

ISSN 0032-874X

ПРИРОДА

1-90



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. ФЕОКТИСТОВ

Академик
В. Е. ХАИН

Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАШУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

ПРИРОДА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
ПОПУЛЯРНЫЙ
ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
АКАДЕМИИ НАУК СССР

Издается с января 1912 года



НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Образцы лунного грунта приходилось отбирать и так (Х. Шмитт на поверхности Луны, декабрь 1972 г.). См. в номере: Кульчински Дж., Шмитт Х. Термоядерное топливо... с Луны.

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Орден Золотого Руна с гранатами-пиропами (XVIII в.). См. в номере: Здорик Т. Б. Камни и календарь; Здорик Т. Б., Ахметов С. Ф. Гранат.



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



© Академия наук СССР
журнал «Природа» 1990

В НОМЕРЕ

3 Маркусова В. А. ИНДЕКС ЦИТИРОВАНИЯ — В ПО- МОЩЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ГРАНТОВ

За рубежом при отборе исследовательских программ для финансирования все чаще применяют показатели цитируемости научных работ. Анализ этих показателей свидетельствует о целесообразности их учета при субсидировании науки и в нашей стране.

6 Большаков Ю. Я. НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ НЕФТЕГАЗОНА- КОПЛЕНИЯ

Происхождение многих месторождений нефти и газа, не «вписывающихся» в господствующую концепцию нефтегазонакопления, объясняется капиллярными процессами в пластах.

13 Морозов А. Ю. ТЕОРИЯ СТРУН И ФУНДАМЕНТАЛЬ- НЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Идеи, положенные в основу теории струн, позволяют ей претендовать на роль «теории всего сущего», приоткрывающей завесу над скрытыми до сих пор основами мироздания.

23 Корякин В. С. ЛЕДНИКИ НОВОЙ ЗЕМЛИ И КЛИМАТ

Казалось бы, развитие парникового эффекта должно вызвать усиленное таяние ледников в Арктике. Однако наблюдения на Новой Земле показывают, что темпы сокращения оледенения убывают.

30 Певзнер П. А., Твардовский Т. БАНКИ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИНФОРМА- ЦИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В международном проекте «Геном человека» соединились усилия специалистов по молекулярной биологии и информатике. На стыке этих наук бурно развивается новая дисциплина — компьютерная генетика.

36 Здорик Т. Б. КАМНИ И КАЛЕНДАРЬ

Как возникла традиция соотношения определенных камней с календарем? Рассказ об этом открывает рассчитанную на год серию публикаций о драгоценных и поделочных камнях.

40 Здорик Т. Б., Ахметов С. Ф. ГРАНАТ

44 Миркин Б. М. АНТРОПОГЕННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ РАС- ТИТЕЛЬНОСТИ

Деятельность человека вызвала эволюцию растительности, меняющую облик планеты. Чтобы этот процесс не привел к фатальному исходу, специалисты ищут пути управления им.

55 Шарков Е. В. ИНТРУЗИВЫ — ГРАНДИОЗНЫЕ ПРИ- РОДНЫЕ ОТЛИВКИ

Формирование интрузивов — результат сложного комплекса физических и физико-химических процессов, контролирующих развитие магматических систем.

ПРОЕКТЫ XXI ВЕКА

62 Кульчинский Дж., Шмитт Х. ТЕРМОЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО... С ЛУНЫ

Возможно, развитие космонавтики сыграет главную роль в решении проблем энергетики будущего — большие запасы топлива для экономических и безопасных термоядерных реакторов обнаружены на спутнике нашей планеты.

69 Немцов А. В. ПОТРЕБЛЕНИЕ АЛКОГОЛЯ КАК ГЛО- БАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА

Для разработки антиалкогольной стратегии в нашей стране важно оценить глобальные тенденции, связанные с потреблением спиртных напитков.

79 ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ

80 Обедникова Г. В. ПОДВОДНЫЕ ГРЯДЫ ВОЛГИ

Каменные гряды у г. Плеса не искусственное сооружение, а результат работы реки в особых тектонических условиях.

85 Хокинг С. СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

Существуют по крайней мере три стрелы времени — термодинамическая, психологическая и космологическая. Только когда их направления совпадают, могут возникнуть условия, подходящие для развития разумных существ.

91 ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 1989 ГОДА

99 НОВОСТИ НАУКИ

118 КОРОТКО

120 РЕЦЕНЗИИ

122 НОВЫЕ КНИГИ (12, 98)

ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

123 Горелик Г. Е. НЕ УСПЕВШИЕ СТАТЬ АКАДЕМИКАМИ

ИНФОРМАЦИЯ (68, 78, 128)

CONTENTS

3 Markusova V. A. THE QUOTATION INDEX AS A GUIDE IN THE GRANTS POLICY

It is common practice abroad that financial aid to research programmes is determined with the help of the quotation index. An analysis of similar indexes applied to Soviet authors shows that this method can be used effectively in the Soviet Union as well.

6 Bolshakov Yu. Ya. A NEW CONCEPTION OF OIL AND GAS ACCUMULATION

The origin of many oil and gas deposits that cannot be accounted for the predominating concept of oil and gas accumulation is explained by capillary processes taking place in geological formations.

13 Morozov A. Yu. THE STRING THEORY AND FUNDAMEN- TAL INTERACTIONS

The string theory is based on ideas which would allow it to claim the role of "theory of all theories", that would explain the most intricate enigmas of world creation.

23 Koryakin V. S. THE GLACIERS OF NOVAYA ZEMLYA AND THE CLIMATE

One might expect that the green-house effect would trigger intensive melting of the glaciers in the Arctic. However, regular observations on Novaya Zemlya show that the opposite process is in evidence.

30 Pevzner P. A., Tvardovsky T. GENETIC INFORMATION BANKS: PROBLEMS AND PROSPECTS

The international project "The Human Genome" combines the efforts of experts in molecular biology and computer science. A new discipline, computer genetics, is now rapidly developing at their juncture.

36 Zdoric T. B. GEMS, SEMI-PRECIOUS STONES AND CALENDAR

How did tradition arise of associating gems and semi-precious stones with the calendar? You will find the answer in a series of articles that will appear in our journal this year.

40 Zdoric T. B., Akhmetov S. F. THE GARNET

44 Mirkin B. M. ANTHROPOGENIC EVOLUTION OF PLANETS

It is now obvious that man has launched an anthropological evolution in plants that changes the face of the planet. Now specialists are looking for the ways to control the process and avert its possibly fatal result.

55 Sharkov E. V. INTRUSIVES — GIGANTIC NATURAL MOULDINGS

Intrusives are the results of complicated physical and physico-chemical processes that control the development of magma systems.

21-ST CENTURY PROJECTS

62 Kulcinsky G., Schmitt H. THERMONUCLEAR FUEL FROM... THE MOON

Space research might play a significant role in developing power production for the future: vast quantities of fuel for efficient and safe thermonuclear reactors have been discovered on the Moon.

69 Nemtsov A. B. ALCOHOL CONSUMPTION AS A GLO- BAL PROBLEM

To produce an accurate assessment of alcohol consumption and an anti-alcoholic strategy we need a clear picture of the global tendencies in this field.

79 LETTERS TO "PRIRODA"

80 Obedientova G. V. THE VOLGA UNDERWATER RANGES

The underwater ranges that can be found in the Volga near the town of Ples are not man-made constructions but a result of Volga's effect in special tectonic conditions.

85 Hawking S. THE ARROW OF TIME

There are at least three arrows of time—thermodynamic, psychological and cosmological. Only when their directions coincide are the conditions created in which intelligent life might develop.

91 1989 NOBEL PRIZE WINNERS

99 SCIENCE NEWS

118 NEWS IN BRIEF

120 BOOK REVIEWS

122 NEW BOOKS (12, 98)

MEETING THE FORGOTTEN PAST

123 Gorelik G. E. THOSE WHO DID NOT LIVE TO BECOME ACADEMICIANS

INFORMATION (68, 78, 128)

В.А. Маркусова **Индекс цитирования- в помощь распределению грантов**



Валентина Александровна Маркусова, кандидат технических наук, заведующая сектором Всесоюзного института научной и технической информации ГИИТ и АН СССР. Специалист в области теоретических основ информатики.

С НАЧАЛА 1980-х годов во всех промышленно развитых странах стала меняться политика государственных ассигнований на научные исследования. В связи с этим возросла потребность в тщательном обосновании приоритетности научных направлений. До середины 1980-х годов основным способом оценки значимости намечаемых научных программ служила система их рецензирования ведущими специалистами (которых в зарубежной научной печати принято называть судьями). Сейчас много пишут о недостатках этой системы. Они четко сформулированы в работе английского науковеда Дж. Кинг¹:

— пристрастность судей (рецензентов) в пользу проектов, представляемых крупными и могущественными научными центрами. Предпочтение уже известных областей новым, требующим развития. (Как говорят зарубежные коллеги, тут играет роль «эффект ореола» и лояльность по отношению к старым коллегам.);

— судьи пользуются различными критериями для оценки программ;

— методы и формы оценки также очень различны: в одном случае это краткая рецензия, присланная по почте, в другом — посещение лаборатории группой рецензентов;

— процесс рецензирования подразумевает, что существует высокий уровень согласия среди ученых в том, что такое хорошая, квалифицированная работа, кто и как способен ее выполнить и где находится перспективная линия исследований (к сожалению, эти факторы могут не сработать в новых областях).

© Маркусова В. А. Индекс цитирования — в помощь распределению грантов.

¹ King J. A. // Current Contents. 1989. № 14. P. 4—9.

Анализ, недавно проведенный в США по заказу Национального научного фонда, показал, что при распределении субсидий — грантов — выбор программ определяется наполовину строго обоснованными рекомендациями, а наполовину высказанными наугад. В другом исследовании, выполненном по заказу той же организации, смешанную группу ученых попросили ответить на вопросы, какому из двух предложений они отдадут предпочтение: тому, которое поступило из института, пользующегося мировой известностью, и основано на общепризнанных представлениях, или, напротив, предложению из малоизвестного научного учреждения и содержащего радикальные идеи. Большинство респондентов предпочло первый вариант.

Конечно, рецензирование ведущими специалистами остается существенным элементом в системе финансирования науки, но необходимость совершенствования принципов отбора программ очевидна. Именно поэтому в последние годы лица, ответственные за научную политику, и менеджеры исследований уделяют пристальное внимание библиометрическим показателям. К ним относятся: количество публикаций, принадлежащих авторам проектов, анализ частоты цитируемости их работ, карты, составленные на основе социруемости, или кластеры², а также данные по инфор-

² На первом этапе составления кластеров отбираются статьи, цитируемые определенное число раз, допустим не менее 15. Затем устанавливается, какие из них цитируются совместно в разных статьях. Если соединить все высокочитируемые статьи связями социрования, можно получить группы наиболее связанных статей, или кластеры, которые показывают основные направления современных исследований и в совокупности образуют своего рода карту науки.

мационной значимости журналов, в которых опубликованы работы. Инициатор создания «Указателя цитированной литературы» («Science Citation Index») и президент Института научной информации США Ю. Гарфилд обратил внимание на строгую корреляцию между показателями, которые дают библиометрические методы, и таким признанием научных заслуг, как присуждение почетных премий, включая Нобелевскую³.

Анализ ссылок — чрезвычайно чувствительный инструмент, который позволяет уловить даже только что зародившиеся изменения. Но правильно пользоваться им может лишь хорошо обученный специалист. В руках непрофессионала данные «Указателя цитированной литературы» (УЦЛ) могут получить неверное истолкование.

При оценке деятельности ученых и научных коллективов по данным УЦЛ следует принимать во внимание характер ссылок, в том числе самоцитирования, их хронологическое распределение, авторитетность журнала, в котором опубликована работа, границы распространения ссылок как внутри данной научной области и страны, так и за этими пределами.

Конечно, ссылки на ту или иную работу сами по себе ничего не говорят о ее сути, причинах ее упоминания и истинной ценности. Но очевидно, что каждой исследовательской группе необходимо иметь высокий «кимпакт», измеренный по числу ссылок, чтобы получить уверенность в своем научном престиже.

За последние 20 лет сотрудниками Института научной информации США и другими специалистами, работающими с базами данных этого института, выполнены интересные исследования по оценке роли развивающихся и промышленно развитых стран в мировом научном сообществе. Недавно Гарфилд изложил результаты анализа, проведенного группой экспертов, который показывает тенденции развития науки в Японии⁴. Вот основные выводы. По

числу опубликованных научных статей в 1973 г. Япония занимала 6-е, США — 1-е, а СССР — 4-е место в мире. В 1982 г. США продолжали занимать 1-е, СССР перешел на 5-е, а Япония — на 3-е место. Анализ базы данных УЦЛ демонстрирует неуклонный и впечатляющий рост японской науки. Например, в 1978 г. Япония была на 6-м месте в мире по числу авторов научных статей, в 1982 г. — на 5-м, а в 1986 г. вышла уже на 3-е место. Нельзя при этом не отметить, что 95 % всех статей японских авторов, отраженных в базе данных УЦЛ, было напечатано на английском языке и они цитировались в два раза чаще, чем публикации на японском.

Данные, представленные венгерским специалистом Д. Брауном, показывают, что за период 1978—1980 гг. Япония по сравнению с другими странами увеличила свою научную продуктивность более чем в два раза. Наивысший взлет был в таких областях, как физика и науки о живой природе, затем следуют химия и математика.

По свидетельству Ч. Оуэна, который провел 4 года в Токийском отделении Национального научного фонда США, а теперь руководит отделом информации и анализа международных программ в Вашингтоне, существовавшая до недавнего времени в Японии система признания и награды стимулировала ученых к оперативной публикации результатов. Теперь политика в этом отношении изменилась, и исследователи вступили в борьбу за международный авторитет. Это требует от ученого не только высокого качества работы и ее изложения. Он должен подняться первым на новый уровень и опубликовать свой результат в престижном журнале. Основной импульс современного японского ученого — стать создателем новой информации и увеличить вклад в фундаментальные исследования. Последующие 15 лет, по мнению Гарфилда, покажут, что японские ученые станут сокрушительной по импакту силой в науке.

Интересно сопоставить приведенные в упомянутой работе Гарфилда сведения по советской и японской науке. Рас-

смотрены совокупные данные за периоды 1973—1978 и 1978—1982 гг. Общее количество советских публикаций при росте числа наших журналов, обрабатываемых в Институте научной информации США, снизилось к 1982 г. на 11 %, американских — выросло на 6 %, японских — на 38 %. СССР по числу публикаций за 1978—1982 гг. занимал 5-е место в мире, США — 1-е, а Япония — 4-е. По цитируемости работ среди 15 наиболее развитых стран США занимают 1-е, СССР — 11-е, а Япония — 4-е место. Этот факт, свидетельствующий о высокой цитируемости японских работ по сравнению с советскими (как русский, так и японский языки относятся к редким), коррелирует с несопоставимо большим числом японских работ, опубликованных на английском языке.

Нужно также отметить, что, по данным Института научной информации США, показатель оперативности и фактор воздействия у наших журналов значительно ниже, чем у зарубежных (все журналы, которые обрабатываются в этом институте, переводятся полностью на английский язык). Однако не последнюю роль здесь играет и некоторый снобизм, проявляемый американскими учеными в отношении цитирования работ советских коллег.

И все же небезынтересно привести некоторые данные, характеризующие реакцию мирового научного сообщества на научные исследования в СССР. В 1000 самых цитируемых авторов за период 1961—1975 гг. вошли следующие советские ученые: Л. Д. Ландау — 18 888 ссылок (2 место), В. Л. Гинзбург — 6834 (66 место), А. Н. Несмелов — 6783 (68 место), А. А. Абрикосов — 5429 (109 место), Я. Б. Зельдович — 4794 (152 место), Н. Г. Басов — 4320 (202 место).

Среди 1000 наиболее цитируемых работ за 1961—1982 гг. авторы по странам распределились следующим образом: США — 704, Великобритания — 149, Япония — 11, Израиль — 6, СССР — 4.

Интересно, что в число первых 500 статей из этой тысячи попала работа советского физика Д. Н. Зубарева, которая

³ Garfield E. // Current Contents. 1988. № 37. P. 3—5.

⁴ Idem. // Ibid. 1987. № 46. P. 3—9.

была процитирована за 23 года более 2 тыс. раз и отражена в «Классике цитирования» (постоянной рубрике «Current Contents»). Английский перевод этой статьи появился в год ее выхода. Половина ссылок сделана на оригинал, а 390 — на оба варианта.

Надо отметить, что все 500 статей — чемпионов по цитированию — были опубликованы в 130 журналах, причем 50 журналов содержали 83 % этих статей. Журнал «УФН» вошел в число 130 журналов. Распределение работ по областям знания следующее: 75 % — науки о живой природе (включая биохимию); 12 % — физика; остальное — химия.

Среди наиболее цитируемых работ по математике и вычислительной технике, опубликованных с 1976 по 1980 г. (выбраны на ЭВМ из 210 тыс. работ), — 5 статей советских математиков и физиков: 1. В. Е. Захарова, А. В. Шабата; 2. А. М. Полякова; 3. А. М. Полякова; 4. А. А. Белавина, А. М. Полякова, Ю. С. Тяпкина; 5. Л. Д. Фаддеева, В. Н. Попова.

В число 250 наиболее цитируемых авторов за 1984 г. вошли Л. Д. Ландау — цитировался 1838 раз, Я. Б. Зельдович — 730, В. Е. Захаров — 453, В. В. Коршак — 451.

К сожалению, до недавнего времени советские специалисты практически не имели возможности непосредственно работать с базами данных УЦЛ. (Всесоюзный научно-исследовательский институт прикладных автоматизированных систем — единственная организация, через которую осуществляется выход в зарубежные банки данных в режиме теледоступа). Поэтому еще раз воспользуемся сведениями, опубликованными Гарфилдом. За 1985—1989 гг. в число «классиков цитирования» попали А. А. Абрикосов, В. И. Гольдманский, Л. М. Бреховских, В. Е. Захаров, В. Е. Васильевский. Три советские работы вошли в число 104 (этот порог устанавливается произвольно) наиболее цитируемых в 1985—1986 гг. ра-

бот по физике, опубликованных в 1985 г. Их авторы: Е. С. Фрадкин, А. А. Цейтлин; П. А. Калугин, А. Ю. Китаев, Л. С. Левитов; А. Виленкин. Две опубликованы в иностранных журналах, одна в «Письмах в ЖЭТФ» (английском издании).

Среди наиболее цитируемых в 1984—1986 гг. работ по органической химии, опубликованных в 1984 г., — также три советские работы, одна из которых была опять же опубликована в «Письмах в ЖЭТФ» и две — в иностранных журналах. Авторы этих работ: В. Ф. Каминский, Т. Г. Прохорова, Р. П. Шибеева, Е. Б. Якубский, В. П. Шибеев, Н. А. Платз, М. Р. Василевский, М. Р. Нимчук.

Хотелось бы обратить внимание на следующее обстоятельство. Около 15 лет назад Институт научной информации США начал выпускать «Указатель цитируемости журналов». В нем использован ряд параметров, позволяющих оценить их информационную значимость. Важнейшими являются показатель оперативности, определяемый временем, через которое статья, опубликованная в том или ином журнале, начинает цитироваться в других, и фактор воздействия, характеризующий меру цитируемости журнала (отношение числа ссылок на публикации данного журнала за два последних года к общему количеству его статей за тот же период). Высший ранг по этим показателям среди советских изданий имеют «ЖЭТФ» и «Письма в ЖЭТФ». Высокую информационную значимость этих журналов подтверждает тот факт, что в них напечатаны наиболее высокоцитируемые советские статьи.

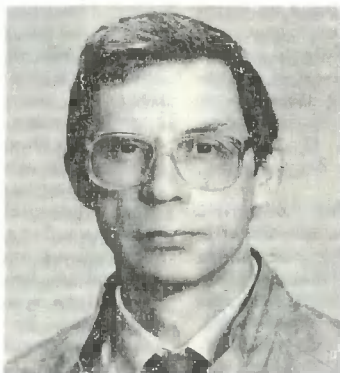
И, наконец, в списке наиболее цитируемых работ по физике и математике, вышедших в 1986 г., мы встречаем 9 советских работ, подписанных большим числом авторов, среди которых Л. Д. Фаддеев, Р. З. Сагдеев, А. М. Поляков (неоднократно входившие в число наиболее цитируемых советских ученых за период 1977—1978 гг.), Б. В. Зубков, В. Б. Лео-

нас, С. П. Михеев, А. Ю. Смирнов, В. А. Стяжкин и десятки других имен. Все эти 9 работ созданы в соавторстве с иностранными коллегами и опубликованы в иностранных научных журналах. Здесь кстати будет напомнить, что Гарфилд в статье, опубликованной в «Природе» еще в 1980 г., призывал советских ученых печататься на английском.

Помимо других причин, низкая цитируемость советских публикаций связана с долгим хранением статей в портфелях редакций, частым нарушением сроков выхода журналов, отсутствием в статьях научных ссылок. Нужно поднимать уровень советских научных журналов до международного. Но одновременно необходимо снять бюрократические препоны, все еще мешающие нашим ученым публиковаться в иностранных журналах. Ведь от этого в немалом зависит и место советской науки в мировом научном сообществе.

Настала пора вернуться к тому, с чего началась эта статья. С скромный перечень советских работ, пользующихся мировой известностью, все же подтверждает тот факт, что показатели цитируемости могут служить полезным индикатором при финансировании научных исследований на конкурсной основе. В период острой предвыборной борьбы за депутатские мандаты ряд кандидатов, среди которых были теперь уже народные депутаты Ж. И. Алферов и В. Л. Гинзбург, говорили о необходимости использовать индекс цитирования для оценки деятельности научных коллективов. К этому неоднократно призывали, выступая на общих собраниях АН СССР, Е. П. Велихов, В. И. Гольдманский, А. С. Спирин, Г. И. Марчук. Приобретение Библиотекой по естественным наукам АН СССР годовых массивов УЦЛ на оптических дисках, позволяющих вести компьютерный поиск, существенно упрощает эту задачу.

Ю.Я. Большаков **НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ НЕФТЕГАЗОАКОПЛЕНИЯ**



Юлий Яковлевич Большаков, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией прогноза нефтегазоносности Института проблем освоения Севера СО АН СССР. Область научных интересов — условия формирования залежей нефти и газа и прогноз нефтегазоносности.

ЗАПАСЫ газа и особенно нефти в месторождениях, поиски которых могут вестись на основе общепризнанных принципов формирования нефтяных и газовых скоплений, становятся все более ограниченными. Вместе с тем к настоящему времени в различных нефтегазоносных бассейнах мира открыто достаточно большое количество месторождений, образование которых не находит объяснения с позиции ныне господствующей концепции нефтегазоаккумуляции. Следовательно, она не может являться и основой поиска такого типа месторождений, представляющих существенный топливно-энергетический резерв. Цель предлагаемой статьи — расширить современные представления о процессе аккумуляции нефти и газа, раскрыть загадку образования этих нетрадиционных месторождений и определить критерии их прогнозирования.

КРИЗИС ГОСПОДСТВУЮЩЕЙ ГИПОТЕЗЫ И ПОИСКИ АЛЬТЕРНАТИВЫ

Геология как наука развивается путем накопления фактов об изучаемых явлениях или об их компонентах. Как правило, при постановке поисковой или разведочной задачи бывает известной только часть компонентов. Поэтому создают модель изучаемого объекта, стараясь мысленно восполнить в ней неизвестные детали и предсказать варианты их взаимосвязи.

В нефтегазовой геологии господствует антиклинально-гравитационная гипотеза формирования залежей нефти и газа. Сущность ее сводится к тому, что нефть и газ, находясь в пластах пористых водонасыщенных пород-коллекторов, постепенно вытесняются вверх по направлению пласта и концентрируются в его антиклинальных (куполообразных) складках или в наиболее приподнятых (головных) участках пласта — зоне выклинивания.

Зародилась антиклинально-гравитационная гипотеза еще в 1859 г., когда полковник М. Дрейк в Пенсильвании (США) об-



Схема аккумуляции углеводородов по антиклинально-гравитационной концепции. Нефть и газ, находясь в пластах пористых водонасыщенных пород-коллекторов, вытесняются вверх по направлению пласта и концентрируются в куполообразных складах (антиклинальных ловушках) и наиболее приподнятых участках пласта — зонах его выклинивания.



наружил связь нефтяных залежей с антиклинальными поднятиями. С того времени поисковые работы на нефть и газ базируются на принципах этой гипотезы. На ее основе было открыто более 40 тыс. известных в мире залежей нефти и газа. Несмотря на это, антиклинально-гравитационная концепция освещает лишь частный случай процесса нефтегазоаккумуляции. Поэтому эффективность поисковых работ, основанных на ее принципах, редко превышает 50 %. Наиболее низка она в Восточной Сибири — не более 20 %¹.

Тем не менее на антиклинальных объектах, выявленных с помощью геофизических исследований, продолжают закладывать десятки скважин, из которых около 80 % заведомо окажутся непродуктивными. К тому же в большинстве нефтегазоносных районов в диапазоне обычных для поисковых работ глубин (2—3 км) антиклинальные поднятия преимущественно уже выявлены, в зонах выклинивания эффективность поисковых работ еще меньше и в целом по стране не превышает 10 %². Поэтому во многих областях добычи нефти и газа поисковые работы переориентированы на большие глубины с сохранением прежних поисковых критериев, что, однако, не принесло желаемых результатов.

В последнее десятилетие растет интерес к альтернативным источникам нефти — битумам, горючим сланцам, каменному углю. Большие надежды возлагают на возможность открытия залежей газовых гидратов — твердых химических соединений, образовав-

шихся при взаимодействии газов с водой, при относительно низких температурах. Техногенные газогидраты — пробки, самопроизвольно образующиеся в скважинах на месторождениях, открытых в северных широтах, — настоящий бич для газодобывающей промышленности. Советскими учеными доказана возможность широкого распространения природных газогидратных соединений в породах с пониженными пластовыми температурами, свойственными для районов многолетней мерзлоты и акваторий³. Даже по заниженным оценкам, запасы газа в газогидратных соединениях планеты весьма значительны.

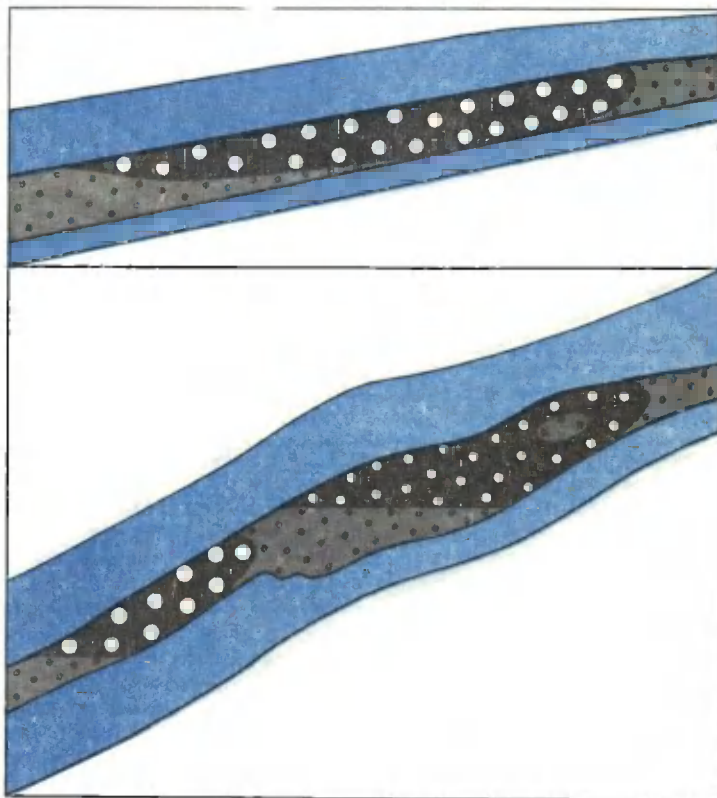
Однако, во-первых, отсутствуют рациональные способы разработки возможных газогидратных месторождений. Ведь даже освобождение скважины от газогидратной пробки, где это вещество находится в чистом и свободном виде, сопряжено с немалыми трудностями. Природные же газогидраты находятся в микропоровом пространстве пласта, который, как правило, не менее чем на 80 % состоит из сплошного крепкого каркаса. Извлечение газа из такого подземного субстрата представляет исключительные трудности. Исследования, проводимые в этом направлении уже более 20 лет, не привели к каким-либо конструктивным результатам. Во-вторых, сам механизм формирования газогидратных месторождений неясен. В связи с этим отсутствует и методика локального прогноза месторождений этого типа. Отрицать существование газогидратных месторождений нет оснований. Однако не найдено пока ничего, кроме Мессояхского месторождения, открытого в 1967 г. на северо-востоке Западной Сибири

¹ Верещако И. А., Забалуев В. В., Самсонов В. В., Фролов Б. М. // Геология нефти и газа. 1984. № 12. С. 1—5.

² Габриэлянц Г. А., Максимов С. П. Пути повышения эффективности и качества разведочных работ на нефть и газ // Теоретические и методологические вопросы геологии нефти и газа. Новосибирск, 1981. С. 177—188.

³ Трофимук А. А., Черский Н. В., Царев В. П. Газогидраты — новые источники углеводородов // Природа. 1979. № 1. С. 18—27.

Схематические разрезы капиллярно-экранированных нефтяных месторождений: Лесное в Краснодарском крае (вверху) и Демское в Башкирии (внизу). В обоих случаях залежи, располагающиеся в крупнопористых или среднепористых песчанниках, экранируются водоносными проницаемыми мелкопористыми песчанниками.



и, возможно, содержащего газогидратную залежь.

В общем, причина ориентации научно-исследовательских и поисковых работ на твердые источники углеводородов — сложившееся представление о близком истощении месторождений, содержащих нефть и газ в обычных агрегатных состояниях и формирующихся в соответствии с антиклинально-гравитационной концепцией.

КОНЦЕПЦИЯ КАПИЛЛЯРНОСТИ

А между тем на небольших и средних глубинах открыто немало месторождений нефти и газа, формирование которых даже противоречит этой гипотезе. Открыты они случайно при поисках антиклинальных залежей нефти и газа, бурении на воду или другие полезные ископаемые. Во-первых, залежи этих месторождений экранируются не плотными породами, а водоносными проницаемыми пластами, пористость которых меняется в широком диапазоне, иногда достигая 25 % и более. Во-вторых, расположены эти залежи не в антиклиналях и зонах

выклинивания, а в совсем других структурах и часто в антиподах антиклиналей — впадинах. В нашей стране залежи этого типа выявлены в Урало-Поволжье, в Краснодарском крае, Средней Азии, Западной и Восточной Сибири. За рубежом они открыты в Канаде, США, Западной Европе. Среди залежей во впадинах имеются настоящие гиганты. Например, месторождение Дип-Бэзин (Канада) содержит около $12 \cdot 10^{12}$ м³ газа, занимая нижнюю часть Западно-Канадского бассейна. Месторождение Сан-Хуан (США) расположено на дне одноименной впадины и содержит большую часть запасов газа всего региона Скалистых гор. Для этих месторождений-гигантов характерно, что экранами для них служат водоносные песчанники с более высокой пористостью и проницаемостью, чем газосодержащие породы. При этом какие-либо литологические и тектонические барьеры между водоносными и газоносными породами отсутствуют.

Все месторождения, не «вписывающиеся» в антиклинально-гравитационную концепцию, четко подразделяются на две группы. Первая представлена месторождениями с за-

лежами нефти и газа, содержащимися в более крупнопористых породах, чем породы-экраны, а вторая объединяет месторождения с залежами в относительно мелкопористых породах, экранами для которых служат крупнопористые водоносные пласты.

В нашей лаборатории предпринята попытка раскрыть природу таких месторождений с помощью представления о капиллярности и на этой основе определить их поисковые критерии. Ведь любой природный нефтегазовый резервуар представляет собой пористую многофазную систему с изменчивыми во времени и пространстве свойствами. Очевидно, что в таких системах основная роль в распределении жидкостей и газов принадлежит разнообразным капиллярным явлениям. Находясь в пористой водонасыщенной среде, частицы нефти и газа подвергаются воздействию не только архимедовых сил, но и множества физико-химических факторов, как стимулирующих миграцию углеводородов, так и противоборствующих ей, т. е. способствующих нефтегазонакоплению. В общем случае для образования залежи нефти или газа полное сочетание атрибутов антиклинально-гравитационной концепции (куполовидный изгиб проницаемого пласта, перекрытого плотной породой-покрышкой, или его выклинивание вверх) вовсе не обязательно. Достаточно, чтобы силы, препятствующие миграции углеводородов, превосходили силы, вызывающие их перемещение по пласту, к которым, в частности, относится и гидростатическая сила вытеснения. Тогда залежь может сформироваться на участке пористого проницаемого пласта с любой структурной и литологической характеристикой¹.

Основное сопротивление миграции нефти и газа обеспечивает капиллярное давление. По закону Юнга — Лапласа, величина давления, возникающего в пористой среде на границе воды и углеводородов, пропорциональна произведению коэффициента межфазного поверхностного натяжения на радиус кривизны поры. При этом, если поверхность пор смачивается пластовой водой, капиллярное давление на границе воды и углеводородов положительно, в гидрофобной же среде оно отрицательно.

В реальных условиях широко распространены как гидрофильные, так и гидрофобные песчаные породы-коллекторы. Общеизвестно, что жидкости и газы самопроизвольно стремятся обрести такое положе-

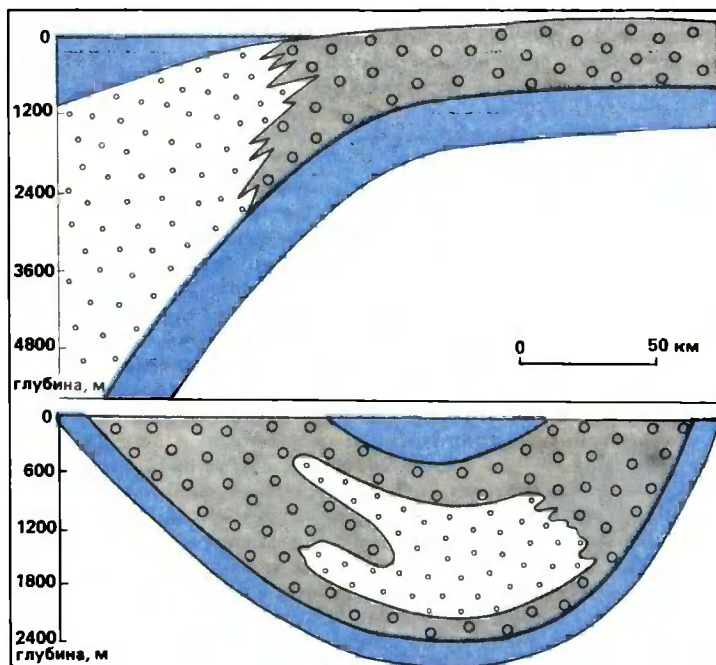
ние и форму, которые соответствуют минимуму поверхностной энергии. Поэтому в гидрофильной породе нефти и газу энергетически выгоднее находиться в сравнительно крупных порах, а воде — в мелких, куда углеводороды «не пускает» капиллярное давление.

Обратная картина наблюдается в гидрофобной среде, где нефть и газ удерживаются капиллярными силами в относительно мелких порах, а вода занимает крупные. Именно по этому принципу и сформировались упомянутые выше нефтяные и газовые скопления. Нами они отнесены к типу капиллярно-экранированных залежей, который на основе поверхностно-молекулярных свойств пород-коллекторов подразделен на гидрофильный и гидрофобный класс.

В отличие от атрибутов антиклинально-гравитационной концепции, капиллярные экраны представить себе не так-то просто. При формировании залежей гидрофильного класса силы плавучести заставляют нефть и газ продвигаться вверх по водонасыщенному пласту, к своду антиклинальной структуры. Реальные коллекторные пласты характеризуются неоднородностью пористости, проницаемости и других свойств. Однороден пласт только на малом участке, и углеводороды задерживаются, встречая на своем пути породу с относительно мелкими порами. Так начинается формирование залежи. Когда ее объем достигнет определенной величины, при которой архимедова сила превысит силу, обусловленную капиллярным давлением, избыток углеводородов начнет проникать через капиллярный барьер как через предохранительный клапан. При дальнейшей миграции эти излишки могут достичь свода антиклинального поднятия или задержаться следующим капиллярным барьером, так что процесс повторится.

Сложнее механизм аккумуляции углеводородов в залежах гидрофобного класса. В отличие от гидрофильных они часто окружены со всех сторон крупнопористыми водоносными породами. Залежь сохраняется за счет того, что поверхностными силами в каждой поре удерживается некоторый объем нефти или газа. Для концентрации в гидрофобных ловушках больших объемов углеводородов важное значение приобретает сейсмичность района. Именно в предгорных районах с повышенной сейсмичностью и обнаружены такие гиганты, как Дип-Бэззи и Сан-Хуан. В нашей стране к такому классу можно отнести уникальное Даулетбад-Донмезское газовое месторождение, открытое в зоне повышенной сейсмичности на юге Туркмении. Предрасположен-

¹ Большаков Ю. Я. Капиллярно-экранированные залежи нефти и газа. Новосибирск, 1989.



Схематические разрезы капиллярно-экранированных газовых месторождений: Дип-Бэззи в Канаде (вверху) и Сан-Хуан в США (внизу). Экранами для залежей газа в мелкопористых песчанниках служат крупнопористые водоносные песчанники.

Песчанники:
 водоносные крупнопористые
 газонасыщенные мелкопористые
 Глины

ность крупных углеводородных скоплений гидрофобного класса к сейсмически активным зонам обусловлена тем, что при землетрясениях в гидрофобных капиллярных каналах возникает электрическое поле, вызывающее электрокапиллярные силы, способные затягивать углеводороды в глубину гидрофобных тел, что способствует более полному захвату нефти и газа. Знаменательно, что в предгорных районах гидрофобные песчаные породы встречаются чаще, чем на платформах. В первую очередь, это обусловлено низким содержанием или даже отсутствием кварца в песчаных породах предгорий. Кварц в обычных пластовых условиях гидрофилен, и его концентрация в породе определяет ее смачиваемость.

Капиллярно-экранированные залежи метастабильны и в сравнении с традиционными более чувствительны к различным геологическим метаморфозам. Например, они чутко реагируют на изменение геотермического режима. Это обусловлено тем, что межфазное натяжение сильно зависит от температуры. Так, при изменении температуры от 70 до 20 °C в системе метан — вода оно возрастает с $3,5 \cdot 10^{-2}$ до $7,5 \cdot 10^{-2}$ Н/м, что влечет за собой увеличение капиллярного давления более чем вдвое. При температуре около 100 °C межфазное натяжение резко снижается, хотя полностью и не исче-

зает. Подавляющее большинство известных нефтяных и газовых залежей выявлено в диапазоне от 15 до 150 °C. Интересна роль капиллярных процессов в размещении и формировании залежей по краям этого диапазона. Обычно минимальные пластовые температуры характерны для месторождений, открытых под толщей многолетней мерзлоты. Залежи с максимальными температурами находятся на больших глубинах или в зонах с повышенным тепловым потоком из земных недр.

СЮРПРИЗЫ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ И ЗОН ПЕРЕГРЕВА

Панцирь многолетней мерзлоты доходит в отдельных районах до 50° с. ш. Мерзлота покрывает почти всю восточную часть нашей страны. Сформировалась она около 600 тыс. лет назад, вследствие чего в северных районах Западной и Восточной Сибири пластовые температуры в нефтегазоносных толщах понизились на 30—50 °C. Это удвоило капиллярные давления за счет увеличения межфазных натяжений. Кроме того, мерзлота вызвала уменьшение размеров пор в подстилающих породах⁵. Увеличение капилляр-

⁵ Граусман А. А. Закономерности изменения поровых коллекторов при погружении. Якутск, 1984.

ных давлений стабилизировало положение залежей нефти и газа в коллекторских пластах — их проникновение через породы, которые в других условиях не представляют непреодолимого препятствия, стало невозможным.

Территория Западной и Восточной Сибири подвержена активному воздействию неотектонических движений. Одновременное влияние тектоники и охлаждения внесло в распределение залежей нефти и газа под мерзлой толщей, а также в картину заполнения природных ловушек нефтью, водой и газом резкие отклонения от представлений антиклинально-гравитационной концепции, вызывающие недоумение как у геологов, так и у промысловиков. Ведь при стационарном геотермическом режиме деформация антиклинальной ловушки вызывает перераспределение в пласте воды, нефти и газа по принципу сообщающихся сосудов, что приводит к выравниванию границ между водой, газом и нефтью на разных участках ловушек. В северных же районах Западной Сибири, где сосредоточены в основном газовые и газонефтяные месторождения, сплошь и рядом нефтяные оторочки и газовые шапки в антиклинальных ловушках сдвинуты набекрень. Порой из скважины, пробуренной на своде поднятия, вместо газа или нефти получают воду, тогда как все нефтегазовое скопление может располагаться на одном из крыльев структуры. Разведка таких месторождений, исходя из предсказаний антиклинально-гравитационной концепции, малоэффективна.

Между тем внести необходимые коррективы при определении контуров таких залежей и их положения довольно просто. Для этого достаточно составить палеоструктурную карту, на которой бы отражался характер залегания продуктивного пласта до формирования мерзлой толщи. Затем, исходя из антиклинально-гравитационной концепции, нанести на нее горизонтальные водо-углеводородные границы и спроецировать их на современную структурную карту. Смещение залежи относительно свода ловушки можно определить и по палеоструктурному разрезу месторождения. Составление палеоструктурных карт и палеоразрезов для современной геологии не представляет большой сложности.

На Севере Западной Сибири форма значительной части антиклинальных ловушек искажена движениями коры, но все же они содержат залежи углеводородов. В Восточной же Сибири неотектонические процессы привели к полному разрушению таких ловушек, а вновь образованные антиклиналь-

ные структуры нефти и газа не содержат. Залежи здесь приурочены лишь к немногочисленным палеоподнятиям. Именно они перспективны для поисков в районах вечной мерзлоты в этом регионе.

Проблемы, связанные с особенностями капиллярных явлений в зонах перегрева (более 100 °C), сегодня, пожалуй, наиболее актуальны для Западно-Сибирского бассейна, где ныне поисковые работы ведутся в основном в высокотемпературных горизонтах нижней юры. К настоящему времени в нижнеюрских отложениях Западной Сибири открыто несколько нефтяных месторождений (одно из них, Талинское, уже эксплуатируется). Эти месторождения отличаются очень сложным строением. Залежи нефти зачастую занимают наиболее погруженные участки тектонического рельефа. На отдельных участках месторождений вода расположена над нефтью. Видимо, в распределении пластовых флюидов важную роль играют капиллярные силы, действующие в условиях фрагментарно гидрофобного коллектора. Между тем коллекторы здесь представлены кварцевыми песчаниками, для которых обычно характерна повышенная гидрофильность. Однако экспериментально установлено, что даже чисто кварцевые песчаники при насыщении их нефтью и нагреве до температуры выше 100 °C становятся гидрофобными. Пластовые температуры на Талинском месторождении меняются от 80 до 140 °C. Изучение смачиваемости образцов пород, отобранных здесь из нижнеюрских отложений, подтвердило предположение о наличии у них гидрофобных свойств. В связи с этим возникают серьезные проблемы.

Талинское месторождение — тот самый «Новый Самолор», ожидание открытия которого сопровождалось патетическими призывами к геологам. Естественно, что просчеты при эксплуатации такого месторождения могут привести к весьма ощутимым потерям. Разработка Талинского месторождения началась в 1982 г. и продолжается методом внутриконтурного заводнения, эффективного только для коллекторов гидрофильного класса. По сравнению с другими этот метод наиболее прост и требует меньших капиталовложений и эксплуатационных затрат. Сущность его состоит в том, что в нефтяную залежь нагнетают воду, которая вытесняет нефть к скважинам, принимающим продукцию. Вода, поступая в гидрофильный коллектор, проникает как в крупные, так и в мелкие поры и, смачивая их поверхность, освобождаёт даже ту нефть, которая удерживается в породе силами адгезии. В гидрофобном же коллекторе вода отталкивается

от поверхности пор и быстро проникает к эксплуатационным скважинам. При этом вода по существу не вытесняет нефть, а, прорываясь через залежь, увлекает за собой случайные объемы нефти, хаотически нарушая монолитность месторождения и разрушая его. Экспериментальные данные нефтяников США свидетельствуют, что при равных пористости, проницаемости и нефтенасыщенности из гидрофильного коллектора вытеснением водой можно извлечь около 45 % нефти, тогда как из гидрофобного — менее 5 %⁶. С этим заключением согласуется катастрофически быстрое обводнение эксплуатационных скважин на Талинском месторождении. Очевидно, что для ее разработки более целесообразны другие методы.

Элементы решения поисковых и разведочных задач, изложенные в предыдущем разделе, касаются только корректировки существующих методов с учетом специфики геологических условий и относятся к частному случаю капиллярного экранирования залежей нефти и газа. В общем же, капиллярно-экранированные залежи нефти и газа могут располагаться между антиклиналями, в каждой нефтегазоносной области, главным образом на небольших и средних глубинах (1—3 км). Большинство залежей гидрофильного класса приурочено к платфор-

мам. В предгорных районах и по краям платформ должны быть распространены залежи гидрофобного класса. Среди них могут присутствовать крупные и гигантские скопления. По имеющимся данным, такие скопления возможны в наиболее глубокой части Предверхоанского прогиба. В Западно-Сибирском бассейне они могут присутствовать на его периферии, которая по антиклинально-гравитационной концепции считается малоперспективной.

Поиски залежей этого типа должны начинаться с изучения поверхностно-молекулярных свойств пород коллекторов, измерения капиллярных давлений в ядрах, отобранных из потенциально нефтегазоносных горизонтов. Исходя из этого, прогнозируют расположение капиллярных барьеров и оценивают их аккумулирующие способности. Важным, а может быть, и основным элементом поискового процесса при выявлении капиллярно-экранированных залежей нефти и газа может стать высокоточная сейсморазведка. Дело в том, что капиллярный барьер возникает там, где меняется плотность породы — один из важнейших параметров в геофизике.

Хотя капиллярная концепция нефтегазоаккумуляции более широко освещает условия формирования залежей нефти и газа, чем общепризнанная, вряд ли и она охватывает все стороны этого процесса. Тем не менее эта концепция позволяет «увязать» в единую генетическую схему все известные на сегодня углеводородные скопления и сулит новые подходы к поискам столь необходимых полезных ископаемых.

⁶ Huang E. T. S., Holm L. W. // SPE Reservoir Eng. 1988. Vol. 3, № 1. P. 119—129.

НОВЫЕ КНИГИ

Геология

Б. Скиппер. ХВАТИТ ЛИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВУ ЗЕМНЫХ РЕСУРСОВ? / Пер. с англ. Н. Н. Шатагина. Под ред. А.С. Астахова. М.: Мир, 1989, 264 с. Ц. 70 к.

В книге известного американского геолога из Йельского университета (США) даны конкретные представления о запасах, размещении и использовании минеральных и энергетических ресурсов. Отдельные главы посвящены горючим ископаемым, редким и распространенным металлам, различным ви-

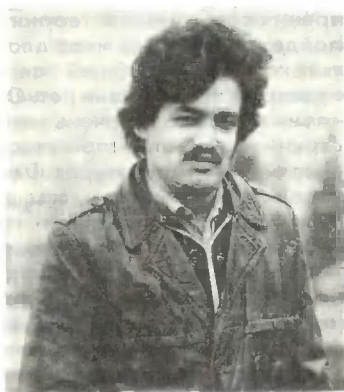
дам сырья для производства удобрений и строительных материалов, воде. В главе «Энергия будущего» обсуждаются возможности атомной энергетики, а также перспективы использования геотермальной энергии, энергии приливов, солнечной энергии и т. п.

Много говорится об истощении запасов полезных ископаемых и об отрицательном влиянии на биосферу их добычи и переработки. Автор не сторонник интенсивного строительства атомных электростанций, пока не решена проблема их

полной безопасности и не найден приемлемый способ захоронения радиоактивных отходов. По его мнению, экологические проблемы в ближайшем веке не только не будут решены, а станут еще острее.

В книге много интересной статистики, схем и графиков. Но, как отмечает редактор перевода, в ней отсутствует методология расчетов эффективности минеральных ресурсов. Главное достоинство книги — обилие хорошо систематизированной информации. Она изложена кратко и ясно.

А.Ю. Морозов Теория струн и фундаментальные взаимодействия



Алексей Юрьевич Морозов, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института теоретической и экспериментальной физики (Москва). Занимается теоретической физикой элементарных частиц, в частности вопросами теории релятивистских струн.

ПОСЛЕДНЕЕ десятилетие было для теоретической физики высоких энергий триумфальным: выработанные ею представления, согласно которым все физические процессы на масштабах энергий порядка сотен гигаэлектронвольт (энергия суперколлайдера в Европейском центре ядерных исследований, Женева) описываются единым принципом калибровочной инвариантности, блестяще подтвердились в многочисленных экспериментах. (Точности ради надо сказать, что для полного торжества теории недостает пока экспериментального открытия шестого t -кварка и хиггсовского бозона, однако распространено мнение, что это лишь вопрос времени и усилий экспериментаторов.) Во всяком случае, многие теоретики начинают всерьез задумываться над тем, что происходит при более высоких энергиях — за пределами возможностей современной экспериментальной техники. Возможно, после создания общей теории относительности (ОТО) это первый случай, когда возникает массовый научный интерес к области, совершенно не познанной экспериментально. Вдохновленные успехами ОТО, теоретики надеются, что и на этот раз им удастся, ориентируясь на свои представления о красоте и непротиворечивости теории, угадать ее единственно правильный вариант. Самым популярным из таких вариантов ныне является теория струн.

О «СТРУННОЙ» ПРИРОДЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Представления, заложенные в идейный фундамент струнной теории, основаны на максимально оптимистической оценке наших знаний о природе фундаментальных взаимодействий.

Пользуясь, как принято в подобных ситуациях, принципом бритвы Оккама — не измышляй излишних сущностей, или, попросту, отсекай все лишнее, — разумно предположить, что принцип калибровочной инвариант-

ности¹, столь хорошо работающий вплоть до достигнутых ныне энергий, определяет структуру взаимодействий и дальше — до тех пор, пока что-нибудь ему не помешает. Не следует, однако, думать, что на этом пути нас не ждет ничего нового — предполагается появление новых частиц и симметрий (таких как симметрия Великого объединения или суперсимметрия). Многие даже считают, что число новых симметрий может оказаться весьма значительным: к примеру, существуют так называемые модели техницвета, предполагающие составную (преонную) структуру известных элементарных частиц, в том числе кварков и лептонов. И все же, по-видимому, единственным неизбежным следствием наших сегодняшних представлений является только предсказание суперсимметрии фундаментальных взаимодействий при энергиях 10^{12} — 10^{13} эВ, которых предполагают достичь на новом поколении ускорителей.

Все эти предложения, однако, не выводят нас за рамки стандартной квантовой теории поля, описывающей локальное (в точке) калибровочное взаимодействие точечных частиц, распространяющихся в искривленном, но непрерывном четырехмерном пространстве-времени. Этому и учит нас принцип Оккама: без крайней необходимости не выдумывать лишних структур и не отказываться от хорошо работающих методов.

К счастью, для тех, кому не хочется верить, что основы строения материи уже познаны, представленная картина не может быть универсальной, рано или поздно в ней потребуются кардинальные изменения. Дело в том, что стандартные теоретико-полевые методы не удается распространить на квантовую гравитацию. Это и понятно, квантовая гравитация должна описывать флуктуации пространственно-временной структуры материи (пространственно-временную «пену»), и ее не очень разумно формулировать как теорию частиц в фиксированном пространстве-времени. Правда, пока квантовые флуктуации гравитационного поля (а согласно ОТО, это поле и есть геометрия пространства-времени) малы, их можно рассматри-

вать как квазичастицы (гравитоны) — возмущения в классическом пространстве. Однако по мере роста флуктуаций при больших энергиях взаимодействие гравитонов друг с другом быстро растет и фактически становится бесконечным. Это свойство, известное как «неперенормируемость» гравитации, запрещает рассматривать квантовую гравитацию как теорию точечных частиц. Здесь не удастся рассказать о том, что происходит с пространством-временем с точки зрения современной теории струн (разговор пойдет в несколько иной плоскости). Скажем только, что в общей ситуации никакого пространства-времени нет. Оно рождается из «пены» только в очень специальной фазе струнной теории — при относительно низких энергиях и температурах. В этой фазе, устойчивой только, когда малы квантовые флуктуации, струны выглядят как бесконечно тонкие упругие нити, движущиеся в классическом (возможно, искривленном) пространстве-времени. Их характерные длины невероятно малы ($\sim 10^{-33}$ см), и воспринимаются эти нити как точечные объекты — элементарные частицы. Однако, когда энергия, приходящаяся на каждую такую «частицу», достигает огромной величины ($\sim 10^{28}$ эВ), игнорировать ее протяженную структуру уже невозможно. В результате рост взаимодействия таких «частиц» с увеличением энергии прекращается и сменяется падением — трудности квантовой гравитации оказываются преодоленными.

Спад взаимодействий обусловлен принципом неопределенности: в релятивистской физике процесс с передачей какого-то количества энергии происходит за время и на расстояниях, обратно пропорциональных этой энергии. Поэтому при очень больших энергиях нити с характерной длиной $\sim 10^{-33}$ см начинают взаимодействовать только своими сегментами, длины которых обратно пропорциональны энергии. Понятно, что чем меньше сегмент, тем меньше влияние такого взаимодействия на всю струну.

Расплатой за создание непротиворечивой квантовой гравитации является то, что такие протяженные гравитоны уже нельзя интерпретировать как флуктуации обычного пространства-времени: они нелокальны и не описывают изменение гравитационного поля в отдельных точках. Как только гравитон становится протяженным, т. е. энергия на частицу достигает величины $\sim 10^{28}$ эВ, от обычного пространства-времени не остается и следа — тут вступает в свои права новая струнная физика.

Но это еще далеко не все. В такой

¹ Калибровочная инвариантность (симметрия) — класс внутренних симметрий уравнений теории поля, связанный со свойствами элементарных частиц, а не пространства-времени. Ее суть состоит в том, что уравнения поля (уравнения движения) инвариантны относительно определенных преобразований переменных, характеризующих свойства частиц, которые называют калибровочными или градиентными преобразованиями. Эта инвариантность обеспечивается дополнительными членами в уравнениях движения — не которыми калибровочными полями, обмен квантами которых обуславливает взаимодействие частиц.

струнной теории на самом деле допускается существование не одной, а различных низкоэнергетических фаз, в которых определено понятие пространства-времени. Отличаются эти фазы очень сильно — пространство-время может иметь различное число измерений, различную топологию, в нем могут находиться многочисленные частицы-струны, отличающиеся от гравитонов, но ведущие себя как калибровочные бозоны (переносчики взаимодействий), лептоны или кварки. Число таких частиц, их заряды и массы меняются от фазы к фазе. В будущем предстоит показать, что большинство этих фаз метастабильны и определить самую устойчивую и выгодную из них. Оптимисты надеются, что свойства этой фазы совпадут с известными свойствами элементарных частиц в нашем мире, а пространство будет иметь три измерения. Если это случится, то струнная теория ответит на все вопросы об устройстве мира элементарных частиц, которые мы сегодня умеем задать. Но потребуются еще многие годы исследований, чтобы подтвердить или опровергнуть предложенную гипотезу.

Увы, из наших опытов, не говоря уже о повседневной жизни, мы знаем о предпочтительной фазе, которую должна отобрать из многих вариантов теория струн, гораздо меньше, чем кажется на первый взгляд. Самый яркий пример — вопрос о числе измерений пространства-времени. Наши знания позволяют лишь ограничить это число снизу — оно не меньше четырех. Однако оно может оказаться значительно больше: достаточно только, чтобы лишние измерения были свернуты в очень маленькие колечки — настолько маленькие, чтобы разрешающая сила современных приборов не позволила увидеть эти измерения. Поэтому, встретив когда-нибудь в статьях, посвященных теории струн, упоминания, например, о 26 или 10 измерениях, не следует думать, что речь идет о совершенно абстрактной конструкции, не имеющей отношения к нашему повседневному опыту: он говорит лишь о том, что все измерения, кроме четырех, очень компактно упакованы (компактифицированы).

НАШ МИР И ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ: ОТ СЛОЖНОГО К ПРОСТОМУ

Более подробный рассказ о некоторых из затронутых выше идей мы начнем с общего описания роли физики высоких энергий в современной картине мироздания.

Физика изучает материальные тела и взаимодействия между ними. Фундаментальным физическим фактом является упрощение структуры взаимодействий по мере продвижения ко все меньшим расстояниям и временам. Под упрощением здесь имеется в виду, во-первых, сокращение числа различных типов взаимодействий, а во-вторых, все большая их универсальность. Это не надо понимать так, что при низких энергиях вообще отсутствует универсальность взаимодействий. Например, уравнения Навье — Стокса вполне универсально описывают ламинарное течение всех вязких жидкостей, а уравнения механики — движение всех твердых тел. Более того, эти уравнения не менее, а, может быть, более просты, чем те, что описывают фундаментальные свойства материи. Единственный их недостаток — они приближенные, т. е. отвечают реальным физическим процессам только при некоторых специальных условиях (ламинарное течение жидкости, малая скорость движения, большое расстояние между материальными телами и т. п.). Что касается фундаментальных взаимодействий — тех, которые точно описывают поведение всех известных нам физических систем, то обычно они совсем не выглядят просто при низких энергиях. Можно, конечно, специально позаботиться и создать такие условия, когда фундаментальные взаимодействия выглядят изящно и на больших расстояниях (в школьном эксперименте можно взять два покоящихся заряженных шарика на большом расстоянии друг от друга, тогда их взаимодействие практически точно описывается фундаментальным законом Кулона). Однако в реальных физических системах, не изготовленных специально для демонстрации фундаментальных взаимодействий, увидеть их простую структуру очень тяжело. К примеру, гораздо проще и разумнее пользоваться феноменологической картиной зон Бриллюэна, чем описывать движение электрона в кристалле, учитывая его электромагнитное взаимодействие со всеми атомами; использовать приближенные модельные соображения для изучения структуры молекул, чем пытаться производить точные квантовомеханические расчеты в квантовой химии; пользоваться моделями ядра, чем описывать его методами квантовой хромодинамики и т. д. Конечно, с чисто научной точки зрения, описание, основанное на фундаментальных законах, совершенно необходимо, но в перечисленных и многих других случаях мы видим, насколько это сложно.

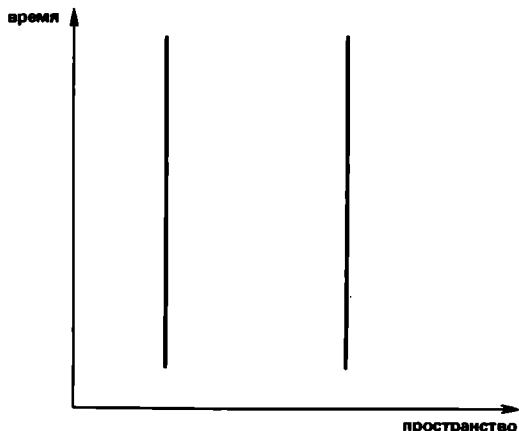
Так вот, при увеличении энергии (т. е.

на малых расстояниях) описание в терминах фундаментальных взаимодействий становится все более простым, а в конце концов и самым простым — надобность в приближенных феноменологических моделях отпадает. В процессах с достаточно большой передачей энергии твердые тела — кристаллы — разрушаются на молекулы и атомы, затем атомы ионизируются и превращаются в ядра, а ядра разваливаются на отдельные нуклоны — протоны и нейтроны. В этот момент мы вступаем в мир элементарных частиц, или физики высоких энергий, — мир, в котором наиболее непосредственно проявляются фундаментальные взаимодействия.

Когда это происходит? Прежде всего договоримся о единицах измерения. В физике высоких энергий принято измерять энергию (а заодно времена, расстояния, массы и все прочее — в этой области все процессы управляются законами теории относительности) в электронвольтах: $1\text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,6 \cdot 10^{-14} \text{ эрг}$. Согласно соотношению $E_0 = mc^2$, 1 эВ отвечает массе $1,8 \cdot 10^{-33} \text{ г}$, в частности протон, масса которого, согласно формуле Авогадро, равна $1 \text{ г} / 6 \cdot 10^{23} \approx 1,7 \cdot 10^{-24} \text{ г}$, весит в этих единицах чуть меньше 10^9 эВ . В системе единиц, в которой скорость света $c = 3 \times 10^{10} \text{ см/с}$ и постоянная Планка $\hbar \approx 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} = 10^{-29} \text{ эрг} \cdot \text{с}$ равны 1 , 1 эВ отвечает промежутку времени $\hbar/1 \text{ эВ} \approx 0,6 \times 10^{-15} \text{ с}$ и расстоянию $\hbar c/1 \text{ эВ} \approx 1,8 \times 10^{-5} \text{ см} = 1800 \text{ \AA}$. Это недалеко от длин волн видимого света, и поэтому энергии возбуждения и связи электронов в атомах и молекулах по порядку величины равны электрон-вольту (именно переходами электронов между различными энергетическими уровнями объясняется поглощение и отражение света веществом). Поэтому ясно, что, исследуя электроны с энергиями выше десятков электронвольт, можно считать их оторванными от молекул и атомов и смело пользоваться аппаратом физики элементарных частиц.

Энергия связи нуклонов в ядре достигает мегаэлектронвольт (МэВ). Поэтому для нуклонов эта область начинается с десятков МэВ. При более низких энергиях законы физики элементарных частиц тоже применимы, но пользоваться ими обычно очень сложно. Ограниченную таким образом снизу энергетическую область мы будем называть областью физики элементарных частиц.

Упрощения с ростом энергии отмечаются и здесь. С одной стороны, проявляется внутренняя структура самих элементарных частиц: нуклоны и другие адро-



Мировые линии двух свободных (невзаимодействующих) частиц.

ны разваливаются на кварки и глюоны; с другой — происходит объединение различных типов взаимодействий. С примером такого объединения наука столкнулась еще в прошлом веке, когда была установлена единая природа электричества и магнетизма. Сегодня нам известны еще три типа фундаментальных взаимодействий: сильное (ответственное за связь кварков в нуклонах и нуклонов в ядрах), слабое (вызывающее распады ядер и горение звезд) и всем знакомое гравитационное. На первый взгляд, все эти взаимодействия имеют совершенно различные свойства. Но с ростом энергий, уже после перехода от адронов к кваркам (что происходит в области нескольких гигаэлектронвольт), сильное взаимодействие кварков друг с другом, описываемое квантовой хромодинамикой, начинает походить на взаимодействия электронов и других лептонов — электромагнитные и слабые. Повидимому, все эти взаимодействия становятся совершенно неотличимыми — объединяются — при огромных энергиях $10^{25} - 10^{28} \text{ эВ}$. (На современных ускорителях достигнуты значения энергии $10^{11} - 10^{12} \text{ эВ}$.) Наконец, можно надеяться, что когда-нибудь это триединое взаимодействие сольется с четвертым — гравитационным. Скорее всего, это произойдет при энергии порядка 10^{28} эВ (энергии Планка, при которой сравниваются комптоновская длина волны любой точечной частицы и шварцшильдовский радиус создаваемой ею черной дыры) — здесь гравитация становится полноценной квантовой теорией. Уже из этой фразы о черной дыре ясна невозможность оперировать с точечными частицами при таких энергиях. Видимо, здесь выходят на авансцену

ну струны — объекты еще более фундаментальные, чем фотоны, гравитоны, глюоны, кварки, лептоны, которые являлись лишь частными состояниями струн. О том, что могло бы лежать дальше — за струнами, мы пока не имеем даже предположений.

ЧЕМ ПЛОХА ТЕОРИЯ ГРАВИТОНОВ

Теория элементарных частиц — это теория локального взаимодействия, или теория поля. Взаимодействие материальных тел объясняется тем, что каждое из них создает вокруг себя поле, с которым взаимодействуют остальные тела. У элементарных частиц взаимодействия, как правило, сравнительно слабы, и существенными оказываются квантовые свойства материи. Они проявляются, в частности, в том, что поле с данной энергией и импульсом не может быть сколь угодно слабым — существует минимальный квант поля (он называется частицей — переносчиком взаимодействия). К этому надо добавить, что в этом случае и сами материальные тела существуют уже в виде отдельных элементарных частиц материи, а процессы их взаимодействия выглядят как испускание и поглощение частиц — переносчиков взаимодействия.

Как все это выглядит не на словах, а в формулах? Пусть у нас есть две частицы с импульсами $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$ и энергиями E_1 и E_2 .

Наряду с процессом их распространения в пространстве и во времени существует еще процесс, в котором они обмениваются частицей-переносчиком (частица 1 испускает ее, а частица 2 поглощает). При этом одна из частиц передает другой энергию $\omega = E_1 - E'_1 = E_2 - E'_2$ и импульс $\vec{q} = \vec{p}_1 - \vec{p}'_1 = \vec{p}'_2 - \vec{p}_2$.

В квантовой механике для характеристики любого процесса принято использовать величину, называемую его амплитудой. В данном случае, когда идет обмен одной частицей, она представляет собой сумму

$$K = \sum_m \frac{V_{m0}}{\varepsilon_m - \varepsilon_0},$$

где индекс m соответствует одному из двух промежуточных состояний (испусканию или поглощению частицы-переносчика), ε_0 — энергия исходного состояния системы, а ε_m — промежуточного. Матричный элемент V_{m0} описывает испускание и поглощение частицы переносчика. (Буквально, величина K представляет собой поправку к энергии двух частиц, но, будучи деленной на характерную

энергию, может определять поправки и к другим характеристикам системы.)

Попробуем вычислить K . Это несложно. Исходная энергия ε_0 складывается из энергий E_1 и E_2 , энергия промежуточного состояния с $m=1$ (испускание частицы-переносчика) — из энергий E'_1 , E_2 и энергии $\varepsilon(\vec{q})$ переносчика, определяемой из релятивистской формулы $\varepsilon^2 - \vec{q}^2 = M^2$ (иными словами, энергия промежуточного состояния зависит от импульса $\vec{q}$ и массы M промежуточной частицы). Итак, $\varepsilon_1 = E_2 + E'_1 + \varepsilon(\vec{q})$. Аналогично для второго промежуточного состояния (поглощения переносчика) $\varepsilon_2 = E_1 + E_2 + \varepsilon(\vec{q})$. Матричный элемент V_{m0} пропорционален «заряду» e частицы материи и, кроме того, содержит множитель $|2e(\vec{q})|^{-1/2}$, характеризующий величину кванта промежуточного поля. Поэтому амплитуда процесса рассеяния двух частиц друг на друге выглядит так:

$$K = \frac{e_1 e_2}{\omega^2 - \varepsilon^2(q)}.$$

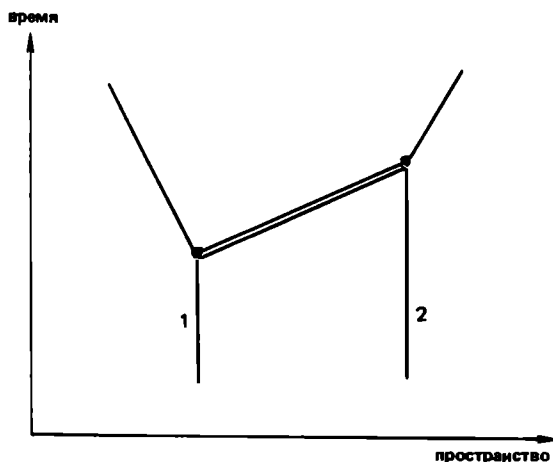
Эта формула является центральной в теории элементарных частиц. Прежде всего, в ней содержится информация о фундаментальном взаимодействии, за которое отвечает частица-переносчик. Если считать заданным расстояние между материальными частицами, а не переданный импульс $\vec{q}$, то следует сделать фурье-преобразование этой формулы. При статическом взаимодействии, когда энергия не передается ($\omega=0$), мы придем к простому и элегантному выражению

$$e_1 e_2 \frac{e^{-M|\vec{r}|}}{|\vec{r}|},$$

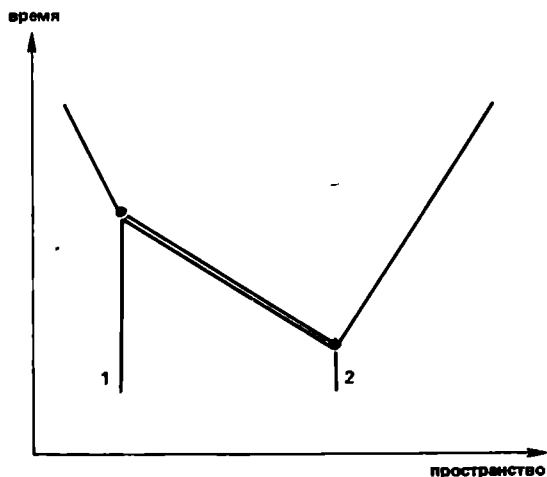
которое для безмассового промежуточного поля ($M=0$) переходит в известный закон Кулона. Радиус взаимодействия в этом случае бесконечен, если же $M \neq 0$, то мы имеем короткодействующее взаимодействие, например слабое: его переносчики W - и Z -бозоны, открытые на ускорителе в ЦЕРНе, частицы достаточно массивные ($M \approx 10^{11}$ эВ).

Зависимость от ω в выражении для амплитуды позволяет учесть все эффекты запаздывания взаимодействия. Можно ввести также спины частиц материи и переносчиков взаимодействия. (Структура матричных элементов V_{m0} диктуется при этом требованиями релятивистской инвариантности.)

Из формулы для K видно, что с ростом переданной энергии ω и импульса $|\vec{q}|$ взаимодействие становится слабее. Вклад двухчастичных обменов, который, грубо говоря, пропорционален K^2 , при этом все ме-



Мировые линии двух частиц материи [1 и 2] с зарядами e_1 и e_2 , рассеивающихся упруго друг на друга за счет обмена частицей — переносчиком взаимодействия [ей соответствует двойная линия] массы M с импульсом $\vec{q}$ и соответственно с энергией $\epsilon = \sqrt{M^2 + \vec{q}^2}$. На диаграмме слева частица-переносчик испускается частицей 1 с энергией E_1 и импульсом $\vec{P}_1$ и поглощается частицей 2 с E_2 , $\vec{P}_2$; на диаграмме справа — наоборот. В обоих случаях частица 1 переходит в состояние с энергией E'_1 и импульсом $\vec{P}'_1$, а частица 2 — в состояние E'_2 , $\vec{P}'_2$. Однако на промежуточных стадиях, когда существуют все три частицы (т. е. частица-переносчик уже испустилась, но еще не поглодилась), между диаграммами есть еще и другие различия.



На диаграмме слева частица 1 в промежуточном состоянии уже имеет энергию E'_1 , а частица 2 по-прежнему энергию E_2 . В результате, полная энергия трехчастичной системы в этом промежуточном состоянии есть $\epsilon_1 = E'_1 + E_2 + \epsilon$, а в промежуточном состоянии, соответствующем диаграмме справа, $\epsilon_2 = E_1 + E'_2 + \epsilon$. Амплитуда K такого процесса рассеяния получается сложением вкладов двух изображенных диаграмм:

$$K = -\frac{e_1 e_2}{2\epsilon} \left(\frac{1}{\epsilon - \omega} + \frac{1}{\epsilon + \omega} \right) = -\frac{e_1 e_2}{\omega^2 - \epsilon^2}.$$

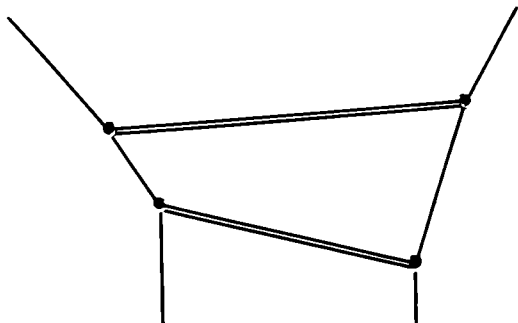
Здесь $\omega = E_1 - E'_1 = E'_2 - E_2$ есть переданная энергия, $1/2\epsilon$ — величина кванта поля взаимодействия.

нее существен. Еще менее важны многочастичные обмены. Увеличивая ω и $|\vec{q}|$ мы в конце концов приходим к предельно простой картине мира. Пользуясь правилами квантовой механики и некоторыми требованиями симметрии (калибровочной и лоренцевой), можно вычислить амплитуды всевозможных процессов в таком мире. При обратном понижении энергии взаимодействия усиливаются, и нужно учитывать многочастичные обмены. В итоге мы попадаем в самую сложную область $\omega \sim |\vec{q}| \sim \epsilon$ (размерность восстанавливается с помощью масс частиц материи), где необходим учет сколь угодно сложных процессов с обменом многими переносчиками взаимодействия. Это и есть мир, в котором мы живем.

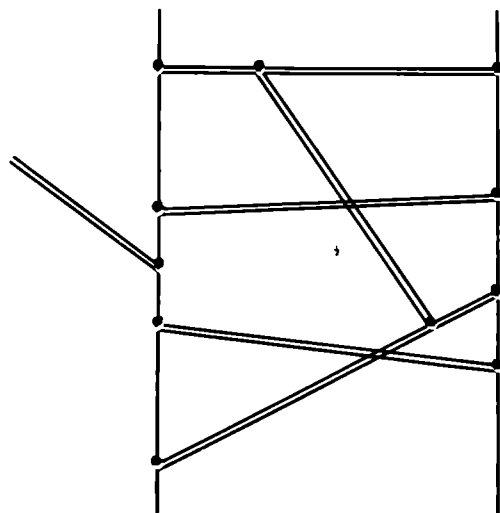
К несчастью для стандартной квантовой теории поля, эта идиллическая картина разрушается при попытках включить в нее квантовую гравитацию. Заметим, что вывод об уменьшении величины K с ростом энергии связан с постоянством «зарядов» e . Эти заряды на самом деле немного зависят от энергии даже для электромагнитного, слабого и сильного взаимодействий, но зависи-

мость эта слаба и не приводит к нарушению наших выводов. Однако для гравитационного взаимодействия ситуация кардинально меняется. Сила тяготения, как известно, пропорциональна массе частицы (точнее, с учетом релятивистских эффектов, ее энергии). Другими словами, роль заряда частицы в гравитационном взаимодействии играет ее энергия, умноженная на некоторый универсальный коэффициент. По этой причине интенсивность элементарного гравитационного взаимодействия — обмена гравитоном — растет, а не падает с ростом энергии, и начиная с некоторого момента обмены двумя, тремя и более гравитонами становятся все более существенными, а сама идея обмена отдельными квантами взаимодействия теряет смысл. В этом заключена упоминавшаяся в самом начале проблема неперенормируемости квантовой гравитации.

Благополучие современной квантовой теории поля обусловлено чрезвычайной слабостью гравитационного взаимодействия при достигнутых ныне энергиях. Энергетический масштаб, на котором проблема становится реальной, определяется величиной коэффи-



Пример взаимодействия при двухчастичном обмене. Если заряды e_1 и e_2 постоянны, то при высоких энергиях такие процессы менее важны, чем процессы с одночастичным обменом.



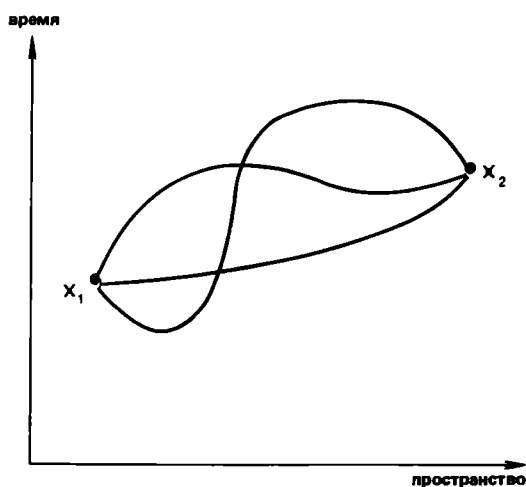
Пример многочастичного обмена. Учтено, что частицы-переносчики могут взаимодействовать и друг с другом, а также существовать как самостоятельные частицы (например, фотоны). Такие процессы наиболее существенны при низких энергиях.

коэффициента пропорциональности между «гравитационным зарядом» и энергией. Коэффициент задается гравитационной постоянной γ в законе всемирного тяготения и очень мал: $(\gamma/\hbar c)^{1/2} \approx 10^{-28} \text{ эВ}^{-1}$. Поэтому квантовые эффекты в гравитации проявятся лишь для частиц с энергией около 10^{28} эВ . В истории нашей Вселенной такие частицы существовали только в момент ее рождения, при Большом взрыве. Именно тогда реальные свойства

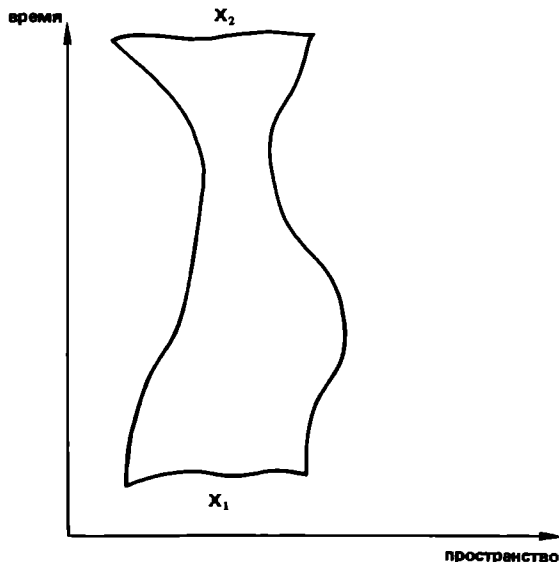
мира определялись квантовой гравитацией — теорией струн, именно в эту эпоху определились все параметры мироздания и именно там следует искать ответы на вопрос, почему наш нынешний мир таков, какой он есть.

ЧЕМ ХОРОША ТЕОРИЯ СТРУН, ИЛИ КАК СОЕДИНИТЬ ГЕОМЕТРИЮ И КВАНТОВУЮ МЕХАНИКУ

Поскольку струнная теория призвана стать теорией квантовой гравитации и имеет своим низкоэнергетическим пределом ОТО, отождествляющую классическое гравитационное поле с геометрией пространства-времени, она просто обязана соединять в себе квантовомеханическое и геометрическое описание природы. Сейчас мы расскажем о несколько неожиданном, но, по существу, самом важном аспекте этого единства. Для этого обратимся снова к квантовой теории частиц и ее центральной формуле. Правая часть этой формулы есть произведение зарядов частиц материи на «амплитуду распространения» (пропэгатор) частицы-переносчика. После фурье-преобразования она превращается в амплитуду распространения частиц-переносчиков из точки X_1 пространства-времени в точку X_2 . Эта амплитуда $A(X_1, X_2)$ может быть записана совершенно другим способом: в виде суммы по всем возможным траекториям частиц-переносчиков, ведущих из точки X_1 в точку X_2 :



Три разных траектории (мировые линии), ведущие из точки X_1 в X_2 , дают вклад (наряду со многими другими) в фейнмановский интеграл по путям.



Пример мировой поверхности, описывающей распространение струны из начального состояния X_1 в конечное X_2 .

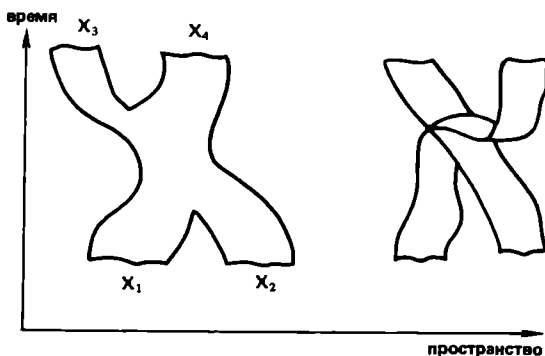
преобразование Фурье функции

$$K(\omega, \vec{q})/e_1 e_2 = \Sigma e^{iML}$$

(сумма берется по всем мировым линиям).

Каждая траектория (мировая линия) частицы-переносчика входит в сумму с весом e^{iML} , где M — масса частицы, а L — длина мировой линии между X_1 и X_2 . Выписанная формула известна в физике как фейнмановский интеграл по путям и по своей важности и красоте заслуживает отдельного рассказа. Ее значение для нас в том, что она выражает квантовомеханическую величину — амплитуду распространения — через чисто геометрические характеристики — длины мировых линий. К сожалению, в теории взаимодействующих частиц этой формулы недостаточно — требуется еще описать процесс взаимодействия. При взаимодействии частиц их траектории разветвляются, однако геометрический принцип, выраженный фейнмановским интегралом по путям, не говорит ничего ни о ветвлениях вообще, ни об их числе или типе (тройные, четырехкратные, ...). Геометрический принцип очень хорош для свободных — не взаимодействующих — частиц, но не в состоянии описать их взаимодействия.

Положение замечательным образом изменяется при переходе от частиц к струнам. Траектория струны в пространстве-вре-



Гладкая мировая поверхность, описывающая рассеяние двух струн друг на друге (слева), и ветвящаяся мировая поверхность (справа), которая не включается в амплитуду распространения $A(X_1, X_2)$ и не имеет отношения к взаимодействию струн.

мени — это уже не линия, а целая поверхность. Естественно обобщить обсуждаемую формулу, приняв, что амплитуда распространения струны определяется суммой по всем мировым поверхностям, соединяющим ее начальное положение X_1 с конечным X_2 , а коэффициент участия (веса) каждой поверхности в сумме связать с ее площадью S :

$$A(X_1, X_2) = \Sigma e^{iM^2 S}.$$

Эта формула применима уже не только для распространения отдельных струн, но и для взаимодействия! В самом деле, процесс рассеяния двух струн друг на друге, в отличие от ситуации с частицами, можно изобразить с помощью гладких мировых поверхностей, а значит, амплитуду процесса задать всё тем же выражением $A(X_1, X_2)$. Таким образом, в основу теории взаимодействующих струн может быть положен единый простой принцип, выражающий любые квантовомеханические амплитуды через чисто геометрические характеристики — площади мировых поверхностей. Воздержимся от описания далеко идущих следствий геометрического принципа струнной динамики и перейдем к последнему сюжету данной статьи.

✧

СКОЛЬКО ИЗМЕРЕНИЙ У ПРОСТРАНСТВА, ИЛИ ЧТО ТАКОЕ КОМПАКТИФИКАЦИЯ

Уже отмечалось, что число измерений пространства может превосходить казалось бы очевидное число 3. Поскольку идея эта чрезвычайно важна для современной теоре-

тической физики, уделим ей еще немного внимания. Постараемся конкретизировать, что означает фраза «лишние измерения очень малы». Для этого попытаемся сформулировать понятное всякому утверждение о трехмерности нашего пространства несколько необычным образом, позволяющим зато понять его возможную ограниченность.

Наличие у пространства трех измерений на самом деле тесно связано с принципом относительности Галилея или первым законом Ньютона, согласно которым все инерциальные системы равноправны. Что значит слово «все» в этой формулировке? Инерциальные системы отличаются скоростью взаимного движения. Поскольку у скорости есть три более или менее равноправных компонента, постольку у пространства три измерения. Известно, что принцип относительности есть некоторая идеализация: из-за взаимодействий в природе нет абсолютно инерциальных систем. Нарушает инерциальность, в частности, гравитационное поле, или кривизна пространства-времени.

Гравитационное поле вводит некоторую предпочтительность одних направлений в пространстве по сравнению с другими, и это может оказаться весьма существенным. Например, имея дело с тяжелым автомобилем, мы практически живем в двумерном мире, будучи не в силах оторваться от поверхности Земли, и принцип относительности интересует нас только применительно к системам отсчета, движущимся параллельно земной поверхности. О существовании третьего измерения мы на самом деле знаем только потому, что не все вещи на свете столь же тяжелы, как автомобиль: у каждого из нас хватает сил, чтобы стоять на ногах и даже прыгать, существуют легкие молекулы, образующие атмосферу над поверхностью Земли, и совсем невесомые фотоны, свободно преодолевающие расстояния от Солнца и звезд, да и крыша автомобиля не столь тяжела, чтобы упасть на его дно. Однако, если бы автомобиль был самым легким объектом в нашем распоряжении, то потребовался бы подъемный кран, чтобы оценить реальную величину третьего измерения, и прошло бы еще больше времени, прежде чем удалось бы сформулировать принцип относительности, в котором скорость имеет три компонента, а не две. Представим себе теперь, что у нашего пространства есть четвертое или пятое измерения, вдоль которых гравитационное поле настолько велико, что для движения в этих направлениях нужно приложить огромные силы не только к автомобилю или человеку, но даже к элементарным частицам. Не приложив этих сил, мы

ничего не сможем узнать о существовании таких измерений.

Самый совершенный из известных способов прикладывать большие силы к малым объектам состоит в использовании ускорителей элементарных частиц. И из опытов на ускорителях мы знаем, что гравитационные поля в дополнительных измерениях должны быть очень сильными — как минимум на 27 порядков превосходить гравитационное поле Земли. Однако еще 17 порядков отделяют наши возможности от той энергетической области, где гравитационное поле сильно по-настоящему — по величине сравнимо с остальными фундаментальными взаимодействиями — и где заметны эффекты квантовой гравитации. А ведь именно в этой области можно ожидать чего-то нового, в том числе проявления лишних измерений. Стоит ли удивляться, что мы до сих пор ничего о них не знаем?

Остается пояснить, в чем связь сильных гравитационных полей в лишних измерениях с их размерами. Связи, строго говоря, нет: гравитационные поля, наверное, могли бы быть, даже если бы размер не был ограничен. Однако если лишние измерения малы, то двигаться вдоль них очень тяжело. Дело здесь в принципе неопределенности.

Обозначим координату в лишнем измерении через y , а его размер — через d . Чтобы иметь конечный размер, лишнее измерение может быть свернуто в окружность радиуса $d/2\pi$, или, если этих измерений несколько, они могут образовывать сферу того же радиуса или какое-то другое, менее симметричное многообразие. Так вот, принцип неопределенности ограничивает возможность зафиксировать одновременно координату частицы y и ее импульс p_y (который в ультрарелятивистском пределе совпадает с энергией): $\Delta y \Delta p_y \gtrsim \hbar$. Если мы хотим точно зафиксировать энергию частицы, в частности сделать ее легкой, то $p_y \approx 0$ и координата y будет полностью неопределенной. Если же мы захотим узнать что-то о координате y , т. е. установить существование различных точек в лишних измерениях, то неопределенность Δy должна во всяком случае быть меньше d . Тогда по принципу неопределенности $\Delta p_y \gtrsim \hbar/d$, иными словами, возникает неопределенность в энергии — тем большая, чем меньше размер d . Большая неопределенность в энергии означает, что в среднем такая энергия не может быть малой. Это и демонстрирует, насколько проблематична регистрация лишних измерений: если $d \lesssim 10^{-33}$ см, то частице надо сообщить энергию $\hbar/d \gtrsim 10^{28}$ эВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ничего не рассказав о современном состоянии теории струн, автор надеялся упростить изложение настолько, чтобы читатель оценил четыре основные идеи, положенные в основу этой науки:

1. В применении к гравитации квантовая теория поля, описывающая взаимодействие точечных частиц, приводит к интенсивному взаимодействию на малых расстояниях. От этой трудности можно избавиться, перейдя от точечных частиц к протяженным объектам, например струнам.

2. Взаимодействие одномерных струн может быть описано геометрическим принципом суммирования по гладким мировым поверхностям. Аналог этого принципа для точечных частиц определяет очень простую и свободную от каких-либо трудностей теорию свободных частиц, полностью исключая, однако, всякое их взаимодействие. Таким образом, взаимодействующие струны — обобщение свободных частиц.

3. При низких энергиях взаимодействующие струны выглядят как взаимодействующие частицы (длина их чрезвычайно мала, порядка 10^{-33} см), которые надлежит сопоставить известным элементарным частицам: кваркам, лептонам и калибровочным бозонам.

4. Струны могут существовать не только в обычном трехмерном пространстве, но и в многомерном мире со сложной топологией. Лишние измерения при этом свернуты в маленькие трубки (компактифицированы) и становятся наблюдаемыми лишь при очень больших энергиях. Более того, теория струн способна оказывать предпочтение той или иной компактификации. Надежда состоит в том, что эта теория объяснит, почему при низких энергиях наше пространство имеет именно три измерения, почему в нем есть ровно четыре фундаментальных взаимодействия и почему масса электрона именно 0,5 МэВ.

Все эти четыре идеи были вполне ясно сформулированы уже к концу 70-х годов, и

все современное развитие состоит в их осмыслении и разработке. В результате, сегодня мы, с одной стороны, имеем несколько реалистических сценариев, связывающих струнный мир при сверхвысоких энергиях ($\sim 10^{28}$ эВ) с доступным нашим ускорителям миром элементарных частиц при «низких» энергиях ($\sim 10^{11}$ эВ). С другой стороны, мы располагаем широко обобщенными и полезными математическими переформулировками теории струн, в которых нелегко узнать первоначальную картину с бесконечно тонкими упругими нитями. Эти формулировки, подчас неожиданным образом, связывают теорию струн с огромным многообразием других теоретических построений, начиная с квантового эффекта Холла, фазовых переходов, сверхпроводимости и теории адронов в физике и кончая теорией чисел, алгебраической геометрией и теорией катастроф в математике. Любая деталь этой картины заслуживает отдельного рассказа, и автор надеется, что «Природа» еще не раз вернется к этой теме. В то же время в основе всех таких построений лежат четыре относительно простые мысли, ради которых, собственно, и писалась эта статья.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Нестеренко В. В. РЕЛЯТИВИСТСКИЕ СТРУНЫ: ОТ МЫЛЬНЫХ ПЛЕНОК К ОБЪЕДИНЕНИЮ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ // Природа. 1986. № 11. С. 12—19.

Березинский В. С. ОБЪЕДИНЕННЫЕ КАЛИБРОВОЧНЫЕ ТЕОРИИ И НЕСТАБИЛЬНЫЙ ПРОТОН // Природа. 1984. № 11. С. 24—38.

Захаров В. И. УДВАИВАЕТСЯ ЛИ ЧИСЛО ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ? // Природа. 1988. № 3. С. 4—15.

Казakov Д. И. СУПЕРСТРУНЫ, ИЛИ ЗА ПРЕДЕЛАМИ СТАНДАРТНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ // Успехи физических наук. 1986. Т. 150. Вып. 4. С. 561—575.

В.С. Корякин

Ледники Новой Земли и климат



Владислав Сергеевич Корякин, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Института географии АН СССР. Занимается проблемами эволюции оледенения Арктики и историей полярных исследований. Автор ряда монографий и научно-популярных работ, в том числе: *Ледники Арктики*. М., 1988; Владимир Александрович Русанов. М., 1986. Неоднократно печатался в «Природе».

ЗА ПОСЛЕДНИЕ годы широко распространилось представление о потеплении климата нашей планеты в результате хозяйственной деятельности человечества. Расчеты многих климатологов, в частности М. И. Будыко, показали, что рост парникового эффекта в атмосфере Земли из-за поступления в нее огромного количества CO_2 и других газов уже привел к повышению средней температуры приземного слоя воздуха на $0,6^\circ\text{C}$, а к 2000 г. оно составит более 1°C ¹. Однако пока еще нет достаточных доказательств, что потепление стало глобальным (оно чаще всего фиксировалось в районах до 60° с. ш.). Кроме того, очевидно, что антропогенный фактор накладывается на естественные изменения климата, связанные с перестройками циркуляции атмосферы.

Чуткие индикаторы климатических флуктуаций — различные формы природного льда — снег, вечная мерзлота, морские и пресноводные льды и, конечно же, ледники. Эти огромные долгоживущие массы кристаллического льда и фирна (протаявшего зернистого снега), находящиеся в движении, увеличивают или сокращают свои размеры в основном в зависимости от климатических изменений. При этом наиболее богатая информация о планетарных переменах климата хранится в ледниках полярных регионов. Здесь снег и лед периодически появляются и исчезают на больших пространствах, перестройка теплового баланса сопровождается большими изменениями температуры за счет отражения солнечной энергии. На здешние ледники меньшее, чем в горах, влияние оказывает рельеф местности.

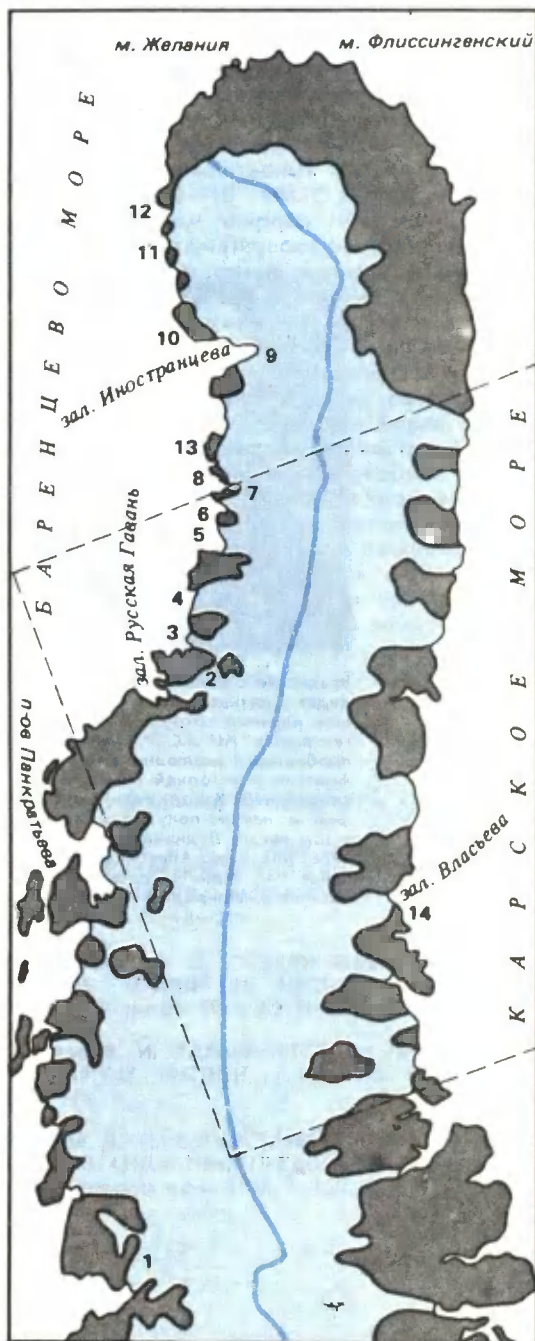
В Арктике остались следы нескольких довольно крупных изменений климата, происшедших за последние тысячелетия. Палеогеографические и палеогляциологические реконструкции позволяют считать, что 7,5—5 тыс. лет назад, в эпоху так называемого климатического оптимума, когда средняя температура повысилась примерно на

© Корякин В. С. Ледники Новой Земли и климат.

¹ Будыко М. И. Антропогенное изменение климата // Природа. 1986. № 8. С. 14—21.



Снимок центральной части ледникового покрова Новой Земли со спутника «Ландсат» в июле 1973 г. Чётко видны выводные языки.



Ледниковый покров Новой Земли. Цветной линией показан главный ледораздел, пунктиром — часть Новой Земли, видимая на снимке со спутника «Ландсат» (США), цифрами — ледники: 1 — Норденшельда, 2 — Шокальского, 3 — Чаева, 4 — Рыкачева, 5 — Велькена, 6 — Мака, 7 — Броунова, 8 — Анучина, 9 — Иностранцева, 10 — Павлова, 11 — Бунге, 12 — Петерсена, 13 — Визе, 14 — Кропоткина.

4 °С, произошло «разледенение» Арктики на суше и на море, которое пережили (хотя и с потерями) только ледники Гренландии, возраст которых несколько миллионов лет. Как это ни трудно представить, но современные ледники Новой Земли или Шпицбергена, видимо, возникли одновременно с египетскими пирамидами.

Не только гляциологические, но и исторические данные свидетельствуют о сравнительно мягких климатических условиях на рубеже I и II тысячелетий нашей эры. Известен и «малый ледниковый период» в Европе в XVI—XVIII вв. и, конечно же, потепление в Арктике, начавшееся в 20-х годах нынешнего столетия. В нашей стране его считали фактором благоприятным. Это и понятно — именно в то время началось интенсивное освоение Арктики, и прежде всего Северного морского пути. Однако позднее выяснилось, что оно имело и неблагоприятные последствия — начались прорывы подпруженных озер, подвижки ледников, быстро старились карты ледниковых районов и т. д. Тогда никто не сомневался, что это потепление не связано с деятельностью человека. Произошла перестройка глобального тепло- и влагопереноса — широтный, приносящий похолодание, сменился меридиональным, при котором в Арктику стало поступать больше тепла и влаги. Этот процесс стал еще заметнее в 30-х годах.

Больше всего данных об изменениях арктических ледников получено на Шпицбергене и на Новой Земле, о которой и пойдет речь в этой статье. Там мне пришлось работать дважды — во время 1-го Международного геофизического года (1957—1958) и совсем недавно — летом 1988 г. Мои наблюдения, а также данные других исследователей этих мест в какой-то мере свидетельствуют и о тенденциях планетарных изменений климата за более чем 70-летний отрезок времени.

Что же представляет собой Новая Земля с точки зрения гляциолога?

ОЛЕДЕНЕНИЕ НОВОЙ ЗЕМЛИ

При взгляде на карту даже неискушенному человеку заметно, что этот архипелаг, протянувшийся гигантской дугой на тысячу километров (до 76° с. ш.), продолжает уральскую горную систему на границе Европы и Азии, разделяя таким образом Баренцево и Карское моря. Новая Земля вытянута почти по меридиану, и чем дальше на север, тем большее место занимают в ее ландшафте ледники. Если на юге архипелага встречаются только снежники, то в

средней части, в области горного оледенения, льдом уже занято свыше 11 % всей суши, а на севере, где расположен гигантский ледниковый покров, — почти 66 %.

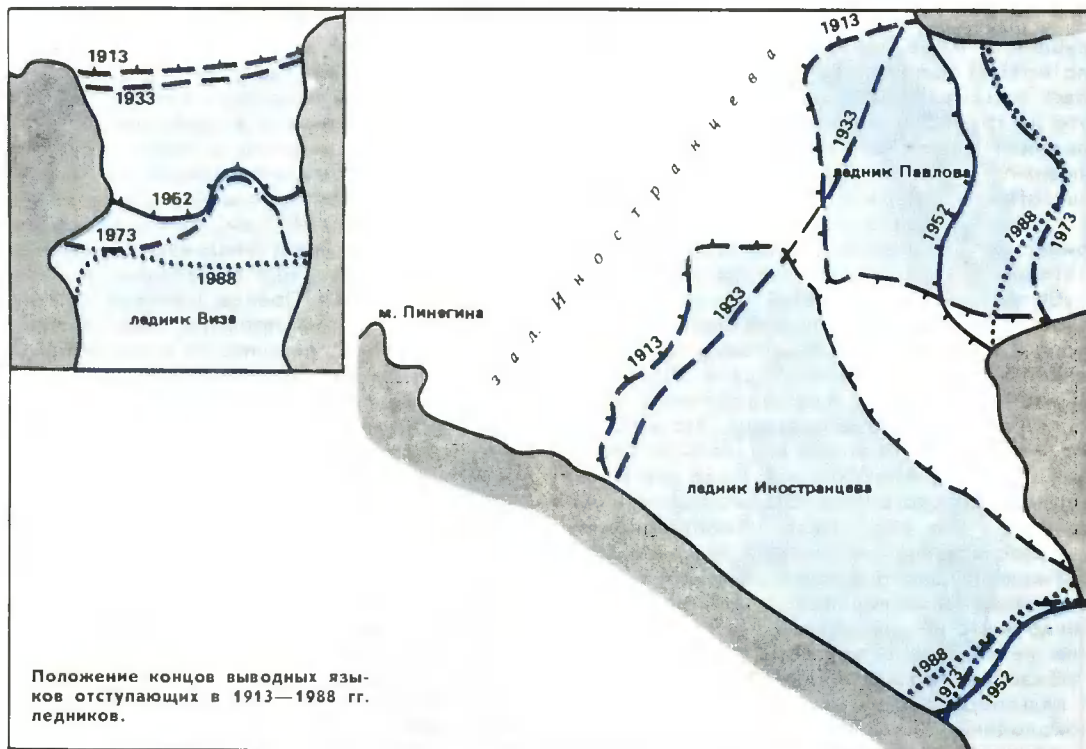
На широте п-ова Адмиралтейства (около 75° с. ш.) ледники, сливаясь своими верховьями, формируют единый гигантский массив льда, простирающийся к северу на расстояние свыше 400 км, почти до самых пределов суши. Льды покрывают Северный остров, оставляя лишь небольшие участки суши у побережья. Правда, краевые участки покрова тут и там пробиты многочисленными горными вершинами — нунатаками, окруженными со всех сторон льдом. (Это эскимосское слово пришло к нам из Гренландии и ныне широко используется полярными исследователями.) Наибольшая ширина ледникового покрова от Баренцева моря до Карского достигает 95 км, общая площадь — 18 900 км². Наибольшие высоты (до 1200 м) отмечены на юге.

Этот крупнейший ледник хорошо виден на космических снимках в обрамлении десятков выводных языков, стекающих от ледораздела к побережьям обоих морей. Истоки языков находятся в так называемой области питания в центре покрова, где ледники аккумулируют твердые осадки. Сейсмическим методом удалось измерить толщину льда в краевой части — она достигает 500 м. Общий объем льда ледникового покрова Новой Земли по разным оценкам колеблется от 6500 до 9500 км³.

Вдоль границы между дрейфующими морскими льдами и открытыми пространствами Баренцева моря, согретыми ответвлениями Гольфстрима, проходит траектория атмосферных циклонов. Они приносят на архипелаг частые метели, бушующие более 200 дней в году, из-за которых на Новой Земле невозможна хозяйственная деятельность и сложна жизнь полярников. Циклоны поставляют больше снега на западное побережье архипелага, поэтому в бассейне Баренцева моря ледники занимают больше места, чем на Карском побережье.

Климатическую асимметрию оледенения Новой Земли заметил еще в 1837 г. воспитанник Дерптского университета, впоследствии академик Петербургской Академии наук, К. Бэр. А в 1895 г. другой известный ученый и тоже впоследствии академик, Ф. Н. Чернышев, обратил внимание на то, что ледники Новой Земли увеличиваются в размерах.

В 1907—1911 гг. известный полярник В. А. Русанов, обследовав основные ледниковые области Новой Земли, по положению



морен, оторвавшихся от края ледника, отметил начавшееся сокращение ледников. В 1913 г. Г. Я. Седов положил на карту северо-западный край ледового покрова на участке от п-ова Панкратьева до мыса Флиссингенский (около 250 км), зафиксировав положение концов ледников и современных морей относительно береговой линии. Другие участники его экспедиции — М. А. Павлов и В. Ю. Визе (в будущем один из авторов теории погодного и ледового прогноза для Арктики) — первыми пересекли Новую Землю от п-ова Панкратьева к заливу Власьева на карской стороне, положив на карту ледник Кропоткина, который при последующих наблюдениях оказался стабильным. При неоднократном посещении этих внутренних участков ледникового покрова во время экспедиции по программе 2-го Международного полярного года (1932—1933) под началом геолога и гляциолога М. М. Ермолаева здесь не было обнаружено фирна — по представлениям тех лет, неперменного показателя нормального существования ледника, т. е. его способности двигаться. Этот факт стал доводом в пользу представлений о деградации ледникового покрова Новой Земли, хотя, забегаая вперед, скажем, что оснований для такой постановки вопроса не было: движение льда в вывод-

ных языках покрова не прекращалось, обширных участков неподвижного («мертвого») льда не возникало, не было и убедительных свидетельств катастрофического сокращения покрова в целом. Фирн обнаружили на Новой Земле гляциологи Г. А. Авсюк и П. А. Шумский только в 1955 г.

Итак, в 1957 г., когда на Новую Землю отправилась гляциологическая экспедиция Института географии АН СССР, сведения об оледенении Новой Земли были довольно противоречивыми и неполными. При аресте в 1938 г. у Ермолаева была изъята и уничтожена готовая (но не защищенная) докторская диссертация и все материалы экспедиции 1932—1933 гг. Поэтому нам пришлось начинать почти на голом месте.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОГРАММЕ МГГ

Ледник Шокальского, на котором мы начали работать во время экспедиции по программе Международного геофизического года, оказался удивительно стабильным: разница между накоплением массы льда за счет осадков и ее расходом на таяние и образование айсбергов невелика; фронт (обрывистый конец в море) не менял своего положения.

Сокращение новоземельского ледникового покрова выявилось при полевом де-

шифровании новейших карт и расчетах среднегодовых потерь льда на основании метеорологических данных. Они оказались весьма существенными ($2,9 \text{ км}^3/\text{год}$, по данным О. П. Чижиова).

Наша экспедиция была зимовочной, работавшей без смены 27 мес в отрыве от Большой Земли, связь с которой поддерживалась в основном по радио. Изредка прилетал самолет и сбрасывал почту — письма, газеты, журналы. Именно так, в прямом смысле с неба, к нам попала «Природа» № 3 за 1958 г. со статьей П. А. Каплина «Отступление ледников Новой Земли», где описывались изменения береговой линии на о. Северном в связи с сокращением ледников. Эти сведения были получены путем сравнения карт, снятых в 1933 и 1952 гг. Правда, и по этим данным фронт ледника Шокальского оказался стабильным, тогда как в заливе Иностранцева ледники отступили на 8 км, в гавани Мака — на 5 км. Собственно, этими данными количественные оценки изменений ледников исчерпывались.

Тщательно проанализировав те же карты, мы получили сведения об изменениях площади 12 выводных языков покрова в бассейне Баренцева моря. Судя по ним, в 30—40-е годы площадь покрова в бассейне Баренцева моря сократилась на 2 %, тогда как в Карском ледники отступали значительно медленнее.

По моим расчетам, среднегодовые потери льда в 1933—1952 гг. составили $3,6 \text{ км}^3$ (на 20 % больше, чем у Чижиова). В 1969 г. Чижов вновь посетил внутренние районы Новой Земли, где опять (как и в 1932—1933 гг.) не обнаружил фирна. Значит, в это время часть талых вод, обычно поглощаемая фирном, стекала по льду. Таким образом, в своих расчетах он несколько занизил величину стока. Автор же настоящей статьи не учел небольшого расхода льда на высокой южной части ледникового покрова и зависил его.

По снимкам американского спутника «Ландсат» удалось оценить изменения размеров ледникового покрова в бассейне Баренцева моря 1952—1973 гг., причем на всей его площади (с небольшими исключениями), что значительно повысило достоверность выводов. Здесь площадь ледникового покрова сократилась на 1,4 %, а в Карском море — лишь на 0,4 %. В этой разнице сказалась климатическая асимметрия, отмеченная Бэром. Как и прежде, концы многих ледников на Карском побережье оставались в неизменном положении, как и у ледника Шокальского на побережье Баренцева моря. Сокращение темпа отступления по сравнению с 1933—1952 гг. подтвердилось и поведением

отдельных ледников. Так, больше всего отступил фронт ледника Норденшельда — на 3,6 км (а не на 8 км, как в предшествующем периоде). Соответственно и среднегодовая убыль льда в это время составила только $2,3 \text{ км}^3$, а наступающих ледников вообще не наблюдалось.

ЛЕДНИКИ В 1988 ГОДУ

На Новую Землю мне удалось вернуться спустя 30 лет. В полевом сезоне 1988 г. я оказался единственным гляциологом в составе отряда геологов Научно-производственного объединения Севморгеология (Ленинград). Интересно было проследить, как традиционные исследовательские методы полевых наблюдений в Арктике, которые были в ходу со времен В. А. Русанова и Г. Я. Седова, все больше и больше вытесняются дистанционными наблюдениями. Если в 1933 г. ледники Новой Земли положили на карту обычной топографической съемкой (топограф обязан посетить все точки наблюдений в пределах съемочного планшета), то в 1952 г. эту же задачу (причем на более обширных пространствах) решала аэросъемка, а в 1973 г. — съемка из космоса. Теперь я надеялся определить положения концов ледников судовым радиолокатором «Миусс», используя методику, насколько мне известно, ранее в гляциологии не применявшуюся.

Еще с борта судна было заметно, что ледники Новой Земли продолжают отступать — даже ледник Шокальский «попятился» на несколько сот метров. Огромные изменения ледников Мака и Велькена были видны невооруженным глазом. Еще в 1973 г. их концы сливались, образуя огромную плиту, в тылу которой возвышался плосковерхий нунатак — теперь он разделял ледники. На некоторых других наблюдались отчетливые признаки деградации ледниковой поверхности — так, у фронта ледника Рыкачева с 1952 г. вытаял крупный нунатак высотой 80—100 м.

Радиолокатором можно определять и азимут и расстояние, работает он и днем и ночью, но оказалось, что съемка на ходу судна требует учета большого количества поправок к результатам измерений, тогда как ситуация на экране прибора меняется для не слишком опытного наблюдателя довольно быстро. Но поскольку при высадках отряда на берег судно часто становилось на якорь неподалеку от ледников, задача существенно упрощалась. Кроме того, маршруты по ледникам давали возможность определить сокращения ледниковой



Фронтальный участок относительно стабильного в последние годы ледника Броунова.

поверхности путем обычного барометрического нивелирования. В короткий срок удалось получить информацию об изменениях с 1973 по 1988 г. на 21 леднике (около 80 % площади ледникового покрова Новой Земли в бассейне Баренцева моря).

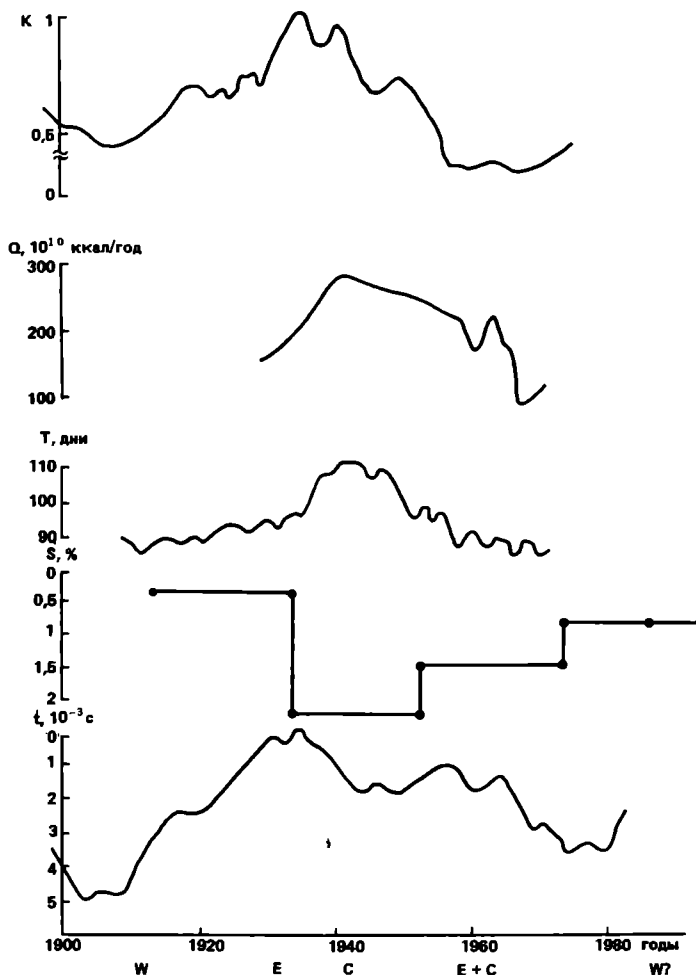
Судя по этим данным, отступление ледников за 15 лет (после 1973 г.) оказалось наименьшим за весь период наблюдений с 1933 г. — всего 0,7 % суммарной площади. Таким образом, по сравнению с периодом потепления в Арктике в 30—40-е годы темп сокращения оледенения уменьшился в три-четыре раза, а с предшествующим периодом 1952—1973 гг. — вдвое. Об этом же свидетельствовали и другие оценки: так, наибольшее отступление фронта (отмеченное у ледника Мака) составило всего 1,8 км. Значительно возросла доля наступающих и «стационарных» ледников — до четверти, чего не наблюдалось раньше. И, наконец, возможно, самое главное — резко уменьшилось снижение ледниковой поверхности. Так, у уровня моря в 1933—1952 гг. (время активного потепления Арктики) на ледниках в прифронтовой части поверхность снизилась на 66 м, а в последующие 36 лет — на столько же. Следовательно, вывод о замедлении темпов сокращения новоземельского ледникового покрова в бассейне Баренцева моря в 1973—1988 гг. подтверждается всеми полученными результатами наблюдений.

В этот короткий полевой сезон уда-

лось использовать уже упоминавшуюся карту Новой Земли Седова. На карте положение фронтов ледников в большинстве случаев совпадает с береговой линией, тогда как перед фронтами современных ледников располагаются заливы. Это означает, что мы можем теперь сделать выводы и об изменении ледников Новой Земли в 1913—1933 гг.

Во-первых, разрушался Малый ледяной мыс, современный ледник Бунге. Думается, потепление Арктики здесь ни при чем — еще раньше (к 1910 г.), судя по наблюдениям Русанова, такая же судьба постигла и Большой ледяной мыс — современный ледник Петерсена. Вероятно, эти ледники, часть которых была на плаву, достигли в своем развитии такого состояния, когда самые незначительные изменения в море (уровня или волнения) вели к разрушению. Видимо, то же самое случилось немного раньше с фронтом крупных ледников в заливе Иностранцева. Однако, отступив, они тут же вновь придвинулись к береговой линии (это и зафиксировано на карте Седова). По наблюдениям Р. Л. Самойловича, побывавшего в заливе в 1927 г., ледники тоже наступали, сформировав новый общий фронт.

Сокращение площади покрова в этой части Новой Земли с 1913 до 1933 г. составило лишь 0,4 % от общего, причем наступало до 20 % ледников. Так или иначе, но именно в это время деградация ледникового покрова Новой Земли происходила наименее интенсивно — накануне резкого сокращения в связи с потеплением Арктики в 1933—1952 гг.



Ход некоторых природных процессов в Арктике в XX в.: К — отношение продолжительностей широтных и меридиональных процессов в атмосфере; Q — поступление тепла в высокие широты; T — продолжительность лета в Северном полушарии; S — изменение площади ледникового покрова в бассейне Баренцева моря; t — изменение скорости вращения Земли (продолжительности суток). Латинскими буквами отмечены типы атмосферной циркуляции (по Г. Я. Вангенгейму): W — западная, E — восточная, C — меридиональная.

В целом картина изменения оледенения Новой Земли в 1913—1988 гг. соответствует изменению климата в результате смены типов циркуляции в атмосфере полярных зон, установленной метеорологом Г. Я. Вангенгеймом (они показаны на одном из рисунков). В свою очередь, эти типы хорошо увязываются с изменением скорости вращения Земли. В общем виде ее ускорение способствует развитию западного переноса, а замедление — меридиональной циркуляции. Похоже, что «согревающий» эффект меридионального переноса достиг максимума в 30-е годы. Соответственно, в эти годы возросло количество тепла, поступающего в высокие широты, а также продолжительность лета. Позже с уси-

нием западного переноса, когда тепла и влаги в высокие широты стало поступать меньше, темп отступления ледников Новой Земли замедлился (тем более, что и морские течения стали холоднее). Эта же тенденция сохраняется и в настоящее время в связи с возвращением западной циркуляции, характерной для начала XX в. Скорее всего, она будет преобладать и в ближайшем будущем.

Итак, несмотря на усиливающийся парниковый эффект, ледники Новой Земли не стали таять быстрее, они развиваются скорее в соответствии с перестройками циркуляции атмосферы. Однако это еще не повод, чтобы успокоиться и прекратить поиски тонких связей между природными и антропогенными причинами климатических флуктуаций.

П. А. Певзнер, **Банки генетической информации:** Т. Твардовский **проблемы и перспективы**



Павел Аркадьевич Певзнер, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Всесоюзного научно-исследовательского института генетики микроорганизмов. Область научных интересов — компьютерная генетика. Монография: Компьютерный анализ генетических текстов. М., 1989.



Томаш Твардовский, доктор наук (биохимия), заведует лабораторией биосинтеза белка в растениях Института биоорганической химии АН ПНР и отделом биологии и биотехнологии Института научной информации. Специалист по биохимии и компьютерной генетике. Руководитель программы «ГЕНИНФОРМ» от АН ПНР. Главный редактор журнала "Biotechnologist revue", постоянный автор польских и ряда европейских научно-популярных журналов.

В 1977 г. А. Максам, У. Гильберт и Ф. Сэнгер с сотрудниками научились читать генетические тексты. Это событие коренным образом изменило положение дел в молекулярной биологии — на наших глазах она все более превращается в точную науку, анализирующую последовательности нуклеотидов (А, Т, G, C) в ДНК. Многие генетики уже на «ты» с компьютером, без которого трудно представить современную генетическую (особенно генноинженерную) лабораторию. Стало ясно, что компьютер генному инженеру нужен не менее, а может быть, и более, чем физику, конструктору или экономисту. Если еще три года назад персональные компьютеры во всех генетических лабораториях СССР можно было пересчитать по пальцам, то теперь есть институты с несколькими IBM PC в каждой лаборатории. Более того, в последнее время выяснилось, что генетикам уже недостаточно стандартного IBM PC/AT с твердым диском, для решения современных задач необходим синтез высших технологий в двух областях — информатике и молекулярной биологии.

«ПРОЕКТ ВЕКА» В МОЛЕКУЛЯРНОЙ БИОЛОГИИ И БАНКИ ДАННЫХ

Вскоре после открытия методов чтения ДНК генетическая информация стала расти как снежный ком. Сейчас в мире существует несколько генетических банков данных (табл.), но даже самый полный из них — GenBank — «отстает» от молекулярных биологов года на два. Несмотря на экстренные меры, разрыв пока не удается сократить. А ведь нынешний поток генетической информации — лишь жалкий дождик по сравнению с тем ливнем, который ожидается в ближайшие 10 лет. Дело в том, что генетики приступают к «проекту века» в молекулярной биологии — расшифровке последовательности нуклеотидов в ДНК Homo sapiens, а это 3 млрд «букв» (приблизительно 2 млн печатных страниц). По

Характеристики генетических банков

Название банка и хранимые последовательности	Число последовательностей, тыс.	Общий объем банка (в нуклеотидах или амнокислотах, млн)	Место создания
GenBank (ДНК)	22	26	Лос-Аламос (США)
EMBL (—»—)	13	14	Гейдельберг (ФРГ)
ГЕНЭКСПРЕСС (ДНК)	8	8	Москва (СССР)
SWISS-PROT (белки)	7	2	Женева (Швейцария)
NBRF-PIR (—»—)	5	1,5	Мартинфрид (ФРГ)
Protein Data Bank (пространственные структуры белков)	0,7	—	Брукхейвен (США)

проекту предполагается прочесть весь геном человека к 2000 г., однако, по некоторым (пока неподтвержденным) сведениям, ряд частных биотехнологических фирм намеревается завершить эту работу в ближайшие 5 лет.

Стоимость проекта первоначально оценивалась в 3 млрд долл. (по 1 долл. за букву), однако одновременно в СССР и на Западе были предложены принципиально новые подходы к чтению ДНК, и можно надеяться, что окончательная сумма окажется на порядок меньше¹. Пока же «рекордсмен» — секвенатор фирмы «Дюпон», работающий с флуоресцентно меченной ДНК, позволяет читать несколько десятков тысяч нуклеотидов в сутки, так что для прочтения генома человека ему потребовалось бы 500 лет непрерывной работы. «Геном человека» — международный проект, его осуществление уже начато в США, Японии и ряде европейских стран. Научная кооперация охватила и генетические банки. Бывшие конкуренты — GenBank (основанный в 1982 г.) и EMBL (1980 г.) уже объединились и регулярно обмениваются информацией (в последних выпусках приведена уже объединенная информация). Банк ГЕНЭКСПРЕСС, созданный в Институте молекулярной генетики АН СССР и ВИНТИ в 1987 г., пока отстает от этих гигантов, но развивается достаточно динамично. В 1988 г. Совет Министров СССР принял постановление о начале работ по «Геному

человека», а в 1989 г. по этой программе состоялся один из первых в СССР конкурс проектов. Победители конкурса (независимо от ведомственной принадлежности) получают гранты (финансирование и необходимое оборудование) для реализации своих идей.

Как хранить ожидающийся огромный объем генетической информации, если уже сейчас GenBank не помещается на обычном твердом диске. Старый способ хранения данных на магнитной ленте неприемлем, так как многие задачи компьютерной генетики (например, поиск похожих генов) требуют быстрого доступа к данным, который магнитная лента не может обеспечить. Все эксперты сходятся во мнении, что будущее молекулярно-генетических банков данных должно быть связано с новой технологией, позволяющей с помощью лазера записывать на диск огромное количество информации.

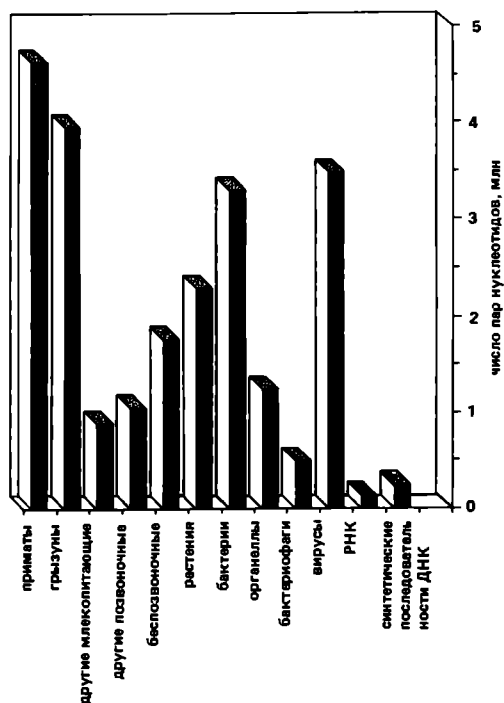
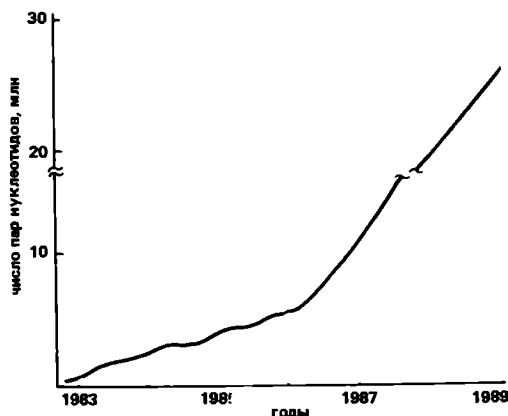
ПРЕИМУЩЕСТВА ЛАЗЕРНЫХ ДИСКОВ

Информация всегда ценилась высоко — достаточно вспомнить кодекс Хаммурапи или папирусные свитки древнего Египта. Однако ее сбор и хранение — это лишь поддела, главной же задачей при работе с банками данных становится поиск и анализ всей информации для получения новых научных результатов. При этом очень важно, чтобы она не была разбросана, а хранилась на одном носителе, обеспечивающем быстрый доступ к произвольной записи.

Именно таким носителем и является CD-ROM (Compact Disc Read Only Memory) — компактный лазерный диск с памятью только для чтения. Он отличается от обычных магнитных дисков, позволяющих не только читать, но и записывать на них информацию тем, что запись информации на лазерный диск может производиться однократно и только на специальном оборудовании.

Первый успех лазерных дисков связан с созданием три года назад CD-ROM фирмы «Харрап», содержащего 13 больших словарей на 8 языках (английском, французском, немецком, испанском, итальянском, голландском, японском и китайском) и пакет программ, позволяющий делать подстрочный перевод с одного из этих языков на другой (при этом, например, перевод с китайского на японский идет в два этапа с использованием китайско-английского и англо-японского словарей). Вслед за этим в течение года двух банки данных на лазерных дисках были созданы во многих областях: от справочной службы Пентагона и подробных

¹ Bains M., Smith G. C. // J. Theor. Biol. 1988. Vol. 135. P. 303—307; Лысов Ю. П. и др. // Доклады АН СССР. 1988. Т. 303. № 6. С. 1508—1511; Drmanac R. et al. // Genomics. 1989. Vol. 4. P. 114—128.



Рост объема расшифрованной информации в GenBank (вверху) и распределение ее объема.

карт всех дорог в США до молекулярно-генетических баз данных и пакетов программ по компьютерной генетике.

Что же такое CD-ROM и как на нем хранится информация? Это тонкий полимерный диск обычно диаметром 12 см. Мощный лазер, записывая информацию на его поверхности, делает в полимере углубления, после чего диск покрывается серебром или золотом и приобретает свойства зеркала. Чередование ровных участков и углублений на поверхности интерпретируется как

последовательность битов 0 и 1 и обеспечивает универсальный способ хранения информации. Закодированная информация может быть прочитана другим (менее мощным) лазером и введена в память компьютера. В отличие от первого (записывающего) лазера, второй (читающий) — недорогое устройство размером с небольшой проигрыватель. Уже первые варианты лазерных дисков позволяли хранить 552 Мб информации (более 250 тыс. машинописных страниц). Технология CD-ROM постоянно совершенствуется, и недалеко то время, когда лазерные диски смогут хранить в сотни раз больше информации.

Конечно, CD-ROM имеет и серьезный недостаток — невозможность обновления информации. Однако эта проблема уже частично решена созданием WORM-технологии (Write Once Read Many), позволяющей записывать информацию на лазерный диск ограниченное число раз. Пока эта статья готовилась к печати, появилось сообщение о том, что С. Джобс (один из создателей первого персонального компьютера APPLE) продемонстрировал лазерный диск, позволяющий делать перезапись любое число раз.

Таким образом, в CD-ROM сочетаются механический принцип записи и оптический метод чтения информации. Лазерный диск не боится механических повреждений (слой серебра покрывается полимерной пленкой, не мешающей считыванию) и магнитных полей, поддерживает температуру от -30°C до $+50^{\circ}\text{C}$ и обеспечивает при этом минимальную стоимость в расчете на один бит. К сожалению, у нас пока эти диски — экзотика, их имеют лишь несколько ведущих генетических лабораторий в Москве. Опыт работы в Познанском центре АН ПНР показал, что через неделю-другую работы с GenBank, пакетами программ анализа ДНК и белков биологи настолько привыкают к CD-ROM, что уже не могут представить, как они жили раньше без этой системы. Сегодня базы данных и программы занимают лишь 10 % памяти диска, а 90 % зарезервированы для дальнейшего развития.

СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ, ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ЭВМ И НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

Лазерные диски решают проблему хранения генетической информации в банках данных, но не другую, не менее важную проблему — обеспечение скорости обработки данных из банка. С 1985 г. в США и Японии идут работы по реализации методов компьютерной генетики на супер-

компьютерах², английские специалисты приняли ряд попыток использовать для поиска похожих генов в банке параллельный компьютер ICL³, а суперкомпьютер CRAY предполагается сделать сердцем информационного обеспечения «Генома человека».

Советским компьютерным генетикам и мечтать не приходится о такой технике, поэтому они идут другим путем. Дело в том, что пока использование суперкомпьютеров в генетике мало что дало: многие задачи в этой области настолько сложны, что их решению не помогает даже 1000-кратное преимущество суперкомпьютеров в быстродействии по сравнению с IBM PC. Видимо, ставку нужно делать не на мощность ЭВМ, а на принципиально новые алгоритмы — именно этим объясняется бурное развитие компьютерной генетики и использование в ней самых современных математических идей. Всего полтора года назад «Природа» опубликовала обзор по распознаванию образов в генетике⁴, а за это время специалисты из Института молекулярной генетики АН СССР предложили метод распознавания промоторов, основанный на теории нейронных сетей — новом направлении информатики, пытающемся моделировать работу человеческого мозга при распознавании плохо формализованных объектов⁵. Думается, при решении сложных молекулярно-генетических задач такие нетрадиционные подходы дадут гораздо больше, чем использование старых алгоритмов на новых все более мощных ЭВМ.

ЭЛЕКТРОННЫЕ АРХИВЫ ИЛИ ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ?

В первые годы после создания генетических банков они в основном использовались как электронные архивы, т. е. для поиска нужной информации и ее статистической обработки. Однако в последние годы стало ясно, что такой банк не просто архив, где информация «покрывается пылью» до тех пор, пока она кому-то не понадобится. Оказалось, что анализ информации из генетических банков может приводить

к генерации новых знаний, создавать и проверять гипотезы о функционировании генетических механизмов и даже порождать новые направления в молекулярной биологии. Самый известный пример такого рода связан с поиском гомологичных фрагментов в базах данных.

В начале 80-х годов обнаружилось удивительное сходство фрагментов из белкового банка, сразу приковавшее внимание всех биологов, изучающих молекулярную природу рака. При анализе на компьютере совершенно разных, казалось бы, областей (участков онкогенных вирусов, ответственных за злокачественную трансформацию клеток, и участков генома человека, кодирующих белок — фактор роста), выяснилось, что их нуклеотидные последовательности очень близки. Это не единственный пример «странного» сходства генетических текстов у организмов, которые никак нельзя заподозрить в родстве. Как могло возникнуть такое сходство? Случайное совпадение исключалось — вероятность такого события ничтожно мала. Единственное разумное объяснение можно дать, только пересмотрев наши представления об эволюции и допустив, что передача генетического материала возможна не только внутри одного вида, например от родителей к детям, но и между различными организмами, скажем, от организма-хозяина к вирусу.

Другой пример — поиск так называемых мотивов в банке белковых последовательностей. Многие белки совершенно разных организмов записаны природой как бы на один мотив, т. е. в них присутствуют напоминающие друг друга фрагменты. Естественно предположить, что такие белки ответственны за одну и ту же очень консервативную функцию, которая лишь незначительно меняется при переходе от бактерий к высшим организмам.

По мере того как подобные задачи вставляли перед генетиками, становилось ясно, что молекулярно-генетические банки должны быть наделены особыми «интеллектуальными» функциями. Если в промышленности и экономике главное — отыскать информацию в банке данных и статистически ее обработать, то в молекулярной генетике на первый план выходят задачи, которые обычно являются прерогативой человека: найти похожее в чем-то, на первый взгляд, непохожем; определить функционально значимые части того или иного генетического механизма и т. п.

Если мы не сумеем наделить генетические банки элементами искусственного интеллекта, то затея с «Геномом челове-

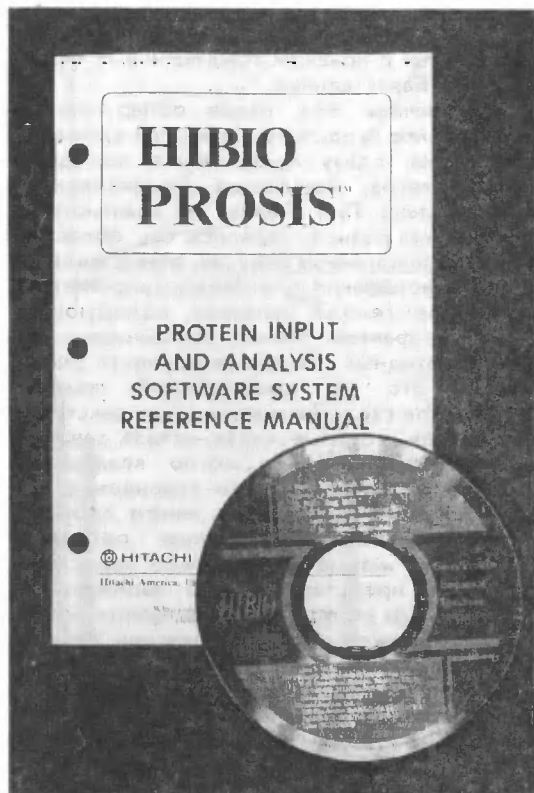
² Gotoh O., Iagashira V. // *Nucleic Acids Res.* 1986. Vol. 14. № 1. P. 57—64.

³ Lyall A. et al. // *Parallel Computing* '85. North-Holland, 1986. P. 235—250.

⁴ Александров Н. Н., Кистер А. Э., Мионов А. А., Певзнер П. А. Распознавание образов в молекулярной генетике // *Природа*. 1988. № 4. С. 73—85.

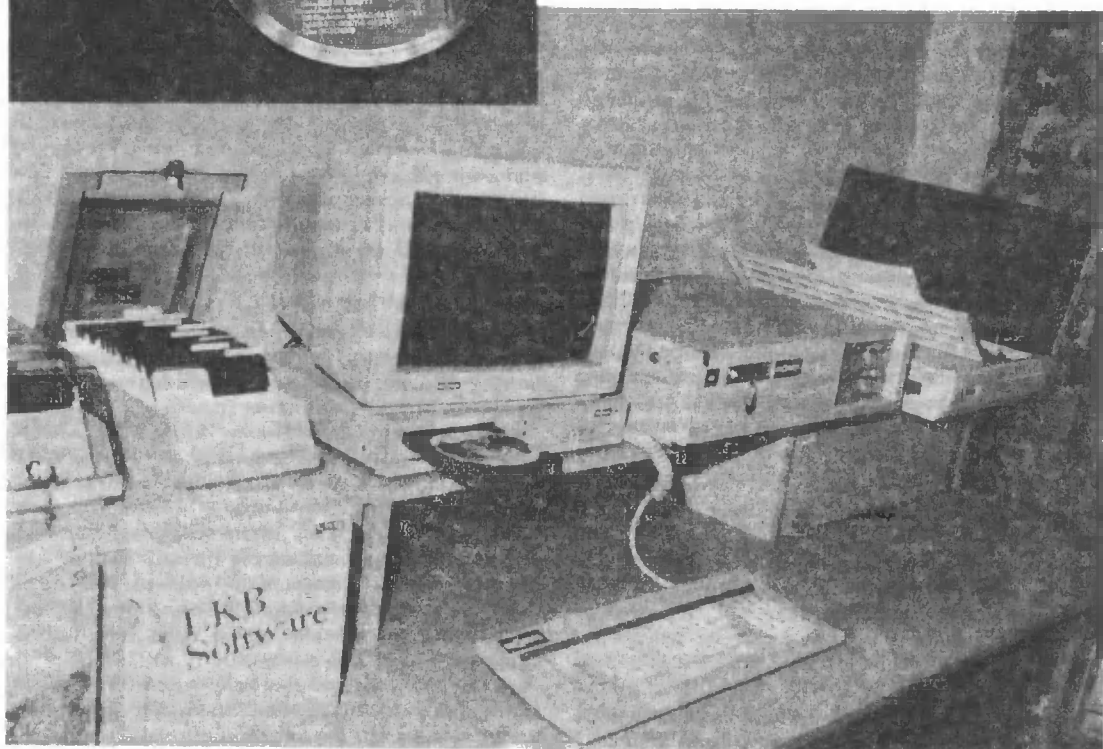
⁵ Lukashin A. et al. // *J. Biomolecular Structure and Dynamics*. 1989. Vol. 6. № 6. P. 1123—1133.

Система для обработки информации, записанной на лазерном диске.



ка» превратится в пустую трату времени и денег — кому нужна непонятная последовательность из 3 млрд чередующихся букв А, Т, G, С? Чтобы «Геном человека» заработал на биологию и медицину, необходимо понять, где начинаются и заканчиваются гены, за какие функции отвечает каждый из них, какие белки необходимы для его работы. Для ответа на эти вопросы нужно решить ряд чисто математических проблем и перейти от электронных архивов типа GenBank к экспертным системам, наделенным функциями искусственного интеллекта.

Что такое экспертная система? Этот термин становится все более привычным как среди специалистов по информатике, так и у биологов. Но отношение к экспертным системам неоднозначно: некоторые считают их светлой надеждой информатики, другие думают, что это старое вино в новых бутылках. Однако после открытия с помощью экспертной системы PROSPECTOR месторождений молибдена в США и те, и другие сходятся во мнении, что такие системы нужны. Врач, геолог или, скажем, биолог, анализирующий структуру ДНК, ча-



сто не могут четко сформулировать, как они ищут правильное решение,— в этих областях исходная информация бывает нечеткой, а правила вывода плохо формализованы. Яркий пример таких плохо формализованных правил в молекулярной биологии связан с нашумевшим подходом Л. Б. Меклера и Р. Г. Идлис к поиску пространственной структуры и функциональных областей белков, претендующим, в частности, на создание универсального средства против СПИДа. Средства массовой информации сделали им рекламу, которой могла бы позавидовать любая кинозвезда, однако большинство специалистов относится к их методу довольно прохладно. На наш взгляд, это связано прежде всего с тем, что метод не является алгоритмом в привычном понимании — его так же трудно запрограммировать, как работу врача или геолога.

Как можно было бы проверить этот метод? Традиционный способ — запретить на несколько месяцев экспертам вместе со специалистом по информатике — сейчас никого не устраивает, к тому же эксперты часто неспособны объяснить, как они приходят к решениям. Экспертная система предоставляет другую возможность — тщательно спланированное целенаправленное «выкачивание» знаний из эксперта. Тогда на основе диалога со специалистами-экспертами можно попытаться формализовать их знания, создать базу знаний в памяти ЭВМ, понять, как эксперты делают логические выводы и, наконец, вывести новые алгоритмы решения задач, до которых эксперты еще, быть может, не додумались. Если бы удалось создать экспертную систему, адекватно отображающую знания Меклера и Идлис, проверка метода не составила бы труда: достаточно было бы запустить экспертную систему для анализа белков с ранее известной пространственной структурой и посмотреть процент правильных ответов. Очень важно, что хорошая экспертная система в отличие от эксперта всегда может «объяснить» свои рассуждения.

Технология экспертных систем заставляет создателей банков генетической информации во многом менять способы её хранения. Ведь если мы хотим создать экспертную систему на основе базы данных, то необходимо, чтобы все записи в базе данных были формализованы — компьютер пока не понимает человеческого языка. Скажем, поле COMMENT (комментарий) легко прочесть человеку, но оно абсолютно непонятно для компьютера — он пока не умеет интерпретировать обычные английские предложения. К сожалению, таких неформальных полей в базах данных еще много, хотя разработчики и пытаются снизить их число.

Экспертными системами в молекулярной биологии только начинают заниматься. Первые проекты выглядели как пародия на специалиста, однако за последние год-два удалось создать работоспособные системы с минимальным набором функций. В начале 1989 г. в СССР работали всего две экспертные системы в области молекулярной генетики, созданные в Институте цитологии и генетики СО АН СССР и предназначенные для предсказания топологической структуры белков по аминокислотной последовательности (М. П. Пономаренко, И. Н. Шиндялов, Н. А. Колчанов) и классификации аминокислотных последовательностей по физико-химическим параметрам (В. Б. Стрелец, Н. А. Колчанов). Исследования в этой области стремительно расширяются: в программе I отечественной конференции по экспертным системам в молекулярной биологии (январь 1990 г.) уже насчитывается два десятка сообщений об экспертных системах. Если модернизация баз данных и создание экспертных систем будут продолжаться в том же темпе, уже в ближайшие годы мы станем свидетелями рождения искусственного интеллекта в молекулярной биологии.

КАМНИ И КАЛЕНДАРЬ

Т. Б. Здорик,
кандидат геолого-минералогических наук
Москва



КАМЕНЬ и календарь — понятия, казалось бы, достаточно далеко стоящие друг от друга. Есть, однако, между ними соединительный мостик — «камни-месячники». Для серьезного журнала «ученых для ученых», каким мы привыкли воспринимать «Природу», тема экзотическая, несколько даже щекотливая. Но этот непривычный угол зрения позволит не только рассказать по меньшей мере о дюжине наиболее красивых и традиционно почитаемых драгоценных камней, но и ввести читателей в круг интересов геммологии — науки о драгоценных и поделочных камнях (от лат. *gemma* — драгоценный камень и греч. *λόγος* — учение!).

Пусть читатель-скептик сочтет интерес к подобной теме своего рода игрой, но ... затянувшейся на века и пока отнюдь не утратившей занимательности. Читатель-романтик — будем надеяться, они еще не переехали, — пусть вспомнит, что одним из первых камней-амулетов была сама Земля: пока Антей касался ее хотя бы мизинцем, силы его не покидали. Оттого, видно, и сегодня тянет нас прикоснуться к камню.

Время возникновения камней-амулетов тонет в глубинах палеолита, и докапываясь до причин их появления мы не станем, дабы не впасть в спекуляции. По крайней мере, не стоит повторять тривиальных и тому же недоказуемых тезисов наподобие того, что-де люди, не умея объяснить правильной формы кристаллов, их чужезарного блеска и чистых, сочных тонов окраски, наделяли их сверхъестественными свой-

ствами лишь из-за своего невежества...

С большей уверенностью можно констатировать, что великие цивилизации древности не оставили письменных свидетельств о связи амулетов из драгоценных камней с календарем, хотя различные формы календарей существовали во всех государствах древнего мира и камни-амулеты почитались у всех народов древности.

Подобные камни были приурочены, однако, не к календарю, а скорее к событиям жизни человека: рождению ребенка, извечной заботе о сохранении здоровья и преодолении недугов, победе над врагом, безопасному путешествию — любому сколько-нибудь заметному успеху. Специализация камня строго регламентировалась. Скажем, зеленый малахит, благоприятный для глаз и душевного равновесия, вешали над колыбелью младенца, синезеленый акамарин вручали мореплавателю, сердолик и кроваво-красный гематит — воину, а аметист — цвета разбавленного вина — брали на пир, дабы не захмелеть сверх меры. В таком распределении амулетов несложно усмотреть логику, диктуемую восприятием цвета камня.

У народов, исповедовавших политеизм, было принято посвящать тот или иной драгоценный камень определенному божеству пантеона. Ведь упования и египтянина, и эллина на помощь в том или ином деле были, как правило, адресованы кому-то конкретно из небожителей. И здесь выбор определялся чаще всего цветом камня. Особой любовью пользовались синие камни, олицетворявшие небесную синь: лазурит и сапфир. Лазуритовые скарабеи не просто украшали, а освящали знак власти фараона — пектораль. Сапфир — камень мудрости и созерцания — римляне посвящали Юпитеру. Зеленые камни ассоциировались у народов язычников с культом плодородия.

Возникновение традиции соотношения определенных камней с календарем нередко связывают со временем составления Ветхого завета (древнееврейский оригинал датируется

приблизительно 1500 г. до н. э.). Во второй книге Моисея (Исход, гл. 28) приведено детальное описание облачения первосвященника Иерусалимского храма Аарона. Особое внимание уделено наперснику (полотняному нагруднику), на котором в золотых гнездах укреплялись в определенном порядке 12 священных камней — по числу 12 колен Израилевых. Нередко допускают, что цвет этих камней соответствовал цвету племенных знамен, а порядок — иерархии колен.

Нагрудник Аарона до потопков не дошел, не сохранилось и описания самих камней, поэтому существует множество различий в переводе их древнееврейских наименований. В русском издании Библии дан такой перевод:

«17. И вставь в него оправленные камни в четыре ряда. Рядом: рубин, топаз, изумруд, — это один ряд.

18. Второй ряд: карбункул, сапфир и алмаз.

19. Третий ряд: яхонт, агат и аметист.

20. Четвертый ряд: хрисолит, оникс и яспис. В золотых гнездах должны быть вставлены они!»

Однако перевод, канонизированный английской церковью в 1811 г., предлагает иные варианты названий камней и их порядка:

«17. И вставь в него оправленные камни в четыре ряда. Рядом: сардиус, топаз и карбункул — это первый ряд.

18. Второй ряд: изумруд, сапфир, алмаз.

19. Третий ряд: лигур, агат и аметист.

20. Четвертый ряд: берилл, оникс и яспис...»¹

Существуют и другие версии. Но ни из одной из них не следует однозначной связи камней из нагрудника первосвященника с календарем. Возможно, число 12 обусловлено двенадцатиричной системой исчисления у древних иудеев.

Более отчетливая параллель между камнями-амулетами и календарем появляется в Средние века. К этому времени изменилось само отношение к камню. В системе взаимосвязей,

© Здорик Т. Б. Камни и календарь.

Зародившись как ветвь минералогии, геммология стала ныне вполне самостоятельной наукой, включающей не только изучение свойств драгоценных и поделочных камней, но и способы их выращивания и облагораживания, ценообразование, причины изменения спроса на ювелирные изделия, огранку камней, определение их художественной ценности. Геммологов интересуют описания самоцветов в художественных произведениях — с их помощью удается решать исторические, географические, филологические и искусствоведческие задачи.

Библия. М., 1989. Гл. 28. С. 88.
Цит. по: Смит Г. Драгоценные камни. М., 1980. С. 226.



ПОСЛЕДНИЕ КАЛЕНДАРНЫЕ СПИСКИ ЮВЕЛИРНЫХ КАМНЕЙ

МЕСЯЦ	СЪЕЗД ГЕММОЛОГОВ И ЮВЕЛИРОВ В ЛОНДОНЕ, 1968	Г.БАНК, 1979 (по Коху)	ДОБАВЛЕНИЯ СОВЕТСКИХ ЮВЕЛИРОВ
Январь	Гранат	Гранат, розовый кварц	Родонит
Февраль	Аметист	Аметист, оникс	Чароит
Март	Аквамарин	Яшма, турмалин	Амазонит
Апрель	Алмаз, горный хрусталь	Алмаз, горный хрусталь, сапфир	
Май	Изумруд	Изумруд, хризопраз	Жадеит, малахит
Июнь	Жемчуг	Жемчуг, лунный камень	Агат (светлый)
Июль	Рубин, сердолик	Рубин, сердолик	Шпинель
Август	Хризолит	Оникс, сардоникс	Гроссуляр, нефрит
Сентябрь	Сапфир	Хризолит	Лазурит
Октябрь	Опал	Опал, аквамарин	Яшма
Ноябрь	Топаз	Топаз, тигровый глаз	Янтарь, цитрин
Декабрь	Бирюза	Бирюза, циркон	Голубой топаз



Таблица «камень-месячников».
Гравюры из трактата «О камнях»
[конец XV в.].

пронизывающих мироздание, созданное единым творцом — каким мыслил его сознание средневекового философа и теолога, — драгоценный камень обрел роль символического посредника между внешним миром, олицетворявшим Вселенную, — **макрокосмом**, и вселенной, заключенной в самом человеке, — **микрокосмом**. Каждый драгоценный камень был, по представлению астролога, в непосредственном подчинении одному из небесных тел и мог благодаря этому оказывать действие на того или иного человека, врачую его организм и служа надежным подспорьем в жизни.

Считается, что первым «астрологическую связь» камней со знаками зодиака установил знаменитый астролог Агриппа Неттесгейм (1486—1535)¹. Кстати, это к его книгам апеллирует гетевский Фауст. Соотношения камня и того или иного знака зодиака в дальнейшем неоднократно менялись, и к концу XVIII в. предпочтение стали отдавать не таблицам, связывающим камни с зодиакальными созвездиями, а более простым в употреблении спискам «камень-месячников». Подобных списков известно множество. Но в каждом из них выделение «счастливых камней месяцев» основывается на их окраске, отражающей цветовую гамму или цветовые эффекты, характерные для тех или иных сезонных процессов и явлений, сменяющих

друг друга в природе. Сегодня, когда о причинах окраски минералов многое стало известно и самоцветы отчасти утратили изначально присущий им мистицизм, эти цветковые аналогии по-прежнему поражают воображение. При этом ясно просматривается общая тенденция, простая и логичная: среди камней весенних и первых летних месяцев преобладают зеленые тона, середина лета и летний зной вызывают в памяти красные камни, осень тяготеет к пестрым или желтым, а зима — к холодным голубым. Кажущиеся исключения только подтверждают общее правило. Так, огненно-красный январский гранат словно бы греет, как угли в январскую стужу, а сверкающие апрельские хрустали и бриллианты ассоциируются с ледяными сосульками, жемчуг же — амулет июля — напоминает капельки росы на травах этого богатого росами месяца.

Множество разночтений в календарных списках потребовало от ювелиров и торговцев драгоценными камнями как-то упорядочить положение вещей, что и было сделано на Международном съезде геммологов и ювелиров в Лондоне в 1968 г. (см. табл.). Для сравнения дан список камней-месячников, составленный Кохом (1934) и приведенный в упомянутой книге Г. Банка, а также добавления, предлагаемые советскими ювелирами с учетом возможностей отечественного рынка камней.

Не менее важны для геммологии и собственно минералогические аспекты, тесная связь с физикой твердого тела и оптикой. Именно развитие физических методов исследования вещества сделало геммологию самостоятельной наукой, одной из главных задач которой стала

неразрушающая диагностика ограниченных драгоценных камней. Этот подход особенно важен в отношении к историческим камням, нередко вообще бесценным. Например, с помощью неразрушающих методов удалось диагностировать такие знаменитые камни, как «рубин Черного принца» в английской короне и крупный «рубин» в наивысшей точке большого алмазного венца российской короны (оба оказались красной благородной шпинелью) или «изумруд» Нерона, оказавшийся хризолитом.

Еще одна характерная особенность геммологии — интерес к синтезу ювелирных камней. Эта ее ипостась состоит как в воспроизведении синтетических аналогов природных минералов (в том числе прозрачных кристаллов), так и в создании эстетически привлекательных и пригодных для огранки материалов, неизвестных в природе. Кроме того, геммологи разрабатывают методы, позволяющие диагностировать синтетические имитации природных самоцветов, выявлять тончайшие отличия искусственных драгоценностей от природных. Важное место в геммологической практике занимает и так называемое облагораживание природных самоцветов — искусственное улучшение или изменение их окраски.

С достижениями геммологии, новыми находками драгоценных камней и давно забытыми страницами традиционных знаний о камне, с физическими объяснениями природы окраски драгоценных камней и присущим им световым эффектам будут знакомить читателей на протяжении всего года очерки о самоцветах, больше известных широкой публике как камни месяцев.

¹ Банк Г. В мире самоцветов. М., 1979.

ГРАНАТ

Т. Б. Здорик,

кандидат геолого-минералогических наук
Москва

С. Ф. Ахметов,

кандидат геолого-минералогических наук

Всесоюзный научно-исследовательский институт синтеза минерального сырья Министерства геологии СССР
Александров



СРЕДИ блеска январских снегов радует жар печи, светящиеся угольки в камине, искры, летящие в стылое небо зимних сумерек. Может быть, поэтому счастливым камнем января издавна считают огненно-красный гранат. Ведь старинные имена граната — антракс (от греч. *ανθραξ*) и карбункул (от лат. *carbunculus*) — означают уголь. «Камни блестящие все превосходит собою карбункул. Он, словно уголь горящий, лучи во все стороны мечет. Кажется, в том и причина, что так этот камень зовется. Этого камня сиянье и тьма погасить не сумеет», — писал в своем лапидарии епископ из Ренна Марбод Реннский (XI в.).

От греческого *πυρρός* — огонь происходит название бла-

городного богемского граната — пироба, горячего густо-красного цвета. Богемия была столь ими богата, что в XVII—XVIII вв. крестьяне находили пиробы прямо на пашне. Корзины с каменными «клубнями», похожими на картофелины и тающими внутри зерна граната, или просто сами эти зерна несли на продажу в Прагу. Самый крупный из когда-либо найденных там кристаллов был размером с голубиное яйцо. Немногом уступают ему алые кабошоны пиропов в ордене Золотого руна (носили его лишь особы королевской крови), хранящемся ныне в сокровищнице саксонских курфюрстов в Дрездене. Есть в Чехословакии, в маленьком городе Тршебнице, специальный музей богемских гранатов, где среди реликвий хранятся брошь, подаренная жене Б. Сметаной, и большой

Природный гранат —grossular. Искусственные кристаллы граната, синтезированные во ВНИИСИМСо. Фото С. Ф. Ахметова.

убор — прощальный подарок И.-В. Гете шестнадцатилетней Ульрике фон Левецов, предмету его последней любви и адресату «Мариенбадской элегии».

Примерно в десять тысячелетий определяют археологи возраст культурных слоев на Анатолийском нагорье. Среди других находок эпохи неолита попадаются здесь маленькие бусинки из альмандина — еще одной разновидности граната. После походов Александра Македонского альмандин в числе других ярких самоцветов проникает в Средиземноморье, становится материалом гемм. Гранаты — излюбленный камень в украшениях скифов и сарма-

тов. Угольком вспыхивают гранатовые зерна в золотых колтах, диадемах, перстнях — украшениях знатных особ эпохи великого переселения народов. Изысканная мозаика из уплощенных гранатовых вставок подчеркивает строгий стиль ювелирных изделий средневековой Европы, знакомых нам по музеям Прибалтики. Темно-красные гранаты улавливает глаз минералога в самых известных экспонатах Оружейной палаты и Алмазного фонда СССР: колтах и бармах Рязанского клада, знаменитой Казанской шапке Ивана Грозного, букетах из драгоценных камней, созданных французским мастером Позье.

На Руси гранаты называли венисой, или бечетой. Помимо венисы алабандской (т. е. альмандина — по городу Алабанда в Малой Азии, где в древности шла торговля камнями) появилась в XVIII в. и своя, карельская, вениса. По деревне Кителя в Карелии ее называли кительской. С этих пор красные «глазки» венисы зааели в сережках и перстеньках российских горожанок, часто в сопровождении мелкого речного жемчуга. Гранат стал «рубином простонародья» (в этом, наверное, разгадка секрета новеллы Куприна «Гранатовый браслет»¹).

Антракс, карбункул, вениса, бечета — эти старинные названия относятся только к красным гранатам. Первоначально и само слово «гранат» было введено в обиход из-за сходства кристаллов минерала с алыми зернышками плодов гранатового дерева (автором названия считают алхимика Альбертуса Магнуса). Сегодня гранатом именуют целое семейство разных по цвету минералов, у которых при одном и том же пространственном узоре кристаллической решетки набор слагающих ее атомов меняется довольно сильно.

Для обозначения состава различных видов граната единой формулой слагающие их атомы пришлось сгруппировать: все двухвалентные металлы — кальций, магний, марганец, двухвалентное железо — обозначили буквой «А», а все трехвалентные — алюминий, трехвалентное железо, хром, титан, ванадий — буквой «В». Добавив входящую в состав граната группу SiO_4 , получили довольно простую и стройную формулу: $\text{A}_3\text{B}_2[\text{SiO}_4]_3$. В природе больше всего алюминиевых гранатов: это пироп $\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$,grossу-

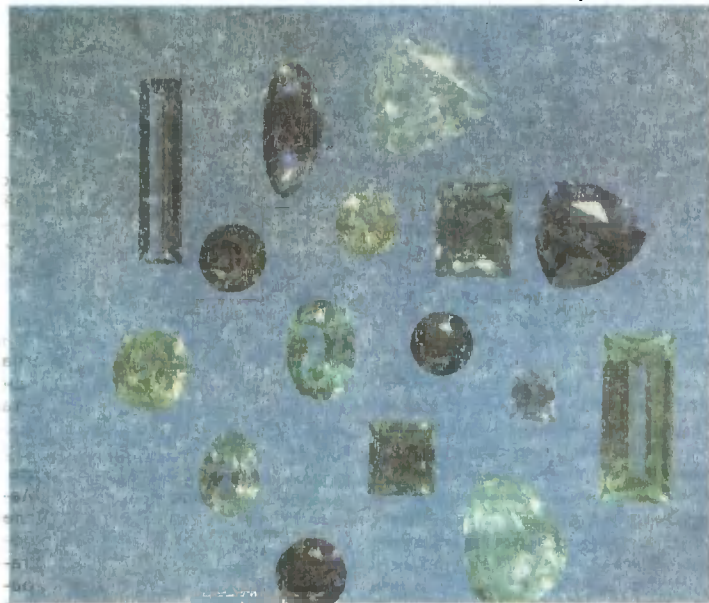
ляр $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$, спессартин $\text{Mn}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$, альмандин $\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$. Но в некоторых представителях семейства место алюминия занято хромом (хромовый гранат — уваровит) или железом (железистые гранаты — андрадит и демантоид).

Однако такие классические гранаты, включающие только два сорта катионов, можно встретить разве что в учебнике или в автоклаве экспериментатора. В структуре же природных минералов одновременно существуют несколько видов катионов, и кристаллы не теряют при этом своей высокой симметрии.

Обилие элементов-хромовых (здесь и железо, и марганец, и хром, и титан) порождает характернейшее свойство гранатов — их плотную, насыщенную и почти всегда неоднородную окраску. Одним словом ее обычно не назовешь: здесь и краснотурецкий, и гвоздично-коричневый, и винно-красный, и крыжовенно-зеленый, и серо-зеленый, и медово-желтый, и оранжево-розовый и много других цветов вплоть до серо-буро-малинового в самом прямом смысле.

За последние 10—15 лет удалось выяснить природу окраски большинства гранатов. Оказалось, что красный цвет альмандина и андрадита, а также зеленый цвет grossуляра и демантоида обусловлены присутствием трех- или двухвалентного железа в октаэдрической координации. Зеленый уваровит окрашен ионами хрома, темнотурецкий меланит — титаном, розовый родолит — марганцем. Более сложна природа окраски пиропы, в которую вносят свою лепту как хром, так и железо, в разных соотношениях. Наиболее красивые и чистые окраски характерны для содержащих хром и практически не содержащих железо пиропов из алмазных трубок Австралии.

Акварельные краски просто смешать в воде. Устойчивые соединения различных ионов в структуре минерала возникают обычно при высоких температурах и давлениях. Так, красные гранаты — пиропы — образуются в мантии Земли вме-



¹ Подробнее см.: З. дорик Т. Б. // Химия и жизнь. 1979. № 2. С. 49—53; Ахметов С. Ф. // Там же. 1980. № 12. С. 118—119.

² Платонов А. Н. Природа окраски минералов. Киев, 1976.

сте с алмазами или же в безалмазных кимберлитовых трубках. Встречаются они и в других глубинных магматических породах — гранатовых перидотитах. Известны находки пиропов и в каменных метеоритах. Альмандины чаще всего приурочены к древним метаморфическим толщам, слагающим кристаллические щиты. Крыжовенно-зеленый гроссуляр и красно-бурый альмандин рождаются в скалах, т. е. на границе карбонатных пород с гранитами. Темно-бурый, почти черный меланит нередок в специфических карбонатных эндогенных породах — карбонатитах. И только яркий, травянисто-зеленый гранат — уваровит, а также золотисто-зеленый демантоид имеют гидротермальное происхождение.

Синтезировать гранаты стали еще в конце прошлого века, когда научились воссоздавать природные процессы. Первыми успеха добились французы Ф. Фуке и О. Мишель-Леви. В 1878 г. они смоделировали природный вулканический процесс, для чего взяли нефелин и авгит в соотношении 9:1, растерли их в порошок и сплывили. После медленного охлаждения в тигле оказался довольно темный на вид продукт. Микроскопические исследования показали наличие шпинели и округлых черных кристаллов какого-то минерала. Этот загадочный неизвестный оказался меланитом — черной разновидностью андрадита.

Через несколько лет другой французский ученый А. Горго, сплавив глину с избытком хлористого марганца в парах воды, насыщенных водородом (т. е. воспроизведя в лаборатории гидротермальный процесс), получил прозрачные желтые кристаллы спессартина. Увы, кристаллы оказались слишком мелкими, и любоваться ими можно было лишь в микроскоп.

В годы первой мировой войны научные работы пришлось свернуть. Только в конце 30-х годов американец Е. Флинт повторил опыт по синтезу андрадита. Одновременно он заинтересовался гидрогроссулярами.

Все эти минералы он получил гидротермальным способом в автоклавах. Затем были синтези-

рованы гидроандрадиты — водные аналоги кальцево-железных гранатов.

50-е годы увенчались получением уваровита. Этот гранат и в природе не встречается в виде крупных кристаллов, а уж искусственные оказались совсем мелкими — не более 0,01 мм. Как бы то ни было, но большинство гранатов удалось синтезировать. И только два крепких орешка — пироп и альмандин — долго не давались экспериментаторам. Лишь в 1955 г. американские ученые Л. Кос и Х. С. Йодер сообщили об их синтезе.

Впоследствии методика синтеза гранатов значительно упростилась, их научились достаточно быстро получать на аппаратуре, предназначенной для выращивания алмазов. Однако из-за малых размеров эти кристаллы гранатов не представляли большого интереса ни для ювелиров, ни для инженеров.

Ученые продолжали работать. Наиболее упорный и удачливый из них Х. С. Йодер добился успеха там, где его, казалось, не могло быть. Исследователь заметил, что в спессартинах некоторых месторождений содержится довольно много иттрия. В структуре спессартина этот редкий элемент занимает место марганца (хотя он трехвалентен, а марганец в гранате двухвалентен). Йодер решил получить гранат, в котором весь марганец замещен иттрием. Образующийся при этом избыток валентности он собирался уравновесить, заменив весь кремний спессартина на алюминий и создав таким образом дефицит валентности.

Вместе с М. Л. Кейтом Йодер принял экспериментировать, используя оксиды алюминия, иттрия и кремния, а также карбонат марганца. Как обычно, исследователи сплавляли порошки в стекло, измельчали его, выдерживали при высокой температуре (1350—2450 К), а затем резко охлаждали. Новый гранат кристаллизовался в виде мельчайших зерен, которые при сильном освещении играли и переливались не хуже алмаза. Их даже называли «алмазным воздухом».

Йодер и Кейт дали новому минералу имя иттрогранат, но

позже в мировой литературе утвердилось название иттриево-алюминиевый гранат, или ИАГ. Свойства его оказались весьма привлекательными: твердость 8,5 по шкале Мооса (чуть мягче рубина), показатель преломления света 1,835 (больше, чем у рубина), дисперсия 0,026 (почти как у алмаза), температура плавления 2203 К (меньше, чем у рубина). Судя по всему, ИАГ мог стать отличным ювелирным материалом. Надо было только научиться получать его в крупных блоках.

Проблему решила группа ученых Института кристаллографии АН СССР под руководством Х. С. Багдасарова. Они создали установку «Сапфир», на которой можно было из расплава выращивать кристаллы корунда или ИАГ весом до 0,5 кг. Было решено организовать промышленное производство кристаллов ИАГ. К работе подключились Всесоюзный научно-исследовательский институт синтеза минерального сырья (ВНИИСИМС) и другие институты, а также заводы электронного машиностроения. Группа Багдасарова модернизировала свою установку, после чего кристаллы ИАГ потяжелели почти до 2 кг. Такой громадный ювелирный кристалл вырастал всего за 2—2,5 сут.

ИАГ оказался счастливым находкой во многих отношениях. Помимо того, что он быстро достигал больших размеров, структура позволяла вводить в его состав многие элементы (в первую очередь — лантаноиды), окрашивающие гранат в самые разные цвета: добавка оксида эрбия — в розовый, гольмия — в желтый, тулия — в светло-зеленый, смеси эрбия и гольмия — в желтый. Выяснилось также, что в атмосфере инертного газа гранатовый расплав способен удерживать оксиды кобальта и хрома. В результате были получены небывалые в природе голубые и зеленые гранаты¹. Кроме того, во ВНИИСИМСе разработали метод выращивания кристаллов ИАГ².

¹ Ахметов С. Ф., Ахметова Г. Л., Миренкова Т. Ф. // Журн. неорганической химии. 1977. Т. 22. Вып. 11. С. 2966—2969.

один конец которых бесцветный, розовый или желтый, а другой — зеленый⁴.

Значительно труднее было получить синий ИАГ, сравнимый по цвету с васьиковым сапфиром. Как известно, в природе синих гранатов не бывает, тем упорнее боролись исследователи за успех. И синий гранат удалось синтезировать независимо группам исследователей в Ереване и Александро-в.

Одновременно с лантаноидно-алюминиевыми гранатами было выращено множество лантаноидно-галлиевых и иттриево-галлиевых гранатов, ювелирные качества которых очень высоки. Затем получили лантаноидно-железные и иттриево-железные гранаты. Эти кристаллы оказались аспидно-черными — подстать меланиту, любимцу католических монахов. Но наибольшее применение в ювелирной промышленности нашли бесцветные кристаллы ИАГ, а также кристаллы, окрашенные в розовый и зеленый цвета. Крупные прямоугольные блоки этих гранатов идеально подходят для автоматических ограночных линий⁵.

В науке и технике первыми стали применять иттриево-железные и лантаноидно-железные гранаты. Эти ферромагнитные кристаллы прозрачны для инфракрасного излучения и могут служить в оптических приборах и вычислительной технике.

Сейчас во многих лабораториях мира идет активный поиск элементной базы и принципов работы ЭВМ нового поколения. Ученые все чаще приходят к мысли, что основным носителем информации в них станет луч лазера. Это позволит избавиться от помех, резко увеличить объем передаваемой информации. Модулированный лазерный луч — носитель информации — управляется спе-

циальными магнитооптическими устройствами. Главную роль в них играют кристаллы иттриево-железного граната, в котором часть ионов иттрия замещена ионами иттербия, гадолиния и висмута.

Магнитооптические устройства нужны не только в ЭВМ. По световому кабелю можно передавать и телефонные разговоры — десятки, сотни тысяч одновременно. Так что у иттриево-железных гранатов большое будущее. Но и сейчас им хватает работы. Например, их используют в цилиндрических магнитных доменах (ЦМД) в запоминающих устройствах ЭВМ. Для получения ЦМД на монокристаллическую подложку из галлий-гадолиниевого граната наращивают тонкую (5—10 кмк) пленку из граната другого состава, в которой и создаются изолированные участки слабого обратного намагничивания, имеющие форму цилиндра. Наличие такого домена означает единицу информации, отсутствие — ноль. Получается двоичная система, понятная любой ЭВМ. На площади в 1 см² можно уместить 1 млн битов информации.

Любой лазер немислим без рабочего тела — активной среды, в которой зарождается мощное излучение. В первых лазерах активной средой служили монокристаллы рубина. Вскоре выяснилось, что силикатное стекло с примесью неодима тоже может быть активной средой. Так как неодим входит в группу лантаноидов, возник вопрос: нельзя ли рубин заменить ИАГ? Так появились активные среды из ИАГ с примесью самария, диспрозия, тулия и других лантаноидов. В дальнейшем стали использовать ИАГ с добавками хрома, никеля и т. д. Диапазон длин волн по сравнению с рубиновым лазером весьма расширился.

С помощью лазерного скальпеля делают, как известно, тончайшие хирургические операции. Луч лазера на иттриево-алюминиевом гранате с неодимом способен значительно глубже проникать в ткани. Можно передавать его и по гибким волоконным световодам, т. е. применять в эндоскопии.

Лазерный нагрев используется и при высокотемпературном синтезе минералов. Недавно на киноплёнке удалось зафиксировать появление расплава, процессы зарождения и роста кристалла ИАГ. Интересно, что рабочим телом в лазере служил кристалл того же граната с примесью неодима.

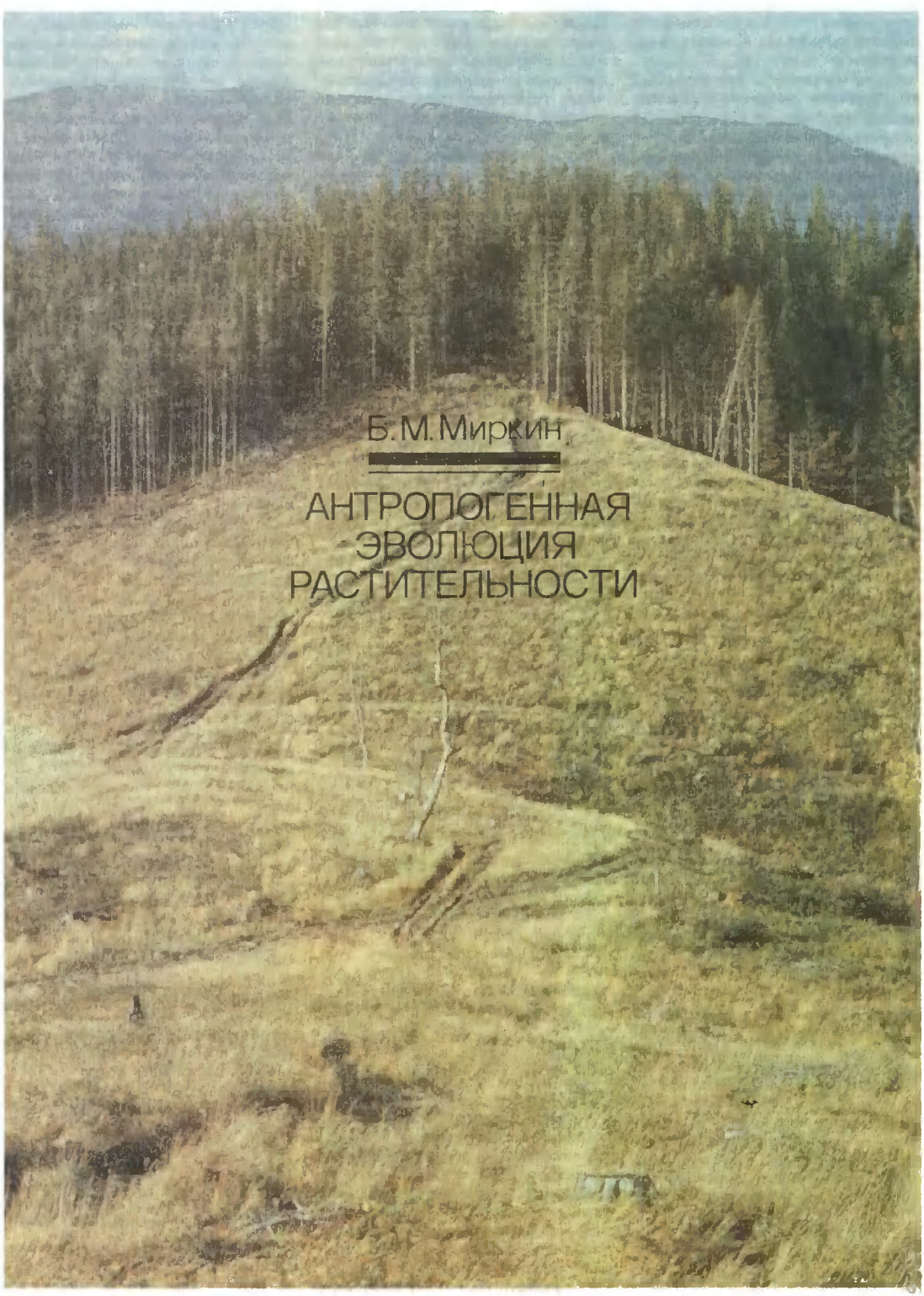
В последние годы ученые Института радиоэлектроники АН СССР и ВНИИСИМСа приспособили синтезированные гранаты для работы в линиях задержки. Их действие основано на идеях К. Н. Баранского о возбуждении сверхвысокочастотных колебаний в кристаллах. Преобразовывая электрический сигнал в ультразвуковой, распространяющийся в кристалле почти в 50 тыс. раз медленнее, удается задерживать сигнал на определенный отрезок времени. Это нужно, например, в цветном телевидении, где изображение обеспечивается тремя последовательно поступающими сигналами: одним яркостным и двумя несущими информацию о цветовой гамме объекта. Один из цветовых сигналов приходится задерживать, преобразуя его в ультразвук и пропуская через кристаллический стержень определенной длины.

Акустические линии задержки, изготовленные из кристаллов ИАГ, могут служить и ячейками краткосрочной памяти. ЭВМ, получив промежуточный результат, преобразует его в акустический сигнал и отправляет в линию задержки. Сигнал хранится от одной до нескольких сотен микросекунд. За это время ЭВМ успевает сделать десятки тысяч операций и в нужный момент получить из памяти необходимую информацию.

В заключение можно посоветовать, что в нашем кратком очерке о семействе гранатов не удалось рассказать всего об этих интереснейших минералах. Например, за кадром оказалась сложная и полная противоречий история разработки месторождений природных гранатов. Остается надеяться, что специалисты по месторождениям цветного камня восполнят этот пробел.

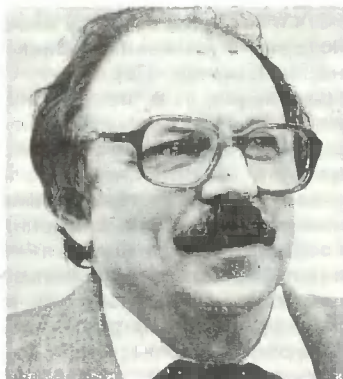
⁴ Ахметов С. Ф., Давыдченко А. Г., Поздняков А. И. Выращивание и исследование монокристаллов иттриево-алюминиевых гранатов с различными добавками // Синтез минералов и экспериментальные исследования. М., 1981. С. 72—75.

⁵ Ахметов С. Ф. Искусственные кристаллы граната. М., 1982.

The background image is a landscape painting. It depicts a clearing or a hillside in the foreground, covered in dry, yellowish-brown grass and some sparse vegetation. A few dead, standing tree trunks are visible. In the middle ground, there is a dense forest of tall, thin trees, likely conifers. In the far background, there are rolling hills or mountains under a pale, overcast sky. The overall style is somewhat impressionistic or painterly.

Б. М. Миркин

АНТРОПОГЕННАЯ
ЭВОЛЮЦИЯ
РАСТИТЕЛЬНОСТИ



Борис Михайлович Миркин, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Башкирской АССР. Работает в Башкирском государственном университете и одновременно руководит научными исследованиями по фитоценологии в Институте биологии Башкирского филиала АН СССР. Круг научных интересов охватывает как теоретические аспекты фитоценологии, так и прикладные. Автор многих монографий, в их числе: Теоретические основы современной фитоценологии. М., 1985; Что такое растительные сообщества. М., 1986; Словарь понятий и терминов в современной фитоценологии (в соавторстве с Г. С. Розенбергом и Л. Г. Наумовой). М., 1989. В «Природе» опубликовал статью: Фитоценология в охране растительности (1988. № 7).

НЕТ ДОРОГИ В САД ДЕВСТВЕННОЙ ПРИРОДЫ

Один из известных советских ботаников Б. М. Козо-Полянский, который в 30—40-е годы возглавлял кафедру Воронежского университета, вошел в историю науки как автор оригинальных работ по происхождению однопокровных — двудольных цветковых растений, опыляемых ветром. Мало кто знает, что на «заре туманной юности» круг его интересов был совсем иным и будущий профессор опубликовал брошюру с интригующим названием «Финал эволюции», в которой дал прогноз неизбежного апокалипсического конца мира под влиянием разрушающей природу деятельности человека.

Козо-Полянский не отрицал того, что *Homo sapiens* — плоть от плоти животного мира планеты, но считал, что он стоит особняком от всех остальных групп (включая приматов). Возникнув локально на одном из затонувших материков Пацифики, предок человека автономно эволюционировал в этом районе, и лишь в достаточной мере «очеловечившись», расселился по всему земному шару и начал беспощадно уничтожать природу. «Весь органический мир отмечен знаком смерти, он гибнет, и его эволюция прекратилась с тех пор, как в него вклинился процесс, который и является ликвидатором эволюции. Вечерняя заря органического мира уже наступила: близок вечер»¹.

Эти строки были написаны более чем за 60 лет до наших дней, когда драматических последствий влияния человека на природу было много меньше и еще не случились трагедии Арала и Чернобыля. И хотя человек сегодня не рассматривается как пришелец с какого-то погибшего материка, перспектива библейского конца света не исключается. Знаменитый «Римский клуб» отпустил современному человечеству 30—50 лет жизни, разумеется, если оно не образумится и не станет контролировать негативные процессы, протекающие в биосфере. Становится все очевиднее, что «экологический инфаркт» сегодня уже опаснее, чем угроза ядерной войны, предотвратить которую проще, чем предсказанный Козо-Полянским фатальный финал эволюции. Человек разумен и не может не анализировать тех уроков (часто непредсказуемых по результату и трагических по масштабу), которые дает ему природа. Формирующаяся система обратных связей меж-

Сплошная рубка лесов приводит к эрозии склонов (Карпаты). Здесь и далее фото К. Д. Стародуба.

© Миркин Б. М. Антропогенная эволюция растительности.

¹ Козо-Полянский Б. М. Финал эволюции. Краснодар, 1922. С. 16—17.

ду человеком и природой заставляет его уже сегодня отказываться от многих проектов, заманчивых в экономическом отношении при сиюминутной оценке, но губительных для завтрашнего дня. И хотя экологическое прозрение идет медленнее, чем хотелось бы, вопросы экологии становятся важными элементами государственной и межгосударственной политики. С годами, я уверен, интернациональная экологизация общества будет все более усиливаться. Иначе не может и быть, ибо хозяйственная деятельность вызвала глобальные изменения в биосфере. Антропогенные процессы особенно жестко отразились на растительности — единственном источнике кислорода и основном продуценте органического вещества, которое питает бесхлорофильные организмы планеты, включая человека.

Неудивительно, что многие фитоценологи сейчас перешли от познания законов естественной организации растительности к изучению различных аспектов ее изменения под антропогенным прессом. Стало ясно, что растительность — это тонкий и надежный индикатор процессов, протекающих в биосфере, который позволяет достаточно достоверно и с меньшими затратами, чем при прямых исследованиях, судить о состоянии атмосферы, почвы, воды, животного мира и т. д.

Есть полное основание считать совокупность процессов в растительности, вызванных деятельностью человека, антропогенной эволюцией, если помнить, что эволюция — это далеко не всегда процесс развития с усложнением структуры (например, эволюция паразитов ведет к упрощению их строения). Антропогенная эволюция растительности тоже привела к упрощению структуры: убывает число видов в сообществах, уменьшается количество самих сообществ, снижается их продуктивность и т. д. Мало того, она почти полностью подавила несравнимо более медленную естественную эволюцию.

В чем выразилась антропогенная эволюция? Может ли человек в условиях, когда экология, по словам видного эколога Р. Макинтоша, становится «самоосознающей наукой», далекой от того, чтобы звать его назад в сад девственной природы и благочестия, управлять этим процессом?

Попробуем ответить на эти вопросы.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ АНТРОПОГЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Процессы, составляющие антропогенную эволюцию, или синантропизацию, можно разделить на две принципиально разных,

хотя и связанных между собой группы, вклад которых в изменение облика нашей планеты неравнозначен. Первая — стихийная синантропизация, т. е. изменения, происходящие по воле, но помимо воли человека. Вторая — направленная синантропизация. Это по сути — оптимизация растительности за счет управления процессами стихийной синантропизации или создания искусственных сообществ. Оптимизация — всегда некий компромисс между использованием и охраной, стремление получить лишь то количество (и качество) растительной продукции, которое позволяет нормально воспроизводить плодородие почвы, предотвращать загрязнение атмосферы и воды и т. д.

В изменении растительности гораздо больше повинна стихийная синантропизация, чем направленная. В стихийной синантропизации можно выделить два разнонаправленных процесса — ретрогрессии, т. е. изменения, связанные с разрушением растительности под влиянием антропогенных факторов, и восстановительные сукцессии — спонтанные изменения, которые протекают в растительности при временном или полном прекращении воздействия разрушающего фактора или при его ослаблении.

Воздействия, ведущие к ретрогрессиям, многочисленны: это рубка лесов (особенно тропических, в которых естественные сообщества не выдерживают конкуренции с плантациями гевеи, кофе), выпас скота (самый глобальный тип ретрогрессии, так как под пастбища используется больше 20 % суши), самые разные виды рекреации, химические выбросы, радиация и т. п. В ходе ретрогрессии, как правило, меняется и число видов в сообществе, и количество сообществ, и видовое разнообразие ландшафта. В первую очередь исчезают виды, не способные размножаться в новых условиях, упрощается структура сообществ: в лесах исчезает подлесок, моховой ярус. Падает и общая биологическая продуктивность, хотя под влиянием загрязнителей (например, животноводческих стоков) она может стать выше. Замечу, что на первых стадиях ретрогрессии сообщества бывают богаче видами — антропогенный фактор уменьшает конкурентную силу некоторых «бильных» видов (например, сныти в травяном ярусе широколиственного леса), в них внедряются луговые виды, более устойчивые к вытаптыванию. Но при усилении рекреационной нагрузки число видов непременно убывает.

При ретрогрессии изменяется также внутривидовое разнообразие. Под воздействием антропогенных факторов в популяциях отбираются наиболее устойчивые к ним ге-

нетические варианты (экотипы), а менее стойкие исчезают. Так, за счет систематического применения гербицидов разрослись устойчивые формы мака-самосейки, крестовника обыкновенного и других растений. Причем повышение их устойчивости за 20—30 лет не могло быть вызвано мутациями, а именно отбирались «заранее готовые», преадаптированные к действию нового фактора экотипы. Установлено, что преадаптированной к действию сернистого газа, выбрасываемого промышленными предприятиями, оказалась японская лиственница, которая сформировалась как вид в условиях повышенной концентрации этого газа, извергаемого вулканами. Быстро возникают устойчивые к нему же формы многих злаков: ежи сборной, райграса многолетнего, полевицы побегообразующей и т. д.

Восстановительная сукцессия протекает под действием внутренних факторов, за счет которых в нарушенной растительности постепенно возобновляются сообщества, существовавшие в девственной природе или при умеренном антропогенном влиянии. Однако из-за того, что условия в почве, как правило, уже изменены в ходе ретрогрессии, ограничено попадание полного набора семян тех видов, которые составляли естественные сообщества, и, наконец, из-за повторяемости разрушающего влияния эти изменения также принято рассматривать как антропогенные. Формирующиеся в результате восстановительных сукцессий сообщества могут значительно отличаться от естественных. К примеру, если луга ежегодно скашивают и вносят высокие дозы азотных удобрений, сообщества обедняются видами, так как обильно разрастаются немногочисленные виды злаков, усиленно использующие азот. Даже длительное заповедание таких лугов не приведет к полному восстановлению их состава. Специально исследовавший эти сообщества чешский фитоценолог Р. Нойхауэл предложил их называть квазикоренными. Еще хуже восстанавливаются сообщества сильно сбитых пастбищ на горных склонах, где смывается часть верхнего слоя почвы.

Степень отклонения нарушенного сообщества от естественного оценивают уровнем синантропности, или гемеробии. Разработано несколько шкал, из которых наиболее удобна числовая: в 8 баллов оценивается полностью нарушенное сообщество (скажем, поле под культурой), а в 0 баллов — девственное сообщество². Существуют разные способы определения гемеробии сообщества

и растительности целого ландшафта, но главный — это учет количества видов-гемеробов.

Принятое по отношению к экосистемам понятие упругости (способности восстанавливаться после прекращения воздействия) применимо также к растительным сообществам и их сочетаниям. Упругость сообществ определяется многими факторами, главный из которых — его биологическая продуктивность. Это объясняет, почему так легко восстанавливается растительность пруда (если, разумеется, нарушение было лишь однократным) и трудно — сообщества пустынь и тундр.

Восстановительные сукцессии могут начинаться с любой стадии ретрогрессии: после недолгого выпаса или однократного пикника горожан в пригородном лесу; после прекращения длительного выпаса, когда травостой приобрел уже типично пастбищный облик и состоит из устойчивых низкорослых или колючих и малопоедаемых видов (таких как чертополох, подорожники, полынок австрийский и т. д.), и, наконец, после фактически полного уничтожения растительности пожарами, техникой (в тундре), сильным загрязнением почвы нефтепродуктами в результате аварии на нефтепромысле и т. п. Скорость восстановления будет зависеть не только от упругости сообществ, но и от того, насколько нарушена растительность ретрогрессией. Если она полностью уничтожена, восстановление будет зависеть от наличия поблизости не пострадавших участков — только оттуда могут попасть семена для возобновления.

Ретрогрессии и восстановительные сукцессии представляют основные, но не единственные формы антропогенной эволюции, она может быть и более сложной. Так, какие-либо специфические синантропные сообщества могут и не формироваться, но сдвигаются границы природных зон: степь наступает на лес, пустыни — на степь, саванны — на тропический лес; на осушенных болотах вместо специфических сообществ влаголюбивых растений появляются леса; подтапливаются и заболачиваются почвы выше плотин, а ниже (в южных районах) — иссушаются и засоляются, и это также приводит к смене сообществ; пустынные солянковые сообщества формируются на бывшем дне моря. Подобные воздействия опаснее ретрогрессии, так как изменения среды столь существенны, что в большинстве случаев восстановительная сукцессия невозможна. Пример тому — саванны, возникшие на месте тропических лесов.

Экологические уроки природы должны быть накрепко усвоены человеком, чтобы впредь избегать столь серьезных вмеша-

²Биоиндикация загрязнений наземных экосистем. М., 1988.



Многие бывшие лесные массивы занимают поля и редколесья (слева), а на месте сплошных рубок усиливается эрозия почвы и возникают овраги (Днепропетровская обл.).



тельств в среду обитания. Многие экосистемы (подобные долинам рек аридной зоны или Аралу) столь уникальны, что какие-либо эксперименты исключены — даже самые модные прогностические модели могут оказаться далекими от реальности, так как в них не учитываются все возможные факторы, влияющие на антропогенные процессы в растительности.

Теперь перейдем от процессов антропогенной эволюции к самой синантропной растительности.

СИНАНТРОПНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

В ее состав принято включать лишь специфические сообщества последних стадий ретрогрессий или первых стадий восстановительных сукцессий (когда преобладают виды, не доминировавшие в естественных сообществах).

Происхождение этих видов не связано с человеком, хотя называют их синантропными. Они возникли задолго до того, как

на горизонте появился призрак «финала эволюции», в местах естественных нарушений — на пожарищах, ветровалах, осыпях, песчаных отмелях — и оказались подготовленными к резкому усилению антропогенного пресса, т. е. заранее произошел отбор экотипов. Именно поэтому такие растения быстро распространились в местах с измененными человеком условиями.

Об особенностях этих растений первым в конце прошлого столетия писал Дж. Мак-лиод, разделивший все растения на «капиталистов» (сохраняющих в течение зимы достаточный для возрождения запас живого вещества) и «пролетариев», у которых такого запаса нет, так что каждый вегетационный период они завершают богатым урожаем семян и отмирают. «Пролетарии» не способны конкурировать с более сильными собратьями, но разрастаются при любых нарушениях, когда «ткань» конкурентных отношений в сообществе разорвана. Их семена либо могут долго сохраняться в почве в ожидании подходящих условий, о которых «узнают» по повышению в почве концентрации нитратов, образующихся при азрации нарушенной почвы за счет нитрификации, либо имеют специальные приспособления для распространения ветром (вспомним одуванчик), животными или человеком (лопух или бурчакиковые



Из-за постоянного выпаса скота в пойменных лугах выбивается травостой [Ровенская обл.].

цепляются многочисленными колючками за шерсть, одежду).

О работе Маклиода забыли так же, как когда-то о работах Г. Менделя, опередивших время, отыскиали ее только наши современники. Однако до этого система типов жизненных стратегий Маклиода была описана по крайней мере дважды. В конце 30-х годов это сделал замечательный советский ботаник и географ Л. Г. Раменский: он описал тип жизненной стратегии растений, названных им эксплерентами, который полностью соответствовал «пролетариям» Маклиода (термин Раменского удобнее, так как лишен ненужных социальных аналогий). В 70-х годах предложил свою систему жизненных стратегий Дж. Грайм, назвавший этот вариант выживания рудеральным. Этому же варианту соответствует понятие R-отбора, которое предложили Р. Макартур и Е. Уилсон, а затем более детально разработал Э. Пианка³.

Чем характеризуются эксплеренты? Поскольку площади нарушенных земель по мере роста народонаселения и усиления вмешательства человека в природу быстро увеличивались, у эксплерентов повышались шансы выжить. Они оказались хорошими путешественниками и быстро распространились по континентам. Успех в расселении этих растений-бродяг обеспечивался их высокой пластичностью (обусловленной генетической гетерогенностью видов) и способностью к миниатюризации: если условия были настолько неблагоприятны, что масса растения снижалась в десятки и даже сотни раз, семена все равно образовывались. Рекорд принадлежит мари белой, которая продолжает плодоносить при уменьшении массы в 20 тыс. раз! Эксплеренты оказались вездесущими; например, в современной флоре Италии, насчитывающей 6 тыс. видов, почти тысяча — адвентивных, т. е. пришельцев. Огромное число выходцев из Азии распространилось по нарушенным землям Австралии, гигантских масштабов достигла синантропизация в Южной Америке.

История этого процесса, получившего название африканизации южноамериканских саванн, весьма поучительна. Заселяя Америку, испанцы привезли на континент рабов-негров и европейских коров. В отличие от

³ Подробнее о стратегиях растений см.: Миркин Б. М., Розенберг Г. С., Наумова Л. Г. Словарь понятий и терминов в современной фитоценологии. М., 1989.

местного малорослого скота индейцев, который был неприхотлив к пище, легок и физически вынослив (в поисках корма животные могли уходить далеко от водоемов), европейский оказался достаточно капризным — выедал лишь часть растений саванны, тяжеловесные коровы паслись рядом с водопоями и почти полностью выбивали растительность вокруг них. В эти места и хлынули африканские растения, семена которых попали в Америку вместе с черными рабами. Будучи плодовитыми и не имея вредителей, чужеродные растения очень скоро вытеснили местные травы. Сегодня в южноамериканских саваннах под пологом местного древесного яруса в травяном покрове господствуют африканские виды. Примерно такую же роль сыграл и костер кровельный в североамериканских прериях: заселив заброшенные пахотные земли, он буквально преградил доступ к прежним местам обитания растениям дикой прерии.

Судьбу растений-бродяг умеренной полосы Европейской части СССР проследили удмуртские ботаники В. В. Туганаев и А. Н. Пузырев. Они обнаружили во флоре Удмуртии около 300 видов, которые, раз попав в новые для себя условия, прижились и благоденствуют там. Но гораздо любопытнее другое. Больше 200 видов растений в Удмуртии то появляются, то исчезают — не способные давать здесь потомство, они каждый раз развиваются заново лишь после очередного заноса семян.

Но вернемся к основному сюжету.

На последних стадиях ретроградности и первых стадиях восстановительной сукцессии образуются сообщества эксплерентов, которые называют рудеральными, а особый их вариант из полевых сорняков — сегетальными. Самое поразительное, что почти все культурные растения — выходцы из числа рудеральных. Источником семян для первых огородов служили растения сомкнутых горных сообществ, в которых находили пристанище и бурно эволюционировали под влиянием повторяющихся природных нарушений (обычных в горах скальных осыпей, селей и т. д.) рудеральные виды. Н. И. Вавилов неоднократно подчеркивал сходство происхождения культурных растений и их спутников и возможность их взаимного перехода друг в друга. Т. Н. Ульянова, исследовавшая этот вопрос и продолжившая дело Н. И. Вавилова, также считает, что рожь, например, попала на поля как сорняк пшеницы. В холодные годы она выручала земледельца, и когда хлебопашество достигло таежной зоны, сорняк оказался перспективной пшеницей. В южных районах нашей страны подсолнеч-

ник или конопля могут дичать и становиться злостными сорняками; много хлопот может доставить садоводам вырвавшаяся из-под контроля огуречная трава. Некоторые виды по сей день в одном районе — сорняки, в другом — культурные растения. Так, злостный сорняк наших пропашных культур щирица в Китае возделывается как культурное растение, из его семян пекут хлеб.

Таким образом, широкое распространение видов-эксплерентов в результате нарушений растительности человеком — одна из наиболее характерных черт антропогенной эволюции. В число синантропных сообществ следует включить и большинство агроценозов, где эксплелентами являются не только сегетальные сорняки, но и сами культурные растения.

МОЖНО ЛИ КОНТРОЛИРОВАТЬ АНТРОПОГЕННУЮ ЭВОЛЮЦИЮ РАСТИТЕЛЬНОСТИ?

Экологическое прозрение человека заставляет его критически оценивать результаты своей деятельности и в ряде случаев, опираясь на опыт, отказываться от проектов, реализация которых вызовет крупные и необратимые изменения в растительности, способные ухудшить ее качество как источника кислорода, органического вещества и растительного сырья. Однако, если можно отказаться от переборки сибирских рек, то нельзя прекратить выпас скота на миллионах гектаров пастбищ, превратив их в национальные парки или заповедники. Конечно, различные охраняемые территории в какой-то мере позволяют сохранить природу, но ведь их площадь мизерна, а всю планету не сделаешь заповедной. Основную часть растительности, подвергаемой различным воздействиям, можно охранять только при использовании. В идеале использование и охрана должны быть слиты воедино, чтобы поддерживать систему в том состоянии, при котором достаточно интенсивная эксплуатация ресурсов не вела бы к их истощению. Эта общая задача в каждом конкретном случае имеет свое решение, и именно поэтому нужны глубокие и разносторонние экологические знания. Коснемся лишь некоторых подходов к оптимизации растительности.

Первое, что необходимо для этого, — определить пороговые значения антропогенных нагрузок, вызывающих ретроградность. Экологи склоняются к мысли, что любые нагрузки удобнее оценивать по изменению растительности. Допустимая (пороговая) нагрузка вызывает изменения флористического состава сообщества в один полусмен (эта

странного названия единица характеризует изменения сообщества, в котором исчезла половина исходных видов). За счет упругости сообщества при этой нагрузке может восстановиться до близкого к естественному или, если нагрузки не снижаются, сохраняться на более или менее стабильном уровне. Определение пороговых нагрузок необходимо прежде всего для пастбищ, так как на сегодня мы имеем такие печальные последствия их бессистемного использования, как синантропные пустыни Калмыкии, лысые горы Таджикистана и восточного макросклона Уральских гор в степной зоне.

Снизить нагрузки при нынешнем поголовье скота в большинстве случаев очень сложно, так как для этого требуются изыскания каких-то дополнительных источников кормов, например за счет коренного улучшения части самих угодий, доставки на пастбища зеленой массы, выращиваемой на пашне и т. д. Таким образом, пытаясь оптимально использовать растительность, мы чисто экологическую задачу переводим в экономическую. Однако во многих случаях можно добиться успеха только за счет более равномерного распределения нагрузок по всему массиву пастбищ. Для этого необходимо придерживаться нормированных систем использования — пастбищеоборотов.

Напомню, что это такое. Массив угодий разбивается на определенное число загонов, на которых в строгой последовательности пасут скот, сохраняя примерно половину массы травостоя в каждом загоне. При таком обороте к новому циклу выпаса трава успевает отрасти. Кроме того, по правилам пастбищеоборота один раз в несколько лет каждый загон отдыхает, в это время, без опасения отравить животных, вносятся минеральные удобрения, чтобы восстановить плодородие почвы.

Весьма остроумный и эффективный способ восстановления пастбищ саванны используется в ЮАР. Там в течение 5 лет на какой-либо территории пасут скот, а затем переводят ее в режим национального парка, куда перемещаются дикие копытные: антилопы, зебры, жирафы и т. д. За следующие 5 лет этот участок полностью излечивается от тех недугов, которые вызвал выпас домашнего скота, и вновь становится пастбищем. Кстати, у экологов есть данные, что биомасса диких животных, обитающих на гектаре пастбища, в 4—6 раз больше биомассы коров, выпасаемых на таком же участке. Мало того, за счет различных меню (дифференциации пищевых ниш) у разных копытных и их высокой подвижности, трава не выбивается под корень, а равномерно stravливает-

ся в течение всего вегетационного периода, следовательно, не нарушается целостность экосистем.

Если эксплуатации подвергается не все сообщество, а несколько популяций хозяйственно ценных видов, достаточно определить пороговые значения, при которых изъятие части каждой из них не стало бы катастрофой для всей популяции и она могла бы быстро восстановиться. Эту часть, называемую максимально допустимым урожаем (МДУ), важно знать организациям, которые заготавливают лекарственное сырье. К сожалению, определение запаса лекарственных растений сплошь и рядом проводилось (и проводится) на самом низком методическом уровне, в результате планируются заготовки, истощающие запасы многих некогда широко распространенных лекарственных растений¹.

Можно и нужно управлять сукцессией растительности на отвалах горных пород, вдоль трубопроводов, возле буровых установок и прочих строительных объектов. В зависимости от особенностей субстрата варианты управления могут быть самыми разными — от пассивного созерцания, если процесс протекает достаточно интенсивно (например, нарушенные участки лесотундры быстро зарастают местными злаками — ветниками и овсяницей овечьей — и без помощи человека), до коренного улучшения условий наслоением мелкозема на неплодородный субстрат, внесением удобрений и высевом семян.

Особо важно создать условия для возобновления леса после интенсивных рубок, так как большую часть древесины мы получаем именно там, где лес восстанавливается естественным путем, а не за счет посадок. К сожалению, в результате сплошных рубок в Европейской части СССР бывшие ельники сменяются мелколиственными породами, древесина которых уступает по качеству еловой. А ведь известно, что достаточно сохранить какое-то количество семенных деревьев, чтобы после «буферной» стадии, на которой леса состоят из ольхи, берез или ив, вновь возродилась ель. «Буферные» породы даже необходимы, ибо ель не может поселиться на открытой вырубке, на первых порах ей нужны «няни», которые защищали бы молодые елочки от прямого солнечного света.

Рудеральная растительность, формирующаяся на первых стадиях сукцессии, инт-

¹ Подробнее см.: Кузавев В. Б., Шелгунова М. П. Охраня, использовать // Природа. 1989. № 10. С. 40—45.

да оказывается не только эффективным средством восстановления (ей на смену приходят луговые или степные сообщества или восстанавливается лес), но и полезным источником растительного сырья. К числу рудеральных относится целый ряд видов лекарственных растений (пустырник, мать-и-мачеха, череда, лопух большой, полынь обыкновенная и т. д.), в рудеральных сообществах много ценных медоносов — чертополохи, татарники, одуванчик и т. д. В таких случаях нерезонно мешать естественному восстановлению растительности, мало того, если нет насущной необходимости по-другому использовать участок с рудеральными растениями (а среди них, как уже отмечалось, много ценных видов), полезно задержать сукцессию на этой стадии, повторив нарушающие воздействия. Тогда небольшие пустыри в удобном рельефе станут весьма полезным элементом ландшафта, любой другой способ использовать их будет менее эффективным.

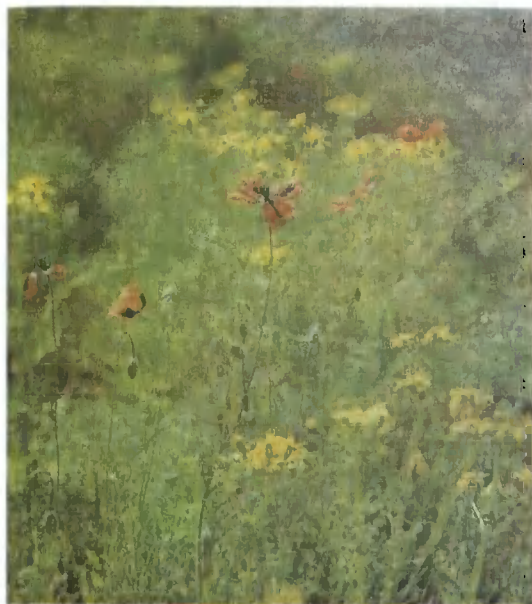
В ряде случаев контролировать нужно лишь отдельные агрессивные виды, которые, распространившись в новом районе из-за отсутствия отрицательных для них факторов (насекомых-вредителей и фитофагов), могут лавинообразно размножиться и вытеснить местную растительность. Такого контроля не было в южноамериканских саваннах, и мы видели, к чему это привело. Но известны и примеры контроля, точнее, борьбы с агрессивными пришельцами. В начале нашего столетия для Северной Америки едва не стал бедствием выходец из Европы зверобой продырявленный, буквально заполонивший прерии. Скот остался без пастбищ, поскольку зверобой для него несъедобен. Усмирен пришелец был чисто экологическим путем — в Америку из Европы завезли насекомых-фитофагов, которые, быстро размножившись, уничтожили заросли. Зверобой остался лишь на опушках (как и в Европе), пастбища были сохранены. Также в начале нашего века Австралийскому матерiku грозила опасность превратиться в сплошные заросли опунции, которую завезли туда, чтобы создать живые колючие изгороди. Но кактус начал захватывать обширные территории, и его удалось остановить тоже с помощью фитофага.

Монокультура сосны неустойчива к ураганам ветрам, после которых остаются буреломы (Киевская обл.).

Стойкий к антропогенному воздействию одуванчик захватывает измененные луга.

Мак-самосейка легко распространяется на посевных площадях (Крымская обл.).





Управление рудеральной растительностью может принести немало пользы, но основной объект оптимизации — это пашенные сообщества, занимающие около 0,1 площади суши. В настоящее время растениеводство развитых стран явно зашло в тупик, так как дальнейший рост энергетических затрат (вкладываемых в форме удобрений и многочисленных пестицидов) лишь незначительно повышает урожай — каждый новый центнер требует все больше энергии. Удвоение урожайности основных культур в США в нынешнем столетии достигнуто при 10-кратном росте затрат. Кроме несоизмеримых с прежними трат, удобрениями и пестицидами загрязняется окружающая среда, падает качество растениеводческой продукции, подрывается здоровье людей.

Сейчас во всем мире ведутся поиски новой экологической сельскохозяйственной стратегии, которая позволила бы снизить энергоемкость и уменьшить загрязнение среды. Пока ясно, что эта стратегия должна включать: выведение сортов, менее требовательных к влажности почвы и ее плодородию, чем современные; создание гетерогенных популяций культурных растений за счет смесей сортов; переход от одновидовых к многовидовым посевам на основе дифференциации экологических ниш. Большие надежды экологи возлагают и на широкое внедрение минимальной обработки почвы, что приблизит почвенные условия к тем, которые формируются под естественной растительностью, снизит энергетические затраты.

Возможности обеспечить высокую продуктивность агроэкосистем за счет совершенствования экологических параметров, присущих естественным экосистемам и обеспечивающих адаптивность, стабильность, долголетие, равновесность, автономность, успешно изучаются в тропическом поясе⁵. Смешанные посевы двух-трех культур в этом регионе стали вытеснять одновидовые, в агрообществе часто совмещают не только разные виды трав, но включают и деревья — кокосовую и масличную пальмы, гевею и т. д.⁶ Есть небезуспешные попытки создать на плантациях кукурузы кулисы из бобовых кустарников, чтобы обеспечить кукурузу биологическим, а не минеральным азотом, что резко снизит энергоемкость растениеводства.

В умеренных широтах возможностей

⁵ Marten G. G. // Agr. Syst. 1988. Vol. 26. № 4. P. 291—316.

⁶ Bavappa K. V., Kailasam C. et al. // J. Plantation Crops. 1986. Vol. 14(2). P. 74—87.

выращивать смешанные культуры меньше, чем в тропиках, такой способ пока распространяется в производстве кормов: совместно выращивается несколько однолетних культур на пашне (кукуруза и бобы, вика и овес, подсолнечник и кукуруза и т. д.) или 3—5 видов трав, с разной ритмикой развития и различающихся экологическими нишами, на искусственных лугах. При таком способе одни виды достигают максимального развития на второй-третий год, другие — на четвертый-пятый, третьи — на шестой-восьмой и т. д. Выращивание травосмесей удлиняет срок эксплуатации искусственных лугов по сравнению с чистыми посевами, и, соответственно, повышает продуктивность гектара.

Меняется отношение к сеgetальным видам, сейчас борьба с ними признана антиэкологичной, на смену ей приходит контроль численности, т. е. поддержание ее на том уровне, при котором сорняки еще не перехватывают питательные вещества и существенно не снижают урожай. Оказывается, при невысокой численности сорняки скорее полезны, чем вредны, так как способствуют обмену минеральными элементами при поверхностных горизонтах почвы с более глубокими, накапливают питательные вещества, отпугивают многих насекомых и снижают заболеваемость грибковыми болезнями, способствуют обогащению микробиологического населения пашни и тем самым ускоряют разложение стерни, защищают почву от эрозии (последнее особенно важно в районах с ливневыми осадками). Среди мер контроля численности пестицидам отводится роль лишь экстраординарной срочной меры, а основной эффект достигается продуманной обработкой почвы и использованием интенсивных сортов, способных дружно развиваться с начала вегетации и заглушать сорняки. Применяют и различные биопестициды — споры патогенных грибов и др.

Если применять новые экологические приемы в растениеводстве, оптимизация должна охватить весь агроландшафт, но в нем необходимо сохранить часть естественной растительности по склонам и заболочен-

ные участки вдоль водотоков, так как даже небольшие болотца — это эффективнейшие биологические фильтры, которые перехватывают смытые с полей пестициды и удобрения и повышают качество воды.

Б. М. Козо-Полянский писал о грядущем финале эволюции. Но хочется надеяться, что *Homo sapiens* придет к согласию с природой (хотя и ценой дорогих ошибок) и предсказанный финал не наступит даже в районах экологических катастроф, вызванных человеком. Эволюция постепенно станет антропогенной. Однако, поскольку регрессивных явлений в такой эволюции больше, чем прогрессивных, она и должна стать объектом управления человеком.

По мере экологического прозрения роль такого управления неизбежно будет расти, хотя полный контроль синантропизации невозможен, как вечный двигатель. Значит, выход один — снизить роль неуправляемой синантропизации до тех пределов, при которых процесс перестанет угрожать будущему человечеству. Это задача колоссальной сложности, она требует координации усилий всего мирового сообщества экологов и ботаников, глубокого осознания опасности происходящих процессов экономистами и политическими деятелями. Но у нас нет иного пути.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Уиттекер Р. СООБЩЕСТВА И ЭКОСИСТЕМЫ. М.: Прогресс, 1980.
 Пианка Э. ЭВОЛЮЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ. М.: Мир, 1983.
 Работнов Т. А. ФИТОЦЕНОЛОГИЯ. М.: Изд-во МГУ, 1983.
 Миркин Б. М. ЧТО ТАКОЕ РАСТИТЕЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА. М.: Наука, 1986.
 ЭКОЛОГИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ. М.: Агропромиздат, 1987.

Е.В. Шарков

ИНТРУЗИВЫ — грандиозные природные отливки

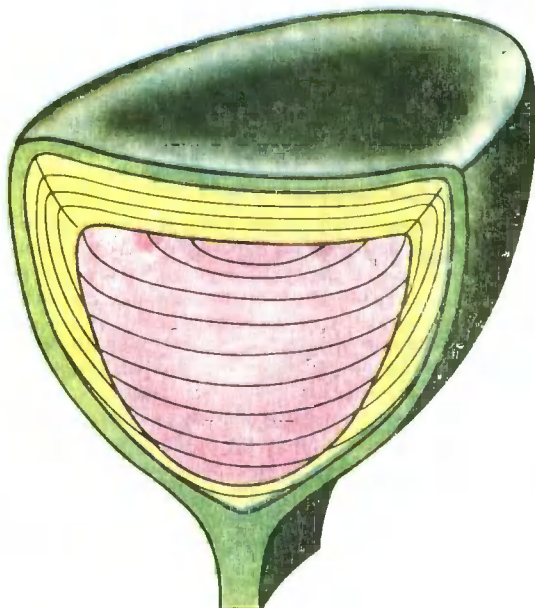


Евгений Витальевич Шарков, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института геологии рудных месторождений, минералогии и геохимии АН СССР. Специалист по петрологии магматических горных пород. Автор нескольких монографий, в том числе: *Петрология расслоенных интрузий*. Л., 1980; *Петрология магматических пород*. М., 1983; *Магматические горные породы (в соавторстве с О. А. Богатиковым, Е. Е. Лазько и др.)*. Т. 3. М., 1985; Т. 5. М., 1988.

Природные расплавы — магмы — и образовавшиеся при их затвердевании магматические горные породы относятся к числу главных объектов геологии. Всем известны вулканы, но мало кто, кроме специалистов, знает о грандиозных подземных отливках тех же расплавов — интрузивах. Зарождаясь в верхней мантии Земли, эти расплавы при перемещении к поверхности активно участвуют в образовании горных пород, осуществляют интенсивный обмен веществом между глубинными и верхними слоями литосферы, способствуют протеканию многих геологических процессов.

За последние десятилетия достигнуты значительные успехи в понимании природы магматических горных пород: выделены и охарактеризованы главные их типы, изучен минеральный и химический состав, экспериментально исследованы отдельные физико-химические системы, моделирующие процессы их формирования. Вместе с тем многие важнейшие вопросы магматической петрологии еще ждут решения. Не вполне ясно, например, почему магматические расплавы столь разнообразны по составу. Каковы конкретные пути их дифференциации? Какие методы физико-химического моделирования магматических процессов оптимальны?

И дело здесь не в отсутствии фактов: их накоплено огромное количество, а в последнее время, благодаря внедрению высокопроизводительной аналитической техники, их число нарастает лавинообразно. Но, к сожалению, все факты в той или иной степени случайны и потому не складываются в единую картину. Обсуждая стратегию изучения такого сложного и многопланового явления, как магматизм, важно найти ключевое звено, за которое можно было бы «вытянуть всю цепь». Без этого трудно понять соподчиненность явлений, определить их движущие силы, взаимосвязи; иными словами — трудно направить поток информации в единое русло



- Центральная серия
- Краевая серия
- Зона закалки

Строение крупного расслоенного интрузива. Структура внутренней его части отлична от структуры периферии, где спол субпараллельны границам интрузива.

и выявить недостающие фрагменты общей картины.

Таким звеном могли бы стать интрузивы. Именно в них, как в фокусе, сходятся комплекс разнообразных физических и физико-химических процессов, контролирующих магматизм, происходит самоорганизация этих процессов в единую систему, которая, собственно, и является квинтэссенцией магматизма.

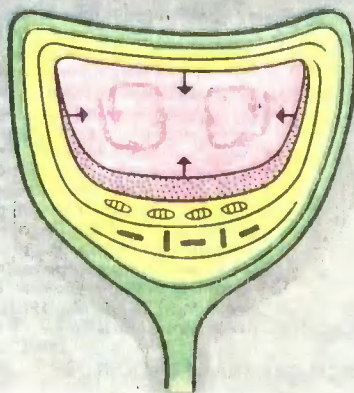
МНОГООБРАЗИЕ ИНТРУЗИВНЫХ ТЕЛ

Мир природных отливок очень богат. С одной стороны, это тонкие жилы мощностью в сантиметры и небольшие пластобразные тела (дайки, силлы) мощностью

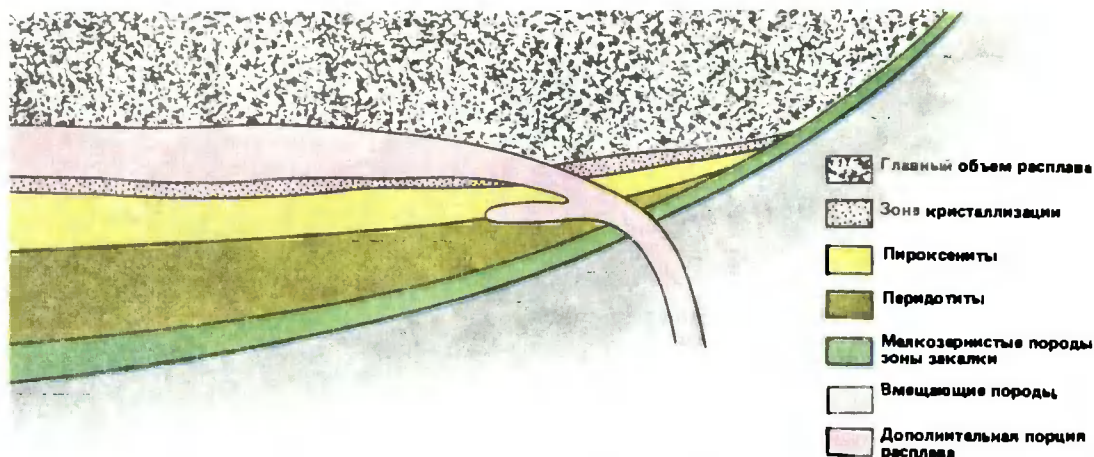
Формирование расслоенного интрузива: краевые части твердеют в направлении от границ к центру, а центральные — снизу вверх; зона кристаллизации сосредоточена главным образом у дна магматической камеры. За фронтом конца затвердевания в теле интрузива могут оставаться небольшие очаги остаточного расплава, из которых затем формируются жильные породы.

от десятков сантиметров до десятков метров, а с другой — огромные тела в форме трубок, блюдца, воронок или просто неправильной формы площадью в десятки, сотни и даже тысячи квадратных километров и мощностью до 10 км. Однако даже самые большие интрузивы однородны по внутреннему строению, что, видимо, связано с образованием их в огромных магматических камерах, заполненных первоначально гомогенным расплавом. Подобные объемы расплава в земной коре легко установить сейсмическими методами, но пока они не обнаружены. Отсюда можно сделать вывод, что в настоящее время интрузивы таких размеров не кристаллизуются. И действительно, наиболее крупные интрузивы типичны для ранних, докембрийских, стадий развития Земли, характеризующихся высокой геологической активностью.

Неодинаковы не только размеры интрузивов, но и условия их затвердевания.



- Главный объем расплава
- Зона кристаллизации
- Затвердевшие части интрузива
- Зона закалки
- Очаги остаточного расплава
- Затвердевшие жильные породы
- Вмещающие породы
- Зона термального воздействия интрузива
- Конвективные потоки
- Перемещение фронта затвердевания



Внедрение дополнительной порции свежего расплава при затвердевании Мончегорского интрузива. Этот более тяжелый расплав растекался по дну магматической камеры и кристаллизовался там. По мере вы-

деления кристаллов оливинна и пироксена [образовавших перидотит и пироксенит] плотность расплава уменьшалась и он вовлекался в конвекцию, выравнивающую состав магмы в камере.

В частности, интрузивы могут формироваться в стабильных участках земной коры, где кристаллизация проходит в условиях «жесткой рамы» — подобно затвердеванию промышленных отливок в изложницах. Но интрузивные тела могут кристаллизоваться и одновременно с движением самой «рамы». Таковы, например, интрузивы, приуроченные к действующим разломам, движения по которым продолжаются и после затвердевания расплава, приводя к тотальному расщеплению пород. Другой пример — внедрение расплава в толщи, испытывающие складчатые деформации, где магмой заполняются зоны растяжения. Интрузивные тела образуются и в зонах активного спрединга — там возникает рон даек и своеобразные структуры «дайка в дайке».

Но особенно интересны расслоенные интрузивы, которые дают наиболее полную информацию о геологических процессах. Возникая при кристаллизации гомогенных магматических расплавов, они тем не менее отличаются ярко выраженным гетерогенным строением (т. е. образованы чередующимися слоями разных пород) и напоминают стратифицированную осадочную толщу.

Благодаря хорошо различимым в полевых условиях текстурам и структурам, а также широкой гамме пород общего происхождения, расслоенные интрузивы исключительно благоприятны для изучения внутреннего строения интрузивных тел, дифференциации природных расплавов в магматических камерах и других фундаментальных проблем магматической петрологии. По образному выражению английского петролога

Л. Уэйджера, их можно уподобить тиглю огромных размеров, где вследствие масштабов выявляются соотношения, которые не удастся установить в лабораторных условиях. Впрочем, с этой точки зрения интрузивы интересны не только геологам, но и физикам, физикохимикам, металлургам.

Как же изучают интрузивные тела, затвердевавшие на многокилометровой глубине в течение десятков и сотен тысяч лет? Естественно, мы не можем непосредственно наблюдать за их формированием, как, например, при изучении промышленных отливок. О затвердевании огромных масс расплавленного вещества приходится судить только по косвенным данным, уже после того, как затвердевшие интрузивы в результате горообразования и последующей денудации окажутся на земной поверхности. Но и в этом случае геолог вынужден довольствоваться фрагментами интрузивных тел: остальное обычно уничтожают эрозийные процессы, непрерывно выравнивающие поверхность Земли, перекрывающие более молодые отложения и т. д. В итоге приходится суммировать данные по многим интрузивам, использовать для интерпретации этих данных сведения из теории затвердевания промышленных отливок.

КАК КРИСТАЛЛИЗУЮТСЯ ИНТРУЗИВЫ

Лучше всего это изучено на примере расслоенных интрузивов. В первых моделях, предложенных для объяснения их генезиса еще в 20—30-х годах, обыгрывалось сходство этих образований с пачками осадочных



Общий вид Скергаардского расслоенного интрузива в Восточной Гренландии. [Из кн.: Уэйджер Л., Браун Г. Расслоенные изверженные породы. М., 1970.]

пород. Авторы моделей предполагали, что при кристаллизации интрузивов более тяжелые минералы (скажем, оливин и пироксен) опускались на дно магматической камеры, а более легкие (например, плагиоклаз) — всплывали. Это, вроде бы, подтверждалось строением реальных интрузивов, сложенных основными и ультраосновными породами: в нижней их части обычно преобладают плотные перидотиты и пироксениты, а в верхней — более легкие габбро и анортозиты.

Чтобы объяснить появление ритмичной расслоенности, крупные петрологи того времени А. А. Полканов и Н. А. Елисеев обратились к кинетике магматических процессов. Они полагали, что расслаивание кристаллизующейся магмы происходило при ее ламинарном течении по трещинам. Согласно этой гравитационно-кинетической модели, расслоенный интрузив имеет единый структурный план, причем внутреннее строение интрузива отражает его внешние очертания.

Однако несколько лет спустя Л. Уэйджер и другой английский исследователь У. Дир детально изучили крупный, хорошо



Ритмичная расслоенность в Скергаардском интрузиве. Мощность каждого слоя — десятки сантиметров.

обнаженный Скергаардский интрузив в Гренландии и убедились, что он имеет форму воронки, а его внутренняя структура не связана с очертанием интрузивного тела. Именно здесь впервые было установлено, что интрузив затвердевал не от периферии к центру, а снизу вверх. Возникновение ритмичной расслоенности исследователи объяснили конвективными процессами в охлаждающемся интрузиве: они предположили, что охлажденный расплав верхней части магматической камеры, содержащий зародыши кристаллов, периодически увлекался

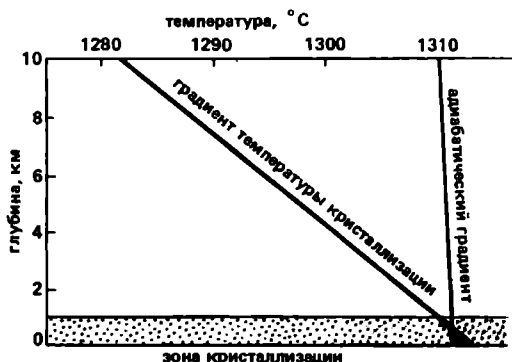
нисходящими потоками и что ритмичность возникла при его растекании по дну камеры, т. е. за счет все той же гравитационно-кинетической дифференциации.

Вместе с тем Э. Джексон в США, а впоследствии и автор статьи показали, что расслоенные магматические породы в отличие от осадочных сложены зернами минералов, которые не сортировались в движущейся жидкости. Следовательно, они не могли образоваться в результате простого гравитационного осаждения, и тем более в движущейся жидкой среде, что неизбежно привело бы к сортировке.

С работ Джексона и начался современный этап изучения расслоенных интрузивов. Стала очевидной необходимость более широкого взгляда на процесс образования интрузивных тел, привлечения принципиально новых подходов из смежных областей. Так, в начале 80-х годов автором были отмечены многочисленные аналогии между образованием интрузивов и затвердеванием крупных промышленных отливок (теория этого процесса была к тому времени хорошо разработана).

Известно, что жидкости твердеют поразному. Некоторые вещества, например вода, кристаллизуются при определенной температуре и затвердевают путем постепенного нарастания твердой корки. Однако большинство веществ, в частности магматические расплавы, начинают кристаллизоваться при одной температуре, а заканчивают — при другой. На диаграммах состояния это выражается двумя линиями (в многокомпонентных системах двумя поверхностями) — ликвидуса, выше которого устойчива только жидкая фаза, и солидуса, ниже которого устойчива только твердая фаза. Для подобных веществ характерно «вязкое затвердевание» за счет постепенного продвижения зоны кристаллизации, состоящей из расплава и кристаллов.

Существенной особенностью кристаллизации расплавов, играющей главную роль в образовании расслоенности, являются неоднократные фазовые переходы, ведущие к смене минеральных ассоциаций: сначала выделяются минералы, кристаллизующиеся при более высокой температуре, а по мере охлаждения расплава появляются все более низкотемпературные минералы. Последовательность выделения минеральных ассоциаций



Схема, поясняющая направленность затвердевания центральных частей крупных интрузивов. Благодаря небольшой величине адиабатического градиента в силикатных расплавах (0,3 град/км) во всем объеме магматической камеры температура примерно одинакова. Однако градиент температуры кристаллизации гораздо выше (3 град/км). Поэтому в каждый момент расплав может кристаллизироваться только у дна камеры (выше он перегрет относительно ликвидуса).

ций при кристаллизации разных по составу магматических расплавов в общих чертах изучена экспериментаторами, а в отдельных случаях подтверждена и на природных объектах.

Материалы детальных геологических исследований крупных расслоенных интрузивов, накопленные к настоящему времени во всем мире (в том числе и собранные автором на Кольском п-ове, в Северном Казахстане и Восточной Сибири), позволяют думать, что их кристаллизация происходила по упомянутой схеме «вязкого затвердевания». Внутреннее строение интрузивов довольно простое: в каждом из них имеются два первичных структурных плана, образованных породами центральной и краевой серий. Детальное изучение этих пород показало, что краевые серии «нарастали» внутри интрузивных тел, а центральные — снизу вверх.

Очевидно, что направленность процесса затвердевания расплава в краевых частях интрузива определяется охлаждающим влиянием вмещающих пород, т. е. пород за пределами интрузивного тела. Но почему преобладающие по объему центральные серии интрузива кристаллизуются снизу вверх? Этот вопрос вызвал немало споров, и на нем стоит остановиться подробнее.

В любой системе, где происходит конвекция (в том числе и в интрузивной камере), распределение температур определяется адиабатическим градиентом — минимальной разницей температур, при которой возникает конвекция. Для силикатных расплавов эта величина составляет примерно

Ныне подобные модели разрабатываются под руководством А. А. Ярошевского и М. Я. Френкеля в Московском государственном университете и Институте геохимии и аналитической химии АН СССР, где на ЭВМ моделируют формирование базальтовых силлов.

0,3° на 1 км, т. е. в камере размером, допустим, 10 км разница температур у подошвы и кровли не превышает 3°. Иными словами, температура во всем объеме почти одинакова.

Однако с ростом давления, как известно, увеличивается и температура кристаллизации. Градиент, характеризующий эту величину, составляет уже около 3° на 1 км. Это означает, что расплав в магматической камере из-за разницы давления в каждый конкретный момент может кристаллизоваться не в любой точке, а только у постоянно поднимающегося дна. Выше он перегрет относительно температуры ликвидуса.

Теперь о зоне кристаллизации, где происходят все наиболее важные петрологические процессы. Мощность ее ничтожна по сравнению с размерами самой камеры — она редко превышает 3 м. Верхняя кромка зоны (фронт начала затвердевания) представляет собой изотерму ликвидуса главного объема расплава, а нижняя (фронт конца затвердевания) — изотерму солидуса. Изучение расслоенных пород показало, что зона кристаллизации на 80—90 % состоит из зерен наиболее высокотемпературных минералов, выделившихся на фронте начала затвердевания. На долю же продуктов кристаллизации остаточного расплава, заполняющего промежутки между зернами и обогащенного легкоплавкими компонентами, приходится не более 10—12 % объема.

Из-за постепенного охлаждения интрузива зона кристаллизации непрерывно двигалась снизу вверх, постепенно погребая выделившиеся кристаллы, которые, таким образом, переставали реагировать с расплавом. Благодаря этому из магмы постоянно выводились наиболее высокотемпературные минералы, а состав расплава постоянно менялся. Это, в свою очередь, приводило к смене минеральных ассоциаций на все более низкотемпературные.

Очевидно, в этом и заключается суть магматической расслоенности, характерной для крупных интрузивов: каждый слой отвечает кристаллизации одной из минеральных ассоциаций при направленном затвердевании крупного объема магматического расплава. Отсюда, в частности, следует, что ультраосновные породы сосредоточены в нижних частях интрузивов не из-за высокой их плотности, а потому, что слагающие их минералы выделились первыми. Более того, в ряде случаев (например, в знаменитом Бушвельдском интрузиве в ЮАР) слои очень плотных, но сравнительно низкотемпературных титаномагнетитовых пород наблюдаются в верхних частях разреза.

Таким образом, основным механизмом эволюции природных расплавов в пределах интрузивов является именно кристаллизационная дифференциация, связанная с постоянным удалением из расплава наиболее высокотемпературных фаз. Однако этот механизм не объясняет, как возникла ритмичная расслоенность — одна из характернейших особенностей интрузивов.

РИТМИЧНАЯ РАССЛОЕННОСТЬ

Речь идет о многократном чередовании разных по составу слоев, причем каждый «ритм» включает 2—3 слоя. Мощность каждого слоя не превышает нескольких десятков сантиметров, а мощность самих ритмов измеряется метрами. Характерно асимметричное строение ритмов: снизу вверх более высокотемпературные минеральные ассоциации сменяются более низкотемпературными. Наконец, ритмично переслаивающиеся породы нередко располагаются между мощными однородными слоями.

Феномен ритмичности давно уже привлекает внимание исследователей. В большинстве случаев его объясняют разной скоростью осаждения разных по плотности кристаллов в ламинарном потоке расплава. Однако, как уже отмечалось, этому противоречит явное отсутствие сортировки кристаллов. А иногда, например в массивах субщелочных и щелочных пород, встречаются и гравитационно перевёрнутые ритмы. Так, в Ловозерском интрузиве на Кольском п-ове верхние части ритмов образованы сравнительно плотными породами — луюавритами, а нижние — менее плотными уртитам и фойалитами.

Детальное изучение ритмичности показало, что последовательность пород в каждом ритме соответствует порядку выделения слагающих их минералов из расплава, т. е. ритмичную расслоенность можно рассматривать как результат распространения температурно-концентрационных волн. Их возникновение связано, видимо, с тем, что скорость поступления остаточного расплава из зоны кристаллизации выше, чем скорость его поглощения главным объемом расплава. Благодаря этому обогащенный легкоплавкими составляющими расплав накапливается перед фронтом начала затвердевания, образуя так называемую диффузионную зону. В результате этот фронт соприкасается уже не с главным объемом расплава, а с расплавом диффузионной зоны, кристаллизующимся при более низкой темпера-

туре. Поэтому температура фронта начала кристаллизации становится ниже температуры ликвидуса в главном объеме расплава — возникает эффект концентрационного переохлаждения.

Особенно ярко этот эффект проявляется, когда расплав оказывается близ точки фазового перехода и начинают выделяться более низкотемпературные минеральные ассоциации. Ясно, что концентрационное переохлаждение не может продолжаться долго, так как перемещение зоны кристаллизации замедляется. В итоге перед ней, уже за пределами диффузионной зоны, возникает еще одна, более высокотемпературная зона кристаллизации. Некоторое время они существуют совместно. Затем старая зона достигает подошвы новой и исчезает в результате кристаллизации наиболее низкотемпературных верхних слоев ритма. Далее процесс вновь и вновь повторяется, пока состав расплава «не уйдет» от точки фазового перехода и не начнут формироваться мощные однородные слои.

Подобные волны возникают в диссипативных системах, характеризующихся направленным потоком вещества или энергии в окружающую среду. Очевидно, к ним относятся и кристаллизующиеся интрузивы, необратимо теряющие тепло.

«ПОДПИТКА» КРИСТАЛЛИЗУЮЩИХСЯ ИНТРУЗИВОВ

Наряду с обычной в интрузивах встречается и крупномасштабная ритмичность, которую назвали циклическостью. Несмотря на внешнее сходство, она обусловлена совсем другими причинами.

Области магнеообразования — значительно более инерционные системы, чем интрузивы, сравнительно быстро затвердевающие в верхних, холодных, участках литосферы. Поэтому при поступлении из глубины новых порций расплава часть из них попадает в кристаллизующийся интрузив, что иногда ведет к образованию месторождений полезных ископаемых.

Автор изучал один из таких объектов — «рудный пласт» на горе Сопча в мончегорском интрузиве Кольского п-ова. Этот интрузив площадью около 50 км², по-видимому, представляет собой смещенный по разлому фрагмент более крупного тела. В его разрезе просматриваются три крупных слоя разной мощности: внизу перидотиты (300—500 м), затем пироксениты (600—700 м), а затем нориты (свыше 400 м). Остальная часть разреза уничтожена эрозией. Исходный расплав, судя по составу

краевой быстро охладившейся зоны (зоны закалки), близок к пикробазальту.

Сам «рудный пласт» представляет собой горизонт перидотитов мощностью около 2 м с богатой вкрапленностью медно-никелевых сульфидов. Он залегает в верхней части 700-метрового однородного слоя пироксенитов и по существу повторяет в миниатюре более глубоко залегающую перидотитовую часть разреза. Полевые исследования показали, что при формировании этого «пласта» в краевую часть кристаллизующегося интрузива внедрились новые порции того же расплава из глубинного очага. Поскольку свежий расплав был тяжелее (к тому времени из главного объема уже выделились высокоплотные образования перидотитовой и большей части пироксенитовой зон), он растекся по дну магматической камеры, образовав несмешивающийся слой. Именно этот слой начал кристаллизоваться в первую очередь, благодаря чему рудное вещество успело выделиться, не рассеявшись в главном объеме расплава. И только после того, как плотности новой порции магмы и главного объема расплава сравнялись и он стал вовлекаться в процесс конвекции, произошло их смешение.

Однако, если бы новая порция расплава имела плотность такую же (или меньшую), как и главный объем, смешение произошло бы сразу же, и о внедрении свежих порций расплава можно было бы судить только по косвенным признакам — появлению необычных минеральных ассоциаций, изменению геохимических особенностей, изотопных соотношений и т. д. Очевидно, аналогичная «подпитка» новыми порциями расплава имеет место и в очагах вулканов, которые по существу представляют собой такие же интрузивы, но связанные с поверхностью каналами.

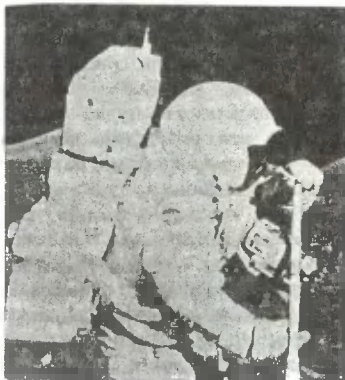
Новые порции расплава могут поступать не только из глубины, но и из других областей плавания, где образуются более сложные расплавы. Подобные ситуации нередки, например, в областях активного перехода от континента к океану.

В заключение остается добавить, что в статье рассмотрены только наиболее существенные аспекты формирования крупных интрузивов. Самое большое достижение последних лет в этой области — выявление структуры процесса кристаллизации, принципиально важной для понимания сущности магматизма. Мы находимся на пути к созданию теории магматизма, важную роль в которой будет играть теория макропроцессов, основанная на материалах, накопленных при изучении интрузивов.

Дж. Кульчински, Х. Шмитт **Термоядерное ТОПЛИВО... с Луны**



Джеральд Л. Кульчински, профессор факультета ядерной техники и директор Технологического института термоядерного синтеза Висконсинского университета в Мадисоне. Основные научные интересы связаны с техническими проблемами ядерной и термоядерной энергетики, в частности с разработкой радиационно-стойких материалов.



Харрисон Х. Шмитт, доктор наук по геологии, астронавт США, ныне сенатор. До 1974 г. был помощником директора НАСА по научно-исследовательским работам, занимался составлением карт Луны и планет. 7—19 декабря 1972 г. совершил полет на Луну на космическом корабле «Аполлон-17», трижды выходил на поверхность Луны.

СУЩЕСТВОВАНИЕ современного общества всецело зависит от обеспечения энергией. Без этого невозможно поддерживать жизнь даже 5 млрд человек, не говоря уже о 8—10 млрд, которые будут проживать на Земле в XXI в. (как предсказывают демографы, на этой величине численность человечества должна стабилизироваться¹). Давно прошло время, когда большинство людей жило тем, что давала Земля.

Сегодня среднее потребление первичной энергии составляет около 2 кВт/чел., однако более 70 % населения потребляют заметно меньше и отчаянно стремятся повысить свой уровень жизни. Поэтому, чтобы накормить, одеть, согреть (или охладить), защитить жителей Земли от неблагоприятных воздействий окружающей среды и сохранить их здоровье в условиях усиливающихся стрессов, в XXI в. требуется огромное количество дополнительной энергии.

С тех пор как население Земли превысило в 1830 г. 1 млрд человек, для поддержания жизни использовалось в основном ископаемое топливо — уголь, нефть, природный газ. К 1986 г. уже израсходовано в общей сложности 300 ТВт·лет этой энергии (1 ТВт=10¹² Вт). За год же 5-миллиардное население Земли при среднем энергопотреблении 2 кВт/чел. расходует 10 ТВт·лет энергии.

При численности человечества 8—10 млрд и повышении жизненного уровня в слаборазвитых странах мировое потребление первичной энергии будет составлять 20—30 ТВт·лет в год. Поскольку запасы ископаемого топлива, добыча которого экономически оправдана, составляют в пересчете на количество энергии лишь 1000—1500 ТВт·лет², примерно в середине XXI в. топливные ресурсы окажутся исчерпанными. Впрочем, экологические проблемы, такие

© Кульчински Дж., Шмитт Х. Термоядерное топливо... с Луны.

¹ См., напр.: Брук С. И. Население мира на пороге XXI века // Природа. 1986. № 12. С. 44—54.

² Häfele W. Energy in a Finite World. Cambridge (Massachusetts), 1981.

как кислотные дожди, парниковый эффект, а также политическая и экономическая борьба за оставшиеся месторождения могут еще в значительной мере усугубить эту ситуацию.

Кроме того, все больше будет возрастать ценность ископаемого топлива как сырья для других продуктов, необходимых для поддержания качества жизни. В любом случае на протяжении большей части XXI в. обитатели Земли, чтобы выжить, должны будут полагаться на ядерную энергетику и возобновляемые виды энергии (солнечную, ветровую, геотермальную, гидроэнергию и энергию биомассы).

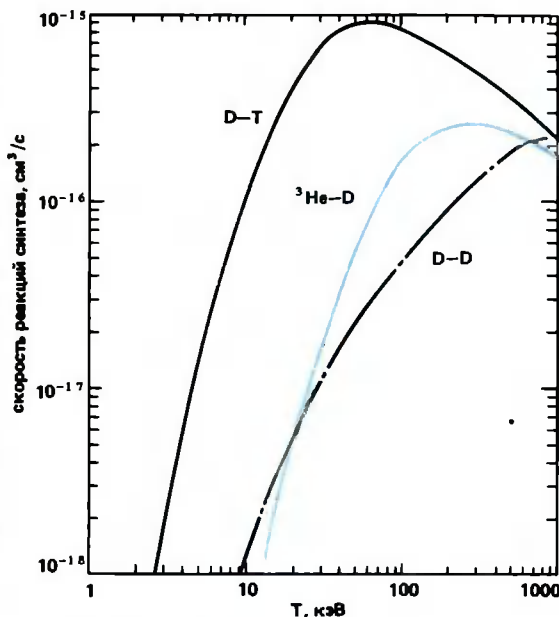
Производство ядерной энергии в реакторах деления уже широко распространено. В мире сегодня работают 428 реакторов, расположенных в 26 странах, которые обеспечивают около 1/6 всей получаемой в мире электроэнергии. По прогнозам, к 2000 г. доля ядерной энергии возрастет до 1/5. Но с этим источником энергии связаны серьезные проблемы, от захоронения долгоживущих радиоактивных отходов до обеспечения безопасности реакторов.

К счастью, энергия атомных ядер высвобождается не только при делении тяжелых элементов, но и при слиянии легких. Этот способ получения энергии может обеспечить решение долговременных энергетических задач более безопасными и экологически приемлемыми путями.

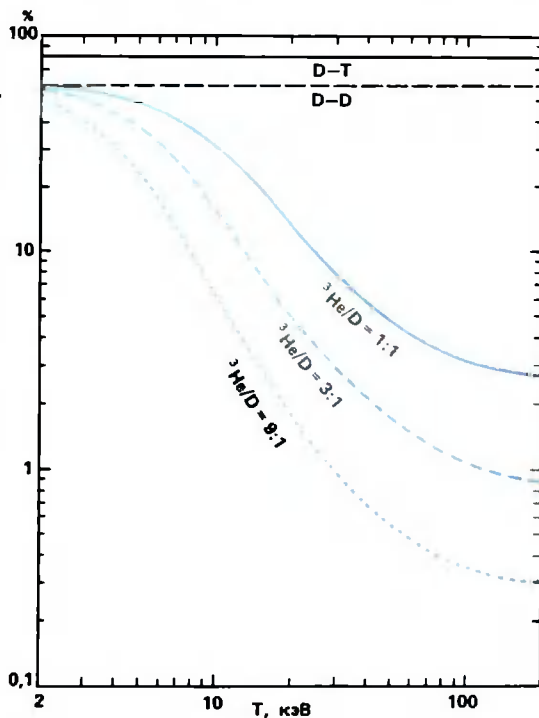
Ученые ведут работы в области управляемого термоядерного синтеза с 1951 г. Суммарная стоимость этих исследований во всем мире за 38 лет превысила 20 млрд долл. Ныне от первых опытов по получению самоподдерживающейся термоядерной реакции нас отделяет не более десяти лет. Ситуация в некоторых отношениях напоминает ту, которая была в 1941 г., когда Э. Ферми с коллегами вели на ядерном реакторе в Чикаго первые эксперименты по получению энергии от ядерных реакций деления.

Уже доказано, что на установках с магнитным удержанием плазмы — например, JET (Joint European Torus) в Калэме, Великобритания, — может быть достигнут положительный выход термоядерной энергии, т. е. выделяющаяся энергия синтеза превзойдет энергию, затраченную на поддержание реакции.

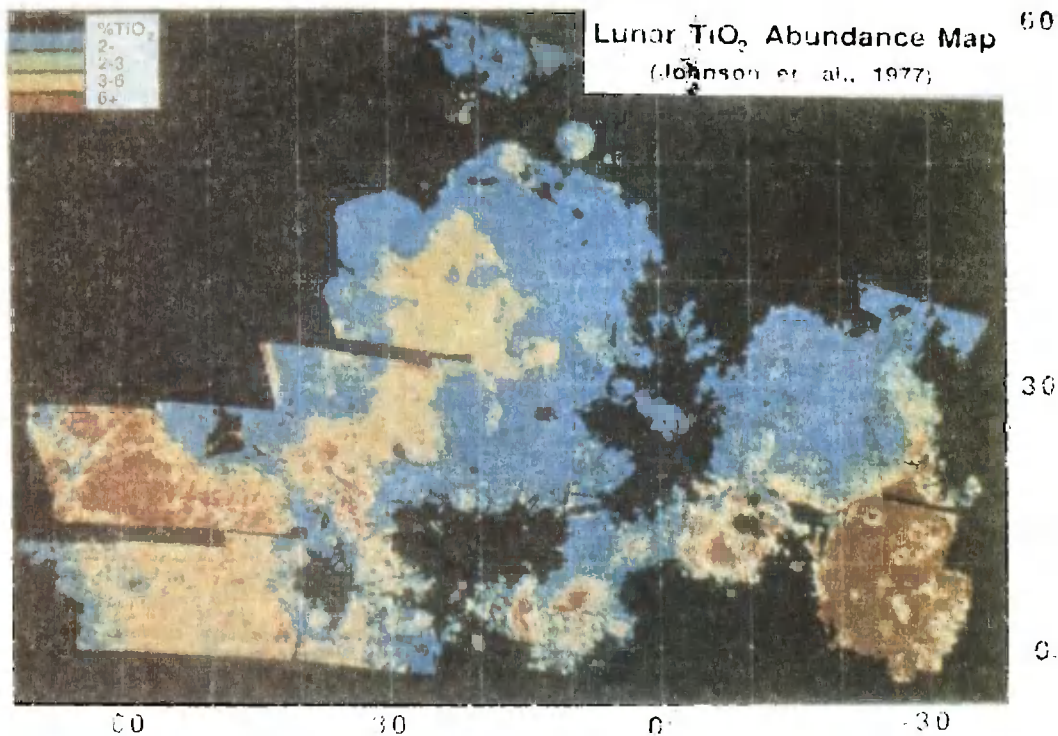
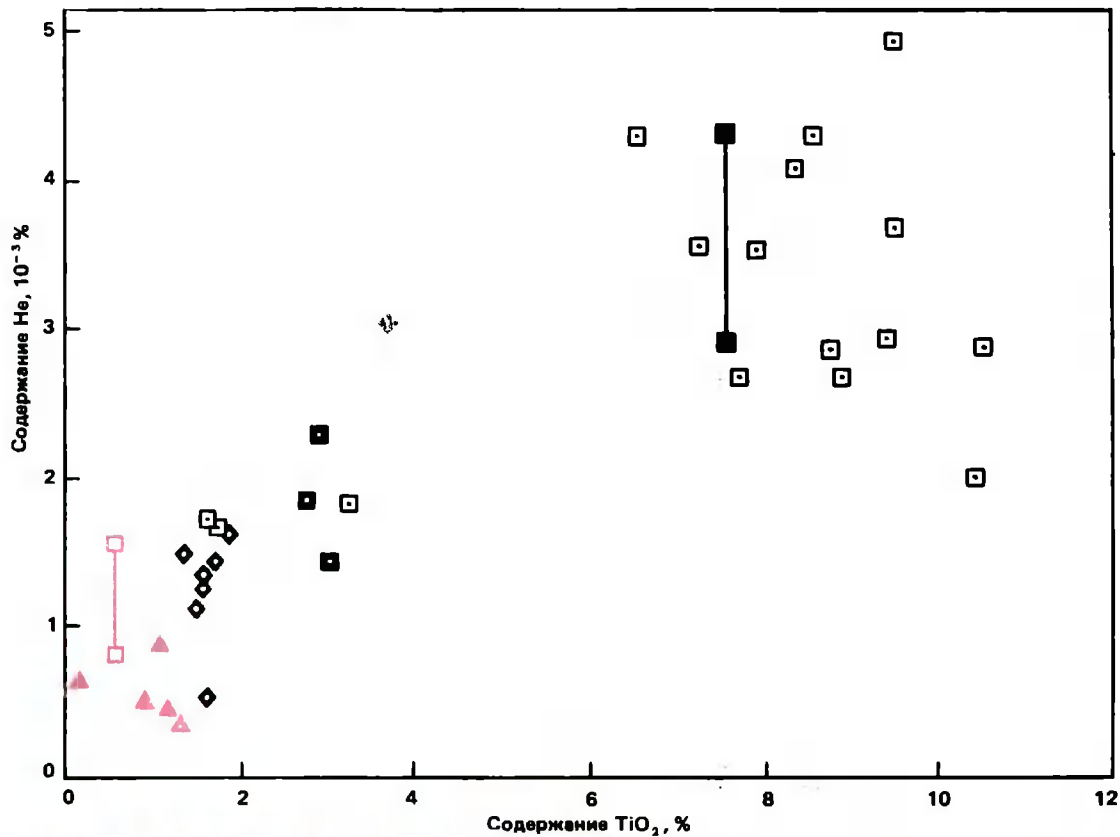
Ученые, предвосхищая успехи на существующих установках, уже проектируют термоядерные устройства следующего поколения, на которых в начале XXI в. рассчитывают получить термоядерную мощность на уровне 10^2 — 10^3 МВт. Начаты даже работы над коммерческими термоядерными



Зависимость скорости термоядерных реакций σv (σ — сечение взаимодействия ядер, v — их относительная скорость) от температуры плазмы (энергии ионов).



Доля энергии термоядерного синтеза, уносимая нейтронами при разном составе смеси в зависимости от ее температуры.



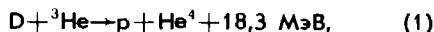
Корреляция между содержаниями He и TiO_2 в образцах лунного грунта, взятых разными космическими аппаратами (вверху) и распределение TiO_2 на участке лунной поверхности (по данным исследований в рамках программы «Аполлон»).

ми энергоблоками и космическими термоядерными источниками.

РЕАКЦИИ ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

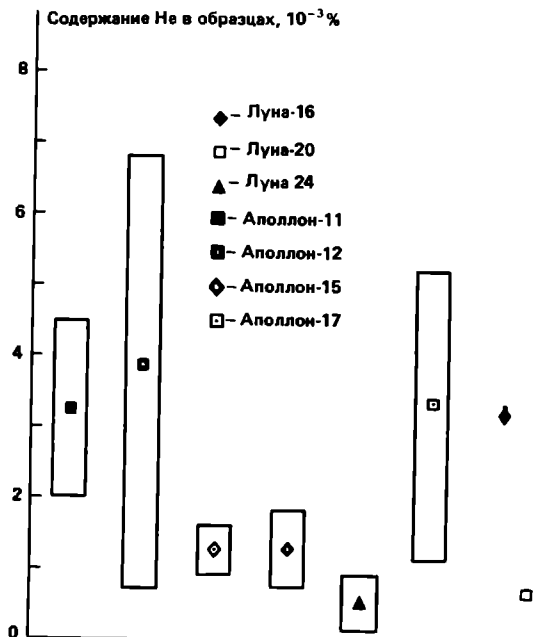
В настоящее время все усилия направлены на реализацию термоядерного синтеза ядер дейтерия (D) и трития (3H , или T), поскольку осуществить эту реакцию проще, чем для других ядер. Однако 80 % энергии, выделяемой в этой реакции, уносят нейтроны, которые не только серьезно повреждают элементы и узлы реактора, но и вызывают их высокую радиоактивность.

Впрочем, существует и другая реакция — синтез дейтерия и гелия-3 (3He):



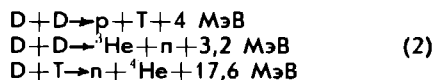
не сопровождаемый появлением нейтронов или радиоактивных веществ. Правда, в одной из побочных D-D-реакций нейтроны все же образуются, что приводит к потере примерно 1 % энергии, получаемой в этих реакциях. Тем не менее столь низкий (по сравнению с D-T-циклом) поток нейтронов значительно упрощает системы безопасности реактора, а низкая наведенная радиоактивность не требует многочисленных предприятий по утилизации отходов, которые так беспокоят общественность. Более того, 99 % энергии приходится на заряженные частицы, т. е. может превращаться в электрическую прямым преобразованием (без теплового цикла) с эффективностью 70—80 %.

Рассмотрим подробнее особенности разных реакций синтеза. Когда некоторые из легких изотопов нагреваются до очень высоких температур, удерживаясь в малой области пространства, они соединяются в более тяжелые элементы, масса которых, однако, меньше суммарной массы реагирующих атомов. Разница масс превращается в энергию. При наиболее низких температурах происходят D-T-реакции. С ростом температуры выше 10 кэВ (что соответствует 10^8 К) начинают играть существенную роль D- 3He -реакции. По различным физическим причинам оптимальный интервал температур для D-T-реакции составляет 10—20 кэВ, а для D- 3He -плазмы — 50—60 кэВ.



Содержание He в образцах лунного грунта, доставленных разными космическими аппаратами.

В D- 3He -плазме могут примерно с равной вероятностью протекать реакции:



Для уменьшения нейтронного потока можно, во-первых, выбрать такой диапазон температур, где выход реакции (1) гораздо выше, чем у реакций (2), и, во-вторых, увеличивать отношение концентраций 3He и D. Подбирая значения температуры и этого отношения в D- 3He -плазме, мощность, приходящуюся на нейтроны, удастся снизить до 1 % от полной термоядерной мощности. Но, подчеркнем еще раз, для термоядерного синтеза нужно нагреть D- 3He -плазму в 3 раза сильнее, чем D-T-смесь. В экспериментах на установке TFTR (Tokamak Fusion Test Reactor) в Принстоне, США, уже достигнуты температуры свыше 20 кэВ. Учитывая, что за 20 лет удалось поднять температуру плазмы примерно в 200 раз (от 0,1 кэВ до 20 кэВ), специалисты надеются на увеличение температуры до необходимых значений в ближайшие 10 лет.

Как будут проводиться эксперименты для получения положительного выхода энергии самоподдерживающейся термоядерной

реакции в $D-^3\text{He}$ -плазме? Простая замена D - T -смеси $D-^3\text{He}$ -плазмой в проектируемой сегодня установке NET (Next European Torus) должна привести к достижению положительного выхода термоядерной энергии. Для этого достаточно элементы внутренней нейтронной защиты, предназначенные для работы с D - T -плазмой, заменить на более тонкие (в условиях пониженных нейтронных потоков $D-^3\text{He}$ -плазмы для защиты магнитов от радиационных повреждений требуется меньше материала). Этим удастся увеличить объем плазмы в реакторе NET и тем самым значительно повысить эффективность работы установки.

Еще более интересный результат может быть получен при одновременном использовании тонкой внутренней защиты и повышенного на 20 % магнитного поля тороидальных катушек. Расчеты (правда, основанные на довольно оптимистической экстраполяции уже достигнутых результатов) показывают, что при этом в реакторе NET действительно возможна самоподдерживающаяся термоядерная реакция в $D-^3\text{He}$ -плазме с выделением высокой термоядерной мощности (около 100 МВт). Подобная модификация могла бы примерно на 10 % уменьшить стоимость проекта и позволила бы изучить самоподдерживающийся синтез в $D-^3\text{He}$ -плазме до 2000 г. Иными словами, не исключено, что мы войдем в XXI в., осуществив управляемый термоядерный синтез как в D - T -смеси, так и в $D-^3\text{He}$ -плазме.

В заключение этого раздела еще раз перечислим преимущества $D-^3\text{He}$ -цикла. Можно выделить по крайней мере 5 основных особенностей, вытекающих из более низкого уровня генерации нейтронов:

- 1) снижение радиоактивности;
- 2) уменьшение радиационных повреждений материалов и конструкций;
- 3) рост безопасности;
- 4) снижение стоимости производства энергии;
- 5) потенциально более короткий путь к использованию.

Если эта реакция так выгодна, почему же мы раньше не занимались ею? Увы, на Земле практически отсутствует ^3He . Количество природного ^3He , оставшегося в недрах Земли, не превышает сотен килограммов³, а при распаде наработанного в

промышленных реакторах трития создается всего 10—20 кг ^3He за год⁴. Энергия, выделяющаяся при сжигании 1 кг ^3He , составляет 19 МВт·лет, и для обеспечения заметной части мировых энергетических нужд требуются не сотни килограммов, а сотни тонн ^3He в год.

Где же выход? Из анализа образцов лунного грунта, доставленных аппаратами «Аполлон» и «Луна», следует, что в поверхностном слое нашего спутника содержится более 1 млн т ^3He . Но как доставить ^3He с Луны и выгодно ли с экономической точки зрения использовать его в термоядерных реакторах?

РЕСУРСЫ ^3He НА ЛУНЕ

В сентябре 1986 г. Л. Виттенберг с сотрудниками⁵ впервые сообщили о том, что в грунте, доставленном с Луны, обнаружен ^3He . С этого времени группа ученых из Висконсинского университета разрабатывала идею, основные положения которой изложены ниже.

Главный источник ^3He на Луне — солнечный ветер. По имеющимся данным, в солнечном ветре около 4 % атомов гелия, а отношение $^3\text{He}/^4\text{He}$ близко к 0,05 %. Подсчитано, что на поверхность Луны за 4 млрд лет выпало 500 млн т вещества. Из-за низкой энергии (примерно 3 кэВ для атомов ^3He) содержащиеся в солнечном ветре атомы не проникают в глубь грунта, а остаются на поверхности (по оценкам, средняя глубина их проникновения не превышает 10^{-7} м). Однако взрывление поверхности Луны частыми ударами метеоритов приводит к тому, что атомы гелия захватываются частицами грунта и встречаются на глубинах до нескольких метров.

Анализ образцов, доставленных аппаратами «Аполлон» и «Луна», показал, что содержание гелия в лунных минералах колеблется в пределах от 10^{-4} до $7 \cdot 10^{-3}$ %. Более высокие концентрации гелия присущи базальтовым лунным «морям», а более низкие — лунным возвышенностям. По оценкам

Поскольку легкий инертный гелий быстро покидает горные породы и перемещается в атмосферу, из которой, в свою очередь, уходит в космическое пространство (гравитационное поле Земли недостаточно сильно, чтобы его удержать), первичного гелия на нашей планете осталось немного, и общее количество сохранившегося ^3He невелико (во всей атмосфере — примерно 1 т). — Прим. ред.

⁴ В молекуле T_2 ядра атомов трития в результате β -распада превращаются в ядра ^3He ($T_{1/2} = 12,3$ года). — Прим. ред.

⁵ Wittenberg L. J., Santarius J. F., Kulcinski G. L. // Fusion Technology. 1986. Vol. 10. P. 167.

³ На Земле гелий присутствует по двум причинам — во-первых, это вещество содержалось в протопланетном облаке, во-вторых, оно образуется в горных породах в результате радиоактивного распада. Соотношение изотопов для этих двух источников различно: в первичном гелии сравнительно много ^3He , тогда как в радиогенном гелии преобладает ^4He .

Виттенберга, на поверхности Луны около 1 млн т ^3He . Но как с минимальными затратами извлечь его?

Установлено, что есть связь между содержанием He и TiO_2 в образцах. Специалисты исследовали отражающую способность лунной поверхности в разных диапазонах спектра и показали, что Море Спокойствия и некоторые районы Океана Бурь особенно богаты TiO_2 . Впоследствии данные для Моря Спокойствия удалось подтвердить при изучении образцов, доставленных «Аполлоном-11». Затем на основании анализа 190 тыс. км^2 лунной поверхности и последующего опыта американских исследователей было решено, что Море Спокойствия могло бы стать основным местом размещения первых лунных горнодобывающих предприятий. Здесь предположительно содержится около 8 тыс. т ^3He на глубине до 2 м.

КАК ДОБЫТЬ ^3He ?

Поскольку элементы, входящие в состав солнечного ветра, слабо связаны в лунном грунте, извлечь их оттуда несложно. В частности, ^3He начинает выделяться уже при нагреве лунного грунта выше 200°C , а при 600°C его извлекается 75 %.

Существует несколько способов добычи ^3He . В одном из них рыхлый лунный грунт зачерпывается с глубины до 60 см и подается в переднюю часть робота-луннохода. Там частицы грунта сортируются по размерам и из них выбираются частицы с диаметром меньше 100 мкм, поскольку концентрация в них атомов из солнечного ветра выше (предположительно из-за большего отношения поверхности к объему). Обогащенный концентрат нагревают с помощью тепловых труб и подают в камеру солнечного нагрева, где достигается температура $600\text{--}700^\circ\text{C}$ и осуществляется сбор выделяющихся при этих температурах летучих компонентов (H_2 , ^4He , ^3He , соединений углерода, N_2). После сбора этих газов освобожденный от них нагретый грунт возвращают обратно на лунную поверхность через систему тепловых труб, отбирающих 90 % тепла. Следует отметить, что из-за слабой гравитации на подъем материала с поверхности Луны расходуется энергии гораздо меньше, чем на Земле.

Конечно, такая система может работать только в дневное время, однако продолжительность «рабочего дня» можно повысить, используя зеркала на орбите, тепло от ядерного реактора энергетической установки или с помощью микроволн, гене-

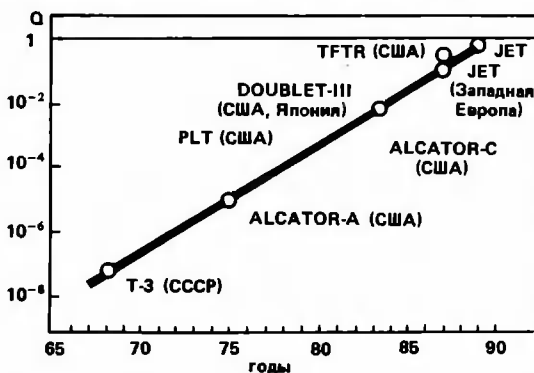
рируемых на центральной энергетической станции, расположенной на Луне.

После извлечения летучих веществ гелий отделяют от других компонентов в результате тепловой изоляции от лунной поверхности. При низкой ($<5\text{ K}$) температуре космического пространства во время лунной ночи все газы, кроме гелия, будут конденсироваться, а ^3He позднее можно отделить от ^4He , используя хорошо освоенную в промышленности технологию, основанную на явлении сверхтекучести.

При получении 1 т ^3He попутно будут образовываться 3300 т ^4He , 500 т азота, 3000 т CO и CO_2 и 6100 т водорода. Водород потребуются экспедиции для получения воды и в качестве транспортного топлива (доставка такого количества H_2 на Луну при цене 200 долл. за 1 кг стоила бы свыше 1 млрд долл. на каждую тонну производимого ^3He). Азот и углерод можно будет использовать для создания искусственной атмосферы и выращивания растений, а ^4He — как рабочее тело на энергетических установках.

СТОИТ ЛИ ОВЧИНКА ВЫДЕЛКИ?

Поскольку стоимость энергии в будущем трудно прогнозируема, существующие расчеты основаны только на сегодняшнем опыте. Прежде всего необходимо ответить на вопрос, сколько же энергии содержится на Луне в виде ^3He . Если ресурсы ^3He составляют 1 млн т, это означает, что на Луне запасено около 20 тыс. ТВт·лет потенциальной тепловой энергии, т. е. в 10



Развитие исследований по термоядерному синтезу. По оси ординат отложено отношение Q энергии, выделившейся за счет термоядерных реакций, к энергии, затраченной на нагрев плазмы (для осуществления самоподдерживающейся реакции необходимо получить $Q \geq 5$). Кривыми показаны значения параметров, достигнутые в разное время на разных установках.

с лишним раз больше, чем в ископаемых топливах на Земле, добыча которых сегодня экономически оправдана. Это единственный элемент, содержащийся на Луне в относительно больших количествах и в то же время отсутствующий на Земле.

Другой важный момент состоит в том, что сжигание всего 20 т ^3He совместно с D могло бы обеспечить все потребление электроэнергии в США в 1986 г. (около 285 ТВт·лет). Такое количество сжиженного ^3He свободно разместится в грузовом отсеке одного космического корабля типа «Спейс шаттл».

В 1986 г. в США потрачено около 40 млрд долл. на добычу топлива (уголь, нефть, газ, уран) для производства электроэнергии. Если эту сумму выделить на получение 20 т ^3He , то на 1 т ^3He придется 2 млрд долл. Даже из таких непритязательных оценок, не учитывающих многообразных преимуществ данного «горючего», следует, что доставка ^3He с Луны экономически оправдана, если стоимость 1 т этого топлива окажется не больше приведенной величины. По нашему же мнению, стоимость 1 т ^3He не превысит 1 млрд долл., даже

если в нее включить затраты на строительство термоядерных станций, которые вряд ли окажутся дешевле АЭС с реакторами деления, т. е. дороже станций, работающих на угле.

Изложенное выше позволяет сделать два основных вывода. Во-первых, вполне возможно, что в XXI в. мы получим чистый и принципиально безопасный источник энергии, который обеспечит сохранение на Земле жизни и условий для развития общества. Второй вывод связан с открытием огромного источника энергии на нашей ближайшей соседке по Солнечной системе — открытием, которое, скорее всего, положит начало подлинному практическому использованию космического пространства. Уже это экономически оправдывает не только новые экспедиции на Луну, но и первые поселения на ней.

© Перевод и подготовка к публикации
Р. С. Иванова и Ю. Н. Елдышева.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «НАУКА»

предлагает магазин № 3 «Книга — почтой» «Академкнига»

И. Г. Акоев. БИОФИЗИКА ПОЗНАЕТ РАК. Сер. «От молекулы до организма». 1988. 160 с. Ц. 40 к.

А. Е. Гайсинович. ЗАРОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ГЕНЕТИКИ. 1988. 424 с. Ц. 2 р. 60 к.

ИТОГИ ИНТРОДУКЦИИ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ В ГЛАВНОМ БОТАНИЧЕСКОМ САДУ. 1988. 304 с. Ц. 3 р. 80 к.

Р. И. Кругликов, М. Я. Майзелис. АЛКОГОЛИЗМ И ПОТОМСТВО. Сер. «Трезвость — норма жизни». 1987. 128 с. Ц. 35 к.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОДЕКС ЗООЛОГИЧЕСКОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ. 1988. 205 с. Ц. 1 р. 50 к.

А. О. Ковалевский, В. О. Ковалевский. ПЕРЕПИСКА 1867—1873 ГГ. 1988. 334 с. Ц. 4 р. 90 к.

ПРОБЛЕМЫ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЖИВОЙ И НЕЖИВОЙ ПРИРОДЫ В ЗАПОВЕДНИКАХ. (Проблемы заповедного дела. Вып. 2.) 1988. 216 с. Ц. 2 р. 70 к.

В. К. Рахилин. ОБЩЕСТВО И ЖИВАЯ ПРИРОДА: КРАТКИЙ ОЧЕРК ИСТОРИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ. 1989. 215 с. Ц. 1 р. 70 к.

В. П. Седельников. ВЫСОКОГОРНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ. 1988. 223 с. Ц. 3 р. 30 к.

Заказы по адресу: 117393 Москва, ул. Академика Пилюгина, дом 14, корп. 2. Магазин № 3 «Книга — почтой», «Академкнига».

А.В. Немцов ПОТРЕБЛЕНИЕ АЛКОГОЛЯ как глобальная проблема



Александр Викентьевич Немцов, доктор медицинских наук, старший научный сотрудник Московского научно-исследовательского института психиатрии Министерства здравоохранения РСФСР. Основные научные интересы — психофизиология и психолингвистика алкоголизма, эпидемиология потребления алкоголя.

В КОНТЕКСТЕ глобальных проблем природы обычно выступает как нечто внешнее по отношению к человеку. Но сейчас насущной необходимостью стало расширительное понимание природы, включая и природу самого человека, которая все чаще вступает в противоречие с социальными структурами. На этом пути возникают многие кризисные явления, порождается социальная патология, которая проявляется, в частности, ростом пьянства и алкоголизма.

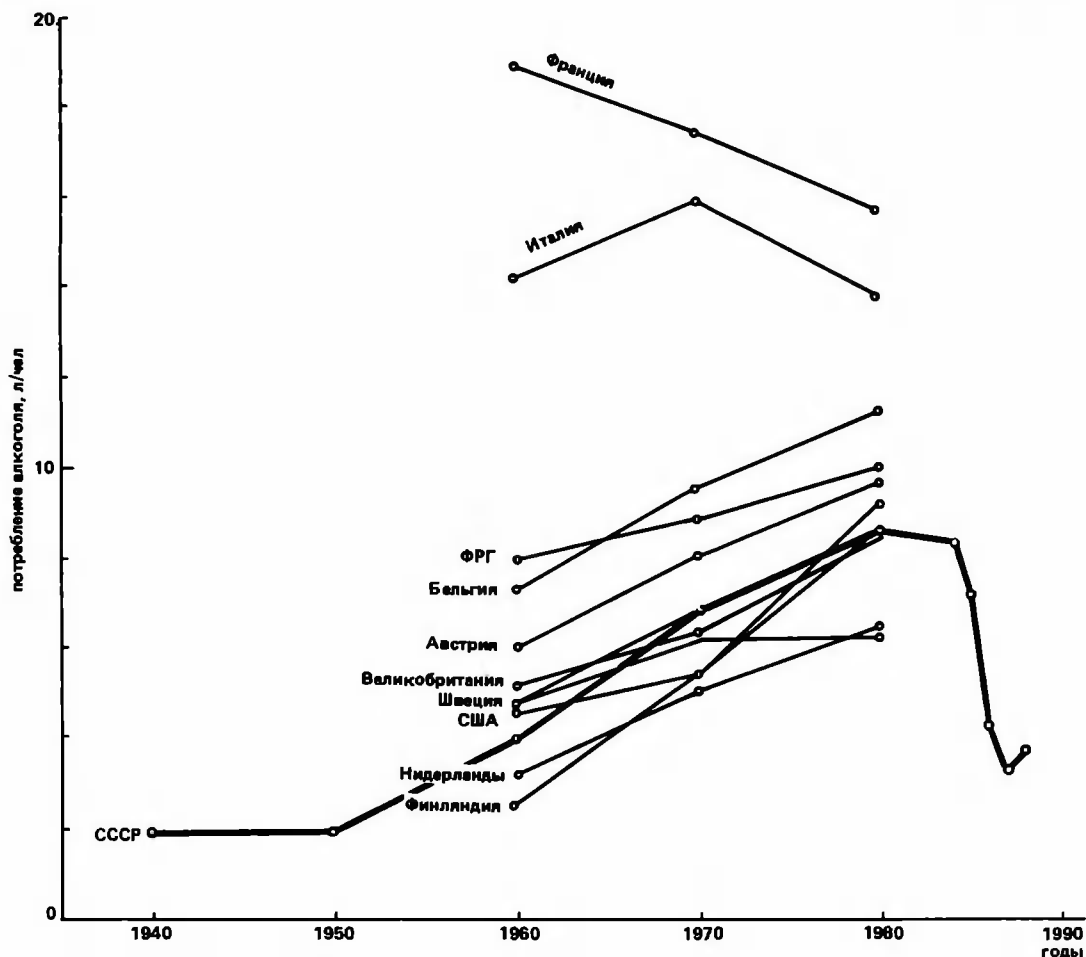
Пристальное внимание к этой проблеме в нашей стране привлек известный указ 1985 г. и последовавший затем мощный противоалкогольный прессинг. Его главный показатель — резкое снижение продажи алкоголя: с 8,4 л в 1984 г. до 3,3 л в 1987 г. (на 60,7 %, в расчете на чистый спирт в год на одного человека)¹. Тем самым достигнут уровень продажи 1955—1956 гг. Иначе говоря, 2,5 года снижения соответствуют почти 30 годам роста в послевоенную пору. Несмотря на такие результаты, головокружения от успехов не произошло: очереди у винных магазинов резко выросли, а число людей, привлекаемых к ответственности за самогоноварение, почти удваиваясь ежегодно, достигло 397 тыс. человек в 1987 г. и 414 тыс. человек в 1988 г. Общее число нарушителей антиалкогольного законодательства превышает 10 млн. человек в год.

Эти крайние формы подвижничества на пути к алкоголю подводят к вопросу, чем же привлекают спиртные напитки?

В объяснении причин пьянства мы перестали ссылаться на «пережитки капитализ-

© Немцов А. В. Потребление алкоголя как глобальная проблема.

¹ Этот показатель рассчитывается суммированием чистого алкоголя во всех продаваемых напитках и делением суммы на число живущих в стране. Однако во всем мире расчет ведется иначе — с 15-летнего возраста, что является более точной оценкой из-за различий в разных странах численности детей. Пора и нам принять этот показатель для большей сопоставимости с международными данными и для сравнения потребления в разных регионах нашей страны, которые сильно различаются по числу детей на одного взрослого, а общая доля детей до 15 лет составила в СССР 25,2 % от общей численности населения (1987 г.).



Ежегодное потребление алкоголя на душу населения в СССР (без учета самогона) и в ряде промышленно развитых стран.

ма»; появилось новое слово «нажиток». Но сохраняется стремление объяснять наше пьянство обычаями и традициями. Спору нет, традиции консервативны, они многое объясняют в этом явлении. Но не все. Если пьянство увеличивается, если растет потребление алкоголя, значит, помимо традиций включаются какие-то новые факторы, идущие вразрез с обычаями употреблять спиртные напитки в прежних количествах.

Все чаще издержки застоя выдвигаются в качестве главных стимулов роста пьянства в стране. При этом говорят о «социальной апатии», «товарном голоде», «усталости от лжи и беспорядков». Только изредка называют комплекс конкретных причин, главные из которых связаны опять-таки с застойным периодом².

Эта печальная пора нашей истории по-

мимо прочего была отмечена большим критическим задором в отношении «язв капитализма». Часто в их числе называли алкоголизм и пьянство, не замечая, что в последние десятилетия рост потребления спиртного отмечается во всех странах и его последствия стали глобальной проблемой. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), употребление алкоголя теперь рассматривается как «один из неотъемлемых аспектов культуры современного общества»³.

Рост потребления алкоголя в мире начался в середине 50-х годов и захватил в первую очередь промышленно развитые страны. Исключение в Европе составили только Франция и Италия. Позже в этот процесс включились и страны Азиатского

² См., напр.: Ольшанский В. Б. // Социологические исследования. 1987. № 1. С. 1.

³ Хроника ВОЗ. 1983. Т. 37. № 6. С. 16.

континента, долгое время сдерживаемые традициями и религиозными установками. В этом ряду последней была Африка, которая особенно интенсивно стала приобщаться к алкоголю в последнее десятилетие, когда, по выражению одного из руководителей регионального бюро ВОЗ, «алкогольные напитки стали доступнее воды». В целом с 1965 по 1980 г. потребление алкоголя на душу населения выросло в мире на 15 %.

Начало роста потребления алкоголя в СССР совпало с началом алкогольного бума в Европе, несмотря на «железный занавес». Уже в 1958 г. производство вина и водки в стране удвоилось, а в 1965 г. утроилось по сравнению с 1950 г. Потребление довольно равномерно росло и в период «оттепели», и в годы застоя. К 1980 г. прирост составил 358 % (8,7 л на человека), что близко к европейским стандартам⁴.

Итак, несмотря на существенные различия социальных условий, в послевоенную пору всюду резко выросло потребление спиртных напитков и обострились связанные с этим последствия, ибо алкоголь — мощный криминогенный фактор, одна из естественных причин распада семьи и отклоняющегося поведения. Алкоголь вызывает ряд соматических, неврологических и психических заболеваний, влияет на потомство. При близком к европейскому уровню потребления алкоголя, его токсическое действие у нас могло проявиться сильнее из-за неполноценного питания.

Самым наглядным проявлением роста алкоголизации в мире явилось увеличение числа больных алкоголизмом. В нашей стране они составили 4,7 млн (1984 г.). Но большая часть алкогольных проблем остается скрытой. В результате число ученых-алкоголиков составляет у нас около трети от общего числа больных алкоголизмом. Приблизительно столько же их в США — от 10 до 15 млн, по разным оценкам. У нас к подводной части «алкогольного айсберга» относится и самогоноварение, неконтролируемо увеличивающее потребление алкоголя.

Но дело не только в росте количества; происходили качественные изменения алкогольного потребления, тенденции которого в мире становились все универсальнее. Так, в винодельческих районах увеличивалась доля крепких напитков и пива, которые раньше предпочитали лишь в северных странах. Уменьшилось различие в потреблении

Динамика потребления алкоголя в различных странах мира, в л чистого спирта на душу населения в год

Страны	1960 г.	1970 г.	1980 г.
СССР	4,0	6,8	8,7
Венгрия	6,2	9,1	11,7
ГДР	3,9	5,6	8,9
Чехословакия	5,4	8,2	9,4
Бельгия	7,3	9,6	11,4
Великобритания	5,2	6,4	8,5
Дания	4,6	7,4	9,2
Италия	14,3	16,0	13,9
Нидерланды	2,6	5,5	8,6
Финляндия	2,3	5,1	6,4
Франция	19,0	17,6	15,8
Швеция	4,8	6,3	6,3
США	4,8	6,9	8,7
Австралия	6,1	8,1	9,7
ФРГ	8,0	8,9	10,0

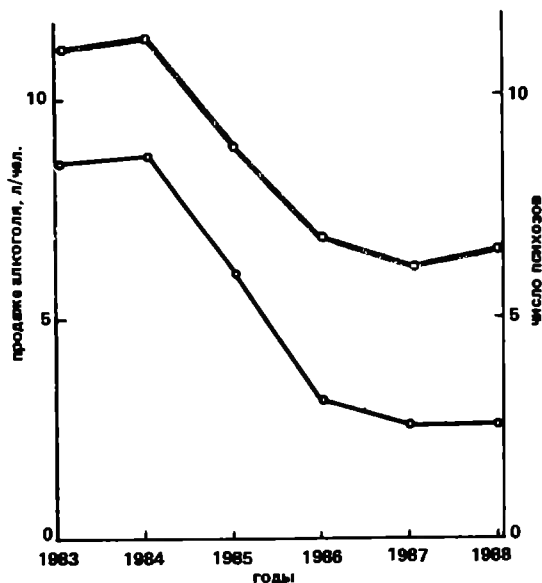
спиртных напитков в будни и праздники, в зависимости от пола и возраста. В начале века в европейских странах одна женщина-алкоголичка приходилась примерно на десять больных мужчин, а в последние годы это соотношение 1:5 и даже 1:3,4 (ФРГ, 1985). Серьезной проблемой стал ранний (до 18 лет) алкоголизм.

Изменилось представление и о социальном положении пьющих. Если раньше считалось, что пьют в основном представители малоимущих слоев, то в последние десятилетия выявилось, что высокое потребление характерно как для испытывающих нужду и моральные тяготы, так и для высокооплачиваемых, чья деятельность сопряжена с большой ответственностью и мобильностью.

Рост потребления алкоголя независимо от экономического состояния групп и социального устройства стран говорит о наличии общих причин этого феномена, хотя у разных стран и социальных слоев могут быть свои специфические стимулы. Что же это за причины и почему они связаны именно с алкоголем?

Мы признаем, что поведение людей предопределено социально-психологическими законами, которые стремимся понять. И только такому массовому явлению, как пьянство, в этом отказываем. Более того — отказываем «пьяной свинье» в элементарном гуманизме и даем замерзнуть на многолюдном тротуаре. Слов нет, вид пьяного часто отталкивает, поведение — нетерпимо. Правда и то, что социальные предпосылки пьянства не должны заслонять личную ответственность пьяницы. Но эти предпосылки важно знать, чтобы не ошибиться в антиалкогольной политике.

⁴ Расчеты сделаны на основе данных Госкомстата СССР и справочников «Народное хозяйство СССР».



Динамика продаж алкоголя и алкогольных психозов [на 10 тыс. населения] в Москве.

Начать стоит с самого простого, с психоактивных свойств алкоголя — его способности изменять психические функции. В этом отношении действие алкоголя многогранно, но повышение настроения, возникновение позитивных эмоций, «эйфоризирующий эффект... можно выделить как основной, базисный... Устранение эмоционального напряжения наряду с эйфорией остается наиболее четким и постоянным эффектом алкоголя»⁵. Благодаря этим свойствам алкоголь позволяет легко расслабиться и быстро мобилизоваться. Другие психотропные свойства алкоголя — производные от этих двух: эйфоризирующего и транквилизирующего. Это повышение самооценки, редукция сложности реальных проблем, мнимое удовлетворение потребностей, устранение помех в общении, облегчение контактов («коммуникативный допинг») за счет эйфории и подавления индивидуальности, отчуждения человека от самого себя. Алкоголь расширяет возможности символического потребления, обладания и благополучия, помогает создать более благоприятный образ собственного «Я», наконец, способствует мифотворчеству, которое всегда было важным элементом существования.

Эти и многие другие свойства алкоголя позволяют так деформировать восприятие действительности, что это создает иллюзию соответствия желаемого и действительного. Переживаемые при этом положительные эмоции часто оставляют глубокий след в виде неопределенных, расплывчатых, но приятных воспоминаний (тривиальное «хорошо посидели»). Они же могут сыграть роковую роль в формировании алкоголизма.

Конечно, действие алкоголя не ограничивается только позитивными переживаниями. Вслед за эйфорией часто наступает фаза психического угнетения, а иногда и депрессии, появляются тягостные или болезненные соматические ощущения, общее физическое недомогание. При злоупотреблении почти каждая выпивка сопровождается неприятностями, которые, накапливаясь, вырастают в сложные житейские проблемы.

И все-таки часть человечества потребляет алкоголь во все возрастающих количествах. Не ради же негативных последствий. И почему во второй половине XX в. у все большего числа людей все чаще возникает потребность в реализации позитивных психотропных свойств алкоголя?

Ответ на этот вопрос надо искать прежде всего в резком изменении условий существования людей в середине века. Ряд явлений глобального масштаба описываются экспонентами или схожими кривыми и обозначаются как взрыв (демографический, урбанистический, информационный) или революция (научно-техническая, технологическая). В 60-е годы повсеместно начали говорить о загрязнении среды обитания, вызванном главным образом резким ростом производства. Загрязнению подверглась не только физическая, но и социальная среда. Это явление обозначили молодежные бунты 60-х годов, рост наркомании, агрессивности, терроризма, эпидемия одиночества и самоубийств. Одной из реакций на все это и стал рост потребления алкоголя.

Определяющими факторами всех этих явлений можно считать экспоненциальный рост населения планеты и численности городских жителей, увеличение экономического потенциала общества и повышение мобильности людей, их миграции, что привело к радикальным переменам в социальных структурах. В то время как за предыдущие 900 лет население Земли выросло всего на 172 %, за 85 лет нынешнего столетия — на 350 %. Численность жителей городов еще в 1800 г. составляла 3 % населения Земли, к 1950 г. перевалила за четверть, а сейчас приблизилась к половине. В СССР до войны горожане составляли треть населения стра-

⁵ Бехтель Э. Е. Донозологические формы злоупотребления алкоголем. М., 1986.

ны, а сейчас — две трети. В настоящее время большинство населения СССР хотя и проживает в городах, но по своему происхождению является сельским. Иначе говоря, для большой массы людей потребовалось приспособиться к совершенно новым для них условиям жизни. Эта ситуация характерна и для многих других регионов мира. И везде мигранты в среднем потребляют больше алкоголя, чем их оседлые городские сверстники.

Иными словами, на протяжении тысячелетий население планеты было преимущественно сельским, а в последние 30 лет стало почти наполовину городским. Соответственно резко возросла плотность населения, а вместе с этим увеличилась эмоциональная напряженность у горожан. Почти повсеместно сельские жители потребляют меньше спиртных напитков, чем городские.

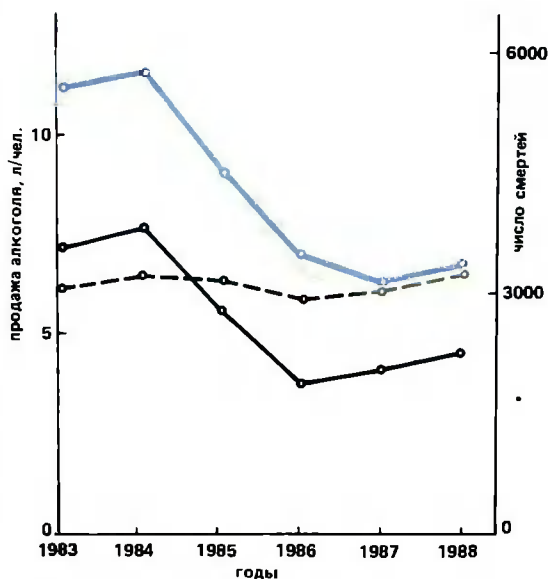
Среди перемен, произошедших в XX в., особую роль играет резкий рост экономического потенциала. При всей неравномерности его распределения у большей части населения планеты повысилось материальное благосостояние, улучшилось питание, стали комфортнее условия труда и быта, что проявилось физическим оздоровлением и ростом продолжительности жизни.

Еще одно следствие экономических перемен — увеличение свободного времени, что для значительной части населения обернулось такой трудной проблемой, как преодоление душевной пустоты и бездуховности существования.

Автоматизация многих производственных процессов в известной мере обезличила труд, снизила роль «человеческого фактора». А если «человеческий фактор» не может реализоваться и в свободное время, возникает состояние скуки, которая стала патологией популяционной, толкая на поиски новых ощущений. На путях этих поисков возникла сексуальная революция, многие маргинальные молодежные движения, эпидемии наркоманий. Велики «заслуги» скуки и в распространении пьянства.

В связи с урбанизацией и научно-технической революцией резко изменились условия существования современного человека по сравнению с его далекими и не очень далекими предками. Неизмеримо возросло количество людских контактов, в значительной части ставших поверхностными, опосредованными техническими устройствами.

Массовые средства информации, особенно визуальные, в отличие от письменной и устной коммуникации не дают человеку возможности регулировать скорость передачи и восприятия информации,



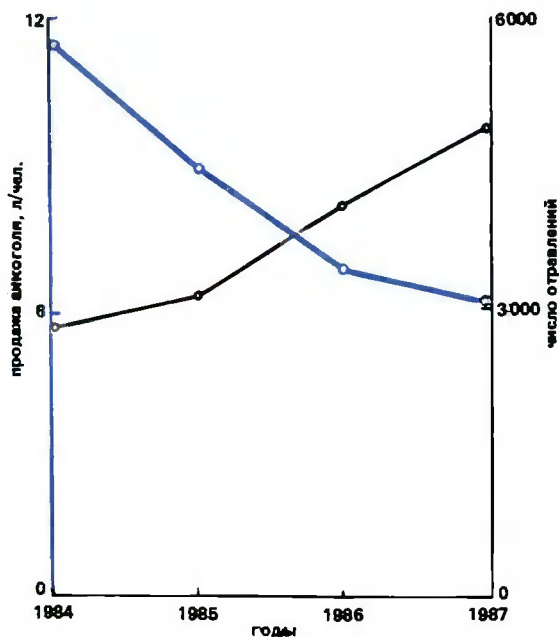
Динамика продажи алкоголя (цветная линия), насильственных смертей в состоянии алкогольного опьянения (черная сплошная линия) и трезвом состоянии (пунктир) в Москве.

не позволяют синхронизировать поступление информации и ее осмысление, не оставляют места диалогу. По сути дела диалог умер. А ведь именно эта форма коммуникации издавна служила единению людей. Теперь эти функции диалога перешли к средствам массовой информации, которые мешают непосредственному взаимодействию людей, разобщают их.

Разобщает людей и материальная независимость, и убыль потребности в коллективном противостоянии внешним силам, бытовым и бытийным опасностям, которые испокон веков создавали основу для общения и взаимоотношения.

При всем ужасе войн, стихийных бедствий, эти трагедии сопровождаются мощными всплесками единения людей, упрощением чувства локтя. В обыденной же жизни такие всплески возникают все реже, а если и возникают, то все чаще остаются на поверхности, не затрагивая глубинных свойств личности. Все это приводит к разрыхлению связей между отдельными людьми и их сообществами, порождает чувство одиночества. Алкоголь же способен иллюзорно компенсировать недостаток подлинного общения.

Ослабление индивидуальных связей людей, нарастание одиночества происходит в мире на фоне централизации власти, сопровождается структуризацией повседнев-



Рост отравлений психотропными веществами в Москве на фоне снижения продажи алкоголя (цветная линия).

ной жизни. Это — конвейер или просто монотонная работа — у одних, жесткий распорядок дня, необходимость играть определенную роль, вступающую часто в противоречие с личностными свойствами человека — у других. Эти и другие условия приводят к подавлению эмоциональности, сопровождаются осуждением спонтанности, а тем более импульсивности, которые всегда служили средством самовыражения, способом эмоциональной разрядки, находились у истоков всякого творчества. Алкоголь способен создать иллюзию, будто разрываются цепи условностей, высвобождаются все эти процессы, возникает ощущение «полета духа», столь необходимое всякому человеку.

На протяжении нескольких последних десятилетий эти перемены совершались значительно быстрее, нежели изменение психологии, сознания людей, формировавшихся тысячелетиями в условиях патриархальных форм труда и быта. Возможно, что на протяжении тысячелетий в процессе смены поколений происходил отбор психологических типов, соответствующих патриархально-общинным формам существования со сравнительно низкими ритмами жизни с немногочисленными, но глубоко личными, соседскими контактами на фоне решения конкретных, часто витальных задач, ремесленного

труда, дающего простор для повседневного творчества.

В последние десятилетия процессы, давно запущенные цивилизацией, вероятно, достигли критического уровня, пришли в противоречие с природой большей части людей. И поэтому живущие ныне люди устают от скученности и спешки, от множественного, но поверхностного общения, информационных перегрузок, чрезмерной стандартизации. Адаптивные возможности многих людей при этом оказываются истощенными, затрудняя их социализацию.

Существование людей веками тесно смыкалось с заботой о хлебе насущном. Сейчас для большинства из нас добыча хлеба перестала быть жизненно важной, уступив свое место противоположной задаче — хлеба есть поменьше или «бегать трусцой», чтобы привести современные энергозатраты в соответствие с вековыми привычками. Главные заботы, прежде составлявшие жизнь, утратили витальное значение; понятия «быт» и «бытие» все больше расходятся. Создается «экзистенциальный вакуум», заполняемый комплексом негативных явлений. Одно из них — рост пьянства. Огрубляя, можно сказать, что потребление алкоголя является мерой неблагополучия социальной среды. Составляющие этого неблагополучия могут быть разными: бедность, униженное положение одних и ответственность социального статуса других, товарный дефицит для одних и дефицит времени для других при изобилии товаров.

Естественно, ощущение неблагополучия у разных людей не означает равенства потребляемого алкоголя; тут существует индивидуальная избирательность. Эта избирательность помимо социальных факторов обусловлена психологическими особенностями людей; их личностными и биологическими свойствами.

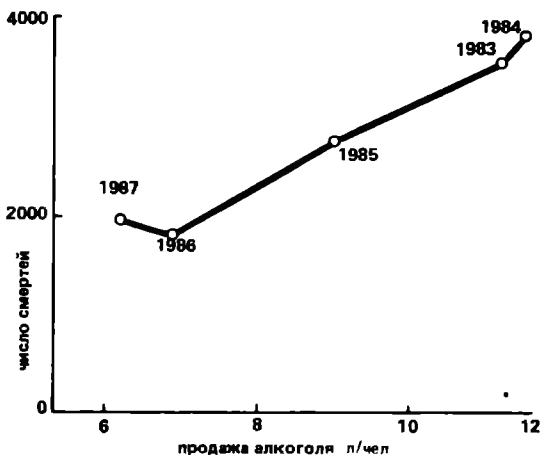
Много усилий потрачено на то, чтобы нарисовать обобщенный психологический портрет пьяницы или алкоголика, выявить типологию личностей, склонных к злоупотреблению алкоголем. Но сделать это не удалось. Выявлены только самые общие черты, predisposing к употреблению алкоголя. Это непереносимость житейских затруднений, провоцирующих раздражительность или пониженное настроение, чувство неполноценности, неуверенность в себе, незрелость личности, проявляющаяся в эгоцентризме, потребности внешнего поощрения, нереалистичности планов. Это, наконец, примитивность, обусловленная исходной интеллектуальной недостаточностью или пороками воспитания и образования. Все

это может вызвать затруднения социализации и, следовательно, потребность в алкоголе, как способе адаптации. Реализация этой потребности зависит от многих обстоятельств, основное из которых — микросоциум, его установки и обычаи в решении конфликтных ситуаций. Вот тут-то и могут сыграть роковую роль питейные традиции общества.

Возвращаясь к главной мысли, нужно повторить, что потребление алкоголя служит индикатором неблагополучия, слабости адаптационных механизмов личности или общества. Правда, этот «индикатор» не остается нейтральным в отношении микро- и макросоциума. Он сам выступает как мощный деградационный фактор. Но здесь хотелось бы подчеркнуть именно индикаторную роль алкоголя.

Однако простое сопоставление литров выпиваемого алкоголя с «килограммами» неблагополучия было бы неверным. Хотя бы потому, что в разных странах и регионах это неблагополучие выступает в разных формах, а алкоголь в качестве их иллюзорного эквивалента универсален. Уже отмечалось, что в некоторых странах Африки стоимость спиртных напитков сравнима с высокой стоимостью воды. В развитых же капиталистических странах цена пары обуви и крепкого спиртного сопоставимы. У нас бутылка водки в 2, 3 и даже в 10 раз дешевле пары обуви, что делает водку более доступной. Иначе говоря, рубль, истраченный на спиртное, у нас скорее доставит положительные эмоции, чем при покупке обуви или одежды. Рубль затрат на алкоголь тем более несоизмерим с рублем, вложенным на покупку автомобиля или квартиры, доступность которых определяется не только стоимостью, но и дефицитом. Дефицитными стали чистый воздух и незагрязненная вода, животные белки и жиры, овощи и фрукты.

Учитывая это, приходится сказать, что, вероятно, существует некий уровень потребления алкоголя, который, скрепя сердце, можно назвать «оптимальным» и которым определяется равновесие между негативными последствиями его употребления и социальным благополучием в стране. Очевидно, что быстрое (почти на 25 % в год) снижение продажи алкоголя в стране нарушило этот «оптимум». Такой эксперимент привел к грустным последствиям: резкому росту самоубийств и токсикомании. Увеличилось употребление эйфоризирующих веществ. И хотя 11 тыс. отравившихся «химией» в 1987 г. меньше, чем 38,5 тыс. погибших от отравления алкоголем в 1984 г., такая динамика не может удовлетворить.



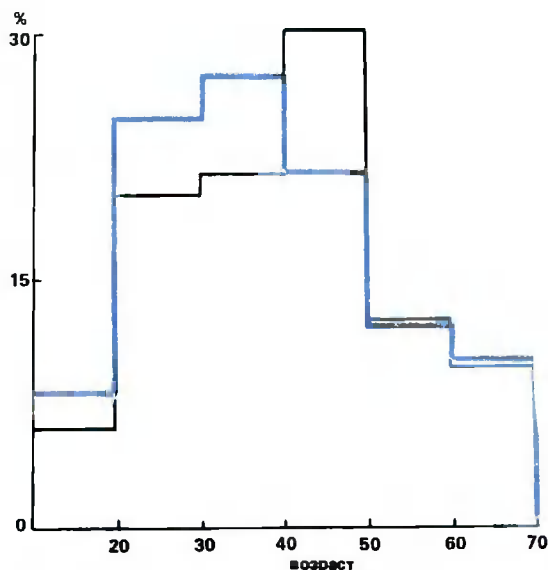
Соотношение насильственных смертей в состоянии алкогольного опьянения и количество проданного алкоголя в Москве в 1983–1987 гг. В 1987 г. отмечалось отклонение от линейной зависимости [показано цветом], что позволяет оценить истинное потребление алкоголя.

Вероятно, пришло время научно определить оптимальный уровень потребления алкоголя для страны в целом и отдельных ее регионов, исходя из конкретных условий. Для этого на одну чашу весов нужно положить смертность от алкогольного травматизма и отравлений, алкогольные психозы, преступность на почве алкоголя, а на другую — самоубийства, токсикоманию, нелегальную продажу алкоголя и наркотиков. При этом необходимо учесть число лиц, занятых однообразным ручным трудом, имеющих плохие жилищные условия, низкие заработки и другие показатели неблагополучия социальной среды, актуализирующие «потребность в алкоголе».

Задача определения оптимума состоит в том, чтобы свести к минимуму груз на обеих чашах, оперируя не только общим количеством производимого алкоголя, но и ассортиментом напитков, а также и их ценой, которая должна определяться не «на глазок», а в соотношении с ценами на другие товары и их доступностью. Задача, по сути дела, сводится к построению многомерной модели для всей страны и отдельных регионов.

В 1988 г., осознав, что антиалкогольная палка явно перегнута, продажу алкоголя увеличили на 15 % по сравнению с 1987 г. чисто эмпирически. Но при этом важно сохранять антиалкогольный прессинг (и репрессивный, и административный, и пропагандистский).

Самые примитивные показатели оптимизации продажи алкоголя — уменьшение



Возрастной состав отравившихся в Москве в 1984 г. и 1987 г. (цветная линия).

очереди за спиртным, самогеноварения и связанной с ним продажи сахара. Есть и другие, более точные индикаторы алкогольной ситуации, которые мы специально исследовали в Москве. К ним прежде всего относится число алкогольных психозов (белая горячка, алкогольная паранойя и другие), которое хорошо коррелирует с потреблением спиртных напитков, увеличиваясь после праздничных дней и дней зарплат.

Динамика алкогольных психозов в связи со снижением продажи алкоголя рассеивает один расхожий предрассудок. Многие считают, что снижение продажи спиртных напитков никак не сказалось на их потреблении больными алкоголизмом. Но алкогольный психоз может возникнуть только у алкоголика, и, если число психозов существенно уменьшилось, это значит, что в условиях антиалкогольного прессинга главные потребители спиртного снизили его потребление. А это серьезный довод в пользу антиалкогольной политики в нашей стране.

Другой индикатор — насильственные смерти в состоянии опьянения (убийства и самоубийства, отравления, дорожно-транспортные происшествия и другие), количество которых на фоне уменьшения продажи алкоголя в Москве резко снизилось. (Число насильственных смертей в трезвом состоянии в 1983—1987 гг. почти не менялось.) Можно думать, что «пьяные» насильственные смерти

отражают истинное потребление алкоголя даже лучше, чем алкогольные психозы, для возникновения которых требуется длительное злоупотребление спиртным (небольшой рост продажи алкоголя в 1988 г. никак не сказался на числе психозов).

В отличие от этого рост «пьяных» насильственных смертей начался еще в 1987 г., отражая, вероятно, рост самогеноварения, расчетные оценки которого на основе количества проданного сахара и числа насильственных смертей довольно близки (1,5 и 1,1 л чистого спирта на душу населения). В целом по стране по примерным подсчетам в 1988 г. на человека производилось 1,6 л самогона. Даже с учетом этого уровень потребления алкоголя в 1988 г. еще далек от уровня 1984 г. Об этом же свидетельствует снижение алкогольных психозов и насильственных смертей в стране.

Однако эти положительные последствия антиалкогольных мероприятий никак нельзя рассматривать изолированно от всех остальных — психологических, экономических и даже медицинских. Таких, например, как отравление психотропными препаратами, число которых увеличивалось пропорционально снижению продажи алкоголя. Среди таких случаев доминировали отравления транквилизаторами (успокаивающие препараты), которые в больших дозах способны поднять настроение, вызвать эйфорию. Хотя часть из этих отравлений — попытки самоубийства, общий их рост свидетельствует о потребности изменить свое психическое состояние, достичь эйфории. И как результат — рост токсикоманий, как в Москве, так и во всей стране.

Все это отражает глубинные и глобальные процессы, определяющие «потребность в наркотизации», социальную в своей основе. Еще предстоит детально разобраться в том, кто кроме больных алкоголизмом и токсикоманиями ощущает такую «потребность». В частности, за счет кого выросло потребление веществ и медикаментов с целью наркотизации, в качестве «заместительной терапии» при снижении продажи алкоголя в стране. Важно отметить, что отравления «помоделли», как в Москве, так и во всей стране.

Компенсировать потребность в наркотиках в полной мере не смогут и «альтернативные радости», которые сулит нам перестройка. Нужно отдавать себе отчет в том, что перестройка уже вызвала смятение части умов и еще потребует немалых психических усилий: экономические и политические перемены могут вызвать неуверенность. И не только у бюрократов.

До тех пор, пока перестройка не во-

плотится в существенное улучшение жизни, пока инициатива и творчество не станут неотъемлемой частью труда, пока изменение морального климата в стране не будет всеохватным, происходящие изменения могут стать дополнительной нагрузкой. И все же, чем сильнее перестройка оздоровит социальную среду, тем меньше будет стимулов для употребления алкоголя и злоупотребления им, тем ниже станет «потребность в наркотизации» в стране.

А в глобальном масштабе есть ли основания для оптимизма? Надежды прежде всего на пластичность психики вида *Homo sapiens*. Трудности, переживаемые человечеством в последние десятилетия, это болезнь не столько роста, сколько развития, в процессе которого накапливаются психологические типы, соответствующие современным условиям жизни, приспособленные к психическим перегрузкам разного рода.

При анализе проблемы потребления алкоголя речь идет не об индивидуальной, а о родовой пластичности, повышении адаптивности, связанной со сменой поколений, накоплением в популяции носителей таких психологических особенностей, которые позволяют легче приспосабливаться ко все усложняющимся социальным условиям без опоры на фармакологический костыль.

Второе — это предельность если не всех, то многих процессов,¹ усложняющих социально-психологические условия. Так, сомнительно, чтобы в дальнейшем росло число телефонов и телевизоров, а также время, им уделяемое. Попытки заставить аэропассажиров передвигаться со сверхзвуковой скоростью все более наталкиваются на физиологические и экологические ограничения. На отдаленных рейсах самолеты, конечно, будут летать со сверхзвуковой скоростью, но массовым это явление не станет.

По оценкам ВОЗ, рост населения планеты сохранится и в XXI в., но его темп замедлится и численность населения Земли стабилизируется к концу следующего века на уровне 10,5 млрд. Увеличится и население городов, хотя период их бурного роста позади. В нашей стране это связано с демографическим истощением села. В развитых капиталистических странах помимо этого начался отток городского населения в пригороды.

Все это и многое другое свидетельствует о том, что жизнь хотя и будет усложняться, но, вероятно, все медленнее, что уменьшит стрессовую нагрузку и потребность в наркотиках, в частности в алкоголе.

В-третьих, обнадеживает цикличность потребления наркотических средств. Такие

циклы описаны и для алкоголя. Так, в США с 1790 по 1925 г. выявлено два полных цикла продолжительностью 55 и 80 лет. Длительность циклов потребления алкоголя в Австралии за последние полтора столетия составила примерно 60 лет. Отмечалась подобная цикличность и в других странах мира. Вероятно, сейчас мы находимся у вершины, за которой возможен спад потребления алкоголя в мире. Свидетельство тому — стабилизация потребления в ряде стран, его уменьшение в некоторых других.

Так, например, в Канаде с 1974 по 1983 г. потребление алкоголя на душу населения за год снизилось на 2,6 %, в ФРГ в 1986 г. на 2,5 % по сравнению с 1985 г. У нас этот процесс начался около 1980 г. Тогда потребление алкоголя составило 8,7 л, а в 1984 г. — 8,4 л (на 3,4 % меньше).

К сожалению, природа процессов, лежащих в основе циклических колебаний потребления алкоголя, недостаточно ясна. Да и спад пока незначителен. Хотя и это благая весть.

Четвертое — это все более глубокое понимание кризисности современной алкогольной ситуации. Беспрецедентное в послевоенную пору снижение продажи алкоголя в нашей стране — тому иллюстрация. В послевоенной истории есть и другие, более скромные примеры: Франция со времен де Голля, Италия в последнее десятилетие, США, Канада и ФРГ в самое последнее время. Все это — результат осознания, что трезвость в конечном итоге выгодна. Отдельным людям, производству, государству.

Проблему потребления алкоголя нельзя отрывать от других глобальных и локальных процессов, происходящих в мире. Повсеместно употребление алкогольных напитков все теснее сплетается с другими аспектами социального поведения. Возникает сложное взаимостимулирование негативных составляющих социальной среды обитания.

Рост алкоголизации и некоторые другие явления, сопровождающие развитие цивилизации, нацелены на достижение сиюминутных благ или их фантомов в ущерб долговременным факторам человеческого существования. Это требует связать алкогольную проблематику с экологическим мышлением, которое, правда, пока ограничено взаимодействием Человека и Природы.

Будущее человечества зависит от чистоты не только среды обитания, но и социального окружения, ресурсы которого исчерпаемы так же, как и природные запасы. Нарастающее загрязнение социальной среды идет рука об руку с засорением воздуха, воды и почвы, с убывью природного разно-

образия. И, может быть, главная точка сцепления заложена в противоречии между природой современного человека, все более ориентированной на немедленный успех, и природой его обитания, физической и социальной, которые не спешат с обеспечением успеха для всех людей в потребных количествах и с потребной скоростью.

Значит, необходимы изменения сферы потребностей и структуры ценностей. Требуется радикальная культурная реформация, создание новой парадигмы существования, ориентированной на будущее.

Сомнительно, чтобы дорога к нему была короткой и одной для всех. Более того, требуется существенная деструктуризация общественных форм существования, переход от плюрализма бытия к плюрализму бытия, к свободе выбора путей существования. Для одних людей это может быть возрождение некоторых доиндустриальных форм, апробированных тысячелетним опытом человечества; для других оптимальными могут оказаться современные формы, дополненные требованиями экологии. Можно ожидать плодотворного синтеза этих форм, как и порождения новых способов бытия, интенсивно, хотя и безуспешно, отыскиваемых участниками маргинальных движений на Западе и «неформалами» у нас.

Экологическое разнообразие поможет человеку сбросить груз ролей, избавиться от необходимости подавлять в себе самое дорогое — индивидуальное, поможет уйти от насилия тотальной унификации. В борьбе со скукой важно сделать свободный вход в

любую экологическую нишу, равно как и переход из одной в другую. И все это — при повышении цены человеческой жизни как главной меры сущего.

После такого отступления трудно возвращаться в дурно пахнущую алкоголем нишу, которую иначе как антиэкологической не назовешь. Однако в этой нише собралась почти треть мужского населения планеты и большая часть женского. Число обитателей этой ниши все прибывает, и все — люди. Все заслуживают понимания причин, загоняющих их в алкогольную нишу. Не умаляя личную ответственность пьяниц, необходимо понять, что существует тесная связь между алкогольным поведением и другими дегенерационными процессами. Вот почему для долгосрочного прогноза алкогольной активности в мире, для разработки антиалкогольной стратегии в стране важно оценить глобальные тенденции, наиболее тесно сцепленные с потреблением алкоголя.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Лисицин Ю. П., Копыт Н. Я. АЛКОГОЛИЗМ. М.: Медицина, 1983.

Успенский А. Е. ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭТАНОЛА. М.: ВИНТИ, 1984. Сер. «Токсикология». Т. 13. С. 6—56.

Уолш Д. МЕДИКО-СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ПОТРЕБЛЕНИЕМ АЛКОГОЛЯ, И ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. ВОЗ, 1985.

ВНИМАНИЮ ДЕЛОВЫХ ЛЮДЕЙ!

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

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

по адресу:

117049, ГСП-1, Москва, Мароковский пер., 26, «Природа», Международный телекс 411612 IZAN. Тел. 238-24-56

nature

Macmillan Magazines Ltd
4 Little Essex Street
London WC2R 3LF
Telephone 01-836 8833
Telex 282024

Unfortunately, the manuscript you were kind enough to send us is not suitable for publication in *Nature*. Some of the reasons are explained by the accompanying correspondence, but this note is meant to give you a general explanation of some of the difficulties we regularly encounter in dealing with manuscripts from the Soviet Union.

First, though, I should explain that *Nature* is particularly anxious to publish as many Soviet contributions to science as it can and is also conscious of the problems of preparing a manuscript for publication in an overseas journal. There seem to be three general difficulties, as follows.

НЕДАВНО, сделав некую работу, я написал 3 статьи и послал их в журнал «Nature». Очень быстро, всего через три дня после получения (регистрационный номер Z06367/8/9), «Nature» вернул мне все статьи назад, сопроводив их двумя письмами. В первом письме на мое имя помощником редактора мне было сообщено, что в соответствии с политикой «Nature» существенная часть получаемых им работ возвращается авторам без рецензирования как не представляющая интереса для широкого читателя. При этом мне был рекомендован соответствующий специализированный журнал. Очевидно, что с мнением такого авторитетного журнала, как «Nature», нельзя не согласиться и стоит поступить в соответствии с его рекомендацией.

Наверяд ли все это представляло бы интерес для читателей «Природы», если бы не второе письмо, на котором уже не было указано конкретного адресата и которое подписано главным редактором «Nature» Дж. Мэддоксом. По-видимому, оно адресовано всем потенциальным авторам из Советского Союза. В связи с этим предлагаю «Природе» опубликовать это письмо и его перевод с тем, чтобы описанное в нем мнение о качестве большинства присылаемых из СССР рукописей могло бы быть учтено широким советским пишущим читателем.

С уважением

А. А. Замятнин,
кандидат физико-математических наук
Институт нормальной физиологии
им. П. К. Анохина АМН СССР
Москва

К СОЖАЛЕНИЮ, рукопись, которую Вы столь любезно представили, не подходит для публикации в «Nature». Конкретные основания для отказа приведены в прилагаемом письме, а в этой записке хотелось бы высказать общие соображения относительно тех трудностей, с которыми мы регулярно сталкиваемся, имея дело со статьями из Советского Союза.

Прежде, однако, я бы хотел подчеркнуть, что «Nature» чрезвычайно заинтересован в публикациях возможно большего количества научных статей советских авторов. При этом мы осознаем, с какими трудностями им приходится сталкиваться при подготовке рукописей для зарубежных журналов. Представляется, что наиболее общий характер имеют три из них.

Мы часто обнаруживаем, что сообщения о советских исследованиях, которые сами по себе интересны и глубоки, могут не содержать достаточно полных ссылок на свежие публикации в западных журналах. Рецензенты часто сообщают нам, что в результате отдельные части в целом тщательных исследований выглядят, по западным стандартам, устаревшими. Вновь подчеркну, что все мы полны сочувствия, осознавая, что доступ к западным журналам для советских читателей весьма затруднен.

Вторую общую трудность можно было бы назвать проблемой стиля. Мы часто сталкиваемся с тем, что советские статьи более непоследовательны, чем большинство западных публикаций. Они могут начинаться с длинного обсуждения сущности проблемы, а кроме того, советские авторы, представив результат исследования, гораздо более охотно рассуждают о его значимости,

нежели это стали бы делать их западные коллеги. Мы ни в коей мере не выступаем против экскурсов в историю или размышлений относительно сути проблемы, но тем не менее полагаем, что коль скоро они увеличивают объем рукописи за пределы установленного, наши правила отбора неизбежно будут срабатывать против них.

И, наконец, мы находим, что советские авторы охотнее своих западных коллег делают выводы из экспериментальных работ, основываясь лишь на единственной серии данных, полученных с помощью всего лишь одной методики. У западных же авторов усиливается тенденция подтверждать свои выводы дополнительными сериями других изменений, и такие журналы, как «Nature», это всячески стимулируют. И опять-таки мы принимаем во внимание те специфические трудности, которые существуют в Советском Союзе из-за нехватки современного научного оборудования.

Я бы не хотел, чтобы создалось впечатление, будто одна или больше из приведенных здесь причин служили поводом для отказа в публикации именно Вашей статьи. Но, быть может, Вам стоит быть в курсе того, что я и мои коллеги думаем по этому поводу. Если в будущем у Вас появится намерение послать статью в «Nature», на наш взгляд, было бы целесообразно написать нам заранее, чтобы выяснить, относится ли предлагаемая Вами тема к числу тех, которыми мы активно интересуемся, или, может быть, получить от нас конкретный совет.

Джон Мэддокс,
редактор

Подводные гряды Волги

Г. В. Обедиев,
 кандидат географических наук
 Москва



НЕ ТАК ДАВНО меня пригласили в волжский городок Плес на конференцию по проблемам созданного здесь Государственного историко-архитектурного и художественного музея-заповедника. Многим, вероятно, известен этот уголок Верхнего Поволжья, красота которого пленяла художников, в том числе И. И. Левитана. Не менее привлекательна и история бывшей крепости Плес, которую приказал «рубить» в 1410 г. для защиты от набегов неприятеля сын Дмитрия Донского великий князь московский Василий I на высоком берегу Волги. (Плесо, или плес,— глубокий и прямолинейный участок русла между мелководными перекатами.)

Среди проблем, обсуждавшихся на конференции, были и естественнонаучные. Меня, геоморфолога, долгое время изучавшего долину Волги, пригласили, чтобы выяснить происхождение необычных каменных гряд, пересекающих русло Волги в 6 км ниже города.

Возвышающиеся над дном Волги на несколько метров Косая и Винная гряды тянутся вдоль реки на 3 км. Вместе с отрезком берега эти валы, описанные еще в лоциях прошлого века, в плане образуют треугольник, лишь в центре которого остается извилистый узкий проход для курсирующих здесь судов, что заставляет их делать крутые повороты на реке. Чтобы преодолеть этот

Плес. Торговая площадь и церковь Воскресения (XIX в.) на высоком правом берегу Волги, Серкова слобода — на левом, где, как хорошо видно, отсутствуют террасы в долине.

Здесь и далее фото
 В. Сластникова.

участок реки, в XV в. приходилось брать лощмана.

Несколько лет назад архитекторы высказали предположение, что гряды представляют собой искусственное сооружение, построенное еще во времена нашествия Мамая. Спускаясь на дно водолазам из-за большой мутности воды удалось разглядеть лишь, что гряды сложены крупными валунами, возможно, ледникового происхождения. На этом осно-

вании географы К. К. Шилик и В. М. Мельников выдвинули гипотезу, что гряды — остатки так называемой конечноморенной гряды, образовавшейся у края ледника. В XV в. или позже они, возможно, были надстроены. Летописные и археологические материалы подтверждают, что гряды-ловушки явля-

луны, но автору этих строк ближе другая точка зрения — плесские гряды созданы самой рекой, правда, в особых тектонических условиях. В этом, казалось бы, частном вопросе происхождения столь незначительной формы рельефа, как мне представляется, сошлись несколько крупных проблем:

казал, что Плесско-Галичская возвышенность сложена коренными породами, а маломощные ледниковые образования на ее поверхности не имеют сходства с конечной мореной. Восточнее (вдоль восточного края Валдайской возвышенности) он проводил и границу валдайского оледенения².



Заречная часть Пlesa. На переднем плане затопленный приустьевой участок р. Шохонки. За Волгой, на левом берегу, видны гравийные карьеры.

лись частью Плесской таможенно-оборонительной системы, центром которой была крепость¹.

Ледниковое происхождение каменных гряд кажется правдоподобным — крупному леднику под силу тащить ва-

определение границ древних оледенений, влияние движений земной коры на речную сеть, оценка грандиозной работы рек. Учитывать все эти факторы, к сожалению, так и не научились, бездумно перегораживая плотинами вечное течение равнинных рек. Именно это обстоятельство и заставило меня взяться за перо.

Ряд исследователей считает высоты, на которых расположен Плес, границей позднелепистоценового (около 18 тыс. лет назад) валдайского оледенения. Позже по ним проводили и границу более древнего московского оледенения. Однако еще в 30-х годах известный палеогеограф К. К. Марков до-

Геоморфологические исследования показали, что выше и ниже Пlesa ледниковые образования и строение долины Волги однотипны. Граница же московского оледенения уверенно фиксируется восточнее Пlesa, вблизи устья Унжи³.

По нашим данным, существование Плесских высот на

¹ Тез. докладов областной научно-практической конференции «Проблемы изучения и заповедования Пlesa». Плес, 1988. С. 17—20.

² Марков К. К. Материалы к стратиграфии четвертичных отложений бассейна Верхней Волги // Тр. Верхневолжской экспедиции. Вып. 1. М., 1939. С. 3—40.

³ Обедиентова Г. В. Границы и характер оледенения на востоке центральной части Русской равнины // Бюлл. Комиссии по изуч. четвертич. периода АН СССР. 1965. № 30. С. 111—127.

правом высоком берегу Волги обязано не оледенению, а куполовидному поднятию коренных пород. Здесь нет обязательных для края ледника следов его напорной деятельности — смятия коренных пород. Строение холмов можно наблюдать, поднявшись на 1,5—2 км вверх от устья притока Волги

ты рыхлыми четвертичными, в основном ледниковыми, породами — суглинками и валунными песками. Волга, ее приток Шохонка, спускающиеся к рекам многочисленные овраги глубоко врезались в приподнятое в этом месте плато.

По-другому устроен низкий левый берег Волги напра-

во под силу и не такие препятствия. Вспомним Жигулевские ворота, прорезанные ею в скальных породах Жигулевских гор.

Пороги в условиях равнины характерны для малых рек. Их размывающая, эродирующая сила недостаточна, чтобы размыть твердые породы. В верховьях Волги, где русло имеет



Лес «Ключи» в долине р. Шохонки, изрезанный глубокими оврагами.

р. Шохонки. В расположенном здесь лесу, названном «Ключи», речка глубоко врезана в плато. В разрезах на ее берегах обнажаются горизонтально залегающие коренные триасовые и юрские песчано-глинистые породы. Над ними лежат два горизонта ледниковых моренных отложений, разделенные песчаным слоем водно-ледникового происхождения. Морены, имеющие незначительную (несколько метров) мощность, по возрасту относят к днепровскому и московскому оледенениям.

Итак, на правом берегу коренные породы сверху покры-

тив Пlesa. Здесь, в Серковском гравийном карьере вскрыта толща водно-ледниковых отложений из горизонтальных слоев хорошо отсортированного гравия, сформировавшегося в водном бассейне под ледником. Эта толща перекрыта тонким слоем морены. Так или иначе, в окрестностях Пlesa и выше, на обоих берегах Волги достаточно материала, из которого река, врезаясь в толщу ледниковых отложений и вымывая валуны, смогла бы построить гряды-пороги в русле.

Но Волга в этом районе многоводна и глубока, течение ее столь быстро, что вода должна была бы размывать любые возвышенности в русле. Волге

значительный уклон, перекаты и небольшие пороги встречаются часто. Ниже скорости течения уменьшаются, и в районе Ржева пороги исчезают. Волга становится судоходной рекой. Появлению порогов значительно ниже по течению, у Пlesa, где ширина Волги уже достигает сотен метров, способствовали особенные тектонические условия.

Эродирующая способность реки зависит не только от крепости подстилающих русло пород, но и от количества воды в ней, на которое, в свою очередь, влияют климат, растительность и множество других географических факторов. Помимо этих внешних экзогенных

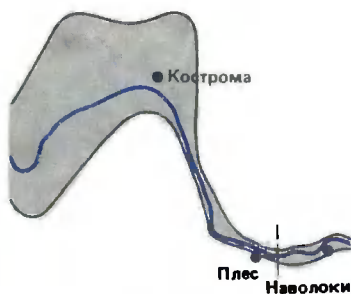
факторов деятельность реки подчинена влиянию внутренних, эндогенных сил Земли.

Поверхность кристаллического фундамента Русской платформы разломана и трещинами разбита на отдельные подвижные блоки. Над опущенными блоками возникают прогибы, впадины, над поднимающимися

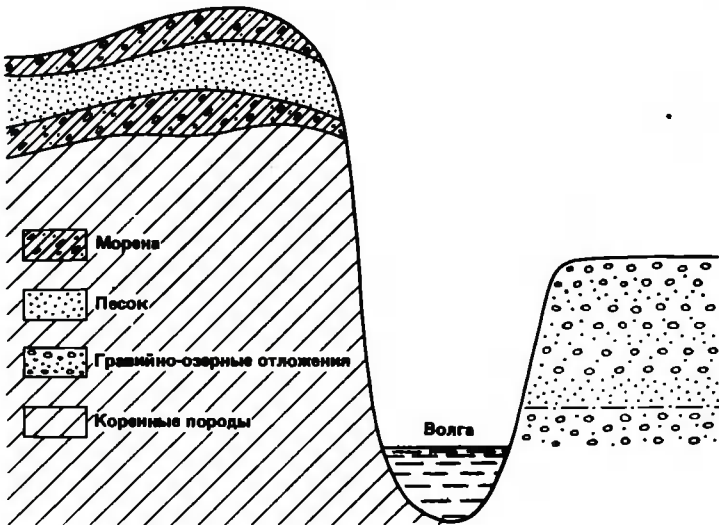
жающийся участок фундамента скорость течения резко падает. Исчезает «нужда» в углублении русла. Река широко разливается, нередко делится на рукава, здесь преобладает боковая эрозия. Постепенно из воды выпадают обломки пород, собранные выше погружающегося участка. Образуются обширные

Над ними образуются купола, подобные Плесскому.

Геоморфологический признак современного поднятия территории — значительная глубина расчленения рельефа. Вот почему так глубоки овраги на Плесских высотах, русло уже упоминавшейся речки Шохонки имеет крутое падение, высокий



Волга (в плане) на Плесском участке. Верхнеледястоценовые и голоценовые террасы ее долины (тонированы) в пределах Наволокско-Костромской возвышенности имеют небольшую ширину, а в зоне Костромского прогиба резко расширены. На участке пересечения Плесского купола русло Волги выпрямлено, террасы отсутствуют, в конце участка находится подводная каменная гряда (показана пунктиром).



Разрез плейстоценовых отложений долины Волги в районе Плесского купола.

ся — повышения рельефа. Реки чутко реагируют на движения земной коры. Русла их приурочены к прогибам или трещинам фундамента. Обычно в крупных прогибах выделяются более мелкие участки интенсивного прогибания и поднятия. Поднимающиеся участки оказывают сопротивление течению воды. Чтобы преодолеть его, река вынуждена углублять русло. В отдельных случаях вся эрозирующая энергия реки уходит на преодоление препятствия. Русло выпрямляется, скорость течения возрастает, река течет в высоких берегах. Террасы, формирующиеся вдоль склонов коренного берега, имеют незначительную ширину или отсутствуют. Как правило, в русле нет островов — большая часть поднятого со дна твердого материала выносятся течением за пределы поднимающегося участка.

При вступлении на погру-

в основном песчаные наносы, за счет которых вырастают острова, поймы, террасы. Мелкие чистцы река уносит дальше.

Таким образом, при неизменном расходе воды энергия реки проявляется сильнее в зонах растущих поднятий и слабее — в прогибающихся участках¹.

Волга на участке между устьями Тверцы и Унжи, где располагается Плес, течет в осевой зоне Московской синеклизы — основной области прогибания в центре Русской платформы. Однако отдельные блоки фундамента испытывают относительное поднятие. Один из них соответствует Наволокско-Костромской возвышенности, в которой выделяются участки, поднимающиеся быстрее других.

уровень подземных вод обусловил образование многочисленных ключей, давших название растущему здесь лесу.

Различие в направленности движений земной коры отражается и в строении долины Волги на разных участках. В пределах прогиба, вблизи устья р. Костромы, речные террасы едва возвышаются над современным уровнем воды. Ниже Костромы Волга течет в узкой долине с высокими, до 70 м, крутыми берегами. Высота террас здесь резко возрастает, между устьями рек Стежеры и Кистеньги они выше, чем в прогибе, на 15—20 м. В районе Плеса, где соответствующий купол испытывает наибольшее поднятие, террасы отсутствуют и на правом и на левом берегах. И этот факт свидетельствует о значительной скорости современного поднятия Наволокско-Костромской возвышенности, начавшегося в позднем плей-

¹ Обедиентова Г. В. Эрозионные циклы и формирование долины Волги. М., 1977.

стоцене и продолжающегося сегодня.

У Плеса на протяжении 20—25 км русло Волги спрямлено, не образует излучин. Течение быстрое, русло глубокое при минимальной ширине 400—500 м. Вся энергия реки уходит на преодоление растущего поднятия, на глубинную эрозию.

Вдоль гряд укладывались неравномерно. В отдельных местах сохранились «проходы». Валунник составлял как бы «решетку» гряд. Пустоты между камнями заполняла подвижная масса из мелких частиц, часть которой вымывалась. Поэтому в строении гряд преобладает крупный материал, а поверх-

ное природное. Так же как и другие элементы долины, они созданы рекой и тектоникой. Но их существование, равно как и глубоководный плес, безусловно определили выбор места для крепости Плесо. Наши мудрые предки, несмотря на отсутствие специальных знаний, умели использовать реки, не причи-



Речка Шохонка выше зоны затопления. Быстрое течение вымывает и передвигает довольно крупные валуны. Виден резкий переход от узкого плеса к широкому каменистому перекату.

Углубляя русло, Волга захватывает куски грунта, включая и крупные валуны. Но даже при быстром течении они не могут перемещаться рекой до бесконечности. В 6 км ниже Плеса, возле с. Сторожево, где скорость течения уменьшается, первыми выпадают на дно реки и задерживаются крупные валуны.

Этому процессу способствуют существующие в районе Винной и Косой гряд вихревые течения. Из-за сильной турбулентности валуны при формиро-

ванности их подобна булыжной мостовой. Возможно, что остановке и закреплению валунного материала на месте способствовала шероховатость ложа реки, связанная с выходом здесь скальных пород.

Ниже гряд течение замедлялось, русло реки расширялось. Там, где кончается Наволокско-Костромская возвышенность, в районе самих Наволок, уже изобиловали острова и мели. Сегодня этого уже не увидишь — уровень воды поднялся на 8 м из-за плотин, перегородивших Волгу.

нижая им вреда. К сожалению, чувство природы утрачено нами, особенно гидростроителями, изменившими волжские берега и саму реку до неузнаваемости. Бесценная пойма реки безвозвратно утеряна, цветет вода почти на всем протяжении реки, ветер вздымает огромные волны в гниющих водохранилищах. Осушены болота — истоки малых притоков Волги, вырублены леса, хранители влаги. Пора остановиться, оградить реки от бездумного вмешательства, как когда-то наши предки огораживали истоки — начало вечного движения воды.

Итак, каменные гряды на дне Волги у Плеса — явле-

© Обедиев Г. В. Подводные гряды Волги.

С. Хокинг **Стрела Времени**

Судя по «Итогам читательской анкеты», опубликованной в нашем журнале (№ 12, 1989), многие читатели «Природы» интересуются проблемами астрономии, космологии, космических исследований. Материалы, посвященные этой области естествознания, лидируют в списке наиболее популярных статей 1987—1988 гг., и этот интерес не гаснет — нас просят не оставлять эту тему, причем не ограничиваться только советскими исследованиями, а больше отражать развитие науки за рубежом, чаще привлекать к работе иностранных авторов.

Такая возможность сейчас представилась. Как мы уже сообщали¹, в издательстве «Мир» готовится перевод книги «Краткая история времени» известного английского физика С. Хокинга, который не раз выступал на страницах «Природы». Предлагаем вниманию читателей девятую главу под названием «Стрела времени» — «великолепный научный этюд», как отозвался о ней в своей рецензии на книгу С. Хокинга Я. А. Смородинский.

¹ Смородинский Я. А. «Понять замысел Бога...» // Природа. 1989. № 7. С. 124—127.

НАШИ взгляды на природу с годами меняются. Еще в начале века люди верили в абсолютное время. Это означает, что каждое событие может быть единственным образом пронумеровано числом, называемым «временем», так что все точно идущие часы будут показывать одинаковую величину интервала между двумя событиями. Но открытие того, что скорость света одна и та же для любого наблюдателя, вне зависимости от того, как он движется, привело к созданию теории относительности, которая отвергала существование единого абсолютного времени. Каждый наблюдатель имеет свое время, которое он измеряет своими часами, и показания часов разных наблюдателей не обязаны совпадать. Иными словами, время стало более индивидуальным понятием, связанным с наблюдателем, который его измеряет.

Попытки объединить гравитацию с квантовой механикой привели к понятию «мнимого» времени¹. Оно ничем не отлича-

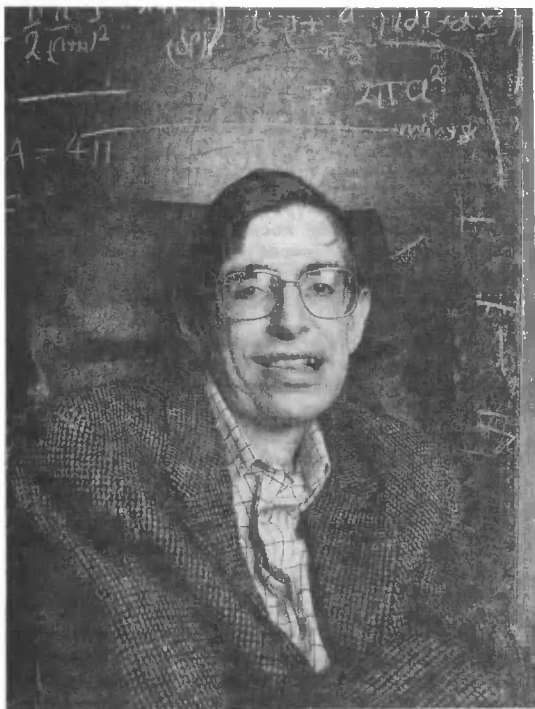
ется от любого направления в пространстве. Так, идя на север, можно развернуться и пойти на юг. Аналогично, если кто-то движется вперед по мнимому времени, он тоже может повернуться и пойти назад. Это означает, что между противоположными направлениями мнимого времени нет принципиального различия. С другой стороны, когда мы имеем дело с «реальным» временем, мы знаем, что существует огромное различие между движением вперед и назад по времени. Откуда же берется такая разница между прошлым и будущим? Почему мы помним прошлое, но не помним будущее?

Законы науки не отличают прошлое от будущего. Более точно, законы науки не меняются, когда на них воздействуют комбинацией операций (или симметрий), известных как *C*, *P* и *T*. (*C* означает замену частицы на античастицу, *P* — зеркальное отражение, когда левое и правое меняются местами, а *T* — изменение направления движения всех частиц на обратное.) Законы, управляющие поведением материи во всех обычных ситуациях, не меняются после действия комбинации двух операций — *C* и *P*. Другими словами, жизнь будет одинакова и для нас, и для обитателей другой планеты, которые, во-первых, являются нашим зеркальным отражением, а во-вторых, состоят из антиматерии, а не из материи.

Если эти законы не меняются под действием комбинаций операций *C* и *P*, а также *C*, *P* и *T*, они не должны меняться и от воздействия одной операции *T*. Однако в обычной жизни существует огромное разли-

© Хокинг С. Стрела времени.

¹ Формально вся разница между временем и пространством в общей теории относительности сводится к разнице в знаке перед временной и пространственными координатами в интервале $ds^2 = -dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$, характеризующем инвариантное расстояние между двумя точками пространства-времени. Если вместо реального времени t ввести «мнимое» (евклидово) время $\tau = it$, то это расстояние приобретает вид $ds^2 = d\tau^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$ и различие между пространственными и временной координатами пропадает — все они в данном случае эквивалентны, и «мнимое» время τ ничем не отличается от обычного пространственного направления (Здесь и далее прим. ред.)



Стивен Хокинг (Stephen Hawking), профессор кафедры математики Кембриджского университета (Великобритания), член Лондонского королевского общества, специалист в теории гравитации и космологии. Совместно с Р. Пенроузом показал, что в стандартных космологических моделях, основанных на общей теории относительности, с неизбежностью возникают сингулярные точки пространства-времени. Выдвинул идею и разработал теорию квантового испарения черных дыр (так называемый эффект Хокинга). В «Природе» были опубликованы его статьи: Виден ли конец теоретической физики (1982. № 5); Край Вселенной (1985. № 4).

чие между движением вперед и назад во времени. Представьте себе, что стакан с водой падает со стола и разбивается на куски. Если снять это падение на пленку, то при просмотре фильма сразу станет ясно, вперед или назад прокручивается пленка. Если назад, то мы увидим, как лежащие на полу осколки неожиданно собираются и, сложившись в целый стакан, запрыгивают обратно на стол. Вы с полным основанием можете утверждать, что фильм прокручивается назад, потому что в обычной жизни такое событие невозможно. (В противном случае фаянсовые заводы потерпели бы полный крах.)

Чтобы объяснить, почему разбитые стаканы никогда не возвращаются целыми обратно на стол, обычно ссылаются на то, что это запрещено вторым законом термодина-

мики. Этот закон гласит, что в любой замкнутой системе беспорядок, или энтропия, всегда возрастает со временем. Другими словами, это похоже на закон Мэрфи: если что-то в нашем мире может обернуться к худшему, так оно и будет. Целый стакан на столе представляет собой состояние высокого порядка, но разбитый стакан, лежащий на полу, находится в состоянии беспорядка. Нетрудно проследить эволюцию стакана от того момента в прошлом, когда он стоял на столе, до того момента в будущем, когда он окажется разбитым на полу, но пройти этот путь обратно по времени невозможно.

Рост беспорядка, или энтропии, со временем иллюстрирует понятие стрелы времени, которая позволяет отличать прошлое от будущего, придавая времени направление. Существуют по крайней мере три различных стрелы времени. Во-первых, термодинамическая, указывающая направление времени, в котором возрастает беспорядок, или энтропия. Далее, стрела психологическая. Это направление, в котором мы ощущаем ход времени, направление, к которому мы относим память о прошлом (но не помним будущего). И, наконец, космологическая стрела времени — направление, в котором Вселенная расширяется, а не сжимается.

Я докажу, что, используя условие отсутствия границ у Вселенной² и слабый антропный принцип, можно объяснить, почему все три стрелы времени направлены одинаково и, более того, почему вообще должна существовать хорошо определенная стрела времени. Я докажу, что психологическая стрела определяется термодинамической стрелой и обе они всегда направлены одинаково. Предположив, что для Вселенной справедливо условие отсутствия границы, мы увидим, что должны существовать хорошо определенные термодинамическая и космологическая стрелы времени, но при этом они не обязаны быть одинаково направленными на протяжении всей истории Вселенной. Только когда направления этих стрел совпада-

² Условие отсутствия границ (no boundary condition) у Вселенной. В 1983 г. Дж. Хартль и С. Хокинг предложили специальный «рецепт» для выбора различных условий во Вселенной, суть которого состоит в следующем. Волновая функция, представляющая собой фейнмановский интеграл по путям, описывается пространствами-временами, которые необходимо учитывать при вычислении этого интеграла. Хартль и Хокинг предположили, что следует учитывать только все возможные замкнутые многообразия подобного типа без границ. Тогда не нужно специально оговаривать дополнительные условия на границах (поскольку они отсутствуют) и можно обойтись минимумом физической информации.

ют, могут возникнуть условия, подходящие для развития разумных существ, способных задать вопрос: почему беспорядок увеличивается в том же направлении по времени, в котором расширяется Вселенная?

Начнем с термодинамической стрелы времени. Второй закон термодинамики вытекает из того, что состояние беспорядка всегда гораздо больше, чем состояние порядка. Рассмотрим, например, головоломку, которая представляет собой картинку, разрезанную на части разной формы. Существует одно и только одно расположение частей головоломки, при котором они образуют исходную картинку. С другой стороны, есть очень много разных комбинаций, когда части головоломки находятся в беспорядке, не образуя никакой картинки.

Предположим, что какая-то система вначале находится в одном из немногих состояний порядка. Эта система будет развиваться, эволюционировать, в полном согласии с законами науки, и состояние ее будет изменяться. Через некоторое время система из состояния порядка, скорее всего, перейдет в состояние беспорядка просто потому, что состояний беспорядка больше. Следовательно, если система вначале находилась в состоянии высокого порядка, то со временем будет расти беспорядок. Так, если кусочки нашей головоломки сложены в картинку, то встряхивание коробки изменит их расположение и оно станет, скорее всего, беспорядочным, потому что состояний беспорядка гораздо больше. Естественно, картинка при этом будет разрушена. Некоторые куски еще будут удерживаться вместе, образуя отдельные фрагменты картинки, но чем больше мы будем трясти коробку, тем с большей вероятностью эти фрагменты рассыпятся и перепутаются. В конце концов никакой картинки не останется. Таким образом, беспорядок будет расти со временем, если вначале было состояние высокого порядка.

Предположим, однако, что Бог захотел, чтобы развитие Вселенной заканчивалось состоянием высокого порядка; при этом начальное ее состояние не имеет значения. Так, на ранних стадиях Вселенная вполне могла бы находиться в состоянии беспорядка. Но это означало бы, что беспорядок уменьшается со временем. Люди, которые могли бы увидеть прыгающие стаканы, должны быть жителями Вселенной, в которой беспорядок уменьшается со временем. Я утверждаю, что психологическая стрела времени этих людей должна быть направлена назад, т. е. они должны помнить события в будущем, но не должны помнить событий,

происшедших в прошлом. Увидев разбитый стакан, они бы вспомнили, как он стоял на столе; увидев же его на столе, они бы не помнили, что он был на полу.

Рассуждать о человеческой памяти — весьма непростое занятие, ибо мы не знаем во всех деталях, как работает наш мозг. Зато мы знаем все о том, как действует память компьютера. Поэтому я буду обсуждать психологическую стрелу времени для компьютеров. Мне кажется вполне разумным предположить, что и у компьютеров, и у людей эта стрела одна и та же. (Если бы было не так, то, имея компьютер, который помнил бы завтрашние цены, можно было бы выигрывать во всех операциях на бирже.) Память компьютера — это, грубо говоря, устройство, содержащее элементы, которые могут находиться в одном из двух состояний. Простой пример такого устройства — абак, древние счеты. В простейшем виде оно представляет собой набор горизонтальных проволочек, на каждую из которых насажена бусинка; каждая бусинка может находиться в одном из двух положений. Пока в память компьютера ничего не введено, она находится в беспорядочном состоянии, в котором оба возможных расположения бусинок равновероятны (т. е. бусинки на проволочках распределены случайным образом). После взаимодействия с системой, состояние которой надо запомнить, память придет в определенное состояние, соответствующее состоянию системы (каждая бусинка на счетах будет либо на правом, либо на левом конце проволоки).

Итак, память компьютера перешла из беспорядка в упорядоченное состояние. Но чтобы сделать это, надо затратить некоторое количество энергии (например, для перебрасывания бусинок или для питания компьютера). Эта энергия перейдет в тепло, увеличив тем самым беспорядок во Вселенной. Можно показать, что такое увеличение беспорядка всегда сильнее, чем рост упорядоченности самой памяти. Это означает, что когда компьютер записывает что-то в память, общий беспорядок во Вселенной будет продолжать расти из-за тепла, которое выделяет, например, вентилятор компьютера. Направление времени, в котором компьютер запоминает прошлое, оказывается тем же, в котором растет беспорядок.

Наше субъективное ощущение направления времени — психологическая стрела времени — задается в нашем мозгу термодинамической стрелой времени. Как и компьютер, мы должны запоминать события в том же порядке, в каком возрастает энтропия. Второй закон термодинамики становит-

ся при этом почти тривиальным: беспорядок растет со временем, потому что мы измеряем время в направлении, в котором растет беспорядок. Вряд ли можно сделать более бесспорное утверждение!

Все же, почему термодинамическая стрела времени должна вообще существовать? Или, другими словами, почему на одном из концов времени, на том, который мы называем прошлым, Вселенная должна находиться в состоянии высокой упорядоченности? А почему бы ей не быть всегда в состоянии полного беспорядка? В конце концов, это выглядело бы наиболее вероятным. Кроме того, почему беспорядок растет во времени в том же направлении, в котором расширяется Вселенная?

В рамках классической общей теории относительности нельзя описать, как возникла Вселенная, потому что в точке Большого взрыва все известные законы природы теряют смысл.

В принципе, Вселенная могла возникнуть и в каком-то однородном сильно упорядоченном состоянии. Как мы видим, это привело бы к хорошо определенным стрелам времени — термодинамической и космологической. Однако начальное состояние Вселенной вполне могло быть очень неоднородным и неупорядоченным. В этом случае Вселенная уже находилась бы в состоянии полного беспорядка и он не мог бы увеличиваться со временем, а оставался бы неизменным; тогда не было бы и хорошо определенной термодинамической стрелы времени. Либо беспорядок мог уменьшаться, и тогда термодинамическая стрела времени была бы направлена навстречу космологической. Ни одна из этих возможностей не согласуется с тем, что мы наблюдаем.

Однако классическая общая теория относительности сама готовит свое крушение: когда кривизна пространства-времени становится большой, на первый план выходят квантовые гравитационные эффекты и классическая теория перестает служить надежным основанием для описания Вселенной. Поэтому, чтобы понять, как возникла Вселенная, необходимо обратиться к квантовой теории гравитации.

Но чтобы определить состояние Вселенной, необходимо знать, какими могли быть ее возможные истории вблизи границы пространства-времени в прошлом. Избежать необходимости знать то, что мы не знаем и знать не можем, можно только, если прошлые истории удовлетворяют условию отсутствия границы: они (истории) конечны, но не имеют ни границ, ни особенностей. Тогда

начало отсчета времени было бы регулярной, гладкой точкой в пространстве-времени, и Вселенная начала бы свое расширение из однородного и упорядоченного состояния. Оно не могло бы быть совершенно однородным, потому что тогда нарушался бы принцип неопределенности в квантовой теории. Это значит, что должны существовать небольшие флуктуации плотности и скоростей частиц. Однако благодаря условию отсутствия границы эти флуктуации должны быть настолько малы, насколько возможно, чтобы не нарушался принцип неопределенности.

Эволюция Вселенной могла бы начаться периодом экспоненциального, или «инфляционного»³, расширения, в результате которого ее размеры увеличились бы во много раз, а флуктуации плотности, оставаясь сначала небольшими, потом стали бы расти.

Расширение тех областей, в которых плотность была чуть выше средней, происходило бы медленнее из-за гравитационного притяжения избыточной массы. В конце концов, такие области перестали бы расширяться и сколлапсировали бы, образуя галактики, звезды, а также существа вроде нас. Таким образом, в момент возникновения Вселенная могла находиться в однородном и упорядоченном состоянии и со временем перейти в состояние неоднородное и неупорядоченное. Такой подход способен объяснить существование термодинамической стрелы времени.

Но что произошло бы, если бы Вселенная перестала расширяться и начала сжиматься? Повернулась бы при этом термодинамическая стрела времени, начал бы уменьшаться со временем беспорядок? Перед тем, кому посчастливилось бы пережить переход из фазы расширения в фазу сжатия, открылись бы самые фантастические возможности. Возможно, они увидели бы, как осколки разбитых стаканов собираются на полу в целые стаканы, которые возвращаются обратно на стол. А может, они бы помнили завтрашние цены и потому удачно играли бы на бирже?

Беспокойство по поводу того, что случится, если Вселенная начнет коллапсировать, несколько преждевременно — ведь сжатия не будет еще по крайней мере несколько десятков миллиардов лет. Однако узнать, как это будет, можно гораздо быстрее — достаточно прыгнуть в черную дыру.

³ Подробнее об инфляционной Вселенной см.: Горячие точки космологии // Природа. 1989. № 7. С. 9—10.

Коллапс звезды в черную дыру похож на последние стадии коллапса всей Вселенной. Поэтому, если беспорядок должен уменьшаться на стадии сжатия Вселенной, то можно ожидать, что он будет уменьшаться при сжатии вещества с образованием черной дыры. Тогда астронавт, упавший в черную дыру, мог бы там подзаработать, играя в рулетку — ведь еще не сделав ставки, он бы уже помнил, куда попадет шар. (Правда, игра была бы недолгой — лишь до тех пор, пока сам астронавт не превратился бы в спагетти. Так что он не смог бы ни сообщить нам о повороте термодинамической стрелы времени, ни даже успеть получить выигрыш; его остатки исчезли бы за горизонтом событий черной дыры.)

Вначале я считал, что при коллапсе Вселенной беспорядок должен уменьшаться, поскольку, вновь став маленькой, Вселенная должна была бы вернуться в исходное упорядоченное состояние. Это означало бы, что фаза сжатия эквивалентна обращенной во времени фазе расширения. На стадии сжатия жизнь должна течь в обратном направлении, так что люди умирали бы до своего рождения и по мере сжатия Вселенной становились бы все моложе и моложе.

Привлекательность такой идеи состоит в том, что она порождает красивую симметрию между фазой расширения и фазой сжатия. Однако ее нельзя рассматривать саму по себе, независимо от других идей, относящихся ко Вселенной. Возникает вопрос: следует ли эта идея из условия отсутствия границы, или же, напротив, она с этим условием несовместима? Как уже говорилось, вначале я считал, что условие отсутствия границы действительно означает, что беспорядок должен уменьшаться на стадии сжатия. Отчасти меня ввела в заблуждение аналогия с поверхностью Земли. Положим, что начало Вселенной соответствует Северному полюсу. Тогда конец Вселенной должен быть похож на начало, поскольку Южный полюс похож на Северный. Но сравнение Северного и Южного полюсов с началом и концом Вселенной происходит в мнимом времени. В действительном же времени начало и конец могут сколь угодно сильно отличаться друг от друга. Кроме того, меня ввела в заблуждение работа, в которой я рассматривал простую модель Вселенной, где фаза коллапса похожа на обращенную во времени фазу расширения. Но мой коллега Дон Пейдж из Университета штата Пенсильвания показал, что условие отсутствия границы вовсе не требует, чтобы фаза сжатия была бы обращенной во времени фазой расширения. Затем один из моих студентов, Реймонд Лефлемм,

обнаружил, что в несколько более сложной модели коллапс Вселенной сильно отличается от ее расширения. Я понял, что ошибся: условие отсутствия границы предполагает, что во время сжатия беспорядок должен продолжаться увеличиваться. Термодинамическая и психологическая стрелы времени не изменят своего направления на противоположное ни во Вселенной, начавшей сжиматься вновь, ни в черной дыре.

Что бы вы сделали, обнаружив у себя такую ошибку? Некоторые люди никогда не признаются в своей неправоте и продолжают поиски новых, часто совершенно необоснованных аргументов в пользу своих идей. Как, например, Эддингтон, выступивший противником теории черных дыр. Другие заявляют, что они никогда и не поддерживали эту неправильную точку зрения, а если и поддерживали, то лишь для того, чтобы продемонстрировать ее несостоятельность. Мне кажется, гораздо правильнее выступить в печати с признанием своей неправоты. Прекрасный пример тому — Эйнштейн. Своей самой серьезной ошибкой Эйнштейн считал введение космологической постоянной, которая понадобилась ему при построении статической модели Вселенной⁴.

Но вернемся к стреле времени. У нас остался один вопрос: почему мы наблюдаем, что термодинамическая и космологическая стрелы времени направлены одинаково? Или, другими словами, почему беспорядок возрастает во времени в том же направлении, в каком расширяется Вселенная? Если предположить, что Вселенная после расширения начнет сжиматься, как, казалось бы, следует из условия отсутствия границы, наш вопрос прозвучит так: почему мы должны находиться в фазе расширения, а не в фазе сжатия?

⁴ В 1917 г. Эйнштейн ввел Λ -член с тем, чтобы получить космологическое решение уравнений общей теории относительности, описывающее статическую Вселенную. Впоследствии благодаря работам Фридмана стало ясно, что Вселенная может быть и нестатичной; открытие Хабблом в 1929 г. разбегания галактик подтвердило это. Необходимость в Λ -члене отпала, и Эйнштейн назвал введение его своей самой большой ошибкой. Однако ныне ясно, что Λ -член довольно естествен, и, согласно современным теориям элементарных частиц, скорее более естественно отсутствие, а не наличие его. (Одна из проблем современной физики, так называемая проблема космологической постоянной, состоит в том, чтобы объяснить, почему Λ -член в наше время равен нулю или достаточно мал.) В ранние фазы эволюции Вселенной Λ -член в уравнениях Эйнштейна мог моделироваться однородными классическими полями. Такого типа Λ -член может приводить к инфляционной стадии расширения Вселенной, которая необходима для решения многих космологических проблем. Поэтому в данном случае об «ошибке Эйнштейна» можно говорить лишь с большими оговорками.

Для ответа можно воспользоваться слабым антропным принципом: условия жизни в фазе сжатия непригодны для существования таких разумных существ, которые могли бы спросить, почему беспорядок растет в том же направлении во времени, в каком расширяется Вселенная. Условие отсутствия границы предсказывает раздувание Вселенной на ранних стадиях эволюции. Это означает, что ее расширение должно происходить со скоростью, очень близкой к критической, при которой нового коллапса или не должно быть совсем, или же его не будет очень долго. Но тогда все звезды успеют сгореть, и образующие их протоны и нейтроны распадутся на более легкие частицы. Вселенная осталась бы в состоянии почти полного беспорядка, в котором не было бы хорошо определенной термодинамической стрелы времени. Этот беспорядок не мог бы сильно увеличиваться, ведь Вселенная и так находилась бы в состоянии почти полного беспорядка. Но необходима сильная термодинамическая стрела времени для существования разумной жизни. Ведь, чтобы выжить, люди должны потреблять пищу, которая выступает как носитель упорядоченной формы энергии, и превращать ее в тепло, т. е. в неупорядоченную форму энергии. Следовательно, на стадии сжатия Вселенной никакой разумной жизни быть не может. Это объясняет, почему для нас термодинамическая и космологическая стрелы времени направлены одинаково. Неверно считать, будто беспорядок растет из-за расширения Вселенной. Всему причиной условие отсутствия границы. Именно из-за него растет беспорядок, и только в фазе расширения создаются условия для существования разумной жизни.

Подведем итог. Законы науки не делают различия между направлением вперед и назад по времени. Но существуют по крайней мере три стрелы времени, которые отличаются будущее от прошлого. Это термодинамическая стрела, т. е. то направление вре-

мени, в котором возрастает беспорядок; психологическая стрела — направление времени, в котором мы помним прошлое, а не будущее; и космологическая стрела — направление времени, в котором Вселенная расширяется, а не сжимается. Я показал, что психологическая стрела по существу эквивалентна термодинамической, так что обе они должны быть направлены одинаково. Из предположения отсутствия границы вытекает существование хорошо определенной термодинамической стрелы времени, потому что Вселенная должна была возникнуть в гладком и упорядоченном состоянии. А причина совпадения термодинамической и космологической стрел кроется в том, что разумные существа могут жить только в фазе расширения. Фаза сжатия для них не подходит, поскольку в ней отсутствует ярко выраженная термодинамическая стрела времени.

В результате прогресса в понимании Вселенной было установлено, что существует маленький уголок порядка в постоянно растущем общем хаосе Вселенной. Если вы запомнили каждое слово из этой книги, ваша память получила около 2 млн единиц информации; настолько же возрос и порядок в вашей голове. Но пока вы читали эту книгу, по крайней мере тысяча калорий упорядоченной энергии, которую вы получили в виде пищи, превратилась в неупорядоченную энергию, переданную в окружающую среду в виде тепла путем конвекции и испарения пота. Беспорядок во Вселенной возрос при этом примерно на 20 миллионов миллионов миллионов миллионов единиц, что соответствует увеличению порядка в вашем мозгу в 10 миллионов миллионов миллионов раз — и это произойдет в том случае, если вы запомните все из моей книги.

© Перевод с английского Н. Я. Смородинской.

ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 1989 ГОДА

ПО ФИЗИКЕ — Н. РАМЗЕЙ, Г. ДЕМЕЛЬТ, В. ПАУЛЬ

12 ОКТЯБРЯ 1989 г. Шведская Академия наук объявила о присуждении Нобелевской премии по физике, размер которой в этом году составил 469 тыс. долл. Она была поделена между Н. Рамзеем — за изобретение метода пространственно разнесенных осциллирующих полей, который привел к созданию цезиевых атомных часов, и водородного мазера (самого стабильного по частоте источника электромагнитных колебаний) — и Г. Демельтом и В. Паулем — за разработку метода удержания одиночных ионов, изолированных от окружающей среды в электромагнитной ловушке, позволяющего осуществлять прецизионную спектроскопию высокого разрешения.

Председатель Нобелевского комитета по физике И. Линдгрэн отметил, что между награжденными работами имеется связь, так как все три

исследователя разработали очень точные методы измерения, которые сделали возможным проведение экспериментов по проверке с исключительной точностью фундаментальных законов, связанных, в частности, с временем и пространством.

Норман Рамзей, или Рэмзи (Norman Ramsey), родился в 1915 г. в Вашингтоне. В 1937 г. окончил Колумбийский университет, где и работал в период с 1942 по 1947 г. Затем перешел в Гарвардский университет, профессором которого является с 1950 г. и по сей день. С 1966 по 1981 г. был председателем Исследовательской ассоциации университетов, разрабатывавшей программу исследований Национальной лаборатории им. Э. Ферми.

Ганс Демельт (Hans Dehmelt) родился в 1922 г. в Германии, в г. Герлиц, степень доктора наук получил в Геттингене. С 1955 г. профессор Вашингтонского университета в Сиэтле.

Вольфганг Пауль (Wolfgang Paul), 76 лет, получил степень доктора в 1939 г. в Германии, а в 1952 г. стал профессором экспериментальной физики в Боннском университете. В период с 1965 по 1967 г. работал директором отдела ядерной физики в Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН, Женева).

Решение Нобелевского комитета вряд ли можно считать неожиданным для физиков. Я могу сослаться на Симпозиум по физике пленения и накопления частиц низкой энергии, который проводился Нобелевским институтом физики в Стокгольме в июне 1987 г. С приглашенными докладами выступили все три будущих лауреата, а в кулуарах они обсуждались как вероятные претенденты на Нобелевскую премию ближайших лет.

Н. Рамзею принадлежат два фундаментальных экспериментальных метода радикального повышения разрешающей способности в экспериментах со свободными атомами: метод



Н. Рамзей.



Г. Демельт.



В. Пауль.

Все фотографии любезно предоставлены фотохроникой ТАСС.

пространственно разнесенных электромагнитных полей, который успешно используется в цезиевых атомных часах, и метод накопительной колбы, лежащий в основе водородного мазера.

Первый метод позволяет существенно ослабить фундаментальные ограничения на разрешающую способность, обусловленную шириной спектральной линии из-за конечного времени взаимодействия $T_{вз}$ частицы (атома, молекулы) с электромагнитным полем. Именно по этой причине резонанс автоматически уширяется до величины

$$\Delta\nu = 1/2T_{вз}.$$

Действительно, частица со скоростью v_0 пролетает область поля размером a за время $T_{пол} = a/v_0$. Электромагнитное поле можно рассматривать как измерительный прибор, с которым частицы взаимодействуют конечное время $T_{вз} = T_{пол}$. Согласно принципу неопределенности, энергия перехода $E = h\nu$ между двумя квантовыми уровнями не может быть определена с точностью, превосходящей $\Delta E = h/2T_{вз}$. Это соответствует неопределенности в частоте на величину $\Delta\nu = \Delta E/h = 1/2T_{вз}$, т. е. уширению спектральной линии из-за конечного времени пролета через световой луч: $\Delta\nu_{пол} = 1/2T_{вз} = v_0/2a$. Чтобы

сузить спектральный резонанс, необходимо, если нет других уширяющих его эффектов, повышать $T_{вз}$. Этого можно добиться либо увеличивая размеры области взаимодействия a , либо используя частицы с малой скоростью v_0 . В 50-е годы еще не были известны методы получения медленных частиц, так как не было еще удивительной «тепловой машины» — лазера, который может не только нагревать частицы, но и охлаждать¹ их до температур 10^{-3} – 10^{-6} К. Н. Рамзей предложил элегантный метод увеличения времени взаимодействия с полем без пропорционального увеличения размера области a . Он использовал взаимодействие частицы последовательно с двумя про-

странственно разнесенными областями поля (объемными резонаторами в СВЧ-диапазоне). В первом СВЧ-поле атом приобретает дипольный момент, который сохраняется при пролете до второго резонатора. Поле во втором резонаторе когерентно первому и взаимодействует с введенным в первом резонаторе дипольным моментом. Ширина спектрального резонанса взаимодействия свободно летящего атома (молекулы) определяется полным временем пролета через поля, включая пустое пространство между ними. На этом методе² основано получение предельно узких спектральных резонансов в микроволновой спектроскопии; в частности, он применяется в цезиевом стандарте частоты, или, как часто говорят, цезиевых атомных часах. В цезиевом стандарте частоты используется микроволновый квантовый переход между двумя уровнями сверхтонкой структуры основного состояния свободного атома ^{133}Cs (с полным моментом $F = 4$ и его проекцией $m_F = 0 \rightarrow F = 3$, $m_F = 0$), который отличается исключительной стабильностью центральной частоты (лучше 10^{-13}). Этим методом удалось получить спектральный резонанс с шириной $\Delta\nu = 50$ Гц (!) на частоте 9 192 001 770 Гц. Сейчас такие стандарты частоты выпускаются промышленностью и лежат в основе принятой в 1967 г. атомной шкалы времени, где секунда определяется как временной интервал, в течение которого атом цезия совершает 9 192 001 770 колебаний. Такие часы имеют погрешность 10^{-3} с за 300 лет.

Сейчас метод Рамзея переживает второе рождение за счет перенесения его из СВЧ в оптический диапазон. Прямой перенос оказался невозможным, поскольку длина световой волны мала и атомы, вылетевшие даже из одной точки в первом световом поле, разлетаются в поперечном направлении на расстояние, гораздо большее длины световой волны. Поэтому дипольный момент, введенный в атомах в первом

световом луче, полностью исчезает к тому моменту, когда они влетают во второй луч. В. П. Чеботаев с сотрудниками³ предложили два метода (двухфотонное возбуждение или использование трех световых лучей), которые позволяют сохранить когерентность атомного пучка в пространственно разнесенных световых полях³. Возможности этих оптических вариантов метода пространственно разнесенных полей существенно возрастают с использованием медленных атомов, получаемых при лазерном охлаждении.

Второе замечательное изобретение Рамзея, нашедшее отражение в формулировке премии, — водородный мазер. Изобретение в 1954 г. мазеров Н. Г. Басовым, А. М. Прохоровым и Ч. Таунсом отмечено Нобелевской премией четверть века назад, но водородный мазер, основанный на том же принципе, — сам по себе весьма оригинальное устройство. Он работает на знаменитом квантовом переходе между двумя уровнями сверхтонкой структуры атома водорода в основном состоянии ($F = 1$, $m_F = 0 \rightarrow F = 0$, $m_F = 0$) с длиной волны $\lambda = 21$ см. Пучок атомов в возбужденном состоянии получается после сортировки магнитным полем. Чтобы осуществился режим генерации, возбужденный атом должен находиться в резонаторе достаточно долго, а при этом неизбежны его многократные столкновения со стенками, в результате которых он может рекомбинировать или перейти безызлучательно в нижнее состояние. Чтобы избежать этого, Рамзей поместил внутрь объемного резонатора, настроенного на $\lambda = 21$ см, стеклянную колбу с отверстием для влета атомов водорода и внутренней поверхности, покрытой тефлоном. Здесь атомы накапливаются до концентрации, достаточной для того, чтобы вероятность стимулированного испускания превзошла уровень потерь излучения.

В накопительной колбе

¹ Подробнее см.: Б а л ы к и н В. И., М и н о г и н В. Г. Лазерное охлаждение атомов // Природа. 1989. № 7. С. 19–26.

² Он подробно описан в ставшей уже классической монографии: Р а м з е й Н. Молекулярные пучки. М., 1960.

³ Л е т о х о в В. С., Ч е б о т а е в В. П. Нелинейные узкие резонансы в оптике и их применение // Природа. 1978. № 3. С. 78–94.

Рамзея наблюдается еще один интересный эффект — радикальное подавление доплеровского уширения спектрального резонанса, предсказанное У. Лэмбом и Р. Дикке. При случайном движении частицы доплеровское уширение определяется не ее средней скоростью, а сравнительно небольшой скоростью диффузии. Размер накопительной колбы равен $\lambda/2$, что дополнительно ограничивает область блуждания атома. Такой режим испускания или поглощения на длине волны λ , когда средняя амплитуда движения частицы z_0 ограничена ($2\pi z_0/\lambda \ll 1$), носит название Лэмба — Дикке. В этом режиме происходит полное подавление уширения спектрального резонанса из-за линейного эффекта Доплера. Поэтому спектральный резонанс атома водорода в лазере чрезвычайно узок — всего около 1 Гц (1), а невозмущенная частота квантового перехода равна 1 420 405 751, 768 Гц.

Водородный лазер имеет более узкую спектральную линию, чем цезиевый стандарт частоты, и потому обеспечивает более высокую, но кратковременную стабильность частоты. Преимущество цезиевого стандарта частоты в том, что свободные атомы цезия меньше подвержены возмущениям и потому дают лучшую воспроизводимость частоты. Дополняя друг друга, цезиевый и водородный атомные стандарты, основанные на фундаментальных экспериментах Рамзея, обеспечивают сегодня функционирование всемирной шкалы времени с точностью 10^{-13} .

Работы Демельта и Пауля, в отличие от работ Рамзея, связаны с атомными ионами, и сходство их в том, что направлены они также на управление движением ионов путем локализации и охлаждения с тем, чтобы получить предельно узкие спектральные линии.

Проблема локализации зарядов является классической в электродинамике. Теорема Ирншоу доказывает, что удержание заряда в любом электростатическом поле принципиально невозможно из-за отсутствия в нем абсолютных минимумов или максимумов. Это

ограничение можно преодолеть двумя путями — дополнительным магнитным или переменным электрическим полем. Еще в 1936 г. Ф. Пеннинг показал, что в неоднородном электрическом поле специальной конфигурации (квадрупольное поле) в присутствии магнитного поля можно удерживать заряды⁴.

Перспективность использования ионной ловушки для спектроскопии высокого разрешения была отмечена Демельтом еще в 1956 г. В 1959 г. он осуществил первый эксперимент по локализации облака свободных электронов в ловушке Пеннинга, который впоследствии привел его к успешным экспериментам по локализации и наблюдению отдельного электрона в такой ловушке (искусственный атом, названный геонием) и созданию моноэлектронного осциллятора.

В ловушке Пеннинга электрон совершает колебания с циклотронной частотой, скорость его за счет радиационного затухания уменьшается, а радиус орбиты сокращается до величин, определяемой нулевыми колебаниями. В экспериментах Демельта среднеквадратичный радиус удавалось уменьшить до значений ≈ 10 нм. Исследуя изощренными методами движение электрона или позитрона в ловушке Пеннинга, Демельт с сотрудниками измерял с беспрецедентной точностью g-фактор электрона (отношение магнитного момента к полному механическому) и затем позитрона. Сегодня эти эксперименты обеспечивают наиболее серьезную проверку квантовой электродинамики, справедливость СРТ-теоремы, наиболее точную оценку радиуса электрона ($< 10^{-20}$ см).

Об экспериментальном мастерстве Демельта говорит его эксперимент по локализации отдельного позитрона (названного им Присциллой) в ловушке в течение трех месяцев (1). Локализация античастиц в ловушке обеспечивает им долгое время жизни в окружении частиц материи и поз-

воляет осуществлять с ними фундаментальные прецизионные эксперименты, недоступные никаким другим методам. В 1981 г. Демельт с сотрудниками экспериментально осуществил захват и хранение в ловушке примерно 100 антипротонов, замедленных предвременно до энергии ≈ 3 кэВ.

Другой тип ионной квадрупольной ловушки, использующей неоднородное высокочастотное электрическое поле, предложил в 1958 г. В. Пауль в ходе разработки квадрупольного фильтра для масс-спектрометрии. Геометрически она сходна с ловушкой Пеннинга, поскольку в ней также используются электроды в форме гиперболоидов вращения, на которые вместо постоянного подается переменное электрическое поле, но отсутствует магнитное поле. Ионная ловушка Пауля использовалась во многих фундаментальных экспериментах с одиночными ионами, в особенности при наблюдении удержания одиночных ионов и охлаждения их лазерным излучением.

Идея лазерного охлаждения одиночных ионов была выдвинута Демельтом в 1975 г., но эксперименты были начаты гораздо позже в Вашингтонском университете в Сиэтле. Вот как описывает историю этого важного открытия сам Демельт⁵: «В 1973 г. я предложил лазерную флуоресцентную спектроскопию сильно охлажденного одиночного иона Ti^{+} , удерживаемого в высокочастотной квадрупольной ловушке. Предложенный моноионный осциллятор должен был обеспечить спектральное разрешение около 10^4 . Эксперимент с одиночным атомом, покоящимся в свободном пространстве, — давняя мечта спектроскопистов. Это позволяет осуществлять эксперименты по ряду фундаментальных проблем в физике. Однако оказалось невозможным получить финансовую поддержку и работа не могла быть начата в Сиэтле. (...) Премия Гумбольдта позволила мне поставить эксперимент с Ba^{+} моноионным осциллятором в Гейдельберг-

⁴ Подробнее см.: М и н о г и н В. Г., Л е т о х о в В. С. Давление лазерного излучения на атомы. М., 1986.

⁵ D e h m e l t H. Advances in Laser Spectroscopy. N. Y.; L., 1981. P. 153.

ском университете в сотрудничестве с П. Тошеком и его группой и подготовить почву для более трудного эксперимента с Tl^+ ...

Идея лазерного охлаждения ионов, удерживаемых в ловушке, состоит в следующем. При периодическом движении иона в ловушке, когда радиус его орбиты превышает λ , спектральные линии поглощения и испускания имеют боковые полосы за счет частотной модуляции из-за эффекта Доплера. Если облучать низкочастотные боковые полосы монохроматическим лазерным излучением, то перемещаемые фотоны будут в среднем иметь большую энергию, чем поглощаемые. Недостающая энергия будет компенсироваться за счет кинетической энергии иона, что приведет к его охлаждению, т. е. уменьшению скорости и радиуса орбиты. Первые эксперименты по лазерному охлаждению ионов Ba^+ до температур 10^{-2} К были выполнены в 1978 г. При более глубоком охлаждении радиус орбиты иона становится гораздо меньше λ (в опытах с

Ba^+ — 120 нм) и амплитуды боковых полос в спектральной линии уменьшаются. При этом среднее значение колебательного квантового числа $\langle v \rangle$ иона в ловушке может быть очень малым: $\langle v \rangle \sim \sqrt{3/16}(\gamma/\omega_v)$, где γ — радиационная полуширина спектральной линии, ω_v — частота колебаний иона в ловушке ($\omega_v \gg \gamma$). В этом случае ион почти все время находится в основном колебательном состоянии, что надо интерпретировать как его равновесие с термостатом при $T = 0$.

Такой эксперимент по пленению одиночного иона Ba^+ при $T = 0$ был осуществлен Демельтом с сотрудниками в 1989 г. с помощью миниатюрной ионной ловушки со специально подобранной потенциальной ямой. Изолированный ион при $T = 0$ с подходящим квантовым переходом, не подверженным сильному влиянию электрических и магнитных полей, представляет собой идеальный репер для атомных часов. Последнее предложение Демельта — использовать запрещенный переход $6^1S_0 \rightarrow 6^3P_0$ ($\lambda =$

$= 202$ нм) радиоактивного иона $^{204}Tl^+$ для получения спектрального резонанса с шириной всего 0,01 Гц (для сравнения вспомним, что в водородном мазере она составляет 1 Гц) и добротностью 10^{17} (1) (в водородном мазере — 10^9) для создания ультрастабильного по частоте лазера.

Из этого краткого описания только нескольких идей и экспериментов совершенно ясно, что лауреаты внесли исключительный вклад в прецизионную атомную спектроскопию и развитые ими методы дадут еще множество новых результатов⁶.

В. С. ЛЕТОХОВ,

доктор физико-математических наук
Институт спектроскопии АН СССР
Троицк

⁶ Подробнее об этой новой области атомной физики см.: Летохов В. С., Чеботова В. П. Нелинейная лазерная спектроскопия сверхвысокого разрешения. М., 1989; Proceedings of Workshop and Symposium on the Physics of Low Energy Stored and Trapped Particles. Stockholm. June 14—18, 1987. (Physica Scripta. 1988. T. 22.)

ПО ХИМИИ — Т. ЧЕК И С. ОЛТМЭН

НОБЕЛЕВСКАЯ премия по химии в 1989 г. присуждена двум американским биохимикам — Т. Чеку и С. Олтмэну за открытие ферментативной активности рибонуклеиновых кислот.

Томас Чек (Thomas R. Cech) родился в 1948 г. в Чикаго. Степень доктора философии получил в Калифорнийском университете. Несколько лет работал в Массачусетском технологическом институте, с 1980 г. профессор отделения химии и биохимии Колорадского университета.

Сидни Олтмэн (Sidney Altman) родился в 1939 г. в Монреале. Окончил Массачусетский технологический институт. Степень доктора философии получил в Колорадском университете. Сейчас — профессор отделения биологии Йельского университета.

Рибонуклеиновые кислоты (РНК) были обнаружены столет назад (в 1889 г.) однофамильцем одного из новых нобелевских лауреатов — профессора Лейпцигского университета Р. Альтманом. понадобилось еще около 50 лет, чтобы выяснить, что существование РНК в бактериях, цитоплазме клеток растений и животных каким-то образом связано с биосинтезом белка. После открытия двойной спирали ДНК и зарождения молекулярной биологии, к концу 50-х — началу 60-х годов, функции основных классов РНК были окончательно установлены. Выяснилось, что рибосомные и транспортные РНК (рРНК и тРНК) осуществляют белковый синтез (трансляцию), а матричные, или информационные, РНК (мРНК) переносят информацию от ДНК в рибосомы, где и синтезируют-

ся полипептидные цепи белков. В последующие годы число типов РНК значительно увеличилось. Оказалось, что одни РНК (например, группа малых ядерных РНК) управляют процессингом (превращением первично синтезируемых РНК в функционирующие молекулы) других; что РНК могут служить матрицами для синтеза ДНК, а так называемые антисмысловые РНК регулируют активность генов. Иными словами, полифункциональность РНК стала непреложным фактом.

Тем не менее открытие, сделанное Т. Чеком, С. Олтмэном и их коллегами в 1981—1984 гг., было подобно грому среди ясного неба. Исследователи почти одновременно, но на двух разных примерах показали, что РНК может быть ферментом — она способна катализировать специфические



Т. Чек.

химические превращения полинуклеотидных цепей других молекул РНК. До этого ни у одного биохимика не могло возникнуть и тени сомнения в том, что биологическими катализаторами могут быть только белки. Справедливости ради следует заметить, что некоторые неортодоксально мыслящие ученые, такие как Ф. Крик, Л. Оргел и К. Воле, еще в 60-х годах высказывали мнение, что на одном из ранних этапов эволюции РНК могла обладать ферментативной активностью. Правда, вероятность этого они считали незначительной. Чтобы отличить РНК-ферменты от белков-ферментов, сразу же был предложен термин «рибозим».

К открытию рибозимов Чека и Олтмэна вели различные пути.

В 1977 г. в молекулярной биологии произошла революция: оказалось, что многие гены, в особенности у эукариот, построены мозаично, т. е. состоят из экзонов (значащих участков) и интронов (соединяющих экзонные участки, в которых для данного гена осмысленной информации не содержится). Было разрушено одно из основных представлений современной биологии, согласно которому ген есть непрерывный участок ДНК, где закодирована одна полипептидная цепь белка. В ходе синтеза РНК на матрице ДНК ген транскрибируется («пересылается») полностью, и образующийся предшественник РНК содержит в себе как экзонные, так и интронные последователь-



С. Олтмэн.

ности. В ходе процессинга особого типа, получившего название сплайсинга, интронные участки РНК вырезаются и выбрасываются, а экзонные сшиваются друг с другом в строго определенном порядке. Конечно, никто не сомневался, что сплайсинг осуществляют специальные белки-ферменты, одни из которых — рибонуклеазы — направленно разрезают, другие — РНК-лигазы — сшивают полинуклеотидные цепи РНК. Позже оказалось, что это верно для многих типов РНК.

Т. Чек одним из первых занялся поиском этих ферментов. В его руках была очень удобная модель. Он нашел, что ген, кодирующий 26S рРНК и выделенный из рибосом простейшего организма *Tetrahymena thermophila* состоит из двух экзонов, разведенных одним интроном. Рибосомной РНК в клетке много, и соответствующий ей ген можно было легко получить в виде рекомбинантной ДНК, что существенно упростило исследование. Когда же Чек с сотрудниками начали анализировать процесс сплайсинга предшественника 26S рРНК, обнаружилось, что в контрольной пробе, не содержащей никаких белков, сплайсинг шел самопроизвольно. Иными словами, интронный участок выбрасывался из РНК, а экзонные участки правильно сшивались автокаталитически, без участия каких-либо белков-ферментов. Единственно, что требовалось для протекания такого само-

сплайсинга, — это присутствие в реакционной смеси нуклеотида гуаниловой кислоты и ионов магния. Это явление было настолько необычным, что опыты повторялись во множестве вариантов, но результат был всегда один и тот же — предшественник 26S рРНК тетрахимены без участия белковых ферментов превращался в зрелую 26S рРНК путем самосплайсинга. В 1982 г. Чек с сотрудниками детально описали результаты этих исторических опытов¹.

Хотя самосплайсинг протекал строго специфически и с достаточно высокой скоростью, предшественник 26S рРНК ферментом, т. е. биологическим катализатором, считать было нельзя, так как он видоизменялся в ходе реакций. Однако (и здесь проявились способности Чека как экспериментатора) истинный фермент — рибозим — в этой системе был найден. Им оказался выбрасываемый интронный участок предшественника 26S рРНК. Проследив за его судьбой в ходе самосплайсинга и детально исследовав его свойства, Чек обнаружил, что этот фермент не только специфически расщепляет РНК (т. е. работает как экзонуклеаза), но и полимеризует экзонные. При этом сам интронный фрагмент оставался без изменений, т. е. вел себя как истинный биокатализатор. За этим выдающимся открытием последовало новое: изменяя нуклеотидную последовательность рибозима, можно направленное создавать экзонуклеазы, специфичные к любому заданному участку другой РНК.

Рибозим, открытый Олтмэном с коллегами, также был обнаружен в ходе изучения процессинга РНК. Еще в середине 1970-х годов в лаборатории Олтмэна в кишечной палочке был найден необычный фермент, названный им рибонуклеазой (РНКазой) Р, который специфически отщеплял полинуклеотидный фрагмент от 5'-концевой области предшественника тРНК.

¹ Kruger K., Grabowsky P. J., Zaug A. J., Sands J., Gottschling D. E., Cech T. R. // Cell. 1982. Vol. 31. P. 147—157.

Наряду с молекулой белка РНКазы Р содержала одну молекулу РНК из 377 нуклеотидных остатков. Ферменты — рибонуклеопротеиды, подобные РНКазе Р, были вскоре обнаружены не только в других бактериях, но и в животных клетках. Фермент научились разбирать на РНК- и белковые компоненты и снова реконструировать. После разборки белковая часть (а никто не сомневался, что она и есть истинный фермент) каталитической активностью не обладала, но, если добавлялась РНК, действие РНКазы Р восстанавливалось. Тогда-то и возникла мысль (можно думать, что произошло это под влиянием открытия Чека) поискать ферментативную активность у РНК-компонента рибонуклеазы Р. И здесь Олтман и его коллега Н. Пейс (кстати, работавший тогда в соседней с Чеком лаборатории в Колорадском университете) предположили, что в комплексе с белком РНК-компонент образует очень компактную структуру. Поэтому поиск ферментативной активности проводился при высокой концентрации ионов магния и в присутствии спермидина (оба агента способствуют образованию компактной макромолекулярной структуры РНК). Так был найден новый рибозим, обладавший всеми классическими свойствами, которые, как считали до этого, присущи только белкам-ферментам. Статья (ее теперь можно

называть «нобелевской») с результатами экспериментов появилась в конце 1983 г.²

Недавно Чек в одной из своих лекций заметил, что журналисты, которым он рассказывает о своих открытиях, обычно говорят: «Все это замечательно и очень интересно. Но какая от этого польза?»

То, что открытие рибозимов уже сыграло важную роль в развитии биохимии и молекулярной биологии, отчетливо видно по огромному числу публикаций и неожиданным находкам в этой области (рискем назвать ее рибозимологией). Показана широкая распространенность самосплайсинга; обнаружены интереснейшие примеры РНК с каталитическими свойствами; генноинженерным путем получены рибозимы, катализирующие направленное сшивание фрагментов РНК. А сколько новых идей породило открытие рибозимов у исследователей, занятых эволюционной биохимией и проблемой происхождения жизни на земле!

Но есть у этого открытия и чисто практический аспект. Известно, что множество опасных заболеваний (включая СПИД) человека, животных и растений вызывается РНК-содержащими вирусами. Избира-

тельно воздействовать на инфекционное начало вирусов — их РНК — очень сложно: ведь они по своим общим свойствам мало отличаются от клеточных мРНК. Однако возможность создания на базе рибозимов сверхспецифических эндонуклеаз, которые из множества различных РНК будут расщеплять (и тем самым инактивировать) только одну заранее выбранную, открывает новые перспективы. Если удастся вводить рибозимы, специфичные к вирусным РНК, в инфицированные клетки или, что более заманчиво, в самих клетках «поселить» гены, продуцирующие (постоянно или по внешнему сигналу) рибозимы, то, возможно, борьба с вирусными инфекциями будет гораздо эффективнее, чем сейчас. Некоторые фирмы уже начали производство рибозимов, правда, пока только для научных целей.

Поистине, открытие Т. Чека и С. Олтмана — новое слово в фундаментальной науке о жизни и шаг к преодолению многих вирусных болезней.

© Член-корреспондент
АН СССР А. А. Богданов

Межфакультетская проблемная научно-исследовательская лаборатория молекулярной биологии и биорганической химии им. А. Н. Белозерского МГУ

ПО МЕДИЦИНЕ — Дж. М. БИШОП И Г. Э. ВАРМУС

НОБЕЛЕВСКАЯ премия 1989 г. по медицине присуждена двум американским ученым Дж. М. Бишопу и Г. Э. Вармусу за фундаментальные исследования клеточных механизмов онкогенеза.

Джон Майкл Бишоп (John Michael Bishop) родился в г. Йорке 22 февраля 1936 г. Степень доктора философии получил в 1962 г. после окончания Гарвардского университета. С 1972 г. — профессор медицинского центра Калифорнийского университета.

Гарольд Эллиот Вармус (Harold Elliot Varmus) родился 18 декабря 1939 г. в Нью-Йорке. В 1962 г. окончил Гарвардский университет, а в 1966 г. — медицинский факультет Колумбийского университета. С 1979 г. — профессор Калифорнийского университета.

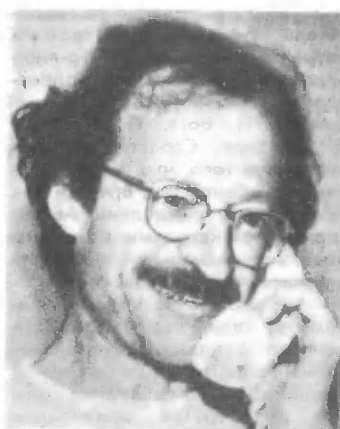
Вирусолог и биохимик Бишоп и микробиолог Вармус — известные исследователи, активно работающие в области молекулярной биологии более 20 лет. Оба с середины 60-х годов возглавляют смежные лаборатории

на кафедре микробиологии и иммунологии в Калифорнийском университете (Сан-Франциско). На протяжении многих лет каждый из них ведет крупные самостоятельные работы и вместе с тем они постоянно сотрудничают и имеют много совместных публикаций. К их числу относятся и работа 1976 г., послужившая основанием для присуждения Нобелевской премии. Би-

¹ Stehelin D., Guntaka R. W., Bishop J. M., Varmus H. E. // J. Mol. Biol. 1976. Vol. 101. № 3. P. 349—366.



Дж. М. Бишоп.



Г. Э. Вармус.

шоп к тому же — прекрасный популяризатор науки и лектор, его многочисленные обзоры широко известны. В 1975 г. он приехал в СССР для участия в I Советско-американском симпозиуме по молекулярной биологии нуклеиновых кислот и до сих пор поддерживает контакты с советскими исследователями.

Прежде чем рассказать о сути исследований Бишоп и Вармуса, необходимо вспомнить эволюцию взглядов на молекулярную природу злокачественных опухолей и молекулярные механизмы превращения нормальных клеток в раковые (трансформированные).

В начале века один из выдающихся биологов, Т. Бовери, высказал предположение, что злокачественная трансформация клеток должна сопровождаться изменением их генетического аппарата — мутациями. В то время материальный носитель наследственности — молекулы ДНК — были уже известны как химические соединения, но их биологическая роль оставалась еще совершенно неясной. Тогда же П. Раус впервые обнаружил онкоперодный вирус, вызывающий саркому у кур. Значение этого открытия было оценено лишь спустя 55 лет, когда П. Раусу присудили Нобелевскую премию (1966 г.).

К 20—30-м годам нашего столетия сформировались три основные концепции образования опухолей: генетическая, вирусная и полиэтиологическая, согласно которой рак возникает под воздействием различных

физических, химических и биологических факторов. Но в середине 40-х годов советский ученый Л. А. Зильбер сформулировал вирусогенетическую теорию происхождения опухолей, которая объясняла трансформацию нормальных клеток внедрением вирусной ДНК в клеточную ДНК хозяина. К середине 60-х годов вирусогенетическая концепция, получив полное экспериментальное подтверждение, стала ведущей теорией онкогенеза.

Позднее, в начале 70-х годов, целый ряд исследователей — Бишоп, Вармус, а также П. Дусберг, Р. Вайнберг и другие — обнаружили в составе геномов некоторых онкоперодных вирусов птиц и млекопитающих онкогены, ответственные за раковое перерождение клеток. В частности, в составе генома вируса саркомы Рауса нашли вирусный онкоген, получивший название *src*. Так возникла концепция онкогенов, оказавшаяся справедливой для многих типов опухолей².

Однако в этой концепции возникло принципиальное затруднение: оставалось неясным, как возникают опухоли в отсутствие вирусов. К этому времени считалось уже твердо установленным, что трансформация клеток возможна и без прямого участия онкоперодных вирусов. Нужно было либо вообще

отказаться от концепции онкогенов как общей теории онкогенеза, либо найти онкогены не только в геномах вирусов, но и в самих клетках. Последнее и удалось осуществить в блестящих работах нынешним нобелевским лауреатам и ряду других исследователей.

Выяснилось два совершенно новых обстоятельства: во-первых, в клетках млекопитающих (в том числе и человека), птиц и других позвоночных были выделены нуклеотидные последовательности, близкородственные вирусным онкогенам; во-вторых, было доказано, что вирусные онкогены не являются истинными генами вируса (речь идет о РНК-содержащих ретровирусах, образующих ДНК провируса путем обратной транскрипции), а представляют собой участки ДНК клетки-хозяина, захваченные ретровирусом при его размножении в зараженных клетках. Таким образом, в нормальных клетках был обнаружен новый класс генов, названных протоонкогенами, из которых и возникают активные вирусные онкогены. Более того, под действием самых разных мутаций эти протоонкогены могут превращаться в активные онкогены и без участия вирусов.

Итак кропотливой и трудоемкой работой молекулярных биологов строго доказано, что рак — это болезнь генома, результат генетических изменений, вызванных самыми разными воздействиями (вирусами, физическими или химическими канцерогенами), которые приводят к активации протоонкогенов, присутствующих в нормальных клетках. Сегодня известно почти 60 клеточных протоонкогенов и соответствующих им онкогенов. Мы знаем, что они кодируют онкобелки, знаем их структуру, локализацию в клетке и многие важные свойства. И самое главное — мы знаем, какие изменения в онкобелках обеспечивают трансформированное состояние клеток. Известно также, что не только структурные изменения онкобелков, но и увеличение их биологической активности или содержания в клетках приводят к злокачественному перерождению.

Заслуги нобелевских лауреатов в этих чрезвычайно важ-

² Подробнее об этих работах см.: Журн. Всес. хим. об-ва. 1986. Т. 31. № 3, посвященный проблемам молекулярной биологии.

ных и нужных человечеству исследованиях очевидны. Ведь хотя сделанные ими открытия касаются фундаментальной биологии, но уже сейчас ясно, что в этих работах закладываются основы будущей рациональной терапии рака.

Однако нынешнее приращение Нобелевской премии вызвало довольно неоднозначную реакцию. Критика раздается с двух сторон. Так, известный французский исследователь Д. Штеелин, работающий в Лилле, заявил официальный протест, указав, что ключевая работа 1976 г., выполненная в лаборатории Бишоп и Вармуса, сделана в основном им и по ранее разработанному им плану. Действительно, в уже упоминавшейся статье Д. Штеелин — первый соавтор. Стало известно, что французское правительство направило официальное представление Нобелевскому комитету по поводу дискриминации французского ученого. В то же время

многие американские исследователи считают, что третьим лауреатом мог бы быть кто-либо из других выдающихся молекулярных онкобиологов США, например П. Вогт, П. Дусберг, Р. Вайнберг. Страсти разгорелись из-за того, что по положению о Нобелевской премии она может быть разделена между тремя соискателями, так что одна потенциальная вакансия осталась неиспользованной.

В целом же Нобелевский комитет своим решением подчеркнул фундаментальное значение открытия протоонкогенов и онкогенов. За последние годы это уже третье отмеченное Нобелевской премией открытие, имеющее отношение к раку. Помимо Рауса, премию получили Д. Балтимор и Г. Темин (1975 г., за открытие обратной транскрипции и механизма репликации ретровирусов)¹. Решение

Нобелевского комитета подчеркивает, с одной стороны, что мы, безусловно, продвигаемся вперед в познании молекулярной природы рака, с другой — то, что рак — это болезнь генетического аппарата клеток.

Поздравляя новых нобелевских лауреатов с заслуженной наградой, хотелось бы выразить надежду, что такое признание заслуг молекулярных онкобиологов привлечет еще большее внимание к одной из самых важных проблем биологии и медицины и будет стимулировать новые успехи в этой сложной и животрепещущей области современного научного поиска.

© Л. Л. Киселев,
доктор биологических наук
Институт молекулярной биологии
им. В. А. Энгельгардта
Москва

¹ Лауреаты Нобелевской премии 1975 г. // Природа. 1975. № 12. С. 111.

НОВЫЕ КНИГИ

Биология

Т. Пааль, Я. Пааль. СТРУКТУРА ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ БРУСНИКИ *Vaccinium vitis-idaea* L. Таллинн: Валгус, 1989. 212 с. Ц. 2 р. 10 к.

Книга, написанная молодыми эстонскими ботаниками, — достаточно редкий пример детального изучения ценного ресурсного вида. Читатель узнает об особенностях лесов заповедника Кивач, где изучалась брусника, о фенологических закономерностях развития ценного ягодника, методах учета запасов ягод и т. д. Исследования авторов полностью «компьютеризированы» и опираются на непростые методы математической статистики.

Какие выводы Т. и Я. Паалей наиболее интересны? Во-первых, это точное определение

времени интенсивного роста побегов и среднего веса одной ягоды.

Во-вторых, установлена любопытнейшая закономерность связи продуктивности урожая брусники со степенью благоприятности условий. Там, где бруснике живется лучше всего и ее урожай превышает 2 ц/га, она плодоносит нерегулярно и урожай может в разные годы снижаться и возражать в пять — семь раз. А на низком заболоченном участке, где урожай брусники невелик (всего 2—3 кг с гектара) и ягоды самые мелкие, урожай всегда примерно одинаков.

В-третьих, оказалось, что в различных условиях, при изменении абсолютной величины биомассы, сохраняется стабильное соотношение разных фракций растений: старых и молодых

листьев, молодых веточек и более старых частей растений.

Брусника распределена по поверхности почвы пятнами. Если участок заболочен, то она ютится на более сухих кочках, а если сухой, то эти пятна связаны в основном с особенностями роста кустарничка, который размножается вегетативно. Поллог деревьев на эту мозаику брусники почти не влияет. У брусники 13 видов поедающих ее насекомых (врагами их назвать нельзя, т. к. в дикой природе все целесообразно) и несколько видов грибковых болезней.

Книгу справедливо было бы назвать «Все о бруснике».

Космические исследования

30-й полет по программе «Спейс шаттл»

В августа 1989 г. в 12 ч 37 мин по Гринвичу с космодрома на м. Канаверал (США) состоялся 30-й запуск космической транспортной системы «Спейс шаттл». Орбитальной ступенью служил корабль «Колумбия» с пятью космонавтами: Б. Шоу (командир), Р. Ричардс (пилот), Д. Листма, Л. Адамсон и М. Браун (специалисты по операциям на орбите).

Полет проводился по программе министерства обороны США в обстановке строгой секретности. По сведениям из неофициальных источников, просочившихся в американскую печать, полезным грузом в полете были два космических аппарата: секретный спутник нового типа «КН-12» для оперативной фоторазведки и спутник массой 125 кг, предназначенный для экспериментов по программе СОИ. Аппаратура «КН-12» позволяет в любую погоду и при любой освещенности вести съемку в инфракрасном диапазоне спектра с разрешением 15 см.

Оба спутника выведены на орбиту. Вскоре после этого на «КН-12» возникла неисправность, он вышел из-под контроля и потерял ориентацию. Специалисты сообщили, что спутник хаотически вращается со скоростью около 30 об/мин.

13 августа в 12 ч 35 мин произошла посадка «Колумбии» на авиабазе Эдвардс (штат Калифорния); полет длился 4 сут 23 ч 58 мин.

Во время следующего запуска по программе «Спейс шаттл» «Атлантис» вывел на начальную орбиту космический аппарат «Галилей» для исследования Юпитера.

Космические исследования

«Союз ТМ-8»

6 сентября 1989 г. запущен космический корабль «Союз ТМ-8» с экипажем в составе: летчик-космонавт СССР А. С. Викторенко (командир корабля) и летчик-космонавт СССР А. А. Серебров (бортинженер). 8 сентября корабль состыковался с комплексом «Мир», и космонавты перешли в помещенные орбитальной станции.

В программе — стыковка со станцией двух специализированных модулей с новой научной аппаратурой; они должны повысить эффективность исследований.

Космонавты разгрузили усовершенствованный грузовой корабль новой серии «Прогресс М», более маневренный и грузоподъемный, а также способный дольше функционировать в космосе и проводить научные эксперименты как в составе орбитального комплекса, так и в автономном полете. В «Прогрессе» использованы узлы «Союза ТМ»: радиотехническая система сближения и стыковки «Курс», система управления движением, двигательная установка, солнечные батареи. Они позволяют стыковать «Прогресс М» с орбитальным комплексом по схеме, принятой для пилотируемых кораблей, что должно снизить расход топлива двигательной установки станции.

С помощью аппаратуры модуля «Квант» продолжались наблюдения по международной программе астрофизических исследований. Проведено около 30 сеансов наблюдений рентгеновского пульсара в созвездии Парус. С 6 июля телескопы орбитальной обсерватории «Рентген» были направлены на рентгеновскую новую, вспыхнувшую в созвездии Лебедь; изучались изменения ее температуры и

спектра излучения. Зафиксирован спектр, соответствующий температуре около 100 млн град. Это второй астрофизический объект, открытый орбитальной обсерваторией, — в середине августа обнаружен рентгеновский источник в созвездии Змееносец (в одном из сеансов зафиксирован мощный всплеск излучения, вызванный взрывом на поверхности нейтронной звезды).

Для картографирования в рентгеновском диапазоне велись наблюдения рентгеновского источника Скорпион X-1, рентгеновского пульсара в созвездии Персей, центральной части нашей Галактики.

21 сентября на телескопе «Глазар» проведены первые съемки звездного неба в ультрафиолетовых лучах. С помощью магнитного спектрометра «Мария» измерялись потоки заряженных частиц высоких энергий.

По программе космического материаловедения на новой установке «Галлар» для получения в условиях слабой гравитации высококачественных полупроводниковых материалов (способной эффективнее вести исследования в автоматическом режиме) созданы материал на основе кремния для микроэлектроники и полупроводник кадмий-селен.

С помощью болгарской аппаратуры «Зора» оценивалась психофизиологическая реакция человека в космическом полете; для обследования сердечно-сосудистой системы космонавтов была использована многофункциональная регистрирующая аппаратура «Гамма».

Поскольку предполагается ввести в состав комплекса еще два специализированных орбитальных модуля, космонавты установили дополнительный электронный блок в системе стыковки.

С. А. Никитин
Москва

Космические исследования

Биоспутник «Космос-2044»

15 сентября 1989 г. с космодрома Плесецк ракетой-носителем «Союз» запущен очередной (девятый) биоспутник «Космос-2044» («Бион-9»). На его борту находились две обезьяны (трехлетние самцы макаки резус массой 4 кг) и другие биологические объекты.

Полет продолжался 14 сут, что позволило изучить физиологические реакции организма как в начальный (1—7 сут), так и в переходный (8—14 сут) периоды адаптации к невесомости. Проводились также исследования на крысах, эксперименты по гравитационной биологии, а также радиобиологические и радиационно-физические наблюдения.

Помимо советских ученых в научной программе принимали участие специалисты Австрии, ВР, ГДР, Канады, ПНР, СРР, США, Франции, СССР, а также Европейского космического агентства. Перечень совместных исследований включает 81 эксперимент.

Особое внимание было уделено продолжению нейрофизиологических исследований вестибулярного и двигательного аппарата обезьян для повышения работоспособности в условиях невесомости. Увеличено число регистрируемых физиологических параметров и введены дополнительные сеансы регистрации.

Основная задача исследований на крысах — изучение восстановительных процессов после травм в коже, костной и мышечной тканях. До полета у пяти крыс-самцов на задних конечностях были рассечены малые берцовые кости, икроножная и камбаловидная мышцы, после чего кожная рана была зашита. После приземления их подвергли морфологическим и биохимическим исследованиям. На других пяти крысах-самцах изучали механизмы адаптации организма к невесомости.

Эксперименты по гравитационной биологии велись на клетках, тканях, организмах и популяциях. Общая их цель —

дальнейшее изучение биологических эффектов невесомости, механизмов адаптации к ней и впоследствии — снова к земной силе тяжести.

Два эксперимента предложили школьники — участники Всесоюзного конкурса «Биоспутник-89»: в одном исследовалось влияние факторов космического полета на поведение и инстинкты муравьев, в другом — регенерация фрагментов тела червей.

29 сентября спускаемый аппарат «Космоса-2044» с биологическими объектами совершил посадку в 165 км от г. Кустаная.

С. А. Никитин
Москва

Астрофизика

Вариации ультрафиолетового излучения Солнца

Дж. Лин (J. Lean; Морская исследовательская лаборатория, Вашингтон, США) проанализировала данные о колебаниях солнечной активности, полученные за последние годы с помощью искусственных спутников Земли.

Оказалось, что хотя общее выделение энергии Солцем в различные фазы его нынешнего 11-летнего цикла отличается не более чем на 0,08 %, но в отдельных спектральных диапазонах различия значительно сильнее. Например, в некоторых частях ультрафиолетовой области спектра они могут удваиваться. Различия в ультрафиолетовом излучении ответственны за примерно 19 % вариаций солнечного излучения, хотя на эту полосу частот падает лишь 1 % общей энергии, выделяемой Солнцем.

В периоды высокой активности, когда на поверхности образуется больше пятен, Солнце становится «ярче» во всех спектральных диапазонах. Распространение пятен во время пика активности должно понижать среднюю температуру солнечной поверхности. Но поскольку наблюдается общее увеличение выделяемой в это время Солн-

цем энергии, значит, «выработка» энергии во внутренних областях возрастает, причем намного больше, чем предполагалось до сих пор.

Наибольших значений подобные вариации достигают в альфа-линии спектральной серии Лаймана (121,6 нм), которая связана с водородом, самым распространенным элементом на Солнце. Именно в этой части ультрафиолетовой области спектра, как уже отмечалось, количество выделяющейся энергии в период между минимумом и максимумом удваивается.

Обнаруженные факты, по мнению специалистов, помогут понять причины, по которым цикл солнечной активности составляет в среднем именно 11 лет. В конце 1989 г. должен наблюдаться очередной ее максимум, который, по оценкам, будет самым высоким за все время наблюдений.

Для метеорологов и физиков атмосферы важны последствия таких солнечных вариаций, поскольку они влияют на состояние озоносферы Земли. Наблюдения относительно больших колебаний ультрафиолетового излучения Солнца позволяют приблизиться к объяснению механизмов воздействия Солнца на верхнюю атмосферу Земли, химические параметры которой также колеблются с цикличностью, близкой к 11 годам.

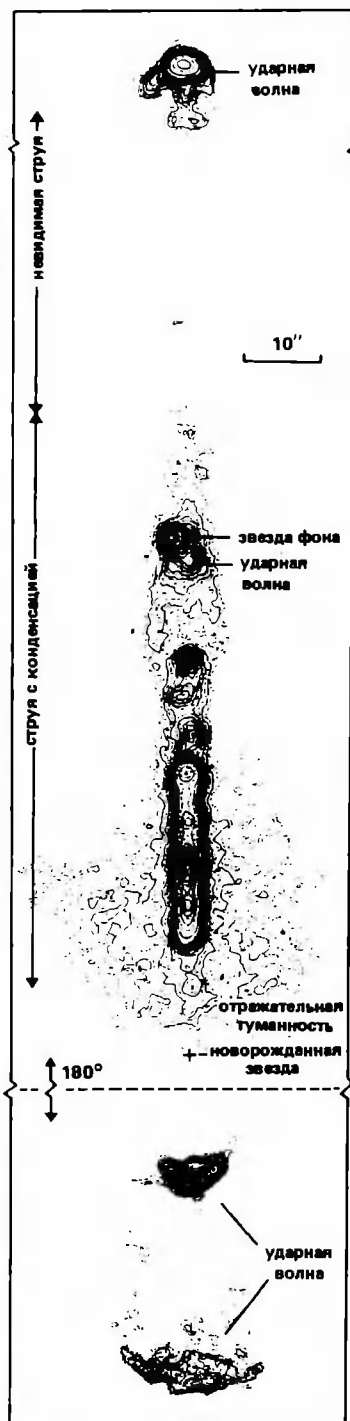
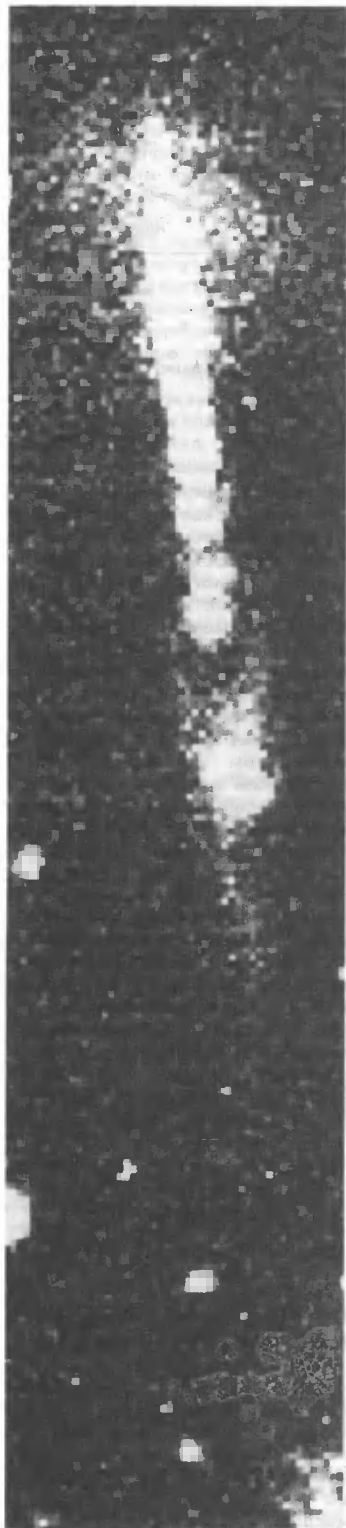
Science. 1989. Vol. 244. P. 197 (США).

Астрофизика

Как рождается звезда

Процесс рождения звезд с недавних пор привлекает не меньшее внимание, чем финальные стадии звездной эволюции — образование белых карликов, нейтронных звезд или черных дыр. Исследования, проведенные Б. Рейпуртом (B. Reipurth; Европейская южная обсерватория, Ла-Силла, Чили), позволяют утверждать, что рождение звезд происходит сложнее, чем представлялось еще несколько лет назад.

Наблюдался исключительно интересный объект HH-111, находящийся в созвездии Ориона



Объект HH-111, по данным наблюдений на телескопе ESO, Ла-Силла.

на недалеко от небесного экватора. Его отличает практически полный набор явлений, сопутствующих рождению звезды.

По современным представлениям, рождение звезды происходит по следующему сценарию. Вначале вещество будущей звезды распределено в протяженном газопылевом облаке. В результате какого-либо нестационарного процесса (например, взрыва сверхновой) ограниченная область этого облака уплотняется и дальше сжимается уже собственным гравитационным полем, что ведет к увеличению плотности и температуры ее центральной части. При некоторых критических значениях этих параметров начинаются термоядерные реакции. Вот с этого момента объект и становится «обычной звездой».

Это общая схема рождения звезды, не учитывающая множества деталей, подчас существенных. Так, заметную роль в формировании облика рождающейся звезды играет вращение газопылевых облаков. При их сжатии в силу сохранения момента количества движения вокруг центральной части будущей звезды образуется сравнительно тонкий аккреционный диск. Он состоит из вещества, затягиваемого в центральную область по спиральным траекториям.

Время от времени центральная часть протозвезды, как кипящий котел, извергает сгустки горячего ионизованного газа. Поскольку пробиться наружу сквозь плотный аккреционный диск такой газ не может, он покидает протозвезду в направлениях, перпендикулярных диску, т. е. вдоль оси его вращения. Так образуется струйный выброс.

Как показали наблюдения HH-111, он, по-видимому, обладает наиболее четкой структурой, которая позволяет уверенно регистрировать центральную часть и выбросы, направленные в противоположные стороны, хотя один из них на большом протяжении не наблюдается даже при максимальной экспозиции. Причиной тому может быть либо непрозрачность среды, либо неодинаковая интенсивность выбросов в противоположные стороны.

Из-за удачного распо-

ложения HH-111 вблизи туманности Ориона, расстояние до которой хорошо известно, и четкости деталей его структуры в ближайшие годы этот объект займет заметное место в наблюдательных программах многих обсерваторий мира.

ESO Press Release. 30 June 1989.
№ 4/89.

Планетология

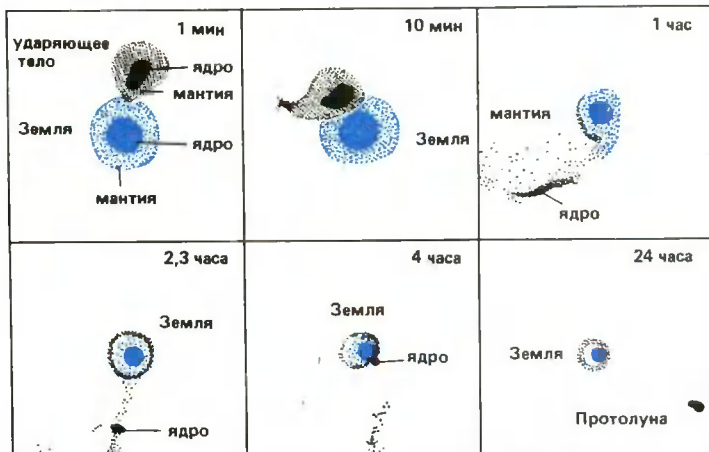
«Ударное» происхождение Луны

Среди разнообразных гипотез о происхождении Луны не было ни одной, которая бы объясняла угловой момент всей системы, а также малую плотность вещества Луны в сравнении с плотностями других планет с твердой поверхностью, например Марса и Меркурия.

Предполагалось, что в Солнечной системе на ранней стадии развития существовало несколько крупных тел, по величине близких к Марсу, в 10 раз больше Меркурия и в 100 раз больше нынешней Луны. Все они образовались на равном расстоянии от Солнца, видимо, в результате «лобовых» или «скользящих» столкновений. Энергия, выделявшаяся при таких ударах, должна была создать на Земле бассейн расплавленной лавы глубиной около 1 тыс. км. На Луне следы подобного бассейна обнаружены, на нашей же планете — нет.

Х. Ньюсом (H. Newsom; Институт метеоритики при Университете штата Нью-Мексико, Альбукерке, США) и С. Росс (S. Ross; Австралийский национальный университет, Канберра) провели моделирование на ЭВМ различных процессов столкновения и получили следующую картину, которая представляется им наиболее достоверной.

Около 4,4 млрд лет назад небесное тело, по размерам сходное с Марсом, столкнулось с Землей и распалось, образовав вращающийся диск мелких обломков. Часть ядра этого тела, содержащая значительное количество железа, соединилась



Последовательные стадии столкновения Земли с небесным телом, в результате чего через 24 ч образовалась Луна.

с Землей, другая же, богатая более мелкими силикатами, образовала скопление, всего через сутки ставшее спутником нашей планеты — Луной. Падение ядра на Землю должно было произойти через 4 ч после столкновения, за чем последовало погружение плотного металлического тела в недра нашей планеты. При этом температура Земли и Луны возросла примерно на $(3-4) \cdot 10^3$ K, достигнув температуры плавления геологических пород.

Если скорость небесного тела в момент столкновения с Землей составляла хотя бы 5 км/с (что вполне вероятно), его ядро должно было отделиться от мантии и их дальнейшие судьбы будут различными, как это и имеет место в действительности.

Предлагаемая гипотеза устраняет оставшиеся до сих пор неясности.

Nature. 1989. Vol. 338. № 6210. P. 29 (Великобритания).

Астрономия

Астероид «нашелся»

Осенью 1988 г. два астронома-любителя сообщили об обнаружении нового астероида,

обращающегося вокруг Солнца по сильно вытянутой орбите. Предполагалось занести этот астероид в постоянно пополняющиеся каталоги небесных тел.

Однако С. Накано (S. Nakano; Гарвард-Смитсоновский астрофизический центр, штат Массачусетс, США) решил вычислить параметры орбиты «новичка». Оказалось, что он уже был открыт в 1911 г. известным «охотником за астероидами» И. Палисой и получил наименование Хапаг; а затем, как считалось, надолго потерялся в бескрайних просторах Вселенной.

Впрочем, как установил Накано, за прошедшие годы Хапаг еще несколько раз — в 50-х и 80-х годах — фотографировали астрономы различных стран, но никто из них не распознал в нем «старого знакомого». Теперь его орбита и период появления могут быть установлены достаточно точно.

Smithsonian Institution Research Reports. 1989. № 57. P. 7 (США).

Астрофизика

Метод исследования космической турбулентности

Длительное время считалось, что информация о статистических свойствах турбулентности теряется, если излучающий турбулентный объем гораздо больше, чем характерный масштаб турбулентности. Од-

нако, как показали А. Л. Лазарян и Г. В. Чибисов (Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР), эту информацию можно извлечь из данных наблюдений. Им удалось получить корреляционные функции случайного магнитного поля Галактики.

Ошибка предыдущих исследований состояла в том, что искали непосредственную связь между статистическими характеристиками турбулентности и вызванными ею флуктуациями интенсивности излучения, не учитывая интегральный характер этой связи, обусловленный тем, что лучи зрения пересекают множество турбулентных вихрей. Так, корреляционные функции случайного магнитного поля выражаются через интегралы от корреляционной функции интенсивности.

Корреляционные функции позволяют рассчитать распространение космических лучей, поляризованного излучения в Галактике с использованием не модельных, а реальных характеристик случайного магнитного поля. Полученные результаты интересны и для общей теории МГД-турбулентности. Дело в том, что в лабораторных условиях получить развитую МГД-турбулентность с большими значениями магнитного числа Рейнольдса чрезвычайно сложно. В космосе же из-за громадных размеров системы эти значения могут быть весьма велики. Турбулентные движения среды приводят к возникновению магнитных полей (механизм динамо¹). Провести детальное исследование этих до сих пор во многом загадочных процессов и позволяет предложенный метод.

Пока МГД - турбулентность исследована в пределах небольшой части небесной сферы. Предстоит ее картографирование на всей сфере; используя в качестве экранов области ионизованного водорода, найти распределение МГД-турбулентности вдоль лучей зрения, определить турбулентность в остатках сверхновых, галактиках различных классов. Это позво-

лит надежно установить источники галактической МГД-турбулентности, разобраться в процессах генерации магнитных полей. Сделать это радиоастрономам ФИАН одним не под силу, нужно широкое сотрудничество. Желание использовать предложенный метод уже выразили специалисты из Индии, Испании, США, ФРГ.

Препринт ФИАН. 1989. № 190, 191.

Астрономия

Вновь измерена масса Галактики

За последние 20 лет астрономы неоднократно находили свидетельства того, что наша Галактика окружена большим количеством невидимой материи. Так, светящиеся звезды заметно сконцентрированы у центра Галактики: половина их находится внутри орбиты Солнца (ее радиус ~ 9 кпк), масса этой части Галактики примерно $1 \cdot 10^{11} M_{\odot}$. Приблизительно столько же звезд от орбиты Солнца и до расстояний 16—18 кпк от центра Галактики. Дальше почти нет светящегося вещества, однако масса Галактики продолжает возрастать. Об этом свидетельствует движение некоторых очень далеких звезд и спутников нашей звездной системы — карликовых галактик. Если бы вся масса была сосредоточена внутри светящегося тела Галактики, ее далекие спутники двигались бы с низкой скоростью (как кометы на периферии Солнечной системы). В действительности же скорость спутников почти не зависит от радиуса их орбиты, а возможно, даже немного увеличивается с его ростом.

Точно измерить массу невидимой «короны» Галактики очень сложно — необходимо знать расстояние до спутников и скорость их движения, иметь представление о форме их орбит, и вообще, нужна уверенность, что это действительно спутники, а не случайно пролетающие мимо объекты. Лучшее всего удовлетворяют этим

требованиям шаровые звездные скопления, удаленные от центра Галактики на десятки килопарсек, но доступные изучению с помощью телескопов среднего размера. Применение новой наблюдательной техники позволило за последние годы измерить скорости и расстояния до этих скоплений с высокой точностью.

Используя эти данные, бразильские астрономы А. Боргес и Дж. Де Фрейтас Пачеко (А. С. А. Borges, J. A. De Freitas Pacheco) определили массу Галактики в пределах 33 кпк от ее центра. Применяв подход, разработанный более полувека назад А. Эддингтоном, они установили, что масса Галактики возрастает с расстоянием R от центра по закону $M(R) \sim R^{1.21}$. Для $R=33$ кпк масса составила $4,3 \times 10^{11} M_{\odot}$. Дальше исследователи пока не продвинулись, хотя известно несколько шаровых скоплений и на расстояниях 50—100 кпк от центра Галактики. Однако измерения их скоростей пока не вполне надежны и, соответственно, мала точность в определении массы на столь далекой «периферии» Галактики.

Итак, по-прежнему неясно, какое вещество заполняет невидимую массивную корону Галактики.

Astrophysica and Space Science. 1989. Vol. 153. P. 67 (США).

Физика

Получен металлический водород!

Американским исследователям Х. Мао и Р. Хэмли (Н. К. Мао, R. J. Hemly) удалось вплотную подойти к получению металлического водорода в лабораторных условиях.

Это состояние предсказано более 50 лет назад: при высоких давлениях и плотностях молекулярные связи должны разрушаться, электроны освобождаются, а водород — превращаться в металл типа щелочных. По оценкам, для перехода

¹ Подробнее об этом см.: Магнитные поля в скоплениях галактик // Природа. 1989. № 10. С. 103.

¹ Мао Н. К., Hemly R. J. // Science. 1989. Vol. 244. P. 1462.

водорода в металлическое состояние требуется давление более 2 млн атм, поэтому получить его в лабораторных условиях исключительно трудно. Время от времени различные группы исследователей сообщали о решении этой задачи, но ни одно из этих сообщений не получило подтверждения.

Мао и Хэмли использовали специальную алмазную камеру, внутри которой помещался подвергаемый сжатию водород. Хотя алмаз, как и водород, с повышением давления неминуемо должен превращаться в металл, при давлениях порядка 1 млн атм он еще прозрачен, что позволяет контролировать оптические свойства водорода через стенки алмазной камеры. В экспериментах измерялась отражательная способность водорода как функция давления: поскольку оптические свойства водорода определяются его электронной структурой, при превращении водорода в металл его отражательная способность должна резко меняться. Кроме того, измерялись характеристики рамановского (комбинационного) рассеяния с изменением частоты рассеянного света. Это дает информацию об относительном движении протонов внутри молекулярных пар (так называемых вибронов), но поскольку свет взаимодействует с вибронами не прямо, а через электроны, можно исследовать и электронную структуру.

Обнаружено, что при давлении около 2 млн атм отражательная способность водорода резко меняется (оставаясь непрерывной функцией давления) и водород из светлого становится довольно темным. Одновременно заметно меняется интенсивность комбинационного рассеяния. По мнению авторов, при таком давлении межзонные переходы смещаются в видимую область спектра. Это значит, что характерная для диэлектриков и полупроводников большая межзонная щель резко уменьшается. Если бы она исчезла совсем, возникло бы так называемое полуметаллическое состояние. Такой механизм не учитывался в ранних теоретических работах.

По мнению Н. Ашкрофта (N. W. Ashcroft; Корнеллский

университет, Итака, США), из сближения зон еще не следует, что возникает полуметаллическое состояние; альтернативой может быть полупроводниковое состояние с узкой щелью². Однозначно установить наличие металлического водорода можно, измеряя проводимость, что, к сожалению, весьма затруднено для образца в алмазной камере. С другой стороны, в полупроводниковом состоянии поглощение света описывается фононным механизмом, и затемнение образца должно было бы в этом случае зависеть от температуры.

Итак, даже если Мао и Хэмли и не получили еще металлический водород, то близки к этому, тем более, что их установка позволяет развить давление до 3 млн атм.

Получение металлического водорода и исследование его свойств имело бы исключительное значение для физики и астрофизики. В частности, есть надежды, что металлический водород должен быть сверхпроводником до температур 100—200 К.

© К. Г. Селиванов,
кандидат
физико-математических наук
Москва

² Ashcroft N. W. // *Nature*. 1989. Vol. 240. № 6232. P. 345.

Физика

Эксперименты по квантовому хаосу

Одна из фундаментальных проблем современной физики — проблема квантового хаоса, т. е. сложного поведения нелинейной квантовой системы, которая в классическом пределе обладает хаотической динамикой¹. Простейшей моделью такой системы может слу-

жить нелинейная система (например, осциллятор или ротор) с одной степенью свободы, на которую действует периодическое внешнее возмущение. Классическое поведение подобных систем неплохо изучено: при определенных значениях параметров происходит переход от периодической динамики к хаотической, что сопровождается ростом (в среднем) энергии системы. Гораздо сложнее поведение соответствующей квантовой системы. В квазиклассической области (большие квантовые числа) время, в течение которого проявляется истинный хаос, является логарифмически малым, а энергия ограничена квантовыми эффектами.

Недавно две группы американских исследователей из Питсбургского и Нью-Йоркского университетов выполнили эксперименты по проверке основных предсказаний теорий квантового хаоса². Объектом исследования, уже который раз в истории физики, стал атом водорода. Моноэнергетический пучок его атомов с помощью лазера переводился в состояние с главным квантовым числом $n=40 \div 80$, а затем подвергался совместному действию переменного с частотой ω около нескольких десятков гигагерц и статического электрических полей. Величина статического поля была подобрана так, что ионизация атомов водорода могла начаться лишь при $n \approx 100$. По степени ионизации и определялось, до каких n возбуждаются атомы переменным полем. Результаты экспериментов подтверждают сделанное ранее теоретическое предсказание³ о квантовом ограничении роста энергии при определенных значениях n и ω . Тем не менее наблюдались некоторые расхождения с теорией, которые нельзя объяснить статистическими ошибками.

Итак, точность экспериментов по квантовому хаосу

² Bayfield J. E., Sokol D. W. // *Phys. Rev. Lett.* 1988. Vol. 61. № 18. P. 2007—2010; Galvez E. J., Sauer B. E., Moorman L., Koch P. M., Richards D. // *Ibid.* P. 2011—2014.

³ Casati G., Chirikov B. V. et al. // *Phys. Rep.* 1987. Vol. 154. № 2. P. 77—123.

¹ О хаотической динамике в классических системах см., напр.: Синай Я. Г. Случайность неслучайного // *Природа*. 1981. № 3. С. 72—80; Чириков Б. В. Нелинейные резонансы и динамическая стохастичность // *Природа*. 1982. № 7. С. 15—24.

фактически достигла уровня, когда возможны количественные сравнения с теорией. В ближайшие годы следует ожидать новых интересных результатов.

© Р. Н. Алексеев
Красноярск

Физика

Туннельный микроскоп для диэлектрических пленок

Разрешающая способность сканирующего туннельного микроскопа столь высока, что можно различать отдельные атомы на поверхности твердого тела¹. Его успешно применяют для исследования поверхностей электропроводных материалов. А вот в случае диэлектриков на поверхности сразу образуется электрический заряд и туннельный ток прекращается. Поэтому для их исследования потребовалось создать микроскоп нового типа.

К. Кочанский (К. Kochanski; Исследовательская лаборатория фирмы Белл, США) предложил сканирующий туннельный микроскоп для исследования диэлектрических пленок. В нем игла подводится к поверхности пленки, нанесенной на проводящую подложку так же, как в обычном туннельном микроскопе, но на иглу подается не постоянное, а переменное напряжение (частота его изменения в экспериментах составляла 0,66 ГГц), поэтому туннельный ток не блокируется постоянным электрическим зарядом. Правда, между иглой и подложкой возникает не только туннельный, но и ток смещения, обусловленный перезарядкой емкости иглы. Чтобы его отделить, регистрируется сигнал третьей гармоники тока (на частоте 2 ГГц) порожденный нелинейностью туннельного перехода между иглой и пленкой для переменного тока. Автор указывает на три возможных механизма этой нели-

нейности. Третья гармоника детектируется и через систему обратных связей контролирует положение иглы над образцом. Сканирование поверхности ведется так же, как в обычном туннельном микроскопе.

С помощью нового микроскопа исследовались поверхности различных диэлектрических и полупроводниковых пленок. Получено пространственное разрешение около 1 нм. По мнению автора, усовершенствованный прибор можно использовать для изучения поверхностей объемных диэлектриков, получая при этом атомное разрешение.

Physical Review Letters. 1989. Vol. 62.
P. 2285—2288 (США).

Физика

Сколько звездных коллапсов в Галактике!

Группа американских исследователей провела прямое измерение числа звездных коллапсов внутри Галактики. Речь идет о гравитационном «схлопывании» достаточно массивных звезд, в результате чего образуются либо нейтронные звезды, либо черные дыры. С достоверностью 90 % установлено, что число коллапсов не превышает 1,5 в год.

При наблюдении сверхновой 1987А обнаружилось, что, в согласии с современными теоретическими моделями, коллапс сопровождается нейтринной вспышкой. Нейтринный сигнал, записанный в 1987 г., теперь использовался как эталон для обработки последующих или предыдущих событий. Его выделенность по сравнению с другими сигналами объясняется тем, что, например, оптическая вспышка при коллапсе невидима в 75 % случаев из-за поглощения внутригалактической пылью, а сигналы в радио- и инфракрасном диапазонах, хоть и могут достигнуть Земли, но вряд ли будут зарегистрированы из-за малой угловой восприимчивости соответствующих де-

текторов. Только нейтринным детекторам доступен обзор в телесном угле, равном 4л.

Исследовались данные примерно за пять с половиной лет, которые получены на Ирвин - Мичиган - Брукхейвенском детекторе (IMB), предназначенном для поиска распадов протонов. Он представляет собой 8000-тонный водяной детектор черенковского типа и находится в соляной шахте на глубине 600 м, что позволяет значительно уменьшить фон от космических частиц. Нейтрино может с конечной, хотя и очень малой, вероятностью превращаться в электрон, который обнаруживает себя черенковским излучением. В отсутствие фона каждая такая вспышка означает нейтринное событие.

Поиски нейтринных вспышек проводились на трех детекторах, но данные одного из них не использовались из-за необычно большого «мертвого» времени аппаратуры. Комбинированная обработка данных двух других детекторов позволила установить верхний предел числа коллапсов в Галактике.

По мнению авторов работы, это ограничение значительно слабее, чем теоретических предсказаний (например, на основе распределения и времени эволюции звезд — 1 коллапс в 10 лет), так и оценок по косвенным данным (например, по скорости рождения пульсаров — 1 коллапс в 30 лет). Чтобы усилить прямое экспериментальное ограничение до 1 коллапса в 30 лет, необходимо либо увеличить продолжительность эксперимента до 70 лет, либо довести число детекторов до нескольких десятков.

Physical Review Letters. 1989. Vol. 62.
№ 18. P. 2069—2071 (США).

Физика

Миллион лазеров на квадратном сантиметре

Сотрудники Исследовательской лаборатории фирмы Бэлл (Нью-Джерси, США) создали дискретную систему из полупроводниковых микролазеров с ре-

¹ О принципе его работы см., напр.: Суворов А. Л. Лауреаты Нобелевской премии за 1986 г. По физике — Э. Руска, Г. Биннинг, Г. Рорер // Природа. 1987. № 1. С. 100—104.

кордной плотностью элементов — миллион лазеров на 1 см². Использовалась технология, аналогичная производству микросхем в радиоэлектронике. На подложку из арсенида галлия было нанесено 600 чередующихся слоев арсенида галлия и арсенида алюминия, которые затем протравляли, получив двумерную периодическую структуру, каждый элемент которой стал основой для отдельного полупроводникового лазера. Каждый лазер представлял собой цилиндрический полупроводник толщиной 3—5 мкм (что в 10 раз тоньше человеческого волоса) и длиной 5,5 мкм. Ток, потребляемый ими, ничтожно мал — около 1 мА.

Использовать подобную систему микролазеров можно в волоконной оптике, а также для оптических связей между электронными микросхемами. В перспективе устройства, включающие большое число микролазеров, найдут применение в компьютерных системах, имитирующих деятельность мозга.

New Scientist. 1989. Vol. 123. № 1677.
Р. 29 (Великобритания).

Техника

Метод регенерации драгоценных металлов

Современная электроника немислима без применения драгоценных металлов, что порождает проблему более полного извлечения этих металлов из технологических отходов, в частности из промывных вод. До недавнего времени для этого использовали ионообменные смолы, а также электрохимическое выделение драгоценных металлов на катодах с развитой поверхностью, например из графитовой ткани. Основной недостаток таких методов — значительная трудоемкость дополнительных операций по выделению чистого металла из ионообменной смолы или графитовой ткани. Кроме того, указанные методы не позволяют повторно использовать выделенные металлы в технологических процессах.

Этих недостатков лишен метод регенерации драгоцен-

ных металлов из отходов электролитов при их гальваническом осаждении из промывных вод, разработанный в НПО «Темп» (Министерство электротехнической промышленности и приборостроения СССР). Он заключается в ионообменной экстракции металла, например золота или серебра, из водной фазы (отработанные производственные растворы) в органическую (экстрагент). Экстрагентом служат смеси третичных аминов в перхлорэтилене с добавками децилового спирта. Затем проводится обратная экстракция (обратный процесс), в результате чего образуется раствор, с повышенной концентрацией металла, который можно повторно использовать для приготовления или восстановления электролитов гальванического осаждения драгоценных металлов.

Применяемые в этой технологии химические процессы просты в реализации и отличаются высокой эффективностью: 97,9 % серебра извлекаются за 1 мин. Авторами создана компактная, простая в обслуживании и потребляющая незначительное количество электроэнергии установка ПП-330, уже внедренная на ряде предприятий.

Электронная промышленность.
1989. № 6. С. 14.

Биохимия

Новые нейромодуляторы

Некоторые аминокислоты проявляют свойства нейромодуляторов (передатчиков). В частности, гамма-аминомасляная кислота (ГАМК) участвует в передаче нервных импульсов и является медиатором физиологического торможения на уровне центральной нервной системы. ГАМК применяется при лечении эпилепсии, болезни Паркинсона, шизофрении, однако она имеет существенный недостаток — плохо проникает через так называемый гемато-энцефалический барьер, регулирующий обмен веществ между кровью, мозгом и спинномозговой жидкостью. Для введения ГАМК в мозг нужны очень большие дозы

этого препарата, что приводит к побочным эффектам.

Другой подход предложен Р. П. Евстигнеевой с сотрудниками (Московский институт тонкой химической технологии им. М. В. Ломоносова). Для проникновения через гемато-энцефалический барьер нужна большая гидрофобность соединений. Поэтому авторы синтезировали ряд производных ГАМК, присоединив к ней остатки высших жирных кислот (лауриновой, линолевой, линоленовой, пальмитиновой). Эти «жирные хвосты», с одной стороны, выполняют роль переносчиков ГАМК через гемато-энцефалический барьер, а с другой — могут позволить получить препараты с новыми ценными фармакологическими свойствами.

Эксперименты на мышах показали, что такие производные ГАМК обладают жаропонижающими свойствами и улучшают снабжение организма кислородом.

Химический фармакологический журнал. 1989. Т. 23. № 7. С. 817—819.

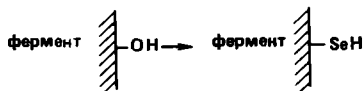
Биохимия

Фермент меняет облик

З. Ву и Д. Хилворт (Z. P. Wu, D. Hilvert; отделение молекулярной биологии Калифорнийской клиники Скриппса) показали, что хорошо изученные ферменты могут широко использоваться для химического конструирования новых биокатализаторов.

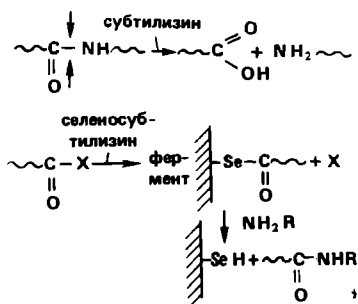
Например, химические подходы применимы для модификации некоторых групп активного центра ферментов. Аминокислота серин, как правило, является ключевой аминокислотой в реакциях, катализируемых сериновыми протеазами (ферментами, расщепляющими пептидные связи в белках). В результате цепочки химических реакций исследователи превратили гидроксильную группу серина (Ser-221) активного центра фермента субтилизина в группу, содержащую вместо кислорода селен (рис. 1).

Изучение биохимических и кинетических свойств нового фермента (селеносубтилизина)



Синтез селеносубтилизина из субтилизина.

показало, что он, в отличие от субтилизина, плохо катализирует гидролиз обычной пептидной связи, но зато ускоряет расщепление модельных соединений, например активизированных ацильных производных белков. При этом образуется устойчивый ацилферментный комплекс. В присутствии акцепторов ацильных групп (например, аминов) ацильный остаток переносится на амин с образованием новой пептидной связи (рис. 2).



Субтилизин гидролизует пептидную связь (вверху), селеносубтилизин синтезирует пептидную связь (внизу).

Итак, субтилизин расщепляет старую пептидную связь, а селеносубтилизин синтезирует новую.

Разница в свойствах «нормального» и селенофермента, по мнению авторов, может быть связана с размерами и электронными характеристиками атомов кислорода и селена (радиус атома кислорода 0,65 Å, селена — 1,16 Å).

Journal American Chemical Society. 1989. Vol. 111. № 12. P. 4513—4514 (США).

Генетика

Подходы к созданию химерного мозга

Получение химер и их органов при большой филогенети-

ческой удаленности скрещиваемых видов — весьма сложная задача. В связи с этим интересна работа сотрудников НИИ морфологии человека АМН СССР, Института биологии развития им. Н. К. Кольцова АН СССР и Института молекулярной биологии им. В. А. Энгельгардта АН СССР по получению химерного мозга насекомых и амфибий.

Донорами служили мушкетеры дрозофилы, а реципиентами — личинки шпорцевой лягушки и ребристого тритона (проведено 37 пересадок мозга). Донорские клетки вентральной (расположенной на брюшной поверхности) нервной закладки вносили непосредственно в закладку нервной системы зародыша амфибии. Контроль за внесенными клетками вели, помещая их, а также по биохимическому анализу генного маркера (аллеля МДГ-4), характерного для дрозофил и отсутствующего у амфибий.

Установлено, что клетки донора насекомого погибают в зародыше амфибии лишь частично, часть их участвует в развитии реципиента и сохраняется в зародыше. Эти чужеродные (химерные) клетки концентрируются в основном в жаберных дугах амфибии. Важно, что создание химерных мозговых структур возможно лишь при трансплантации клеток донора на определенном коротком этапе развития зародыша. Результаты эксперимента вселяют надежду на создание путем генной инженерии жизнеспособных химерных структур (или органов).

Доклады АН СССР. 1989. Т. 305. № 5. С. 1239—1241; 1248—1249.

Иммунология

Антитела... к ферментам

В НИИ медицинской энзимологии АМН СССР (Москва) получены антитела к пептидному фрагменту из активного центра фермента лактатдегидрогеназы. Этот фермент метаболизма имеет важное диагностическое значение.

Синтетические пептиды, соответствующие определен-

ным аминокислотным последовательностям в белках, как и пептиды, полученные гидролизом белковых молекул, могут вызывать образование антипептидных антител. Эти антитела обычно получали к разнообразным пептидам, соответствующим аминокислотным последовательностям вирусных белков (антигенным детерминантам, или эпитопам).

Существует несколько точек зрения на локализацию эпитопов в белковых молекулах. Согласно одной, они связаны с аминокислотными остатками, определяющими видовые различия белков, по другой — их положение обусловлено структурными особенностями всей молекулы. Иммуногенной может быть вся поверхность белка, состоящая из перекрывающихся эпитопов.

Выяснение структуры антигенных детерминант ферментов открывает возможность получения антител только к одной антигенной детерминанте. Использование этого подхода важно для изучения структуры активного центра ферментов и биохимических превращений самих ферментов, а также для практических целей (получения иммуносорбентов, иммуоферментного анализа и т. д.)

Показано, что пептид из 34 аминокислот, полученный в результате гидролиза трипсином фермента лактатдегидрогеназы и содержащий аминокислоту гистидин-195 активного центра фермента, обладает антигенной активностью. При иммунизации этим пептидом, связанным с бычьим сывороточным альбумином, образуются антитела. Они тормозят каталитическую активность исходной лактатдегидрогеназы, прочно связываясь с ферментом. Следовательно, гистидин-195 активного центра входит в состав антигенной детерминанты этого фермента.

Итак, пептид из 34 аминокислот можно использовать для получения антипептидных анти-

¹ Гребенщикова О. Г., Андрианова Л. Е., Прозоровский В. Н. // Биохимия. 1989. Т. 54. Вып. 3. С. 361—369.

² Они же. // Иммунология. 1989. Т. 4. С. 28—31.

тел к активному центру лактат-дегидрогеназы и исследования взаимодействия этих антител с данным ферментом.

© В. В. Шумянцева,
кандидат химических наук
Москва

Вирусология

Секрет противовирусной активности интерферона

Исследователи из Лейденского университета (Нидерланды) показали, что для проявления противовирусной активности α -интерферона необходимо наличие двух остатков аминокислоты цистеина (Cys) в положениях 1 и 86 молекулы белка. Молекулы интерферонов человека, быка, мыши, крысы содержат 5 остатков цистеина в положениях 1, 29, 86, 99 и 139, из которых первая и четвертая, а также вторая и пятая соединены дисульфидными связями.

В экспериментах по направлению мутагенезу на интерферонах человека и крысы

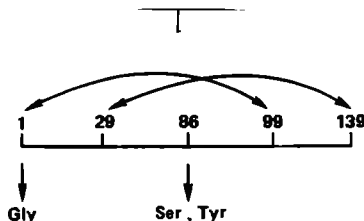


Схема молекулы интерферона (положения молекул цистеина отмечены номерами, дисульфидные связи между ними — стрелками).

ученым удалось получить мутантные интерфероны, содержащие вместо Cys-1 — глицин (Gly-1), а вместо Cys-86 — серин или тирозин (Ser-86 или Tyr-86).

Эти мутантные интерфероны исследованы в сравнительных тестах на противовирусную активность (см. табл.). Авторы считают, что поскольку Cys-86 не образует дисульфидные связи, именно этот остаток ответ-

Противовирусная активность мутантных интерферонов

Тип интерферона	Человеческий	Крысиный
Природный	1,0	1,0
Ser-86	0,39	0,1
Tyr-86	0	0,01
Ser-1	0,05	0,05
Gly-1	0	0,02

ствен за связывание с рецепторами интерферона.

FEBS Letters. 1989. Vol. 249. No 2. P. 186—188. (Нидерланды).

Иммунология

Миелопептиды — переносчики нейроиммунного взаимодействия

Известно, что в нервной регуляции иммунных функций участвуют многие нейротрансмиттеры и нейрогормоны, однако переносчики обратной связи — от иммунной к нервной системе — долгое время оставались неизученными.

В 70-х годах из костного мозга были выделены биологически активные вещества пептидной природы, названные впоследствии миелопептидами (МП)¹. Они стимулируют иммунный ответ при различных формах врожденных и приобретенных иммунодефицитных состояний, а также оказывают обезболивающее действие. Инъекции МП ослабляли электрофизиологические и поведенческие реакции на повреждающие раздражения². По составу МП близки эндогенным опиоидным пептидам и одинаково связываются с соответствующими рецепторами клеток как иммунной, так и нервной систем.

¹ Петров Р. В., Михайлова А. А., Захарова Л. А. // Патофизиология и эксперим. терапия. 1986. № 1. С. 7—12.

² Василенко А. М. Стресс-лимитирующее и антиноцицептивное действие миелопептидов // Новое в иммунологии и терапии психических заболеваний. М.: ВНИЦПЗ, 1988. С. 23—26.

Недавно получены новые данные о влиянии МП на болевую чувствительность. Оказалось, что низкие (10^{-3}) дозы МП не обезболивают, а усиливают реакции на болевые раздражения, что сопровождается 3—10-кратным повышением гуморального иммунного ответа. Большие же дозы МП, оказывающие обезболивающий эффект, слабо влияют на иммунный ответ животных³. Повышение болевой чувствительности (при низких дозах МП), по-видимому, активизирует поведенческие защитные реакции, позволяя избежать повреждающего воздействия. Они дополняются мобилизацией механизмов иммунной защиты, которые могут понадобиться, если повреждение все-таки произойдет и в организм попадет генетически чужеродный материал. Такая интерпретация биологической роли МП подтверждается результатами изучения их действия в лабораторных моделях стресса.

Под влиянием стрессовых воздействий, имитирующих плавание и пребывание на высоте 7 км, количество клеток, образующих антитела у мышей существенно снижалось (т. е. наблюдалось угнетение иммунного ответа). Введение МП до начала эксперимента и во время его предупреждало развитие этих явлений⁴. Таким образом, МП обеспечивают естественную защиту организма от повреждающего действия стресса, координируя систему контроля боли и иммунного надзора.

³ Василенко А. М., Яновский О. Г., Захарова Л. А. // Доклады АН СССР. 1989. Т. 306. № 2. С. 14—17.

⁴ Кирилина Е. А., Василенко А. М., Захарова Л. А., Михайлова А. А. // Иммунология. 1989. № 1. С. 41—43.

Сейчас успешно используется миелопид — препарат, созданный на основе природных МП. В Институте биоорганической химии им. М. М. Шемякина АН СССР разрабатываются синтетические препараты строго направленного действия, позволяющие регулировать молекулярные механизмы нейромимного взаимодействия. Изучается и возможность безлекарственной регуляции миелопептидного механизма. В недалеком будущем, возможно, станут известны новые механизмы нейромимного взаимодействия, управление которыми позволит успешнее бороться с непообежденными пока заболеваниями.

© А. М. Василенко,
кандидат биологических наук
Москва

Медицина

Пальпация ускоряет образование метастазов

Пальпация (прощупывание) — самый распространенный способ первичного выявления опухолей молочных желез. Результаты экспериментов группы немецких исследователей во главе с Р. Фишером (R. Fischer) свидетельствуют о небезопасности этого метода. Опыты проводили на мышах, в хвосты которых пересаживали опухоли молочной железы. Далее пересаженные опухоли подвергали механическому воздействию с силой от 0,04 до 0,4 атм, близкому к испытываемому молочной железой при пальпации. Затем хвосты с опухолями ампутировали и через 18 дней проводили микроскопическое исследование легких мышей на предмет выявления в них метастазов. Оказалось, что пальпация усиливает образование метастазов независимо от величины опухоли и силы давления.

Основываясь на полученных данных, авторы рекомендуют осуществлять пальпацию при медицинских осмотрах с особой деликатностью.

Zentralblatt für allgemeine Pathologie und pathologische Anatomie. 1989. Vol. 135. № 23. P. 197 (ФРГ).

Психология

Порнография вредит интимной жизни зрителя

З. Дольф и Б. Дженнингс (Z. Dolf, B. Jennings; Университет штата Индиана, США) изучали влияние порнофильмов на удовлетворенность зрителей собственной половой жизнью, которую оценивали с помощью трех специальных опросников. Испытуемые (80 человек) по одному разу в неделю в течение семи недель смотрели фильмы со сценами гетеросексуальных контактов. В контрольной группе (80 человек) в том же режиме демонстрировались фильмы с несексуальными сюжетами. Как молодые (студенты), так и люди зрелого возраста, входившие в экспериментальную группу, отмечали нарастание неудовлетворенности собственной половой жизнью. Это выражалось в снижении оценок физической привлекательности партнеров и увеличении критического отношения к их сексуальному поведению. Негативные последствия просмотров порнофильмов были одинаково выражены у женщин и мужчин.

Journal of Applied Social Psychology. 1988. Vol. 8. № 5. P. 438—453 (Великобритания).

Биология

Черепаха зимует в замороженном виде

В Канаде встречается пестрая черепаха (*Chrysemys picta marginata*), которая в зимнее время не просто впадает в спячку, а полностью превращается в «ледышку». Эту ее необычную особенность изучала группа канадских зоологов из Гуэлфского и Карлтонского университетов в провинции Онтарио во главе с герпетологом К. Стори (K. Storey).

Самка пестрой черепахи откладывает яйца летом, для чего в рыхлой земле роет неглубокую бороздку. Осенью из яиц вылупляются детеныши. Однако они вовсе не спешат покинуть свое укрытие, а зарываются еще

глубже в почву, оберегая себя как от холодов, так и от хищников.

Измерив температуру в этих бороздках, исследователи установили, однако, что и там она падает до минус 8 °С. Более половинны влаги, содержащейся в теле черепахи, превращается в лед. Обычно в подобных случаях клетки организма сжимаются до такой степени, что разрушаются и отмирают. У пестрой же черепахи в тканях, как выяснилось, необычно много глюкозы, глицерина и таурина (β-аминоэтансульфоновая кислота). Именно эти вещества не дают клетке погибнуть от мороза. Стоит погоде потеплеть, как у черепахи сердце начинает биться, появляется пульс, дыхание, а затем способность нормально двигаться и кормиться.

Но при сильном охлаждении возникает еще и нехватка кислорода: когда кровь замерзает, прекращается его доставка во все ткани. Правда, некоторые функции организма сохраняются благодаря анаэробному обмену, но для этого необходимы огромные запасы глюкозы. Как раз это и подтвердили теперь канадские ученые.

Удивителен еще один, пока не нашедший объяснения факт: ранней весной, когда уровень спасительных веществ в организме черепахи уже заметно снизился, она все еще способна перенести новые заморозки.

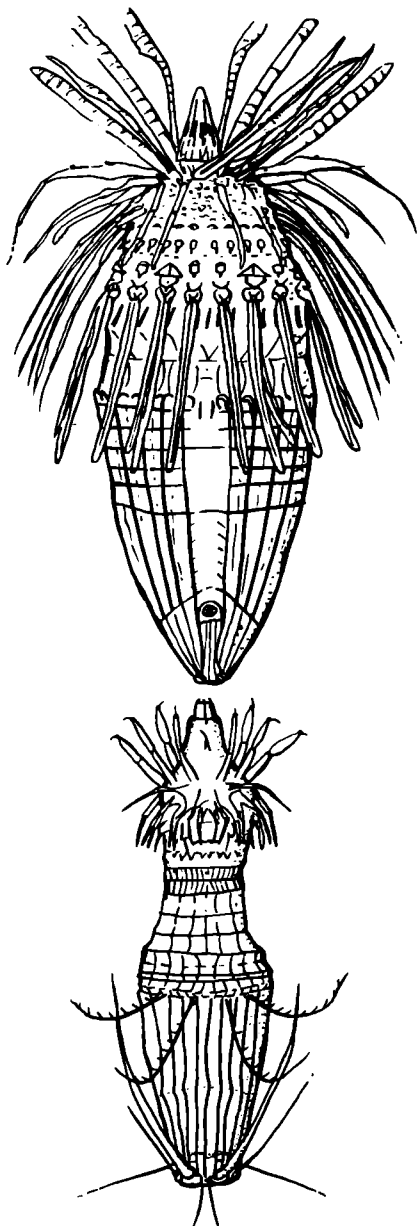
Выводы канадских ученых важны не только для герпетологов; они могут помочь также биологам и медикам, занимающимся пересадкой органов и стоящих перед проблемой: как сохранять органы в замороженном виде.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 1989. Vol. 85. P. 8350 (США); New Scientist. 1989. Vol. 122. № 1658. P. 28 (Великобритания).

Зоология

Новый класс беспозвоночных!

Изучение морских беспозвоночных, обитающих на разных глубинах, приносит новые открытия. Новых животных и



Внешний вид лорицифер: сверху — взрослая особь, внизу — личинка.

целые таксономические группы открывают даже на мелководьях. Датский зоолог Р. Кристенсен, изучая морскую фауну около знаменитого старинного замка Эльсинор на глубине около 10 м обнаружил два экземпляра странного по строению животного¹. К сожалению, при попыт-

ке фиксации оба экземпляра разрушились. Сходные формы он же находил позднее у побережья Гренландии, но также не смог их сохранить. Наконец, на морской биологической станции в Роскофе (Франция) ему удалось надежно зафиксировать, а затем изучить и описать этих удивительных животных, получивших название лорицифер. Эти мелкие организмы (длиной до 380 мкм) состоят из хобота и туловища. Разработана первая система лорицифер, которые, как выяснилось в последние годы, широко распространены до глубины 437 м². Возможно, что мы имеем дело с представителями нового типа беспозвоночных животных, которые пока очень плохо изучены.

Зоологи из МГУ и Института биологии моря ДВО АН СССР (Владивосток) показали³, что лорициферы сочетают ряд признаков приапид и киноринхов и представляют собой своеобразную переходную группу между ними; строение личинок лорицифер близко к строению личинок волосатиков, что может указывать и на их отдаленное родство. Похоже, что лорициферы — это новый класс морских головохоботных червей и должны быть включены вместе с тремя другими классами в тип Cephalorhyncha.

© Н. А. Мягков,
кандидат биологических наук
Москва



Охрана природы

Искусственные гнездовья для хищных птиц

Среди причин сокращения численности хищных птиц на одно из первых мест вышло изменение их местообитания под влиянием человеческой деятель-

ности. Чтобы снизить дефицит пригодных для гнездования мест, необходимо строить искусственные гнездовья, отвлекающие птиц от нежелательных для человека или опасных для них самих мест и, наоборот, привлекая на охраняемые или богатые кормом территории. За рубежом такой экологической системы управления поведением животных уделяется большое внимание, у нас приобретает первый положительный опыт.

Гнездовые платформы для крупных хищных птиц — беркута, орлана-белохвоста, скопы, змееяда — с успехом применяются в Витебской области В. В. Ивановским. На платформе из досок или крупных веток имитируется старое гнездо. Для одних видов оно укрепляется на верхушке дерева, для других — у основания толстой боковой ветви в верхней части кроны¹. Для скопы, например, гнездовья сооружаются не далее 4 км от богатых рыбой крупных водоемов; искусственные гнездовья для нее устраиваются и в Березинском заповеднике².

Методика привлечения хищных птиц среднего размера (подорлики, канюки, осоеды, ястребы) разработана в Литве Э. Дробялисом. Из деревянных планок или крупных веток связывается проволокой или сбивается рама около 1 м в поперечнике. На нее укладывают хворост толщиной 30—40 см наподобие округлого гнезда, а в середину — немного сухой травы и мха. Такие гнездовья устанавливаются с учетом экологических и этологических требований конкретных видов³.

Скопы не строят гнезд сами — они занимают старые постройки врановых птиц и дру-

¹ Kristensen R. M. // Z. zool. Syst. Evolutions-forsch. 1983. Vol. 21. № 3. P. 163—180.

² Higgins R. P., Kristensen R. M. // Smithsonian Contr. Zool. 1986. Vol. 20. P. 1—60.

³ Адрианов А. В., Малахов В. В., Юшин В. В. // Биология моря. 1989. № 2. С. 70—72.

¹ Подробно о методике сооружения гнезд см.: Ивановский В. В. // Опыт привлечения редких хищных птиц в искусственные гнездовья. БелНИИТИ, 1985. Информ. листок № 49.

² Белко Н. Г. К вопросу о привлечении скопы в искусственные гнездовья // Редкие, исчезающие и малоизученные птицы СССР. М., 1986. С. 104—109.

³ Дробялис Э. Искусственные гнездовья для хищных птиц. // Экология и поведение птиц. М., 1988. С. 162—172.

гих хищников. Для мелких соколов — пустельги, кобчика, дербника, чеглока — заменить воронье гнездо может открытый сверху деревянный ящик. Такой тип гнездовой применяется с 1979 г. в Наурзумском заповеднике Е. А. Брагиным¹. Ящики делаются из нестроганных досок толщиной 20 мм; в более высоких (25 см) охотно гнездится кобчик, в более низких (15 см), но более широких — другие мелкие соколы, а также ушастая сова. Развешиваются ящики в лесополосах и на опушках — к ним должен быть хороший подлет.

Чем больше будет искусственных гнездовий в разных регионах нашей страны, тем больше шансов сохранить хищных птиц, а может быть, и увеличить их численность.

© В. Н. Грищенко
Киев

Охрана природы

Кораллы и нефть

В 1986 г. в результате крупной аварии на нефтеочистительном заводе в Панаме большое количество нефти попало на побережье Карибского моря около о. Галета. В затронутом катастрофой районе находится биосферный заповедник, где ранее уже исследовались последствия аналогичной аварии, случившейся в 1968 г. Это позволило провести сравнительный анализ.

Ранее считалось, что разлившаяся нефть не наносит серьезного вреда коралловым постройкам, расположенным глубже приливного уровня. Теперь подобное предположение опровергнуто работами группы во главе с Дж. Джексоном (J. Jackson; Институт тропических исследований, Бальбоа, зона Панамского канала).

Установлено, что погибло от 51 до 96 % кораллообразующих организмов, существовавших на глубине до 3 м, и около 45 % обитавших на глубине от 9

до 12 м. В местах, куда нефть не попала, кораллы сохранились. Некоторые из сохранившихся коралловых образований серьезно пострадали: обесцветились, на них появилась слизь, бактериальные загрязнения. Пострадали также беспозвоночные зоантиты (*Zoanthus sociatus*), гидрокораллы (*Millerpora*) и склерактиновые кораллы (*Porites*).

Сразу после загрязнения на обнажившихся поверхностях кораллов началось массовое цветение зеленой водоросли (*Halimeda*). Аналогичный процесс ранее наблюдался после тропических ураганов, нарушавших сбалансированность жизни на кораллах. Серьезные негативные последствия ожидали и других представителей флоры и фауны. Погибли мангровые заросли в полосе, протянувшейся на 27 км вдоль побережья. Они заселяли главным образом проливы между островами и заболоченные берега. Так как здесь водообмен слаб, нефть оставалась дольше и сильнее впиталась в дно.

До аварии в корнях мангров встречалось много видов водорослей и беспозвоночных — губок, гидродов и других организмов. В проливах корни мангров служили убежищем для устриц, усюногих раков и двусторчатых моллюсков. Все они появились вновь лишь через 15 мес.

По мнению исследователей, полученные результаты объективно отражают реальные последствия подобных аварий.

Science. 1989. Vol. 243. № 4887. P. 37 (США); New Scientist. 1989. Vol. 121. № 1649. P. 39 (Великобритания).

Охрана природы

Безрогий носорог — в безопасности!

Безжалостное браконьерство поставило африканского носорога на грань исчезновения. За последние 15 лет его численность сократилась более чем на 65 тыс.

Не совсем обычная мера для сохранения носорогов при-

менена в Намибии, где за 1989 г. было уничтожено лишь 16 животных. Управление охраны природы решило в порядке эксперимента отпилить рог у нескольких черных носорогов, населяющих отдаленную полупустынную область Дамараленд. Лишенное «украшения» животное теряет привлекательность для браконьера (цена рога достигает 50 тыс. фунт. ст., главные рынки сбыта — Йемен, где по традиции изготавливают костяные рукоятки для кинжалов, и страны Дальнего Востока, в которых порошок из рога издавна считается лекарством).

Некоторые специалисты считают, что в результате носорог лишается единственного средства обороны от хищников. Другие же указывают, что главный враг этого животного — человек. Пока такая мера применяется лишь в экспериментальном порядке и только в пределах Дамараленда, где естественных врагов у носорога почти нет.

New Scientist. 1989. Vol. 122. № 1666. P. 33 (Великобритания).

Экология

Уровень звука симфонического оркестра

Специальных гигиенических норм уровня звука для музыкантов-исполнителей нет, но хорошо известно, что поражения слуха наблюдаются при уровнях выше 90 дБА. Интересные исследования провели болгарские ученые из Института гигиены и профессиональных заболеваний при Медицинской академии¹.

Они измеряли уровни звука оркестра на репетициях и представлениях Национального академического театра оперы и балета. При исполнении произведений различных жанров (опера и балет, классические и современные) записыва-

¹ Брагин Е. А. Рекомендации по привлечению и охране хищных птиц в островных лесах Северного Казахстана. Алма-Ата, 1988.

¹ Горанова Л., Москов Я. // Резюме V Научно-технической конференции с международным участием на тему: «Акустична среда, методи и средства за оценка и защита». Варна, 15—17.10.1987. С. 68.

лись также уровни звука разных групп инструментов: струнных, медных, ударных. Определялся средний и эквивалентный² уровни звука и его спектральный состав.

Зарегистрированные уровни оказались высокими: за одно исполнение эквивалентные уровни варьируют от 89 до 96 дБА, отдельные пиковые (максимальные) достигают 110 дБА. Разница между исполнительскими группами струнных и ударных инструментов составляет до 10 дБА; существенных различий по частоте не выявлено. Более высокие уровни звука отмечены при балетных постановках.

На основе репертуарного плана были оценены средние за неделю и за день нагрузки на отдельных музыкантов, а по анкетам определено время на самоподготовку. По данным измерений и расчетов определена допустимая акустическая нагрузка на одного музыканта: 86—88 дБА эквивалентного уровня. Согласно рекомендации № 1996 Международной организации по стандартизации (ISO), такой уровень позволяет исключить повреждения слуха у исполнителей симфонической музыки.

© С. А. Солдаткина,
кандидат медицинских наук
Москва



Экология

Акустическое загрязнение океанских вод

Биоокеанолог и эксперт по биоакустике рыб А. Майберг (A. Myrberg; Университет штата Майами, США), обработав материалы различных наб-

людений за десятилетний период (1978—1988), пришел к выводу, что многие виды рыб, морские млекопитающие с высокочувствительными слуховыми органами испытывают вредные воздействия от сильных шумов, возникающих при подводных взрывах, бурении дна или работе ледокола в мощных льдах.

Рыбы, собирающиеся, например, у буровых нефтяных платформ, глохнут до такой степени, что у них значительно угасает инстинкт поиска добычи. Спасаясь от шума, они уходят на глубину, а там легко находят рыб, которые от шумовой нагрузки утратили инстинкт самосохранения и, не замечая приближения хищников, становятся объектом их удачной охоты. Автор отмечает, что искусственно создаваемые мощные звуковые поля вызывают в косяках рыб хаотические движения, нарушают пути традиционных миграций.

Уже ставшее малочисленным стадо гренландских китов в море Бофорта избегает встреч с работающими там буровыми судами, даже если они оказались на пути их миграций. Ни один из 120 замеченных гренландских китов не приближался к судам на расстояние менее 10 км. Серые калифорнийские киты, белухи, нарвалы тоже избегают крайние сильные шумов и свою реакцию на них выражают через свойственные им «сигналы бедствия».

Акустическое загрязнение, очевидно, неблагоприятно отражается и на показателях рыбного промысла.

Environment. 1989. Vol. 31. № 1. P. 21 (США).

Океанология

Международные исследования биопродуктивности Берингова моря

В Мировом океане наибольшая биологическая продуктивность приурочена к континентальному шельфу. В силу особенностей геологической истории северная часть Берингова моря, ограниченная о. Св. Лаврентия, и южная часть Чукот-

ского моря вблизи Берингова пролива представляют собой обширные мелководные районы, аналогичные шельфу (это современное гигантское подводное плато, простирающееся более чем на 1 тыс. км, является остатком Берингоморского сухопутного моста, некогда соединявшего Азию с Америкой). В короткий период полярного лета, когда солнце круглосуточно освещает водную толщу, здесь наблюдаются максимальные для всего Мирового океана скорости роста фитопланктона. Исследование первичной биопродуктивности и процессов переноса органических веществ по пищевой цепи вплоть до их отложения в донных осадках стало объектом международного научного проекта ISHTAR (Inner Shelf Transfer and Recycling in the Bering and Chukchi Seas). В проекте, помимо головного учреждения — Института морских наук при Университете штата Аляска (Фэрбенкс, США), участвуют университеты штатов Вашингтон (Снэтл) и Техас (Даллас), Южнофлоридский университет (Майами) и Бруклейнская национальная лаборатория (Аптон), а также ученые Орхусского (Дания), Льежского (Бельгия) университетов и Национального института полярных исследований Японии (Токио). С июля 1988 г. к работе подключились советские специалисты на борту научно-исследовательского судна «Академик Королев».

До сих пор предполагалось, что основным поставщиком неорганических питательных веществ, поддерживающим высокую продуктивность фитопланктона в данном регионе, являются стоки р. Юкон. Однако оказалось, что их влияние ограничивается лишь прибрежными районами. Исследователи обратили внимание на другой возможный источник — малоисследованное ранее Анадырское течение, начинающееся в южной, глубоководной части Берингова моря, а затем проникающее мощным потоком в северную часть через Анадырский пролив. К северо-востоку от пролива глубина дна резко уменьшается. Набегая на это препятствие, Анадырское течение поднимается к поверхности, образуя апвеллинг, хорошо ви-

² Эквивалентный уровень звука — постоянный шум соответствует уровню звука постоянного шума, оказывающего такое же воздействие, как и данный непостоянный шум. Измеряется в децибеллах по шкале А шумомера, в которой учитываются физиологические особенности восприятия ухом человека звуков разной частоты.

Океанология

Аномальное распределение биогенов в океане

Биологическая продуктивность Мирового океана в значительной мере определяется присутствием в воде неорганических питательных веществ (биогенов), служащих основой роста первичного звена пищевой цепи — растительного фитопланктона. К основным группам биогенов относятся соединения азота (нитраты и нитриты) и фосфора (фосфаты). Поскольку биогены активно потребляются фитопланктоном, как правило, в поверхностном слое наблюдается их дефицит, за исключением районов апвеллинга, где происходит подъем глубинных вод, богатых биогенными веществами. Однако в последнее время появился еще один источник поступления в океан соединений азота — антропогенное загрязнение атмосферы. Но так как потоки антропогенного азота из атмосферы в океан сравнительно невелики, полагали, что это не оказывает существенного влияния на распределение биогенов. К противоположному выводу пришел К. Фаннинг (К. А. Fanning; Южнофлоридский университет, Санкт-Петербург, штат Флорида, США).

Проанализировав большие массивы гидрохимических данных по всему Мировому океану, полученных в ходе выполнения международных программ 1972—1978 и 1981—1983 гг., он выявил новые закономерности в географическом распределении областей дефицита различных групп биогенов.

На большей части открытых акваторий Мирового океана преобладает азот-дефицитное состояние: нулевые (точнее, ниже порога чувствительности метода определения) концентрации соединений азота в сочетании с низкими (но регистрируемыми) концентрациями фосфатов. Однако в двух районах — Северной Атлантике и северо-западной части Тихого океана, расположенных на пути переноса атмосферных загрязнений от главных их мировых

источников — восточного побережья США и восточного побережья Азии, обнаружено аномальное, фосфор-дефицитное состояние.

Фаннинг предлагает следующее объяснение: в районах сильного атмосферного загрязнения дополнительно поступающие в океан из атмосферы соединения азота стимулируют усиленный рост фитопланктона, который полностью потребляет имевшиеся в небольших количествах фосфаты; при этом соединения азота в небольших количествах в воде сохраняются. Если принять действенные меры против загрязнения атмосферы, считает Фаннинг, аномальное фосфор-дефицитное состояние в указанных районах вернется к обычному, азот-дефицитному.

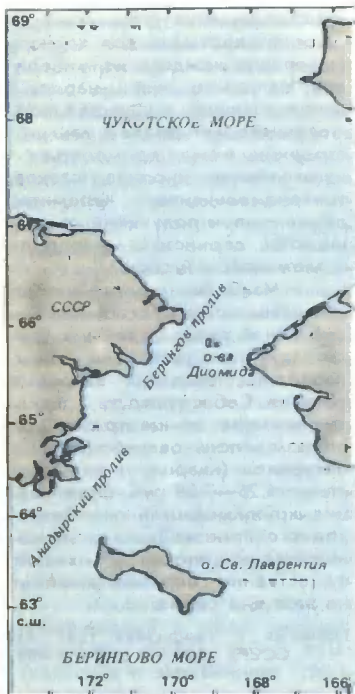
Nature. 1989. Vol. 339. № 6224. P. 460—463 (Великобритания)

Океанология

Кругосветное плавание «Жана Шарко»

Геологическое общество Франции 2—3 марта 1989 г. на своем специальном коллоквиуме по теме «Океаны» обсудило результаты 38 рейсов научно-исследовательского судна «Жан Шарко», которые в целом составили кругосветное плавание, длившееся 4 года (1983—1987).

«Жан Шарко» — универсальное научно-исследовательское судно, способное обеспечить работы по всем разделам современной океанологии. На нем размещены 12 лабораторий, оснащенные новейшей аппаратурой; на борту судна могут находиться спускаемые на глубину обитаемые аппараты «Сиана», «Нотиль», а также подводный автономный аппарат «Эполяр». Во время рейсов были реализованы обширные программы, особенно по геологии и биологии океана. Полученные с помощью обитаемых подводных аппаратов материалы пока находятся в обработке. В научной тематике приоритет был отдан таким вопросам, как тектоническая эрозия, образование транс-



Район исследований по международному проекту ISHTAR.

димый на спутниковых изображениях. Богатые питательными веществами глубинные воды Берингова моря и служат основой повышенной продуктивности фитопланктона. Высказано предположение, что изменчивость биопродуктивности региона связана с изменчивостью динамики Анадырского течения, которая, в свою очередь, определяется климатическими и погодными факторами. Проще говоря, чем сильнее течение, тем обильнее снабжает оно фитопланктон питательными веществами, увеличивая продуктивность и на последующих звеньях пищевой цепи.

Важным обстоятельством, позволившим сделать подобные заключения, явилось сотрудничество между океанологами США и СССР, благодаря которому американские ученые впервые получили возможность вести исследования в прибрежных водах Советского Союза. Institute of Marine Science Notes. 1989. Vol. 9. № 1. P. 2—3 (США).



формных разломов срединно-океанических хребтов, жидкие и газообразные флюиды гидротермальных источников, условия возникновения металлоносных корок, процессы осадконакопления в Тихом океане, раскрывающие проблемы палеоокеанологии, население батии (континентального склона).

Обработанные и обобщенные материалы рейсов «Жана Шарко» будут опубликованы в трех томах: I — описание рейсов, II — атлас рельефа дна океанов, построенного с помощью многолучевого эхолота системы «Sea Beam», III — обобщающие статьи.

Четырехлетнее плавание «Жана Шарко» возродило традицию кругосветных океанографических экспедиций, заложенную английским корветом «Челленджер» в 1872—1876 гг. Последними научно-исследовательскими судами, отдавшими дань этой традиции, были шведский «Альбатрос» (1947—1948) и датская «Галатhea» (1950—1952).

Geochronique. 1989. № 30. P. 9 (Франция)

Геология

Перспективы Базыбайского месторождения

Г. Г. Лепезин, В. Д. Семин, С. А. Степанов, Г. П. Медведев и З. Ф. Семина (Институт геоло-

Французское научно-исследовательское судно «Жан Шарко». Его длина 74,5 м, ширина — 7,45 м, водоизмещение — 2200 т, мощность главного двигателя — 2300 л.с.

гии и геофизики СО АН СССР, Новосибирск) предложили схему безотходного обогащения кварц-силлиманитовых руд Базыбайского месторождения, расположенного на юге Красноярского края.

Силлиманит и его химические аналоги обладают хорошими огнеупорными свойствами (изготовленные из них огнеупоры широко применяются в горной металлургии и сталелитейной промышленности), на их базе электротермическим способом получают кремне-алюминиевые сплавы (силумин), создают керамику, глазури, эмали, высоковольтный фарфор, фрикционный материал тормозных колодок и другие ценные изделия.

Среди известных в Сибири месторождений минералов группы силлиманита Базыбайское имеет серьезные преимущества: его запасы оцениваются в сотни миллионов тонн, а выработку можно вести открытым способом; оно расположено в экономически развитом районе и сравнительно недалеко от глиноземных и алюминиевых предприятий Красноярского края; наконец, простой состав руды (преимущественно кварц и силлиманит, а также пирит — 1—3 %, рутил — менее 1 %, слюда — около 1 %) и выраженная

кристаллическая структура создают предпосылки для полного выделения каждого из минералов. Например, кварц, наряду с использованием в качестве формовочного материала в машиностроении, может применяться в изготовлении кирпича, стекла, тонкоизмельченной керамики; пирит — при получении серной кислоты, сернистого ангидрида и элементарной серы.

Наиболее перспективно гравитационное обогащение базыбайской руды в тяжелых средах, при этом суспензии можно разделять, создавая вихревые течения. Себестоимость 1 т силлиманитовых концентратов при полном использовании попутных продуктов (кварца, пирита) составит 6,26—7,09 руб. Организация крупномасштабного безотходного производства силлиманитовых концентратов позволит существенно сократить дефицит на этот вид сырья.

Геология и геофизика (СО АН СССР). 1989. № 6. С. 80—87.

Петрология

Модификации кремнезема при высоких давлениях

Советский геолог В. Н. Лодочников и английский физико-химик У. Рамзей около 50 лет назад предположили, что нижняя мантия и внешнее ядро Земли имеют одинаковый химический состав. По мнению Рамзея, на границе ядро — мантия при давлении 1360 кбар силикаты или оксиды переходят в жидкую металлическую фазу, формирующую внешнее расплавленное ядро. Эта до сих пор не подтвержденная идея стимулировала ряд теоретических и экспериментальных работ по поиску плотных модификаций минералов мантии при высоких давлениях.

Наиболее интересны фазовые превращения в кварце (SiO_2) — самом распространенном породообразующем минерале. В его кристаллической структуре ион Si^{4+} окружен ионами кислорода, расположенными в вершинах тетраэдра; поэтому координационное число (к. ч.) кремния равно 4.

Сцепленные друг с другом тетраэдры образуют кристаллическую структуру кварца, устойчивую при давлениях до 30—35 кбар. При более высоких давлениях кварц преобразуется в новую плотную модификацию — коэсит, основу структуры которого тоже составляют тетраэдры из ионов кислорода. При давлениях около 100 кбар синтезирована еще более плотная модификация SiO_2 — стишовит с к. ч. кремния равным 6. Обе эти модификации обнаружены в природных условиях. Однако кристаллохимический анализ структурных превращений указывает на возможность существования плотных модификаций кремнезема с еще более высокими к. ч. В природе они пока не обнаружены, но их синтез вероятен при сверхвысоких давлениях, характерных для мантии.

Исходя из структурных превращений в таких оксидах, как SiO_2 , TiO_2 , SnO_2 , Al_2O_3 , советские и зарубежные специалисты сообщали¹ о возможности перехода в еще более плотные модификации типа α — PbO_2 , Fe_2N , CaF_2 , MgCu_2 и др., что позволяет, правда с большой осторожностью, интерпретировать химический состав внешнего ядра на основе гипотезы Лодочникова — Рамзея.

Недавно японские ученые из Института физики твердого тела при Токийском университете² провели эксперименты, подтверждающие фазовые превращения в стишовите. Они помещали образцы природного кристаллического кварца, а также аморфного кремнезема между двумя крошечными алмазными наковальнями и просвечивали их рентгеновскими лучами. Из наблюдений следовало, что при давлениях около 1000 кбар структура SiO_2 становится неустойчивой и преобразуется в орторомбическую структуру типа CaCl_2 с плот-

ностью, незначительно превышающей плотность стишовита. Однако при понижении температуры и давления до комнатных в образцах обнаружен только стишовит. Это свидетельствует, что переход является обратимым и незакаливаемым. Именно по этой причине в природных условиях более плотные, чем стишовит, модификации SiO_2 до сих пор не обнаружены. Тем не менее нельзя исключать их существование в нижней мантии Земли.

© О. Л. Кусков,
доктор химических наук
Москва

Геофизика

Наклоны земной поверхности в районе водохранилища

Как известно, крупные водохранилища оказывают заметное воздействие на окружающую геологическую среду, нередко вызывая значительные деформации (например, оползни и т. п.). Одним из методов исследования подобных деформаций служит измерение наклонов земной поверхности.

Д. Г. Гриднев, Ю. К. Сарычева и В. Ю. Тимофеев (Институт геологии и геофизики СО АН СССР, Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР) на основе наблюдений в районе водохранилища Иркутской ГЭС детально исследовали природу таких наклонов.

Измерения велись с сентября 1979 г. по апрель 1982 г. на приливной станции Иркутск 1 наклономерами с кварцевой системой чувствительностью 2000 мм/сек дуги. Зарегистрированы периодические (от одних до нескольких суток) наклоны земной поверхности на фоне постоянного хода с месячным изменением наклона до 30". В среднем за период наблюдений изменение составляло 190" в год, а с сентября 1979 г. по ноябрь 1981 г. полный ход наклона (на СЗ) достиг 310".

Причины наклонов служат изменения температуры, атмосферного давления и уровня водохранилища. Влияние суточ-

ных вариаций атмосферного давления не превышает 0,01", а за год — 0,1". При расчете наклонов, вызванных изменениями температуры, оказалось, что амплитуда годовых наклонов в 2—3 раза больше суточных и составляет 2—3". Главным фактором, определяющим наклон, является изменение уровня водохранилища. При этом сезонный (долгопериодический) эффект отличается от эффекта быстрого, связанного со сбросом воды и падением уровня всего за несколько часов. Так, резкое падение уровня на 0,8 м привело к изменению наклона в направлениях ЮВ—СЗ (в сторону Байкала) на 2", а в направлении ЮЗ—СВ — на 10". Колебание уровня ведет к изменению гравитационного эффекта водохранилища (уклонение отвеса в точке наблюдений); изменению уровня грунтовых вод; деформации пород вследствие изменения нагрузки. Установлено, что при сбросе воды происходит опускание склона, обращенного к водохранилищу, на 10" в направлении на СВ. При этом фильтрующая вода увлекает за собой мелкие частицы, что повышает проницаемость, ускоряет фильтрацию и ведет к выносу более крупных частиц. Развитие этого процесса может провоцировать оползни.

Изучение природы деформаций земной поверхности позволяет прогнозировать их масштабы, что чрезвычайно важно учитывать при строительстве промышленных объектов в зоне водохранилища.

Геология и геофизика (СО АН СССР). 1989. № 3. С. 116—122.

География

Подземные города Японии

По некоторым прогнозам к 2000 г. около 70 % всего населения Японии будет жить в городах, где и сейчас скученность весьма значительная, а цены на землю достигают астрономических величин. Этим и вызван принятый в 1989 г. правительством Японии проект «Геограница».

¹ Дубровинский Л. С., Пило-
н Г. О., Рябчиков И. Д. // Доклады АН СССР. 1989. Т. 304.
№ 2. С. 424—426; Park K. T.,
Teramura K., Matsui Y. // Nature.
1988. Vol. 336. № 6200. P. 670—
672.

² Tsuchida J., Jag T. // Abstrs.
Misasa Intern. Symp., Misasa, Japan.
1989. P. 90—92.

Начальная его стадия предусматривает строительство частными компаниями подземного помещения для электроподстанции или предприятия водоснабжения. Его высота 30 м, диаметр 50 м, а «пол» будет находиться на глубине 80 м под земной поверхностью. Затем предстоит соорудить подземную железную дорогу. Возможно, поезда здесь будут передвигаться на «магнитной подушке». Серьезную техническую трудность представляет доставка пассажиров с поверхности и обратно: спуск на обычном эскалаторе при глубине залегания станций около 100 м потребует не менее 10 мин.

Параллельно с этим проектом идут разработки и в частном секторе. Например, крупная строительная компания «Тайсей» предложила план сооружения подземного городка Элис-Сити (по имени героини книги Л. Кэрролла «Алиса в стране чудес»). Он включает сооружение на глубине 110 м здания цилиндрической формы высотой 60 м и диаметром 80 м. Здесь предстоит разместить ряд отелей, магазинов, а несколько в стороне, но тоже под землей — электростанцию и предприятие по переработке бытовых и промышленных отходов. Хотя строительство под землей обходится в 2—3 раза дороже, высокие цены на землю должны окупить расходы, предположительно составляющие около 440 млн ф. ст. Существование, что на глубине 50 м температура весь год стабильна — около 13—15 °C, что снизит расходы на отопление и кондиционирование воздуха. Психологические проблемы «подземелья» предполагается смягчить благодаря высококачественному телевидению: демонстрация пейзажей и сюжетов «с поверхности» снимет нервное напряжение, подобно музыкальному фону в нынешних промышленных и служебных помещениях.

Заглубленные транспортные системы уменьшат риск от частых в Японии землетрясений: уже на глубине 30 м сотрясения составляют от 1/3 до 1/8 величины, достигаемой на поверхности.

Инженерные и правовые

разработки проблем подземного строительства в Японии уже вступили в серьезную фазу.

New Scientist. 1989. Vol. 122. № 1662. P. 31 (Великобритания).

Метеорология

Катастрофическое наводнение в Австралии

В начале марта 1989 г. в Австралии, самом засушливом материке Земли, произошло катастрофическое наводнение. Необычайной силы ливневые дожди охватили почти весь континент. Давно пересохшие ручьи превратились в потоки шириной 20 км. Их разлив причинил значительный материальный ущерб (только в районе Брокен-Хилла, штат Новый Южный Уэльс, погибло 2500 овец). Осадки выпали в пустынных и полупустынных районах, где образовались новые озера. Были затоплены тысячи километров автомобильных и железных дорог, отрезаны от мира десятки населенных пунктов, даже столица Канберра была на время лишена связи с остальной страной.

По заключению сотрудников Метеорологической службы Австралии в Мельбурне, такое катастрофическое наводнение произошло вследствие сочетания ряда климатических факторов (сходных с теми, которые вызвали аналогичные, но менее масштабные бедствия в 1956 и 1974 гг.). Еще в конце февраля — самом начале марта на всем материке наблюдалось неуклонное повышение влажности воздуха в сочетании с необычно высокими температурами. Установилось аномально низкое давление (в чем сказалось, очевидно, и воздействие Эль-Ниньо). Все это совпало с неожиданным смещением в Северную Австралию внутритропической зоны конвергенции, вследствие чего область низкого атмосферного давления переместилась в обычно засушливые центральные районы материка, где и образовалась чрезвычайная интенсивная облачность.

Хотя накопление всех этих метеорологических факторов

было замечено специалистами еще за 2—3 недели до события, они не опубликовали соответствующий прогноз из опасения поднять ложную тревогу. Метеослужба Австралии признала, что ею была упущена возможность сократить масштабы потерь.

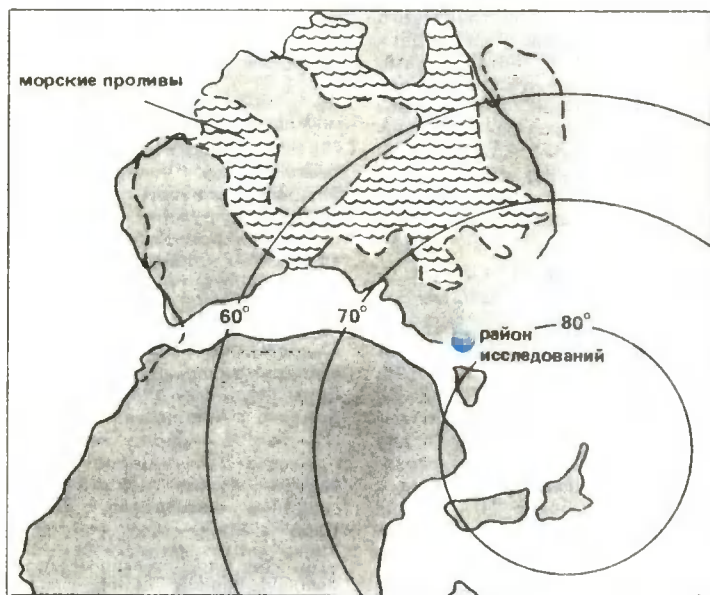
New Scientist. 1989. Vol. 121. № 1657. P. 18 (Великобритания).

Палеонтология

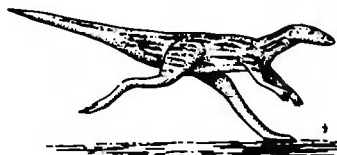
«Морозоустойчивые» динозавры

Долгое время считалось, что динозавры населяли лишь тропические и субтропические районы Земли. Впервые против этой точки зрения высказались палеонтологи во главе с Э. Броуэрс (E. Brouwers; Геологическая служба США), которые в 1987 г. обнаружили остатки ископаемых ящеров, обитавших на севере Аляски, около 70° с. ш. (82—85° палеошироты)¹. В позднем мелу (80—65 млн лет назад) этот регион располагался в полярных областях с холодным и влажным климатом. Не всем специалистам единственная группа находок показала достаточно убедительной. Но в 1989 г. австралийские ученые П. Рич и Т. Рич (P. Rich, Монашский университет; T. Rich, Музей штата Виктория, оба — в Мельбурне) обнаружили ископаемые остатки мелких и средних динозавров на юго-востоке Австралии. Они обитали в раннемеловое время (130—150 млн лет назад), когда этот район располагался ближе к Южному полюсу. Здесь не менее трех месяцев длилась полярная ночь, а среднегодовые температуры составляли всего 5 °C; временами воздух остывал до —6 °C, и даже лето было прохладным и влажным. Среди костных остатков выявлены 3—4 вида гипсилофодонов — растительноядных орнитомимов («птицепохожих») высотой не более 2 м. Два вида — новые для науки. Предполагается, что эти ящеры

¹ См. также: Динозавры — кочевники? // Природа. 1989. № 2. С. 118—119.



Район находок маленьких динозавров на юго-востоке Австралии (приведено положение для раннемелового периода).



Реконструкция гипсиллофодона.

могли жить несколько месяцев в полной или частичной темноте, обладая, в частности, очень крупными глазами. Возможно, впрочем, что они впадали в зимнюю спячку или как-то иначе снижали свою активность в холодное время года. Менее вероятно, по мнению австралийских исследователей, чтобы столь небольшие по размеру динозавры на зиму уходили на дальние расстояния.

Рядом с гипсиллофодонами найдены остатки представителей трех видов плотоядных ящеров — тероподов, вероятно охотившихся на гипсиллофодонов, а также птерозавров (летающих рептилий), пресноводных плезиозавров и пресноводной ископаемой черепахи.

Таким образом, как аляска-инская, так и австралийская на-

ходки свидетельствуют, что ареал динозавров не ограничивался районами с жарким климатом.

Science. 1987. Vol. 237. P. 1600; Ibid. 1989. Vol. 242. P. 1403; National Geographic Research. 1989. Vol. 5. P. 15 (США); New Scientist. 1989. Vol. 122. N 1659. P. 27 (Великобритания).

Археология

Древнейшие высокогорные поселения на территории Перу

Экспедиция Французского института андских исследований под руководством Э. Бонье открыла в районе Пируру (верховья р. Мараньон, Восточная Кордильера) каменные постройки возрастом 5 тыс. лет — на несколько веков древнее, чем известные до сих пор в этой части Перу¹. Небольшие прямоугольные и округлые здания с очагом посредине единственной комнаты возводились на одном и том же месте на протяжении примерно 500 лет. Судя по находкам, они имели культовое

назначение, тогда как для жилья использовались легкие хижины; скорее всего, их обитатели вели полуседельный образ жизни.

В середине III тысячелетия до н. э. отделка храмов Пируру становится более изысканной; в центре помещения устраивается прямоугольное понижение, под полом — вентиляционная шахта. Это характерные черты открытой четверть века назад традиции мито, распространившейся во второй половине III тысячелетия до н. э. на севере центральной области перуанских Анд. Около 1600 г. до н. э. в Пируру появляется керамика, вокруг храмов возникают деревни.

Главная сенсация экспедиции в том, что открытые ею памятники расположены на границе холодных влажных горных лесов (3800—3900 м над ур. м.). Если переход к оседлости связывать с развитием земледелия, можно думать, что обитатели Пируру выращивали высокогорные корнеплоды (остатки растений в сыром грунте не сохранились).

Выявленная экспедицией система расселения, при которой только общинный храм возводился надолго из прочных материалов, а жилища часто переносятся с места на место, обусловлена, по-видимому, необходимостью обживать множество ландшафтов, ресурсы которых доступны в разное время, что типично для резко пересеченной местности. Подобные тип расселения и система хозяйства до сих пор сохранились на севере Колумбии у индейцев, населяющих горный массив Сьерра-Невада-де-Санта-Марта. Интересно для сравнения отметить, что в переднеазиатском земледельческом очаге первыми сооружениями из прочных материалов были не отдельно стоящие храмы, а деревни из нескольких десятков домов. Похоже, что разные модели перехода к оседлости повлекли за собой и глубокие различия в облике и функции древнеперуанских и древнеазиатских городов, пока не получившие удовлетворительного объяснения.

¹ Bonnier E. // Willey: Newsletter of the Andean Anthropol. Res. Group. 1988. № 26/27. P. 6—8; Bonnier E., Rosenberg C. // Antropologie. 1988. Vol. 92. № 2.

С помощью ультрафиолетового радиометра, установленного на космических аппаратах «Фобос», сотрудники Института прикладной геофизики Госкомгидромета (Москва) и ЦКБ Гидрометеоприборостроения (Обнинск) измерили интенсивность ультрафиолетового излучения Солнца на трассе перелета Земля — Марс и вблизи Марса. На расстоянии 224 млн км от Земли и 234,5 млн км от Солнца эта величина составила $5-7 \text{ эрг/см}^2 \text{ с}$ для линии водорода $\lambda=121,6 \text{ нм}$ и $3-4 \text{ эрг/см}^2 \text{ с}$ для $\lambda < 120 \text{ нм}$. Определен вклад больших солнечных вспышек, в том числе со стороны Солнца, не наблюдаемой с Земли.

Ю. Р. Ривин (ИЗМИРАН, Троицк) высказал гипотезу, согласно которой реально существующие вариации потоков солнечных нейтрино высоких энергий вызваны разными причинами: двухлетние — тепловыми флуктуациями ядра Солнца, а одиннадцатилетние — модуляцией потоков нейтрино магнитными полями солнечных пятен.

Тезисы докладов V Симпозиума КАПГ по солнечно-земной физике. Самарканд, октябрь 1989. С. 65, 22—23.

Х. Тономура (H. Tonomura; Исследовательская лаборатория фирмы Хитахи, Япония) разработал систему электронной голографии, позволяющую, в частности, различать детали структуры квантов магнитного поля — флюксонов. Пространственное разрешение системы лучше 10^{-5} см ; источником служит электронная пушка с энергией 200 кВ и диаметром острия электрода менее 10^{-6} см .

Эффект Ааронова — Кашера — сдвиг интерференционной картины от двух когерентных нейтронных потоков при

обтекании ими электрического заряда — впервые наблюдали А. Клейн с сотрудниками (A. Klein; Мельбурнский университет, Австралия). Для нейтронов от уранового реактора мощностью 60 кВт и напряженностью поля 300 кВ/см сдвиг составил 10^{-3} радиан (относительная точность измерений 25 %).

М. Пешкин (M. Peshkin; Аргоннская национальная лаборатория, США) предложил проект эксперимента с помощью интерферометра с ультрахолодными нейтронами для определения дипольного электрического момента нейтрона с ошибкой не более 10^{-30} е·см (e — заряд электрона). Пока дипольный момент нейтрона не обнаружен; по оценкам, его верхняя граница 10^{-26} е·см . Зная эту величину, можно решить проблему несохранения ряда фундаментальных физических величин с учетом необратимости времени.

У. Лэмб (W. Lamb; Аризонский университет, США) на основе теории Томаса — Ферми рассчитал вероятность холодной синтеза дейтронов в насыщенной дейтерием решетке палладия. Вероятность синтеза пары дейтронов составляет 10^{-26} с^{-1} , что согласуется с экспериментальными результатами группы С. Джоунса.

Б. ван Вис (B. van Wees; Дельфтский университет, Нидерланды) зарегистрировал в отсутствие магнитного поля квантование сопротивления R как функции напряжения U между двумя точечными контактами. В зависимости $R(U)$ четко видны ступеньки высотой $2e^2/h$ (e — заряд электрона, h — постоянная Планка), причем на одном образце их насчитывалось до восьми. Эффект аналогичен квантовому эффекту Холла, но наблюдается на двух, а не на четырех контактах и не требует наложения магнитного поля. Если же поле приложено, ступеньки растягиваются, сохраняя неизменной высоту.

Видимо, на этой основе может быть создан квантовый эталон сопротивления.

Исследователи из Московского государственного университета и Гетеборгского университета обнаружили новое явление — синхронизацию внешним СВЧ-полем коллективного одноэлектронного туннелирования в цепочке из 15 миниатюрных джозефсоновских контактов емкостью 10^{-16} Ф . Тем самым экспериментально подтверждена формула для одноэлектронного туннелирования $I = ne\Gamma$ (I — ток, e — заряд электрона, Γ — частота, n — целое число). Теперь можно надеяться на создание квантового эталона тока.

The 3-rd International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics. Tokyo, 1989. P. 2, 7, 11, 24, 30, 35.

В университетской больнице (Стоуни-Брук, штат Нью-Йорк) разработан рентгеновский аппарат для быстрой и безвредной оценки степени интоксикации организма свинцом. Достоинство аппарата — использование мягких рентгеновских лучей. С его помощью можно определять концентрации и других элементов, в том числе стронция, меди, цинка, железа, брома.

New Scientist. 1989. Vol. 123. № 1671. P. 46 (Великобритания).

Если плотность тканей молочной железы на маммограмме превышает 45 %, риск заболевания раком молочной железы почти в 4 раза больше, чем в случаях, когда она составляет 15 %.

Для женщин с большей плотностью тканей молочной железы и наследственной предрасположенностью к раку груди риск еще выше.

Medical Tribune. 1989. Vol. 30. № 14. P. 6 (США).

Ученые Фонда раковых исследований (Лондон) и Техасского университета (Даллас)

предложили новый метод лечения злокачественной лимфомы (опухоли лимфатического узла), химически соединив антитела с ядом рисином, получаемым из касторовых семян. Молекула этого белка состоит из двух аминокислотных цепей, одна из которых способна проникать внутрь В-лимфоцитов, вырабатываемых злокачественными клетками лимфатического узла. В результате тормозится синтез белка, что и приводит к гибели больных клеток.

New Scientist. 1989. Vol. 122. №1658. P. 26 (Великобритания).

Основываясь на сообщениях о случайных находках в Черном море микрокристаллов газогидратов, геолого-геофизическая экспедиция на НИС «Евпатория», организованная ВЦ СО АН СССР при участии ВНИИОкеанологии Мингео СССР, летом 1988 г. получила доказательства существования фильтрогенных гидратов, залегающих на малых глубинах в нижней части континентального склона южнее Крыма и в подводной дельте Дуная. Широкое распространение условий для формирования таких скоплений (например, очагов подводного выхода газов и газонасыщенных вод) позволяет рассматривать Черное море как базовый объект для постановки специальных исследований этого явления.

Геология и геофизика (СО АН СССР). 1989. № 4. С. 110—111.

Американская фирма «Сандиа нейшнл лабораториз» (штат Нью-Мексико) изготовила экспериментальный солнечный коллектор с кпд преобразования солнечной энергии в электрическую 20,3 %. Размещенные на площади 4 га, такие коллекторы способны обеспечить электроэнергией 300 жилых домов. Коллекторный модуль состоит из 12 фотозлементов с кремниевыми квадратными пластинками размером 1,25 см и наложенной на них металлической сеткой, по которой течет

электрический ток. Для получения максимальной мощности и уменьшения числа элементов солнечное излучение концентрируется набором линз со 100-кратным увеличением.

Science News. 1989. Vol. 136. № 3. P. 44.

На конец 1988 г. в эксплуатации находилось 428 блоков АЭС общей мощностью 309,6 ГВт. Они производят более 16 % электроэнергии, вырабатываемой в мире.

Nuclear Engineering International. 1989. Vol. 34. № 5 (Великобритания).

В Швеции успешно испытана экспериментальная волновая ГЭС. Два плавучих цилиндрических ротора большой длины, изготовленные из алюминия и имеющие ряд изогнутых горизонтальных лопастей, разделенных на поперечные отсеки, вращаются в противоположных направлениях. С одной стороны лопастей — вода, с другой — воздух; набегающие волны вызывают вращение роторов.

Подобные электростанции особенно эффективны на мелководье.

The Financial Times. 1989. № 30853. P. 12 (Великобритания).

В США одобрен проект строительства теплостанции мощностью 225 МВт, топливом для которого будет служить смесь древесной коры и угля. Измельченное топливо предполагается смешивать с известняком для удаления вредных газов, образующихся при сгорании.

Engineering News Record. 1989. Vol. 222. № 25. P. 18.

В США производство автомобилей, работающих на метаноле и других альтернативных видах топлива, составило в 1995 г. 500 тыс., в 1996 г. — 750 тыс., в 1997 г. — 1 млн штук. Переход на метанол поз-

волит заменить многие элементы автомобиля из обычных материалов на устойчивые к коррозии детали из пластмасс, нержавеющей стали, стали с никелевым покрытием. Требования к экологической чистоте заставят также отказаться от использования в системах кондиционирования воздуха хлорфторуглеродов. Однако в автомобилях на метаноле конденсаторы, теплообменники, решетки и другие детали, изготовленные из нетрадиционных материалов, будут иметь большие размеры.

Metalworking News. 1989. Vol. 16. № 740. P. 10 (США).

Австралийская фирма «Ньютраллизиндустриэ» разработала технологию изготовления легкого наполнителя бетона. Бытовой мусор дважды измельчается в молотковых мельницах, а металлолом удаляется магнитами. Измельченная масса смешивается с глиной и жидкими отходами предприятий общественного питания и станций техобслуживания автомобилей. Полученные гранулы последовательно пропускают через три роторные печи, где их сушат при температуре 300 °С, извлекая летучие горючие газы (используемые как топливо) и обжигают при 1200 °С. Из 1 т глины, 1 т твердых отходов и 0,1 т жидких вырабатывается 1 т наполнителя, который на 20 % легче обычных.

Chemical Engineering. 1989. Vol. 96. № 5. P. 25 (США).

Сохранить в свежем виде нарезанные фрукты и овощи позволяют специальные покрытия из казеина и ацетилованных моноглицеридов, получаемых из растительных масел. Эти прозрачные, съедобные, не имеющие вкуса пленки, хорошо прилипают к долькам, предотвращают обезвоживание (потеря влаги снижается на 70 %), потемнение продуктов, а также проникновение в них микроорганизмов.

Chemical Engineering. 1989. Vol. 96. № 5. P. 21 (США).

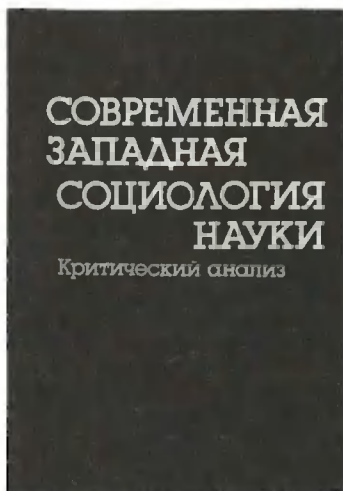
Как устроено научное сообщество

Ю. А. Шрейдер,
доктор философских наук
Москва

НАУКА — это не только логика получения нового знания, но и определенная структура человеческих отношений, во многом определяющая ее развитие. Поэтому социология науки не менее важна для понимания ее природы, чем логико-методологические изыскания. Но еще недавно идея о том, что науку можно изучать как один из видов человеческой деятельности, со всем порождаемым этой деятельностью хорошим и дурным, воспринималась у нас с трудом.

Предлагаемая книга позволяет проследить, как утверждалась и видоизменялась эта идея на Западе. Авторский коллектив взялся за решение назревшей задачи: показать достигнутый за рубежом уровень социологических исследований науки, сделать этот опыт и методики нашим достоянием. И это авторам действительно удалось. Но по старой доперестроечной традиции (книга готовилась несколько лет назад) подается это благое дело несколько завуалированно, якобы с исключительным намерением подвергнуть западную социологию науки марксистской критике.

Прежде всего утверждается, что «К. Маркс был первым, кто адекватно определил социальную природу науки... Тем самым К. Маркс открыл путь к изучению науки как социального явления» (с. 5). Такое утверждение трудно оспаривать, хотя профессионалам ясно, что Маркс никогда не занимался специально социологией науки и не предлагал научной програм-



СОВРЕМЕННАЯ ЗАПАДНАЯ СОЦИОЛОГИЯ НАУКИ. Критический анализ / Под ред. В. Ж. Келле, Е. З. Мирской, А. А. Игнатьева. М.: Наука, 1988. 253 с.

мы в этой области. В тексте рецензируемой книги это тоже оговорено, ведь ее писали квалифицированные люди, всерьез излагающие идеи социологических подходов к исследованию науки. Поэтому пассаж о приоритете Маркса, априорном превосходстве марксизма и некоторые другие моменты такого рода оказываются здесь только ритуальными фразами, которых раньше я бы даже не заметил. Перед нами, действительно, квалифицированное описание тех путей, которые уже пройдены исследователями, изучавшими закономерности функционирования науки.

В начале века вопрос о социальной окраске знания ставился в рамках философии. Ряд философов обратил внимание на то, что гуманитарное знание не является объективным, так как подвержено влиянию социального окружения и вырабатываемых внутри него установок. Однако считалось, что естественнонаучное знание обладает особым эпистемологическим статусом — абсолютной истинностью. Путь социологии в эту область был в ту пору как бы закрыт.

Профессиональный социологический интерес к внутренней жизни науки возник лишь в 60-х годах и был связан с ее небывалым ростом и повышением роли в обществе. Первым, кто сделал науку, и главным образом естественнознание, объектом социологического изучения, стал американец Р. К. Мертон — один из основателей структурно-функционального анализа. Он рассмотрел науку как социальный институт, внутри которого действует набор определенных норм, в совокупности составляющих этос науки.

В статье Е. З. Мирской «Р. Мертон и его концепция социологии науки» раскрывается содержание этих норм, основанных на следующих императивах: 1) универсализм (наука должно быть безразлично, кто вносит элемент нового знания — академик или студент, мужчина или женщина, верующий или атеист и т. д.); 2) коллективизм (открытие должно быть немедленно передано всему научному сообществу); 3) бескорыстность (проведя исследование, ученый не должен думать ни о наградах, ни о порицаниях); 4) организованный скептицизм (ученый обя-

зан сомневаться в своих результатах и в результатах коллег).

О развитии концепции Мертон в 70-х годах и позднее сумел интересно написать Э. М. Мирский. Главное в этой концепции при всех ее трансформациях то, что социология науки как бы вытекает из познавательных задач и определяется особым положением науки в обществе. В книге обращается внимание читателя на то, что Мертон не затрагивает содержательную сторону деятельности ученого. Новое понимание норм — учитывающих содержательную часть и регулирующих «технология» получения знания — пошло от Т. Куна.

Иногда считают, что Мертону свойственна идеализация научного сообщества, представление о нем как о чем-то вроде рыцарского ордена. В повседневной работе ученые сосредоточены не только на поисках истины, но и заботятся о том, чтобы их работа соответствовала принятым в сообществе образцам — экспериментальные данные должны воспроизводиться и получать стандартные интерпретации, теоретические схемы не должны «выламываться» за общепризнанные пределы и т. п. Такое более прозаическое представление и лежит в основе концепции научной парадигмы, предложенной Куном. Главная идея Куна состоит в выделении периодов нормального развития науки (в пределах общепринятой парадигмы) и научных революций, связанных с переходом к новой парадигме.

М. А. Розов внес в схему Куна, на мой взгляд, принципиальную поправку, показав, что «парадигмальная наука» и «научные революции» — это разные формы осознания одного и того же процесса, передачи эстафеты образцов научной деятель-

ности с возникающими в них мутациями¹.

Рядом с концепциями Мертон и Куна в настоящее время развивается так называемая когнитивная социология науки. Восприняв от Куна основную задачу — включить в социологическое рассмотрение продукт научной деятельности, т. е. знание, — новое направление сменило фундаментальную методологическую посылку: нормативная социология заменена интерпретивной. Иначе говоря, снимается представление о том, что научное сообщество подчинено каким-то своим, специфичным нормам. Согласно такому подходу, наука аналогична любой другой деятельности и социологу следует просто наблюдать ее и интерпретировать. Тем самым наука ставится в ряд таких социальных явлений, как мифы, религии, идеологии и т. п. Анализ этой ситуации дан Б. Г. Юдиным и А. П. Огурцовым в главах «Когнитивная социология науки» и «Этнометодология и этнографическое изучение науки». Читая их, невольно испытываешь досаду за то, что авторы были искусственно поставлены в позицию критиков и лишены стимулов к созданию оригинальных подходов.

Особое место в книге занимает глава об изучении карт науки, составленных на основе выявления совместно цитируемых публикаций. Автор этой главы И. В. Маршакова занимается не только анализом явлений в зарубежном науковедении, но выступает и как исследователь практик, хотя и не обладающий всем объемом технических средств, находящихся в распоряжении американских разра-

ботчиков «Указателя цитируемой литературы».

Исследование карт науки показывает, что «микрореволюции» происходят непрерывно на фоне нормальной «парадигмальной науки». Это еще раз подтверждает правильность теоретического вывода М. А. Розова. В США регулярно отслеживаются возникающие в науке «фронты исследований». К сожалению, наука в нашей стране лишена подобных средств самонализа, а американские данные лишь показывают степень нашей оторванности от мировой науки.

И несколько слов в заключение. В некотором смысле Мертон более прав, чем его критики: занятия наукой требуют внутреннего раскрепощения и высокого кодекса чести. Это вовсе не романтическое представление о науке, но вполне прагматические условия ее эффективного функционирования. Соблюдение внутренних социальных нормативов науки, неподвластных давлению извне, есть необходимый залог свободы развития науки, без которой она перестает быть наукой. И это хорошо видно на материале рецензируемой книги.

Понять природу науки без социологических подходов невозможно именно потому, что наука — это не управляемый извне механизм, а человеческое социальное образование, способное нормально существовать лишь в условиях гарантированной обществом свободы и наличия внутренне свободных личностей. Любые попытки задать извне условия научной деятельности парализуют ее свободу и неумолимо ведут к деградации. По справедливости, этой проблематикой следует заниматься не западным, а советским социологом, ибо наш опыт развития науки на тайных ресурсах свободы поистине уникален.

¹ Розов М. А. // *Вопр. философии*. 1981. № 8. С. 138.

Биология

В. В. Петров. ЛЕСНЫЕ ТАЙНЫ. М.: Лесная промышленность, 1989. 125 с. Ц. 50 к.

В. В. Петров сегодня входит в число наиболее плодотворных популяризаторов ботанического знания. О лесе он написал уже несколько книг, изданных «Просвещением» и «Наукой», и при этом счастливо избежал повторений. Более того, с каждой новой книгой его дар популяризатора раскрывается все полнее.

Эта книга обращена к самому широкому кругу читателей. В аннотации, вынесенной на обложку, сказано: «В книге рассказано о некоторых примечательных особенностях лесных растений, об их маленьких «тайнах», связанных со строением, ростом и размножением. Речь идет не о каких-то ботанических редкостях, а о самых обычных представителях флоры, которые широко распространены. Приведенные сведения помогут вам увидеть и узнать то, на что вы прежде не обращали внимания». Автор стремится показать поразительную сложность даже самых обычных явлений жизни леса и населяющих его растений. Узнав о совершенстве дубняка или ельника, туристы и грибники будут по-иному относиться к лесу: не сорвут без крайней необходимости растения, не сломают ветки дерева, не будут топтать моховый ковер, не разложат в лесу костра близ ствола дерева.

Книга состоит из пяти разделов, в каждом из которых более десяти коротких рассказов. Вначале автор знакомит читателя с общими чертами лесных сообществ и основными группами растений (деревья, подлесок, травяно-кустарниковый и мохово-лишайниковый ярусы, лианы и т. д.) и после этого останавливается на самых любопытных и подчас ускользающих от неспециалиста особенностях их жизни. Тут рассказы о «кораллах

на деревьях» (азотфиксирующих клубеньках на корнях серой ольхи), о «странных грибах» (рогатиках, лопаточках, грибах-баранах и пр.), о «веткопаде», ивановых побегах дуба, «копытах» на стволах, «лесных складах» (банках семян) и т. д. При этом каждый эпизод имеет свой законченный сюжет и буквально затягивает читателя в удивительный мир больших и маленьких тайн леса. В результате — из мозаики рассказов постепенно формируется достаточно целостная картина жизни леса.

И все-таки у книги есть один недостаток. Несмотря на общие призывы к охране леса и отдельные штрихи, показывающие связь леса и человека, роль людей в его жизни оказалась за рамками повествования. Популярный и аргументированный рассказ о современном уровне и об основных болевых точках этой проблемы был бы здесь вполне уместен. Эти отношения не должны быть «лесной тайной».

© Б. М. Миркин,
доктор биологических наук
Москва

Экология

ЭКОСИСТЕМЫ В КРИТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЯХ / Отв. ред. Ю. Г. Пузаченко. М.: Наука, 1989. 157 с. Ц. 2 р.

Эта коллективная монография посвящена научным подходам к анализу критического состояния «нашего дома» — биосферы. Авторы предлагают подразделять все возможные состояния экосистем на два принципиально различающихся класса: устойчивые и неустойчивые (критические). К первому классу относятся экосистемы, которые под влиянием нарушающих воздействий сохраняют свои признаки за счет многочисленных средств обороны — от физиологических реакций организмов и поведенческих реакций животных до механизмов популяционного и экосистемного

регулирования равновесности. Ко второму — экосистемы, либо вообще не обладающие признаками устойчивости, либо обладающие ими в небольшой степени. Такие экосистемы могут резко и быстро или медленно и постепенно переходить в критические состояния. Некоторые из этих экосистем способны к восстановлению при случайных нарушениях, у других это свойство отсутствует.

Для оценки степени восстанавливаемости (эластичности) экосистем предлагается показатель «запаса гомеостатичности», измеряемый в единицах того фактора, который вызывает нарушения (поголовье скота на гектар при пастбищных нарушениях; доза радиации или количество загрязняющих агентов на единицу площади и т. д.).

Первые главы носят общетеоретический характер и иллюстрированы наглядными рисунками физических моделей: летающие и катающиеся шарики под действием силы тяжести, подъемной силы и разного рода пружинок занимают то или иное положение при различном рельефе пола и потолка камеры.

Далее приведены примеры переходов экосистем через критическое состояние — переход лесного пояса в пояс альпийских лугов на Кавказе, горных тундр — в остепненные луга на Саяне, леса — в болото на Валдайской возвышенности.

Не успевшие стать академиками

Г. Е. Горелик,

кандидат физико-математических наук
Москва

СЕЙЧАС трудно себе представить, что в 30-е годы все физики-теоретики страны знали друг друга. Тогда эта профессия была не более распространенной, чем теперь профессия космонавта. И теоретическая физика была еще единой страной, не очень задумывавшейся о праве ее областей на самоопределение вплоть до отделения. По свидетельству Е. Л. Фейнберга, в конце 30-х годов на теоретическом семинаре в ФИАНе реферировались практически все статьи по теоретической физике, выходившие в мире.

Говоря о первом поколении физиков-теоретиков, получивших образование в советское время (том самом, к которому принадлежали А. А. Андронов и Л. Д. Ландау), И. Е. Тамм уже в конце своей жизни писал: «Некоторые исключительно яркие и многообещающие физики этого поколения безвременно погибли: М. П. Бронштейн, С. П. Шубин, А. А. Витт»¹. Он хорошо знал всех троих.

Витт и Шубин начали свой научный путь в Московском университете, где Тамм преподавал теоретическую физику. Шубин был учеником (и соавтором) Тамма, Витт принадлежал к «родственной» группе Л. И. Мандельштама, работавшей в области теории колебаний. Во время своих неоднократных приездов в Ленинградский физико-технический институт Тамм познакомился с Бронштейном, а в 1935 г. выступил оппонентом по его докторской диссертации.

В наши дни судьбы этих трех теоретиков и их вклад в науку мало кому памяты, разве что немногим физикам, начавшим свой путь в науке до 1937 г.

Это были очень разные люди. Разные по «начальным» биографическим условиям, по направленности научных интересов, по общественно-политическому темпераменту. Отец первого — провинциальный врач с весьма заурядным культурным кругозором и совершенно далекий от всякой политики. Отец второго, журналист и юрист по образованию, в студенческие годы принимал участие в революционном движении, а в 20—30-е годы занимал ответственные должности в редакции «Правды» и в Исполкоме Коминтерна. Третий был сыном коммерческого служащего.

В разных областях лежали центры тяжести их научных интересов: фундаментальные вопросы физики, квантовая теория макроскопических свойств вещества, теория колебаний. Пользуясь языком 30-х годов, можно сказать, что все трое работали в науке по-ударному. Но только Витта научные исследования и преподавание поглощали целиком. В жизни Шубина значительное место занимала, как в ту пору и по сей день принято говорить, общественная работа. А Бронштейн в дополнение к профессии теоретика освоил и профессию писателя: его книги, предназначенные юным читателям, переиздаются в наше время².

Различались и их общественно-политические позиции.

У Витта, по-видимому, для таковой почти не оставалось времени. Шубин видел свое место в рядах политического авангарда советского общества. А Бронштейн, вполне сочувственно относясь к идеалам социальной справедливости, провозглашенной революцией, на реальную жизнь страны смотрел не без скепсиса и некоторой иронии.

Различие общественно-политических позиций Бронштейна и Шубина, да и сам дух времени, ярко проявились в их «дуэли», состоявшейся на страницах первого номера «Сорена» за 1935 г.³ Предметом дискуссии стал вопрос о законе сохранения энергии. Для тех, кого удивит такая тема, напомним, что гипотеза несохранения энергии (в микрофизике), выдвинутая Н. Бором, в течение нескольких лет пользовалась большим вниманием у теоретиков. Ее поддерживали Г. А. Гамов, Л. Д. Ландау, Р. Пайерлс, П. Дирак, сочувственно к ней относились И. Е. Тамм и С. И. Вавилов. В то же время «оперуполномоченные от диамата» в пух и прах разбивали эту гипотезу цитатами из Энгельса и псевдофилософской риторикой. Раздраженный таким натиском воинствующего невежества на физику, Бронштейн наряду с физическими соображениями в пользу боровской гипотезы решил, судя по всему, дать контрпример — продемонстрировать, что в пред-

(С) Горелик Г. Е. Не успевшие стать академиками.

¹ Тамм И. Е. Теоретическая физика // Октябрь и научный прогресс. М., 1967. С. 170.

² В этом году в издательстве «Наука» выходит сборник научных повестей М. П. Бронштейна «Солнечное вещество».

³ Научно-популярный журнал «Социалистическая реконструкция и наука», созданный в 1932 г. и более известный под сокращенным названием «Сорена», весьма успешно конкурировал с «Природой». Прекратил существование незадолго до гибели его главного редактора — Н. И. Бухарина.

лах философско-исторической аргументации можно обосновать все что угодно. И он «вскрыл» буржуазную сущность закона сохранения, указав на потенциальные возможности перпетуум-мобиле для коммунистического будущего. Статьи Бронштейна редакция «Сорены» противопоставила критическую статью Шубина, который, гораздо серьезнее относясь к взаимодействию марксистской философии и естествознания, отдал должное физической аргументации Бронштейна, но без труда разрушил его «диалектико-материалистическое» обоснование гипотезы несохранения.

Чтобы лучше познакомиться с тремя молодыми теоретиками, посмотрим на них глазами современников, хорошо их знавших.

МАТВЕЙ ПЕТРОВИЧ БРОНШТЕЙН

«За свою долгую жизнь», писал К. И. Чуковский, — я близко знал многих знаменитых людей: Репина, Горького, Маяковского, Валерия Брюсова, Леонида Андреева, Станиславского, и потому мне часто случалось испытывать чувство восхищения человеческой личностью. Такое же чувство я испытывал всякий раз, когда мне доводилось встречаться с молодым физиком М. П. Бронштейном. Достаточно было провести в его обществе полчаса, чтобы почувствовать, что это человек необыкновенный. Он был блистательный собеседник, эрудит, эрудиция его казалась необъятной. Английскую, древне-греческую, французскую литературу он знал так же хорошо, как и русскую. В нем было что-то от пушкинского Моцарта — кипучий, жизнерадостный, чарующий ум.

О нем как о физике я судить не могу, но я видел, с каким уважением относились к нему специалисты-ученые, каким благоговением окружено его имя среди студенческой молодежи. Академик Иоффе, академик С. И. Вавилов говорили о нем, как о человеке с большим будущим.

Впрочем, в физике я плохо осведомлен. В качестве детского писателя я могу засвидетельствовать, что книги Брон-

штейна «Солнечное вещество», «Лучи Икс» и другие кажутся мне превосходными. Это не просто научно-популярные очерки — это чрезвычайно изящное, художественное, почти поэтическое повествование о величии человеческого гения. Книжки написаны с тем заразительным научным энтузиазмом, который в педагогическом отношении представляет собой высокую ценность. Отзывы газет и журналов о научно-популярных книжках Бронштейна были хором горячих похвал. Меня, как детского писателя, радовало, что у детей Советского Союза появился новый учитель и друг.

Я убеждал М. П. Бронштейна писать для детей еще и еще, так как вдохновенные популяризаторы точных наук столь же редки, как и художники слова».

Это письмо, сохраненное вдовой Бронштейна — Лидией Корнеевной Чуковской, было адресовано в высшие государственные инстанции и заканчивалось обычной для конца 30-х годов просьбой «пересмотреть дело». Но сильные слова, которые употребил Чуковский, объясняются вовсе не только назначением письма «во спасение». Спустя двадцать лет Чуковский написал в дневнике (по поводу духовного умирания М. М. Зощенко): «Очень знакомая российская картина: задуманный, убитый талант. Полежаев, Николай Полевой, Рылеев, Мих. Михайлов, Есенин, Мандельштам, Стенин, Бабель, Мирский, Цветаева, Митя Бронштейн, Квитко, Бруно Ясенский, Ник. Бестужев — все разданы одним и тем же сапогом»⁴.

А вот как о Бронштейне отзывались его старшие коллеги. Я. И. Френкель: «Один из наиболее талантливых представителей младшего поколения физиков-теоретиков в СССР. Обладает совершенно исключительной эрудицией по всем вопросам теоретической физики — твердого тела и атомного ядра, теории относительности и теории квантов, статистики и электродинамики, — соединенной с блестящими математиче-

скими способностями»; В. А. Фок: «Его сильный критический ум и способность быстро разбираться в сложных вопросах делают его исключительно ценным научным работником»; И. Е. Тамм: «Является одним из выдающихся физиков-теоретиков Советского Союза».

Бронштейна отличали широкие научные интересы. Он занимался астрофизикой, космологией, физикой полупроводников, квантовой электродинамикой, ядерной физикой. Наибольшее его научное достижение — работа по квантованию гравитации. Это было первое глубокое исследование фундаментальной проблемы, стоящей и перед современной физикой.

В 30-е годы в центре внимания теоретической физики находилась релятивистская квантовая теория — объединение теории относительности и квантовой механики. При этом гравитация, как правило, игнорировалась. С другой стороны, небольшая группа физиков, в которую входил, впрочем, Эйнштейн, искала единую теорию поля — такое обобщение теории гравитации, из которого следовали бы квантовые законы. К золотой середине, где, как известно, находится истина, ближе других был Бронштейн, глубоко понимавший необходимость и неизбежность синтеза обеих великих теорий — квантовой и гравитационной. В докторской диссертации 1935 г. «Квантование гравитационных волн» (опубликованной в 1936 г.) Бронштейн получил квантовое обобщение формулы Эйнштейна для гравитационного излучения и вывел ньютоновский закон тяготения как следствие квантованной гравитации в приближении слабого поля. Тем самым была продемонстрирована возможность и необходимость квантового обобщения гравитации. А это вовсе не было очевидным в связи с тем, что гравитация (кривизна пространства-времени) представлялась многим макроскопическим свойством.

Однако с нынешней точки зрения наибольший интерес вызывает результат Бронштейна,

⁴ Сарнов Б., Чуковская Е. Случай Зощенко // Юность. 1988. № 8. С. 84.

⁵ Горелик Г. Е., Френкель В. Я. Матвей Петрович Бронштейн. М., 1989.



Матвей Петрович Бронштейн.
Родился 2 декабря 1906 г.
Арестован 6 августа 1937 г.
Погиб 18 февраля 1938 г.



Семен Петрович Шубин.
Родился 31 июля 1908 г.
Арестован 27 апреля 1937 г.
Погиб 28 ноября 1938 г.



Александр Адольфович Витт.
Родился 12 сентября 1902 г.
Арестован в мае 1937 г.
Погиб в начале 1938 г.

касающийся квантовой теории гравитации в целом, а не только ее приближения, когда можно пренебречь геометрической природой и нелинейностью гравитации. Бронштейн впервые обнаружил квантовые границы применимости общей теории относительности и понял, что исковый синтез квантовых и релятивистских идей «требует радикальной перестройки теории ...а может быть, и отказа от обычных представлений о пространстве и времени и замены их какими-то гораздо более глубокими и лишенными наглядности понятиями»⁶.

Осознание ситуации, достигнутое Бронштейном в 1935 г., возобновилось лишь через два десятилетия в работах О. Клейна, Л. Д. Ландау и Дж. Уилера.

Не менее замечательной была последняя из опубликованных работ Бронштейна. Она появилась в мартовском номере «ЖЭТФ» за 1937 г. В работе с названием «О возможности спонтанного расщепления фотонов» фактически впервые осуществилось взаимодействие космологии и микрофизики, и рас-

ширение Вселенной получило фундаментальное физическое обоснование.

СЕМЕН ПЕТРОВИЧ ШУБИН

Знакомство с Шубиным начнем его автобиографией, написанной в 1934 г.: «Я родился 31 июля 1908 г. Мой отец — член ВКП(б) с 1919 г., в настоящее время работает в Исполкоме Коминтерна. Мать — беспартийная, работает сейчас переводчицей в Наркомтяжпроме.

Систематического среднего образования я не получил (т. к. в годы гражданской войны семья была на Украине, неоднократно эвакуируясь из города в город). В 1921—1922 гг. учился в профтехнической школе в Харькове. Осенью 1923 г. поступил в Харьковский институт народного образования, откуда в январе 24 г. перевелся на физическое отделение Московского университета.

Окончив университет в 1927 г., я был тогда же оставлен аспирантом по кафедре теоретической физики у акад. Л. И. Мандельштама. Летом 1927 г. мною была закончена первая научная работа, которую весной 1928 г. я защищал как дипломную.

Окончив аспирантуру в феврале 1931 г., я был оставлен в Ин-те физики МГУ в качестве научного сотрудника 1-го разряда. Осенью 1931 г. я получил от дирекции Института полугодовой отпуск для поездки на работу в Магнитогорск. Поездка эта была согласована с ЦКК ВКП(б); в 1927—1929 гг. я был в троцкистской оппозиции (за что в декабре 1927 г. был исключен из комсомола, куда вступил в апреле 1925 г.) и хотел доказать свою преданность делу партии работой на стройке (я порвал с оппозицией в конце 1929 г. — извещение о моем заявлении появилось в «Правде» в феврале 1930).

В Магнитогорске я работал с октября 1931 г. по май 1932 г. и был там принят в партию всеми организациями, включая райком. По истечении срока

⁶ В декабре 1928 г. С. П. Шубин (вместе с группой товарищей по комсомолу) был арестован и выслан в г. Ишим (на Урале); см. его письмо оттуда Л. И. Мандельштаму, опубликованное в кн.: Академик Л. И. Мандельштам. К 100-летию со дня рождения (М., 1979. С. 63). Вернулся Шубин в Москву, в аспирантуру к Мандельштаму, через год.

⁶ Бронштейн М. П. Квантование гравитационных волн // ЖЭТФ. 1936. Т. 6. С. 195.

отпуска собирався вернуться на работу в Москву, но специальным решением Уралобкома был задержан в Свердловске для организации научной работы по физике на Урале.

Начиная с этого времени до сих пор непрерывно работаю в Свердловске в качестве заведующего кафедрой теоретической физики Уральского индустриального института и начальника теоретической группы Уральского физико-технического института⁸.

А вот отзыв Тамма:

«Семен Петрович Шубин является несомненно одним из самых выдающихся советских физиков-теоретиков. Обладая высокой одаренностью, ясностью мысли и творческой самостоятельностью, он отличается своим стремлением и умением при рассмотрении любой физической проблемы находить и выявлять лежащие часто глубоко за ее поверхностью простые и фундаментальные соотношения. Будучи сравнительно очень молодым человеком, он успел опубликовать целый ряд весьма ценных научных работ по самым разнообразным отделам теоретической физики (теория металлов, квантовая электродинамика, теория колебаний, статистическая механика). В особенности работы его по теории металлов выходят далеко за пределы рассмотрения отдельных специальных проблем и имеют фундаментальное значение для всего этого отдела теоретической физики. (...)»

Необходимо отметить, что за короткое время своего пребывания на должности профессора в гор. Свердловске он сумел создать вокруг себя и воспитать целую группу учеников, успешно и плодотворно развивающих его идеи. Укажу, например, на уже напечатанные работы Вонсовского, Смирнова, Сергеева, Черниковского об электропроводности при низких температурах, об оптических константах металлов, по вопросам ферромагнетизма и т. д.

Из изложенного, мне кажется, с несомненностью следует, что в лице С. П. Шубина мы имеем дело с выдающимся научным работником и что име-

ются все основания для присуждения ему степени доктора физики по совокупности работ — без защиты диссертации⁹.

Наибольшее развитие получили работы Шубина в физике твердого тела¹⁰. Но не забудем, что из жизни он был вырван в 28 лет. Насколько его талант не успел раскрыться, можно судить по письму, которое Тамм послал в 50-е годы родным Шубина:

«У всякого человека, прожившего такую долгую, разнообразную и нелегкую жизнь, как моя, постепенно создается свой собственный незримый Пантеон. В нем Семен Петрович занимает совсем особое место. Во-первых, я всегда считал его самым талантливым не только из моих учеников — а я ими избалован, но из всех наших физиков, по своему возрасту соответствующих моим ученикам. Только в последнее время появился Андрей Сахаров — трудно их сравнивать и потому, что времени много ушло, и потому, что Сахаров полностью сосредоточивает все свои духовные силы на физике, а для С. П. физика была только «grimé infer pures» — поэтому можно только сказать, что по порядку величины они сравнимы друг с другом.

Но помимо всего этого, С. П. был одним из самых близких мне людей по своему душевному складу — хотя мы с ним были очень разные люди, но ни с кем из моих учеников — а я многих из них очень люблю — у меня уже никогда не создавалось такой душевной близости. И поэтому из всех, ушедших примерно одновременно, мне всегда острее всего в памяти двое — мой брат¹¹ и С. П.»¹²

Воспоминания о Шубине его ученика и друга — С. В. Вонсовского также свидетельствуют о человеке, духовно богатом и щедром¹³.

⁸ Там же.

⁹ Кацнельсон М. М. Физика твердого тела: второе рождение работ ученого // Наука Урала. 1988. 14 янв. С. 4.

¹⁰ Леонид Евгеньевич Тамм (1901—1942), инженер-химик, стал одной из жертв «открытых» процессов 30-х годов.

¹¹ Наука Урала. 1988. 14 янв. С. 5.

¹² Вонсовский С. В. Слово об учителе и друге // Там же.

АЛЕКСАНДР АДОЛЬФОВИЧ ВИТТ

Биография Витта не так уж богата событиями внеученого характера. В отличие от Бронштейна и Шубина он получил «нормальное» среднее образование в московской гимназии, к старшим классам превратившейся в советскую трудовую школу 2-й ступени. Но время все равно наложило свой отпечаток. В 1920 г. он поступил одновременно на физико-математический факультет МГУ и на действительную военную службу (I) — в Аэрофотограмметрическую школу, после окончания которой был назначен начальником статистического отделения по учету личного состава в Главном управлении Воздушного флота. Прослужив, без отрыва от учебы в МГУ, два года в Красной Армии, демобилизовался. В 1926—1929 гг. был аспирантом Мандельштама.

В 1929 г. Мандельштам, рекомендуя Витта для заграничной стажировки (не состоявшейся), писал:

«Я считаю его вполне подготовленным для заграничной поездки. Он обладает несомненными способностями к научной работе, достаточно солидным образованием, является хорошим математиком и вполне владеет немецким языком. По его работам ему близки и научно-технические вопросы (научная радиотехника), и вопросы современной физики. Я считал бы поэтому желательным, чтоб его заграничное пребывание протекало под руководством крупнейших теоретиков в той и другой области (Зоммерфельд в Мюнхене и Борн в Геттингене). Ввиду его ясно выраженных математических дарований, надо, мне кажется, предпочесть руководство именно этих первоклассных физиков-математиков»¹⁴.

А вот отзыв Мандельштама о научных трудах Витта, написанный спустя пять лет:

«Проблемы так называемых нелинейных колебаний за-

¹⁴ Бендриков Г. А., Сидорова Г. А. Александр Адольфович Витт // История и методология естественных наук. Вып. 26. М., 1981. С. 151.

нимают, как известно, в настоящее время одно из центральных мест среди проблем, выдвигаемых теорией колебаний вообще и имеющих важное значение в весьма многих областях физики. (...) Среди исследователей, работы которых оказали существенное влияние на развитие указанной области, как у нас, так и за границей, А. А. Витт занимает весьма видное место. (...) Одна группа работ А. А. Витта (часть из них совместно с Андроновым) посвящена развитию и применению к исследованию колебательных процессов методов интегрирования нелинейных уравнений, ведущих свое начало от Пуанкаре и Ляпунова. Эти работы подводят впервые строгое основание под трактовку целого ряда основных проблем, которые до этих работ такой базы не имели; они дают общий метод трактовки периодических процессов в нелинейных системах, специально метод исследования их устойчивости. (...) Более трудная задача, но также весьма важная с физической и технической точек зрения, это задача о колебаниях в нелинейных распределенных системах. Основы для теории таких систем даны Виттом, насколько я знаю, впервые. (...)

Наконец, укажу на работы Витта (совм. с Андроновым и Понтрягиным), относящиеся к весьма интересному вопросу о поведении динамических систем при «случайных» воздействиях. (...) Укажу в заключение на то, что А. А. Виттом совместно с А. А. Андроновым и С. Э. Хайкиным сдан в печать обширный учебник по колебаниям, который, по моему мнению, будет весьма ценным вкладом в литературу по колебаниям. (...)

На основании вышеизложенного я считаю, что есть все основания присудить А. А. Витту степень доктора по совокупности работ, без защиты диссертации¹⁵.

«Интернационализм» теории колебаний — приложимость ее языка к самым разным областям естествознания — вместе с математической силой Витта позволяли ему выходить далеко за традиционные границы физики колебаний.

Например, по воспоминаниям В. А. Фабриканта, как-то раз на семинаре Мандельштама был поставлен доклад о шредингеровской теории атома, но докладчик заболел. «Л. И. [Мандельштам] обратился к аудитории и сказал, что он не берется без подготовки сделать доклад, но что здесь присутствует один человек, который может это превосходно сделать, и назвал Александра Адольфовича Витта. А. А. Витт смутился, однако пошел к доске и сделал блестящий доклад, продолжавшийся около двух часов. Л. И. вышел перед нами с очень довольным видом, пожал плечами, развел руки и сказал: "Не правда ли, поразительно?". Насколько помню, раздалась аплодисменты»¹⁷.

Несколько работ Витта посвящено теории химических колебаний. Это направление, известное сейчас более всего реакцией Белоусова — Жаботинского, имеет на самом деле давнюю историю. Витт теоретически доказал возможность химических волновых явлений. А впоследствии, как известно, некоторые ученые мужи утверждали упорно, что таких явлений «не может быть никогда». Вполне вероятно, что судьба этого направления не была бы столь трудной, если бы в его развитии мог участвовать Витт.

Еще один пример — работа Витта (совместно с биологом Г. Ф. Гаузе) в области математической экологии: была построена и изучена математическая модель взаимодействия популяций типа «хищник — жертва». О значении этой работы говорит то, что спустя тридцать лет после ее появления она была включена в сборник классических работ по экологии, изданный в США¹⁸.

Даже приведенных обрывочных сведений достаточно, чтобы увидеть, насколько разными людьми были три молодых физика-теоретика. Но в их биографиях есть одно страшное совпадение. Все трое были арестованы в 1937 г. И несмотря на различные приговоры (Бронштейну — расстрел, Шубину — 8 лет, Витту — 5 лет), все трое погибли в 1938 г.

Дата смерти 1938

Место смерти _____

Причина смерти _____

В середине 50-х годов много свидетельств, заполненных подобным образом, было выдано в ЗАГСах страны, нередко перед портретом, на котором по-прежнему смеялись усица и сияли голенища. Прочерк в графе «место смерти» причинял родным погибших больше страданий, чем прочерк в графе «причина», потому что им она была очевидна — преступный произвол.

Однако те, кому не довелось почувствовать «карающую длань» на собственном опыте и опыте близких, любой ценой стремились расшифровать прочерк в графе «причина». До настоящего времени пишущему эти строки приходится объяснять, что Бронштейн был однофамильцем, а не родственником Троцкого¹⁹. Еще более настойчиво искали причины репрессий в прошлые годы. И находили: Бронштейн — племянник Троцкого, Витт — немец и т. д. Не каждому ведь было известно, что брат и сестра Бронштейна не заинтересовали никого в «компетентных» органах и что в 1937 г. быть немцем еще не означало преступления. А если бы даже это стало широко известно, появились бы другие версии. Когда арестованный имел совершенно «чистую» анкету, поговаривали, что слишком чистую, подозрительно чистую...

Наиболее убедительная «теоретическая» версия Большого террора, появившаяся еще в конце 30-х годов, гласит, что противостоительный отбор об-

¹⁵ Книга «Теория колебаний» вышла в 1937 г., после ареста А. А. Витта, и авторами ее указаны только А. А. Андронов и С. Э. Хайкин. Имя А. А. Витта восстановлено во втором издании этой книги (1959 г.).

¹⁶ Архив МГУ. Ф. 46. Оп. 1 л. Д. 41^а. Л. 12.

¹⁷ Академик Л. И. Мандельштам. К 100-летию со дня рождения. М., 1979. С. 234.

¹⁸ Readings in population and community ecology L., 1964. С. 108.

¹⁹ Успенская Н. В. Вредительство... в деле изучения солнечного затмения. // Природа. 1989. № 8. С. 86—98.

рушивался более или менее равномерно на все социальные слои, все профессиональные группы общества. В каждом сословии «отстреливался» определенный процент, так что никто не мог себя чувствовать в безопасности.

Вряд ли эти проценты определялись какой-то тайной строкой государственного плана — ведь сословие, претворявшее такие проценты в жизнь, точнее — в смерть, само подвергалось «чистке». Действовала, скорее, какая-то социальная ста-

тистическая механика. Быть может, когда-нибудь появится подлинная динамическая теория, которая опишет поведение человеческих популяций, в частности, со взаимодействием типа «палачи — жертва». И, возможно, творцы математической экологии человека начнут с изучения результатов Витта, полученных в середине 30-х годов.

Чего лишилась наука, потеряв таких ярких и многообещающих физиков, как Бронштейн, Шубин и Витт? На это трудно ответить. Одаренному

ученому, погибшему безвременно, не следует отдавать открытий, сделанных впоследствии его коллегами. Те события, которые могли произойти в науке только с его участием, могли бы изменить саму историю науки.

Ясно, что лишились мы очень многого. Талант, как известно, это дар, но дар не столько одному человеку, сколько его стране, человечеству. И, быть может, важнейшая характеристика общества зависит от того, насколько бережно оно обходится с полученными дарами.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «НАУКА» предлагает магазин № 3 «Книга — почтой» «Академкнига»

Готовятся к печати:

Э. Т. Артюшенко. АТЛАС ПО ОПИСАТЕЛЬНОЙ МОРФОЛОГИИ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ. Семя. 1990. 25 л. Ц. 2 р. 50 к.

Л. Г. Бурова. ЗАГАДОЧНЫЙ МИР ГРИБОВ. Сер. «Человек и окружающая среда». 1990. 8 л. Ц. 1 р.

Э. Ф. Козаржевская. ВРЕДИТЕЛИ ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ. (Щитовки, ложнощитовки, червецы.) 1990. 20 л. Ц. 2 р. 20 к.

Г. Б. Федосеев, С. Ю. Куприянов, И. Б. Воронов. «МЕЛОЧИ» ЖИЗНИ? (АУТОПАТОГЕННЫЕ ПРИВЫЧКИ И КУЛЬТУРА ЗДОРОВЬЯ.) Сер. «От молекулы до организма». 1990. 15 л. Ц. 1 р. 50 к.

Заказы по адресу: 117393 Москва, ул. Академика Пилюгина, дом 14, корп. 2. Магазин № 3 «Книга — почтой», «Академкнига».

Научные редакторы:
И. Н. АРУТЮНЯН,
О. О. АСТАХОВА,
Л. П. БЕЛЯНОВА,
М. Ю. ЗУБРЕВА,
Г. В. КОРОТКЕВИЧ,
Г. М. ЛЬВОВСКИЙ,
Л. Д. МАЙОРОВА,
Н. Д. МОРОЗОВА,
Е. М. ПУШКИНА,
Н. В. УСПЕНСКАЯ

Литературные редакторы:
Г. И. ПАНКОВА, С. С. ПЕРЕПЕЛКИНА

Художник П. П. ЕФРЕМОВ

Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Заведующая редакцией
О. В. ВОЛОШИНА

Корректоры:
В. А. Ермолаева, Л. М. Федорова

В художественном оформлении
номера принимали участие:
Н. Х. БУТЫРИНА,
В. С. КРЫЛОВА,
Р. Э. МАТКАЗИН,
В. А. СКРЕБНЕВ

Ордена Трудового Красного
Знамени издательство «Наука»

Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП-1,
Мароковский пер., 26
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 27.10.89
Подписано в печать 4.12.89.
Т-19019
Формат 70×100 1/16
Бумага офсетная, № 1
Офсетная печать
Усл. печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 1445,6 тыс.
Уч.-изд. л. 15,2
Тираж 54 000 экз.
Зак. 2601
Цена 80 к.

Ордена Трудового
Красного Знамени
Чеховский полиграфический
комбинат
Государственного комитета СССР
по печати
142300, г. Чехов
Московской области



Среди охраняемых видов биосферы пока не значатся микроорганизмы. А среди них есть и редчайшие отдельные виды, и целые сообщества, которые могут исчезнуть с лица Земли, если их не заповедать.

Заварзин Г. А. ЗАПОВЕДНИКИ ДЛЯ МИКРОБОВ



Представление о том, что солнечная энергетика сможет удовлетворить потребности человечества в энергии без риска вызвать глобальное потепление,— еще одно распространенное заблуждение.

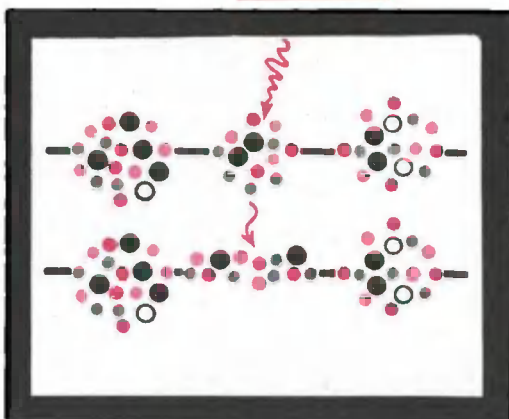
Рютов Д. Д. СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ

Почему человек — мера всех вещей? Один из естественнонаучных ответов на этот вопрос дает антропный принцип. Другой опирается на анализ уникальной роли так называемого «золотого сечения» в организации чувственного восприятия.

Рыбин И. А. ПСИХОФИЗИКА: ПОИСК НОВЫХ ПОДХОДОВ

ПРИРОДА

2⁹⁰



Многочисленные попытки объяснить закономерности мутагенеза, составляющего основу эволюционных преобразований, до сих пор не увенчались успехом. Современные представления о механизме этого сложного естественного процесса могут существенно отразиться на понимании эволюции.

Корогодин В. И., Корогодина В. Л., Файси Ч. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ КОНЦЕПЦИЯ МУТАГЕНЕЗА



При оценке состояния современного землепользования в юго-восточной части Европейской территории СССР с помощью фотоснимков из космоса выявились детали и причины деградации почв.

Зонн С. В. ДЕГРАДАЦИЯ АГРАРНЫХ РЕСУРСОВ

