян.

Восточнославянские племена средневековья испытали воздействие и кочевнических племен южнорусских степей. В антропологических данных, правда, эти контакты не столь явственные, как контакты с балтами и финно-уграми. Большинство известных по антропологическим материалам кочевнических групп отличается крупными размерами мозгового и лицевого отделов черепа, уплощенностью лица, слабым выступанием носа, т. е. несет в себе явные признаки монголоидности. В городских средневековых кладбищах Киева и Чернигова обнаружены погребения воинов-степняков монголоидного облика, находившихся на службе у русских князей, но, по-видимому, заметного следа в облике восточнославянского населения они не оставили. Так же как не оставило заметных следов и нашествие татаро-монголов. Лишь в очень слабой форме контакты с кочевниками прослеживаются в районах бывших татаро-монгольских форпостов и на юго-восточных границах Древней Руси.

В последующие эпохи дисперсность антропологических черт восточных славян значительно ослабляется. На материалах позднего средневековья наблюдается явная европеизация славянского населения центральных областей Восточной Европы. По-

<sup>15</sup> Седов В. В. Указ. соч. С. 98.



Славяне в первые века н. э. Цветом показана территория их расселения по данным археологии, цветной линией — предполагаемые границы прародины славян по данным антропологии.

видимому, это объясняется приливом славянского населения из более западных территорий. Историческими источниками этот процесс не фиксируется, но антропологические данные подтверждают его совершенно отчетливо.

Мы уже упоминали, что антропологические особенности достаточно консервативны, поэтому даже в современных восточнославянских народах можно увидеть следы древних контактов с иносязычными предками. Впрочем, это относится не только к восточным славянам,

но и к другим территориальным подразделениям славян, как и ко всем другим народам с многовековой историей, в которой миграции играли существенную роль.

Антропологические материалы, относящиеся к древним и современным славянским народам, позволяют сделать заключение о существовании исходного антропологического единства славян и, следовательно, их прародины, очертить примерные ее границы, понять причины антропологического разнообразия славян на разных этапах их этнической истории.

П. Н. Кропоткин

# НОВАЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ



*Петр Николаевич Кропоткин, член-корреспондент АН СССР, заведующий лабораторией структурной геофизики Геологического института АН СССР. Специалист по тектонике, геодинамике, геологии нефти и газа. Автор многих публикаций, в том числе монографий: Геологическое строение Тихоокеанского подвижного пояса (совместно с К. А. Шахварстовой). М., 1965; Глубинная тектоника древних платформ Северного полушария (совместно с Р. А. Гафаровым, Б. М. Валяевым и др.). М., 1971.*

ГЕОЛОГАМ хорошо известно, какое строение имеют складчатые горные хребты и материковые равнины, как происходило смятие слоев в складки, как между материковыми глыбами при медленном удалении их друг от друга возникали океанические впадины. Однако до сих пор мы не знаем коренных причин этих разнообразных процессов. Одни ученые, например английские геофизики Г. Джеффрис и Р. Литтлтон, придерживаются контракционной теории. Эта теория предполагает непрерывное длительное сокращение радиуса Земли и годится для объяснения складчатости. Другие геологи, как например С. Кэри в Австралии и Г. Оуэн в Англии, обосновывают геодинамическую модель непрерывно расширяющейся Земли, объясняя этим возникновение тектонических рвов (рифтов, грабенов) и обширных океанических впадин. Третий подход, который был намечен американским геологом В. Бэчером и нашим соотечественником В. А. Обручевым, развивается сейчас Е. Е. Милановским и другими учеными. Они предлагают пульсационную геотектоническую модель, в которой сжатие и расширение Земли чередуются во времени<sup>1</sup>.

Наиболее популярная в настоящее время теория тектоники литосферных плит не предполагает каких-либо изменений радиуса Земли. Основу этой геодинамической модели, предложенной для объяснения дрейфа материков — мобилизма, составляют подкорковые течения<sup>2</sup>. При этом рассматриваются два возможных механизма — тепловая конвекция мантийного вещества (К. Ле Пшон, Д. Теркот и др.) и гравитационная его дифференциация с разделением вещества по химическому составу. В последнем случае течения в мантии возникают потому, что легкие ее части — базальтовые и гранитные магмы — всплывают, образуя земную кору, а тяжелые массы ультраосновного силикатного вещества и содержащееся в мантии железо погружаются на глубину (Э. Краус, О. Г. Сорхтин). Наконец, существуют гипотезы, основанные на принципе фиксизма, т. е. взаимной неподвижности континентов. В них также используется механизм гравитационной дифференциации вещества мантии при неизменных размерах Земли (В. В. Белоусов, А. Мейергоф).

Таким образом, налицо поразительная противоречивость в представлениях об основных причинах горообразования, складчатости, сейсмичности, возникновения океанов

<sup>1</sup> Милановский Е. Е. Пульсации и расширение Земли — возможный ключ к пониманию ее тектонического развития и вулканизма в фанерозое // Природа. 1978. № 7. С. 22—34; Он же. Расширяющаяся и пульсирующая Земля // Природа. 1982. № 8. С. 46—59.

<sup>2</sup> Хаин В. Е. Вторая молодость древней науки // Природа. 1987. № 1. С. 20—35.

и других глобальных процессов, изменяющих лик Земли. Каждая из перечисленных теорий опирается на вполне достоверные факты, но вот что характерно: в любой из них рассматривается лишь определенная группа фактов, а остальные остаются за кадром как несущественные.

Обобщая известные ранее сведения, а также новые данные, полученные при измерениях напряженного состояния в массивах горных пород, изучении гравитационного поля Земли и исследовании сейсмическими методами верхней части мантии, можно предложить такую геодинамическую модель, в которой реализуется синтез пульсационной теории с теориями подкорковых течений и мобилизма. В ней получают объяснение мощные горизонтальные сжимающие напряжения в земной коре. Они превосходят те значения напряжений, которые можно получить в моделях тепловой конвекции<sup>3</sup>. Перемещение мантийных масс и дрейф материков рассматриваются в предлагаемой модели как движение вещества в сплошной среде, связанное с попеременным сокращением и увеличением размеров Земли.

### НЕОДНОРОДНОСТЬ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ И КОРНИ МАТЕРИКОВ

Еще недавно было принято считать, что под литосферой, образованной корой и жестким верхним слоем мантии, начиная с глубины 40—100 км, залегает более пластичный слой астеносферы, охватывающий весь земной шар. Предполагалось, что именно в нем и лежащих ниже слоях мантии развиты конвективные течения, перемещающие литосферные плиты вместе с «впаянными» в них материками, причем скорость таких течений на разной глубине различна. Однако сейсмологические исследования показали, что такая упрощенная картина неверна и слой астеносферы отнюдь не является сплошным. Крупнейшие структуры Земли — молодые складчатые пояса, срединные океанические хребты и древние, докембрийские, платформы имеют отчетливую связь с расположенными под ними неоднородностями верхней мантии или с деформациями в ней. Корни таких структур прослеживаются на глубину 200—600 км.

Кайнозойские складчатые пояса протягиваются на тысячи километров через молодые хребты и островные дуги. Они связаны с

наклонными сейсмофокальными зонами, в которых на глубине до 600 км вблизи крупных разломов сосредоточены очаги землетрясений. Эти глубинные разломы еще в 40-х годах рассматривались Г. Беньофом и А. Н. Заварицким как огромные поддвиги или надвиги. Вдоль поверхности таких разломов происходит субдукция, т. е. погружение океанической коры под островные дуги или пододвигание материковых платформ под растущие складчатые сооружения. Сейсмологические исследования позволяют проследить в этих зонах глубоко погружившиеся части литосферных плит<sup>4</sup>.

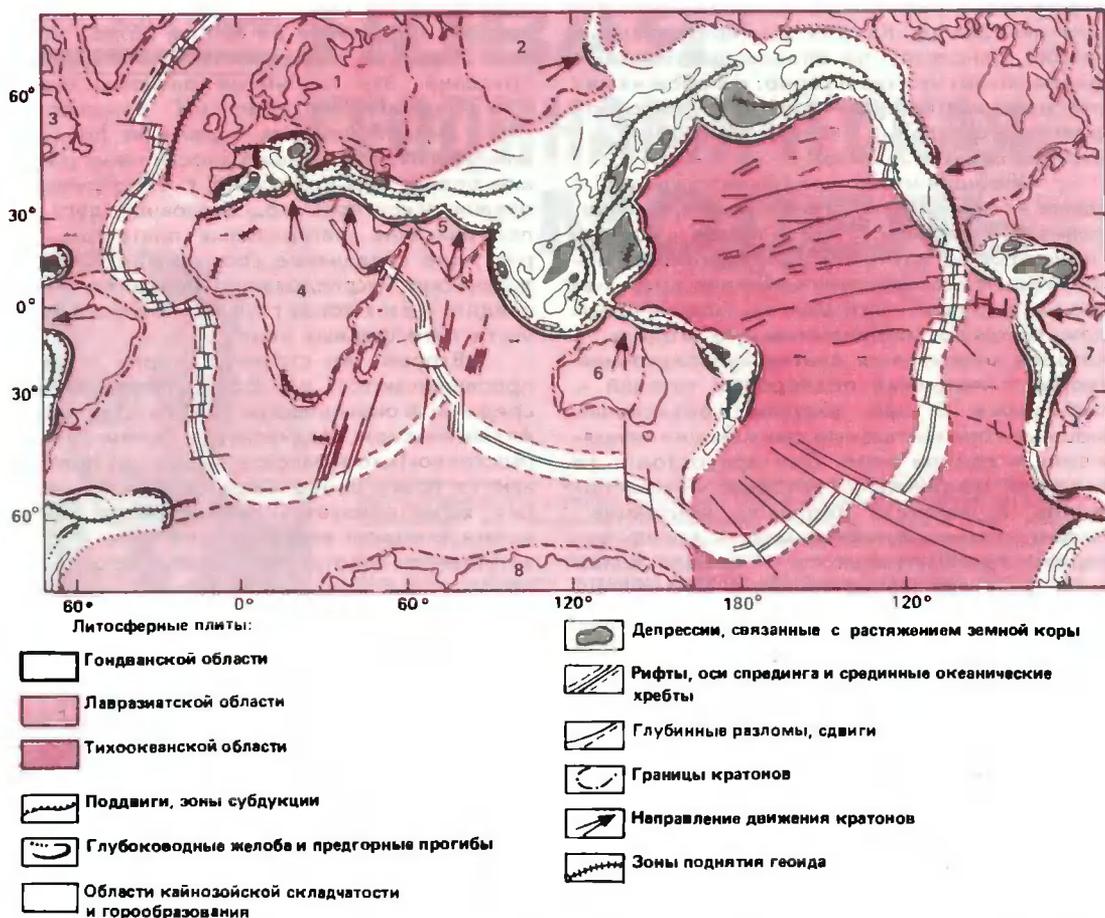
Второй тип структур, корни которых прослеживаются на большую глубину — срединные океанические хребты. Под ними в Атлантическом, Индийском и Тихом океанах (Восточно-Тихоокеанское поднятие) протягиваются пояса более нагретой мантии, которая характеризуется пониженными значениями скорости сейсмических волн и, соответственно, плотности. Здесь происходит подъем наиболее легкого и пластичного материала на восходящих ветвях подкорковых течений. Вблизи осей срединных океанических хребтов эти течения расходятся в противоположные стороны, создаются предпосылки для растяжения, разрыва уже существующей коры и образуется новая океаническая кора. Такой процесс называется спредингом.

Наконец, третий тип структур, корни которых прослеживаются на большую глубину — это докембрийские платформы (кратоны). Они сформировались в результате процессов складчатости и магматизма более миллиарда лет назад. Характерно, что на вертикальных разрезах, полученных методом сейсмической томографии, высокоскоростные аномальные зоны прослеживаются под всеми платформами до глубины 200—600 км. На горизонтальных срезах, соответствующих глубине 150 км, они видны очень хорошо. На глубине 300—400 км соответствие между контурами неоднородностей в мантии и расположением кратонов постепенно утрачивается, и на глубине около 600 км — исчезает совсем.

Те участки верхней мантии, которые расположены под кратонами, отличаются повышенной плотностью вещества вследствие более низкой температуры и особенностью химического состава. Основываясь на геотермических данных, Я. Б. Смирнов и Б. Г. Поляк подсчитали, что под докембрий-

<sup>3</sup> Кропоткин П. Н., Ефремов В. Н., Макеев В. М. // Геотектоника. 1987. № 1. С. 3—24.

<sup>4</sup> Винник Л. П. Структурная геология глубоких недр Земли // Природа. 1988. № 5. С. 36—45.



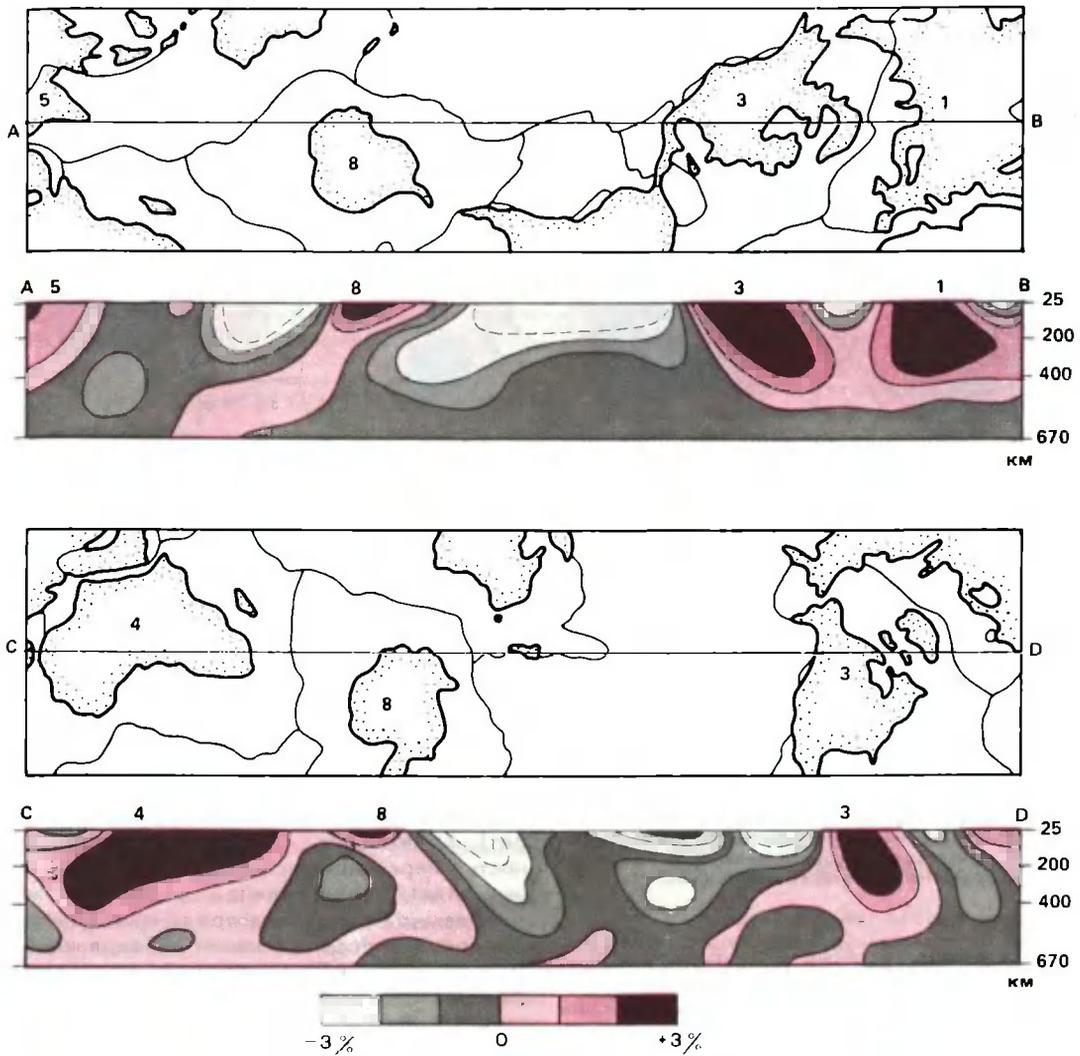
Литосферные плиты Гондванской, Лавразийской и Тихоокеанской областей мегаспрединга, между которыми расположены зоны сжатия (Альпийско-Гималайский и Тихоокеанский подвижные пояса, Восточно-Азиатская область тектонической активизации). В зонах сжатия протягиваются поднятия поверхности геоида, указывающие на повышенную концентрацию масс. Цифрами обозначены докембрийские платформы: 1 — Восточно-Европейская, 2 — Сибирская, 3 — Северо-Американская, 4 — Африканская, 5 — Индийская, 6 — Австралийская, 7 — Южно-Американская, 8 — Антарктическая.

скими платформами на глубине от 80 до 300 км температура на 300—800° ниже, чем на такой же глубине под океанами и вулканическими поясами. Дело в том, что еще в докембрии при формировании гранитного слоя платформ из этих участков мантии была вынесена в земную кору большая часть разогревавших ее радиоактивных элементов — урана, тория и калия. В начале 70-х годов, базируясь на имевшихся в то время геотермических и сейсмологических данных,

я пришел к заключению, что каждая из докембрийских платформ прочно соединена с лежащими под нею непластичными слоями верхней мантии, т. е. снабжена жесткой «подушкой» толщиной до 200 км, вместе с которой она и перемещается<sup>5</sup>. В дальнейшем к аналогичным выводам пришел американский геофизик Т. Джордан. Он считает, что корни кратонов продолжают до глубины 220—400 км.

Наличие толстой «подушки» под материками, где могут находиться корни собственного им магматизма, снимает важное возражение против мобилизма, выдвинутое В. В. Белоусовым. Его аргументация основана на том, что в кимберлитовых трубках на докембрийских щитах и платформах обнаружены застывшие порции магмы, которая поднималась из одних и тех же глубинных очагов

<sup>5</sup> Кропоткин П. Н. Динамика земной коры // Проблемы глобальной тектоники. М., 1973. С. 27—59.

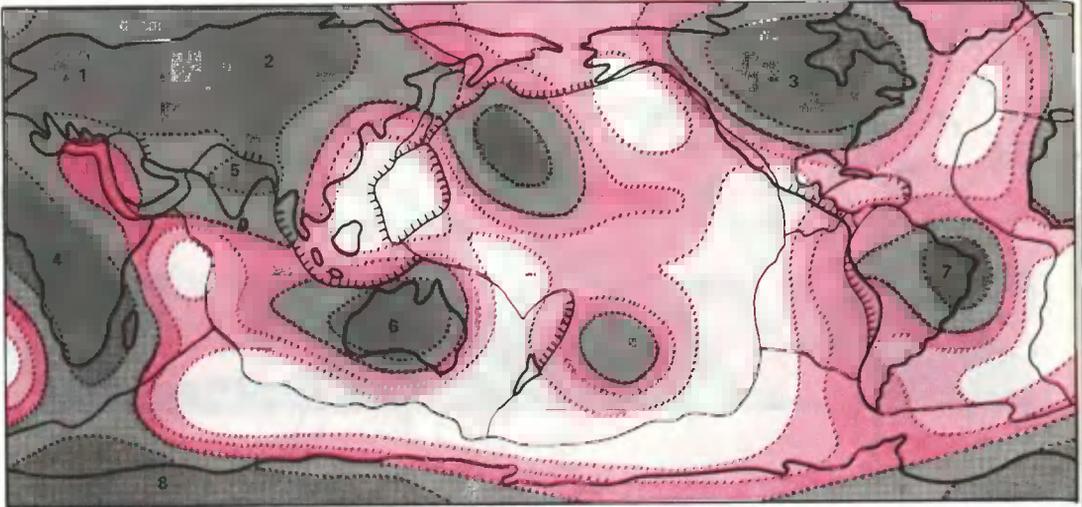


Глобальные вертикальные разрезы АВ и CD, показывающие скорость распространения сейсмических волн в мантии до глубины 670 км. Внизу — шкала отклонений скорости сейсмических волн от средних их значения на соответствующей глубине. Цифрами на картах и разрезах обозначены докембрийские платформы (нумерация та же, что и на предыдущем рисунке).

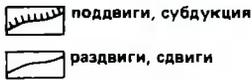
на протяжении нескольких геологических периодов. Отсюда следует, что земная кора, имеющая здесь толщину около 40 км, не смещалась в горизонтальном направлении относительно глубинных магматических очагов, которые, судя по присутствию алмазов, находились на глубине 120—200 км. Сейчас, принимая принцип мобилизма, мы можем считать, что эти очаги перемещались по

горизонтали вместе с кратонами, находясь внутри их «подушек».

Хотя представления о сплошном слое астеносферы теперь выглядят несостоятельными, сам факт перемещения материков в горизонтальном направлении на тысячи километров — мобилизм континентов и литосферных плит — не вызывает сомнений. Он доказан тысячами определений прежней географической широты и прежней ориентации меридианов в породах всех возрастов и континентов, которые были сделаны на основании изучения остаточной намагниченности горных пород. Эти палеомагнитные данные отлично согласуются с палеоклиматическими — распространением древних ледниковых отложений, коралловых рифов тропического пояса, соленосных отложений пояса



Границы литосферных плит:



Скорость волн:



Горизонтальный срез мантии на глубине 150 км, отражающий различия в скорости распространения сейсмических волн на этой глубине. Цифры и обозначены докембрийские платформы (нумерация та же). Хорошо видно, что под древними платформами скорость сейсмических волн повышена, а под средними океаническими хребтами понижена; соответственно различается и плотность мантийного вещества.

сухих пустынь, а также с реконструкциями прежнего расположения материковых глыб. Такие построения основаны на совмещении краев «разъехавшихся» материковых глыб, например, Африки и Южной Америки, и на сходстве их геологического строения<sup>6</sup>. Хорошо обоснованные реконструкции построены для ряда геологических эпох, начиная с середины палеозойской эры и до четвертичного периода (т. е. для интервала 400 млн лет). Скорость взаимного перемещения материков все это время оставалась почти одинаковой: от 1 до 10 см в год. У переднего края движущихся материков и между сближавшимися глыбами (например, в поясе от Кавказа до Гималаев) формировались складчатые горные хребты, а в тылу материковых глыб, удаляющихся друг от друга, зарождались и постепенно ширились впадины Атлантиче-

ского, Индийского и Северного Ледовитого океанов.

В конце палеозоя, в мезозое и кайнозое (т. е. на протяжении последних 250 млн лет) проявлялась интересная закономерность в перемещении материков и литосферных плит: происходило «расползание» глыб земной коры (мегаспрединг) от центров каждой из трех областей — Гондванской, Лавразийской и Тихоокеанской — к их перифериям. Это особенно ясно видно на примере огромного континента Гондваны, который разделился на семь материковых глыб: Южную Америку, Африку, Мадагаскар, Аравийскую и Индийскую платформы, Австралию и Антарктиду. Между ними образовались впадины Индийского океана и южной Атлантики, так что площадь, приходящаяся на эти глыбы и новообразованные океаны между ними, возросла почти в три раза. Суперконтинент Лавразия также распался на глыбы Северной Америки, Гренландии и северной части Евразии. Площадь Лавразийской области в результате образования северной Атлантики и Северного Ледовитого океана увеличилась почти в два раза. В Тихоокеанской области также происходило перемещение глыб к периферии, но в этом случае перемещалась океаническая кора, которая в процессе субдукции погружалась под складчатые хребты и островные дуги Тихоокеанского кольца. В результате площадь этой

<sup>6</sup> Кропоткин П. Н. Плавают ли материки? Современное состояние теории мобилизма // Природа. 1962. № 11. С. 84—95.

области не увеличилась, а заметно сократилась.

Между этими тремя грандиозными областями мегаспрединга располагались геосинклинальные пояса с их складчатостью и вулканизмом. Именно здесь происходили погружение подкоровых течений и субдукция океанической коры, пододвигавшейся под складчатые сооружения. Как яркое проявление горизонтальных сжимающих сил здесь возникли надвиги, напоззали друг на друга огромные чешуи шарьяжей — произошло сокращение поверхности коры.

### НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Четкое представление о том, как распределены напряжения в земной коре и верхней мантии, — ключ к пониманию геодинамики. Так, в моделях тектоники литосферных плит, основанных на тепловой конвекции, интенсивные горизонтальные сжимающие напряжения в коре возможны только над зонами погружающихся подкоровых течений, а в теории расширяющейся Земли повсюду должно доминировать растяжение. Однако результаты измерений указывают на почти повсеместное горизонтальное сжатие в земной коре. Значения сжимающих напряжений так велики, что объяснить их можно только с позиций контракционной или пульсационной теорий.

В применении к складчатым горным сооружениям грубые оценки напряжений были сделаны уже в конце прошлого века. Насколько велики возникающие в них напряжения, можно судить по следующему факту: при образовании надвигов сколы возникают даже в наиболее прочных породах — например в кварцитах и гранитах. Скальвающие напряжения и величина горизонтального сжатия в этом случае должны превышать 800—1000 бар. Исходя из общих условий формирования таких складчатых хребтов, как Альпы и Гималаи, швейцарский геолог А. Гейм подсчитал, что на глубинах 5—10 км горизонтальное сжатие, ориентированное поперек хребта, должно было уравновесивать то давление, которое создается весом его пород, т. е. достигает 1—1,5 кбар. При проходе Симплонского туннеля в Альпах строителям пришлось столкнуться с реальными проявлениями такого сжатия: скальвающие напряжения на глубине около 1000 м оказались столь велики, что их не выдерживала самая прочная стальная крепь.

Определение напряжений в массивах горных пород основывается на результатах

непосредственного измерения напряженного состояния в кернах из специальных скважин, пробуренных в стенках штолен или шахт. Эти измерения показали, что сильное сжатие наблюдается не только в складчатых хребтах, но и далеко от них — в пределах древних платформ (например, в равнинных областях Швеции, Финляндии, Канады).

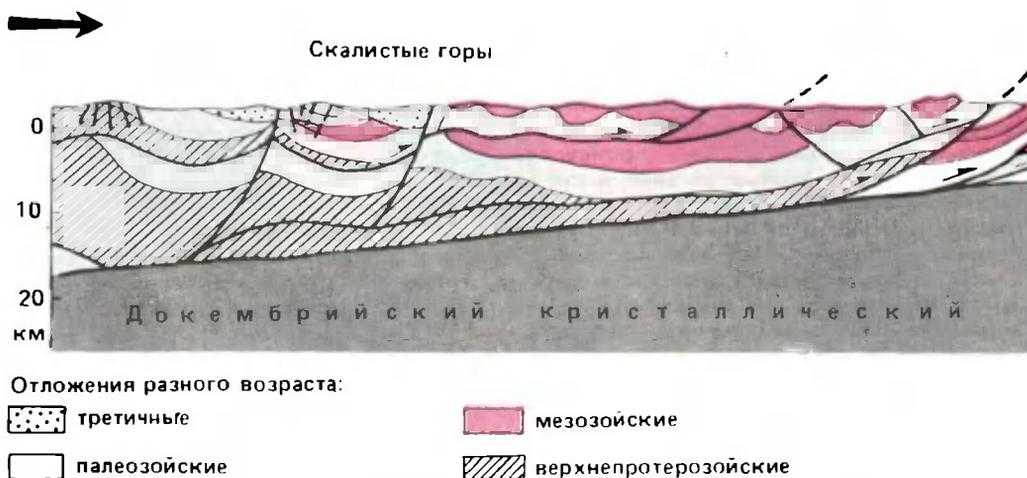
В некоторых рудниках Швеции и Финляндии горизонтальное сжатие в гранитах, гнейсах и других кристаллических породах фундамента уже на глубине 10—50 м достигает 100—300 бар. В рудниках Хибинского массива, Чехословакии, ГДР, Индии на глубине от 800 до 3000 м от поверхности отмечено горизонтальное сжатие, значительно превышающее геостатическое давление.

В отдельных местах горизонтальное сжатие охватывает не только фундамент платформ, но и залегающие на нем осадочные слои. Так, в кернах 40 скважин, пробуренных для разведки нефти в осадочных отложениях на западе Канады в пределах зоны, протягивающейся между краем Скалистых гор и склоном Канадского щита, обнаружено горизонтальное сжатие. Оно направлено перпендикулярно к этой зоне и образовавшимся в ней пологим складкам, в которые смяты отложения мелового и палеогенового периодов. Даже в базальтовых породах морского дна в восточной части Тихого океана и на о. Исландия (в стороне от рифта, пересекающего этот остров) выявлены сильные сжимающие горизонтальные напряжения.

Сейсмологические исследования позволяют определить ориентировку сжимающих, растягивающих и скальвающих напряжений непосредственно в очагах землетрясений. Почти горизонтальные сжимающие усилия характерны для очагов, расположенных на глубинах 10—40 км под молодыми складчатыми хребтами (Кавказ, Гималаи, Анды) и на глубинах до 70 км в наклонных сейсмофокальных зонах, известных в Средиземноморском поясе и окаймляющих Тихий океан<sup>7</sup>. Сжатие отмечается и вдали от молодых складчатых поясов — во внутренней части литосферных плит, как на материках, так и в океанических областях.

Во многих районах земного шара горизонтальное сжатие обнаружено при анализе гравиметрических данных, характеризующих поле силы тяжести. Блоки земной коры, которые пододвигаются под складчатые хребты и островные дуги, оказываются при таком

<sup>7</sup> Балакина Л. М. Землетрясения и тектоника окраин Тихого океана // Природа. 1984. № 3. С. 27—33.



Геологический разрез по 43° с. ш. в западной части США. Вертикальный и горизонтальный масштабы одинаковы. Под действием горизонтального сжатия на восточном склоне Скалистых гор образовались чешуи надвигов, перемещенные местами на 160 км к востоку. Восточнее, на краю Северо-Американской платформы в горах Уинд-Ривер возник встречный надвиг. Он продвинулся с востока на запад на расстояние до 30 км. Маленькими стрелками показано направление скольжения чешуй, большими — общее сжатие земной коры.

движению опущенными ниже уровня равновесия (изостазии) между менее плотной корой и более тяжелыми слоями верхней мантии. Поэтому здесь, в предгорных желобах и депрессиях у периферии океана, возникают отрицательные гравитационные аномалии. Те же блоки земной коры, под которые литосферные плиты пододвигаются в процессе субдукции, напротив, приподняты выше положения изостатического равновесия. Они характеризуются положительными аномалиями силы тяжести. Зная величину аномалии и наклон разлома, по которому блоки надвигаются друг на друга, можно определить величину горизонтального сжатия. В некоторых случаях она достигает 1—2 кбар.

Контрастные пары узких зон положительных и отрицательных гравитационных аномалий встречаются и вдали от зон субдукции, например на границе Украинского щита и Приднепровской низменности, а также у восточного склона Тимана и на обоих склонах северного Урала. Они указывают на волнообразное корбление земной коры под действием горизонтального сжатия.

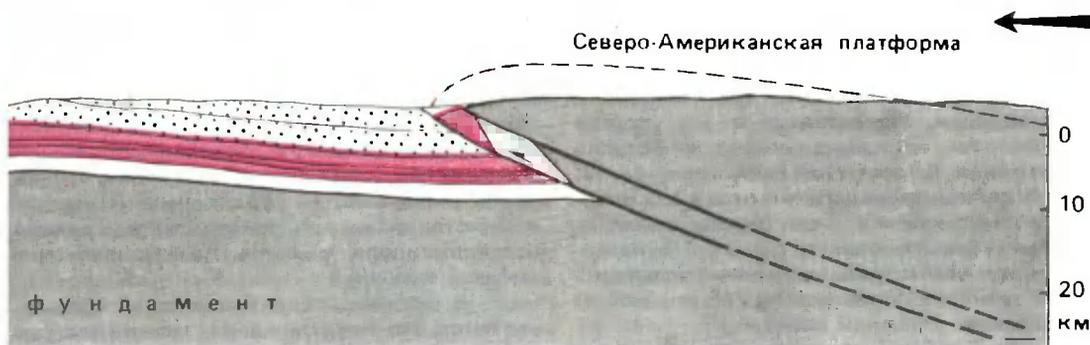
По результатам измерений напряженного состояния пород на глубинах до 1—2 км шведский ученый Н. Хаст предложил эмпирическую формулу, которая связывает сумму горизонтальных сжимающих напряжений  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$

по двум взаимно перпендикулярным направлениям с глубиной  $H$  (в метрах), на которой проводились измерения:  $\sigma_x + \sigma_y = (0,96H + 176)$  бар. Сжатие нарастает с глубиной быстрее, чем геостатическое давление  $p$ , определяемое по средней плотности пород в верхней части фундамента материков. Она равна  $0,27 \text{ г/см}^3$ . Разность  $(\sigma_x + \sigma_y - 2p)$ , равная  $(0,43H + 176)$  бар, характеризует то добавочное, помимо геостатического давления, горизонтальное сжимающее напряжение, которое проявляется в тектонических деформациях.

Вероятно, добавочные напряжения достигают максимума (более 2 кбар) на глубине 10—40 км, где освобождается свыше 80 % всей энергии землетрясений земного шара. Ниже они постепенно уменьшаются и почти отсутствуют в астеносфере.

Можно предположить, что существовали эпохи, когда в земной коре действовали сжимающие силы, в десятки раз превышающие современный уровень. На это, в частности, указывают древние (около 500 млн лет) гранатовые метаморфические породы, содержащие мелкие кристаллы алмаза, которые недавно обнаружены Н. В. Соболевым и В. С. Шацким в Северном Казахстане. Такие кристаллы могли образоваться при сжатии не ниже 35 кбар, тогда как геостатическое давление здесь, вероятно, не превышало нескольких килобар.

Таким образом, судя по самым разным данным, можно заключить, что в настоящее время около 95 % поверхности земной коры находится в состоянии интенсивного горизонтального сжатия. Исключение составляют осевые части рифтов и грабенов (например, Красное море, Рейнский грабен) и срединно-океанические хребты, а также некоторые



впадины (например, Эгейское море), где кора находится в состоянии растяжения. Эти структуры охватывают менее 3 % поверхности Земли. И еще примерно на такой же площади кора находится в состоянии, соответствующем горизонтальным сдвигам вдоль вертикальных разломов. В этих разломах (они известны, например, в Калифорнии и Средней Азии) по одному горизонтальному направлению кора сжата, а по другому, перпендикулярному к нему, — растянута.

Если бы мы не знали, что вследствие дрейфа удаляющихся друг от друга материков образуются раздвиги, грабены и обширные океанические впадины, можно было бы всю нарисованную выше картину складчатости и сжимающих напряжений в земной коре рассматривать как подтверждение контракционной геотектонической теории, предполагающей постепенное сокращение радиуса Земли. Но как быть с доводами альтернативной теории расширения Земли, которая фактически игнорирует все эти факты и основывается на данных о возрастании площади земной коры при образовании океанических впадин?

Разумный синтез этих двух гипотез предлагает пульсационная теория, основанная на том, что Земля находится в состоянии упруго-гравитационного равновесия. Слои нашей планеты перемещаются к ее центру под действием сил тяготения настолько, насколько позволяют сжатие вещества в них самих и в лежащих ниже слоях. На глубине 2900 км, т. е. на границе мантии и ядра, давление, обусловленное весом вышележащих слоев, достигает 1354 кбар, а температура — нескольких тысяч градусов. Не исключено, что в зависимости от небольших изменений температуры и давления на этой глубине и на

двух других уровнях (420 и 650 км) происходят фазовые превращения, которые сопровождаются изменением объема вещества в соответствующем слое. При этом неизбежно изменение радиуса всех слоев, расположенных выше, а следовательно, и общего радиуса всей Земли<sup>8</sup>. Известный американский физик Р. Дикке высказал предположение, что изменение размеров Земли может зависеть и от флуктуации гравитационной постоянной  $G$ . Он писал: «При уменьшении  $G$  Земля расширится... Изменения  $G$  должны весьма заметно сказываться на частоте землетрясений»<sup>9</sup>.

Некоторая неустойчивость упруго-гравитационного равновесия Земли несомненна. Дело в том, что давление во всех внутренних слоях любой планеты сильно зависит от ее размеров. Так, например, давление в центре планеты, имеющей однородную плотность, обратно пропорционально четвертой степени ее радиуса. Поэтому уплотнение вещества в каком-либо одном слое ведет к увеличению давления и плотности во всех слоях планеты, но, разумеется, до известного предела. Этот предел в конечном счете определяется равновесием между гравитационной энергией Земли, с одной стороны, и энергией упругой деформации сжатия всех ее слоев и скрытой тепловой фазовых превращений, сопровождаемых изменением объема, — с другой.

Расчеты, которые еще в 1910 г. выполнил М. П. Рудзский, а затем Е. Н. Люстих, позволяют оценить верхний предел танген-

<sup>8</sup> Барсуков В. Л., Урусов В. С. Фазовые превращения в мантии и расширение Земли // Природа. 1983. № 5. С. 16—25.

<sup>9</sup> Гравитация и относительность. М., 1965. С. 403.

циального сжатия, возникающего при сокращении радиуса Земли  $R$ . Если бы при перемещении слоя земной коры вниз все изменение его потенциальной гравитационной энергии было израсходовано на упругое сжатие, то горизонтальные сжимающие напряжения  $P$  достигли бы в нем  $6 \cdot 10^5$  бар. В действительности почти вся эта энергия расходуется на сжатие нижележащих, более глубоких слоев. Но даже 0,5 % ее достаточно, чтобы реализовались описанные выше значения горизонтальных сжимающих напряжений в земной коре.

Механизм, связанный с сокращением радиуса Земли, представляется единственно возможным для объяснения происхождения интенсивных (более 2 кбар) тангенциальных напряжений, существующих в земной коре. Как показал анализ структуры Альп и других складчатых поясов, в этих зонах под действием таких сил поверхность земной коры сократилась более чем в два раза.

#### НЕСОВЕРШЕНСТВО ПРЕЖНИХ МОДЕЛЕЙ И ПРЕДЛАГАЕМАЯ АЛЬТЕРНАТИВА

Обычно для объяснения динамики литосферных плит привлекают модели, основанные на тепловой конвекции или гравитационной дифференциации мантийного вещества. В них предполагается всплывание вещества, плотность которого уменьшилась вследствие теплового расширения или изменения химического состава, и погружение более плотных масс. Однако подобные модели подкорковых течений не могут объяснить наблюдаемую высокую величину тангенциального сжатия коры и широкое его распространение. Расчеты показывают, что в известных моделях конвекции горизонтальное сжатие почти в 100 раз ниже реально наблюдаемых величин. Причем сжатие в этих моделях должно было бы наблюдаться только в областях, примыкающих к зонам стока мантийного материала, т. е. примерно на такой же площади, как та, на которой доминирует растяжение вблизи восходящих ветвей подкорковых течений. Фактически же, как мы видели, соотношение площадей, охваченных сжатием и растяжением, близко к 95:5 %.

В моделях конвекции, используемых для обоснования тектоники литосферных плит, принимается, что в верхних слоях мантии потоки вещества ориентированы по направлению от восходящих течений (сре-

динные океанические хребты) к зонам стока. В этих зонах, где течения сходятся и погружаются в глубины мантии, происходит субдукция литосферных плит, формируются молодые складчатые пояса. Но в условиях свободной конвекции устойчивые течения такого типа возможны только в том случае, если в мантии на уровнях (т. е. на эквипотенциальных) поверхностях гравитационного поля имеется достаточный градиент давления.

В данных моделях конвекции предполагается, что в верхних слоях мантии вещество медленно течет в том направлении, в котором геостатическое давление в этих слоях уменьшается. Однако фактически на уровне изостатической компенсации (примерно на глубине 40—80 км) распределение геостатического давления не соответствует такому простому принципу. Это видно из анализа неровностей геоида — поверхности, соответствующей уровню моря, как в океанах, так и на материках<sup>10</sup>. Неровности геоида указывают на аномальное распределение масс в коре и верхних слоях мантии. Узкие зоны, в которых геоид образует выпуклости, выделяющиеся на фоне широких волнообразных отклонений геоида от поверхности эллипсоида вращения (который, в первом приближении, отражает фигуру Земли), связаны с избыточной концентрацией масс в земной коре и самых верхних слоях мантии.

Такие узкие выпуклости геоида протягиваются в молодых складчатых поясах вокруг Тихого океана от моря Скоша через Анды, Скалистые горы, Берингово море и Камчатку к Японии, Индонезии, островам Новой Гвинеи и Новой Зеландии. Эти зоны находятся как раз в тех поясах, где сближаются подкорковые течения, уходящие в мантийные глубины. Благодаря скупиванию масс геостатическое давление здесь, на уровне изостатической компенсации, повышено. Таким образом оказывается, что фактически общее движение масс в верхней мантии и коре, направленное от срединных океанических хребтов к складчатым поясам, было ориентировано в направлении, противоположном тому, в котором, судя по гравиметрическим данным, геостатическое давление уменьшается. По существу, этот парадокс аналогичен рассмотренному А. Геймом: блоки коры, ограничивающие растущий складчатый хребет, движутся к хребту, тогда как геостатическое

<sup>10</sup> Грушинский Н. П. Гравиметрия — наука о силе тяжести // Природа. 1985. № 10. С. 62—73.

давление в коре, наоборот, уменьшается в обе стороны от его оси.

Чтобы объяснить причины разрыва и раздвигания коры в зонах спрединга, Д. Теркот и другие теоретики тектоники литосферных плит прибегают к тем же гравитационным силам, которые вызывают оползни. Теоретически они могут действовать в осевых зонах срединных океанических хребтов. Однако фактически (например, при образовании впадин Красного моря или моря Баффина между Гренландией и Северной Америкой) на начальной стадии возникновения океана не возникали даже эмбриональные возвышенности типа срединных хребтов. Те раздвиги, которые в начале мезозойской эры расчленили Гондвану и Лавразию на ряд материковых глыб меньшего размера и положили начало образованию Индийского и Атлантического океанов, представляли собой не срединно-океанические, а срединно-континентальные рифты. Это были расколы в кратонах, продолжавшиеся вниз на 200—400 км. Такие «щели» постепенно расширялись по мере нагнетания в них из мантии более пластичного материала. Низкокоростной, т. е. менее плотный и, вероятно, более нагретый и пластичный, материал обнаружен, в частности, по сейсмическим аномалиям под Байкалом, Красным морем и Аденским заливом на глубинах до 300—550 км.

Все это настолько отличается от той картины, которую рисуют в моделях свободной тепловой конвекции или конвекции, основанной на гравитационной дифференциации с разделением материала мантии по химическому составу, что представляется необходимым рассмотреть иную геодинамическую модель. В ее основу положено представление о **вынужденной конвекции**, связанной с перемещением вещества в мантии Земли под действием попеременного увеличения и уменьшения земного радиуса. Такое перемещение сводится главным образом к выдавливанию вверх из глубоких слоев мантии наиболее пластичного материала под действием горизонтального сжатия подобно выдавливанию пасты из тьюбика. Геологам такой процесс хорошо знаком по внедрениям порций магмы из глубоких слоев с образованием даек и интрузий. Если в вышележащих слоях имеются расколы, то в них при инъекции магмы возникает расклинивающий эффект.

В предлагаемой геодинамической модели образование складчатых горных сооружений рассматривается как результат тангенциального сжатия в фазы сокращения радиуса Земли, а увеличение площади

океанических впадин — как результат ослабления сжимающих усилий в фазы расширения Земли. Предполагается, что в основе тектонических напряжений лежит неустойчивость упруго-гравитационного равновесия Земли и такое разделение и перемещение ее материала, которое зависит главным образом от реологических свойств. Расчеты показывают, что при уменьшении радиуса Земли энергетически выгодно выдавливание на ее поверхность пусть даже плотного, но достаточно пластичного материала. Наименее вязким материалом являются нагретые массы мантийного вещества, которые имеют пониженную плотность, а также выплавляющиеся из мантии магмы. Поэтому импульсы сжатия Земли стимулируют такое же разделение и перемещение материала, какое предполагается для подкорковых течений, обусловленных тепловой конвекцией и гравитационной дифференциацией мантийного вещества. В ходе сжатия все три механизма работают совместно.

Вынужденная конвекция встречается в механике в тех случаях, когда перемещение в сплошной среде осуществляется под действием внешних механических факторов (например, в бетономешалке), а не из-за одной лишь разницы в плотностях между различными объемами вещества. В новой геодинамической модели механическое перемещение вещества связано с вынужденной конвекцией (псевдоконвекцией). Но каков бы ни был механизм, приводящий в движение большие массы вещества в сплошной среде, в ней, согласно принципу неразрывности, возникают ячеи циркуляции, т. е. замкнутые потоки вещества.

Таким образом, мобилизм, связанный с псевдоконвекцией в мантии, следует объединить с пульсационной геотектонической гипотезой, в которой при чередовании фаз сжатия и расширения Земли эффекты сжатия суммируются в одних зонах, а эффекты расширения — в других. Ясно, что при этом промежуточные блоки должны дрейфовать от зон растяжения к зонам сжатия, где поверхность земной коры сокращается. Иными словами, в пульсационную геодинамическую модель автоматически включается принцип мобилизма. Поверхность коры, увеличившаяся при спрединге в фазу расширения Земли, оказывается слишком большой для следующей за ней фазы сжатия, и тогда ее избыток ликвидировать за счет субдукции и образования складок.

Основным аргументом сторонников пульсационной гипотезы является неравномерность геологического развития Земли. Она выражается в многократной смене

эпох складчатости и горообразования и периодов спокойной эволюции рельефа, увеличения площади бассейнов. Первые сопоставляются с фазами сокращения земного радиуса, вторые — с фазами расширения Земли. Палеомагнитные данные показывают, что с пермского периода и по настоящее время (т. е. за 250 млн лет) радиус Земли увеличился на 2—4%. Вероятно, расширение происходило не все время, а лишь при спокойной эволюции в некоторые эпохи мезозойской эры и в палеогене.

Для последних 10 млн лет, т. е. для позднего неогена и четвертичного периода, характерны интенсивная складчатость и горообразование, связанные, по видимому, с прогрессировавшим сжатием Земли. Астрономические данные за последние 3 тыс. лет, вычисленные с учетом древнеегипетских и ассирийских записей о затмениях Солнца и Луны, указывают на продолжающееся в наше время сокращение радиуса Земли. Такие же результаты получены Г. Джеффрисом, Р. Литтлтоном и советским астрономом Н. Н. Парийским на основании закона сохранения момента количества движения  $Q = J\omega$ , где  $J = 0,33MR^2$  ( $J$  — момент инерции,  $M$  — масса Земли,  $R$  — ее радиус),  $\omega$  — угловая скорость вращения Земли вокруг своей оси. Эти измерения продолжительности суток (с учетом приливного торможения вращения Земли) показывают, что происходило сокращение радиуса Земли примерно на 0,5 мм в год, или 0,5 км за миллион лет.

Возможно, вековые периоды сжатия и расширения Земли являются суммарным результатом более частых изменений ее радиуса, которые предполагаются на основании так называемых декадных вариаций скорости вращения Земли. Эти вариации известны уже на протяжении 160 лет и называются декадными потому, что меняют свой знак каждые 10—20 лет. Известный американский сейсмолог Г. Беньоф построил кривую, которая показывает изменения глобальной сейсмической активности по годам.

На ней видно, что суммарная энергия землетрясений варьирует от года к году в десятки раз, а главное, обнаруживает корреляцию с декадными вариациями угловой скорости вращения. Беньоф отмечал, что трудно представить себе, каким должен быть механизм, который обеспечивал бы глобальное торможение и освобождение подвижек по разломам в соответствии с упомянутой кривой. Возможно, как указывал Беньоф, этот механизм связан с изменениями радиуса Земли, чем предположительно объясняются наблюдаемые изменения ее периода вращения.

Недавно замечено, что повышение активности вулканов в рифтовых зонах срединных океанических хребтов, где происходит спрединг, соответствует замедлению вращения Земли и также может быть связано с изменением ее радиуса<sup>11</sup>. Так называемые чэндлеровские колебания полюса, т. е. квазипериодические смещения оси вращения Земли, и западный дрейф магнитного поля, связанный с проскальзыванием всей мантии (вместе с корой) по магнитному ядру Земли, также обнаруживают корреляцию с декадными вариациями скорости вращения Земли. Все эти факты указывают на изменения размеров Земли и ее ядра, согласующиеся с пульсационной теорией и с предположением Р. Дикке о флуктуациях величины гравитационной постоянной. Однако пока нет возможности проверить данную гипотезу из-за недостаточно высокой точности гравиметрических наблюдений.

В свете всего изложенного наиболее перспективной в настоящее время представляется геодинамическая модель, в которой реализуется синтез положений пульсационной гипотезы и гипотез, привлекаемых для объяснения дрейфа литосферных плит.

<sup>11</sup> Мехтиев Ш. В., Халилов Э. Н. Вулканы и геодинамика // Природа. 1987. № 5. С. 46—49.

# Т.А. Айзатулин Д.Я. Фащук

## БЕЛЫЕ ПЯТНА ЧЕРНОГО МОРЯ



Тамерлан Афиятович Айзатулин, старший научный сотрудник Всесоюзного института научной и технической информации ГКНТ и АН СССР. Занимается проблемами экологической химии, математическим моделированием трансформации веществ в водной среде. Участник многих морских экспедиций.



Дмитрий Яковлевич Фащук, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник Азово-Черноморского научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии Министерства рыбного хозяйства СССР. Занимается физической океанологией, исследованием механизма формирования и динамики анаэробной зоны Черного моря, проблемами последствий антропогенного воздействия на его экосистему.

**Д**О НЕДАВНЕГО времени горячо любимое всеми Черное море по праву считалось самым изученным из всех морей Советского Союза. Действительно, около 100 лет прошло с тех пор, как из его глубин была поднята первая проба воды для анализов. За этот период проведено бесконечное множество экспедиций и экспериментов, написаны сотни научных статей и монографий об истории его развития и природе.

Полученные знания были расценены как право на активную эксплуатацию его рыбных, водных, рекреационных, минеральных богатств, развитие интенсивной хозяйственной деятельности в бассейне водоема. Результат оказался неожиданным: массовая гибель рыбы, моллюсков и водорослей на северо-западном мелководье, утраченные стада черноморской кефали и скумбрии, ушедшая на нагул в другие моря крупная ставрида, дельфины, страдающие сколиозом и различными кожными заболеваниями, запасы медузы, возросшие до 400 млн т и превысившие в 400 раз запасы всех видов черноморских рыб. Но, возможно, это не последние беды Черного моря.

Несколько лет назад с американского спутника "Landsat" было зафиксировано странное явление. Мертвое море, расположенное в Иордании, за время одного оборота спутника изменило свой цвет на космических фотографиях с голубого на черный. Последующие исследования на Земле показали, что водоем «перевернулся» — глубинные соленые, насыщенные сероводородом воды вышли на поверхность. Теперь это море, родственное по своей природе Черному, стало мертвым в полном смысле этого слова. Причина катастрофы — исчезновение поверхностного распределенного слоя в результате 80 %-ного изъятия стока реки Иордан на орошение...<sup>1</sup>

Приведенные печальные примеры свидетельствуют о том, что любое вмешательство в жизнь моря должно основываться не только на знаниях особенностей его режима, но и на глубоком понимании

<sup>1</sup> Гат Д. Р., Штейхорн И. // В мире науки. 1983. № 12. С. 48—57.

механизмов, поддерживающих эту сложную динамическую систему в равновесии, а в этом плане в Черном море оказывается еще немало белых пятен. Одно из них — глубоководная сероводородная зона.

Примерно 8 тыс. лет назад обстоятельства развития Черноморской впадины сложились таким образом, что существовавшее в ней до этого времени пресноводное Ново-Эвксинское море-озеро начало подвергаться существенным трансформациям. Причиной тому были тектонические подвижки и периодические изменения климата, приводившие, соответственно, к прорывам Босфора, повышению уровня Мирового океана в результате таяния ледников и осолонению таким образом водоема. Под действием этих процессов в течение последующих 5 тыс. лет на месте Черноморской впадины сформировался так называемый Древнечерноморский бассейн. Исследователи истории его образования склонны полагать, что по крайней мере последние 3 тыс. лет природа в этом районе наконец-то успокоилась, представив нам результаты своего многовекового труда в виде современного Черного моря.

От своего пресноводного предшественника оно, как известно, отличается наличием поверхностного относительно распресненного слоя и соленоводного глубинного, занимающего около 90 % объема вод, со специфическими анаэробными условиями и сероводородным заражением. Последнее обеспечило морю славу первого в мире по величине сероводородосодержащего бассейна, а также лишило покоя многие десятки энтузиастов морской науки, посвятивших свою жизнь изучению этого феномена.

Их трудами установлено, что первопричина возникновения и такого длительного сохранения сероводорода в Черном море — физико-динамическое состояние его вод. Значительная вертикальная переслоенность по плотности препятствует перемешиванию, а ограниченный контакт со Средиземным морем затрудняет аэрацию глубинного слоя за счет горизонтального обмена. В таких неблагоприятных гидрологических условиях кислород под слоем скачка плотности безвозмездно расходовался на окисление органического вещества, а в создавшихся анаэробных условиях вступили в действие бактерии, использующие в своем жизненном цикле кислород, связанный в соединениях серы. В результате реакции восстановления сульфатов (сульфатредукции), протекающей в присутствии органического вещества, образуется около 97 % сероводорода Черного

моря, и только 3—5 % его имеет биогенное происхождение — из серы, содержащейся в остатках умерших организмов.

В то же время существует мнение, что основной источник сероводорода в Черном море — эндогенное, глубинное его поступление из разломов дна. Море с этой позиции представляется уже не как биологическая фабрика ядов, а как водоем, все внутренние усилия которого направлены на нейтрализацию проникающего извне заражения<sup>2</sup>. Убедительных аргументов, подтверждающих эту гипотезу, пока, к сожалению, не получено.

Споры по вопросу о том, что является препятствием для распространения сероводорода в верхние слои моря, начались с момента его обнаружения в Черном море. Уже в 1895 г. М. А. Егуновым на основании лабораторных опытов с илами и грязями одесских лиманов, озера Неро около Ростова Ярославского, сибирских и крымских соленых озер была высказана гипотеза о том, что на глубине приблизительно 200 м через все Черное море проходит зона, наполненная серобактериями, имеющими вид спирилл и поглощающими сероводород настолько полно, что в поверхностных слоях воды не содержится ни следа этого газа<sup>3</sup>. Площадь «бактериальной пластины» по предположению автора гипотезы, достигает 330 тыс. км<sup>2</sup>. Поиски пленки микроорганизмов, поглощающих сероводород в Черном море, велись на протяжении 50 лет известными микробиологами и химиками, однако положительных результатов получено не было. По этой причине Н. М. Книпович, не отвергая определенной роли бактерий в процессе окисления сероводорода, предполагает, что «границы сероводородной области определяются содержанием кислорода». Б. Л. Исаченко разделил эту точку зрения, согласившись с тем, что препятствием для проникновения сероводорода в верхние слои моря является именно вертикальная циркуляция. Б. А. Скопинцев и С. В. Бруевич в дальнейшем пришли к выводу, что благодаря этому процессу может происходить окисление сероводорода кислородом воды химическим путем.

Справедливости ради следует отметить, что безуспешные поиски «пленки Егунова» оказались далеко не бесполезными. В этих экспедициях были обнаружены

<sup>2</sup> Зеленов К. К. Причины сероводородного заражения вод Черного моря // Новое в современной литологии. М., 1981. С. 105—109.

<sup>3</sup> Исаченко Б. Л. О бактериальной пластине в Черном море // Избр. тр. Т. 1. М., Л., 1951. С. 364—374.

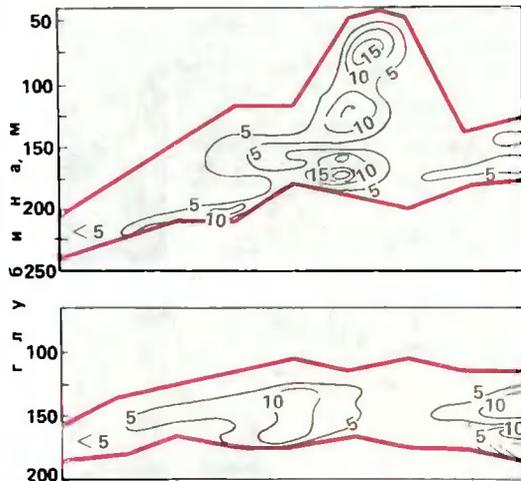
огромные количества тионовых микроорганизмов в поверхностных слоях грунта на глубинах более 2 тыс. м, окисляющих сероводород и другие соединения серы, а последние исследования Ю. И. Сорокина показали, что они составляют основную массу бактерий в слое воды между аэробной и анаэробной зонами.

В итоге многолетних споров и анализов сформировалось представление о механизме, препятствующем поступлению сероводорода в верхние слои Черного моря. Его основу составляет химическое окисление сероводорода растворенным в воде кислородом, которое происходит в слое их совместного существования (С-слое) на границе аэробной и анаэробной зоны. В результате химической реакции образуются сульфаты и тиосульфаты в соотношении 1:1. На следующей стадии тиосульфаты окисляются тионовыми бактериями до сульфатов, а при наличии в воде нитратов окисление сероводорода осуществляется также и денитрифицирующими бактериями.

Оценки суммарных по С-слою скоростей окисления, выполненные различными авторами на основании прямых измерений и косвенных расчетов по профилям концентраций кислорода и сероводорода, близки и составляют в среднем  $130 \text{ г H}_2\text{S/м}^2$  в год при колебаниях от 22 до 240 г в зависимости от района моря. Продукция же сульфатредуцирующих бактерий, формирующаяся, как полагают в настоящее время, в верхнем (3—5 см) слое осадков и на границе аэробной и анаэробной зон, составляет всего  $25 \text{ г H}_2\text{S/м}^2$  в год<sup>4</sup>. Таким образом, баланс по сероводороду в Черном море до сих пор не получен.

Толщина С-слоя, глубина залегания его границ, форма их рельефа, характер распределения в нем кислорода и сероводорода, скорости окисления последнего зависят от физико-динамических условий, интенсивности массопереноса, производства сероводорода и могут, таким образом, служить показателями состояния и тенденций эволюции анаэробной зоны.

Первые количественные определения сероводорода в Черном море, выполненные в 1891 г. А. А. Лебединцевым, позволили заключить, что граница анаэробной зоны располагается на глубине 100 саженей, или 183 м. Такое представление сохранялось на протяжении более 30 лет, и только в конце 20-х годов Н. Т. Данильченко

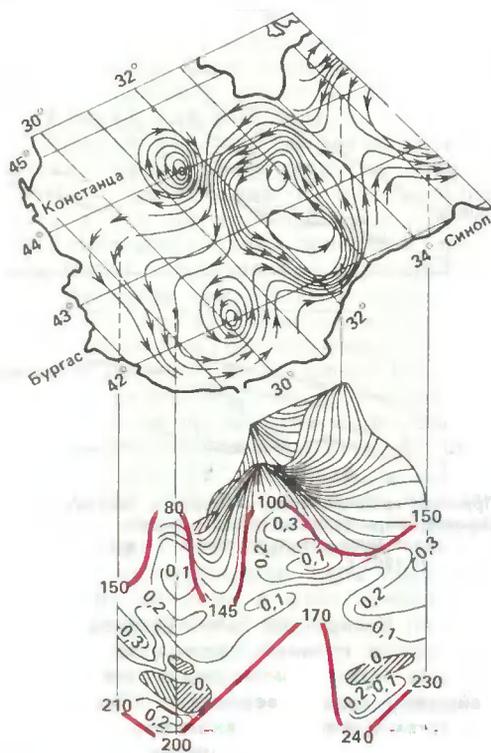


Профили границ С-слоя и скорости окисления в нем сероводорода ( $\text{г/м}^3$  в сутки — цифры на изолиниях) на разрезе Ялта — Батуми летом (вверху) и осенью (внизу) 1982 г.

и Н. И. Чигириным было установлено, что положение границы сероводорода не постоянно — она значительно меняется по районам моря, вероятно обусловленная течениями, и по временам года — в зависимости от вертикальной циркуляции. По данным Я. К. Гололобова, полученным в 40-х годах, толщина С-слоя колеблется от 8 до 35 м, а глубина залегания его верхней границы в среднем по морю в зависимости от сезона года составляет 146, 154, 126 и 169 м, соответственно, для весны, лета, осени и зимы. При этом форма ее рельефа (куполообразная с выпуклостью в центре моря и заглуплением на периферии) остается неизменной на протяжении всего года.

Со школьных уроков географии известно, что анаэробная зона Черного моря находится в стационарном положении, а ее верхняя граница располагается примерно между 150 и 200 м. Каково же было наше удивление, когда в августе 1982 г. в восточной части моря мы обнаружили сероводород на горизонте 60 м. Высота сероводородного купола здесь возрасла на протяжении 40 км на 70 м, а его диаметр достигал 120 км. Толщина С-слоя в зоне подъема составляла 120 м, при этом профиль его верхней границы создавал впечатление, что в глубине моря произошло извержение вулкана, поднявшее гигантское облако сероводородосодержащих вод в фотический слой. В ноябре же на месте «извержения» была практически ровная площадка, располагавшаяся на глубине 120—160 м.

<sup>4</sup> Айзатулин Т. А. Скопинцев Б. А. // Океанология. 1974. № 3. С. 403—420.



Циркуляция вод на глубине 50 м (вверху) и рельеф С-слоя в аксонометрической проекции. На нижнем рисунке цифры на изолиниях — распределение кислорода (мл/л), на цветных изолиниях — глубина, м. Заштрихованы бескислородные линзы. Июль 1983 г.

Дальнейшие исследования показали, что «купола» сероводорода могут возникать в любом районе моря — не только на его центральной части. В отличие от прежних представлений границы С-слоя оказались сложными волнообразными поверхностями, рельеф которых определяется характером циркуляции вод — наличием в море вихревых образований, их перемещениями и трансформацией. Термин «мезомасштабные вихри» сейчас вошел в практику океанологов, как понятия «циклон» и «антициклон» у синоптиков. Глубина проникновения этих динамических образований в Черном море достигает 150—200 м, а поперечные размеры колеблются от 60 до 150 км.

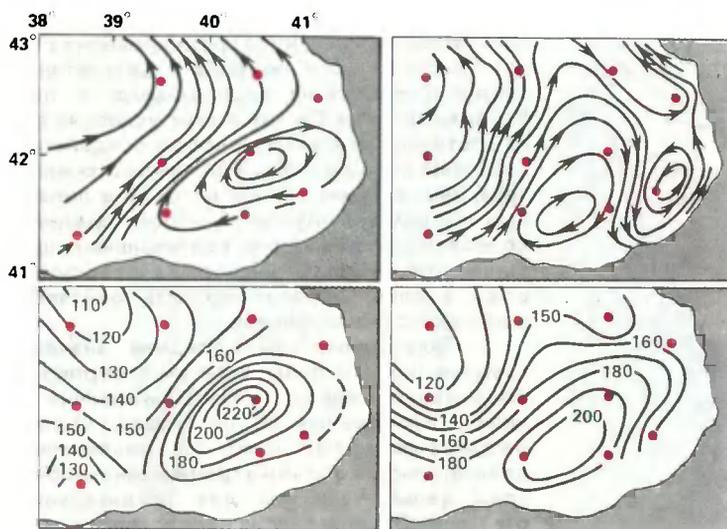
Анаэробная зона «дышит» в такт движению этих круговоротов, «глубина» и «ритм» ее дыхания совпадают с масштабами временной изменчивости их интенсивности. В зонах циклонической завихренности циркуляции, где воды движутся против часовой стрелки, граница сероводо-

родной зоны может подниматься до 60—80 м, а в районах опускания вод (периферия моря и центры антициклонических круговоротов) она заглубляется до 190—240 м. Летом 1985 г., например, на полигоне в восточной части моря по мере трансформации антициклонического вихря в течение месяца верхняя граница сероводородной зоны поднялась на 30 м. Весной 1986 г. в западной части моря в районе циклонического круговорота мы наблюдали выход на поверхность глубинных, обедненных кислородом вод, располагающихся над сероводородной зоной, граница которой в это время находилась на глубине 80 м. Аналогичные ситуации нами фиксировались также в разные сезоны 1983 и 1984 гг.

Аномально высокий подъем границы сероводородной зоны летом 1982 г. совпал с аномальным для этого сезона по продолжительности северным атмосферным переносом, наблюдавшимся над акваторией моря. При таких синоптических ситуациях в море интенсифицируется циклонический круговорот и, соответственно, восходящие движения в центральной части. Осенью же северо-западные ветры с периодом 7—10 суток чередовались с юго-восточными. Таки атмосферные «качели», по-видимому, препятствовали дальнейшему подъему глубинных вод и обеспечили выравнивание границы сероводородной зоны. Таким образом, в настоящее время существенные изменения положения верхней границы распространения сероводорода в Черном море происходят даже в синоптическом масштабе — в зависимости от характера атмосферной циркуляции<sup>5</sup>.

Не менее активным оказалось поведение сероводородной зоны и в прибрежных областях с крутым склоном дна — район Южного берега Крыма. Здесь под влиянием сгонных ветров в течение суток граница сероводородной зоны может подниматься на 20—30 м, достигая горизонтов 120—140 м, в то время как по традиционным представлениям ее глубина на периферии моря должна превышать 200 м. На участках же с плавным увеличением глубины и обширным мелководьем (северо-западный шельф моря) аналогичные ветры вызывают поступление глубинных, обедненных кислородом вод в придонный слой до глубин 40—50 м, что нарушает сложившуюся здесь систему добычи рыбы.

<sup>5</sup> Фащук Д. Я., Айзатулин Т. А. // Океанология. 1986. № 2. С. 233—242.



Трансформация топографии верхней границы сероводородной зоны (внизу) под влиянием изменения циркуляции вод (вверху) в восточной части Черного моря в июле (слева) и августе 1985 г. (справа). Цифры на изолиниях — глубина границы сероводородной зоны, м. Цветными точками отмечены станции.

Трудно переоценить экологическую значимость наблюдающихся явлений.

В итоге пятилетних исследований оказалось, что сейчас средняя глубина залегания границы сероводородной зоны независимо от сезона составляет 120—130 м. Только зимой она может подниматься до 100 м, что, очевидно, связано с интенсификацией в это время года циклонической деятельности над акваторией моря параллельно с ослаблением «запирающего» слоя — скачка плотности. Пределы колебания границы распространения сероводорода составляют 60—210 м, в то время как полвека назад они не превышали 110—160 м. Толщина С-слоя в среднем достигает 60—70 м при колебаниях от 30 до 120 м и превышает данные 50-летней давности зимой в 1,5, весной — в 10, летом — в 4, а осенью — в 7 раз. Кроме того, присутствие сероводорода на горизонтах 75—100 м стало типичным для любого сезона явлениями...

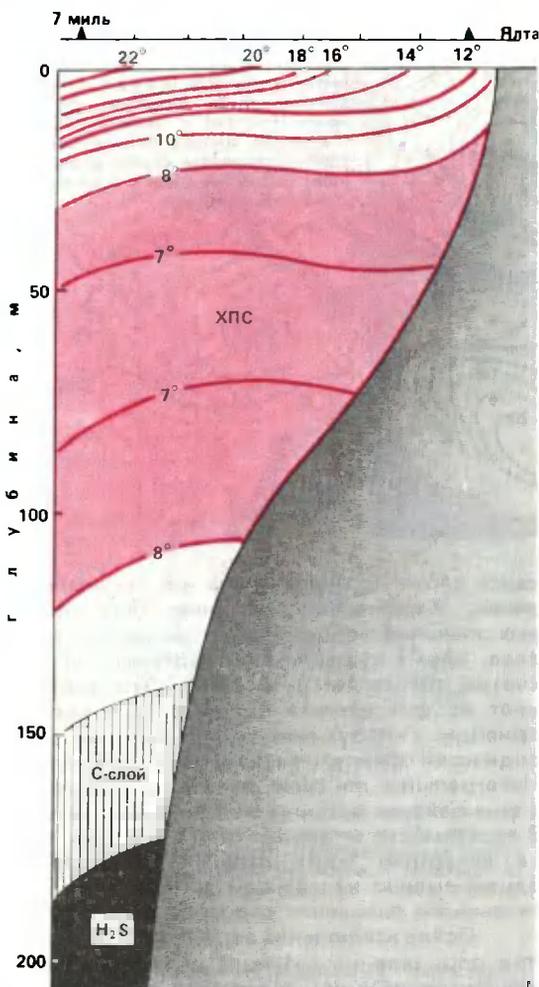
После размышления над этими фактами мы обратились к расчетам скорости окисления сероводорода в надежде, что баланс по сероводороду за год сойдется после осреднения данных по всем сезонам, так как первые оценки, давшие превышение расхода над продукцией в 5—6 раз, производились только для осени. Но дисбаланс по новым данным не сократился, а возрос. Во все сезоны средняя по С-слою суммарная скорость окисления сероводорода в 40—50 раз превысила его продукцию и составила около  $1000 \text{ г H}_2\text{S}/\text{м}^2$  в год<sup>6</sup>. В зонах подъема вод она резко возрастает, причем вертикальные ее профили и профили распределения сероводорода и кислорода приобретают

здесь сложную форму, чего не отмечалось ранее. Характерно наличие линз нулевых значений концентраций кислорода в С-слое, время существования которых по расчетам составляет 4—5 суток. Это затрудняет их фиксацию в натуральных условиях и приводит в недоумение исследователей, эпизодически обнаруживающих такие аномалии. Интегральная по слою скорость окисления в этих районах достигает  $6000 \text{ г H}_2\text{S}/\text{м}^2$  в год. В зависимости от характера циркуляции вод на акватории моря может существовать одновременно несколько таких центров интенсивного окисления сероводорода.

После исключения вероятности ошибок при определении границ С-слоя и величин концентраций в нем кислорода и сероводорода мы вынуждены были признать, что гипотеза о значительной сезонной изменчивости скорости окисления сероводорода как причине его кажущегося дисбаланса в течение года оказалась несостоятельной<sup>7</sup>. Возможно, годовой дисбаланс компенсируется за счет очень значительной межгодовой ее изменчивости? А может быть, действительно не все источники сероводорода учтены или оценки первичной продукции водоема и данные по количеству органического вещества, поступающего в анаэробную зону, существ-

<sup>6</sup> Фашук Д. Я., Айзатуллин Т. А., Себах Л. К. Особенности современного состояния слоя сосуществования кислорода с сероводородом в Черном море // Современное состояние экосистемы Черного моря. М., 1987. С. 29—40.

<sup>7</sup> Новоселов А. А., Совага Е. Е., Фашук Д. Я., Хомутов С. М., Шереметьева А. И. // Океанология. 1987. № 3. С. 414—417.



Распределение температуры воды (цифры на изолиниях, °С), положение холодного промежуточного слоя (ХПС), С-слоя и сероводородной зоны на разрезе Ялта — море после сгонного ветра 11 июля 1986 г.

венно занижены, что ведет к занижению рассчитанной величины продукции сероводорода? Но, возможно, дисбаланс — нормальное состояние моря, просто на данном историческом отрезке времени идет расход потенциала сероводорода, накопившегося в предшествующие этапы жизни водоема? Если это так, то из простых арифметических расчетов следует, что в случае сохранения такой разницы скоростей производства и расхода сероводорода его запаса, составляющего по разным оценкам 3,7—5,4 млрд т, хватит всего на 30—40 лет...

Мы взяли на себя смелость предположить, что дисбаланс по сероводороду в Черном море возник из-за подъема границы анаэробной зоны. С-слой, попав в динами-

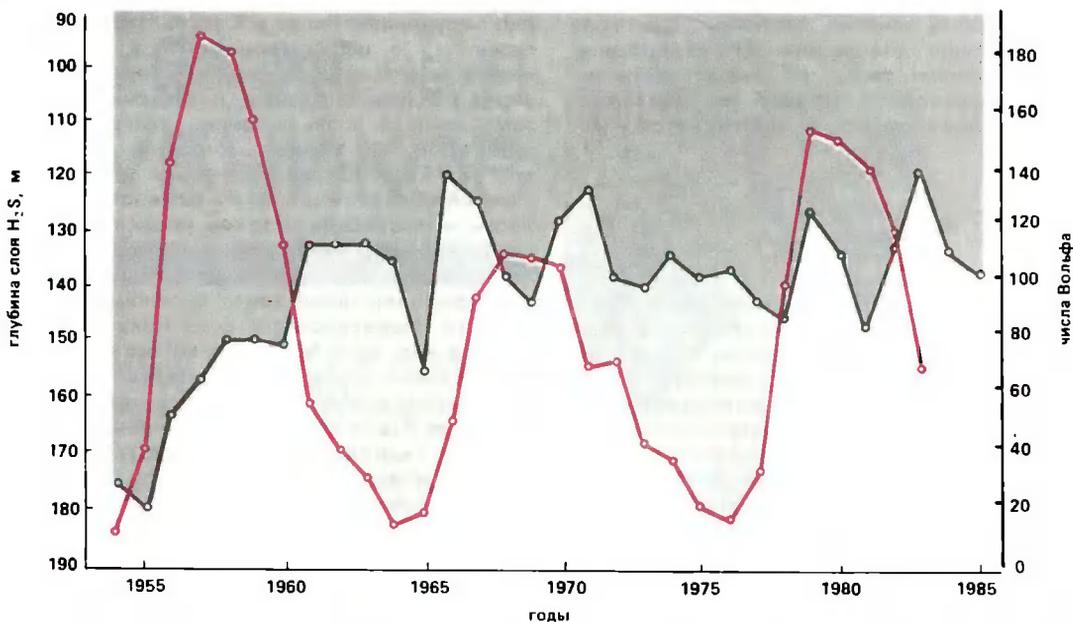
чески более активную зону, расширился за счет более интенсивного проникновения в него кислорода. Это привело к возрастанию скорости окисления сероводорода в нем. Верхняя граница С-слоя в этих условиях стала доступной для динамического воздействия вихревых образований синоптического масштаба, вызывающих теперь ее резкие локальные подъемы и опускания, — рост пределов колебаний, усложнение вертикальных профилей концентраций кислорода и сероводорода в слое, неравномерность окисления последнего по вертикали.

Полученные нами средние значения современной глубины залегания сероводорода, действительно, на 40—50 м меньше величин, измеренных 50 лет назад. Однако рассматривать этот факт как однозначное доказательство подъема границы анаэробной зоны нельзя, так как для убедительного ответа необходим анализ непрерывного многолетнего ряда наблюдений, а не сравнение дискретных съемок.

К счастью, граница сероводорода — не единственная характерная поверхность в Черном море. Кроме нее отличительной чертой этого уникального водоема является наличие холодного промежуточного слоя (ХПС), который располагается в зависимости от сезона и района на глубинах от 50 до 120 м и ограничивается изотермами 8 °С сверху и снизу, имея внутри температуру 6—7, а иногда и менее 6 °С круглый год. Именно его должны поминать тысячи отдыхающих на побережье Крыма, когда летом на пляжах Ялты после сгонных ветров за несколько часов температура воды понижается с 22 до 10—12 °С — глубинные холодные воды выходят на поверхность. Такое явление, наблюдавшееся здесь эпизодически в предшествующие годы, носит название апвеллинг. Теперь оно отмечается регулярно каждый год по нескольку раз за лето и стало бичом отпускников.

Многолетнюю динамику границ ХПС можно проследить по гидрологическим рядам, а учитывая тот факт, что граница сероводородной зоны генетически связана с физической структурой вод моря, мы предположили, что между ее топографией и глубиной залегания изотермы 8 °С — нижней границей холодного промежуточного слоя — существует связь, которая позволит рассчитать положение границы сероводородной зоны по температурным данным.

После серии специальных натурных экспериментов удалось установить, что во все сезоны года глубина залегания границы сероводородной зоны связана с положением изотермы 8 °С уравнением:  $H_2 = 0,88 H_8 +$



Межгодовая изменчивость средней глубины залегания верхней границы сероводородной зоны (по разрезу Ялта — Батуми), восстановленной по гидрологическим данным, и интенсивности солнечной активности (числа Вольфа).

+ 59<sup>8</sup>. Проанализировав выполненные по нему расчеты, мы убедились в том, что за последние 30 лет граница анаэробной зоны поднялась примерно на 40 м, причем в период с 1955 по 1961 г. скорость ее подъема составляла 6 м в год, а за последние 10 лет она не превышала 2 м в год<sup>9</sup>. Теперь стала понятна причина интенсификации апвеллингов на побережье Южного берега Крыма — холодный промежуточный слой, поднявшись почти на 40 м, стал более доступен воздействию сгонных ветров. Сейчас достаточно непродолжительного крепкого ночного бриза, чтобы поднять холодные воды к поверхности и испортить утром настроение отдыхающим...

Кроме расчетов динамики границы сероводорода установленная зависимость позволяет контролировать положение анаэробной зоны по всей акватории моря, не прибегая к трудоемким гидрохимическим анализам, необходимым при определении сероводорода. Глубину верхней границы серо-

водородной зоны теперь можно оперативно рассчитывать по данным простых зондирующих гидрологических приборов, что существенно упрощает ее мониторинг.

Наши выводы об аномально высоком положении границы распространения сероводорода и ее подъеме совпали с заключениями многих независимых исследований, выполненных в последние годы<sup>10</sup>. Но каковы причины этого явления? Что это: капризы солнца, из-за которых более интенсивно задышали сульфатредуцирующие бактерии и стали производить больше сероводорода, или изменился характер циркуляции в атмосфере, определив тем самым интенсификацию восходящих движений в водоеме? Но солнечная активность колеблется с определенной периодичностью, чего нельзя сказать о верхней границе сероводородной зоны — ее положение за последние 30 лет изменяется в одну сторону, хотя и с разной скоростью. А может быть активизировались подводные источники сероводорода? Но на картах придонного его распределения, построенных по данным последних экспедиций, никаких аномалий, как и прежде, не отмечается...<sup>11</sup>

<sup>8</sup> Брянцев В. А., Новоселов А. А., Фащук Д. Я. // Океанология. 1988. № 3. С. 405—410.

<sup>9</sup> Брянцев В. А., Айзатулин Т. А., Фащук Д. Я., Багоцкий С. В., Леонов А. В. // Океанология. 1988. № 2. С. 236—243.

<sup>10</sup> Жоров В. А., Богуславский С. Г. // Метеорология и гидрология. 1985. № 11. С. 63—68;

Виноградов М. Е., Флинт М. В. // Океанология. 1985. № 1. С. 168—171.

<sup>11</sup> Богуславский С. Г., Еремеев В. Н., Жоров В. А., Новоселов А. А. // Морской гидрофиз. журн. 1986. № 6. С. 52—61.

Оценить влияние различных факторов на изменение положения сероводородной зоны мы попытались с помощью одномерной диффузионной модели ее динамики. В общем виде модель представляется уравнением:

$$\frac{\partial \bar{C}_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K_z(z) \frac{\partial \bar{C}_i}{\partial z} \right] - W_z \frac{\partial \bar{C}_i}{\partial z} - \alpha_i r_i + \omega_i,$$

где  $i = 1, 2$  для кислорода и сероводорода, соответственно;  $\bar{C}_i$  — статистически осредненные концентрации реагентов;  $K_z$  — коэффициент вертикального турбулентного обмена;  $W_z$  — вертикальная составляющая скорости течения;  $\alpha_i$  — стехиометрические коэффициенты;  $r_i$  — скорости окисления сероводорода и соответственного потребления кислорода;  $\omega_i$  — источники кислорода и сероводорода.

Члены правой части уравнения представляют изменение положения границы сероводородной зоны за счет изменений, соответственно, интенсивности вертикального обмена, скорости восходящих движений, скорости окисления сероводорода и мощности его источников. Изменяя их значения при модельных расчетах, мы, таким образом, можем оценить чувствительность границы сероводородной зоны к каждому из рассмотренных факторов. Численный эксперимент показал, что на положении этой поверхности в значительно большей степени сказывается изменение физико-динамических условий, чем увеличение мощности источников сероводорода. Даже при катастрофическом 20-кратном увеличении источника сероводорода снизу она не поднимается выше глубины залегания слоя максимального скачка плотности, и наоборот — достаточно сравнительно незначительного, 5—7-кратного увеличения интенсивности вертикального обмена или подъема границы «запирающего» слоя при неизменной скорости сульфатредукции, чтобы граница сероводородной зоны сдвинулась с места со скоростью, в 5—6 раз превышающей скорость ее подъема в условиях «катастрофы».

Модель оказалась адекватной — выво-

ды, полученные после расчетов, хорошо согласуются с наблюдающимися в природе явлениями. Многочисленные авторы, анализируя различные данные, независимыми путями пришли к заключению, что в настоящее время в Черном море на горизонтах от 75 до 200 м отмечается устойчивая положительная тенденция в изменении солёности — происходит подъем уровня соленых глубинных вод, сопровождающийся, как было показано, изменением положения границы сероводородной зоны. В отношении солёности поверхностного слоя пока единого мнения нет, хотя большинство исследователей склонны полагать, что здесь пока существенных изменений не происходит.

Как будет протекать дальнейшая перестройка гидрологической структуры моря, направленная это тенденция или циклический процесс с периодом более 30 лет? Как она отразится на продуктивности моря, ведь вместе с сероводородом и соленой водой к поверхности подступают воды, обогащенные минеральными солями фосфора и азота — «удобрениями», запасы которых в глубинах водоема составляют, соответственно, 90 и 400 тыс. т? Наконец, что сдвинуло глубинные воды Черного моря с места, лишило их многовекового покоя? Изменившийся уровень Мирового океана и увеличение притока через Босфор соленых средиземноморских вод, а может быть, водный баланс моря нарушен «властелином» природы, активно хозяйствующим на его побережье, и Черное море в ближайшем будущем разделит судьбу Мертвого?

Пока вопросов, к сожалению, значительно больше, чем ответов. А тем временем ежегодно из Одессы и Севастополя, Новороссийска и Керчи уходят десятки научно-исследовательских судов в Атлантический, Индийский, Тихий океаны. Идут к берегам Антарктиды и Африки, солнечной Бразилии и сурового Кергелена, пересекая Черное море, которое хранит столько неизвестного. Лишь немногие из них задерживаются, чтобы по-настоящему широко и комплексно заглянуть в его глубины. Может быть, в этом и состоит одна из причин такого количества белых пятен в Черном море?!

# Лев Васильевич ШУБНИКОВ

Академик АН УССР Б. И. Веркин  
С. А. Гредескул,  
кандидат физико-математических наук

Л. А. Пастур,  
доктор физико-математических наук

Ю. А. Фрейман,  
кандидат физико-математических наук  
Харьков

Ю. А. Храмов,  
кандидат физико-математических наук  
Киев



Л. В. Шубников. Харьков, 1934 г. Публикуется впервые.

**Т**РАГИЧЕСКИЕ судьбы науки в сталинские годы ассоциируются в первую очередь с именами биологов. Может сложиться убеждение, что физиков репрессии коснулись в меньшей степени. В действительности это не так — многие из них, в том числе представители ленинградской и харьковской школ, разделили общую судьбу творческой интеллигенции.

Выдающийся физик-экспериментатор Лев Васильевич Шубников был одним из основоположников советской физики и техники низких температур. Его пионерские работы заложили фундамент важнейших направлений современной физики конденсированного состояния. В 1937 г. Шубников был незаконно осужден на 10 лет заключения без права переписки. Согласно выданному в 1957 г. свидетельству, он умер 8 ноября 1945 г. от порока сердца, однако истинная его судьба после ареста пока неизвестна.

Имя Шубникова долгое время не упоминалось в советской научной печати. Послевоенное поколение советских физиков впервые узнало о нем в 1966 г.<sup>1</sup> Вклад Шубникова в мировую и советскую науку далеко еще не осознан научной общественностью (до сих пор многие считают, что

все результаты, связываемые с именем Шубникова, принадлежат выдающемуся советскому кристаллографу А. В. Шубникову, дяде Льва Васильевича).

Цель этой статьи — воссоздать в общих чертах научный путь Льва Васильевича. Вряд ли она могла бы быть написана, если бы Ольга Николаевна Трапезникова, вдова Шубникова, не сумела сберечь в тяжелые годы его научный архив и личные документы. Мы выражаем ей глубокую благодарность за предоставленную возможность ознакомиться с ними и за фотографии, которыми иллюстрирован наш текст. Кроме того, сведения, имеющие отношение к Шубникову, удалось с помощью наших коллег выявить в биографических документах П. Л. Капицы, В. А. Фока, П. Эренфеста и

<sup>1</sup> Балабегян О. И. // Усп. физ. наук. 1966. Т. 89. Вып. 2. С. 321—325. См. также: Алексеевский Н. Е. // Там же. 1982. Т. 137. Вып. 3. С. 467—473. В 1989 г. в киевском издательстве «Наукова думка» выходит книга: Шубников Л. В. Очерк о жизни и деятельности. Избранные труды. Воспоминания.



С. Э. Фриш, А. В. Тиморева, Л. В. Шубников и О. Н. Трапезникова в лаборатории Физического института при Петроградском университете. Около 1920 г. Публикуется впервые.

других крупнейших физиков того времени и круга.

Родился Лев Васильевич 29 сентября 1901 г. в Петербурге. Его отец, бухгалтер крупного брянского завода, определил сына в гимназию М. А. Лентовской — одну из лучших в столице, а осенью 1918 г. Шубников поступил на математическое отделение физико-математического факультета Петроградского университета. Почти одновременно он был зачислен лаборантом только что образованного Государственного оптического института (ГОИ).

Д. С. Рождественский, глава университетских физиков, считал, что основную роль в образовании будущих ученых должна играть самостоятельная работа. И большую часть времени студенты-физики проводили в Физическом институте при университете. На двери комнаты, занимаемой Шубниковым, висел листок бумаги с надписью: «Тут находится Лев Шубников. Приходящих и не застающих меня прошу расписаться с указанием дел».

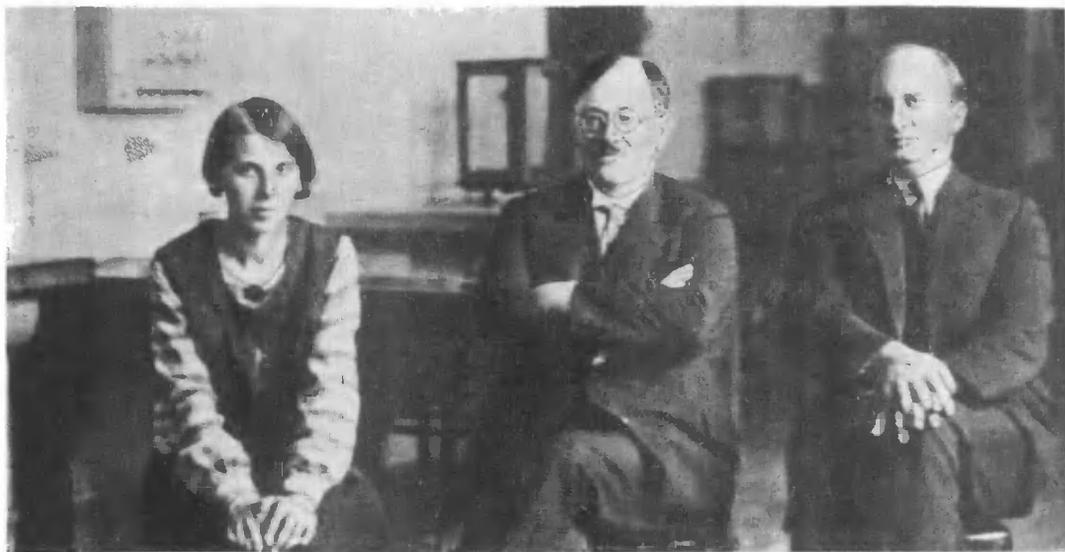
На одном из таких листков сохранились записи: «А. Теренин. Приходил за спектрографом. Е. Гросс. Приходил за фотограф. аппаратом. В. Фок. Приходил за папироской. 27.VI.21. В. Бурсиан. Что парус? Если достали, то могу прийти заканчивать вооружение...»

Студенты и преподаватели физико-математического факультета увлекались парусным спортом. Шубников был одним из наиболее активных «моряков» и однажды из-за этого попал в тяжелую ситуацию. Осенью 1921 г. он согласился идти матросом в путешествие на яхте по Финскому заливу с малознакомыми людьми, скрывшими от него свои намерения, и против воли оказался в Финляндии, а затем в Германии. Он провел за границей более года, работая где придется, и смог вернуться на родину лишь благодаря ходатайству петроградского физика М. М. Глаголева, приехавшего в Германию для закупки оборудования и принявшего участие в его судьбе.

После возвращения Шубников не стал восстанавливаться в университете, а поступил лаборантом к И. В. Обреимову, в созданный А. Ф. Иоффе Физико-технический институт, где к этому времени работали В. Р. Бурсиан, П. Л. Капица, П. И. Лукирский, Н. Н. Семенов, В. К. Фредерикс, Я. И. Френкель, А. А. Чернышев. Одновременно Шубников был зачислен на III курс физико-математического факультета Политехнического института.

Еще в университетские годы Шубников сблизился с С. Э. Фришем, О. Н. Трапезниковой, А. В. Тиморевой. В 1925 г. Шубников и Трапезникова поженились.

В 1924 г. в журнале «Zeitschrift für Physik» была опубликована первая, выполненная совместно с Обреимовым, научная работа Шубникова «Метод получения монокристаллических металлов», а через два года он под руководством Обреимова



О. Н. Трапезникова, В. де Гааз и Л. В. Шубников в Лейденской лаборатории. 1930 г. Публикуется впервые.

защитил диплом на тему: «Оптический метод изучения упругих и остаточных деформаций в кристаллах».

И неудивительно, что когда руководитель знаменитой Лейденской лаборатории В. де Гааз обратился к Иоффе с просьбой прислать специалиста по росту кристаллов, выбор пал на Льва Васильевича. Осенью 1926 г. он выехал в Голландию.

В то время Лейден был одним из крупнейших центров мировой физики. В нем существовал первоклассный университет, кафедру теоретической физики которого занимал сначала Г. Лоренц, а затем П. Эренфест. Здесь же располагалась первая в мире лаборатория физики низких температур, созданная Г. Камерлинг-Оннесом, девизом которой были слова: «Door meten tot weten» («Через измерение — к знанию»). После ухода Камерлинг-Оннеса в отставку руководство Лейденской лаборатории перешло к его ученикам — В. де Гаазу и В. Кеезому.

Де Гааз предложил Шубникову заняться исследованием магнетосопротивления висмута (изменения его электрического сопротивления под действием магнитного поля) при водородных и гелиевых температурах. В течение целого года Шубников был занят химической очисткой висмута, а затем, применив многократную рекристаллизацию, сумел получить уникаль-

но чистые по тому времени монокристаллы висмута с заданной ориентацией кристаллографических осей, свободные от внутренних напряжений. Именно на таких образцах им был открыт первый квантовый осцилляционный эффект в металлах — низкотемпературные осцилляции сопротивления при изменении магнитного поля, называемый сейчас эффектом Шубникова — де Гааза. Один из крупнейших физиков-теоретиков Х. Казимир пишет об этом так: «Где-то около 1930 г. русский физик Л. Шубников вместе со своей очаровательной женой О. Трапезниковой провел довольно значительное время в Лейдене, где он выполнил замечательную работу по магнетосопротивлению висмута... Развитие полупроводниковой технологии после второй мировой войны познакомило нас с тем фактом, что незначительное количество примесей может радикально изменить физические свойства, и искусство выращивания чистых кристаллов достигло высокого уровня совершенства. Результаты Шубникова в определенном смысле предвещали эти последующие достижения»<sup>2</sup>.

В те же годы изучением магнетосопротивления висмута активно занимался в Кембридже П. Л. Капица. Его установка позволяла получать на порядок более сильные магнитные поля, чем те, которые были в распоряжении Шубникова и де Гааза. В Лейдене, однако, был доступен существенно более широкий диапазон температур —

<sup>2</sup> Casimir H. Naphazard Reality. Half Century of Science. N. Y., 1984. P. 335—336.

вплоть до гелиевых (в Кембридже — лишь до азотных) и использовалась разработанная Шубниковым методика получения намного более чистых монокристаллов — именно это и оказалось решающим: осцилляции магнетосопротивления были открыты в Лейдене.

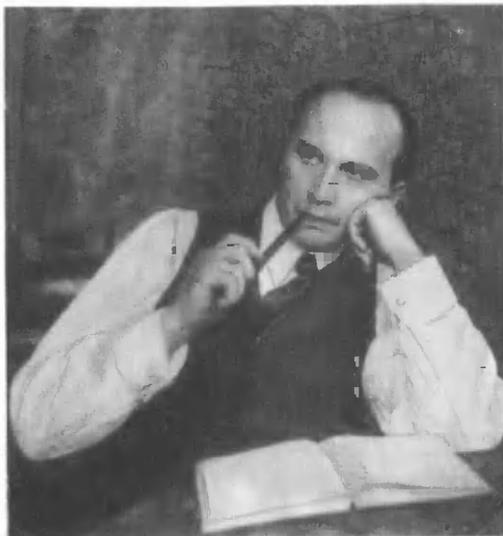
Открытием эффекта Шубникова — де Гааза по существу был заложен фундамент современной физики электронных свойств проводников — области исследований, которая впоследствии получила название «фермиология». Уже в 1930 г. де Гаазом и П. ван Альфвенем были обнаружены (на образцах, приготовленных Шубниковым) осцилляции магнитной восприимчивости висмута — открыт эффект де Гааза — ван Альфвена. Позднее оказалось, что и многие другие физические характеристики металлов — скорость и коэффициент поглощения звука, коэффициент отражения света, теплопроводность и т. п. — осциллируют при изменении магнитного поля. К настоящему времени эффект Шубникова — де Гааза использован для получения обширной информации о свойствах практически всех металлов и полуметаллов, а также многих полупроводников. Он является одним из основных инструментов исследования квантовых электронных свойств твердых тел, и область его применения непрерывно расширяется.

Становлению Шубникова как физика способствовала необычайно плодотворная и дружеская обстановка в Лейдене. Среди сотрудников лаборатории были тогда еще молодые, а впоследствии известные ученые Дж. де Бур, К. Гортер, Э. Вирсма, П. ван ден Хандел, приезжали Ж. Беккерель и другие физики.

Шубников и Трапезникова (она приехала в Лейден в 1927 г. по приглашению де Гааза и работала в его лаборатории) регулярно посещали знаменитые семинары Эренфеста. Будучи выдающимся физиком-теоретиком, Эренфест обладал редким даром стимулирующей критики. Сделать доклад на этом семинаре и выдержать дискуссию с Эренфестом стремились физики самых различных специальностей. Здесь Шубникову довелось слушать выступления самых блестящих физиков мира — А. Эйнштейна, М. Планка, В. Паули, М. Борна, А. Зоммерфельда, Э. Шредингера, П. Дирака и других.

Шубников и Трапезникова вскоре стали очень дружны с семьями Эренфеста и одного из ведущих сотрудников лаборатории Э. Вирсма.

Бывали в Лейдене и советские фи-



Л. В. Шубников во время пребывания в Лейдене.

зики. Довольно долго в Лейденской лаборатории работал Обреимов. Приезжали Иоффе и Капица. Более полугода провел в Лейдене И. Е. Тамм. Он и Шубниковы часто встречались. Иногда к ним присоединялся Дирак, гостивший у Эренфеста. Но, безусловно, самым важным событием оказалось состоявшееся в 1929 г. знакомство с Л. Д. Ландау. В течение нескольких дней, проведенных им в Лейдене, Шубниковы и он практически не разлучались.

Лейденский период сыграл в жизни Шубникова, бесспорно, огромную роль. Он приехал в Лейден талантливым и влюбленным в науку молодым человеком и сразу же попал в крупнейший научный центр в мире, в стимулирующую творческую среду активно работающих физиков высокого класса. За четыре года Шубников вырос в одного из самых ярких представителей Лейденской школы. Уезжал он сформировавшимся ученым с высочайшей культурой физического эксперимента.

В конце 20-х годов советская физика переживала период бурных организационных преобразований, связанных в первую очередь с энергично проводимой под руководством Иоффе децентрализацией. Иоффе предложил создать сеть институтов нового типа — физико-технических — в крупных городах Советского Союза. Один из первых таких институтов — Украинский физико-технический — вырос в Харькове, в то время столице Украины, крупнейшем промышленном городе юга страны, одним из старых университетских центров. Орга-



П. А. М. Дирак, О. Н. Трапезникова, И. Е. Тамм, И. В. Обреимов. Лейден, 1928 г. Фото Л. В. Шубникова.

низация этого института была поручена А. И. Лейпунскому и Обреимову, который стал первым директором УФТИ и пригласил к себе на работу вернувшегося из Лейдена Шубникова. В августе 1930 г. он был зачислен туда старшим физиком.

Между тем в Лейдене ждали нового приезда Шубникова. «... Ты знаешь, — писал Эрэнфест Иоффе, — что Шубников во время здешнего пребывания получил такие важные и просто прекрасные результаты по измерению сопротивления кристаллов висмута при температуре жидкого водорода и что была достигнута договоренность о том, что эти измерения он должен будет продолжать при гелиевых температурах. (...) И вот оказывается, если я правильно понял, что по каким-то неизвестным мне в подробностях причинам приезд Шубникова в Лейден в ближайшее время маловероятен. Не мог бы ты спросить у Обреимова, как обстоит с этим дело? Я знаю, что профессор де Гааз будет очень и очень сожалеть, что Шубников не сможет в ближайшее время приехать в Лейден на такой срок, который необходим для проведения измерений при температурах жидкого гелия. (...) Я боюсь, что от этого пострадает не только данное важное исследование, но и вообще такое обнадеживающее сотрудничество между лейденской лабораторией и русскими физиками, которое мне очень дорого...»<sup>3</sup>

Однако приехать в Лейден еще раз Шубникову не удалось. Измерения магнетосопротивления висмута при гелиевых температурах были впоследствии выполнены В. Бломом на образцах, изготовленных ранее Шубниковым, а результаты опубликованы в совместной статье де Гааза, Блома и Шубникова.

В 1931 г. Шубников был назначен руководителем криогенной лаборатории УФТИ. К этому времени в институте получали только жидкий воздух, но уже была заказана установка для ожижения водорода, шли переговоры по поводу гелиевой установки. Для создания и эксплуатации мощной ожижительной базы Шубников организовал прекрасно оборудованные для того времени мастерские с высококвалифицированным персоналом механиков. Осенью того же года под руководством и при непосредственном участии Шубникова был запущен большой водородный ожижитель Хука производительностью 12 л/ч. Теперь на очереди было получение жидкого гелия.

«Мои дорогие Шубниковы! — писал Эрэнфест. —... Де Гааз придумал очень остроумную машину для сжижения гелия. В Лейпциге он встретил Симона, и тут выяснилось, что Симон недавно уже построил подобную машину. Я хотел послать Вам по возможности точное ее описание, так как слышал, что ее можно построить за несколько часов. И с радостью недавно узнал, что Вирсма уже послал Вам о ней все данные. Де Гааз был в восторге от остроты ума и изобретательности Симона.»

К концу 1932 г. в лаборатории был получен жидкий гелий в экспансионных ожи-

<sup>3</sup> Эрэнфест — Иоффе. Научная переписка. 1907—1933 гг. Л., 1973. С. 235.



В криогенной лаборатории УФТИ. На переднем плане Л. Ф. Верещагин, Ю. Н. Рябинин, Л. В. Шубников, П. Л. Капица. 1934 г. Публикуется впервые.

жителях по методу Симона. В них охлаждение достигалось за счет расширения газа. Использование этого метода приводило, однако, к усложнению конструкции приборов и техники эксперимента, да и получалось гелия очень мало — его хватало на эксперимент продолжительностью менее трех часов. К сожалению, купленный в Германии ожижитель гелия оказался неисправным, и сам конструктор В. Мейсснер, приехавший в Харьков со своим механиком, не смог его запустить. И тогда Шубников принял смелое и ответственное решение: поручил своим сотрудникам перебрать и запустить ожижитель (при этом терялись юридические основания для предъявления претензий фирме-изготовителю). В результате в 1934 г. впервые в Советском Союзе была запущена установка ожижения гелия производительностью 1,5 л/ч.

Это был крупный успех. Нельзя забывать, что это произошло в те годы, когда, например, вагон стекла для строительства института удавалось достать лишь по прямому распоряжению С. Орджоникидзе. В стране, чей средний технический уровень значительно отставал от мирового, за кратчайшее время было создано уникальное криогенное оборудование, не уступавшее лучшим и весьма немногочисленным в то время зарубежным образцам (Харьковская криогенная лаборатория стала четвертой в мире после Лейдена, Берлина и Торонто).

Эксперименты при низких температурах требовали не только высококлассной

ожижительной техники, но и разнообразного специального оборудования, которое в основном конструировалось и изготавливалось в лаборатории. Было налажено производство металлических сосудов Дьюара для хранения жидкого азота и водорода, построены аппараты для очистки газов, изготовлена необходимая вакуумная аппаратура и аппаратура для экспериментов при высоких давлениях.

Большую роль сыграла помощь Лейденской лаборатории. Один из ведущих сотрудников де Гааза и близкий друг Шубниковых Вирсма регулярно приезжал в Харьков и привозил необходимые материалы и приборы, достать которые в Союзе было в то время невозможно: платиновые термометры, специальный припой для пайки дьюаров, не трескавшийся при низких температурах, образцы чистых веществ и многое другое. В этом сказался дух широкого международного сотрудничества, характерный для науки того времени: «Мир науки 20-х годов был настолько близок к идеальному интернациональному сообществу, насколько это возможно... Научная атмосфера 20-х годов была насыщена доброжелательностью и великодушием, и люди, которые в нее окунались, невольно становились лучше»<sup>4</sup>.

Параллельно с созданием ожижительной базы и экспериментального оснащения криогенной лаборатории Шубников формировал и коллектив ее сотрудников. Он много требовал от них: блестящего вла-

<sup>4</sup> Сноу Ч. П. Две культуры. М., 1973. С. 134—135.



У входа в лабораторный корпус УФТИ. Первый ряд: Л. В. Шубников, А. И. Лейпунский, Л. Д. Ландау, П. Л. Калица. Второй ряд: Б. Н. Финкельштейн, О. Н. Трапезникова, К. Д. Синельников, Ю. Н. Рябинин. 1934 г.

дения техникой опыта, умения разглядеть новое в рутине повседневного эксперимента и, самое главное, самостоятельности. «Творчество начинается там, где кончается копирование»,— часто говорил он. Находясь под сильным впечатлением от семинаров Эренфеста, он и у себя организовал постоянно действующие лабораторные семинары (тогда они назывались бригадными собраниями или просто бригадами).

Все сотрудники криогенной лаборатории были молодыми и веселыми людьми, любившими и работу, и развлечения. В сохранившейся тетради с записями тем семинаров рядом с фамилиями известных сейчас ученых то и дело встречаются всякие шуточные прозвища. В лаборатории стояла вылепленная кем-то из сотрудников фигурка святой Криогены — покровительницы дьюаров (сосудов Дьюара), которой перед началом каждого эксперимента полагалось принести денежную жертву (деньги расходовались на чай и пирожные).

Сразу же после получения жидкого водорода и гелия в криогенной лаборатории был развернут широкий фронт фундаментальных исследований. Уже в 1934 г. Шубниковым совместно с его сотрудниками был открыт эффект полного диамагнетизма сверхпроводников: независимо от Мейсснера и одновременно с ним было показано, что магнитная индукция в сверхпроводнике равна нулю. Тогда же выпол-

нена работа по теплоемкости сверхпроводящих сплавов, ставшая первым важным шагом на пути к открытию сверхпроводников II рода, и впервые обнаружен фазовый переход в антиферромагнитное состояние. Таким образом, криогенная лаборатория УФТИ сразу же стала одним из ведущих мировых криогенных центров.

Другое важное направление по существу относилось к технической физике: исследования криогенных жидкостей и их смесей, способов их разделения и широкий круг соответствующих прикладных задач. Довольно скоро работы в этой области приобрели такой масштаб, что продолжать их в прежних условиях стало невозможно. Тем более что в связи с запросами химической и металлургической промышленности ряд исследований требовалось уже выполнять на установках полупромышленного типа. Шубников пришел к выводу о целесообразности создания специализированной технической лаборатории, которая служила бы посредницей между фундаментальной наукой и промышленностью.

В 1935 г. в Харькове вступила в строй Опытная станция глубокого охлаждения (ОСГО) при Опытных коксовых печах Углекимического института. Это было уникальное для того времени научно-техническое предприятие нового типа, органично соединявшее фундаментальные и прикладные работы. В послевоенные годы аналогичные предприятия были созданы во всех ведущих в научном отношении странах мира.

Особо следует отметить необычайную широту тематики лаборатории. По сути в первые же годы в ней был основан и развит

целый ряд важнейших направлений, почти целиком исчерпывающий то, что сейчас называют физикой низких температур. Если учесть, что в лаборатории Обреимова активно развивалась низкотемпературная спектроскопия молекулярных кристаллов и низкотемпературное материаловедение, то становится ясно, что в экспериментальной физике низких температур 30-х годов УФТИ занимал самые передовые позиции.

В 1932 г. в Харьков переехал Ландау, начавший формировать школу теоретической физики. Между ним и Шубниковым завязалась теснейшая дружба. Они любили обсуждать научные и ненаучные вопросы, прогуливаясь по институтскому двору. По выражению А. И. Ахиезера, длинная фигура Ландау и несколько грузноватая Шубникова составляла привычную деталь пейзажа. Дружба «Льва Тóлстого» и «Льва Тонкого», как их называли в УФТИ, безусловно, была одним из важнейших слагаемых их огромной творческой активности.

Фронт исследований неуклонно расширялся. В 1935—1937 гг. Шубниковым совместно с сотрудниками его лаборатории и других институтов, приехавшими в Харьков, был выполнен целый ряд ярких работ, почти каждая из которых являлась по существу открытием.

1935 год. Впервые обнаружено существование двух критических полей в сверхпроводящих сплавах, т. е. экспериментально открыты сверхпроводники II рода.

1936 год. Экспериментально, с большой точностью обоснована гипотеза Силсби (о том, что разрушение сверхпроводимости током происходит тогда, когда магнитное поле, создаваемое им на поверхности образца, достигает критического значения). Обнаружено промежуточное состояние при разрушении сверхпроводимости током. Выполнен ряд работ по ядерной физике, сыгравших определенную роль при последующем построении теории взаимодействия нейтронов с атомными ядрами. Опубликована первая в СССР работа по исследованию свойств жидкого гелия. Открыт ядерный парамагнетизм твердого тела и измерен магнитный момент протона (работа, названная впоследствии триумфом физического эксперимента). Впервые экспериментально обнаружено промежуточное состояние сверхпроводников во внешнем магнитном поле. Окончательно установлено существование магнитного фазового перехода в антиферромагнитное состояние.

1937 год. Выполнена работа по исследованию фазовых переходов в твердом метане, положившая начало физике крио-

кристаллов и физике высоких давлений в СССР.

Летом 1935 г. Шубников возглавил кафедру физики твердого тела Харьковского университета, а Ландау стал заведующим кафедрой общей физики. Оба они интенсивно привлекали к преподавательской работе сотрудников УФТИ. Рентгеновской лабораторией при кафедре Шубникова заведовал прекрасный физик, один из создателей теории упорядочивающихся сплавов В. С. Горский. Вместе с Ландау в университет пришли его первые ученики Е. М. Лифшиц, И. Я. Померанчук, А. И. Ахиезер и А. С. Компанец. Физический практикум на кафедре Ландау вел ученик и сотрудник Шубникова А. К. Кикоин.

Шубников и Ландау придавали чрезвычайно большое значение преобразованию всей системы преподавания точных наук в средней и высшей школе и уделяли этому много внимания и сил (именно в это время Ландау задумал создать знаменитый курс теоретической физики).

Но надвигались тяжелые времена. Уже в 1936 г. не получили разрешения на проезд в СССР де Гааз и Вирсма. Позднее, в 1937 г., был закрыт всесоюзный журнал «*Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion*», издававшийся в Харькове на немецком и английском языках (на его страницах якобы прокрававшиеся в редакцию вредители передавали за границу шпионские сведения). В конце 1936 г. из Харьковского университета был уволен Ландау. Вслед за ним (в знак протеста) ушел из университета и Шубников, предварив свой уход следующим письмом:

«27 декабря 1936 г.

Ректору ХГУ Нефоросному.

Вчера профессор Ландау сообщил мне содержание разговора с Вами и Ваше решение уволить его со вчерашнего дня.

Считаю настоящее отношение университета к профессору Ландау, являющемуся самым крупным физиком-теоретиком Союза и ученым с мировой известностью, чистой, ничем не обоснованной травлей.

Продолжать работать в условиях, когда по смехотворным причинам травят ученого и лишают студентов квалифицированных преподавательских сил, я не считаю возможным и прошу о немедленном увольнении.

Подробная мотивировка моего ухода и изложение положения дел в университете будут мною сообщены в соответствующие правительственные инстанции.

Л. В. Шубников.»

Несмотря на эти университетские события и общее ужесточение обстановки, Шубников и руководимая им криогенная лаборатория УФТИ находились в состоянии мощного творческого подъема. Сохранился составленный Шубниковым список важнейших тем исследований. Среди них рентгеновское исследование сверхпроводящих сплавов, новые экспериментальные возможности изучения сверхпроводимости, исследование магнитных свойств  $MnO$  и  $O_2$  (теперь классических объектов низкотемпературного антиферромагнетизма), магнетосопротивления различных металлов, теплоемкости жидких кристаллов, изучение нелинейных явлений в электропроводности металлов и возможности получения сверхнизких температур, продолжение исследования свойств жидкого гелия. Это захватывающая дух программа, предвосхищающая пути развития физики низких температур на десятилетия вперед.

6 августа 1937 г., в день своего возвращения из Крыма, где он с Ландау проводил отпуск, Шубников и два других сотрудника УФТИ — В. С. Горский и Л. В. Розенкевич — были арестованы. В протоколе обыска указаны найденные компрометирующие документы: планы Берлина и Лейдена (туристские карты) и переписка с Вирсмой на 15 листах. В середине августа Ольга Николаевна имела свидание с мужем и принесла по его просьбе довольно много книг по физике. В сентябре ей дважды довелось говорить с ним по телефону — Лев Васильевич успел узнать, что у него родился сын. 28 ноября 1937 г. Шубников был осужден. Многочисленные письма и просьбы Трапезниковой, адресованные в самые высокие инстанции, не принесли никаких результатов. Капица пытался выяснить в НКВД причины ареста и, может быть, выручить Шубникова. Сделать ничего не удалось.

Чтобы оценить вклад ученого в определенную область знаний, естественно задать вопрос, сколько лет было бы потеряно, если бы не его усилия, насколько позже существующая картина науки стала бы такой, какой мы ее знаем. В отношении Шубникова ответ мог бы звучать так. Его открытия в сверхпроводимости и антиферромагнетизме не заставили бы себя ждать и были бы сделаны не позже, чем через несколько лет. Это, конечно, ни в коей мере не говорит об их недостаточной глубине и значимости, а лишь свидетельствует о бурном развитии этих областей физики в то время и об обостренном чутье Шубни-

кова к выбору самых горячих и актуальных направлений исследований.

Что же касается эффекта Шубникова — де Гааза, то с известной долей уверенности можно высказать предположение, что этот эффект, а вместе с ним и эффект де Гааза — ван Альфвена были бы открыты спустя огромный для современной науки срок — не ранее конца 40-х — начала 50-х годов. Основанием для такого предположения служит сам характер открытия. Как свидетельствует история физики, тщательные измерения играют в ней значительную роль, но чаще следуют за открытием, поскольку, лишь поняв смысл явления, естественно стремиться построить его точную количественную картину. Открытие эффекта Шубникова — де Гааза не укладывается в эту схему, поскольку оно явилось результатом непрерывно повышавшейся точности измерений и качества образцов.

Шубников впервые показал, что сверхвысокая чистота и совершенство образцов являются — наряду с низкими температурами, высокими давлениями, сильными полями — теми экстремальными условиями эксперимента, которые ведут к обнаружению качественно нового круга явлений.

Харьковский период открыл новую грань его таланта: годы работы в качестве руководителя криогенной лаборатории показали, что Шубников — не только исключительно одаренный ученый-исследователь, но и научный лидер. Он собрал коллектив, в котором все работало с подъемом, где царили жизнерадостность и сердечность. Необычайная творческая атмосфера помогала сотрудникам в кратчайший срок пройти путь от дипломника до автора работ мирового класса.

По количеству блестящих научных результатов, основанных и развитых плодотворнейших направлений за шесть лет существования криогенной лаборатории УФТИ (из которых на исследовательскую работу пришлось лишь четыре), она, по-видимому, не имела равных в мире. Творческий взрыв, которым ознаменовался период 1934—1937 гг., был свидетельством того высочайшего научного потенциала и бьющей через край творческой энергии, которой обладал и которую лишь частично успел реализовать Лев Васильевич Шубников.

По просьбе авторов гонорар за статью переведен на счет № 700454 для строительства Мемориала жертвам сталинских репрессий.

# ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 1988 ГОДА

ПО ФИЗИКЕ — Л. ЛЕДЕРМАН, М. ШВАРЦ, ДЖ. ШТЕЙНБЕРГЕР

Нобелевская премия по физике в 1988 г. присуждена Л. Ледерману, М. Шварцу и Дж. Штейнбергеру за метод нейтринного пучка и демонстрацию дублетной структуры лептонов благодаря открытию мюонного нейтрино.

Леон Ледерман (Leon Lederman) — один из крупнейших физиков - экспериментаторов, работающих в области физики высоких энергий. Родился 15 июля 1922 г. в Буффало (штат Нью-Йорк, США). В 1943 г. окончил Нью-Йоркский колледж, затем учился в Колумбийском университете, где в 1951 г. получил степень доктора философии. С 1951 по 1979 г. работал в Колумбийском университете, с 1958 г. — профессор. С 1979 г. — директор Национальной ускорительной лаборатории им. Э. Ферми в Батавии (штат Иллинойс). Член Национальной академии наук США (1965).

Среди достижений Л. Ледермана — открытие долгоживущего  $K_L^0$ -мезона и измерение времени его жизни (1956), классические исследования мюонов и слабых взаимодействий, в том числе (совместно с Р. Гарвином и М. Вейнрихом) доказательство несохранения четности в распадах пионов и мюонов, открытие антинейтрино. Его эксперименты по рождению мюонных пар в столкновении адронов положили начало новому направлению исследований в физике высоких энергий. Этот путь привел Л. Ледермана к открытию в 1977 г.  $\bar{\nu}$ -частицы, состоящей из тяжелых  $b$ -кварков.

Мелвин Шварц (Melvin Schwartz) родился 2 ноября 1932 г. в Нью-Йорке. В 1953 г. окончил Колумбийский университет, в 1956—1958 гг. — сотрудник Брукхейвенской национальной лаборатории. Получив в 1958 г. степень доктора философии, начал работать в Колумбийском университете, с 1963 г. — в звании профессора. С 1966 г. — профессор Стан-

фордского университета. Член Национальной академии наук США (1975). В настоящее время возглавляет собственную фирму, специализирующуюся на создании систем компьютерной связи (Маунт-Вью, штат Калифорния). Совместно с другими экспериментаторами открыл  $\Sigma^0$ -гиперон (1957), доказал несохранение четности в распадах гиперонов (1957), определил спин  $\Lambda$  и  $\Sigma$ -гиперонов (1958), открыл пионий — экзотическое связанное состояние пиона и мюона (1976).

Джек Штейнбергер (Jack Steinberger) — один из блестящих представителей научной школы Э. Ферми. Родился 25 мая 1921 г. в Германии в г. Бад-Киссинген. В 1942 г. окончил Чикагский университет, в 1948 — получил степень доктора философии. Работал в Принстонском университете, затем — в Калифорнийском (в Беркли). В 1950—1971 гг. — профессор Колумбийского университета. С 1968 г. работает в Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН) в Женеве. Член Национальной академии наук США (1966).

Дж. Штейнбергер прекрасно сочетает в себе искусство экспериментатора с талантом теоретика. Среди его теоретических работ наиболее важны вычисление времени жизни  $\pi^0$ -мезона и феноменологический анализ распадов  $K$ -мезонов с несохранением  $CP$ -четности (совместно с Дж. Беллом). Он выполнил ранние исследования фоторождения заряженных мезонов и первые эксперименты по рождению заряженных мезонов на протонах. В 1950—1952 гг. вместе с В. Пановским впервые измерил спин и четность пионов и надежно подтвердил существование нейтрального пиона, определил сечение его фоторождения; обнаружил прямой распад  $\pi \rightarrow e + \nu$ ; в 1956 г. вместе с другими открыл  $\Sigma^-$ -гиперон. В конце 70-х — начале 80-х годов выполнил обширную про-

грамму нейтринных исследований в ЦЕРНе (в том числе по изучению процессов рождения очарованных частиц). В 1987 г. получил важные сведения о механизме нарушения  $CP$ -четности.

Работа, удостоенная в 1988 г. столь престижной награды, была выполнена более четверти века назад, в 1962 г. Нельзя сказать, что ее значение не было понято до сегодняшнего дня. По утверждению журнала «Nature»<sup>1</sup>, нынешние лауреаты в прошлом уже неоднократно рассматривались Нобелевским комитетом как кандидаты на премию, но их оттесняли авторы более новых работ (некоторые из них имели истоками и результаты Л. Ледермана, М. Шварца и Дж. Штейнбергера). По собственному признанию, они уже потеряли всякую надежду на получение Нобелевской премии.

Быть может, есть особый смысл в том, что столь трудной «уловимая» награда присуждена в этом году ученым, сделавшим неуловимые нейтрино рабочим инструментом исследования структуры материи. Как известно, нейтрино весьма слабо взаимодействуют с веществом. Довод, что они должны иметь астрономически большую величину свободного пробега, на основании расчетов впервые привели Х. Бете и Р. Пайерлс еще в 1934 г. После этого долгое время казалось, что фантастическая проникающая способность нейтрино делает его наблюдение невозможным. Действительно, можно ли надеяться «поймать» нейтрино, если они способны при средних энергиях пролететь в плотной среде расстояния в сотни световых лет, не вступая ни в какие реакции? Оказалось, надеяться можно, на что первым указал в 1946 г. Б. М. Понтекорво. Дело в том, что ничтожную ве-

<sup>1</sup> Nature. 1988. Vol. 335. № 6193. P. 752.



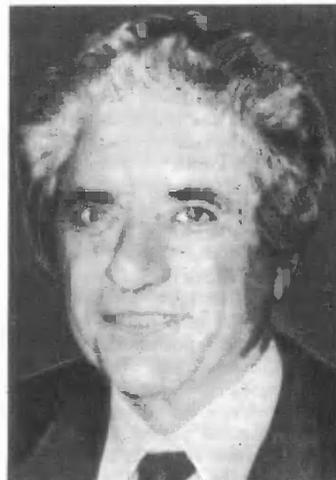
Л. Ледерман

Фото АП — ТАСС.



М. Шварц

Фото АП — ТАСС.



Дж. Штейнбергер

Фото АП — ТАСС.

роятность взаимодействия нейтрино с веществом можно компенсировать, взяв для осуществления опытов огромный поток нейтрино. Такие потоки нейтрино испускаются в атомных реакторах, создание которых сделало, по словам Б. М. Понтекорво, детектирование нейтрино «вполне приличным занятием»<sup>2</sup>.

В процессах  $\beta$ -распада  $p \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ ,  $p \rightarrow n + e^+ + \nu$  испускание нейтрино было установлено косвенно — по «недостаче» энергии, уносимой «видимыми» продуктами реакций. Собственно говоря, сама гипотеза Паули о существовании нейтрино была выдвинута им в 1930 г. для объяснения кажущегося несохранения энергии в  $\beta$ -распаде. Заметим, что протон легче нейтрона и потому его  $\beta$ -распад может происходить только внутри атомных ядер, в то время как нейтрон распадается и в свободном состоянии<sup>3</sup>.

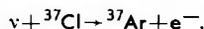
Прямым наблюдением нейтрино можно было бы счи-

тать наблюдение обратных реакций

$$\bar{\nu} + n \rightarrow p + e^-, \quad \bar{\nu} + p \rightarrow n + e^+.$$

Важно, что такие реакции, как указал Б. М. Понтекорво, дают возможность решить вопрос, тождественны ли нейтрино и его античастица. Если они различаются, то невозможна реакция  $\bar{\nu} + n \rightarrow p + e^-$ .

Для практического обнаружения реакций на нейтронах Б. М. Понтекорво предложил в 1946 г. хлор-аргоновый метод на основе реакции

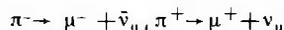


Рождающиеся атомы радиоактивного аргона могут быть выделены из огромной массы хлора и зарегистрированы счетчиками. Таким образом, если  $\bar{\nu}$  и  $\nu$  различны, поток антинейтрино из реактора будет рождать на протонах позитроны, но не приведет в хлор-аргоновом методе к рождению электронов. Первые эксперименты по прямому детектированию нейтрино были выполнены в 1953—1956 гг. Ф. Райнесом и К. Коу-

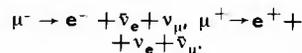
ского описания частицу, испускаемую при распаде нейтрона, он назвал антинейтрино. Таким образом, атомные реакторы, в которых происходит  $\beta$ -распад нейтронно-избыточных ядер (осколков урана) представляют собой источники антинейтрино.

эном, обнаружившими, что поток антинейтрино из реактора производит реакцию  $\bar{\nu} + p \rightarrow n + e^-$ . В 1952—1956 гг. Р. Дэвис хлор-аргоновым методом показал, что те же самые реакторные антинейтрино не вызывают превращения хлора в аргон. Эти два результата в совокупности означали, что  $\bar{\nu} \neq \nu$ <sup>4</sup>. Мы остановились на том, как было установлено это различие потому, что аналогичная идея помогла установить существование нейтрино различных видов.

В конце 40-х годов были открыты распады  $\pi$ -мезона на мюон и нейтрино



и распады мюона на электрон (позитрон) и два нейтрино



Мы привели эти реакции в современных обозначениях, отли-

<sup>2</sup> Понтекорво Б. М. Детство и юность нейтринной физики: некоторые воспоминания // Природа. 1983. № 1. С. 43—57. В этой публикации приведены подробные сведения о ранних этапах исследования нейтрино, а также обширная библиография работ в этой области.

<sup>3</sup> Нейтрино естественным образом вошло в теорию  $\beta$ -распада, созданную Э. Ферми в 1934 г. Из соображений удобства математиче-

<sup>4</sup> Отметим, что хлор-аргоновый метод в дальнейшем оказался действенным инструментом для регистрации солнечных нейтрино. Солнце, в отличие от реактора, испускает нейтрино (а не антинейтрино), так как в нем в результате цепочки термоядерных реакций происходит превращение:

$$4p \rightarrow \text{He}^4 + 2e^+ + 2\nu,$$

являющееся источником солнечной энергии.

чая нейтрино, сопровождающие рождение электрона и мюона, индексами  $e$  и  $\mu$ . Однако вопрос о том, являются ли  $\nu_e$  и  $\nu_\mu$  разными частицами, встал уже в то время. Как пишет Б. М. Понтекорво, первым исследовавший распад мюона, эти нейтрино «разные люди называли по-разному: два нейтрино, нейтрино и нейтретто и т. п.»<sup>5</sup>. Однако в дальнейшем из соображений «простоты» их стали принимать за одну частицу. Существование двух типов нейтрино вновь понадобилось в конце 50-х годов, так как это простейшим образом позволяло объяснить отсутствие предсказываемого теорией распада  $\mu \rightarrow e + \gamma$ . Для решения вопроса Б. М. Понтекорво<sup>6</sup> предложил в 1959 г. использовать пучок протонов, ускоренный до энергии порядка 1 ГэВ. Тормозя в плотном веществе, интенсивный пучок протонов порождает благодаря распаду положительных пионов и мюонов поток мюонных антинейтрино. (Отрицательные мюоны, как правило, захватываются ядрами и не успевают распасться.) Полученные  $\bar{\nu}_\mu$  в случае своей тождественности с  $\bar{\nu}_e$  должны были бы рождать в детекторе позитроны вследствие знаковой реакции  $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$ . Отсутствие позитронов означало бы отличие  $\nu_\mu$  от  $\nu_e$ . Подобные опыты осуществляются сейчас на мезонных фабриках.

Различие же электронных и мюонных нейтрино продемонстрировали Л. Ледерман, М. Шварц и Дж. Штейнбергер на нейтринном пучке протонного ускорителя более высокой энергии. Предложение о постановке нейтринных экспериментов на ускорителях высокой энергии было виднито Шварцем независимо от Понтекорво. Еще ранее такая возможность обсуждалась М. А. Марковым с со-

трудниками<sup>7</sup>. По свидетельству самого Шварца, идея родилась у него во время оживленных дискуссий с коллегами во время перерывов на кофе. Обсуждая возможность использования пучков различных частиц для исследования слабых взаимодействий при высоких энергиях, они пришли к выводу о перспективности экспериментов с пучком нейтрино высокой энергии. Шварц отмечал стимулирующие обсуждения нобелевскими лауреатами 1957 г. Т. Д. Ли и Ч. Янгом, которые одновременно опубликовали широкую программу исследований слабых взаимодействий с помощью нейтрино высоких энергий<sup>8</sup>.

Эксперимент Л. Ледермана, М. Шварца и Дж. Штейнбергера был осуществлен в 1962 г. на ускорителе Брукхейвенской национальной лаборатории<sup>9</sup>. Протоны, ускоренные до энергии 15 ГэВ, направлялись на мишень из Ве, порождающая в столкновениях большое количество  $d$ - и  $K$ -мезонов. В свою очередь, эти частицы на лету распадались с испусканием мюонных нейтрино. Благодаря релятивистским эффектам, поток нейтрино сосредоточен в узком конусе в направлении движения мезонов. Кроме того, вероятность взаимодействия нейтрино с веществом растет с энергией. Все это вместе с более удобными условиями наблюдения позволяет компенсировать в опытах на ускорителях отсутствие такого мощного потока нейтрино, как от реакторов.

Расстояние, на котором могли распадаться мезоны, составляло 21 м. Затем следовала стальная защита толщиной 13,5 м, в которой поглощались родившиеся мюоны и не успевшие распасться мезоны. Нейтрино же, обладая чудовищной проникающей способностью, практически беспрепятственно про-

ходили сквозь стальную стену. Реакции, вызываемые нейтринным пучком, регистрировались принципиально новым для того времени детектором. Он представлял собой искровые камеры, состоящие из алюминиевых пластин общим весом 10 т, разделенных искровыми промежутками. Электроны и мюоны, рождающиеся в реакциях, вызванных нейтрино, легко различались по характеру треков: мюоны проходили через систему пластин практически не рассеиваясь, а электроны инициировали электромагнитные ливни. Очень важно, что, учитывая временную структуру пучка протонов, авторы сумели свести к минимуму фон, связанный с космическими лучами.

Оригинальность и смелость эксперимента состояла также в том, что он был выполнен на внутреннем пучке ускорителя. Авторы не стали дожидаться создания выведенного пучка протонов и систем фокусировки, способных более чем на порядок увеличить интенсивность нейтринного пучка. Зато они выиграли время и опередили исследователей из ЦЕРНа.

В конечном итоге было зарегистрировано около 30 случаев, когда в результате взаимодействия мюонных нейтрино с протонами и нейтронами рождались мюоны. Было обнаружено не более 6 случаев, в которых подозревалось рождение электрона или позитрона. При тождественности  $\nu_e$  и  $\nu_\mu$  таких случаев также должно было бы быть около 30. Тем самым Л. Ледерман, М. Шварц и Дж. Штейнбергер доказали, что мюонное нейтрино отличается от электронного и, следовательно, электрон вместе с электронным нейтрино  $\nu_e$  составляет одно семейство (дублет) лептонов

$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}$ , а мюон с мюонным — другое  $\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}$ .

В 1964 г. их результаты подтвердили в ЦЕРНе. Там же, в 1964—1967 гг. в аналогичных экспериментах было доказано отличие  $\nu_\mu \neq \nu_e$ .

Все последующее развитие физики элементарных частиц продемонстрировало исключительную важность исследования, выполненного Л. Ледерманом,

<sup>5</sup> Понтекорво Б. М. Цит. соч. С. 57.

<sup>6</sup> Понтекорво Б. М. // ЖЭТФ. 1959. Т. 37. Вып. 6. С. 1751—1757; 1960. Т. 39. Вып. 4. С. 1166—1168.

<sup>7</sup> Schwartz M. // Phys. Rev. Letts. 1960. Vol. 4. P. 306—307. (В примечании, сделанном при корректуре, автор ссылается на работу Б. М. Понтекорво 1959 г.)

<sup>8</sup> История вопроса изложена в книге Марков М. А. Нейтрино. М., 1964.

<sup>9</sup> Lee T. D., Yang C. N. // Phys. Rev. Letts. 1960. Vol. 4. P. 307—311.

<sup>10</sup> Danby G., Gaillard J.-M., Goulianos K., Lederman L., Mistry M., Schwartz M., Steinberger J. // Phys. Rev. Letts. 1962. Vol. 9. P. 36—44.

М. Шварцем и Дж. Штейнбергером. Создание нейтринных пучков стало новым этапом в изучении слабого взаимодействия, которое раньше могло исследоваться только в процессах распада частиц. Нейтринные эксперименты позволили изучить зависимость эффективного сечения слабого взаимодействия от энергии. Был обнаружен линейный рост сечения, что остро поставило вопрос о необходимости его «обрезания» при высоких энергиях. Проблема разрешилась, как известно, созданием теории электрослабого взаимодействия и открытием промежуточных бозонов  $W^+$  и  $Z^0$ . В нейтринных экспериментах ЦЕРНа в 1973 г. впервые обнаружен особый тип слабого взаимодействия (нейтральные токи), изучение которого блестяще подтвердило предсказание теории электрослабых взаимодействий. С другой стороны, нейтринные эксперименты предоставили новые возможности для изучения внутренней структуры сильно взаимодействующих частиц — адронов. С их помощью удалось подтвердить гипотезу кварков и, в частности, дробность их зарядов. В нейтринных пучках высоких энергий впервые наблюдалось рождение очарованных частиц. Наконец, перспектива создания ускорите-

лей на энергию порядка  $10^{13}$  эВ позволяет думать о практическом использовании нейтринных пучков, например для глубинного поиска полезных ископаемых и томографии земного шара.

Не менее важной оказалась и демонстрация дублетной структуры лептонов. Она привела к концепции лептонных поколений, каждое из которых состоит из заряженного и нейтрального лептонов. С учетом открытого в 1975 г. тяжелого  $\tau$ -лептона и соответствующего ему нейтрино сейчас известно три семейства (поколения) лептонов:

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix}$$

и, разумеется, соответствующие античастицы. Кварки также распределены по трем поколениям:

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$$

Отметим, правда, что  $t$ -кварк пока не обнаружен, но мало кто сомневается в его существовании.

Следует подчеркнуть, что дублетная структура лептонов являлась одним из исходных моментов теории электрослабых взаимодействий и предсказания о необходимости существования  $Z^0$ -бозона. Симметрия меж-

ду поколениями кварков и лептонов служит одним из побудительных стимулов для поисков теории Великого объединения, единым образом описывающей сильные, слабые и электромагнитные взаимодействия.

Наконец, выяснились космологические последствия существования во Вселенной нейтрино нескольких различных типов. Как впервые показал В. С. Шварцман, в модели горячей Вселенной от числа типов нейтрино зависит отношение количества первичного гелия к количеству водорода во Вселенной. Современные данные согласуются с выводом о существовании 3—4 поколений. Более точные данные о числе поколений будут в ближайшее время получены в результате точных измерений времени жизни промежуточных бозонов  $W^\pm$  и  $Z^0$ , переносящих слабые взаимодействия.

История этих исследований открытия показывает, как сильна «генетическая» связь между подлинно научными достижениями, которые ложатся в фундамент наших представлений о Природе.

Член-корреспондент АН СССР  
**С. С. Герштейн**  
Институт физики высоких энергий  
Протвино

## ПО ХИМИИ — Й. ДАЙЗЕНХОФЕР, Р. ХУБЕР И Х. МИХЕЛЬ

Нобелевская премия по химии за 1988 г. присуждена трем ученым из ФРГ: Й. Дайзенхоферу, Р. Хуберу и Х. Михелю — за определение трехмерной структуры фотосинтетического реакционного центра.

Йохан Дайзенхофер (Johann Deisenhofer) родился в 1943 г. Работал в Институте биохимии Общества им. М. Планка в Мартинсриде (под Мюнхеном, ФРГ), с 1988 г. — в Медицинском институте им. Ховарда Хьюза Техасского университета в Далласе (США).

Роберт Хубер (Robert Huber) родился в 1937 г. в Мюнхене. Там же в 1960 г. закончил Технический университет. С 1972 г. возглавляет отдел струк-

турных исследований в Институте биохимии Общества им. М. Планка в Мартинсриде.

Хартмут Михель (Hartmut Michel) родился в 1948 г. Образование получил в Тюбингенском и Мюнхенском университетах. Работал научным сотрудником в Институте биохимии Вюрцбургского университета и затем в Институте биохимии Общества им. М. Планка в Мартинсриде. С 1987 г. возглавляет отдел молекулярной биологии мембран в Институте биофизики Общества им. М. Планка во Франкфурте-на-Майне.

Кто-то из ученых сказал: «Миром движет не любовь, а фотосинтез». И это вполне понятно, если принять во внима-

ние, что жизнедеятельность всех растений, животных и человека зависит от фотосинтеза — процесса, в результате которого энергия солнечного света превращается в химическую энергию. Другими словами, фотосинтез — это и органические вещества, и кислород, без которого не может существовать большинство форм жизни на Земле. Этот сложный химический процесс сформировался за долгие годы эволюции. Сердцем фотосинтетического аппарата растений и микроорганизмов служит комплекс из нескольких белков и пигментов, называемый реакционным центром. Именно за детальное исследование реакционного центра, выделенного



И. Дайзенхофер.

Фото АП — ТАСС.

из пурпурных фотосинтезирующих бактерий, и получили столь высокое научное признание ученые из ФРГ.

Определение третичной структуры реакционного центра методом рентгеноструктурного анализа имеет огромное значение для понимания функционирования фотосинтетического аппарата бактерий и растений и организации интегральных (целиком погруженных в мембрану) белков в целом.

Познанию многих жизненно важных процессов, происходящих с участием мембранных белков, мешает отсутствие знаний о структуре таких белков на атомном уровне. Основные трудности здесь связаны с извлечением этих белков в неповрежденном состоянии из липидного бислоя биологической мембраны и особенно с их последующей кристаллизацией. Эти проблемы не так ярко выражены в случае водорастворимых цитоплазматических белков, для 200 из которых уже полностью установлена третичная структура.

В 1975 г. английский кристаллограф Р. Хендерсон получил трехмерную структуру (с разрешением 7 Å) бактериородопсина — мембранного интегрального белка, отвечающего за бесхлорофильный фотосинтез у живущих в соленой среде (галофильных) бактерий. Это был результат электронно-микроскопического анализа, выде-



Р. Хубер.

Фото ДПА — ТАСС.

ленных из галофильных бактерий пурпурных мембран, представляющих собой природные двумерные кристаллы. На модели бактериородопсина можно различить 7 $\alpha$ -спиральных сегментов, пересекающих липидный бислой. И хотя разрешение не позволяло проследить полипептидную цепь молекулы бактериородопсина, все исследователи, изучающие третичную структуру интегральных мембранных белков, жили нетерпеливым ожиданием. Казалось, что именно электронная микроскопия двумерных кристаллов, в которые довольно легко превратить мембранные белки, после небольших доработок составит достойную альтернативу рентгеноструктурному анализу при изучении мембранных белков.

Двумерные кристаллы ряда белков уже были получены, но в лучшем случае удавалось определить форму молекулы. Ни в одной из последующих работ не был побит рекорд разрешения, достигнутый Хендерсоном на бактериородопсине. Мембранные белки «не хотели» открывать тайны своего тонкого строения.

Самый молодой из новых нобелевских лауреатов — Х. Михель — закончил аспирантуру под руководством одного из первооткрывателей бактериородопсина профессора Д. Остерхельта (ученика нобелевского лауреата Ф. Линена). Занимаясь кристаллизацией бактериоро-



Х. Михель.

Фото АП — ТАСС.

допсина, Михель получил как двумерные, так и трехмерные искусственные кристаллы, но они не были достаточно совершенны для исследований методом рентгеноструктурного анализа.

В 1979 г. Остерхельт стал заведующим отделом биохимии мембран в Институте биохимии Общества им. М. Планка, куда он переехал, пригласив с собой своего бывшего аспиранта. В Мартинсриде Михель параллельно с кристаллизацией бактериородопсина на свой страх и риск приступил к получению трехмерных кристаллов фотосинтетического реакционного центра из пурпурной бактерии *Rhodospirillum rubrum*.

Элемент везения, всегда сопутствующий талантливым ученым, богатый экспериментальный опыт, накопленный при кристаллизации бактериородопсина, и большая работоспособность явились слагаемыми успеха. В 1982 г. Михелю удалось получить хорошо упорядоченные крупные кристаллы реакционного центра. Для этого он использовал метод, подобный тем, которые применяют для кристаллизации водорастворимых белков, но с учетом специфики поведения комплекса белок — детергент в присутствии малых амфифильных молекул и сульфата аммония.

С этого момента началось плодотворное сотрудничество между Х. Михелем и группой Р. Хубера. К 1982 г. эта группа, в которой работал и И. Дай-

зенхофер, считалась одной из ведущих в рентгеноструктурном анализе белков. Наиболее значительные ее успехи связаны с расшифровкой третичной структуры иммуноглобулинов.

Рентгеноструктурный анализ естественных кристаллов реакционного центра и нескольких его тяжелоатомных производных позволил получить первоначальную карту электронной плотности с разрешением 3 Å. На ней сразу же были идентифицированы все хромофоры. В дальнейшем удалось точно локализовать все компоненты реакционного центра: четыре молекулы бактериохлорофилла (BChl), две бактериофеофитина (BPhe), два различных хинона, негемовый атом железа и четыре гема (He), связанных с белком, который в свою очередь состоит из четырех полипептидов, содержащих в сумме 1187 аминокислотных остатков. Это самая большая и наиболее сложная структура из расшифрованных на сегодня. Еще более примечательно, что реакционный центр, являющийся сердцем бактериального фотосинтеза и близко напоминающий аналогичный комплекс фотосистемы II зеленых растений, стал первым представителем огромного класса мембранных белков, структура которого определена на атомном уровне.

Все хромофоры реакционного центра, за исключением гемов, расположены парами симметрично относительно внутримолекулярной оси второго порядка, перпендикулярной плоскости мембраны. Хиноновые центры включают в себя как прочно связанный менахинон ( $Q_A$ ), так и слабее связанный убихинон ( $Q_B$ ), первоначально отсутствовавший в кристаллах, но локализованный после вымачивания последних в растворе хинонов или их аналогов. На периплазматической, наружной стороне внутреннего слоя мембраны обнаружена пара контактирующих молекул бактериохлорофилла, названных «специальной парой» (BChl<sub>2</sub>), окисление которой составляет первичный акт фотосинтеза: их сближенное расположение было ранее предсказано на основании спектральных исследований.

Возможны два альтернативных пути переноса электрона от специальной пары, расположенной на одной стороне мембраны, до негемового атома железа, находящегося на противоположной (цитоплазматической) поверхности. Каждый путь состоит из последовательно расположенных молекул BChl<sub>2</sub> — BChl — BPhe —  $Q_A$  (или  $Q_B$ ) — Fe. Реально используется только один путь. Хромофоры принимают энергию возбуждения от светособирающего комплекса, состоящего из белков небольших размеров и хлорофиллов, и быстро утилизируют ее для пространственного разделения зарядов по всей толще мембраны — приблизительно 40 Å. Электрон передается от окисленной специальной пары BChl<sub>2</sub> на  $Q_B$  в течение 230 пс через  $Q_A$  (неясно, почему электрон не может переноситься другим путем, сразу на  $Q_B$ ). После разделения зарядов на мембране BChl<sub>2</sub> вновь восстанавливается цитохромом на периплазматической поверхности, в то время как полностью восстановленный  $Q_B$ , расположенный на цитоплазматической поверхности, присоединяет протон и высвобождает, образуя свободный восстановленный хинон в мембране.

Четыре полипептида (L-, M- и H-субъединицы и цитохром c) образуют белковое окружение хромофоров. L- и M-субъединицы расположены в липидном бислое. Полипептидная цепь каждого из них в виде α-спиральных сегментов пять раз пронизывает толщу мембраны. Все хромофоры, за исключением гемов, локализованы в гетеродимере, образованном L- и M-субъединицами. Белковое окружение хромофоров не является абсолютным, поскольку, во-первых, гидрофобный характер самих хромофоров не предполагает их полной изоляции от липидного бислоя. Во-вторых, бактериохлорофиллы специальной пары должны получать энергию от бактериохлорофиллов светособирающего комплекса, который расположен рядом, внутри липидного бислоя. И наконец,  $Q_B$  должен обмениваться со свободными хинонами в бислое.

Трансмембранные α-спи-

ральные участки гетеродимера L — M-субъединиц выполняют по крайней мере три функции. Прежде всего, неполярные боковые цепи их аминокислотных остатков образуют своеобразные гнезда для хромофоров. Эти гнезда определяют относительную ориентацию хромофоров в пространстве. Более того, в них содержатся остатки гистидинов, связывающих как ионы магния специальной пары и дополнительных бактериохлорофиллов, так и негемовое железо. Наконец, они обеспечивают энергетически устойчивую пространственную структуру субъединиц и образуют ровную поверхность, контактирующую с липидным бислоем.

Вне мембраны с периплазматической стороны к гетеродимеру L — M-субъединиц примыкает цитохром c, содержащий четыре гема, расположенных строго один за другим. Такое расположение обеспечивает эффективный перенос электрона с гема на гем и тем самым способствует быстрому восстановлению окисленной специальной пары.

На другой стороне мембраны расположена H-субъединица, функция которой до сих пор не выяснена. Следует подчеркнуть, что как цитохром c, так и H-субъединица являются глобулярными белками со структурой типичной для водорастворимых белков. В N-концевой части H-субъединицы имеется последовательность из гидрофобных аминокислотных остатков, образующая трансмембранный α-спиральный сегмент, который как бы «заякоривает» H-субъединицу в мембране.

Таким образом, структура, установленная Дайзенхофером, Хубером и Михелем, дает детальную и точную трехмерную модель фотохимического превращения энергии. Она подтвердила целый ряд гипотез, которые ранее были выдвинуты на основании самых различных экспериментальных и теоретических подходов, и позволила сформулировать новые предположения. Например, аминокислотные последовательности L- и M-субъединиц, а также белков D1 и D2 из фотосистемы II высших растений проявляют относительно невысокую гомоло-

гию. Однако при сравнении в этих белках ключевых аминокислотных остатков, выполняющих важные функции, обнаруживается достаточно высокое сходство. Было выдвинуто обоснованное предположение, что белки D1 и D2 выполняют аналогичную функцию у высших растений. Недавно оно получило экспериментальное подтверждение.

Существует еще один не менее важный аспект этой работы. До расшифровки третичной

структуры реакционного центра пурпурных бактерий *Rhodobacter viridis* на основании распределения гидрофобных аминокислот в аналогичных полипептидах близкородственных бактерий уже была предсказана модель, содержащая пять трансмембранных  $\alpha$ -спиралей для L- и M-субъединиц и одной — для H-субъединицы (*Rh. sphaeroides* и *Rh. capsulata*). Полное совпадение данных рентгеноструктурного анализа и теоретических предсказаний вселяет уверенность в

то, что вторичные структуры и модели организации, предсказанные для ряда мембранных белков, правильны и могут быть основой для постановки различных экспериментов, направленных на дальнейшее их исследование.

**Н. Г. Абдулаев,**

доктор химический наук

**А. С. Золотарев,**

кандидат химических наук

Институт биоорганической химии

им. М. М. Шемякина АН СССР

Москва

## ПО МЕДИЦИНЕ — ДЖ. БЛЭК, Г. ИЛЙОН, ДЖ. ХИТЧИНГС

Нобелевская премия 1988 г. по медицине присуждена за разработку новых принципов создания и применения ряда лекарственных средств английскому ученому Дж. Блэку и двум американским исследователям Г. Илайон и Дж. Хитчингсу.

Сэр Джеймс Блэк (James Black), которому 64 года, получил международное признание благодаря исследованиям по созданию блокаторов  $\beta$ -адренорецепторов и гистаминовых  $H_2$ -рецепторов. Принципы конструирования блокаторов известны давно. Речь идет о так называемых антиметаболитах, получаемых химическими модификациями естественных (эндогенных) веществ, обладающих выраженной биологической активностью. Проблема в том, чтобы вещество со стимулирующими свойствами преобразовать в его антагонист, блокирующий соответствующие рецепторы. Этот путь и избрал Дж. Блэк. Он определил наиболее важные направления исследований и настойчиво решал поставленные задачи, включая создание эффективных лекарственных препаратов и их внедрение в медицинскую практику.

Первое направление свелось к поиску блокаторов  $\beta$ -адренорецепторов. Модифицируя структуру медиатора симпатических нервов норадреналина, взаимодружающего с адренорецепторами, в начале 60-х го-

дов ему удалось получить первые вещества, избирательно блокирующие  $\beta$ -адренорецепторы. В 1962 г. был открыт пропранолол, а в 1964 г. — пропранолол, которые стали широко применять в практической медицине для снижения артериального давления, при стенокардии и нарушениях ритма сердечных сокращений. Таким образом, появился новый тип лекарственных средств, а с ним и новые принципы лечения заболеваний сердечно-сосудистой системы. Затем были синтезированы новые препараты этой группы, в том числе кардиоселективные  $\beta$ -адреноблокаторы (талинолол, метопролол). Это развитие идей Дж. Блэка дало еще одну группу новых эффективных лекарственных средств. Миллионы пациентов во всем мире, принимающих эти лекарства, служат самым сильным аргументом практической важности его работ.

Второе крупное открытие связано с созданием блокаторов гистаминовых  $H_2$ -рецепторов. До работ Дж. Блэка были известны антигистаминовые средства, блокирующие гистаминовые рецепторы разной локализации, за исключением рецепторов желудка. Важность поиска блокаторов гистаминовых рецепторов желудка, которые впоследствии Дж. Блэк назвал  $H_2$ -рецепторами, заключалась в том, что они регулируют продукцию соляной кислоты желуд-

ка (при их возбуждении кислотность желудочного сока увеличивается). Естественно было ожидать, что блокаторы этих рецепторов приведут к обратному эффекту — снижению кислотности желудочного сока, что может предоставить интерес при лечении язвенной болезни.

Началась кропотливая работа. Были синтезированы и исследованы сотни аналогов и производных гистамина — эндогенного стимулятора гистаминовых рецепторов. После длительного периода неудач удалось получить первые, хотя и мало активные, блокаторы гистаминовых  $H_2$ -рецепторов. Уныние сменялось подъемом, поскольку возможность создания препаратов такого типа была принципиально доказана. И вот в начале 70-х годов появились первые высокоэффективные блокаторы гистаминовых  $H_2$ -рецепторов, пригодные для практического применения: буримаид (1972) и циметидин (1976).

Создание блокаторов гистаминовых  $H_2$ -рецепторов знаменует собой новый подход к лечению язвенной болезни. Последующие годы применения этих препаратов в практике подтвердили их высокую эффективность как противоязвенных средств. И в данном случае серьезные фундаментальные исследования привели к созданию ценнейших лекарств.

Профессор Блэк очень славный и скромный человек.



Дж. Блэк

Фото Рейтер — ТАСС.



Г. Илайон

Фото АП — ТАСС.



Дж. Хитчингс

Фото Рейтер — ТАСС.

Ему доставляет значительно большее удовольствие успешное разрешение научных проблем, чем шумное признание его заслуг. Он жалеет, что сейчас с ним нет его жены, которая в большей степени, чем он, радовалась бы присуждению ему Нобелевской премии и всем официальным торжествам, связанным с этим примечательным событием. К сожалению, два года назад она погибла от рака молочной железы. Свою часть Нобелевской премии Блэк передал в фонд исследований проблем рака.

Сегодня Дж. Блэк продолжает свою научную деятельность в Королевском госпитале в Лондоне, занимаясь гормонами. Не забывает он и практическую медицину. Так, недавно им предложен для энтерального лечения экземы препарат эпгам, полученный из масла растения вечерняя примроза.

Дж. Блэк мечтает о большой свободе творчества для ученых. Создание их трудами определенных прибылей необходимо, но недостаточно для гармоничного развития науки. Он считает, что успех науки будущего зависит от возможностей ученых проводить поисковые нетрадиционные исследования без всяких гарантий и, конечно, без бюрократических оформлений и ограничений. Основное обязательство, которое должны брать на себя ученые —

это добросовестно работать. Такие условия будут способствовать появлению новых плодотворных идей и перспективных научных направлений, что обеспечит дальнейший прогресс науки.

Джордж Хитчингс (George Hitchings) 1905 г. рождения и Гертруда Илайон (Gertrude Elion), родившаяся в 1918 г., начали свое плодотворное сотрудничество еще в 1945 г. в одной из исследовательских лабораторий Северной Каролины. Благодаря этому творческому союзу были заложены теоретические основы использования антиметаболитов нуклеиновых кислот.

Хорошо известно, что деление большинства клеток различных органов взрослого человека ограничено, тогда как опухолевые клетки делятся постоянно (они бессмертны). Кроме того, метаболизм делящихся клеток отличается от метаболизма покоящихся не только количественно, но и качественно. Этот принцип и был положен в основу работ по изучению фармакологического действия антиметаболитов нуклеиновых кислот.

Еще в 1952 г. Дж. Хитчингс синтезировал два производных пуриновых оснований (компонентов нуклеиновых кислот) аденина и гуанина — 6-меркаптопурин и 6-тиогуанин. Изучая их метаболизм в нормальных и опухолевых клетках, он установил, какие элементы

нормального обмена блокируются антиметаболитами, а какие образуют неактивные соединения. В результате этих работ в 1955 г. появились лекарственные препараты, которые до сих пор широко используются в онкологической практике за рубежом (разрешены они для медицинского применения и в СССР).

Итак, научное понимание молекулярных основ нормального метаболизма нормальных и опухолевых клеток, достигнутое в том числе и благодаря теоретическим работам Дж. Хитчингса, позволило сформулировать определенные эмпирические правила для создания активных, избирательных (и потому мало токсичных) антиметаболитов, блокирующих деление опухолевых клеток. В свою очередь, это вызвало огромный поток синтетических, биохимических и фармакологических исследований аналогов компонентов нуклеиновых кислот.

Одним из значительных достижений в этой области стал противовирусный препарат «Зовиракс» (ациклоглоуанозин, ацикловир), полученный Т. Илайон в 1977 г.

Ацикловир — структурный аналог 2-дезоксигуанозина (компонента ДНК) оказался препаратом с принципиально новым антиметаболическим действием в условиях вирусной инфекции. Он проявляет свое противовирусное действие иск-

лючительно в клетках, зараженных вирусом простого герпеса, и хотя проникает в здоровые клетки, но не оказывает на них какого-либо токсического действия.

Эта инфекция чрезвычайно распространена у людей: всем хорошо известны «высыпания» на губах, поражение глаз, половых органов, головного мозга, кожи. Таким заболеванием в большей степени подвержены люди с ослабленным иммунитетом. Для заболеваний, вызываемых вирусом герпеса простого, характерна повторяемость.

В клетках, зараженных вирусом герпеса простого I и II типов, синтезируется фермент тимидинкиназа, который участвует в фосфорилировании — превращении тимидина в тимидин-5-фосфат. Донором фосфата в этой реакции служит АТФ. Оказалось, что этот фермент вирусспецифичен, так как его синтез программируется вирусной ДНК, имеющей в своей структуре соответствующий ген. Ацикловир, открытый Г. Илайон, активируется в клетке после фосфорилирования только вирусспецифической, но не клеточной тимидинкиназой. Далее ацикловирмонофосфат превращается в ди- и трифосфат, который непосредственно ингибирует активность вирусной ДНК-полимеразы, ответственной за синтез вирусной ДНК. Таким образом, ацикловир блокирует только синтез вирусной, но не собственной клеточной ДНК.

Высокая специфичность этого препарата — причина избирательного и эффективного действия ацикловира на инфек-

цию, вызываемую вирусом герпеса. Концентрация ацикловира для противовирусного действия, как показали исследования Г. Илайон и ее сотрудников, почти в 3 тыс. раз меньше, чем концентрация, вызывающая токсическое действие на клетки.

Эти выдающиеся биохимические и вирусологические исследования привели к созданию лекарственного средства «Зовиракс», производимого фирмой «Уэллком» на основе ацикловира. Мазь «Зовиракс» и ее инъекционная форма, применяемые для лечения инфекций, вызванных вирусом герпеса, дали, по исследованиям западных медиков, блестящий результат. В нашей стране началось клиническое изучение «Зовиракса». Значительный интерес этот препарат привлек к себе в связи с поисками средств для лечения СПИДа. Оказалось, что он усиливает лечебное действие «Ретровира» (3'-азидо-3'-дезокситимидина, или азидотимидина).

Серьезным развитием работ Дж. Хитчингса и Г. Илайон стали исследования по подавлению размножения ретровирусов (включая ВИЧ) азидотимидином. Первые сообщения о его свойствах блокировать размножение ВИЧ в инфицированных клетках опубликовала группа американских исследователей под руководством С. Бродера в 1985 г., а молекулярный механизм действия этого препарата и причины его специфичности были исследованы коллективом ученых из Всесоюзного кардиологического научного центра АМН СССР и Института молекулярной биологии им. В. А. Энгельгардта АН СССР.

Молекулярный механизм действия азидотимидина основан на его частичном подобию природному метаболиту биосинтеза ДНК — тимидину. И тимидин, и азидотимидин в клетках превращаются в трифосфаты этих соединений, после чего включаются в синтез ДНК. Специфичность действия азидотимидина определяется тем, что у человека фермент, участвующий в синтезе ДНК (ДНК-полимераза), чувствительнее, чем вирусная ДНК-полимераза, т. е. он значительно реже ошибается в выборе правильного неизменного субстрата, чем вирусный фермент. При этом вирусная ДНК-полимераза принимает трифосфат азидотимидина за свой субстрат, включает его в цепь своей ДНК, что приводит к остановке синтеза вирусной ДНК и гибели вируса.

Эти и многие другие впечатляющие результаты порождены блестящими работами нобелевских лауреатов 1988 г., в основу которых был положен единый принцип поиска и создания лекарства — использование антиметаболитов природных эндогенных веществ, нормальных компонентов клеточного обмена.

Академик АМН СССР

**Д. А. Харкевич**

**Г. А. Галегов,**

доктор биологических наук

Институт вирусологии

им. Д. И. Ивановского АМН СССР

**А. А. Краевский,**

доктор биологических наук

Институт молекулярной биологии

им. В. А. Энгельгардта АН СССР

Москва

Космические исследования

## Возобновлены полеты шаттлов

29 сентября 1988 г. в 18 ч 37 мин (здесь и далее время московское) с космодрома на мысе Канаверал (США) запущен космический корабль многоразового использования «Дискавери» с пятью космонавтами на борту. Тем самым возобновлены полеты по программе «Спейс шаттл», прерванные 28 января 1986 г. из-за катастрофы корабля «Челленджер», в которой погибло семь космонавтов.

Состав экипажа «Дискавери» в этом полете: командир Ф. Хаук, пилот Р. Коуви, специалисты по операциям на орбите Д. Лондж, Дж. Нельсон и Д. Хилмерс.

Основные задачи полета: выведение на орбиту спутника-ретранслятора ТДРС-С для командно-измерительного комплекса НАСА;

летные испытания транспортной системы «Спейс шаттл», определение ее пригодности к эксплуатации после модификации и доработок.

Кроме того, программа предусматривала проведение 11 экспериментов в области космического материаловедения, геофизики и космической биологии.

«Дискавери» благополучно вышел на близкую к круговой орбиту высотой 296 км и наклонением 28,5°. 30 сентября в 0 ч 50 мин ТДРС отделился от двухступенчатого межорбитального буксира (общей массой свыше 17 т), после чего спутник был переведен на стационарную орбиту.

За время полета экипаж выполнил все запланированные эксперименты. По программе космического материаловедения на подложке из различных образцов кристаллических веществ из паровой фазы выращивались органические пленки;

цель эксперимента — нащупать пути создания твердотельных оптических переключателей для оптоволоконных систем и вычислительной техники. В другом эксперименте исследовалось направленное затвердевание веществ в экспериментальной четырехкамерной печи; еще два эксперимента в этом направлении были посвящены изучению рекристаллизации титана с регулированием роста кристаллов при помощи мембраны с частичной проницаемостью.

Четыре эксперимента проведены по космической биологии; изучалось слипание эритроцитов для определения вязкости крови, разделялся двухфазный полимер для проведения в дальнейшем экспериментов по разделению биоклеток, выращивались кристаллы белка заданных размеров и чистоты с целью совершенствования технологии синтеза лекарственных препаратов, изучалось изоэлектрическое фокусирование, которое предполагается использовать в установках по разделению биологически активных веществ с помощью электрофореза.

В двух геофизических экспериментах регистрировались разряды молний в атмосфере для исследования зависимости их частоты от атмосферных процессов, а также изменение свечения нимба Земли в зависимости от угла падения солнечных лучей.

Наибольшая трудность, с которой столкнулись космонавты, состояла в неисправности системы терморегулирования, в результате температура в кабине поднималась до +30 °С.

В ночь со 2 на 3 октября была проведена телевизионная пресс-конференция экипажа, во время которой почтили память космонавтов, погибших в катастрофе «Челленджера».

3 октября в 19 ч 37 мин орбитальная ступень «Дискавери» благополучно приземлилась на грунтовую полосу базы ВВС Эдвардс (штат Калифорния); полет продолжался четверо суток.

Следующий полет по программе «Спейс шаттл» намечен на ноябрь 1988 г.; орбитальной ступенью послужит корабль «Атлантис».

С. А. Никитин  
Москва

Химия атмосферы

## «Озонная дыра» в лаборатории

Группа под руководством Д. Голдена (D. Golden; Лаборатория химической кинетики компании "SRI International", Менло-Парк, штат Калифорния, США) провела серию экспериментов, цель которых — проверить существующие гипотезы происхождения и механизма образования озонных дыр в полярной атмосфере Земли.

В установке воспроизводились условия стратосферной облачности в Антарктиде на высотах от 15 до 45 км, где температура меняется от —60 до —90 °С. При смешивании хлоридата ( $\text{ClONO}_2$ ) с водой и обычно содержащимися в облаках полярной атмосферы частицами льда, азотной и серной кислотами происходили характерные реакции. Среди продуктов обнаружены концентрированная азотная и хлорноватистая (НОСl) кислоты в газообразном виде. Вторичная реакция приводила к образованию окиси хлора ( $\text{Cl}_2\text{O}$ ) — весьма активного соединения хлора. Кроме того, хлоридат на поверхности ледяных частиц вступал в реакцию с соляной кислотой, причем образовывались хлор в газообразном виде и концентрированная азотная кислота.

По-видимому, в антарктических условиях весной газообразные продукты этих реакций легко подвергаются фотолузу, создающему значительные количества хлора, который обладает повышенной способностью разлагать молекулы озона. Так

и возникает в атмосфере «озонная дыра», причем подобные реакции могут осуществляться за какие-нибудь миллисекунды.

Опыты показали, что концентрированная азотная кислота может служить «складом» для окиси азота, которая иначе поглощала бы большие массы активного хлора. Если бы содержание окиси азота было слишком высоким, она могла бы прервать цепную реакцию, ведущую к образованию хлора.

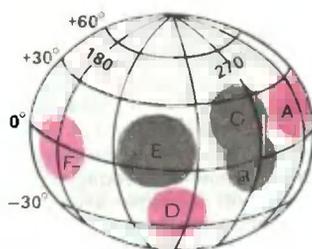
Исследователи пришли к выводу, что распространение озонной дыры за пределы Антарктиды, по-видимому, невозможно, так как только там встречаются столь сильно охлажденные облака, в которых идут соответствующие реакции. Впрочем, не исключено, что к образованию весьма активного хлора могут в течение длительного времени привести иные реакции, осуществляющиеся в атмосфере других регионов.

Science. 1987. Vol. 238. № 4831. P. 1258 (США).

Планетология

## Пятнистая поверхность Весты

Изображения астероида, на которых видны отдельные детали поверхности, впервые получили Дж. Драммонд, А. Экарт и Э. Хидж (J. Drummond, A. Eckart, E. Hege; Университет Аризоны, Тусон, США). Наблюдения Весты (астероида № 4) выполнены на телескопе университетской обсерватории Стьюард диаметром 2,3 м; при этом использовалась специальная камера для счета фо-



Карта светлых (A, D, F) и темных (B, C, E) деталей на поверхности западного полушария астероида Веста. Каждая деталь условно показана кругом (его диаметр в истинном масштабе 135 км) с центром в центре детали. До сих пор все сведения о яркости и других оптических характеристиках относили ко всему наблюдаемому полушарию.

тонов, сконструированная в Гарвардском университете.

Анализ 10 изображений позволил установить, что астероид представляет собой трехосный эллипсоид с экваториальными осями 584 и 531 км и полярной осью 467 км. Веста, как и большинство планет, вращается против часовой стрелки, если смотреть с севера, что соответствует направлению ее движения по орбите вокруг Солнца. Оборот вокруг оси она совершает за 5 ч 20,5 мин; ось вращения отклонена на 30° от нормали к плоскости орбиты.

На поверхности Весты различимы темные и светлые детали, подобные тем, которые можно видеть на Луне. Серия снимков, полученных с интервалом в 15 мин, свидетельствует о перемещении этих деталей из-за вращения астероида вокруг оси. В среднем поверхность Весты отражает 26% падающего на нее света. Однако имеется ряд темных и светлых деталей, составляющих оп-

ределенную картину; так, восточное полушарие темнее западного. В пределах «темного» полушария исследователи выделили три темные и три светлые детали (обозначенные латинскими буквами от А до F в порядке убывания долготы). Светлые детали имеют вид отдельных пятен, а темные представляют собой части единой обширной темной области, простирающейся и в южное полушарие. Светлое пятно D выглядит как «остров», окруженный темным материалом.

Вновь определенные размеры Весты использованы авторами для вычисления средней плотности астероида: она составила  $3,62 \pm 0,35$  г/см<sup>3</sup>. Это типичная плотность силикатов (т. е. обычных горных пород), что говорит об отсутствии на Весте значительных количеств льдов или металлов, имеющих плотность, соответственно, ниже или выше, чем у силикатов. Из прежних наблюдений особенности отражения света в различных участках спектра следовало, что состав пород поверхности Весты сходен с составом эвкритов — каменных метеоритов из темного материала, близкого по составу к базальтам. Он образуется в результате плавления горных пород в недрах и выхода их на поверхность планеты.

Причина плавления недр на таком малом теле, как Веста, во многом неясна, поэтому весьма заманчиво получение более детальных изображений астероида.

Icarus. 1988. Vol. 73. № 1. P. 2—14 (США).

Физика атмосферы

## Разложение воды и атмосферное электричество

Атмосферное электричество связано с целым кругом явлений, основанных на ионизации, которую нельзя сводить, как это часто делают, только к электронным процессам. Интерес представляет малоизученный процесс отрыва протона (H<sup>+</sup>) от молекулы воды и его перераспределение в простран-

### Детали на поверхности Весты

Обозначение	Восточная долгота	Северная (+) или южная (—) широта	Светлая (+) или темная (—) деталь
A	295	+15	+
B	270	0	—
C	260	+20	—
D	235	—20	+
E	225	+7	—
F	185	—5	+

стве, что, в конечном счете, влияет на «водородную энергетику» молний (включая шаровые).

Н. Н. Красиков (Ленинградское инженерное морское училище им. адмирала С. О. Макарова) предлагает рассматривать нижние слои атмосферы как среду, не имеющую полярных молекул, а содержащую нейтральные молекулы  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$  и инертных газов. В ней в виде примесей присутствуют полярные молекулы окислов углерода и азота, а также аммиака, сернистого и других газов, но, прежде всего, воды. Соударение молекул  $H_2O$  может привести к образованию димеров и других более сложных молекулярных комплексов (кластеров) с водородными связями.

В таких молекулах воды вдоль OH-групп действуют растягивающие электрические силы, которые способны отрыву протона, т. е. ионизации молекул, в то время как индивидуальные молекулы ионизируются только под действием излучения. Так, для отрыва  $H^+$  от молекулы воды в димерном состоянии достаточно внешнего гидродинамического или электрического воздействия, носящего флуктуационный характер. Процесс идет интенсивней у ассоциатов, находящихся на поверхности капель, где из-за упорядочения полярных групп возникает разность потенциалов, способствующая ионизации.

В центральной части канала молнии, где создаются пробойные напряженности электрического поля, возникает поток свободных электронов, под воздействием которых происходит нейтрализация образовавшегося в парах воды протона до атомарного водорода  $H$ , объединение атомов в молекулу  $H_2$  и, наконец, окисление  $H_2$  с образованием молекулы воды. Все три акта сопровождаются выделением энергии до 20,1 эВ. В линейной молнии такие процессы проявляются в виде световой вспышки, выделения тепла, звуковой и ударной волн, которым, в частности, способствует образование гремучей смеси (когда содержание водорода достигает 4 % и более от объема воздушной массы).

В тех местах, где напряженность электрического поля невелика, например в периферической части молнии, электронов высоких энергий создается существенно меньше. Здесь  $H^+$  на оксониевом ионе и отрицательный остаток молекулы воды образуют новые ассоциаты ион-дипольного типа с избытком заряда того или другого знака; на концах этих ассоциатов молекулы воды обращены атомами  $H$  наружу. Взаимодействие водородных атомов приводит к отталкиванию ассоциатов. В то же время они притягиваются электростатически.

В результате возникает квазистабильное образование, аккумулирующее энергию; оно спутствует атмосферному электричеству и может представлять шаровую молнию.

Доклады АН СССР. 1987. Т. 293. № 3. С. 572—574.

#### Химия атмосферы

### Метан влияет на озоносферу

Д. Блейк и Ш. Роуланд (D. Blake, S. Rowland; Университет штата Калифорния, Ирвин, США) проанализировали данные, полученные с 60 станций, разбросанных по всем континентам, и описывающие содержание метана в воздушном пространстве.

Установлено, что концентрация метана в атмосфере в среднем составляет 1,69 части на 1 млн, что на 11 % больше, чем 10 лет назад.

Известно, что часть метана поднимается в стратосферу, где его молекулы распадаются, освобождая атомы водорода, которые вступают в реакцию с кислородом и образуют воду. Такой процесс окисления, по-видимому, ответствен за образование примерно половины всей влаги, содержащейся в стратосфере. Часть ее превращается в кристаллы льда и стратосферные облака, наблюдаемые в полярных районах Земли. Наличие подобных кристаллов способствует тому, что содержащийся в атмосфере хлор приобретает

те формы, которые активно разрушают молекулы озона (что и происходит зимой над Антарктидой). При этом сам метан непосредственно на озон не влияет, но создаваемые с его участием ледяные кристаллы вызывают истощение озоносферы и возникновение «озонной дыры».

Стратосферные облака также усиливают подобный эффект, так как активизируют превращение хлора, содержащегося в синтетических хлорфторуглеродах антропогенного происхождения, в активный «самостоятельный» хлор, легко вступающий в реакцию с озоном. Наконец, метан сам по себе вносит вклад в создание парникового эффекта, поскольку сильно поглощает ИК-излучение.

Стратосферные облака в полярных районах изучаются всего несколько лет, так что надежных данных об изменениях в их концентрации пока не получено. Однако, по мнению исследователей, за последние 40 лет усиливающийся процесс поступления метана в высокие слои атмосферы мог увеличить содержание влаги в стратосфере примерно на 28 %. За истекшие два столетия эта величина возросла предположительно на 45 %.

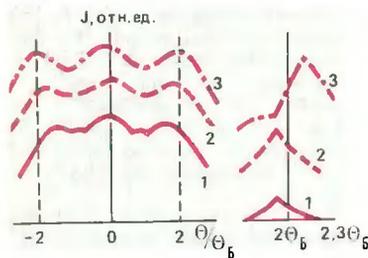
Источником метана могут служить выделения рисовых полей, болот и продукты жизнедеятельности скота и термитов, в количественной оценке которых специалисты расходятся весьма сильно.

Science. 1988. Vol. 239. P. 1129 (США); New Scientist. 1988. Vol. 117. № 1605. P. 31 (Великобритания).

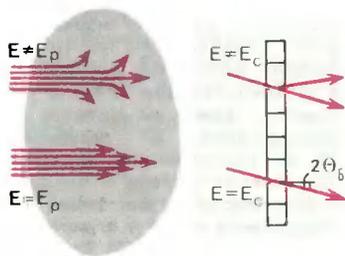
#### Физика

### Эффект Рамзауэра в кристалле

С. А. Воробьев, В. И. Гриднев, В. В. Каплин и др. (Научно-исследовательский институт ядерной физики при Томском политехническом институте имени С. М. Кирова) обнаружили отклонение от обычной дифракционной картины. При прохождении узкого ( $0,02^\circ$ ) коллимированного пучка релятив-



Слева — угловое распределение электронов с энергиями 2,45, 4,15 и 5,7 МэВ (кривые 1, 2, 3), прошедших кристалл кремния вдоль атомных плоскостей (100). Критическая энергия  $E_c = 5,64$  МэВ. Справа — рассчитанные по теории каналирования профили интенсивности рассеянных электронов около угла выхода  $\theta = 2\theta_b$  (для электронов тех же энергий).



Слева — эффект Рамзауэра в газе: при определенной энергии  $E = E_D$  электроны не рассеиваются атомами. Справа — аналог эффекта Рамзауэра в кристалле: при энергии электронов, равной критической ( $E = E_c = 5,64$  МэВ), электроны не рассеиваются атомными плоскостями кристалла.

вистских электронов с энергией 2,5—5,7 МэВ через тонкий (2 мкм) монокристалл кремния (вдоль его атомных плоскостей максимумы интенсивности рассеянных электронов находились не в брэгговских направлениях (под углами  $\pm 2\theta$  к первоначальному пучку), а были смещены примерно на 10%. При изменении энергии  $E$  электронов в окрестности некоторой критической  $E_c$  максимумы интенсивности смещались: при  $E < E_c$  — к направлению падающего пучка, при  $E > E_c$  — от него.

Как показал анализ, обнаруженный эффект определяется изменением четности волновых функций на краях запрещенной зоны в энергетическом спектре электронов, движущихся в поперечном атомным плоскостям направлении. При  $E = E_c$  запре-

щенная зона исчезает из-за отражения в ноль коэффициента отражения электронов от атомных плоскостей при выполнении равенства:

$$2d/\lambda = N \quad (N=1, 2, \dots),$$

где  $d$  — расстояние между атомными плоскостями,  $\lambda$  — де-Бройлевская длина волны электронов, движущихся поперек атомных плоскостей.

Авторы проводят аналогию между существованием критической энергии (исчезновением запрещенной зоны) для быстрых электронов в кристалле и, по крайней мере, двумя известными эффектами в атомной физике и оптике: эффектом Рамзауэра и просветлением стеклянной пластины в интерферометре Фабри — Перо.

Эффект Рамзауэра заключается в существовании «резонансов» прозрачности при пропускании электронов через разреженные инертные газы (Ar, Kr, Xe и др.): при энергии около 0,7 эВ электроны проходят через газ, не рассеиваясь на его атомах, в отличие от электронов других энергий. В твердом теле эффект Рамзауэра не наблюдался из-за слабой проникающей способности электронов столь малой энергии.

Условие для проявления эффекта Рамзауэра, по сути, описывается приведенной выше формулой; для быстрых электронов с  $E = E_c$  в кристалле имеет место аналог эффекта Рамзауэра — отсутствует рассеяние электронов атомными плоскостями, когда на интервале  $d$  укладывается целое число полудлин «поперечных» волн де Бройля.

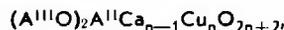
Аналогичный эффект наблюдается в интерферометре Фабри — Перо при определенном угле падения монохроматического светового пучка.

Величина критической энергии  $E_c$  чувствительна к состоянию кристалла — количеству дефектов, примесей и т. п. Поэтому описанный эффект будет весьма полезен для исследования кристаллов при их просвечивании электронами высоких энергий.

Доклады АН СССР. 1987. Т. 297. № 1. С. 80—83.

## Повышение $T_c$ высокотемпературных сверхпроводников

Группа американских специалистов во главе с К. Торарди (С. Torardi; Исследовательский центр в Уилмингтоне, штат Иллинойс) продолжили исследование сверхпроводников на основе таллия и висмута. Их химический состав может быть описан формулой:



где  $A^{III}$  — это Bi или Tl;  $A^{II}$  — Ba или Sr;  $n$  — число расположенных последовательно Cu-O-слоев.

Американским исследователям удалось установить важную закономерность: температура сверхпроводящего перехода  $T_c$  растет с увеличением  $n$ .

На сегодня наибольшее значение  $n$ , равное 3, получено для таллиевого сверхпроводника состава  $Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10}$ . Анализ образцов методами дифракции рентгеновских лучей и электронной микроскопии показал, что им свойственна тетрагональная кристаллическая структура, причем в ней обнаружены вкрапления кристаллов  $p = 5$ . По-видимому, именно эти области ответственны за то, что сверхпроводящий переход начинается при  $T_c \approx 140$  K, в то время как для «чистых» образцов с  $n = 3$  величина  $T_c$  не превышает 125 K.

Различные образцы указанной системы изготавливались при полном смешивании  $Tl_2O_3$ ,  $CaO_2$ ,  $BaO_2$  и  $CuO$  в различных отношениях. Смеси прессовались и в виде таблеток помещались для нагрева в трубки из золота диаметром 1,3 см и длиной 10 см, после чего трубки запаивались.

Для получения монокристаллов  $Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10}$  была составлена смесь с избытком Ca и Cu ( $2Tl : 2Ba : 3Ca : 4Cu$ ), которая прогревалась до 920 °C в течение 3 ч и охлаждалась до 300 °C при скорости охлаждения 5 °C/мин.

Установлено, что структуры  $Tl_2Ba_2Ca_{n-1}Cu_nO_{4+2n}$  различаются числом последова-

тельно расположенных слоев, составленных из плоских  $\text{CuO}_1$ -квадратов. При  $n=2$  и  $n=3$  между  $\text{Cu-O}$ -слоями нет атомов кислорода (они располагаются выше и ниже наружных  $\text{Cu-O}$ -слоев на расстоянии 2,5 Å от соответствующих атомов меди).

Анализ показал, что слои  $\text{Cu-O}$  не являются совершенными плоскостями, им свойственна волнистость, сильнее выраженная для висмутовых образцов, чем для таллиевых (у последних при  $n=3$  наиболее равный средний слой). Из-за этого, по-видимому, в первых достигнуто значение  $n=2$ , а во вторых —  $n=3$ .

Авторы работы связывают сверхпроводимость с электрон-фононным механизмом.

Итак, в результате исследований сделан вывод, что для увеличения  $T_K$  следует увеличивать число слоев в каждой из соответствующих «стопок». Если зависимость  $T_K$  от  $n$  окажется линейной, то сверхпроводимость при комнатной температуре будет достигнута при  $n=10$ .

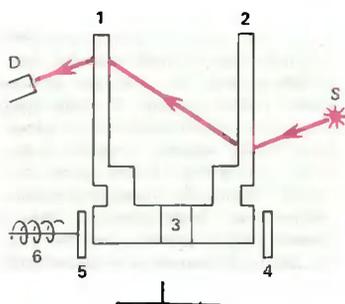
Science. 1988. Vol. 240. P. 631—633 (США)

Физика

## Насколько совершенны реальные кристаллы!

Монокристаллы (главным образом кремния) с максимальной степенью структурного совершенства используются в качестве эталонов в рентгеновской и нейтронной оптике. Степень их совершенства часто определяет границы возможностей оптических приборов.

Существующие методы оценки совершенства кристаллов, как правило, основаны на измерении ширины пиков интенсивности при брэгговской дифракции рентгеновских лучей. Как известно, идеальный кристалл представляет собой дифракционную решетку. Условие отражения падающего монокроматического пучка с длиной волны  $\lambda$  от семейства кристаллических плоскостей определяется формулой Вульфа —



Упрощенная схема рентгеновского дифрактометра: S — источник, 1, 2 — дифракционные пластины, 3 — зазор, 4, 5 — сжимающие контакты, 6 — обмотка электромагнита, D — детектор.

Брэгга  $2d \cos \theta = n\lambda$ , где  $d$  — расстояние между плоскостями,  $\theta$  — угол падения (отражения) пучка,  $n$  — целое число. Зависимость интенсивности отраженного излучения  $I$  от угла  $\theta$  должна содержать ряд бесконечно узких пиков, соответствующих попаданию различных семейств плоскостей в отражающее положение. На самом деле, из-за неидеальности кристаллической решетки на кривой  $I(\theta)$  наблюдаются максимумы конечной ширины. Эта ширина и может служить мерой несовершенства кристалла. В достаточное совершенных кристаллах ширина максимумов настолько мала, что ее измерение обычными дифрактометрами невозможно, поэтому проводятся более тонкие эксперименты, позволяющие измерить кривую  $I(\theta)$  с высоким разрешением по углу  $\theta$ .

Наилучшего результата достигли М. Дойч (M. Deutsch; Бар-Иланский университет, Израиль), М. Харт и С. Каммингс (M. Hart, S. Cummings; Манчестерский университет, Великобритания). Они разработали особый рентгеновский дифрактометр (см. рис.), в котором две тонкие параллельные дифракционные пластины и подставка с пружинящим зазором были вырезаны из одного монокристалла кремния, отличающегося высокой степенью структурного совершенства. Рентгеновский луч от источника претерпевал на пластинах двойную брэгговскую дифракцию и регистрировался детектором. При пропускании тока через обмотку электромагнита контакты сжи-

мали подставку дифрактометра, зазор между пластинами уменьшался, в результате они разворачивались на небольшой угол  $\beta$  относительно вертикальной оси прибора. При этом кристаллические плоскости отклонялись от идеального отражающего положения  $\theta_0$  на угол  $\beta = \theta - \theta_0$ . Зависимость измеряемой интенсивности  $I$  от угла  $\beta$  повторяла форму дифракционной линии с максимумом при  $\theta = \theta_0$  (т. е.  $\beta = 0$ ). Метод позволяет измерить зависимость  $I(\beta)$  с угловым разрешением  $10^{-9}$  рад. Кривые  $I(\beta)$  имели лоренцеву форму с полушириной около  $54 \cdot 10^{-9}$  рад.

Столь малую ширину дифракционных линий авторы связывают с мозаичным строением кристалла кремния. Предполагается, что он разделен на небольшие блоки с идеальной решеткой, сами же блоки разориентированы друг относительно друга на угол  $54 \times 10^{-9}$  рад. Такова структура одного из наиболее совершенных кристаллов. По мнению авторов, повышение точности измерения интенсивности (за счет, например, увеличения времени эксперимента) позволит регистрировать уширение дифракционных линий до  $10^{-10}$  рад.

Applied Physics Letters. 1987. Vol. 18. № 11. P. 1410—1412 (США).

Физика

## Лазер направляет электрический разряд

Э. И. Асиновский, Л. М. Василяк и О. П. Нестеркин (Институт высоких температур АН СССР) исследовали распространение электрического разряда вдоль лазерного луча и показали возможность изменения направления разряда в плоскости, перпендикулярной линиям максимальной напряженности электрического поля. В отсутствие лазерной искры вблизи высоковольтного электрода наблюдалась лишь светящаяся корона. Лазерная искра длиной от 10 до 50 см, созданная фокусировкой излучения неодимового лазера, вызывала распространение электрического раз-

ряда. Максимальная длина замыкаемого разряда промежутка составила 40 см при энергии лазера 70 Дж.

Исследование разряда проводилось путем измерения напряжения в различных точках его траектории. Анализ результатов показал, что вдоль лазерной искры разряд развивается в виде ионизирующей волны потенциала, аналогично волновому пробою в длинных трубках. Максимальная скорость распространения такой волны составила  $2 \cdot 10^{10}$  см/с. Авторы отмечают, что скорость распространения разряда увеличивалась при возрастании плотности энергии лазера. Они объясняют это низкой плотностью газа в канале лазерной искры.

С помощью лазерной искры был создан электрический разряд с ломаной траекторией. Два лазерных луча, направленных под прямым углом друг к другу, фокусировались линзами с фокусным расстоянием 50 см и создавали две перпендикулярные лазерные искры общей длиной  $\sim 20$  см, по которым распространялся электрический разряд. Вблизи точки поворота он двигался перпендикулярно линиям напряженности электрического поля, создаваемого высоковольтным электродом.

Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. Вып. 1. С. 41—44.

Физика

## Флуоресценция Пуанкаре

Группа исследователей из Парижского университета (Франция) предсказала, что в системе хорошо изолированных достаточно больших молекул должен наблюдаться необычный тип люминесценции. Поглотив квант ультрафиолетового излучения, молекула переходит в возбужденное состояние. Полученная ею энергия трансформируется в энергию колебаний молекулы, так что ее электронные возбуждения исчезают, т. е. имеет место безызлучательная релаксация. Альтернативный процесс — излучение на частоте поглощенного кванта — гораздо

менее вероятен. (Если бы молекула не была изолированной, энергия колебаний вскоре распределилась бы между всеми молекулами газа и перешла в тепло.) Изолированная молекула тоже может отдать энергию, испустив последовательность квантов инфракрасного излучения. Характерное время такого охлаждения около 3 с. За столь большое в молекулярных масштабах время успевает произойти обратная безызлучательная релаксация — переход энергии колебаний в энергию электронного возбуждения и излучение кванта с частотой, соответствующей переходу из возбужденного в основное состояние. Поглощение одного УФ-кванта может привести к испусканию нескольких квантов с такой частотой, поскольку возможны многократные возвраты системы на возбужденный уровень: квантовый выход люминесценции оказывается больше единицы. Авторы назвали этот тип люминесценции возвратной флуоресценцией, или флуоресценцией Пуанкаре.

Название связано с доказанной в 1890 г. французским математиком А. Пуанкаре теоремой о многократных возвратах изолированной системы в состояние, сколь угодно близкое к исходному. Хотя при люминесценции полного возврата в исходное состояние и не происходит, наличие определенная близость рассматриваемых явлений.

Physical Review Letters. 1988. Vol. 60. P. 920—921 (США).

Технология

## Алюминий-литиевые сплавы для авиации

Авиации нужны легкие и прочные материалы; традиционно в этом качестве использовались сплавы на основе алюминия, начиная со знаменитого дюралюминия, созданного в начале века. Однако, по оценкам экспертов, скоро алюминиевые сплавы вытеснят керамика, пластики и композиционные материалы. Правда, существует и такая точка зрения: в ближайшие десятилетия авиация все еще бу-

дет активно использовать алюминий-литиевые сплавы нового поколения.

Как известно, алюминий имеет гранцентрированную кубическую решетку, т. е. атомы Al расположены в углах и центрах граней кристаллических ячеек в форме куба. Низкая прочность и чрезмерная пластичность не позволяют использовать Al как конструкционный материал. Однако при добавлении нескольких атомных процентов Li удельный вес сплава снижается, а прочность резко возрастает. С открытия этого эффекта в начале 50-х годов и началась история Al-Li-сплавов.

Причина их высокой прочности была понята позже, когда появились электронная микроскопия с высоким разрешением и методы локального химического анализа. Выяснилось, что Li частично растворяется в Al, замещая его атомы в узлах решетки, другая же часть Li идет на образование так называемой  $\delta'$ -фазы, выделяющейся в твердом растворе в виде сферических частиц размером около 10 нм. Эта фаза представляет собой интерметаллид  $Al_3Li$  с упорядоченным расположением атомов в решетке: в углах элементарной ячейки — атомы Li, а в центрах граней — атомы Al. Частицы  $\delta'$ -фазы препятствуют скольжению дислокаций, которые вынуждены либо перерезать частицы, либо огибать их. И то, и другое требует дополнительных внешних усилий, поэтому пластичность сплава снижается. Одновременно затрудняется и распространение трещин. В результате сплав становится более стойким к разрушению.

В последние годы созданы Al-Li-сплавы с прекрасными механическими характеристиками, из которых, пожалуй, главная — отношение прочности к удельному весу. Успешно решаются и многие технологические проблемы: улучшение свариваемости сплавов, их защита от окисления и другие. В сплавы, кроме Li, вводят и другие элементы — Cu, Mg, Zr, — приводящие к выделению дополнительных упрочняющих фаз и повышению коррозионной стойкости. Дальнейшее улучшение их свойств требует не только со-

вершения технологии, но и решения ряда чисто научных проблем. Так, до сих пор не ясно, почему твердый раствор Al-Li, образованный из легких и мягких Al и Li, имеет более высокие модуль упругости и прочность, чем каждый из компонентов. По-видимому, это определяется особенностями межатомной связи Al-Li.

Пока же «Дуглас», «Бонинг» и другие известные авиационные компании планируют использовать Al-Li-сплавы в перспективных моделях гражданских и военных самолетов, в том числе для обшивки крыльев.

Welding Design and Fabrication. 1987. № 12. P. 29—31 (США).

Молекулярная биология

### Рестриктазы для РНК!

При исследовании структуры и функций нуклеиновых кислот широко используются ферменты. И чем выше их специфичность, тем больше информации можно извлечь из результатов эксперимента. Для ДНК обнаружены рестриктазы — ферменты с очень высокой специфичностью, разрезающие ДНК всего в нескольких точках, для которых характерна уникальная последовательность оснований. Заманчиво было бы иметь подобные высокоспецифичные ферменты и для РНК,

Фермент нуклеаза с химически привязанным олигонуклеотидным адресом расщепляет не всю РНК, а только 3—5 связей (показанных стрелками) в непосредственной близости от комплекса олигонуклеотид — РНК, который является замком, ограничивающим действие фермента.

но, к сожалению, они пока неизвестны.

В работе П. Шульца с соавторами (P. G. Schultz; Калифорнийский университет, США) предложен оригинальный способ заставить неспецифическую нуклеазу расщеплять не всю нуклеиновую кислоту (субстрат), а снабдить фермент «адресом», где надо проявить ферментативное действие, сузив тем самым его активность, и в итоге добиться высокой специфичности. Американские исследователи химическим путем «сшили» молекулу белка нуклеазы с небольшим олигонуклеотидом. Такой гибридный фермент выделен с помощью ионообменной хроматографии и стабилен в отсутствие ионов кальция. Олигонуклеотид, по мнению авторов, является «адресом» для фермента, так как образует с одним из участков субстратной РНК комплекс (своеобразный замок-молнию). Этот короткий комплекс на длинной молекуле РНК и является ограничителем для нуклеазы: фермент вынужден действовать только в области комплекса. Последовательность оснований олигонуклеотида зависит от того участка РНК, где предполагается расщепить нуклеиновую кислоту.

Способность гибридного фермента избирательно расщеплять РНК была исследована на примере однонитевой РНК, содержащей 59 нуклеотидов, и 14-членного олигонуклеотида, ковалентно связанного с нуклеазой.

Результаты опытов показали, что расщепление происходит в районе трех — пяти нуклеотидов, непосредственно примыкающих к «замку». Расщепление нуклеазой без «адреса», т. е. без пришитого олигонуклеотида, происходит неспе-

цифично и со значительно меньшей скоростью.

Работа американских авторов — первый пример рациональной модификации специфичности фермента.

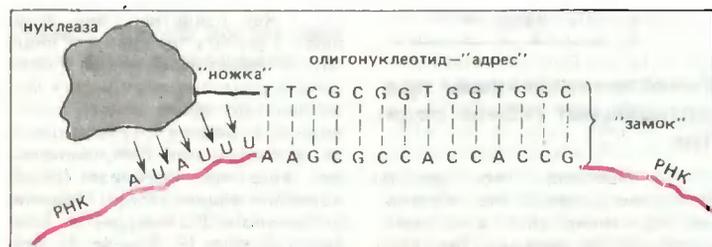
Journal of the Chemical Society. 1988. Vol. 110. № 5. P. 1615—1617 (США).

Генетика

### Полиплоидия и гибридизация амбистом

Представители североамериканских саламандр-амбистом известны у нас благодаря своим личинкам, способным размножаться, — аксолотлям. Менее известно, что некоторые виды амбистом могут скрещиваться в природе и давать плодуритое гибридное потомство. При этом образуются полиплоиды — особи с увеличенным числом хромосом. Группа исследователей из Университета Гуэльфа (Канада) обнаружила на о. Келлис в оз. Эри диплоидные (имеющие два гомологичных набора хромосом) *Ambystoma tigrinum* и *A. texanum*, представленные и самцами, и самками. Однако в каждом из пяти мест сбора материала находили либо тот, либо другой вид, но не оба вместе. Это связано с тем, что *A. texanum* встречается в подтопленных участках леса с глинистым субстратом, а *A. tigrinum* — в местах с известковыми выходами и в карьерах.

Тем не менее на острове обитают пять гибридных форм, представленных только самками (по крайней мере, самцы не найдены), изучение которых показало, что они являются полиплоидами. Интересно, что все эти гибриды содержат по меньшей мере один набор хромосом еще одного вида амбистом — *A. laterale*. Однако в чистом виде он на о. Келлис не встречен, возможно, он здесь просто редок. Одна из гибридных форм по составу генома (*A. laterale* × *texanum*) является диплоидной. Другие (*A. laterale* × *texanum* × *texanum*, *A. laterale* × *texanum* × *tigrinum*) — три-



плоиды, т. е. в их клетках каждая хромосома представлена не дважды, как у диплоидов, а трижды. Наконец, имеются и тетраплоидные гибриды, у которых в клетке каждая хромосома представлена четырежды.

Вероятно, между *A. tigrinum* и *A. laterale* обмен генами происходит реже, чем между этими видами и *A. figgrinum*. Изучение потомства гибридных самок показало, что оно не является продуктом партеногенеза (размножения без оплодотворения). Не исключено, что изредка образуются гибридные самцы или же гибридные самки спариваются с самцами «чистых» видов. В то же время гибридизация отрицательно сказывается на способности амбистом к размножению. Выживаемость в неволе личинок, полученных из икры гибридных самок, значительно ниже, чем от самок «чистых» видов. Предполагают, что в природе выживаемость гибридных личинок еще ниже из-за того, что они развиваются в одних водоемах с личинками *A. tigrinum*. Последние растут гораздо быстрее и склонны к пседанию как сородичей, так и личинок других амбистом.

Таким образом, систематика амбистом остается весьма сложной. Об этом свидетельствует и тот факт, что недавно описанный вид *A. pothagenes* не является самостоятельным. Эта форма генетически неоднородна и происходит от гибридов *A. laterale* × *A. tigrinum*.

Canadian Journal of Zoology. 1987. Vol. 65. P. 2188—2201 (Канада).

#### Биохимия

### Имитация онкогена

Хорошо известно, что одним из самых ранних откликов клетки на сигнал к вступлению в клеточный цикл деления является изменение концентрации водородных ионов, приводящее к повышению значения pH (защелачиванию внутриклеточной среды). Однако до сих пор не ясно, насколько обязательно это явление, так как существующие эксперименталь-

ные методы искусственного изменения pH повреждали клетки и не давали ясно интерпретируемых результатов.

Испанские биологи Р. Перона (R. Perona) и Р. Серрано (R. Serrano) исследовали эту проблему методами геномной инженерии. Они внедрили ген  $H^+$ -АТФазы (фермента, ответственного за перенос протона) дрожжей в фибробласты мышей и обезьян и получили клеточные линии этих млекопитающих с повышенным значением pH внутриклеточной среды, так как  $H^+$ -АТФаза «выкачивала» протоны из клетки. Экспрессия дрожжевого гена привела к тому, что у клеток появились типичные черты трансформации: они формировали культуру с плотностью, большей, чем у нормальных клеток; размножались в полужидком агаре; становились более округлыми и, самое главное, вызывали рост опухолей у голых мышей (не способных давать иммунный ответ). Чтобы подтвердить важность именно АТФазной активности, с помощью направленного мутагенеза были получены мутанты дрожжей с подавленной активностью этого фермента. Внедрение мутантных генов показало, что чем сильнее подавлена АТФаза, тем меньше трансформация клеток.

Авторы не исключают существования каких-то неизвестных механизмов взаимодействия дрожжевой АТФазы с клетками млекопитающих, но считают наиболее правдоподобным объяснение, по которому повышение внутриклеточного значения pH активирует размножение клеток, а ген  $H^+$ -АТФазы ведет себя как онкоген.

Nature. 1988. Vol. 334. № 6181. P. 438—440 (Великобритания).

#### Биология развития

### Гликозаминогликаны предотвращают гибель ооцитов

Известно, что ооциты (женские половые клетки) можно культивировать вне материнского организма. При этом

значительное количество ооцитов не успевают созреть и погибают, особенно в тех случаях, когда они отделялись от окружающих их фолликулярных клеток, выполняющих защитную и питательную функции. Исследователи из нескольких научных центров США и Японии высказали предположение, что фолликулярные клетки выделяют какие-то вещества, предотвращающие гибель ооцитов. В качестве критерия гибели ооцитов был выбран их распад — сегментация.

Обнаружено, что при доведении к ооцитам экстракта фолликулярных клеток сегментация подавлялась тем сильнее, чем выше была концентрация экстракта. Разделив экстракт на фракции с помощью хроматографии, исследователи обнаружили, что активностью обладали фракции, содержащие гликозаминогликаны — полимеры, состоящие из остатков уронновых кислот и гексоаминов. Добавление этих соединений к ооцитам вызывало подобный эффект подавления сегментации, что свидетельствует о роли именно гликозаминогликанов в этом явлении.

Авторы работы считают, что полученные результаты имеют в первую очередь практическую ценность, поскольку позволяют сделать более надежным получение жизнеспособных женских половых клеток, используемых в клиниках при искусственном оплодотворении.

Biology of Reproduction. 1987. Vol. 37. P. 371—376 (США).

#### Биология развития

### Когда включаются гены у человека?

Как известно, гены вступают в работу не сразу, а лишь спустя некоторое время после начала развития зародышей животных. До этого синтез необходимых белков осуществляется на матричной РНК, запасенной еще при оогенезе (образовании яйцеклеток). Недавно эмбриологи П. Брауде, В. Болтон и С. Мур (P. Braude, V. Bol-

ton, S. Moore; Кембриджский университет, Великобритания) выяснили, когда включаются гены у зародышей человека, о чем судили по появлению новых белков, определяя их радиоактивность. К развивающимся в искусственных условиях зародышам предварительно добавляли радиоактивную аминокислоту — <sup>35</sup>S-метионин. Обнаружено, что, начиная с 4-клеточной стадии, у зародышей синтезировались 5 новых белков, а синтез «старых» белков с молекулярной массой 36 и 50 кД прекращался. Однако, у 8-клеточных зародышей синтез одного из пяти новых белков останавливался, но синтезировались белки с молекулярными массами 45 и 75 кД. Если к эмбрионам добавляли α-аманитин, подавляющий транскрипцию (биосинтез молекул РНК на соответствующих участках ДНК), то синтезировались лишь белки, характерные для 4-клеточного «возраста», а развитие эмбрионов останавливалось на стадии 4 или 8 клеток. Исходя из того, что α-аманитин подавлял синтез поздних белков и не влиял на синтез ранних, можно заключить, что деградация мРНК, запасенной при созревании яйцеклеток, происходит одновременно с включением генов и независимо от этого процесса. Таким образом, оценку состояния генетического аппарата зародышей необходимо проводить не ранее 4- или 8-клеточной стадии развития. Это должно, по мнению авторов, учитываться в клиниках при проведении оплодотворения в искусственных условиях при лечении бесплодия женщин.

Nature. 1988. Vol. 332. № 6163. P. 459—460 (Великобритания).

Физиология

**Новый способ искусственного оплодотворения**

Одна из распространенных причин бесплодия у женщин заключается в непроходимости фаллопиевых труб для яйцеклетки. В середине 70-х годов был разработан метод искусственного оплодотворе-

ния: яйцеклетки извлекают хирургическим путем и помещают в питательную среду со спермиями. После оплодотворения яйцеклетку переносят на несколько суток в ультратермостат, продуваемый смесью газов, и после этого возвращают в матку матери.

Недавно группа французских эмбриологов под руководством С. Рану (С. Ranoux; клиника Королевского университета в Париже, Франция) разработала более простой и экономичный способ искусственного оплодотворения. Несколько яйцеклеток помещают вместе со спермиями в пластиковую трубочку, концы которой запаивают, а трубочку вводят во влагалище матери на двое суток; за это время происходит оплодотворение, вынимают трубочку, извлекают из нее эмбрионы и переносят в свежую порцию среды и вводят в матку матери. По результативности новый метод близок старому, зато почти в три раза дешевле. Авторы работы убеждены, что простота и дешевизна их метода позволит лечить бесплодие успешнее.

Fertility and Sterility. 1988. Vol. 49. № 4. P. 654—657 (США).

Биология

**Зачем нужны «белки теплового шока»!**

Установлено, что при повышении температуры выше физиологически допустимой в клетках животных начинают синтезироваться так называемые белки теплового шока, роль которых пока неясна. Поскольку развивающиеся мужские половые клетки — сперматозоиды — очень чувствительны к повышению температуры, группа биохимиков под руководством Р. Л. Аллена (R. L. Allen; Национальный институт здоровья штата Северная Каролина, США) выяснила, синтезируются ли в этих клетках белки теплового шока. Изолированные сперматозоиды мыши выдерживали около одного часа при температуре 42,5 °С и судили о появлении новых белков по ра-

диоактивной аминокислоте <sup>35</sup>S-метионину, добавленному в качестве зонда. Было обнаружено, что в сперматозоитах синтезировался белок с молекулярной массой 70 кД (обозначенный Р70), по своим биохимическим свойствам похожий на известный для других клеток белок теплового шока hsp70, но отличный от него аминокислотной последовательностью. Поскольку Р70 синтезировался при повышении температуры не на протяжении всего периода развития сперматозоитов, а лишь на стадиях, непосредственно предшествующих образованию зрелых половых клеток, авторы работы считают, что белки теплового шока синтезируются для поддержания процесса дифференцировки клеток в неблагоприятных условиях.

Molecular and Cellular Biology. 1988. Vol. 8. № 2. P. 828—832 (США).

Зоология

**Черепаха — «шпагоглотательница»**

На свете лишь около десятка позвоночных питаются губками, и среди них — гигантская морская черепаха бисса (*Eretmochelys imbricata*). Питание этого животного изучала А. Мейлар (А. Meylar; Нью-Йоркский музей естественной истории, США).

Губки при всем их обилии — малоприtractive пища, и прежде всего из-за спикул — известковых или кремниевых иголок, образующих их скелет. Спикулы же могут составлять до 67 % сухой массы губок. Кроме того, многие губки выделяют ядовитые вещества. Но умеющий преодолевать эти трудности хищник голодным уже не останется.

Губок периодически поедают разные водные черепахи, но только биссу (независимо от ее пола и возраста) можно считать специализированным потребителем этого корма: губки составляют 95,3 % общей сухой массы содержимого ее желудка. При этом в пищеварительных трактах биссы найдены предста-

вители лишь 3 из 13 известных отрядов губок, но среди них есть и сильно ядовитые. Возможно, ядовитые метаболиты губок были причиной известных случаев массового отравления людей при употреблении в пищу мяса биссы. Сами биссы, по видимому, от этого яда не страдают. Не обращают внимания они и на спикулы — эти по сути стеклянные иглолочки длиной до 5 мм наполняют кишечник биссы и образуют основную массу экскрементов. Интересно, что у биссы нет никаких морфологических адаптаций, предохраняющих ткани от спикул, и в стенках кишечника обнаружено большое количество воткнувшихся иглолочек.

Как основной потребитель губок бисса играет важную роль в биоценозах коралловых рифов (где концентрируются губки). Наблюдаемое сокращение численности биссы из-за их чрезмерного промысла грозит нарушением равновесия в этих сложных экосистемах.

Science. 1988. Vol. 239. № 4838. P. 393—395 (США).



Охрана природы

## Тюлень-монах возвращается

Средиземноморский тюлень-монах (*Monachus monachus*) принадлежит к числу 12 самых редких на Земле видов животных. Вероятно, их осталось менее 500 особей, причем колонии сильно разобщены и разбросаны по всему Средиземному морю и вдоль Атлантического побережья Северо-Западной Африки. Во многих странах рыбаки продолжают уничтожать тюленей, считая их своими конкурентами. Туристы часто нарушают покой лежбищ, препятствуя размножению и выведению потомства.

С тем большим удовлетворением встретила общественность прибытие на самолете из Голландии в Грецию двух молодых тюленей-монахов — Дмитрия и Тео. Этому событию предшествовала следующая история. В конце 1987 г. греческие

крестьяне — жители о-вов Северные Спорады (Эгейское море), нашли на берегу двух детенышей. Они были сильно истощены, а в Греции не нашлось ни подходящего бассейна, ни специалистов, способных их выводить. И тюленей отправили в Морской центр спасения, давно действующий в голландском городке Питербюрен. Там к ним прикрепили группу зоологов и ветеринаров под руководством известного специалиста по морским млекопитающим П. Рейнерса (P. Reijners).

Забота и уход сделали свое дело, и через полгода подросшие тюлени смогли спокойно перенести далекий путь домой. В день их встречи вбоды, непосредственно омывающие Северные Спорады, были провозглашены первым в стране Национальным морским парком, где приняты все меры к охране животного и растительного мира.

Прикрепив к возвращенным зверям миниатюрные радиопередатчики, их выпустили на волю. Вскоре выяснилось, что Дмитрий сразу же вместе с другим тюленем-монахом ушел в открытое море, а Тео первое время оставался в одиночестве.

Некоторые экологи считают, что созданный в Эгейском море Национальный морской парк слишком мал для этих зверей. Наблюдения за ними с помощью прикрепленных радиопередатчиков покажут, так ли это.

New Scientist. 1988. Vol. 118. № 1612. P. 29 (Великобритания).



Экология

## Глобальное загрязнение среды микроэлементами

Современный научно-технический прогресс в значительной мере, как известно, базируется на утилизации накопленных природой топливно-энергетических и минерально-сырьевых ресурсов. Активное антропогенное вмешательство в природные системы ведет к прогрессирующему загрязне-

нию нашей планеты всевозможными промышленными и бытовыми отходами, в том числе токсичными, включая микроэлементы. Их источники — миллионы тонн ежегодно сжигаемого топлива, доменное производство, пирометаллургия, цветная промышленность, внесенные в почву минеральные удобрения и т. д.

Известные специалисты в области охраны природной среды Дж. О. Нриагу (J. O. Nriagu; Национальный институт водных ресурсов в Берлингтоне, Онтарио, Канада) и Дж. М. Пацйна (J. M. Pacyna; Институт исследования загрязнения атмосферы, Лиллестром, Норвегия) на основе многолетних систематических наблюдений рассчитали средние величины глобальных антропогенных потоков токсичных микроэлементов в воздух, воду и почву.

## Средние уровни загрязнения, млн т/год

Элемент	Воздух	Вода	Почва
Zn	131,88	226	2245
Cu	35,37	112	2073
Pb	332,35	138	1354
Ni	55,65	113	412
As	18,82	41	97
Mo	3,27	11	102
Se	3,79	41	42
Sb	3,51	18	57
V	8,6	12	67
Cd	7,57	9,4	28
Hg	3,56	4,6	12

Общая токсичность приведенных в таблице микроэлементов значительно превышает суммарную токсичность радиоактивных и органических загрязнений, которая, в свою очередь, угрожающе растет.

Активная циркуляция накапливающихся микроэлементов в природных средах и неизбежно — по пищевым цепям создает, по мнению специалистов, серьезную угрозу для здоровья современного человека и грядущих поколений.

Nature. 1988. Vol. 333. № 6169. P. 134—139 (Великобритания).

Геология

**119-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюши»**

Этот рейс проходил в декабре 1987 — феврале 1988 гг. в южной части Индийского океана. На подводном плато Кергелен, Восточно-Кергеленском хребте и на дне залива Прюдс (всего на 11 станциях) были пробурены 22 скважины.

В северной части плато Кергелен бурение предпринято для изучения истории антарктической конвергенции (опускания антарктических вод в зоне южного полярного фронта) и природы выделенного по сейсмоакустическим данным отражающего горизонта «А». На станции 736 вскрыт мощный слой (371 м) верхнеплиоцен-четвертичных диатомовых илов. На станции 737 описаны шесть литолого-стратиграфических единиц: карбонатно-пемзовые пески и диатомовые илы плейстоцена (горизонт 0—1,5 м); диатомовые илы верхнего миоцена — нижнего плиоцена (1,5—244,1 м); переслаивающиеся диатомовые и кокколитовые илы среднего — верхнего миоцена (244,1—306,6 м); песчанистый порцелланитовый алеврит с примесью вулканогенного песка среднего миоцена (306,6—312,8 м); карбонатная глина верхнего эоцена — нижнего миоцена (312,8—677,6 м) и глинистый известняк с кремнями, средний эоцен (677,6—715,5 м). В этом разрезе горизонт «А» не проявился. Выяснилось, что современное положение зоны антарктической конвергенции установилось 5,5—4,5 млн лет назад.

На южной части плато Кергелен (станция 744) вскрыт весь осадочный чехол — 480 м и свыше 50 м базальтового фундамента. Изученная толща с тулона до середины верхнего миоцена представлена карбонатами: шельфовыми верхнемеловыми и батинальными палеоген-миоценовыми, в которых спорадически встречаются кремни. Между мелом и палеогеном перерыв отсутствует. Самые верхние слои миоцена и вся плейстоценовая толща сложены диатомовыми илами. Судя по петрографиче-

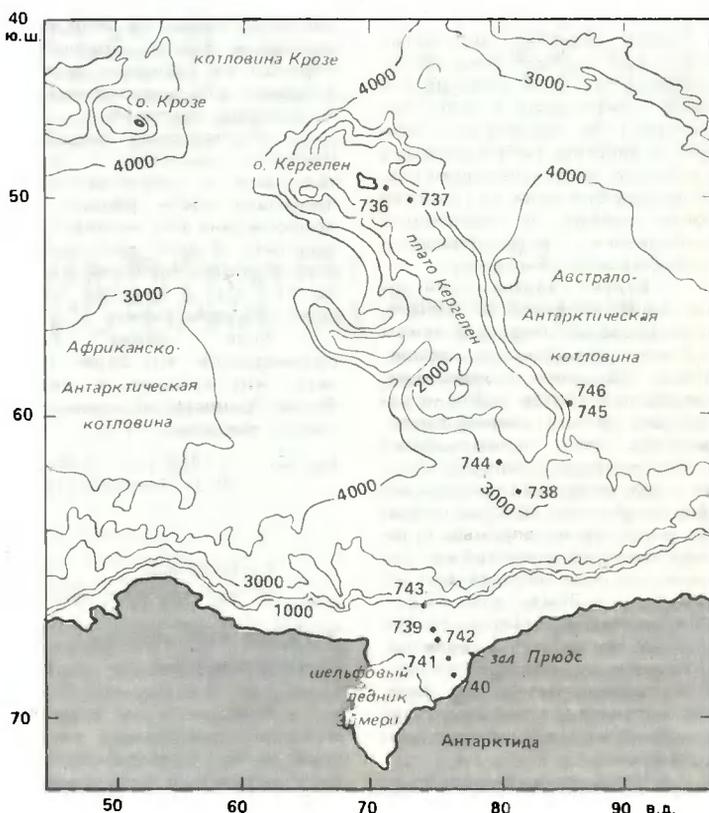
ским данным и материалам К—Аг-датирования базальтов, драгированных поблизости французскими исследователями, не исключено, что базальты этого района (станция 738) — субэвральные или очень мелководные, излились в барреме и отделены от переслаивающихся их осадков перерывом в 20 млн лет.

На Восточно-Кергеленском хребте (станции 745 и 746) вскрыт 280-метровый разрез верхнемиоцен-четвертичных диатомовых илов, циклически переслаивающихся с диатомовыми глинами; встречается и грубообломочный материал ледового разнosa. На станции 745 рост его концентрации отмечен в интервале 5—4 млн лет назад и 1,2 млн лет назад. Время зарождения Восточно-Кергеленского

хребта по-прежнему точно неизвестно.

Бурение в заливе Прюдс должно было дать информацию о начале и ходе оледенения Антарктиды, о возрасте континентальных отложений, подстилающих марино-гляциальные осадки. Наиболее полные разрезы получены на станциях 739 и 742, где вскрыто 300—315 м различного типа валунных глин с примесью морских диатомей середины эоцена (?) — четвертичного возраста. Судя по палеонтологическим и литологическим данным, морское оледенение началось здесь 35 млн лет назад. Под ледниково-морскими осадками верхнего плиоцена — плейстоцена на станции 741 обнаружено 80 м аллювиальных песчаников верхнего мезозоя (?) — эоцена, а на станции 740 — пестроцветные континентальные песчаники и конгломераты, переслаивающиеся с алевролитами и глинами. Эта 160-метровая толща, возможно, коррелирует с отложениями пермского воз-

**Расположение станций глубоководного бурения в 119-м рейсе «ДЖОЙДЕС Резолюши» (цифры на изобатах — глубина океана, м).**



раста, известными в грабене Ламберта, в 360 км к юго-западу от скважины.

Научными руководителями этого рейса были Дж. Бэррон (J. Barron; Геологическая служба США, Менло-Парк, штат Калифорния) и Б. Ларсен (B. Larsen; Технический университет в Люнбю, Дания).

Nature. 1988. Vol. 333. № 6171. P. 303—304 (Великобритания).

## Геология

### Нефть глубинных недр и новая «биосфера»

Т. Голд (T. Gold; член Королевского общества Швеции) выдвинул гипотезу, согласно которой глубоко в недрах Земли находятся огромные запасы углеводородов, существующие там с момента формирования нашей планеты. В подтверждение этой гипотезы приводится, в частности, наличие в зонах развития подводных гидротерм особого вида теплолюбивых бактерий, которые для своей жизнедеятельности используют не солнечную энергию, а энергию выбрасываемых из земных недр углеводородов. Подобные бактерии, по гипотезе Голда, создают в сочетании с глубинными углеводородами своеобразную «биосферу».

Будучи издавна законсервированы в глубинах Земли, углеводороды под действием высоких давлений и температур образуют соединения, входящие в состав нефти, а затем они на протяжении геологических эпох перемещаются к поверхности. Гипотеза Голда — альтернатива современной теории, согласно которой нефть, газ и другие ископаемые углеводороды формируются из биомассы, которая образовалась на поверхности Земли, а затем была захоронена, попав в условия высоких температур и давлений. Основным подтверждением этой теории служит тот факт, что углеводороды содержат соединения биологического происхождения.

Недавно на конференции, организованной журналом «Na-

ture», Голд сообщил об экспериментальных фактах, подтверждающих его гипотезу. Министерство энергетики Швеции для ее проверки выделило средства на бурение скважины глубиной 6 км. Извлеченные из забоя образцы нефти по химическим свойствам оказались близки к нефти и сланцам, расположенным вблизи поверхности, что, по мнению Голда, подтверждает его предположение о перемещении углеводородов из глубоких недр наверх. Голд наблюдал также характерные профили распределения различных углеводородов по глубине скважины: например, относительно легкий метан находится ближе к поверхности по сравнению с более тяжелым пентаном, наблюдаемым на самых глубоких уровнях. Кроме того, в извлеченном с глубины 6 км магнетите были обнаружены органические вещества, о существовании которых на столь большой глубине до сих пор не было известно. Присутствие этой органики Голд также связывает с перемещением вещества новой «биосферы» из недр к поверхности Земли. Полученные образцы им переданы в лабораторию, специализирующуюся на изучении бактерий.

Министерство энергетики Швеции совместно с правительством и представителями промышленности решили для продолжения этих исследований выделить 4 млн долларов на бурение более глубокой скважины (7,5 км) в том же месте, где пробурена первая.

Если теория Голда подтвердится, это будет означать, что глубоко в недрах Земли существуют громадные запасы топлива.

New Scientist. 1988. Vol. 118. № 1618. P. 31 (Великобритания).

## Геотектоника

### Загадка неглубоких землетрясений

Известно, что центры спрединга (растяжения земной коры на дне океанов) нередко пересекаются трансформными разломами, вдоль которых со-

седствующие плиты движутся в противоположных направлениях; возникающее при этом трение приводит к землетрясениям. Установлено, что подобные землетрясения происходят обычно на относительно небольшой глубине, где температура не превышает 400 °С. Причина такого ограничения в условиях (при том, что другие типы разломов проникают значительно глубже в земную кору, где температура достигает 800 °С) до последнего времени оставалась неясной.

Этот вопрос изучали Э. Раттер и К. Броуди (E. Rutter, K. Brodie; геологический факультет Имперского колледжа в Лондоне). Они обратили внимание на тот факт, что океанические плиты земной коры состоят почти исключительно из базальтовых пород, которые в зонах трансформных разломов отличаются большой трещиноватостью. Морская вода циркулирует по трещинам, в результате чего происходит гидратация некоторых пород с образованием серпентинитов.

Исследователи провели лабораторный эксперимент, в ходе которого образцы серпентинитов подвергались давлению при различных температурах. Оказалось, что заметная деформация таких пород возникает как раз при 400 °С. Участки, подвергающиеся наибольшему давлению, вновь превращаются в мелкие кристаллы оливина (прежде замещенного под воздействием гидротермальных растворов серпентинитом). Кристаллы оливина диффундируют из области высокого давления в область низкого — этот процесс подобен тому, что проис-

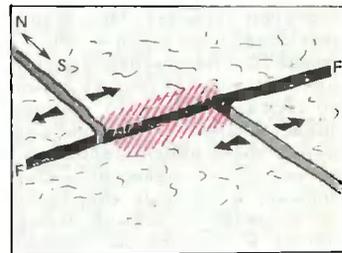


Схема трансформного разлома (F), пересекающего центр спрединга.

ходит во льду, тающем под нажимом коньков. Именно присутствие серпентинитов, считают авторы, и позволяет некоторым трансформным разломам развиваться всего при температуре 400 °С, т. е. на малых глубинах.

New Scientist. 1988. Vol. 119. № 1620. P. 35 (Великобритания).

Океанология

**«Железная шапка» на горе Марсили**

Поле гидротермальных отложений открыто на горе Марсили (Тирренское море) во время 12-го рейса научно-исследовательского судна «Витязь» Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР, проходившего в 1986 г. (начальник экспедиции В. С. Ястребов)<sup>1</sup>.

Эта подводная гора — вулканического происхождения. Глубина моря над ее вершиной — 481 м (минимальная), над окружающей абиссальной равниной — 3400 м. Образцы пород, поднятые дочереплателями, драгами, трубками-пробоотборниками, а также при погружениях подводного обитаемого аппарата «Аргус», показали, что на вершине горы осадки присутствуют лишь в «карманах» вулканических пород — свежих известково-щелочных базальтов. Представлены они в основном фораминаферовыми песками и илами с большим количеством раздробленного вулканического материала. Осадочные отложения окружающих гору равнин — это кокколито-глинистые илы.

По данным Е. М. Емельянова (Атлантическое отделение Института океанологии), руководителя отряда осадочных пород в 12-м рейсе «Витязя», поле гидротермальных железистых отложений, обнаруженное на вершине горы, на глыбах базальтов, занимает площадь около 1 км<sup>2</sup>. Железородные бурые и красные (окисные) осад-

ки подняты с глубины 481—600 м. Здесь они обнажаются на поверхности или перекрыты тонким (10—20 см) слоем фораминаферовых илов голоценового возраста. С глубины 490—510 м подняты гидротермально измененные красновато-черные лавы. В этих рудных отложениях, кроме больших количеств железа — до 32,4 %, установлены высокие содержания Mn —

формы контролирует растворимость гидролизатов. Так, Al и Fe существуют преимущественно в виде нейтральных форм — Al(OH)<sub>3</sub> и Fe(OH)<sub>3</sub>, растворимость которых очень низка. Галлий же, в отличие от этих элементов, находится главным образом в виде комплексного аниона — Ga(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>, растворимость которого намного выше. Этим и объясняется его более высокая концентрация в воде по сравнению с расчетной.

По данным Орианс и Бруланда, в Северной Атлантике концентрация растворенного галлия в верхнем тысячеметровом слое на порядок выше, чем в северо-западной части Тихого океана. Обусловлено это различиями в интенсивности поступления галлия в океаны. Поставка элементов-гидролизатов осуществляется через атмосферу и с речным стоком. В северную часть Атлантического океана приносится с пассатами огромное количество пыли из Сахары; кроме того, велик сток в Мексиканский залив, откуда обогащенные галлием воды переносятся Гольфстримом на север. В Тихий же океан терригенный материал поступает в значительно меньшем объеме. Nature. 1988. Vol. 332. № 6166. P. 717—719 (Великобритания).

годы интерес к советскому периоду осмыслению пройденного и видеть истинную картину развития лет, знать работы своих старших, размышляют над научными и, периоды культа личности и застою живо отреагировал журнал, АН СССР. Здесь публикуются из-за цензурных соображений, я, повлиявшие на судьбы нашей и многоаспектный, затрагивающий рности до наших дней — во все так сказать, узковедомственным у удалось прорвать эту ограничен ассматривать жизнь науки и техни

а то что журнал выходит лишь подписке, его стали читать и вни, но и специалисты в конкретных бовательность к нему.

отклики на первый и второй номер 8 г. ученых разных профессий — публикаций журнала и в сумме :ом.

Геохимия

**КУЛЬТУРА И ЛИ В ИСТОРИИ НА**

**Вулканы и мышьяк**

В воде небольших заливов между о. Санторин и расположенным поблизости от него крошечным островком Каймени содержится в 3—8 раз больше мышьяка, чем в обычной морской воде Эгейского моря. Подводные исследования показали, что здесь на дне активно идет процесс зарождения нового вулкана. Он-то и извергает большое количество мышьяка.

Геохимики Д. Кронан (D. Cronan; Имперский колледж в Лондоне) и С. Варнавас (S. Varnavas; Университет в Патрах, Греция), проведя анализ воды в заливах и пород дна, установили, что у самого берега вода имеет особо высокую кислотность, что способствует осадению мышьяка. В заливах есть

Член-корреспондент АПН СССР  
В. П. Зинченко  
Москва

ласти физиологии: «Жив дух и много еще моральной силы и жизни», — комментировал Вавилон (№ 1, с. 49). Эту же фразу хочется повторить по поводу героев целого ряда публикаций журнала, отражающих сложные, порой трагические периоды в жизни не только отдельных ученых, но и целых наук.

Жив был дух у П. А. Флоренского в лагере на Соловках, откуда он писал сыну К. П. Флоренскому рекомендации к его работе с В. И. Вернадским.

<sup>1</sup> О биологических работах этого рейса см.: Келлер Н. Б. Донная фауна океанических поднятий // Природа. 1988. № 8. С. 80—81.

места, где его концентрация в донных осадках достигает очень больших значений — 300 частей на 1 млн.

Теперь проясняется, почему вокруг некоторых древних давно погасших вулканов наблюдаются большие скопления мышьяка: они извергались, когда еще были на морском дне, а выброшенные ими вещества взаимодействовали с водой так же, как это происходит сейчас около Санторина. Помимо георетического это открытие имеет и немалое практическое значение: сосредоточение больших скоплений мышьяка подсказывает геологам, что рядом могут находиться крупные месторождения металлических руд.

New Scientist. 1988. Vol. 119. № 1626. P. 32 (Великобритания).

#### Метеорология

### Эль-Ниньо и снежный покров Евразии

Многие метеорологи и океанографы причиной образования Эль-Ниньо считают крупномасштабный обмен энергией и влагой между акваторией Тихого и Индийского океанов и атмосферной массой над ней. Изучая данную проблему, комплексная группа специалистов из Гамбургского университета (ФРГ) и Скриппсовского океанографического института (Ла-Холья, штат Калифорния, США), возглавляемая Т. П. Барнеттом (Т. Р. Barnett), указала еще на один фактор, остававшийся до сих пор не рассмотренным.

Из анализа математических моделей Эль-Ниньо следует, что на развитие этого явления влияет обилие снега на Евразийском материке. В годы, когда снежный покров здесь превышает среднюю многолетнюю величину, весной образуется много талой воды, что задерживает прогрев суши и ослабляет обычный летний муссон. В годы слабых муссонов Эль-Ниньо возникает значительно чаще. Таким образом, не исключено, что толщина снежного покрова в глубине Сибири мо-

жет влиять на образование теплого течения в центре Тихого океана.

Science News. 1988. Vol. 133. № 6. P. 89 (США).

#### Палеонтология

Голд подтверждает его предположение о перемещении углеводородов из глубоких недр наверх. Голд наблюдал также характерные профили распределения различных углеводородов по глубине скважины: например, относительно легкий метан находится ближе к поверхности по сравнению с более тяжелым пентаном, наблюдаемым на самых глубоких уровнях. Кроме того, в извлеченном с глубины 6 км магнетите были обнаружены органические вещества, о существовании которых на столь большой глубине до сих пор не было известно. Присутствие этой органики Голд также связывает с перемещением вещества новой «биосферы» из недр к поверхности Земли. Полученные образцы им переданы в лаборатории, специализирующиеся на изучении бактерий.

Министерство энергетики Швеции совместно с правительством и представителями промышленности решили для продолжения этих исследований выделить 4 млн долларов на бурение более глубокой скважины (7,5 км) в том же месте, где пробурена первая.

Если теория Голда подтвердится, это будет означать, что глубоко в недрах Земли существуют громадные запасы топлива.

New Scientist. 1988. Vol. 118. № 1618. P. 31 (Великобритания).

#### Геотектоника

### Загадка неглубоких землетрясений

Известно, что центры спрединга (растяжения земной коры на дне океанов) нередко пересекаются трансформными разломами, вдоль которых со-

#### Археология

### Проба воздуха из пирамиды Хеопса

Когда египетско-американская группа египтологов приступила в 1987 г. к бурению подземной скважины рядом с пирамидой Хеопса, ученые, помимо прочего, надеялись узнать, «чем дышал» фараон, т. е. взять пробу воздуха, «запечатанного» жрецами в пирамиде 4600 лет назад. Надежде этой не суждено было осуществиться: опущенная в 1988 г. в скважину видеокамера показала... живого жука, бодро карабкающегося по доскам разрушающегося деревянного судна, на котором его владелец, захороненный неподалеку, должен был отправиться в потусторонний мир.

Анализ показал, что воздух в захоронении мог благодаря многочисленным порам в известняковых породах, слагающих стены и потолок камеры, свободно перемешиваться с наружным воздухом, и возраст его не превышает одного года. С этой стороны ученые постигла неудача, зато подтвердилось нахождение в гробнице судна. Аналогичный корабль длиной 43 м был обнаружен поблизости еще в 1954 г.; ныне он занимает почетное место в музее рядом с пирамидами. К сожалению, новая находка сохранилась существенно хуже: дерево подверглось значительному разложению, так что судно потеряло около 4 т — примерно 10 % общей своей массы. В результате содержание в погребальной камере двуокси углерода, продукта распада, почти вдвое превышает ее обычную концентрацию в атмосферном воздухе.

Не совсем ясно, почему одно деревянное судно, пролежавшее в аналогичных условиях более 4,5 тыс. лет, сохранилось, а другое — сильно разрушилось.

Science News. 1988. Vol. 133. № 14. P. 217 (США).

# МЫСЛИ ПО ПОВОДУ ЖУРНАЛА "ВОПРОСЫ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ"

Обострившийся в последние годы интерес к советскому периоду нашей истории охватывает все сферы жизни. Потребность в новом осмыслении пройденного пути отчетливо ощущают и ученые-естественники. Они хотят видеть истинную картину развития своей науки, не искаженную в угоду конъюнктуре разных лет, знать работы своих старших коллег, ошельмованных и погибших в эпоху сталинских репрессий, размышляют над научными идеями и добрыми профессиональными традициями, утраченными в периоды культа личности и застоя.

На этот духовный настрой живо отреагировал журнал, издаваемый Институтом истории естествознания и техники АН СССР. Здесь публикуются архивные материалы, которые раньше не могли быть напечатаны из-за цензурных соображений, выявляются полузабытые яркие имена, полнее освещаются события, повлиявшие на судьбы нашей науки.

В целом же это журнал многоаспектный, затрагивающий разные периоды истории научно-технических знаний — от древности до наших дней — во всех регионах мира. Но если два года тому назад он был еще, так сказать, узковедомственным, нацеленным на довольно-таки частные проблемы, то теперь ему удалось прорвать эту ограниченность. Он стал пропагандировать гуманитарный стиль мышления, рассматривать жизнь науки и техники в широком общесоциальном и культурном контексте.

В результате, несмотря на то что журнал выходит лишь раз в три месяца и распространяется исключительно по подписке, его стали читать и обсуждать не только историки науки, для которых он предназначен, но и специалисты в конкретных областях науки и техники. Вместе с престижем журнала растет и требовательность к нему.

Мы предлагаем читателям отклики на первый и второй номера журнала «Вопросы истории естествознания и техники» за 1988 г. ученых разных профессий — психолога и физика, рожденные прочтением совсем различных публикаций журнала и в сумме выражающие то, что принято называть общественным резонансом.

## КУЛЬТУРА И ЛИЧНОСТЬ В ИСТОРИИ НАУКИ

Член-корреспондент АПН СССР

**В. П. Зинченко**

Москва

И. П. Павлов любил повторять, что факты — воздух ученого. А о том, что не меньшую, если не большую, роль в деятельности представителей науки играют их культура и личность, напоминать тогда не приходилось. Это разумелось само собой. Об этом подумалось, когда я встретился в журнале с реакцией Н. И. Вавилова на «собрание ученого Петрограда» в ноябре 1922 г. в связи с докладом Павлова об итогах 20-летних работ в об-

ласти физиологии: «Жив дух и много еще моральной силы и жизни», — комментировал Вавилов (№ 1, с. 49). Эту же фразу хочется повторить по поводу героев целого ряда публикаций журнала, отражающих сложные, порой трагические периоды в жизни не только отдельных ученых, но и целых наук.

Жив был дух у П. А. Флоренского в лагере на Соловках, откуда он писал сыну К. П. Флоренскому рекомендации к его работе с В. И. Вернадским.

Эти письма — сгустки мысли по широкому кругу проблем.

О моральной силе и жизни думаешь, читая материалы, связанные со 100-летием Н. И. Вавилова, выступления участников «Круглого стола», посвященного страницам истории советской генетики и их отражению в литературе последних лет. Особенно потрясают воспоминания одного из замечательных героев 3-ой истории И. А. Рапопорта, открыто сражавшегося с лысенковщиной.

Его выступление — не требование реванша, а забота о деле, о науке, о стране, о здоровье народа. Ведь, по убеждению Вавилова, накапливается не только ум, но и глупость. Последнюю пора начать преодолевать более решительно.

В этой же дискуссии открываются новые линии судьбы и характера Н. В. Тимофеева-Ресовского, упущенные Д. Граниным в романе «Зубр». Не буду умножать примеры, читатель без труда найдет в журнале и другие имена ученых, не утративших в самых тяжелых обстоятельствах силы духа, профессионализма, потребности в творчестве, научной принципиальности, человеческого достоинства. Встретит он и фигуры мрачные или, если воспользоваться их же лексикой, мракобесные, а также попытки разобрататься в их этиологии. Меня, признаться, больше интересует происхождение не подлости или слабодушия, а благородства и мужества. Значительно полезнее узнать и понять, откуда брались Зубры, как восстановить эту породу в науке. И на эти вопросы внимательный читатель «Вопросов истории естествознания и техники» найдет некоторые ответы (возможно, не те, которые видятся мне).

С моей точки зрения, первая предпосылка появления Зубров — семейное воспитание и школьное обучение, создающие возможности и условия для возникновения разнообразных и стойких интересов и увлечений. Вернадский в гимназические годы изучал историю религии и стал в этой области признанным авторитетом. Вавилов на школьной скамье проявлял интерес к прошлому и даже хотел всецело посвятить историю и археологию. А. Н. Колмогоров увлекался в детстве биологией, историей, социальным устройством. Флоренский, прежде чем стать богословом, философом дал выход своим математическим способностям и т. д., получил образование на физико-математическом факультете Московского университета. В. В. Набоков с 8 лет в библиотеке отца начал читать книги по натуральной истории, энтомологии, Л. Д. Ландау, в отличие от всех, поименованных



выше, сразу нашел себя в точных науках. Эти ранние увлечения не только удовлетворяли любознательность, но давали первые уроки трудолюбия, творчества, вселяли уверенность в своих силах, формировали характер, «личностное знание».

Было и другое. Это понимание роли общения. Флоренский писал жене: «Мне жаль, и было, и есть, что дети мало восприняли крупных людей, с которыми я был связан, и научились от них тому, что обогатило бы их лучше книг» (№ 1, с. 84). Конечно, много давали и учителя, в том числе и вузов, — предки будущих Зубров. И нужно сказать, что в то время и ученики платили тем же. Вавилов вспоминал «ареопаг имен» профессоров, определивших его взгляды и мировоззренческие установки. Учителя хорошо понимали, что такое специализация знания. Д. Н. Прянишников, учеником которого считал себя Вавилов, отождествлял специализацию с образом Эйфелевой башни — достаточно широка в основании и по необходимости сужена сверху. При таком исходном основании междисциплинарность, о которой ныне заботится вся мировая наука, была естественной для Вернадского, Вавилова, Колмогорова, Тимофеева-Ресовского и многих других. Однако этой междисциплинарности ставились и отчетливые пределы.

В № 1 за 1988 г. журнала впервые увидели свет фрагменты книги Вернадского «На-

учная мысль как планетное явление», изъятые из нее при первом издании в 1977 г. Публикации этих фрагментов предшествует «Письмо в редакцию», рассказывающее о «хождениях по мукам» группы ученых во главе с Б. М. Кедровым, работавших тогда над подготовкой книги к печати, о том, как несмотря на их сопротивление, редакторами издательства «Наука» производились «хирургические операции» над классическим трудом, который был задуман Вернадским как «жизненный отчет перед потомством». В ту пору сила чаще всего была на стороне тех, кто пытался унифицировать творческую мысль. К счастью, времена изменились. «Крамольные» тексты теперь опубликованы (и мир не рухнул), но читатель журнала с удивлением узнает, что Комиссия по разработке научного наследия Вернадского готовит второе, снова усеченное издание этой книги<sup>1</sup>.

Нельзя не согласиться с авторами письма, что в опубликованных фрагментах из книги Вернадского много спорного, соответствующего прошлому, а не нынешнему периоду в разработке философских проблем науки. Но «научная история, — справедливо говорят они, — не может игнорировать факты и высказывания, какими бы эти факты и высказывания ни были. Иначе мы будем строить гладкие исторические схемы, а не подлинную историю науки» (с. 70).

Вернадский, Флоренский, Вавилов заботились не столько о междисциплинарных связях, сколько стремились к синтезу наук и во многих случаях его реально достигали (например, геологии и химии, философии и математики, биологии и агрономии и т. д.). Это было возможно лишь на основе высочайшей культуры, неотделимой от науки и практики. Культура полей неотделима от общей куль-

<sup>1</sup> В настоящее время эта книга в предполагаемом урезанном виде уже вышла. Газета «Известия» от 29 сентября дала сообщение (за подписью Ф. Лукьянова), что работа В. И. Вернадского напечатана полностью, без купюр. К сожалению, это не соответствует действительности. (Прим. ред.)

туры населения, писал Вавилов. Отношение к науке, к ученому — мерило культурности страны (он же.). В журнале приводятся иллюстрации высокого интернационального духа нашей отечественной науки и нашей Академии, уважительного отношения к предшественникам науки, оказавшимся в эмиграции.

Для перестройки нашей науки, а многие области в ней остро нуждаются (с моей точки зрения, прежде всего психология), необходима, наряду с новыми поисками, реконструкция и восстановление ее старых добрых обычаев, нравственных и этических норм, научного темперамента, принципиальности и требовательности, настоящего творческого климата. Для такой реконструкции журнал дает неоценимую информацию.

Пожалуй, главным является то, что для истинных ученых наука всегда была целью, а не средством. Они любили науку, а не себя в науке. Соответственно, они, как минимум, не принимали, а чаще отвергали (или принимали лукаво) любые находящиеся вне науки цели и критерии оценки ее достижений и результатов. Наука при этом сохраняла реалистичность в авансах, а не накапливала долги и глупости, о которых писал Вавилов.

Настоящий ученый не спешит с авансами. В журнале можно найти удивительный пример. Еще в 1832 г. М. Фарадей, видимо, зная, что современники его не поймут, оставил своего рода «заявку на изобретение» под названием «Новые воззрения, подлежащие в настоящее время хранению в архивах Королевского общества», опубликованную только в 1938 г., в которой он высказывает убеждение в том, что «как магнитные, так и явления электрической индукции обязаны волновому процессу в непрерывной среде-пространстве» (№ 1, с. 105). Как это не похоже на нынешнюю торопливость с публикацией авансов и последующую «забывчивость».

Без авансов в более поздние времена работали школы Э. Резерфорда, А. Ф. Иоффе, Н. И. Вавилова, получившие для так называемой практики столь

бесценные результаты, что она еще долго не сумеет использовать накопленное в них. Не могу удержаться, чтобы не вспомнить в этом же контексте гуманитариев М. М. Бахтина. Л. С. Выготского, Г. Г. Шпета — эту «целину» недавно начала распахать мировая психология, и, похоже, мы уже не в первых рядах.

Поэтому-то так важно, чтобы наука (и ученые) была свободна в постановке целей, выборе средств, определении вида результатов, которые, конечно же, могут быть и практическими. Наука не может развиваться (а ученые — работать) «в неволе». В неволе возможно лишь достижение сиюминутных результатов, да и те в скором времени оказываются мнимыми. (Я оставляю в стороне установку псевдоученых «чего изволите»). Исползуя известную мысль Эйнштейна относительно «храма науки», можно с уверенностью сказать, что ситуацию в нем, в том числе и соотношение сил, определяют все же Зубры. При них мало кто позволяет себе делать «стыдные вещи». (Во всяком случае так до поры до времени было в психологии при жизни Б. Г. Ананьева, А. В. Запорожца, А. Н. Леонтьева, С. Л. Рубинштейна, А. А. Смирнова, Б. М. Теплова). К сожалению, не все в их силах. С ними самими и с их последователями можно расправиться вне-научными средствами, которые весьма и весьма однообразны (см. «Круглый стол» о генетике), но тем не менее подлинны ученые чаще всего оказываются с помощью перед ними. Как часто бывает, порядочность пасует перед наглостью.

Конечно, мне далеко не все удалось извлечь из просмотренных номеров журнала. Но мне кажется, что проблема культуры и личности ученого заслуживает в нем специальной рубрики.

И последнее. Во втором номере журнала привлекает внимание статья И. И. Мочалова «В. И. Вернадский и религия», где автор обсуждает своеобразие религиозности великого ученого. «Я чувствую ее (религию, — В. З.) как глубочайшее проявление человеческой

личности, — писал Вернадский. — Ни искусство, ни наука, ни философия ее не заменят, и эти человеческие переживания не касаются тех сторон, которые составляют ее удел. А между тем для меня не нужна церковь и не нужна молитва. Мне не нужны слова и образы, которые отвечают моему религиозному чувству. Бог — понятие и образ, слишком полный несовершенства человеческого» (с. 43).

Здесь, на мой взгляд, важна не столько религиозность, сколько наличие глубочайших человеческих переживаний, которые не только невыразимы в слове и образе, но и не нуждаются, мне кажется, в таком выражении. Как ученый Вернадский пытался их выразить, но ни один из вариантов его полностью не удовлетворял.

Близкий к этому феномен описывает Д. А. Александров, анализирующий творчество В. В. Набокова: «Художник и ученый (автор имеет в виду В. В. Набокова и Д. Морриса, английского зоолога.—В. З.) устремлены к Человеку, но не говорят о своем предмете. «О чем невозможно говорить, о том следует молчать», — автор оставляет невыговоренным то, что и невозможно выговорить, настолько прозрачен и нежен предмет умолчания. Человечность человека и его душа так же нестойки под рукой художника, философа, а тем более ученого, как и красота крыльев бабочки, осыпающихся от прикосновения — ни красоты, ни тайны переливчатого цвета, только пыльца невзрачной окраски на нежных пальцах любопытного мальчишки» (№ 2, с. 121).

Советую читателю самому продолжить чтение и ознакомиться с опубликованным в том же номере журнала рассказом Набокова «Пильгрэм». Это в высшей степени поучительные уроки не только для психологов, которые должны выходить за границы внешнего, акцидентального во внутреннюю жизнь человека, но и для многих других энтузиастов исследования и моделирования деятельности, сознания, эмоций и даже личности человека, чтобы научиться лучше управлять его поведением.

# ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ

Член-корреспондент АН СССР

Д. А. Киржниц

Москва

**Т**ЕМ, кто интересуется проблемой высокотемпературной сверхпроводимости (ВСП), стоит обратиться в журнале «Вопросы истории естествознания и техники» статью Б. Е. Явелова и С. Б. Шапошника «Открытие высокотемпературной сверхпроводимости» (1988, № 1, с. 8; № 2, с. 13). Это первая профессиональная в историко-научном плане работа по истории недавнего сенсационного открытия, которое вызвало небывалый интерес ученых, инженеров и управленческих кругов (вплоть до высших эшелонов) и по праву считается одним из наиболее выдающихся событий физики второй половины столетия<sup>1</sup>.

Практическая важность значительного повышения критической температуры сверхпроводника очевидна каждому, кто имеет хоть какое-то представление о сверхпроводимости. Тем поразительнее, что мировое сообщество специалистов проявляло трудно объяснимое неверие в реальность программы ВСП и было непростительно глухо к призывам энтузиастов объединить усилия физиков, химиков и материаловедов для широкого и непредвзятого поиска соответствующих материалов. Рецензенту это известно не понаслышке: ему и его товарищам — членам едва ли не единственного в мире коллектива, в научной программе которого проблема ВСП значилась долгие годы, — постоянно приходилось помнить принцип английского физика Л. Брэгга: «Не следует

обращать внимания на насмешки и высокомерие теоретиков».

К сожалению, скепсис по отношению к ВСП разделялся и экспериментаторами — специалистами в области сверхпроводимости. Быть может, именно поэтому авторами открытия ВСП оказались люди, не принадлежавшие к их числу. Драматизм ситуации усугубился тем, что уже давно, с конца 70-х годов, химики разных стран фактически держали в руках высокотемпературные сверхпроводники и даже измеряли их электропроводность. Однако, не помышляя о сверхпроводимости, они работали лишь при относительно высоких температурах. Поэтому, будь услышан призыв энтузиастов, открытие ВСП вполне могло бы произойти десятком лет раньше. С другой стороны, оно оказалось неожиданным не только для не веривших в ВСП, но и для самих энтузиастов, которым путь к ВСП виделся достаточно тяжелым и длинным (рецензент, например, ожидал повторения истории управляемого термоядерного синтеза, т. е. необходимости длительного и углубленного изучения свойств конденсированного вещества).

Статья Б. Е. Явелова и С. Б. Шапошника по содержанию и форме изложения рассчитана на широкий круг читателей — специалистов в области физики твердого тела и низких температур, химии, материаловедения, историков науки и ученых, людей, просто интересующихся новейшими достижениями естествознания. Все они с интересом и пользой для себя познакомятся с содержащимся в статье богатым фактическим материалом. И специалистам в области ВСП будет не вредно взглянуть на известные им факты глазами историка науки.

Опираясь на имеющиеся публикации и свидетельства уча-

стников событий, авторы статьи дают возможность читателю познакомиться с предысторией открытия, ведущей свое начало с рубежа 20—30-х годов; с личностями создателей первых высокотемпературных сверхпроводников Г. Беднорца и А. Мюллера, удостоенных Нобелевской премии через рекордно короткое время после их открытия<sup>2</sup>; с путями, приведшими их к металлооксидным керамикам; с последующим ходом исследований от начала «бума» (зима 1986/87 г.) до лета 1987 г.; наконец, с возможными техническими приложениями ВСП.

Однако авторов можно упрекнуть в том, что они не дополнили при корректуре список литературы ссылками на появившиеся к тому времени обзоры по ВСП<sup>3</sup>. Оставляет желать лучшего изложение физических аспектов проблемы: природы сверхпроводимости (не введены даже понятия бозе-конденсата, куперовской пары), принципов действия упоминаемых в статье механизмов сверхпроводимости и т. д. Что же касается историко-научной стороны дела, то в статье ничего не сказано о первом нефононном (магнетонном) механизме сверхпроводимости А. И. Ахиезера и И. Я. Померанчука (1959), не упомянут важный механизм ВСП Р. Парментера (конец 1950-х годов), не отмечена деятельность

<sup>1</sup> Буздин А. И. Открытие высокотемпературных сверхпроводников // Природа. 1987. № 5. С. 101—102; Гинзбург В. Л. Высокотемпературная сверхпроводимость (мечта становится реальностью) // Там же. № 7. С. 16—30.

<sup>2</sup> См. также: Лауреаты Нобелевской премии 1987 г. Максимов Е. Г. По физике — А. Мюллер и Г. Беднорц // Природа. 1988. № 1. С. 98. Отметим, что многих удивляет отсутствие в числе лауреатов П. Чу, который создал подлинно высокотемпературные сверхпроводники, сохраняющие свои свойства при температуре жидкого азота.

<sup>3</sup> См., напр.: Гинзбург В. Л. // Вестник АН СССР. 1987. № 11. С. 20.

М. Стронгина по поиску ВСП тонких металлических пленок (конец 1960-х годов). Недостаточно выделена важная веха — создание П. Чу стоградских керамик на основе иттрия, без чего работа Беднорца и Мюллера не превратилась бы в открытые пути к подлинно высокотемпературным сверхпроводникам, а осталось бы просто очередным (хотя и существенным) шагом в повышении критической температуры.

Особо нужно остановиться на оценке степени случайности открытия ВСП. Признавая отсутствие здесь предопределенности в персональном и «пространственно-временном» планах, авторы в то же время считают это открытие закономерным итогом сдвига интересов физики твердого тела в середине 1970-х годов в сторону изучения сложных структур. С этим, однако, согласиться трудно хотя бы потому, что физика сегнетоэлектриков издавна имела дело со структурами, подобными тем, в которых наблюдается ВСП, и даже более сложными.

С другой стороны, как уже подчеркивалось, высокотемпературные сверхпроводники были синтезированы химиками, движимыми далекими от физики твердого тела побуждениями; будь их контакты с физиками теснее, открытие ВСП могло бы произойти гораздо раньше. Случайность открытия ВСП особенно ясна из сопоставления его с открытием века — овладением ядерной энергией. И здесь были свои случайности: осталось незамеченным предсказание И. Нодда реакции деления урана, сама эта реакция была фактически осуществлена (но неправильно интерпретирована) Э. Ферми за пять лет до О. Гана и Ф. Штрассмана и др. Однако реализация самоподдерживающейся цепной реакции деления потребовала гигантских целенаправленных усилий и стала итогом планомерного накопления фактов, совершенствования методик эксперимента, прогресса теории. Ничего похожего в истории ВСП не было.

Обзор исследований по ВСП доведен в статье до лета 1987 г. Хотя нынешнее их состояние и не располагает к подведению даже промежуточных

итогов, о достижениях за последний год сказать необходимо. Наибольшие успехи связаны с расширением круга высокотемпературных сверхпроводников: создан широкий класс оксокупратов на основе редких земель с критической температурой  $T_c$  до 100 К (причем выяснена ведущая роль фазы состава «1—2—3»), открыт новый класс оксокупратов на основе висмута и таллия с  $T_c$  до 125 К, начато изучение не содержащих меди оксидов с  $T_c$  около 30 К. Имеются заметные технологические достижения, относящиеся главным образом к тонким пленкам. Много сделано и в области эксперимента, особенно в изучении монокристаллических образцов, но до полной ясности в этом плане еще далеко<sup>1</sup>.

Не решен пока и главный вопрос — о природе и механизме ВСП, теория еще не способна дать рекомендации по поиску новых высокотемпературных сверхпроводников и оценить перспективы дальнейшего повышения величины критической температуры. Предложенных теоретических моделей столь много, а число достоверных опытных фактов столь ограничено, что это заставляет вспомнить изречение Н. Бора: «Если число экспериментов конечно, а количество теорий бесконечно, то найдется бесконечное же число теорий, не противоречащих эксперименту». Во всяком случае, пока нельзя ни принять, ни отвергнуть и любимый теоретиками механизм резонансных валентных связей, и предложенный еще 25 лет назад У. Литтлом и В. Л. Гинзбургом экситонный механизм (может быть, в сочетании с фононным), и обычный фононный механизм (при котором большая величина константы связи может быть обязана игре чисел и набираться за счет многих факторов, присутствующих в сложной структуре материала). В последнем случае предсказательная сила теории будет ограничена возможностями вычислительной техники.

Но вернемся к журналу, в котором напечатана статья. Выступая в роли невольного его пропагандиста, рецензент чувствует себя обязанным высказаться о его содержании в целом. В тех же №№ 1 и 2 за 1988 г. (а также в № 4 за 1987 г.) имеется ряд публикаций, за возможность познакомиться с которыми хочется поблагодарить журнал. Это прежде всего не опубликованные ранее фрагменты рукописи В. И. Вернадского «Научная мысль как планетное явление». Это архивный материал «В. И. Вернадский и семья Флоренских», включающий очень интересную и содержательную переписку отца и сына Флоренских друг с другом и с Вернадским. Далее, это материалы дискуссии (рубрика «Круглый стол») на тему «Страницы истории советской генетики в литературе последних лет» с участием известных генетиков (И. А. Рапопорта, В. П. Эфроимсона и др.) и писателей (В. И. Амлинского, В. Д. Дудинцева и др.). Читатель, даже хорошо знакомый с лысенковской эпопеей, найдет здесь немало нового и поучительного. И, наконец, это небольшой рассказ «Пильграм», принадлежащий перу В. Набокова — не только выдающегося писателя, но и известного энтомолога. Не будучи специалистом во всех этих областях, рецензент не берется подробно комментировать перечисленные публикации.

Однако, уже как профессионал, он должен предостеречь читателя-неспециалиста. В том же № 1 за 1988 г. имеется две статьи, которые следует воспринимать критически. Первая статья — А. Т. Григорьяна «Лев Давидович Ландау. (К 80-летию со дня рождения)» — содержит ошибки, обидные для тех, кто чтит память нашего замечательного современника. При всем огромном влиянии, которое Ландау оказал на советскую теоретическую физику, ее «основоположником», каковым он именуется в статье, он быть не мог уже по молодости лет (сравнительно с Л. И. Мандельштамом, А. А. Фридришманом, Я. И. Френкелем, И. Е. Таммом, В. А. Фоком и др.). В статье есть и досадные фактические неточности. Так, объем знаменитого «Курса

<sup>1</sup> См. также сообщения в «Природе» (в разделе «Новости науки»): 1987, № 11, С. 108; 1988, № 8, С. 102—103; № 10, С. 105, 107; № 11, С. 104; № 12, С. 104.

теоретической физики» составляет не семь, как указано в статье, а десять томов. И уж совсем непростительно дважды повторенное искажение дня смерти ученого — 3 апреля вместо 1 апреля. Конечно, автор статьи мог и не знать, что многие задумывались над трагической иронией судьбы, оборвавшей жизнь Ландау именно в тот день, который он всегда старался отметить розыгрышами и шутками. Но ведь правильные даты жизни идеюются в любой посмертной биографии Ландау — хотя бы в БСЭ<sup>1</sup>.

Во второй статье — С. Д. Хайтуна «Необратимость и Ньютонова механика» — обсуждается проблема совместимости обратимого характера механики с законом возрастания энтропии. Автор статьи пребывает в убеждении, что в этой проблеме за последние 85 лет не произошло

ничего важного. Однако именно за этот период благодаря работам Н. С. Крылова, М. Борна и особенно прогрессу в теории динамического хаоса (восходящей к старым работам А. Пуанкаре) в проблеме необратимости достигнута принципиальная ясность. Суть дела в том, что первоначально компактная фазовая область со временем приобретает все более «фрактальную» форму с тонкими отростками, пузырями и т. п. Хотя, в соответствии с законами механики, объем этой области и сохраняется, ее «огигающий» объем растет со временем. Вместе с тем необратимость проявляется только при «грубом» описании, не позволяющем разрешить тонкую структуру фазовой области. Поэтому реальный смысл имеет именно огигающий объем, рост которого со временем и ведет к возрастанию энтропии.

Считая обратимость механики и рост энтропии несовместимыми, автор статьи предлагает модифицировать саму механику, которую, как он полагает,

«ожидает третье обобщение — на область необратимых процессов». Понимает ли автор, что он отказывается от великого завоевания атомистики — возможности свести термодинамические и кинетические закономерности к механической первооснове, отбрасывая тем самым науку на века назад, к доломоносовским временам господства понятий теплорода и прочих флюидов? Невольно напрашиваются ассоциации с недоброй памяти «переводным мичуринским учением» — конечно, лишь в том смысле, что его адепты отрицали физико-химическую основу биологических закономерностей.

В заключение нужно подчеркнуть, что приведенные критические замечания относились не к конкретно-физической, а к историко-научной стороне дела, прямо отвечающей профилю «Вопросов истории естествознания и техники». Поэтому, вероятно, его редакции не составит труда преградить в будущем доступ на свои страницы материалов, снижающих общее хорошее впечатление от журнала.

<sup>1</sup> В № 3 «Вопросов истории естествознания и техники» на с. 175 дано сообщение об ошибках и сделана поправка. (Прим. ред.)

«ВОПРОСЫ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ», 1988, № 3.

**К** ОГДА этот номер «Природы» уже готовился к печати, вышел № 3 «Вопросов истории естествознания и техники». В этом выпуске за «Круглым столом» началось обсуждение проходившей в 1950 г. так называемой «Павловской сессии» двух академий (АН и АМН СССР), сыгравшей недобрую роль в судьбе отечественной физиологии. Истинной оценки сессии, анализа ее предвыдстрии и последствий еще не было в печати.

«От имени Павлова, — рассказывает один из участников встречи, — было поручено выступить двум не самым лучшим его ученикам — К. М. Быкову и А. Г. Иванову-Смоленскому... Я видел экземпляр быковского доклада с пометками Сталина... Стало быть, не при-

нимая участия в сессии двух академий, Сталин проконтролировал документы, задавшие тон последующим выступлениям» (с. 133).

В будущих номерах редакция обещает продолжить разговор о «Павловской сессии», ставшей последней в ряду масштабных политических акций против советской науки, организованных лично «вождем народов». На одной из страниц журнала выстроен этот впечатляющий ряд: довоенные погромы исторической науки; решение об «извращениях» в системе Наркомпроса (1936), нанесшее удар по педагогике и детской психологии; философская «дискуссия» 1947 г. в связи с критикой Сталиным книги Г. Ф. Александрова «Вопросы западноевропейской философии»; печально знаменитая сессия ВАСХНИЛ 1948 г.; объявленная в 1949 г. война «космополитизму» в науке, обернувшаяся против теории относительности Эйнштейна, теории резонанса в химии, против кибернетики, целых направлений в психологии и т. д. И, наконец, одна за другой две «дискуссии» 1950 г.: по вопросам языкознания и по вопросам физиологии.

В статье С. М. Рытова «Идейное наследие Л. И. Мандельштама и его дальнейшее развитие», помещенной в том же номере журнала, рассказывается, что в 1948 г. под председательством главного ученого секретаря АН СССР заседала специальная полужакрытая комиссия, готовившая «всесоюзное совещание» физиков по образцу упомянутых «дискуссий», а в феврале 1953 г. было принято и потом опубликовано «Решение Ученого совета ФИАН о философских ошибках академика Л. И. Мандельштама» (умершего за девять лет до этого события!).

В № 3 опубликовано около 30 материалов разных тем и жанров. Вряд ли читатель пройдет мимо статьи извест-

ных зарубежных исследователей — Л. Шертока (Франция) и И. Стенгерс (Бельгия), обстоятельно прокомментированной советскими учеными. Статья посвящена интригующей аналогии между химическим анализом А. Л. Лавуазье и психоанализом З. Фрейда. Эта аналогия, которая для авторов «совершенно очевидна», рассматривается с точки зрения теории познания. Действительно, Фрейд подчеркивал сходство своего метода с химическим анализом. Но, по мнению одного из комментаторов, М. Г. Ярошевского, имя Лавуазье возникло в таком контексте довольно случайно: Фрейд никогда на него не ссылался и уж вовсе нет оснований называть стремление Фрейда к предельной объективности знания (в надежде придать психоанализу статус науки) стремлением к «идеалу Лавуазье», так как этот идеал возник столетием раньше — в результате научной революции XVII в. Однако двух других комментаторов — С. Н. Автономову и Ю. А. Муравьева — чрезвычайно увлекли идеи Шертока и Стенгерса. В их статье они видят «новые суждения,

побуждающие к дальнейшим размышлениям на темы психоанализа, гипноза, внушения» (32).

Большой полемический заряд содержит и статья В. А. Леглера, возвращающая нас к совсем недавним дням. Она повествует о трудностях, которые стояли на пути признания советскими геологами глобальной тектоники плит. Автор отчасти объясняет это тем, что к моменту ее появления у нас «была создана строго фиксистская модель геологического строения СССР, которая выглядела настолько убедительно, что зарубежные ученые размышляли, не является ли наша страна неким исключением на земном шаре» (с. 17). Теперь, считает автор, победа новой теории очевидна, но жалеет о том, что «вследствие усилий нашей академической науки этот переход произошел на полтора десятилетия позднее, чем это могло бы быть» (с. 26).

В рубрике «Медиевистика и проблемы истории науки» журнал печатает статьи П. П. Гайденко и И. Н. Лосевой о знаменитом кардинале из Кузы — Николае Кузанском, влияние которого испытали на себе

Дж. Бруно, Леонардо да Винчи, Н. Коперник, И. Кеплер, Р. Декарт и немецкие философы-идеалисты, включая Г. Гегеля. В разделе «Научные сообщения» обратит на себя внимание публикация Г. В. Дантене и А. А. Титмонаса о критической рефлексии Дж. Свифта, связанной с оценкой деятельности и личности И. Ньютона. Номер украшают фрагменты из архивного наследия В. И. Вернадского и Г. Г. Шпета.

За пределами этого обзора, не претендующего на оценки по существу, осталось немало других публикаций, возможно, не менее достойных внимания читателей. В № 4 «Вопросы истории естествознания и техники» предполагают среди прочего опубликовать подборку материалов к 100-летию Н. И. Бухарина, статью В. П. Эфроимсона «О Лысенко и лысенковщине». Читатель снова встретится с П. А. Флоренским (будет опубликована его статья «У водоразделов мысли») и участниками обсуждения «Павловской сессии».

**Н. В. Успенская**  
Москва

## НОВЫЕ КНИГИ

### Физика

**Д. Лейзер. СОЗДАВАЯ КАРТИНУ ВСЕЛЕННОЙ** / Пер. с англ. С. А. Ламзина. Под ред. Л. П. Грищука. М.: Мир, 1988. 324 с. Ц. 2 р. 30 к.

Эта книга рассказывает о двух великих теориях пространства, времени и тяготения — теории Ньютона и Эйнштейна, а также об основанных на них теориях строения и эволюции Вселенной, их развитии и становлении.

Автор, профессор Гарвардского университета Дэвид Лейзер, повествует о том, как на протяжении многих веков — со времен Древней Греции до наших дней — складывались представления об окружающем нас мире.

Рассказывая о мыслителях прошлого, автор прослеживает две линии. Первая — это линия Аристарха — Коперника — Кеплера, создателей модели Солнечной системы, главным итогом усилий которых был вывод (на основании результатов наблюдений) законов движения планет. Но наука отвечает не только на вопрос «как?», но и на вопрос «почему?». И вторая линия — Архимед — Галилей — Ньютон — иллюстрирует важнейшие достижения физической науки, построение классической механики и теории тяготения. В книге подчеркивается, что плодотворная научная теория должна быть «избыточной» — в том смысле, что число явлений и фактов, которые она способна

объяснить, должно значительно превышать число свободных параметров в теории. Именно такова теория тяготения Ньютона. Однако ее недостаточно для описания наблюдаемой Вселенной как целого.

Построение релятивистской теории тяготения, ее применение к гравитирующим системам наибольших масштабов шло параллельно с изучением пространственного распределения галактик, доказательством нестационарности наблюдаемой системы галактик и их скоплений. Так возникло понятие расширяющейся Вселенной, так возник вопрос о ее прошлом и будущем.

Книга Д. Лейзера интересна еще и тем, что застав-

ляет задуматься вообще о путях развития науки. Так, в исторической ретроспективе по-иному относишься и к сегодняшней границе между «твердо установленным» и «гипотетическим». Не без удивления обнаруживаешь, как многие правильные идеи надолго забывались, а те, что впоследствии были отвергнуты, господствовали веками. Критический взгляд автора на эти проблемы, несомненно, поучителен и для современного исследователя.

Содержание и прекрасный иллюстративный материал, высокий профессионализм автора и интересная, порой острая, манера изложения позволяют надеяться, что книга будет с интересом прочитана теми, кто задумывается над вопросами, связанными со строением и эволюцией Вселенной.

#### Биология

**А. М. Кочетов.** ЭКЗОТИЧЕСКИЕ РЫБЫ. М.: Лесная пром-ть, 1988. 239 с. Ц. 2 р. 70 к.

Двадцатимиллионная армия советских аквариумистов получила отличный подарок, не имеющий аналогов по полноте и научному уровню. В книге собрано множество интересных данных почти о 1400 видах (более 5 % современных предста-

вителей класса костных рыб). Автор анализирует собственный 20-летний опыт ихтиологической работы и увлечения аквариумом, обширный литературный материал. В книге более 300 цветных фотографий рыб, из которых более 200 предстают перед читателем нашей страны впервые.

В то же время книга окажется подспорьем и для советских зоологов и ихтиологов, отправляющихся в экспедиции в жаркие страны. В ней говорится об ареалах и размерах рыб, обитающих в реках и озерах разных уголков планеты, их строении и окраске, биологии, экологии, плодовитости, систематических особенностях, а также об условиях, необходимых для содержания представителей того или иного вида в аквариуме.

Несомненно, столь новый по замыслу и своеобразный труд вызовет к себе повышенное внимание многочисленной армии любителей природы и специалистов; появятся и замечания, тем более что при тщательной квалифицированной работе автора в книге много явно не зависящих от него промахов (масса опечаток в латинском и русском текстах и т. п.). Надо надеяться, что это будет учтено при подготовке второго и, очевидно, последующих изданий.

**Н. А. Мягков**  
Москва

#### Геология

**В. С. Мильничук, Р. Г. Никитина, А. В. Ярошенко.** ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСКУРСИЯ ПО ВОЕННО-ГРУЗИНСКОЙ ДОРОГЕ (200 километров геологических загадок). М.: Недра, 1988. 143 с. Ц. 40 к.

Военно-Грузинская дорога, пересекающая самый высокий в Европе горный массив, — не только интересная геологическая летопись, но и район, уникальный по своим природно-климатическим особенностям, определившим разнообразие здешнего животного и растительного мира.

В популярной форме авторы знакомят с историей формирования Кавказских гор; описывают современные геологические процессы, связанные с извержениями вулканов, землетрясениями, работой ветра, воды, льда и других естественных сил, формирующих сложный, а подчас экзотический рельеф Кавказа; рассказывают о происхождении магматических, осадочных и метаморфических горных пород и связанных с ними полезных ископаемых.

В это научно-популярное издание включен краткий словарь геологических терминов, а также сведения о памятниках старой и новой истории, архитектурных объектах и археологических находках, что позволяет использовать книгу и как справочное руководство для организации геологических и туристско-экскурсионных маршрутов.

#### Научные редакторы:

И. Н. АРУТЮНЯН,  
О. О. АСТАХОВА,  
Л. П. БЕЛЯНОВА,  
А. В. ДЕГТЯРЕВ,  
М. Ю. ЗУБРЕВА,  
Г. В. КОРОТКЕВИЧ,  
Г. М. ЛЬВОВСКИЙ,  
В. В. МАЙКОВ,  
Л. Д. МАЙОРОВА,  
Н. Д. МОРОЗОВА,  
Е. М. ПУШКИНА,  
Н. В. УСПЕНСКАЯ

Литературный редактор  
Г. И. ПАНКОВА

Художник П. П. ЕФРЕМОВ

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

Н. Х. БУТЫРИНА,  
А. Б. ГАЛИЦКИЙ,  
В. А. КУПРИЯНОВ,  
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 06.11.88  
Подписано в печать 07.12.88

Т—16045

Формат 70×100<sup>1/16</sup>

Офсетная печать

Усл. печ. л. 10,32

Усл. кр.-отт. 1445,6 тыс.

Уч.-изд. л. 14,9

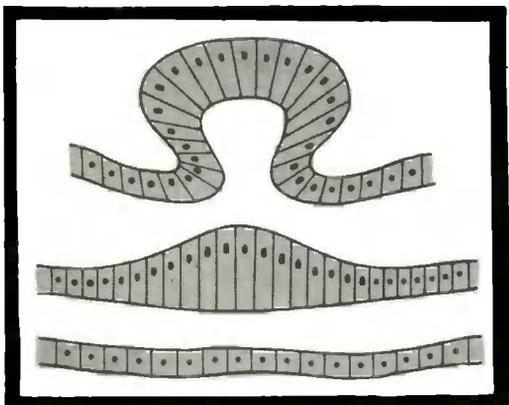
Бум. л. 4

Тираж 54.000 экз.

Зак. 2917

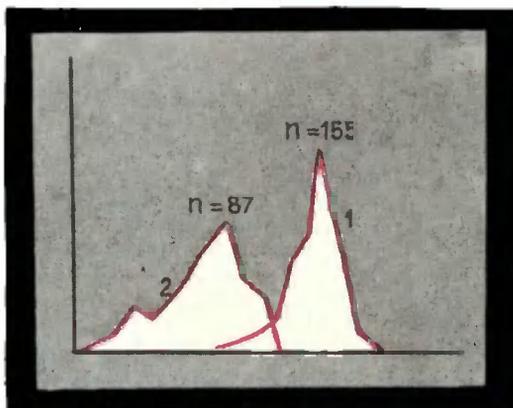
Ордена Трудового  
Красного Знамени  
Чеховский полиграфический  
комбинат

ВО «Союзполиграфпром»  
Государственного комитета СССР  
по делам издательства,  
полиграфии и книжной торговли.  
142300, г. Чехов  
Московской области



Понять движущие силы сложнейшего биологического явления — развития зародыша — задача чрезвычайно сложная и до сих пор еще не решенная. Предложенная теоретическая модель, в которой использованы физические подходы, может быть весьма полезной для понимания механизмов морфогенеза.

**Белинцев Б. Н. САМООРГАНИЗАЦИЯ В РАЗВИТИИ ЗАРОДЫША**



Как показали опыты на тутовом шелкопряде, кроме двух общепризнанных типов изменчивости — мутационной и модификационной — существует третий тип, названный реализационной изменчивостью.

**Струнников В. А. ТРЕТЬЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ**



Размещение аппаратуры для регистрации частиц глубоко под землей или под водой открыло эру нейтринной астрономии и предоставило физике элементарных частиц уникальные возможности для проведения экспериментов в условиях низкого фона.

**Домогацкий Г. В., Комар А. А., Чудаков А. Е. ПОДЗЕМНЫЕ И ПОДВОДНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ В ФИЗИКЕ И АСТРОФИЗИКЕ**

Первые исследования с глубоководных аппаратов «Мир» в Атлантике позволяют считать, что гидротермальные постройки из сульфидных руд не растворяются, а сохраняются тысячи и миллионы лет.

**Лисицын А. П. ГЛАВНЫЕ ХРАНИЛИЩА СУЛЬФИДНЫХ РУД НА ДНЕ ОКЕАНА**



# ПРИРОДА

Цена 80 к.  
Индекс 70707

