

ISSN 0012 - 5742

ПРИРОДА

10 94



Главный редактор академик А.Ф.АНДРЕЕВ

Первый заместитель главного редактора А.В.БЯЛКО

Заместители главного редактора:

А.А.ГУРШТЕЙН (история естествознания),

А.А.КОМАР (физика),

А.К.СКВОРЦОВ (биология),

А.А.ЯРОШЕВСКИЙ (науки о Земле)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

И.Н.АРУТЮНЯН (редактор отдела физико-математических наук), О.О.АСТАХОВА (редактор отдела биологии и медицины), кандидат химических наук Л.П.БЕЛЯНОВА (ответственный секретарь), член-корреспондент РАН Н.А.БОГДАНОВ (геология), член-корреспондент РАН В.Б.БРАГИНСКИЙ (физика), член-корреспондент РАН А.Л.БЫЗОВ (физиология), доктор географических наук А.А.ВЕЛИЧКО (палеогеография), академик АМН А.И.ВОРОБЬЕВ (медицина), доктор биологических наук Н.Н.ВОРОНЦОВ (охрана природы), академик М.Е.ВИНОГРАДОВ (биоокеанология), член-корреспондент РАН С.С.ГЕРШТЕЙН (физика), доктор географических наук Н.Ф.ГЛАЗОВСКИЙ (география), академик Г.С.ГОЛИЦЫН (физика атмосферы), академик Г.В.ДОБРОВОЛЬСКИЙ (почвоведение), академик В.А.ЖАРИКОВ (геология), член-корреспондент РАН Г.А.ЗАВАРЗИН (микробиология, экология), М.Ю.ЗУБРЕВА (редактор отдела географии и океанологии), академик В.Т.ИВАНОВ (биоорганическая химия), академик В.А.КАБАНОВ (общая и техническая химия), Г.В.КОРОТКЕВИЧ (редактор отдела научной информации), академик Н.П.ЛАВЕРОВ (геология), Л.Д.МАЙОРОВА (редактор отдела геологии, геофизики и геохимии), доктор биологических наук Б.М.МЕДНИКОВ (биология), Н.Д.МОРОЗОВА (научная информация), доктор геолого-минералогических наук Л.Л.ПЕРЧУК (геология), доктор технических наук Д.А.ПОСПЕЛОВ (информатика), член-корреспондент РАН В.А.СИДОРЕНКО (энергетика), академик В.Е.СОКОЛОВ (зоология), академик В.С.СТЕПИН (философия естествознания), академик В.Н.СТРАХОВ (геофизика), Н.В.УСПЕНСКАЯ (редактор отдела философии, истории естествознания и публицистики), академик Л.Д.ФАДДЕЕВ (математика), доктор биологических наук М.А.ФЕДОНКИН (палеонтология), доктор биологических наук С.Э.ШНОЛЬ (биология, биофизика), О.И.ШУТОВА (редактор отдела экологии и химии), доктор физико-математических наук А.М.ЧЕРЕПАЦУК (астрономия, астрофизика).

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Ледник в Прильбрусье. См. в номере: Российская гляциология: "не прощает, но и не теряет значения". (Интервью с В.М.Котляковым)

Фото В.Е.Гиппенрейтера

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Граница речных и морских вод. См. в номере: Лисицын А.П., Виноградов М.Е. Экспедиция в Карское море.

Фото А.П.Лисицына



Всероссийское объединение издательских, полиграфических и книготорговых предприятий «Наука»

© Российская академия наук
журнал «Природа» 1994

В НОМЕРЕ

3 Антипов Е. В., Путилин С. Н. РЕКОРДСМЕНЫ СРЕДИ СВЕРХПРО- ВОДНИКОВ

В 1993 г. были получены новые сверхпроводники на основе сложных оксидов ртути и меди, некоторые из которых обладают рекордными температурами перехода в сверхпроводящее состояние. Под сверхвысоким давлением эта температура достигает 160 К, что указывает на принципиальную возможность получения подобных температур у сложных купратов при нормальном давлении.

17 Вельков В. В. ПОРОЖДЕННЫЕ ГЕННОЙ ИНЖЕНЕРИЕЙ

Одна из реальных задач практической генной инженерии — интродукция генетически модифицированных микроорганизмов в биосферу. Каковы возможные последствия таких экспериментов? Каков риск и возможная польза от активного вмешательства новой технологии в нашу жизнь и окружающую среду?

25 Василенко И. Я. ГОРЯЧИЕ ЧАСТИЦЫ

Последствия облучения при ингаляции горячих частиц трактуются специалистами по-разному, но, судя по экспериментальным и эпидемиологическим данным, высокие локальные дозы менее опасны, чем тотальное облучение.

32 Лисицын А. П., Виноградов М. Е. ЭКСПЕДИЦИЯ В КАРСКОЕ МОРЕ

Исследования 1993 г. во время рейса «Дмитрия Менделеева» показали, что это северное море — объект радиоактивных загрязнений — неплохо справляется с радионуклидной нагрузкой. При впадении в море Оби и Енисея формируется гигантская область смешения морских и речных вод, в которой практически все вещества быстро осаждаются на дно.

44 РОССИЙСКАЯ ГЛЯЦИОЛОГИЯ: «НЕ ПРОЦВЕТАЕТ, НО И НЕ ТЕРЯЕТ ЗНА- ЧЕНИЯ» Интервью с В. М. Котляковым

С тех пор как крупнейшие ледники бывшего СССР «ушли за границу», объем гляциологических исследований сократился. Однако и сегодня у российских гляциологов немало объектов изучения — горное и покровное оледенение, снежный покров и снежные лавины, морские и подземные льды.

52 Миркин Б. М. УСТОЙЧИВЫЕ АГРОСИСТЕМЫ: МЕЧТА ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

Создание устойчивых агросистем, в которых были бы запрещены все формы природопользования, истощающие ресурсы, отнюдь не утопия, агроэкологи занимаются этим уже сейчас.

РЕЗОНАНС

64 Панина И. ИНОЙ ВЗГЛЯД

65 От редакции

66 Мешалкин Л. Д., Гольдберг С. И. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ: ОС- ВОЕНИЕ НОВЫХ МЕТОДОВ

Медицинская система DINAR успешно завоевывает рынок благодаря объему вложенных в нее медицинских знаний и изменению взгляда на экспертную систему в областях высокой интеллектуальной сложности.

76 Ключников С. Н. ЗА «ПЛЕНКОЙ МАЛОВИДЕНИЯ»

Цвет, яркость, матовость или блеск бабочек зависят не только от пигментов, содержащихся в чешуйках, но и от их строения, и понять это можно только заглянув в микроскоп.

86 Сонин А. С., Френкель В. Я. «ЗАЧЕМ ВЫ ПОДАЛИСЬ В НАУКУ, ФРЕДЕРИКСТ»

Всеволода Константиновича Фредерикса арестовали в конце 1936-го. К этому времени он уже был известным экспериментатором и теоретиком, получившим классические результаты в нескольких областях физики. Особое внимание привлекали его работы по жидким кристаллам.

96 Тори К. С. ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И ИСКРИВЛЕНИЕ ВРЕ- МЕНИ: ДЕРЗКОЕ НАСЛЕДИЕ ЭЙН- ШТЕЙНА

110 НОВОСТИ НАУКИ (24, 31, 63, 124)

122 КОРОТКО

РЕЦЕНЗИИ

123 Чесноков Н. И. ПРИЗВАНИЕ — ЗАПОВЕДНОЕ ДЕЛО

ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

125 Любина Г. И. ЕЩЕ ОДИН ТАЛАНТЛИВЫЙ МЕЧНИ- КОВ

IN THIS ISSUE:

3 Antipov E. V., Putilin S. N. CHAMPIONS AMONG SUPERCONDUCTORS

In 1993 new mercury based superconducting copper mixed oxides with record transition temperatures were obtained. Under superhigh pressure this temperature increases to about 160 K demonstrating a possibility of achieving such temperatures among complex cuprates under ambient conditions.

17 Velkov V. V. BORN BY GENETIC ENGINEERING

One of the actual problems of genetic engineering is the implementation of genetically modified micro-cells into biosphere. What are possible consequences of such experiments? What is their risk measure, what are possible gains from introduction of such a new technology into our life and environment?

25 Vasilenko I. Ya. HOT PARTICLES

The consequences of inhalation of hot radioactive particles are still widely discussed by specialists, but according to experimental and epidemiological data high local doses are less dangerous than total irradiation.

32 Lisitsin A. P., Vinogradov M. E. EXPEDITION TO THE KARA SEA

Investigations performed during the 1993 expedition of the scientific ship "Dmitry Mendeleev" showed that this North sea previously contaminated by radioactive waste, goes reasonably well with its load of radionuclides. A giant region is formed at estuaries of the Ob and Yenisei rivers where practically all suspensions fall out to the bottom due to the mixing of sea and river waters.

44 RUSSIAN GLACIOLOGY: "DOES NOT BLOSSOM, BUT AT THE SAME TIME DOES NOT LOSE ITS IMPORTANCE"

Interview with V. M. Kotlyakov

Since all major ice-fields of ex-USSR have "emigrated", the volume of glaciological research has drastically reduced. However even now Russian glaciologists have a sufficient number of objects to investigate: mountain ice creation, snow covering and avalanches, sea and underground ice.

52 Mirkin B. M. STABLE AGROSYSTEMS: DREAMS OR REALITY?

It is not an utopia to form such agrosystems, where all resource wasting patterns of the land-use are prohibited. Agroecologists actively work in this direction.

64 Resonance Panina I. ANOTHER OUTLOOK

65 FROM THE EDITOR

66 Meshalkin L. D., Goldberg S. I. INTELLECTUAL SYSTEMS: MASTERING OF NEW METHODS

A medical expert system DINAR is successful on the market due to the huge amount of medical information inserted in it and to the change of concepts on view on an expert highly intellectual systems.

76 Kluchnikov S. N. BUTTERFLY-SCALE UNDER MICROSCOPE

Color, brightness, opaqueness or shining of butterflies depend not only on pigments in their cover layers, but also on its structure. All this can be understood with the help of a microscope.

86 Sonin A. S., Frenkel V. Ya. "WHAT FOR DID YOU COME IN SCIENCE, FREDERIKS?"

Vsevolod Konstantinovich Frederiks was arrested in the end of 1936. By this time he was already a well known experimentalist and theoretician who obtained classical results in different fields of physics. His works on liquid crystals were most attractive.

96 Thorne K. S. BLACK HOLES AND TIME WARDS: EINSTEIN'S OUTRAGEOUS LEGACY

110 SCIENCE NEWS (24, 31, 63, 124)

122 NEWS IN BRIEF

123 BOOK REVIEWS Chesnokov N. I. VOCATION—RESERVE ACTIVITY

125 MEETING THE FORGOTTEN PAST. Lyubina G. I. ONE MORE TALENTED MECHNIKOV...

Рекордсмены среди сверхпроводников

Е. В. Антипов, С. Н. Путилин



Евгений Викторович Антипов (справа), кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник кафедры неорганической химии химического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова.

Сергей Николаевич Путилин, кандидат химических наук, научный сотрудник той же кафедры. Область научных интересов — кристаллохимия неорганических соединений, поиск новых сверхпроводящих материалов.

В 1993 г. за цикл работ в области поиска новых сверхпроводников авторы удостоены премии РАН им. М. В. Ломоносова I степени.

ВВЕДЕНИЕ

За время, прошедшее после открытия Г. Беднорцем и А. Мюллером¹ в 1986 г. высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) у соединения $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ при температурах около 40 К, было синтезировано большое число новых сверхпроводников на основе сложных оксидов меди со слоистыми структурами. Несмотря на большое чис-

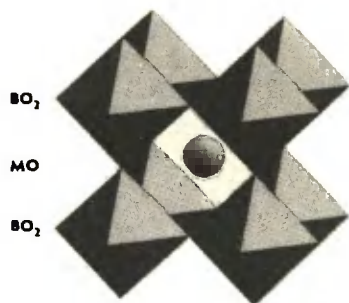
ло составов сверхпроводящих фаз, приводившихся разными авторами, количество оригинальных по составу или структуре слоистых ВТСП-купратов не превышало 35 (по утверждению Р. Кавы — одного из наиболее удачливых ученых в области поиска новых сверхпроводников²). Самыми высокими температурами перехода в сверхпроводящее состояние ($T_c \approx 125\text{—}127$ К) обладали соединения на основе таллия, открытые в 1988 г. З. Шенгом и А. Херманном.

Большинство этих сверхпроводников принадлежит трем классам соединений на основе висмута, таллия или свинца. Состав-

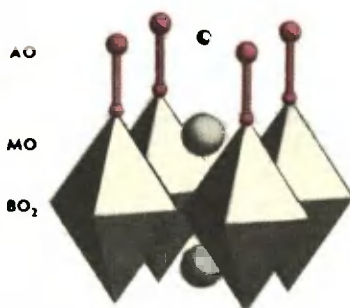
© Антипов Е. В., Путилин С. Н. Рекордсмены среди сверхпроводников.

¹ Bednorz J. G., Muller K. A. Possible high T_c superconductivity in the Ba-La-Cu-O system // Z. Phys. 1986. V. B64. S. 189—193; Лауреаты Нобелевской премии 1987 года. По физике — А. Мюллер и Г. Беднорц // Природа. 1988. № 1. С. 98—100.

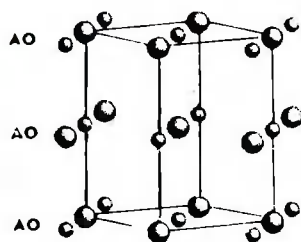
² Cava R. J. Pick your poison. // Nature. 1993. V. 362. P. 204—205.



перовскит



фрагмент сложного оксида меди



NaCl

Кристаллическая структура перовскита (MBO_3), фрагмент структуры слоистого сверхпроводящего сложного оксида меди и структура хлористого натрия (AO). Слой типа (MO) , (AO) и (BO_2) чередуются в этих структурах вдоль оси с элементарных ячеек. В структуре перовскита катион В-типа расположен внутри октаэдра, вершинами которого являются атомы кислорода, не показанные на рисунке. Катион М-типа (координационное число — КЧ — равно 12) обозначен шаром, расположенным внутри каркаса октаэдров, связанных общими вершинами. В структуре NaCl катионы обозначены большими шарами, а анионы — маленькими. В выделенной тетрагональной ячейке расположение катионов и анионов в слоях аналогично их расположению в слое типа (MO) структуры перовскита. Соседние слои структуры NaCl смещены один относительно другого на половину диагонали. Во фрагменте структуры слоистого сложного оксида меди можно выделить блоки или группу слоев типа (BO_2) и (MO) , упакованных так же, как в структуре перовскита, и слой типа (AO) и (MO) , аналогичные слоям структуры NaCl . Количество слоев в указанных блоках может изменяться в широких пределах: от двух до четырех — в блоке типа NaCl и от одного до пяти слоев (BO_2) в перовскитном фрагменте. Одинаковый характер расположения катионов в этих двух структурных блоках обуславливает существование подобных слоистых структур.

Прогнозирование и синтез новых неорганических соединений можно осуществлять с помощью выбора и других структурных блоков, например, структуру перовскита можно сочетать со структурами флюорита (CaF_2), $\alpha\text{-SnO}$ и т. д. Такой подход аналогичен синтезу органических молекул, однако для его осуществления необходимо рассматривать двумерные бесконечные слои, объединенные в структурные блоки, а не изолированные группы атомов.

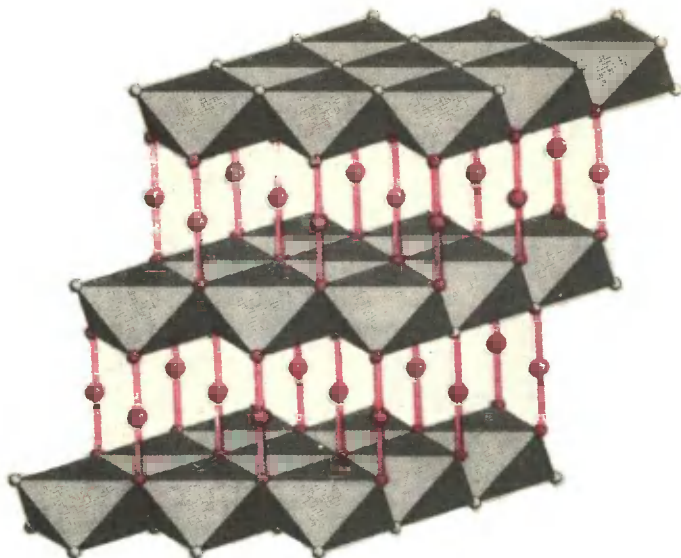
вы слоистых ВТСП-купратов, содержащих Bi и Tl , могут быть представлены общей формулой $\text{A}_m\text{M}_2\text{R}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_x$, где $\text{A}=\text{Bi}$, Tl ; $\text{M}=\text{Ba}$, Sr ; $\text{R}=\text{Ca}$ или редкоземельные элементы. По своей структуре эти соединения представляют собой чередующиеся вдоль оси с элементарной ячейки слои (AO) , (MO) , (R) и (CuO_2) . Они формально объединяются в блоки типа перовскита и хлористого натрия, поскольку расположение катионов и анионов в этих фрагментах соответствует их расположению в данных простейших неорганических структурах. При таком под-

ходе структуры слоистых сверхпроводников можно рассматривать как комбинацию более простых структурных блоков. Слои (CuO_2) , которые ответственны за возникновение сверхпроводимости и обладают формальным отрицательным зарядом, расположены в перовскитных блоках, и их число на элементарную ячейку изменяется от 1 до n (обычно не превышающим 4—5). Если $n \geq 2$, между этими слоями расположены бескислородные (R)-слои. Остальные диэлектрические блоки обеспечивают стабильность структур, в частности компенсируют отрицательный заряд слоя (CuO_2) . Эти фрагменты обладают формальным положительным зарядом, который можно менять с помощью гетеровалентного замещения катионов или изменением количества кислорода, что позволяет достигать оптимальной для появления сверхпроводимости концентрации дырок в зоне проводимости (или, используя химическую терминологию, формальной степени окисления меди).

Структуры с подобными последовательностями слоев устойчивы только в том случае, если межатомные расстояния в любом слое соразмерны аналогичным расстояниям в ниже- и вышележащих слоях, причем наиболее важным является согласование между слоями (CuO_2) и (MO) . Эти слои сочетаются друг с другом, если соблюдается соотношение $\text{M—O/Cu—O} \approx \sqrt{2}$. Длина связи Cu—O в этих соединениях изменяется от 1.90 до 1.98 Å, и, таким образом, идеальное расстояние M—O должно составлять 2.69—2.80 Å — типичное расстояние для катионов Ba^{2+} , Sr^{2+} или La^{3+} .

Использование подходящих по размеру, но однозарядных катионов щелочных металлов (Na^+ или K^+) в этой позиции не позволит совместно с другими структурными фрагментами компенсировать избыточный отрицательный заряд слоя (CuO_2) . Отметим, что катион М-типа должен обладать достаточно большими ионными ра-

Кристаллическая структура SrHgO_2 . Катионы Hg^{2+} имеют типичное для них координационное окружение в виде гантели ($\text{КЧ}=2$; показаны в этом), катионы Sr расположены внутри октаэдров, в вершинах которых находятся атомы кислорода. Подобная координация катионов ртути в оксидных фазах позволяла осуществлять синтез новых сверхпроводников с оптимальными для сверхпроводимости структурами.

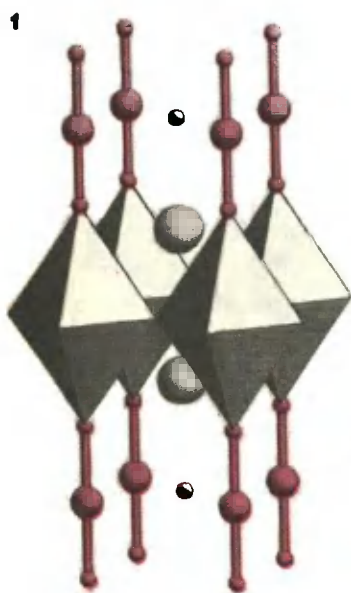
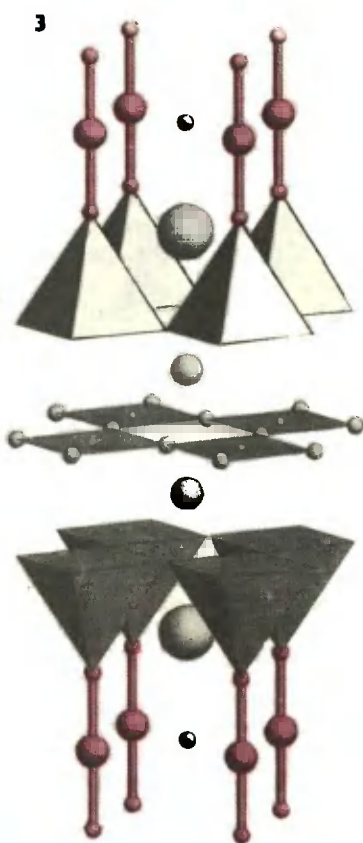
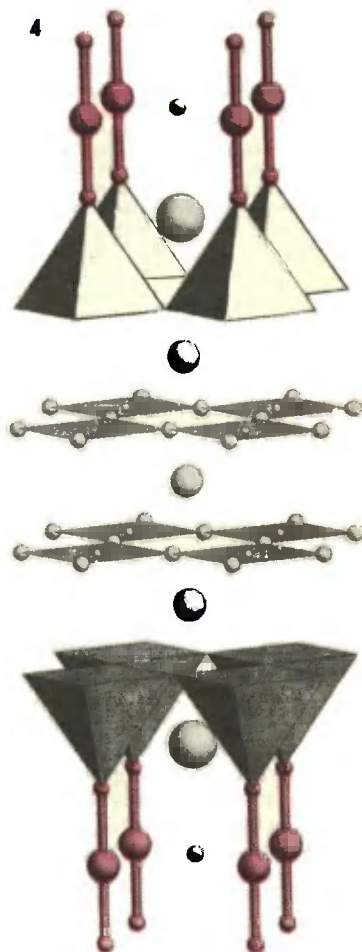
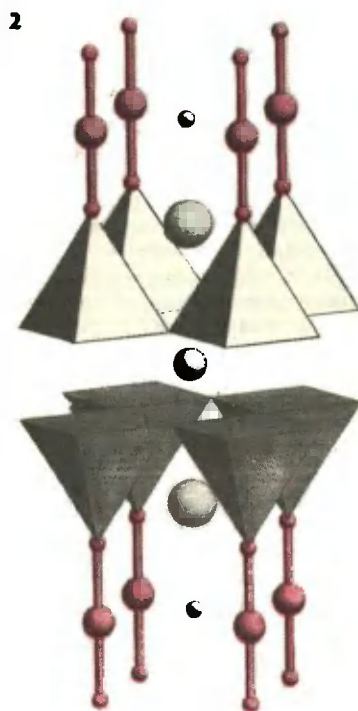


диусом и координационным числом (КЧ). В силу этого позиция атома кислорода в слое (МО) должна быть полностью заполнена. Приблизительно такие же значения межатомных расстояний должны иметь связи A—O в слоях (АО), которые вместе со слоями (МО) образуют блоки типа NaCl . Однако ионные радиусы катионов Bi^{3+} и Tl^{3+} слишком малы по сравнению с радиусами Ba^{2+} или Sr^{2+} . Эта несоразмерность может быть уменьшена путем катионного замещения, большими смещениями катионов A -типа и атомов кислорода в слоях (АО). В некоторых структурах в эти слои внедряются добавочные атомы кислорода. В результате подобных искажений для катионов Bi^{3+} и Tl^{3+} достигается характерная координация атомами кислорода, но одновременно это вызывает сильные искажения рядом расположенных слоев (МО) и (CuO_2), что, возможно, приводит к ухудшению сверхпроводящих свойств этих соединений. Например, в сильно искаженных структурах $\text{Bi}_2\text{Sr}_x\text{CuO}_{6+\delta}$ значение T_c не превышает 20 К, несмотря на то, что они имеют характерную для других сверхпроводников концентрацию дырок в зоне проводимости. Температура сверхпроводящего перехода возрастает до 86 и 108 К для второго и третьего членов Bi -содержащего гомологического семейства, которые имеют значительно менее искаженные слои (CuO_2) в структурах.

Для катионов Hg^{2+} в оксидных фазах очень характерна гантелеобразная координация, которая, к примеру, реализу-

ется в структурах MHgO_2 ($\text{M}=\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$)³. Нам представлялось возможным синтезировать соединения, подобные по структурам слоистым ВТСП-оксидам, у которых в блоке типа NaCl в позиции A -типа находились бы катионы Hg^{2+} . В этом слое с катионами ртути наличие атомов кислорода становится неизбежным, они необходимы лишь для создания соответствующей концентрации дырок в зоне проводимости. Для Hg -серии несоразмерность между слоями (МО) и (АО) должна отсутствовать, так как большая часть атомов ртути будет иметь координационное окружение в виде гантели с $\text{КЧ}=2$, образованной за счет атомов кислорода из соседних слоев (МО). В результате данной кристаллохимической особенности катионов Hg^{2+} связь Hg—O в плоскости слоя (HgO_6) должна быть очень слабой и не может оказывать влияния на соразмерность структурных фрагментов, а соответственно, на сверхпроводящие свойства слоистых купратов с данным структурным блоком, в отличие от аналогичных Bi -, Tl - и Pb -содержащих соединений. Подобное кристаллохимическое моделирование и послужило отправной точкой для синтеза новых слоистых сложных оксидов меди с общей формулой $\text{HgBa}_2(\text{R}, \text{Ca})_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2+\delta}$.

³ Путилин С. Н., Розова М. Г., Кашпоров Д. А. и др. Синтез и структура меркуратов стронция и кальция // Журн. неорганической химии. 1991. Т. 36. С. 1645—1647; Putilin S. N., Kazakov S. M., Marezio M. On the Alkali-Earth mercurates, MHgO_2 // J. Solid State Chem. 1994. V. 109. P. 406—409.

 $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{10+\delta}$  $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{4+\delta}$

Кристаллические структуры новых сверхпроводников. Максимальные температуры перехода в сверхпроводящее состояние первого соединения — 94 К, второго — 127 К, третьего — 135 К и четвертого — 126 К. Атомы Ba обозначены большими шарами, Ca — средними; ртуть-кислородные гантели показаны цветом. В первой структуре атомы Cu расположены внутри октаэдров, во второй, третьей и четвертой — тетрагональных пирамид, в третьей и четвертой — квадратов. Атомы меди и кислорода, будучи в одной плоскости, образуют бесконечные слои $[\text{CuO}_2]$ — необходимый структурный фрагмент сверхпроводящих сложных оксидов меди. В одном слое с атомами ртути находятся атомы кислорода (наполовину черные шары), которые частично заселяют свои позиции. Количество этих атомов можно легко менять с помощью различных термообработок, что сильно сказывается на температурах перехода указанных соединений в сверхпроводящее состояние.

В 1991 г. нам впервые удалось получить соединения $\text{HgBa}_2\text{RCu}_2\text{O}_{6+\delta}$, в структурах которых имелись два слоя (CuO_2), разделенных катионами редкоземельных металлов⁴. Однако, несмотря на подобие этих структур известному Ti -содержащему сверхпроводнику $\text{TiBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ ($T_c = 85$ К), соединения не обладали сверхпроводящими свойствами, вероятно, вследствие недостаточной концентрации дырок в зоне проводимости. Мы предположили, что сверхпроводимость может возникнуть у Hg -содержащих слоистых оксидов, если трехвалентные редкоземельные катионы в их структурах заместить двухвалентным кальцием. Это должно было повысить формальную степень окисления меди. Мог быть и другой способ получения сверхпроводящих структур — также синтез Hg -содержащего слоистого купрата, но без редкоземельного элемента. Однако в этом случае в структуре должен был присутствовать только один слой (CuO_2). В результате зимой 1993 г. мы совместно с М. Марезио и О. Шмайсемом из Лаборатории кристаллографии (Гренобль, Франция) получили первый ртутьсодержащий сверхпроводник⁵ $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ (в других обозначениях — Hg-1201) с температурой перехода в сверхпроводящее состояние 94 К. В течение весны и лета 1993 г. нами и рядом зарубежных ученых были получены и другие представители этого семейства сверхпроводящих оксидов с рекордными T_c : $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ (Hg-1212)⁶, $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$ (Hg-1223)⁷ и $\text{HgBa}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{10+\delta}$ (Hg-1234)⁸. К примеру, для соединения Hg-1223 T_c достигает 135 К.

Рассмотрим основные проблемы, связанные с синтезом этих соединений, и обсудим их кристаллические структуры и сверхпроводящие свойства.

СИНТЕЗ

В качестве источника ртути в синтезе соединений $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2+\delta}$ обычно используется оксид ртути — HgO . Это со-

единение имеет низкую термическую стабильность: при обычном давлении в открытой системе оно разлагается на элементарную ртуть и кислород уже при температуре около 400 °С, при которой скорость образования соединений $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2+\delta}$ очень низка.

Попытки синтезировать ртутьсодержащие соединения в проточном кислородном реакторе по аналогии с известными Ti -содержащими ВТСП-оксидами не приводили к успеху, так как ртуть удалялась из зоны реакции до взаимодействия с остальными реагентами. Hg -содержащие сложные оксиды были получены только при реакциях в закрытом объеме. Чтобы воспрепятствовать удалению образующейся элементарной ртути из реакционной смеси, использовали либо запаянные кварцевые ампулы, либо золотые или платиновые капсулы, обжимаемые в аппарате типа «Belt» при очень высоком давлении (1.8—7.5 ГПа) с одновременным нагревом. Необходимо отметить, что в синтезе при очень высоком давлении его повышение приводит к уменьшению скорости реакции. Например, при 3.6 ГПа и 880 °С синтез $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ не завершался за 3.5 часа — рентгенофазовый анализ показывал, что в образце присутствовали в виде примесей $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ и CaHgO_2 . В то же время при 1.8 ГПа и той же температуре образование $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ полностью заканчивалось уже через 1.5 часа.

В качестве исходных веществ для синтеза использовали стехиометрические смеси HgO и предшественника, т. е. смеси оксидов Ba , Ca и Cu , полученной прокаливанием соответствующих оксидов или нитратов. Лучших результатов по синтезу $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ и $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$ удалось достигнуть, применив высокоактивные предшественники, синтезированные медленным низкотемпературным разложением нитратов бария и кальция с оксидом меди в вакууме. Сравнительно низкая температура разложения нитратов (450 °С) выбрана по двум причинам: во-первых, разложение в твердой фазе дает более гомогенный и активный продукт и, во-вторых, удается избежать образования BaCuO_2 , присутствие которого затрудняет синтез сверхпроводящих соединений. Особо отметим, что используемые в синтезе предшественники очень активны, поэтому все операции с ними нужно проводить в сухой камере с минимальным содержанием углекислого газа и паров воды.

Если в синтезе высших гомологов с числом слоев (CuO_2) > 1 предшественниками служили не индивидуальные соединения, то в случае с $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ предшественник был номинального состава $\text{Ba}_2\text{CuO}_{3+\delta}$,

⁴ Putlin S. N., Bryntse I., Antipov E. V. New complex copper oxides: $\text{HgBa}_2\text{RCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ ($R = \text{La, Nd, Eu, Gd, Dy, Y}$) // *Mat. Res. Bull.* 1991. V. 26. P. 1299—1307.

⁵ Putlin S. N., Antipov E. V., Chmaissem O., Marezio M. Superconductivity at 94 K in $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ // *Nature*. 1993. V. 362. P. 226—228.

⁶ Putlin S. N., Antipov E. V., Marezio M. Superconductivity above 120 K in $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ // *Physica. C*. 1993. V. 212. P. 266—270.

⁷ Schilling A., Cantoni M., Guo J. D., Ott H. R. Superconductivity above 130 K in the Hg-Ba-Ca-Cu-O system // *Nature*. 1993. V. 363. P. 56—57.

⁸ Antipov E. V., Loureiro S. M., Chaillout C., et al. The synthesis and characterization of the $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$ and $\text{HgBa}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{10+\delta}$ phases // *Physica. C*. 1993. V. 215. P. 1—10.

его структура — это производное от структуры K_2NiF_4 . Близость структур предшественника и получаемого соединения, вероятно, и обусловила синтез последнего при 800°C в ампулах за несколько минут, так как требовалось лишь внедрить дополнительный слой катионов Hg^{2+} между двумя слоями (BaO) в структуре $Ba_2CuO_{4+\delta}$.

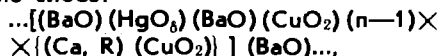
Общее правило получения более высоких гомологов — повышение температуры и увеличение времени синтеза. Здесь фактор времени становится значительно важнее, чем при синтезе низших гомологов. С помощью рентгенофазового анализа было показано, что если синтезировать соединение гомологического ряда с заданным n , то сначала образуется $(n-1)$ -член серии в качестве промежуточного продукта реакции. Например, образование $HgBa_2CaCu_2O_{6+\delta}$ сопровождается синтезом на начальной стадии $HgBa_2CuO_{4+\delta}$. Четвертый член данного ряда — $HgBa_2Ca_3Cu_4O_{10+\delta}$ — был получен при более чем трехчасовом отжиге $HgBa_2Ca_2Cu_3O_{8+\delta}$ и высоком давлении в золотых капсулах. Аналогичная закономерность наблюдается также в гомологических семействах Tl и Bi .

Различные методы синтеза обычно не приводят к получению абсолютно однофазных препаратов. Чаще всего продукт содержит некоторое количество более простых меркуратов или промежуточных фаз. В наилучших образцах $HgBa_2CuO_{4+\delta}$ и $HgBa_2CaCu_2O_{6+\delta}$, например, было, по рентгеновским данным, до 2 % примесных фаз. Высшие гомологи обычно содержали примеси других членов ряда с числом слоев, отличающимся на единицу, и эти образцы характеризовались наличием неупорядоченных политипов, в структурах которых чередуются различные фрагменты структуры $Hg-1201$, $Hg-1212$, $Hg-1223$ и т. д.

СТРУКТУРЫ РТУТЬСОДЕРЖАЩИХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

Строение первых трех представителей гомологического семейства $HgBa_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+2+\delta}$ было определено из данных порошковых рентгено- и нейтронографии⁹. Обобщенно структуры этих

соединений можно описать последовательностью слоев:



где блоки $(BaO)(HgO_\delta)(BaO)$, имеющие структуру каменной соли и толщину около $5.5\text{\AA}$, чередуются вдоль c -направления с блоками перовскитоподобной структуры — $(CuO_2)(n-1)[(Ca, R)(CuO_2)]$. Перовскитный блок имеет разные значения толщины в зависимости от величины n , которую можно оценить по формуле $4.0 + (n-1) \cdot 3.2(\text{\AA})$. Таким образом, параметр c для членов гомологического ряда $HgBa_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+2+\delta}$ может быть приблизительно рассчитан по формуле: $c = 9.5 + 3.2(n-1) (\text{\AA})$, где n — число слоев (CuO_2) на элементарную ячейку.

Структуры ртутьсодержащих сверхпроводников очень близки соответствующим структурам соединений гомологического семейства $TlBa_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+2+\delta}$. Основное отличие между этими двумя семействами заключается в том, что количество атомов кислорода неодинаково в слоях с атомами Hg или Tl . В структурах Tl -содержащих ВТСП степень заполнения кислородной позиции (или δ) весьма незначительно отличается от единицы, независимо от числа слоев (CuO_2) в их структурах, так как атомы кислорода необходимы для создания характерной координации ионов Tl^{3+} . В случае же ряда $HgBa_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+2+\delta}$ содержание слабосвязанного сверхстехиометрического кислорода в слое с катионами Hg^{2+} может меняться в широких пределах. Минимальное значение δ (0.008) было найдено Дж. Вагнером и сотрудниками в структуре $HgBa_2CuO_{4+\delta}$, а максимальное — 0.44 — получено нами совместно с группой иностранных коллег для $HgBa_2Ca_2Cu_3O_{8+\delta}$. Вероятно, для высших гомологов серии это значение может быть еще выше, но надежные нейтронографические эксперименты до сих пор не выполнены.

Столь сильные вариации содержания сверхстехиометрического кислорода, концентрацию которого можно легко менять посредством обработки при различных температурах и парциальных давлениях кислорода, обусловлены его слабой химической связью с катионами Hg^{2+} , а также Ba^{2+} из соседних слоев (BaO) . Эти атомы кислорода

⁹ См. сноски 5, 6, а также: Wagner J. L., Radaelli P. G., Hinks D. G. et al. Structure and superconductivity of $HgBa_2CuO_{4+\delta}$ // Physica C. 1993. V. 210. P. 447—454; Chmaissem O., Huang Q., Putlin S. N. et al. Neutron powder diffraction study of the crystal structures of $HgBa_2CuO_{4+\delta}$ and $HgBaO_2$ // Physica C. 1993. V. 212. P. 259—265; Radaelli P. G., Wagner J. L., Hunter B. A. et al. Structure, doping and superconductivity in $HgBa_2CaCu_2O_{6+\delta}$ ($T_c < 128\text{ K}$) // Physica C. 1993. V. 216. P. 29—35; Antipov E. V., Capponi J. J., Chaillout C. et al. Synthesis and

neutron powder diffraction study of the superconductor $HgBa_2CaCu_2O_{6+\delta}$ before and after heat treatment // Physica. C. 1993. V. 218. P. 348—355; Chmaissem O., Huang Q., Antipov E. V. et al. Neutron powder diffraction study at room temperature and at 10 K of the crystal structure of the 133 K superconductor $HgBa_2Ca_2Cu_3O_{8+\delta}$ // Physica C. 1993. V. 217. P. 265—272.

структурно не обязательны, и потому их присутствие в слоях с катионами Hg^{2+} не вызывает в последних смещений атомов, а соответственно, и сильных искажений в соседних слоях структуры. Однако сверхстехиометрический кислород сильно влияет на степень окисления меди в слоях (CuO_2), так как при его внедрении окисляется катион меди — единственный катион, который может быть окислен. Однако следует отметить, что правильнее было бы говорить об окислении слоя (CuO_2), а не просто Cu , поскольку связи атомов в нем являются сильноковалентными. Для разных членов гомологического ряда $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2+\delta}$ формальная степень окисления атомов меди может быть рассчитана по формуле: $V_{\text{Cu}} = 2(n+\delta)/n$.

Кристаллическую структуру $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ (Hg-1201) можно описать как четырехслойную упаковку вдоль оси с элементарной ячейки. Три слоя ($\text{BaO}(\text{HgO}_\delta)(\text{BaO})$) формируют блок типа NaCl, который чередуется со слоем (CuO_2). Степень заселенности позиции кислорода в (HgO_δ) оказалась равной 0.063(2), что позволило записать химическую формулу соединения, у которого впервые среди ртутьсодержащих сложных оксидов меди была найдена сверхпроводимость с $T_c = 94$ К, в виде $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4.063}$. Формальная степень окисления меди V_{Cu} в этой фазе составляет +2.13. Основная часть катионов ртути окружена только двумя атомами кислорода с межатомным расстоянием 1.972 Å. Расстояние до сверхстехиометрического кислорода в плоскости слоя значительно больше — 2.746 Å. Этот атом кислорода соединен с четырьмя катионами Hg и двумя катионами Ba. Два расстояния Ba—O являются приемлемыми (2.842 Å), в то время как четыре расстояния Hg—O в плоскости слоя таковы, что эта связь оказывается очень слабой, это и определяет подвижность такого атома кислорода. Координационный полиэдр атомов Ba зависит от наличия сверхстехиометрического атома кислорода в конкретной элементарной ячейке и может быть как квадратной антипризмой (в большинстве случаев), так и девятивершинником. Координационный полиэдр атомов меди представляет собой октаэдр, сильно вытянутый вдоль оси 4-го порядка вследствие янтеллеровского искажения полиэдра катиона Cu^{2+} с $3d^9$ -электронной конфигурацией. Апикальные расстояния вдоль оси 4-го порядка составляют 2.784 Å, а экваториальные — 1.9415 Å. Отметим, что слой (CuO_2) в Hg-1201 плоский в соответствии с симметрией структуры.

Структура второго члена гомологического ряда — $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ (Hg-1212), синтезированного нами под давлением, описывается как шестислойная упаковка вдоль оси с. В этой структуре блок типа NaCl чередуется с перовскитным фрагментом (CuO_2)(Ca)(CuO_2), а степень заселенности позиции сверхстехиометрического кислорода равна 0.35(2). Это соответствует химической формуле $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6.35}$ и формальной степени окисления меди V_{Cu} , равной +2.35. По данным Радаелли и др., в восстановленной структуре Hg-1212 после термообработки в токе аргона при 600 °C величина δ уменьшается до 0.08. Фрагмент типа NaCl в фазе Hg-1212 аналогичен по строению и размерам такому же фрагменту в структуре Hg-1201. Расстояния Hg—O в гантили несколько короче — 1.953 Å, а расстояния до сверхстехиометрического кислорода равны 2.7242 Å. Координационное окружение атомов Ba такое же, как и в структуре Hg-1201, но число девятивершинников больше, в соответствии с ростом δ . В перовскитном фрагменте Hg-1212, в отличие от Hg-1201, катион Cu окружен пятью атомами кислорода, которые образуют пирамиду с четырьмя короткими расстояниями в плоскости слоя (CuO_2) и одним длинным апикальным расстоянием (2.787 Å). Длина связи Cu—O в плоскости слоя (CuO_2) в структуре сращения Hg-1212 много короче — 1.9263 Å, чем соответствующее расстояние в фазе Hg-1201 — 1.9415 Å. В значительной мере эта разница может быть отнесена за счет большей формальной степени окисления меди в Hg-1212. В отличие от Hg-1201, в структуре Hg-1212 уже нет симметрических ограничений на строение слоя (CuO_2). Тем не менее он остается плоским в пределах стандартных отклонений координат атомов меди и кислорода. Координационный многогранник для Ca — уплощенный куб с расстоянием Ca—O, равным 2.484 Å.

В структуре третьего члена ряда — $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$ (Hg-1223), также уточненной по данным порошковых рентгено- и нейтронографии, реализуется восьмислойная упаковка. Степень заселенности кислородной позиции в слое (HgO_δ) составляет 0.44. Это отвечает формальной степени окисления меди +2.29. Блок структуры типа NaCl подобен такому же блоку в фазах Hg-1201 и Hg-1212. Расстояния Hg—O в гантили остаются без существенных изменений и составляют 1.950 Å. Перовскитный блок состоит уже из трех слоев (CuO_2), разделенных двумя слоями атомов Ca. В этой структуре присутствуют два кристаллографически неэквивалентных атома меди с раз-

ными координационными числами, расчет баланса зарядов для которых дает разную формальную степень окисления. При этом возникает новый структурный фрагмент: в центральном (CuO_2)-слое, окруженном двумя слоями Са, координационный полиэдр атомов Си являет собой квадрат. Атомы Си расположены в центре в плоскости квадрата, что определяется симметрией позиции; расстояние Cu—O составляет 1.9251 Å. Координационное окружение второго, кристаллографически неэквивалентного атома Си, — тетрагональная пирамида, как и в структуре Hg-1212, причем экваториальное расстояние Cu—O равно 1.9252 Å, а апикальное — 2.75 Å. Слой (CuO_2) также практически плоский, как и в фазе Hg-1212. Впрочем, это характерно для всех членов гомологического семейства $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2+6}$.

Последовательное наращивание толщины перовскитного фрагмента уже не приводит к существенным изменениям в строении других структурных блоков, меняется лишь число чередующихся слоев (CuO_2) и (Са). К примеру, в структуре соединения $\text{HgBa}_2\text{Ca}_4\text{Cu}_5\text{O}_{12+6}$ присутствуют пять слоев (CuO_2). Так как при этом избыточный заряд слоя (HgO_6) распределяется на все большее число слоев (CuO_2), средняя формальная степень окисления атомов Си перестает увеличиваться, что сказывается на уменьшении температуры перехода в сверхпроводящее состояние до 110 К для этого соединения, синтезированного под высоким давлением.

Одна из характерных особенностей строения Hg-серии соединений — сравнительно длинное расстояние Cu—O до апикального атома кислорода в полиэдрах меди, играющего важную роль в механизме переноса заряда. Эти расстояния меняются в пределах 2.75—2.79 Å для разных членов серии, и они значительно длиннее, чем соответствующие расстояния для других серий ВТСП (например, 2.32 Å для $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, который переходит в сверхпроводящее состояние при 95 К). Отметим также, что из-за отсутствия несоответствия между чередующимися слоями и слабым влиянием сильно удаленного апикального атома кислорода строение слоев (CuO_2) также наиболее близко идеальному (одинаковые расстояния Cu—O в плоскости слоя и углы O—Cu—O практически равны 90 или 180°) среди всех известных сверхпроводящих сложных оксидов меди. Подобное идеальное строение, возможно, является основной структурной причиной сверхпроводимости этих соединений при самых высоких тем-

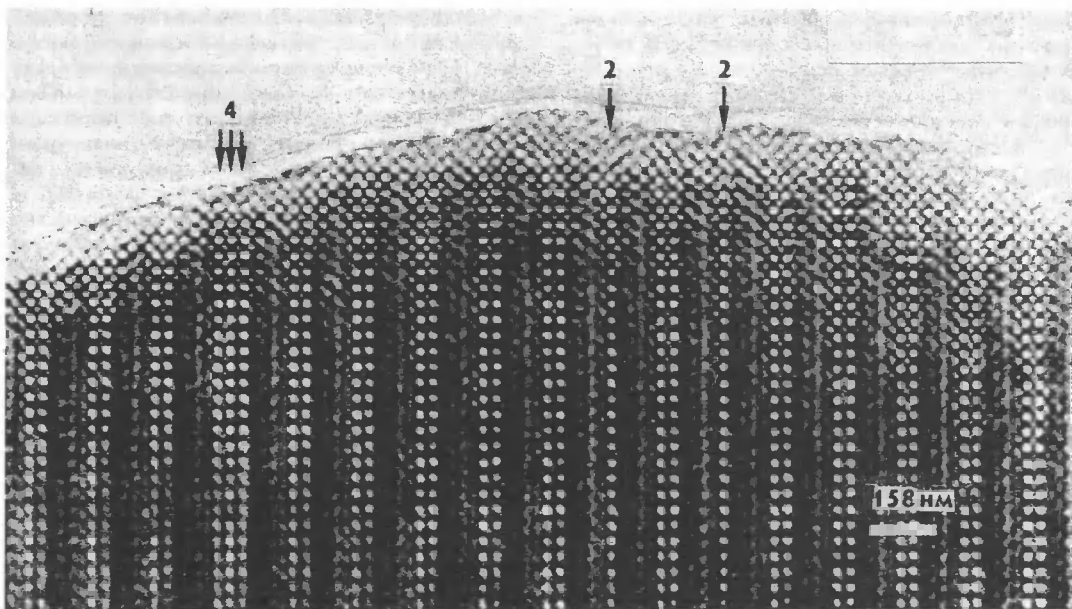
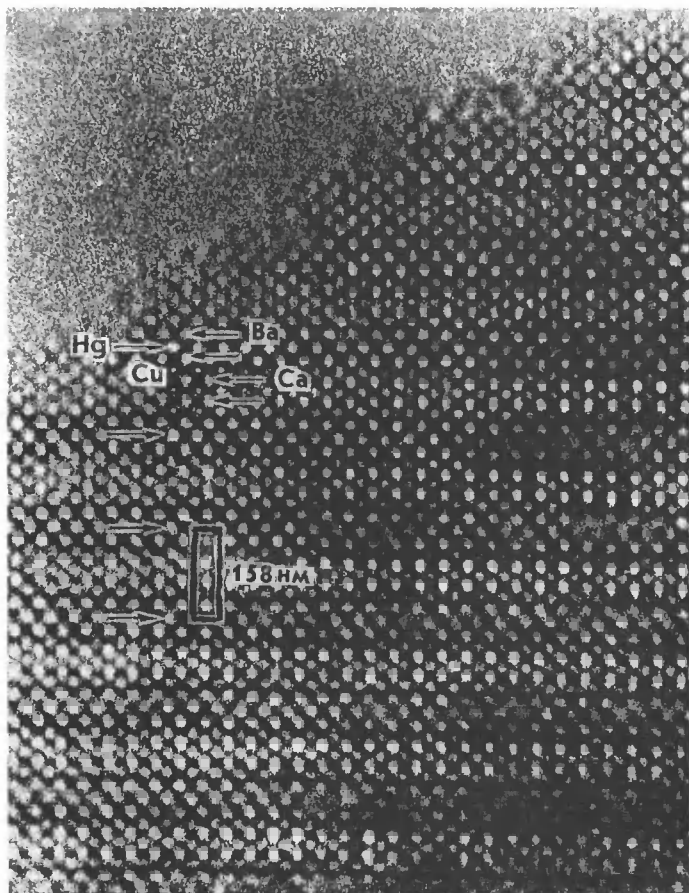
пературах из известных к настоящему времени для слоистых купратов. Одновременно с этим простота строения делает их привлекательными, модельными для использования в теоретических квантово-механических расчетах, которые позволяют получить данные об электронном строении сверхпроводников.

Однако, несмотря на идеальное строение Hg-содержащих сверхпроводников, уточнение их кристаллических структур обычно давало (даже при температуре 10 К) сравнительно высокие тепловые параметры для атомов Hg, которые характеризуют амплитуды смещений этих атомов из своих позиций. В ряде публикаций делались попытки объяснить это явление. Так, Вагнер и др. объясняют его совместным заселением ртутной позиции атомами ртути и меди, а Радаелли с коллегами — частичным дефицитом ртути в той же позиции. Чтобы выяснить причину явления, мы попытались уточнить структуру Hg-1212 с учетом аномального рассеяния рентгеновского синхротронного излучения вблизи краев поглощения атомов Hg и Си (эксперимент был выполнен на синхротроне в г. Брукхейвене, США, совместно с Ф. Коппенсом и Я. Гао). Было проведено несколько порошковых дифракционных экспериментов на длинах волн синхротронного излучения около краев поглощения атомов Си и Hg и один — вдали от краев. При подобном изменении длин волн рентгеновского излучения эти атомы резко меняли свою рассеивающую способность, что позволило избирательно локализовать их с помощью атомного контраста. Совместным уточнением всех экспериментов были проверены различные модели заполнения позиции атомов Hg в этой структуре. В результате удалось однозначно показать, что в соединении Hg-1212, полученном при синтезе под давлением, атомы Hg не полностью заполняют свою позицию, ее заселенность находится в интервале 0.85—0.91, в зависимости от возможного присутствия атомов Си. К сожалению, они не были надежно обнаружены в эксперименте из-за их относительно малого количества в данной позиции.

ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Чтобы изучить реальную структуру и состав полученных соединений, образцы были исследованы (совместно с И. Бринце из университета Стокгольма и Г. ван Тенделоо из университета Антверпена) мето-

Электронно-микроскопические изображения высокого разрешения двух кристаллитов $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$ или Hg-1223 [по Tendeloo G. van et al., 1994]. Вверху — кристаллит идеальной, бездефектной структуры. Светлые пятна, отвечающие атомам Hg, Ba и Ca, показаны стрелками, а атомам Cu — кружками. Прямоугольник соответствует элементарной ячейке соединения. Внизу — кристаллит с большим числом дефектов в упаковке слоев. Наиболее яркие светлые пятна — атомы Ca, расположенные между слоями $[\text{CuO}_2]$; стрелками указаны дефекты, в которых упаковки слоев соответствуют структурам $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ [2] и $\text{HgBa}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{10+\delta}$ [4].



дами сканирующей электронной микроскопии, просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения и локального рентгеноспектрального анализа¹⁰.

Начальные члены гомологического ряда $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2+\delta}$ с $n=1$ и $n=2$ обычно состоят из хорошо закристаллизованных зерен размерами до нескольких микрометров. Локальный рентгеноспектральный анализ нескольких хорошо ограненных, плоских и ориентированных кристаллитов подтвердил, что соотношение атомов металлов в фазах близко к указанным формулам соединений. Мы не обнаружили заметных количеств других, кроме приведенных в формулах, элементов в энергодисперсионных спектрах. Определить содержание кислорода из данных локального рентгеноспектрального анализа не представляется возможным, оно было оценено по результатам порошковой нейтронографии, а также йодометрическим титрованием.

Пространственная группа $P4/mmm$ и параметры элементарных ячеек для всех соединений гомологического ряда подтвердились изображениями в режиме электронной дифракции, полученными в просвечивающих электронных микроскопах высокого разрешения вдоль различных направлений. Узкие рефлексы на электронограммах явно свидетельствовали о малой концентрации дефектов и упорядоченности структур. Мы не обнаружили ни сверхструктурных, ни сателлитных рефлексов, характерных, например, для Bi -содержащих соединений. Отметим, что наличие подобных дополнительных рефлексов обусловлено различными структурными искажениями: упорядочением атомов кислорода, кооперативными смещениями атомов и т. д.

Изображения высокого разрешения достоверно засвидетельствовали совершенство кристаллитов, особенно для первых членов гомологического ряда. С ростом числа n увеличивается концентрация различных дефектов упаковки слоев. В первом соединении ряда — $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ — дефекты упаковки не возникают из-за отсутствия в его структуре ионов кальция, вследствие чего не меняется и толщина перовскитного фрагмента. Во втором соединении ряда уже иногда срastаются блоки разной

толщины, а в высших гомологах такое срастание характерно практически для всех кристаллитов. Очень трудно найти, например, участок совершенной структуры Hg-1245 длиной более 500 Å. Иногда заметны сравнительно протяженные участки структур срастания, в которых упорядоченно чередуются блоки различной толщины.

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ И КИСЛОРОДНАЯ НЕСТЕХИОМЕТРИЯ

Общее правило для сверхпроводящих сложных оксидов меди — зависимость температуры перехода в сверхпроводящее состояние T_c от концентрации дырок в зоне проводимости, или — в соответствии с химической терминологией — от формальной степени окисления меди. Степень окисления оптимальна в диапазоне значений от $+2.10$ до $+2.20$, именно в этом интервале соединения проявляют, как правило, максимальные значения T_c , в то время как за его границами T_c уменьшается. Таким образом, зависимость температуры перехода от формальной степени окисления меди должна иметь куполообразный характер.

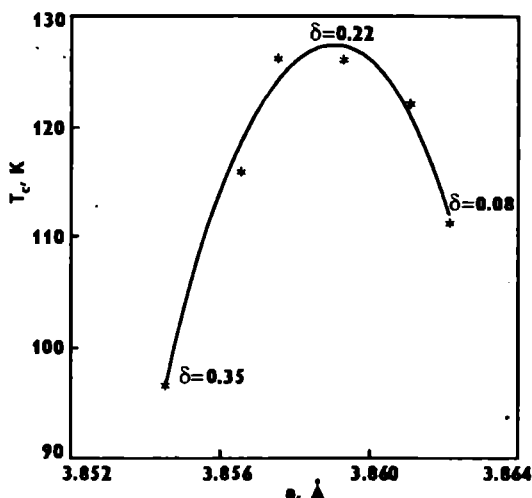
Естественно, что подобное правило хорошо работает только в том случае, если в структуре сверхпроводника имеется лишь один тип окисляемого элемента — атомы меди в слое (CuO_2). Когда присутствуют несколько типов атомов меди или другой элемент, который может окисляться, подобная зависимость имеет гораздо более сложный характер из-за возможного перераспределения зарядов между различными элементами или структурными фрагментами. На температуру перехода также сильно влияют и структурные факторы, в частности наличие различных катионов в одной позиции в соседних с (CuO_2) слоях. В подавляющем большинстве сверхпроводников подобное распределение катионов приводит к сильным локальным искажениям структуры и в результате к уменьшению температуры перехода вплоть до подавления сверхпроводимости.

Как уже упоминалось, новые ртуть-содержащие сверхпроводники обладают оптимальной для появления сверхпроводимости структурой, поскольку отсутствуют искажения, обусловленные несообразностью межатомных расстояний и неоднородностью распределения катионов в близлежащих слоях типа (MO) или (R). Более того, в структурах первых членов гомологического семейства ($\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$) и

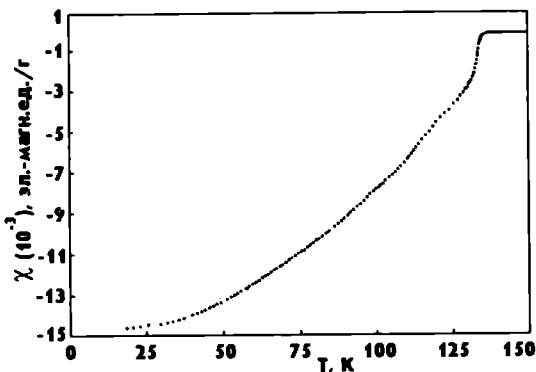
¹⁰ Bryntse I., Putilin S. N. Electron microscopy studies of the mercury-based superconductor $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ // Physica. C. 1993. V. 212. P. 223—227; Tendeloo G. van, Chaillout C., Capponi J. J. et al. Atomic structure and defect structure of the superconducting $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2+\delta}$ homologous series // Physica. C. 1994. V. 223. P. 219—226.

($\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$) присутствует только один тип атомов меди. За счет этих особенностей строения слоистых купратов зависимость T_c от формальной степени окисления меди должна иметь классический куполообразный характер. Результаты наших экспериментов для соединения $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ хорошо с этим согласуются. Синтезированные по разным методикам образцы $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ обычно несколько отличаются температурами перехода в сверхпроводящее состояние даже после одинаковой термической обработки в атмосфере кислорода. Это, вероятно, связано с небольшими отклонениями в катионной стехиометрии соединений (например, частичное расположение в Hg-позиции атомов Cu), получаемых в отпаянных кварцевых ампулах и в синтезах под давлением. Наивысшие температуры перехода — 127 К — давали отожженные в кислороде образцы $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$, синтезированные в запаянных кварцевых ампулах. Свежеприготовленные образцы $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$, полученные под высоким давлением, обычно имеют более низкие температуры перехода — около 100 К. Уточнение индекса кислородной стехиометрии по порошковым нейтронографическим данным показало, что свежеприготовленный под высоким давлением образец перенасыщен кислородом и $\delta=0.35$. Это соответствует формальной степени окисления атомов $\text{Cu}^{+2.35}$, что значительно выше оптимальной величины. После восстановительных отжигов образец $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ теряет часть избыточного кислорода, причем температура перехода в сверхпроводящее состояние повышается, проходя через максимум около 123 К при $\delta=0.22$, а затем понижается до величин $T_c \approx 110$ К при $\delta=0.08$. Эти данные указывают на куполообразный характер зависимости T_c от степени окисления меди в фазе $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$.

Синтезированный непосредственно в кварцевых ампулах образец $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ переходит в сверхпроводящее состояние при температурах ниже 94 К. По данным порошковой нейтронографии, индекс кислородной нестехиометрии δ равен 0.063. Формальная степень окисления меди в этом случае несколько ниже оптимальной величины, характерной для других ВТСП. Отжиг в различных атмосферах приводит к изменению кислородной нестехиометрии и, соответственно, температуры перехода в сверхпроводящее состояние. Куполообразное изменение T_c при вариациях δ у соединения $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ аналогично найденной зависимости для сверхпроводника



Куполообразная зависимость температуры перехода соединения $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ [Hg-1212] в сверхпроводящее состояние (T_c) от величины параметра δ элементарной ячейки, которая определяется количеством сверхстехиометрического кислорода δ . Сверхпроводимость этого соединения проявляется в широком диапазоне величин δ ; при высоких температурах — это уникальное явление для выяснения природы ВТСП.



Температурная зависимость [удельной] магнитной восприимчивости (χ) соединения $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$. Эта фаза переходит в сверхпроводящее состояние при рекордной на сегодняшний день температуре — 135 К, достигнутой при атмосферном давлении.

$\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$. Сверхпроводимость этих двух соединений в широком диапазоне изменения величины δ и при высоких температурах перехода — это уникальное явление, позволяющее исследовать природу высокотемпературной сверхпроводимости. Температура перехода в сверхпроводящее состояние максимальна для соединения $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$ — около 135 К. Термообработка этого образца в восстановительной атмосфере понижает T_c до 125 К,

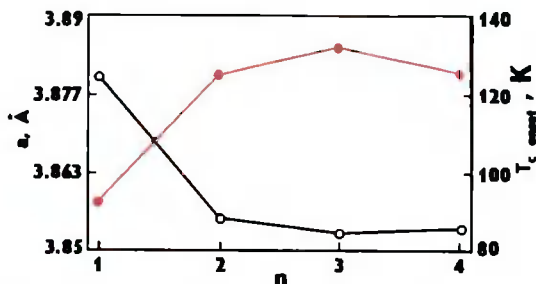
в то время как отжиг в атмосфере кислорода под давлением 100 атм не приводит к повышению T_c , хотя формальная степень окисления меди и возрастает. Более сложная зависимость T_c от степени окисления меди обусловлена присутствием в структуре двух видов кристаллографически неэквивалентных атомов этого элемента с разной координацией и разными формальными степенями окисления.

Для соединения ряда $HgBa_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+2+\delta}$ с $n=4$ при увеличении числа слоев (CuO_2) прекращается рост T_c , характерный для первых гомологов ряда, и наблюдается некоторое падение температуры начала перехода. Так, образец $HgBa_2Ca_3Cu_4O_{10+\delta}$, отожженный в кислороде, переходит в сверхпроводящее состояние при температуре 126 К. Соединение $HgBa_2Ca_4Cu_5O_{12+\delta}$ непосредственно после синтеза обладает еще меньшей температурой перехода — 110 К.

Таким образом, в ртутьсодержащих сверхпроводниках последовательно растет температура перехода от первого члена гомологического семейства (94 К) ко второму (127 К) и третьему (135 К), а затем тоже последовательно уменьшается: T_c четвертого гомолога уже 126 К, а пятого — 110 К. Температуры переходов двух последних соединений, вероятно, можно повысить термической обработкой. Такая закономерность изменения T_c в зависимости от числа слоев (CuO_2) в структурах ртутьсодержащих соединений подобна установленной ранее для Bi- и Tl-содержащих сверхпроводников. Увеличение числа слоев (CuO_2), среди которых распределяется избыточный заряд слоя (HgO_6), в структурах высших гомологов, возможно, опережает рост индекса кислородной стехиометрии, а это приводит к уменьшению средней степени окисления меди ниже оптимальных величин и является причиной уменьшения температуры сверхпроводящего перехода.

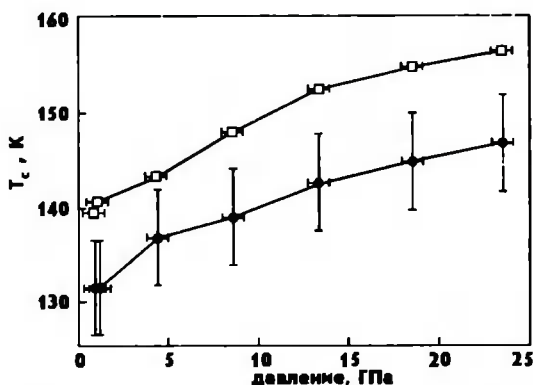
СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

В августе 1993 г. П. Чу и др. измерили температуру перехода в сверхпроводящее состояние соединения $HgBa_2Ca_2Cu_3O_{8+\delta}$ при сверхвысоких давлениях и нашли, что T_c сильно увеличивается с ростом внешнего давления и достигает 153 К при давлении около 150 тыс. атм¹¹.



Зависимости температуры (цвет) перехода в сверхпроводящее состояние (T_c) и величины параметра a элементарных ячеек соединений гомологического ряда $HgBa_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+2+\delta}$ от числа слоев $[CuO_2]$ в их структурах.

Максимальной T_c обладает соединение $HgBa_2Ca_2Cu_3O_{8+\delta}$ ($n=3$), у которого параметр a и состояние $Cu-O$ в слое $[CuO_2]$ имеют самые низкие значения.



Зависимость температуры сверхпроводящего перехода соединения $HgBa_2Ca_2Cu_3O_{8+\delta}$ от давления [по Nunes-Regueiro M. et al., 1993]. $T_{c, onset}$ (верхняя линия) отвечает началу сверхпроводимости, $T_{c, half}$ — середине. Под давлением 23.5 ГПа сверхпроводимость появляется при 157 К, что создает перспективу достижения этой температуры при атмосферном давлении.

Этот замечательный эксперимент месяцем позже был повторен другой группой исследователей, которые достигли 157 К при еще большем давлении — 235 тыс. атм¹².

Рост температуры перехода для сверхпроводников под давлением, которые в нормальном состоянии демонстрируют дырочный тип проводимости, — хорошо известное явление. Однако важность выполненных экспериментов на ртутьсодержащих соединениях заключается в достижении рекорд-

¹¹ Chu C. W., Gao L., Chen F. et al. Superconductivity above 150 K in $HgBa_2Ca_2Cu_3O_{8+\delta}$ at high pressures // Nature. 1993. V. 365. P. 323–325.

¹² Nunes-Regueiro M., Tholence J. L., Antipov E. V. et al. Pressure induced enhancement of T_c up to 150 K in Hg-1223 // Science. 1993. V. 262. P. 97–99.

ных температур перехода, значительно более высоких, чем ранее известные. Из этих результатов следует очень важный вывод: принципиально возможно существование сверхпроводимости при подобных температурах в сжатых слоях (CuO_2) с уменьшением также и апикального расстояния Cu—O . Выполненные Б. Хантером и др. определения структур Hg-1201 , Hg-1212 и Hg-1223 под давлением показали, что уменьшаются все расстояния Cu—O , причем наиболее сильно меняется апикальная связь¹³. К сожалению, при исчезновении внешнего давления параметры структуры восстанавливаются и температура перехода Hg-1223 уменьшается до обычного значения — 135 К. Интересно отметить, что для $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ значение T_c также возрастает под давлением с близким значением $dT_c/dP \approx 1.8$ (К/ГПа) и подобной динамикой изменения межатомных расстояний. Внедрение в структуру фрагмента (CaCuO_2) с получением соединения $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$ также приводит к уменьшению характеристических Cu—O -расстояний, т. е. в какой-то степени эта модификация структуры аналогична по воздействию внешнего давления на связи Cu—O .

Дальнейшее наращивание толщины перовскитного фрагмента в структурах $\text{HgBa}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{10+\delta}$ и $\text{HgBa}_2\text{Ca}_4\text{Cu}_5\text{O}_{12+\delta}$ не приводит уже к уменьшению параметра а элементарной ячейки и, соответственно, межатомных расстояний Cu—O в слоях (CuO_2). Это, возможно, является структурной причиной роста температуры перехода только до третьего члена семейства и последующее ее уменьшение. Поэтому у химиков-синтетиков появляется крайне заманчивая цель: модифицировать катионный состав ртутьсодержащих сверхпроводников для аналогичного сжатия структуры и достижения сверхпроводимости при 157 К под нормальным давлением.

К сожалению, периодическая система элементов состоит из крайне ограниченного набора элементов, из которых для построения необходимой слоистой структуры подходят немногим больше 10. Более того, и эти подходящие катионы столь сильно различаются своими кристаллохимическими характеристиками, что вряд ли найдется катион с «чуть-чуть» меньшим ионным радиусом, чем Ba^{2+} или Ca^{2+} . Добавив небольшое количество Sr вместе с Ba, мож-

но уменьшить соответствующим образом усредненные межатомные расстояния, но негативный эффект от неоднородного распределения катионов в слое типа (MO), а значит, и локальных структурных искажений слоя (CuO_2) скажется гораздо сильнее, и T_c снизится, вместо того, чтобы повыситься. Перспективнее, на наш взгляд, получать сжатые метастабильные структуры с помощью нетрадиционных методов химического синтеза, в частности методом послойного напыления эпитаксиальных пленок на подложки с подобранными значениями параметров кристаллической решетки.

Как уже отмечалось, температура перехода также сильно зависит от формальной степени окисления меди, которая определяется, в свою очередь, кислородной стехиометрией. Однако возможность внедрения дополнительного кислорода для окисления меди сильно зависит от межатомного расстояния Cu—O в плоскости слоя (CuO_2): чем меньше это расстояние, тем больше энергия электронов в частично заполненной разрыхляющей зоне. Следовательно, легче уменьшить их концентрацию, т. е. окислить атомы меди. Подобное представление является чисто качественным, но оно показывает, что возможность изменения кислородной стехиометрии и его диапазон определяются структурой. Двухвалентная ртуть в сочетании с другими катионами (Ba и Ca) создает оптимальные условия для идеального строения слоя (CuO_2) и возможность, с точки зрения структуры, варьирования кислородной стехиометрии в широких пределах.

ПЕРСПЕКТИВЫ РТУТЬСОДЕРЖАЩИХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

Итак, получены новые сверхпроводники с общей формулой $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2+\delta}$, причем три представителя этого семейства обладают температурами перехода равными или выше ранее известных значений T_c для Tl-содержащих фаз. Более того, судя по достигнутым температурам перехода выше 150 К под давлением, перспективы роста T_c у этого класса соединений вполне обоснованны и под нормальным давлением. Многие исследователи в настоящее время осуществляют поиск новых сложных оксидов на основе ртути и меди. Уже получены сложные оксиды этих элементов со стронцием (вместо бария), фазы с частичным замещением ртути на свинец, а также более сложные структуры, в которых фрагменты известных Hg-содержащих оксидов череду-

¹³ Hunter B. A., Jorgensen J. D., Wagner J. L. et al. Pressure-induced structural changes in superconducting $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2+\delta}$ ($n=1, 2, 3$) compounds // Physica. C. 1994. V. 221. P. 1—10.

ются с другими структурными блоками: La_2CuO_4 , $\text{Sr}_2\text{CuO}_2\text{CO}_3$, $\text{Ti}_2\text{Ba}_2\text{CuO}_{6+\delta}$. Все эти модификации хотя и не позволили увеличить T_c , но они дают ценную экспериментальную информацию о влиянии структуры и состава на сверхпроводящие свойства этих соединений.

Естественно, нам, как химикам, трудно оценить значение Hg-содержащих соединений для теории сверхпроводимости. Однако можно достаточно определенно утверждать, что относительная простота их кристаллических структур, стабильные степени окисления всех катионов (исключая медь) и возможность благодаря структуре менять кислородную стехиометрию в широком диапазоне позволят лучше понять и создать более корректные теоретические модели, описывающие явление сверхпроводимости в семействе сложных оксидов меди со слоистыми структурами.

Ртуть — очень «неприятный» элемент для химиков-синтетиков. Во-первых, из-за его сильной токсичности синтез соединений необходимо проводить, строго соблюдая все меры предосторожности. Во-вторых, и это важнее, сверхпроводящие сложные оксиды на основе ртути обладают достаточно низкой термической и химической стабильностью. Исследования с помощью термогравиметрии показали, что эти сверхпроводники при нагреве выше 600°C в потоке кислорода теряют ртуть. Соединения легко разлагаются при взаимодействии с нагретыми парами воды и углекислого газа. Все это сильно затрудняет получение материалов на основе ртутьсодержащих сверхпроводников: тонких пленок, монокристал-

лов, плотной керамики с хорошими межзеренными контактами для достижения высоких критических токов. Но уже из первых экспериментов ясно, что, используя более сложные методы синтеза, можно получать и монокристаллы, и тонкие эпитаксиальные пленки с высокими значениями критических токов¹⁴, и сильнотекстурированную плотную керамику. Мало того, сверхпроводимость в этих соединениях устойчива в более высоких магнитных полях, чем у Bi-содержащих соединений, а это хорошая перспектива для практического использования сверхпроводников¹⁵. Выполненные эксперименты позволяют с уверенностью утверждать, что Hg-содержащие сверхпроводники интересны для науки и современной технологии, а потому необходимы их более развернутые исследования.

Исследования проводились в рамках проекта «Поиск новых сверхпроводников» Государственной программы по сверхпроводимости, проекта «Ртуть» Государственной программы «Университеты России», при частичной поддержке проекта MiG000 Международного научного фонда.

Авторы статьи благодарны сотрудникам кафедры неорганической химии химического факультета МГУ за помощь в работе.

¹⁴ Tsuei C. C., Gupta A., Trafas G., Mitzi D. Superconducting mercury-based cuprate films with a zero-resistance transition temperature of 124 Kelvin // *Science*. 1994. V. 263. P. 1259—1261.

¹⁵ Umezawa A., Zhang W., Gurevich A. et al. Flux pinning, granularity and the irreversibility line of the high- T_c superconductor $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+x}$ // *Nature*. 1993. V. 364. P. 129—131.

Порожденные генной инженерией

В. В. Вельков

И создал Бог зверей земных по роду их, и скот по роду его, и всех гадов земных по роду их. И увидел Бог, что это хорошо.

Быт. 1.25



Василий Васильевич Вельков, кандидат биологических наук, научный сотрудник Института биохимии и физиологии микроорганизмов РАН (Пушино Московской обл.). Занимается проблемами физиологии и стабильности рекомбинантных микроорганизмов. Принимал участие в разработке вопросов, связанных с биологической опасностью рекомбинантных ДНК и патентованием изобретений в области генной инженерии.

ХОРОШО ЛИ будет, если создавать новые организмы и наполнять ими сушу и воду будет человек, существо, как показывает опыт, весьма неразумное и непредусмотрительное?

Кто бы мог подумать, что еще в XX в. перед человеком встанет эта неожиданная, актуальная и уже отнюдь не научно-фантастическая проблема? Речь идет о правовом регулировании выпуска в биосферу генетически модифицированных организмов, т. е. о создании правовых документов, регламентирующих целенаправленное вмешательство в природу внесением в нее организмов, созданных человеком и ранее не существовавших.

В 1974 г., сразу же после возникновения генной инженерии в широких кругах научной общественности появились опасения, что организмы, созданные с помощью этой новой технологии, могут оказаться опасными для человека и среды его обитания: например, случайно попав из лаборатории в окружающую среду, они нарушат экологическое равновесие и вызовут эпидемии ранее неизвестных болезней¹.

Поскольку отсутствие информации не позволяло оценить риск генной инженерии, на ряд таких экспериментов был наложен временный запрет. Когда были разработаны правила техники безопасности генно-инженерных работ, преграждающие путь в окружающую среду организмам, несущим чужеродные гены, запрет был снят. Казалось бы, вероятность свободного размножения в природе «новых» организмов была исключена.

За прошедшие 20 лет благодаря генной инженерии сделаны более чем впечат-

© Вельков В. В. Порожденные генной инженерией.

¹ Вельков В. В. Опасны ли опыты с рекомбинантными ДНК? // Природа, 1982. № 4. С. 18—28.

ляющие фундаментальные научные открытия и достигнуты весьма значительные практические результаты в области здравоохранения, сельского хозяйства, пищевой промышленности, криминалистики, археологии и т. д. Новые организмы, выращиваемые либо в лабораторных, либо в заводских условиях, были изолированы от внешней среды, а их умышленное внесение в биосферу категорически запрещалось.

Однако в последнее десятилетие многие научные и практические лаборатории приступили к широкомасштабному получению генетически модифицированных микроорганизмов, полезное действие которых должно проявляться именно в окружающей среде². Возникла необходимость преднамеренного заселения новыми организмами биосферы в условиях почти полного отсутствия экспериментальной информации о конечном результате такого эксперимента.

В целом проблема риска, связанная с использованием новых технологий не нова — почти все они (транспорт, энергетика и т. п.) несут ту или иную степень риска. Важно, чтобы такой риск можно было оценить, спрогнозировать и свести до приемлемого уровня; необходимо также, чтобы общество, использующее новые технологии, было информировано о возможном риске, с ними связанном.

Рассматривая эту проблему, уместно задаться и более общим вопросом: имеет ли право человек проводить в открытой среде опыты, если существует хоть самая малая вероятность их негативных последствий? Отвечая на этот жизненно важный и сложный вопрос, здесь ограничимся тем, что решений может быть только два: или таких опытов вообще не ставить (и тем самым не получать новых знаний), или проводить их с максимальной осторожностью, предусмотрев, по возможности, все вероятные опасности и все пути их устранения.

В целом отсутствие четкого законодательства интродукции в биосферу генетически модифицированных микроорганизмов сильно тормозит развитие исследований и разработок в этой, как считается, весьма перспективной отрасли³.

В США, например, несмотря на особую тщательную предварительную экспертизу со стороны соответствующих контролирующих служб, полевые испытания генетически модифицированных микроорганизмов были на-

долго задержаны по единственной причине — их генно-инженерному происхождению, хотя сами микроорганизмы были подробно изучены и признаны безвредными, а их генетические модификации — неопасными⁴.

Этот пример говорит о том, что до сих пор не решен принципиальный вопрос: какая экспертиза может разрешить полевые испытания? Сегодня на этот счет существуют две точки зрения: одни исследователи полагают, что экспертиза должна основываться на том, каким методом получены микроорганизмы (генная инженерия, мутагенез и селекция, генетические манипуляции *in vivo*), а другие считают, что решающее значение имеет конечный результат генетической модификации, независимо от того, как она сделана. Несмотря на очевидную разумность второго подхода, принятого в США, Европейское сообщество, находясь под влиянием «неопределенности и озабоченности в общественных и политических кругах», приняло правовые документы, регламентирующие интродукцию генетически модифицированных микроорганизмов в зависимости от технологии их создания⁵.

Но можно ли вообще обоснованно оценивать последствия интродукции генетически модифицированных микроорганизмов? Попыткам ответа на этот вопрос посвящено большое количество исследований⁶.

ОПТИМИСТИЧЕСКИЕ ОЖИДАНИЯ

Имеющийся сегодня опыт использования генно-инженерных микроорганизмов в разных сферах народного хозяйства дает основание считать, что интродукция их в окружающую среду может быть весьма полезной. И тому есть масса примеров.

В сельском хозяйстве с помощью генетически модифицированных организмов можно повышать эффективность питания растений, защищать их от заморозков и образования опухолей, а также успешно бороться с вредителями.

Уже созданы генно-инженерные штаммы, обладающие такими полезными свойствами. Зарегистрировано уже много патент-

² Дебабов В. Г. // Биотехнология. 1992. Т. 6. С. 8—11; Вельков В. В. // Генетика. 1994. Т. 30. С. 5.

³ Ratner M. // Biotechnology. 1990. V. 8. P. 196—198.

⁴ Miller H. I., Burris H., Vidaver A. K., Wivel N. A. // Science. 1990. V. 250. P. 490—491.

⁵ Cantley M. F., Nettencourt J. D. // FEMS Microbiol Lett. 1992. V. 100. P. 25—32.

⁶ Marx J. L. // Science. 1987. V. 237. P. 1413—1417; Tiedje J. M., Colwell R. K., Grossman Y. L. et al. // Ecology. 1989. V. 70. P. 288—315.

ных заявок на конструирование и применение штаммов симбиотических видов клубеньковых бактерий рода *Rhizobium*, улучшающих питание сельскохозяйственных растений.

Весьма перспективно развитие мирового рынка биопестицидов, созданных на основе генно-инженерных микробов. Так, интродукция патогенных для насекомых (энтопатогенных) модифицированных штаммов бактерий *Bacillus thuringiensis*, а также бактерий *Pseudomonas fluorescens* и *Clavibacter xyli*, содержащих клонированный ген энтопатогенного токсина из *B. thuringiensis*, немного облегчит борьбу с вредными насекомыми. Имеются также убедительные данные об эффективности в качестве биопестицидов модифицированных бакуловирусов.

Очень интересны опыты по заселению почвы еще одним представителем палочковидных бактерий рода *Pseudomonas*. При интродукции штамма *P. syringae*, у которого отсутствует ген *ice* (такая мутация лишает эти бактерии способности инициировать формирование льда на корнях), вытеснялся дикий штамм, имеющий этот ген. В итоге растения хорошо переносили заморозки.

Аналогичные результаты были получены при интродукции модифицированного патогенного штамма бактерий *Agrobacterium tumefaciens*, лишенных опухолеродных генов, — они вытесняли дикие штаммы, вызывающие опухоли у растений.

Современная пищевая промышленность немыслима без использования микроорганизмов, которые уже давно и с успехом «сотрудничают» с ней. Например, в производстве ферментов широко применяют рекомбинантные штаммы дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces lactis*, грибов *Aspergillus niger*, несущих ген химозина телянка и синтезирующих этот фермент, необходимый в сыроделии. Для интенсификации процессов брожения используют различные штаммы пекарских дрожжей — они замедляют старение пива и улучшают пекарские свойства муки. В молочной промышленности рекомбинантные штаммы также незаменимы: они повышают технологические характеристики молочнокислых бактерий, обеспечивают их фагоустойчивость, увеличивают протеолитическую активность и придают им способность синтезировать пептидные антибиотики, подавляя тем самым рост патогенной микрофлоры.

В здравоохранении одна из самых важных задач — создание на основе энтеробактерий сальмонелл живых пероральных вакцин, предназначенных для борьбы с инвазивными сальмонеллезными инфекциями че-

ловека и животных и несущих клонированные гетерологические антигены (эпитопы вирусных, бактериальных и эвкарисных паразитов), т. е. поливалентных вакцин. Кроме того, живые вакцины более эффективны, чем убитые, а рекомбинантные живые вакцины могут вызывать гуморальный, секреторный и клеточный иммунные ответы. Обеспечить безопасность таких вакцин можно, ослабив жизнеспособность вакцинного штамма. Этот эффект достигается за счет множественных мутаций, приводящих к потере способности синтезировать необходимые для роста органические соединения, которые не образуются в животных клетках. Такие штаммы могут размножаться только на специальных средах, содержащих не встречающиеся в природе соединения. Клонирование и экспрессия в таких штаммах генов поверхностных белков вируса гепатита, ВИЧ-1, вируса герпеса и т. д. показывают перспективность этого подхода для создания живых рекомбинантных мультивалентных вакцин против возбудителей инфекций человека и животных.

Охрана окружающей среды может стать одной из самых перспективных отраслей применения генно-инженерных организмов. Об этом свидетельствует крупномасштабный эксперимент по очистке загрязненной угольной смолой и фенолами почвы тремя модифицированными штаммами бактерий *Pseudomonas putida* (всего было обработано около 30 тыс. м³ на площади 10 га). Интродукция бактерий снизила концентрацию полихлорароматических углеводородов в почве на 25—40 %, при этом число жизнеспособных клеток штамма-деструктора в почве уменьшалось параллельно с падением концентрации разрушаемого загрязнителя. Говоря иными словами, штамм-деструктор выводится из почвы по мере потребления собственного субстрата. Это означает, что распространение таких штаммов в природе можно строго контролировать. Однако существует опасность, что штаммы-деструкторы при интенсивной биодеградации могут образовывать промежуточный продукт, более токсичный, чем исходный загрязнитель, который впоследствии приведет к нарушению гомеостаза почвенной микрофлоры.

И все же американские специалисты считают, что интродукция генно-инженерных микробов, разрушающих вредные загрязнители, — наиболее быстро развивающийся сектор в национальной экологической биотехнологии: в 1989 г. их рынок составлял 34 млн. долл., а в 1995 г., согласно прогнозам, достигнет 153 млн. долл.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ФИЗИОЛОГИИ МИКРООРГАНИЗМОВ

В окружающей среде микроорганизмы пребывают, как правило, в периодах длительного глубокого субстратного лимитирования, чередующихся короткими фазами активного роста. В таком пассивном состоянии возникает целый комплекс специфических биохимических, генетических и физиологических реакций. Изучение закономерностей выживания микроорганизмов в окружающей среде позволяет сделать вывод об определенной направленности их генетической стратегии. В этот период у микроорганизмов повышается способность утилизировать малые концентрации субстратов, при этом активируются ферменты, обеспечивающие их быструю утилизацию. Частота мутагенеза повышается, что приводит к накоплению мутаций при отсутствии роста, и одновременно формируется общая устойчивость к стрессам, а при наступлении благоприятных условий усиливается внутри- и межвидовой генетический перенос⁷. Все это говорит о том, что существует специальный механизм, позволяющий микробным популяциям за время голодания накапливать генетическое разнообразие, за счет которого при появлении субстрата они смогут адаптироваться к новым условиям.

Весьма часто микроорганизмы, переживающие длительный голод, становятся некультивируемыми, т. е. не вырастают при высеве на соответствующие среды (иногда, при длительной инкубации на стандартных средах, некультивируемые клетки восстанавливают способность к росту). Однако их можно обнаружить методами, основанными на определении метаболической активности, — микроскопией, иммунофлуоресцентным анализом, гибридизацией со специфическими зондами ДНК. В естественных условиях достаточно большая доля природных микроорганизмов присутствует именно в некультивируемом состоянии, культивировать удается только 10 % общего количества почвенных микробов и только 1 % водных.

Считается, что почвенные и водные микроорганизмы занимают все возможные экологические ниши, т. е. они используют все доступные природные субстраты. Какой же может быть судьба генно-инженерных микробов, попавших в такие жесткие условия?

ПОВЕДЕНИЕ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ ШТАММОВ

Большой и многолетний опыт интродукции природных форм микроорганизмов привел к «разочаровывающим» результатам. Согласно подсчетам, культивируемые клетки, ранее внесенные в почву или в водные системы, даже нормальные, т. е. генетически немодифицированные, микроорганизмы плохо приживаются в почве и почти не размножаются.

Дополнительное отрицательное влияние на судьбу внесенных модифицированных штаммов, кроме глубокого лимитирования, могут оказывать стрессовые факторы почвы: биотические (взаимодействие с естественной микрофлорой — антагонизм, хищничество, паразитизм) и абиотические (температура, влажность, pH среды). Микробные почвенные экосистемы имеют тенденцию к гомеостазу и устойчивы к возмущениям. Возможно, именно гомеостаз почвенных микроорганизмов определяет размер природных популяций и, естественно, именно он будет определять судьбу модифицированных штаммов. Значит, генно-инженерные микроорганизмы могут хорошо размножаться только тогда, когда природный гомеостаз будет предварительно серьезно нарушен.

Согласно имеющемуся опыту, динамика численности генетически модифицированных микроорганизмов, культивируемых в почве, бывает трех типов: быстрое, за три дня, исчезновение до неопределяемого уровня (штаммы *E. coli*); экспоненциальное уменьшение — за 7—10 дней остается до 10—100 клеток за 1 г почвы (штаммы *B. subtilis*); сравнительно быстрое экспоненциальное уменьшение — за 1—14 дней численность популяции уменьшается в логарифмической прогрессии, затем прогрессирующе уменьшается вплоть до исчезновения культивируемых клеток (штаммы *Rhizobium*); в некоторых случаях их динамика может сильно зависеть как от условий интродукции, так и от состояния растений-симбионтов. Все изученные модифицированные штаммы *Pseudomonas* в почвах сохранялись, но численность их уменьшалась с разной скоростью и зависела от природы штамма и типа почвы⁸. Сходные результаты наблюдаются и при интродукции модифицированных микробов в дренажные сельскохозяйственные (морскую или речную) воды.

⁷ Matin A. // Molec. Microbiol. 1991. V. 5. N 1. P. 3—10.

⁸ The Release of Genetically Modified Microorganisms — REGEN-2. New York — London, 1992.

ВОЗМОЖНЫЙ РИСК

Обсуждая положительные стороны использования генно-инженерных организмов для нужд народного хозяйства, мы уже частично коснулись их возможного отрицательного влияния на биосферу. Однако научно обоснованные оценки риска интродукции генетически модифицированных микроорганизмов до сих пор отсутствуют, поскольку нет никакой фактической информации о том, в чем состоит конкретная опасность. Но теоретические прогнозы о возможных негативных последствиях привели к формированию у общественности стойкого отрицательного отношения к таким экспериментам.

Один из главных вопросов оценки риска — влияние генетической модификации на **выживание и конкурентоспособность** микроорганизмов в среде по сравнению с родительским штаммом. Судя по известным данным, модификация не влияет на конкурентоспособность микробов, а в целом ряде случаев (опыты проводились со штаммами *E. coli*, *P. putida*, *E. carotowora*) она понижается.

Принципиальное исключение составляет тот случай, когда генетическая модификация позволяет штамму утилизировать субстрат, непригодный для природных микроорганизмов (например, ксенобиотик). Тогда модифицированный штамм при интродукции будет размножаться, пока для него есть свой субстрат. Значит, присутствие в почве генетически модифицированных микроорганизмов можно контролировать, следя за наличием в среде специфического субстрата.

В итоге можно сделать вывод, что вероятность безудержного размножения генно-инженерных микроорганизмов в окружающей среде практически отсутствует. Однако теоретически нельзя исключить, что при возникновении благоприятных условий интродуцированные и жизнеспособные модифицированные штаммы смогут реактивироваться и начать размножение.

Какова **вероятность передачи чужеродных генов** из модифицированных в природные штаммы? Согласно немногочисленным данным, имеющимся на этот счет, для природных микроорганизмов характерен экологически значимый перенос генов, который может осуществляться разными способами. Это трансформация экзогенными ДНК, трансдукция с помощью бактериофагов, а также с помощью конъюгативных плазмид, которые, как полагают, и определяют главные потоки генов в микроб-

ных сообществах⁹. Однако перенос хромосомных генов между природными микроорганизмами крайне редок и не имеет существенного значения.

Плазмиды широко распространены в наземных и водных популяциях микроорганизмов. Конъюгативные плазмиды широкого спектра хозяев, в частности плазмиды класса несовместимости IncP1, могут переносить гены через эволюционные барьеры, например, из псевдомонад и кишечной палочки в бактерии рода *Rhizobium*, *Alcaligenes*, *Mucosoccus*, *Desulfovibrio*, в цианобактерии *Syococcus*, во флавобактерии *Bacteroides*, а Ti-плазмиды из рода *Agrobacterium* вносят бактериальные гены в растительные клетки.

В почвах, загрязненных тяжелыми металлами и органическими ксенобиотиками, микробное разнообразие незначительно, но зато много штаммов с плазмидами устойчивости к тяжелым металлам и плазмидам биodeградации. В этом случае сильное селективное давление благоприятствует конъюгационному переносу соответствующих плазмид. Кроме того, добавленные в почвенные микробные сообщества субстраты также стимулируют конъюгационный перенос плазмид.

Среди водных микроорганизмов конъюгативный перенос генов тоже широко распространен — в водных экосистемах находится много плазмидных штаммов (в таких родах, как *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Chromobacterium*, *Moraxella*). В озерах плазмиды содержат до 46 % гетеротрофов, в реках — 10—15 %, причем большинство из них конъюгативны. В загрязненной нефтепродуктами морской воде, так же как и в загрязненной почве, количество плазмидных штаммов повышено, что свидетельствует о селективном давлении, направленном на перенос соответствующих плазмид.

Весьма благоприятная среда для конъюгативного переноса плазмид — активный ил, в котором ассоциации микроорганизмов сконцентрированы, что облегчает тесные контакты между клетками. В микроскопе, условия которого были максимально приближены к природным, исследовали влияние интродуцированного штамма *P. putida* UWC1, несущего плазмиду pD10 (кодирует ферменты утилизации 3-хлорбензоата как единственного источника углерода) на очистительные свойства активного ила¹⁰.

⁹ Gene Transfer in the Environments. N. Y., 1989; Bacterial Genetics in Natural Environments. London, 1990.

¹⁰ McClure N. C., Weighman A. J., Fry J. C. // Appl. Environ. Microbiol. 1989. V. 55. P. 2627—2634.

Данный штамм как таковой не усилил биодеградацию. Однако природные штаммы, присутствовавшие в активном иле, стали реципиентами для плазмиды pD10 и за ее счет разлагали ксенобиотики лучше, чем донорный штамм *P. putida* UWC1.

В целом для уменьшения риска передачи чужеродных генов из интродуцированных штаммов их нужно встраивать в хромосому, а штамм не должен содержать конъюгативных плазмид.

Вероятность **негативного влияния** интродуцированных штаммов на **экологические характеристики окружающей среды** — весьма серьезная и, к сожалению, малоизученная проблема. Можно ожидать, что генно-инженерные микроорганизмы, внесенные в среду в больших количествах (в особенности вместе с субстратами), смогут нарушить сложившееся равновесие в микробных экосистемах. Но изменится ли при этом микробное разнообразие и не активизируются ли патогенные микроорганизмы, ранее находившиеся в некультивируемом состоянии? Вероятно, экологический эффект интродуцированных искусственных штаммов должен определяться их пороговой концентрацией: если их количество будет превышать предельно допустимое значение, то оставшиеся после интродукции клетки будут находиться в почве длительное время, взаимодействуя с природными популяциями; если же концентрация интродуцируемых микроорганизмов будет ниже пороговой, то они не смогут влиять на природные популяции.

Имеются уже конкретные примеры влияния модифицированных штаммов на экологические характеристики среды. Так, рекомбинантные штаммы *Pseudomonas solanaceum* задерживают рост некоторых хищников Protozoa. Внесенный в почву рекомбинантный штамм *Streptomyces*, активируя пероксидазу лигнина, стимулирует образование в почве CO_2 . Предполагается, что пероксидаза частично расщепляет молекулу лигнина и делает ее углеродные атомы более доступными для окисления почвенной микрофлорой. Интродуцированный в корневую систему пшеницы флуоресцентный штамм псевдомонады (RC1) вытесняет из естественной экологической ниши природные штаммы бактерий — их доля в бактериальном сообществе ризосферы уменьшается с 24 % (контроль) до 1 % (интродукция штамма RC1). Внесенный в почву модифицированный штамм *P. putida* pRO103 разлагает 2,4-дихлорфеноксиацетат с накоплением токсичного промежуточного продукта — 2,4-дихлорфенола, который сильно сокращает

количество зачатков грибов, снижает интенсивность образования CO_2 , но не влияет на численность почвенных бактерий. Интродукция штамма *P. serasia* — деструктора 2,4,5-трихлорфеноксиуксусной кислоты в почву, содержащую этот поллютант, увеличивает таксономическое и генетическое разнообразие почвенных микробов. Очевидно, что метаболическая активность этого штамма способствует образованию субстратов для других микробных популяций, а генетическое разнообразие, видимо, увеличивается за счет генетического переноса и рекомбинации. Однако этот эффект был временным, так как все рекомбинанты оказались нефункциональными или неконкурентоспособными.

Таким образом, интродукция генетически модифицированных микроорганизмов действительно может как стимулировать, так и подавлять рост определенных популяций в природных микробных сообществах. В целом прогноз влияния интродуцированных искусственных штаммов на природные экосистемы заслуживает самого серьезного внимания.

МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ШТАММОВ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Задача таких методов — обнаружить и идентифицировать как метаболически активные, культивируемые клетки, так и опознать некультивируемые, но жизнеспособные¹¹. Культивируемые клетки определяют при посеве на твердые среды с помощью искусственно введенного генетического маркера (например, по устойчивости к рифампицину или налидиксовой кислоте, способности сбраживать редкие сахара) или по специфической хромогенной либо хемолюминесцентной биохимической реакции. В этом случае в модифицированный штамм вводят так называемые репортерные гены: гены галактозидазы (β -глюкуронидазы, люциферазы светляка и светящихся бактерий). Такие хромогенные или люминесцентные реакции проводят непосредственно в чашках Петри. Используется также метод гибридизации материала предварительно лизированных колоний с ДНК-зондами, специфическими для данного вида и/или данного клонированного гена (гибридизация колоний).

Обнаружить некультивируемые клетки можно с помощью полимеразной цепной

¹¹ Atlas R. M., Saer B., Urlage R. S., Bej A. K. // Biotechniques. 1992. V. 12. N 5. P. 706—717.

реакции (ПЦР) или иммунологическими методами с использованием поли- и моноклональных антител, флуоресцентно-меченых антител и т. д. Наиболее перспективным считается метод ПЦР, позволяющий получать *in vitro* множество копий любых специфических фрагментов ДНК (или РНК). Такая амплификация значительно повышает чувствительность метода гибридизации со специфическими зондами ДНК. Присутствие специфической ДНК говорит о наличии в популяции гена, характерного для данного вида, а обнаружение специфической мРНК — о физиологически активном (культивируемом) состоянии данной популяции.

Методы гибридизации колоний и ПЦР позволяют сравнивать генетические свойства модифицированных штаммов с уже изученными микроорганизмами, интродукция которых в окружающую среду не представляет опасности. На основании такой оценки выносится решение о разрешении (или запрете) полевых испытаний конкретных модифицированных организмов.

Комплекс микробиологических, биохимических и молекулярных методов мониторинга позволяет также обеспечивать строгое соблюдение патентного права в интродукции генетически модифицированных микроорганизмов. В частности, эти методы позволяют почти однозначно устанавливать новизну и/или сходство патентуемого штамма, а также контролировать их возможное несанкционированное внесение в биосферу. Тем не менее, несмотря на высокую степень точности всех перечисленных методов, при оценке экологического риска интродукции модифицированных штаммов степень неопределенности велика.

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ОЦЕНОК ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА

Итак, главный принцип, на основе которого соответствующие контролирующие службы дают заключение о выдаче разрешения на полевые испытания модифицированных штаммов, — это определение их сходства с другими заведомо безопасными микроорганизмами. Однако установление такого сходства представляет принципиальные трудности, так как нет четких критериев таких оценок и потому результаты экспертизы часто различаются¹².

Второй фактор неопределенности — недостаточная изученность родового и ви-

дового состава микробных экосистем и их свойств. Считается, что идентифицировано около 5 % всех реально существующих в природе микроорганизмов¹³. Неизвестно также, какое количество еще не описанных патогенных штаммов может находиться в почве и воде и какие факторы могут их активировать.

Таким образом, на основе имеющейся информации можно попытаться сформулировать минимальный набор условий, выполнение которых, можно надеяться, обеспечит экологическую безопасность интродукции генно-инженерных микроорганизмов в окружающую среду.

Безопасность микроорганизма обеспечивается отсутствием патогенности для человека, животных и растений интродуцируемого штамма, а также генов, способных вызвать такую патогенность, и более того, возможности вызвать или усилить патогенность природных болезнетворных растений.

Модифицированный штамм не должен содержать генов устойчивости к антибиотикам, а также конъюгативных и/или мобильных плазмид, находящихся как во внехромосомном, так и в интегрированном состоянии. Модельные и полевые испытания должны подтвердить, что в результате интродукции модифицированных штаммов в среде не образуются токсичные и/или генотоксичные соединения (тесты на общую токсичность и генотоксичность).

Методы интродукции считаются безопасными, если испытания модифицированных штаммов можно срочно прекратить. Такая необходимость, вероятно, возникнет, если интродуцированные штаммы выйдут из-под контроля, т. е. начнут активно размножаться или активировать природные патогены, либо вызовут синтез токсичных и/или генотоксичных соединений природными микроорганизмами. Кроме того, при интродукции не должны использоваться вещества, загрязняющие окружающую среду.

Таким образом, методы мониторинга интродуцированных штаммов должны обеспечить контроль за их присутствием, распространением и возможным размножением, а также за возможным распространением в природных микроорганизмах чужеродных генов из модифицированных штаммов. Необходим мониторинг полезного эффекта интродуцентов и возникновения возможных негативных экологических последствий при их интродукции.

¹² Computer Assisted Bacterial Systematics. London, 1985.

¹³ Микробное разнообразие-21. // Успехи совр. биологии. 1992. Т. 112. Вып. 5—6. С. 807—810.

В целом можно заключить, что с точки зрения ожидаемых полезных эффектов интродукция генно-инженерных микроорганизмов в окружающую среду действительно перспективна, особенно для биологической очистки окружающей среды и борьбы с вредителями сельского хозяйства. Вероятность того, что интродуцированные штаммы вытеснят природные микроорганизмы из почвенных и водных экосистем, невелика.

Массовое распространение чужеродных генов из интродуцированных штаммов в природных популяциях микроорганизмов чрезвычайно мало и может быть сведено к нулю.

Наибольшую озабоченность в отношении негативных последствий интродукции вызывает реальная возможность отрицательного влияния модифицированных штаммов на экологические характеристики природных экосистем, в частности нарушение равнове-

сия, сложившегося в микробных экосистемах, а также возможность образования в среде токсичных и/или генотоксичных соединений за счет метаболической активности интродуцированных штаммов.

Безусловно, при интродукции генетически модифицированных микроорганизмов в окружающую среду в первую очередь необходимо обеспечить экологическую безопасность, а уже потом — полезный эффект. Этого можно достигнуть только за счет точного знания, разумных и гибких регламентирующих правил, постоянно уточняющихся по мере накопления информации, а также за счет широкого международного сотрудничества и высокой профессиональной ответственности¹⁴.

¹⁴ Кодекс добровольно принимаемых правил, которых надлежит придерживаться при интродукции (выпуске) организмов в окружающую среду. Подготовлен Секретариатом UNIDO для неформальной рабочей группы UNIDO/UNEP/WHO/FAO. Июль 1991 г. // Микробиология. 1993. Т. 62. № 2. С. 367—380.

НОВОСТИ НАУКИ

Защита окружающей среды

Дунай — жертва войны

Специальная комиссия, направленная в Хорватию Организацией промышленного развития при ООН, установила, что идущая в бывшей Югославии война привела к загрязнению природной среды на территории от Адриатического до Черного морей.

Особенно существенный ущерб нанесен Дунаю, в который впадают реки Сава и Драва, протекающие в районах боевых действий. В Хорватии разрушено множество промышленных центров, канализационные и очистительные системы в городах не работают. В Боснии особые опасения

вызывают расположенные в Тузле нефтехимический и хлорный заводы, сырье и продукция которых весьма токсичны.

В Осике (Хорватия) сгорел химический завод, производивший детергенты и косметику, и тысяча тонн потенциально вредных веществ остались без надзора: дождь смывает их в Драву. Здесь же обнаружено 250 т «беспризорного» гидроксида натрия, большое количество пестицидов и фосфатов. Обломки разорвавшихся снарядов, битое стекло и асбест, разбросанные в цехах, — все это затрудняет очистительные работы.

Как установила группа сотрудников Загребского университета (Хорватия), концентрация кадмия вокруг территории одного из заводов боеприпасов

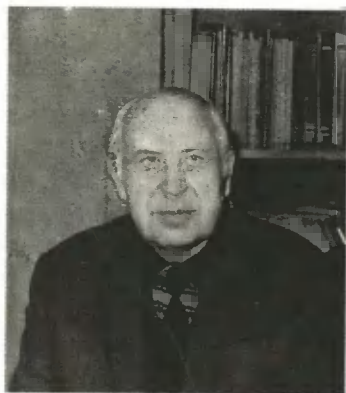
в 200 раз превышает обычный фоновый уровень; местность заражена им в радиусе на 7,5 км. Здесь же очень высок уровень содержания ртути и таллия. Обнаружены птицы с повышенной концентрацией тяжелых металлов в тканях. По всей Хорватии в городах представляют опасность для здоровья человека разбитые трансформаторы и другое электрооборудование.

Водозабор из Дуная стал опасным по всему его течению, т. е. на территории Венгрии, Румынии, Болгарии, Молдавии и Украины, а также в его дельте и прилегающей акватории Черного моря. Пока идут бои, меры по очистке среды принимать невозможно.

New Scientist. 1993. V. 138. N 1878.
P. 8 (Великобритания).

Горячие частицы

И. Я. Василенко



Иван Яковлевич Василенко, доктор медицинских наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР, ведущий научный сотрудник Института биофизики Минздрава Российской Федерации. Область научных интересов — токсикология продуктов ядерного деления, радиационная гигиена.

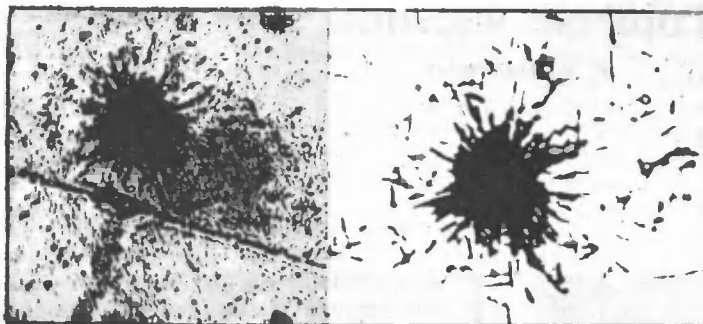
ГЛОБАЛЬНОЕ радиоактивное загрязнение, произошедшее в результате ядерных взрывов и выбросов предприятий атомной энергетики, привело к повышению радиационного фона планеты. Радионуклиды, поступившие во внешнюю среду, стали источником постоянного облучения всех живых организмов, в том числе человека, — это, естественно, не может не вызвать озабоченности общества.

Радиоактивное облучение человека может быть как внешним, так и внутренним; в последнем случае радионуклиды попадают в организм в основном через органы дыхания и с продуктами питания. В проблеме ингаляционного поступления радионуклидов особое внимание привлекли «горячие частицы». К ним относят радиоактивные аэрозоли микрометровых и субмикрометровых размеров, активность которых на несколько порядков больше средней активности обычных частиц подобного размера и достигает 10^{-10} — 10^{-8} Ки. Такие частицы могут создавать высокие локальные дозы облучения — не менее 10 Зв (10^3 бэр) в год. Термин «горячие частицы» чаще используется для α -излучающих нуклидов, в частности плутония.

Интерес к горячим частицам возник после первых ядерных взрывов. Этой проблеме посвящено много публикаций¹, горячие частицы, однако, до сих пор недостаточно исследованы. Сложнее всего оценить их биологическую опасность для человека, а для этого необходимо знать об источниках образования горячих частиц, механизмах их миграции в органах дыхания и выведения из организма.

© Василенко И. Я. Горячие частицы.

¹ Фукс Н. А. Успехи механики аэрозолей. М., 1961; Фетт В. Атмосферная пыль. М., 1961; Лавренчик В. Н. Глобальное выпадение продуктов ядерных взрывов. М., 1965; Стиро Б. И. Самоочищение атмосферы от радиоактивных загрязнений. Л., 1968; Быховский А. В., Зараев О. И. Горячие аэрозольные частицы при техническом использовании атомной энергии. М., 1974; Василенко И. Я. // Мед. радиология. 1991. № 9. С. 56—58; Биологические эффекты ингалированных радионуклидов. Публ. 31 МКРЗ. М., 1984.



Авторадиограмма горячих частиц.

ИСТОЧНИКИ ГОРЯЧИХ ЧАСТИЦ

Радиоактивные аэрозоли природного происхождения постоянно присутствуют в атмосфере, куда они поступают с поверхности земли, океанов, при вулканических извержениях. Источник этих частиц — природные нуклиды, которые содержатся в земной коре на протяжении всей истории Земли (^{40}K , ^{87}Rb , изотопы рядов урана и тория и др.) или образуются в верхних слоях атмосферы при взаимодействии космических излучений с атомами нестабильных изотопов (^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na и др.). Удельная активность частиц минерального происхождения колеблется в пределах 10^{-12} — 10^{-11} Ки/г (в органической пыли — ниже).

Техногенное загрязнение атмосферы происходит в основном в результате ядерных взрывов и выбросов радионуклидов предприятиями атомной энергетики. При ядерных взрывах во внешнюю среду поступают продукты деления ^{235}U , ^{238}U и ^{239}Pu (при этом образуется около 200 радионуклидов средней части Периодической системы элементов Д. И. Менделеева — от цинка до гадолиния), радионуклиды наведенной активности и неразделившаяся часть заряда. Степень и характер загрязнения зависят от вида взрыва, его мощности и метеорологических условий. Взрывы зарядов, в основе которых лежит реакция деления ядер, по сравнению с зарядами, при которых используются реакции синтеза, приводят к более интенсивному загрязнению. Еще хуже обстоит дело при взрыве комбинированных зарядов, основанных на реакциях деление — синтез — деление. Носителями активности становятся аэрозоли, которые образуются в результате конденсации радиоактивных и нерadioактивных продуктов взрыва. От метеорологических условий в основном зависит рассеяние продуктов, т. е. их концентрация, качественный же состав аэрозолей определяется свойствами среды, в которой произошел взрыв, и его параметрами.

В результате наземных взрывов на песчаных и суглинистых почвах образуются сферические и неправильной формы радиоактивные частицы. В сферических частицах возникающих из расплавленных материалов, активность распределена неравномерно, в основном в поверхностном слое, а сердцевина обычно нейтральна. В зависимости от теплофизических свойств отдельных нуклидов они захватываются расплавленными частицами грунта: вначале сорбируются тугоплавкие нуклиды, а затем нуклиды с более низкой температурой плавления. Избирательный захват нуклидов приводит к их фракционированию. Активность частиц второго типа в десятки раз меньше, чем у стекловидных частиц и обусловлена сорбцией радионуклидов на поверхности нерасплавленного материала.

При низких воздушных взрывах носителями активности становятся в основном частицы неправильной формы, на поверхности которых сорбируется большое количество мелкодисперсных аэрозолей. Оплавленные частицы встречаются редко. В результате высоких воздушных взрывов образуются мелкодисперсные аэрозоли, в которых радиоактивными становятся атмосферная пыль и высокодисперсный конденсат испарившегося материала (окислы железа, алюминия, урана, плутония). Радионуклиды в них распределены равномерно по объему. Такие взрывы не приводят к значительному локальному загрязнению, поскольку аэрозоли рассеиваются на огромной территории.

В результате подводных взрывов интенсивно загрязняются вода и атмосфера, а если взрыв происходит вблизи берега — то и прибрежные территории. Радионуклиды, поступившие в атмосферу, выпадают на водную поверхность и землю с дождем и сорбируются на нейтральных аэрозолях.

Степень загрязнения при подземных взрывах зависит от их глубины. Если взрыв произведен на большой глубине без выброса (камуфлетный), то продукты деления, не-

разделившаяся часть заряда и радионуклиды наведенной активности остаются в котловой полости и в атмосферу не попадают. Взрыв вблизи от земной поверхности сопровождается дроблением породы и ее выбросом. Образуется облако, в котором содержатся частицы трех типов: из расплавленной породы полости взрыва возникают стекловидные частицы неправильной формы и разного размера. Их радиоактивность распределена по объему равномерно. Частицы второго типа образуются в результате осаждения радионуклидов на холодную поверхность грунтовых частиц. По внешнему виду и плотности они практически не отличаются от частиц раздробленной породы. Третий тип частиц занимает промежуточное положение между частицами первого и второго типа. При неполных камуфлетных взрывах через образовавшиеся трещины некоторое количество радионуклидов из котловой полости может поступить в атмосферу. В основном это инертные газы — изотопы криптона и ксенона, распад которых приводит к образованию ^{89}Sr , ^{137}Cs . Оседая на частицы пыли, они образуют вторичные аэрозоли.

Таким образом, параметры радиоактивных частиц, их форма, размер, нуклидный состав, распределение активности, растворимость определяются условиями образования. Частицы одного размера могут в десятки и сотни раз отличаться по своей активности. Это связано с тем, что формирование их происходит в разных зонах светящейся области, облака и в разное время. Частицы с особо высокой активностью считаются горячими. Их появление в атмосфере в максимальном количестве по времени совпадало с проведением ядерных испытаний. Одна частица с активностью более 10^{-10} Ки содержалась в сотнях и тысячах кубических метров атмосферного воздуха, а с активностью 10^{-12} Ки — в единицах-десятках кубических метров. В последующее содержание их в атмосферном воздухе уменьшалось.

В частицах находили ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$, $^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$, ^{140}Ba , ^{99}Mo и другие радионуклиды продуктов деления, а также радионуклиды наведенной активности: ^{59}Fe , ^{51}Mn (неактивная часть состояла из Fe, Al, Ca и других элементов). Радионуклидный состав частиц зависел от условий их образования и времени, прошедшего после взрыва. Весовая доля продуктов деления в частицах достигала десятых-сотых долей процента.

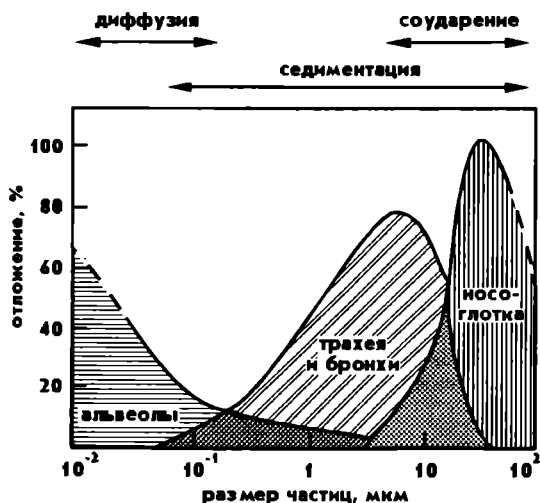
«Поведение» аэрозолей зависит от их размеров и растворимости. Крупные частицы (размером в несколько микрометров

и более) в результате гравитационного осаждения и вымывания из тропосферы выпадают на поверхность Земли быстро и локально. Мелкие частицы (менее микрометра) могут находиться в стратосфере около года и поэтому распространяются на большой территории.

После ограничения ядерных взрывов главным источником загрязнения стали АЭС, в процессе эксплуатации которых в твэлах реакторов накапливается огромное количество продуктов деления и трансурановых элементов (ТУЭ). По мере выгорания топлива радионуклидный состав существенно меняется — накапливаются долгоживущие γ - и β -активные продукты деления и α -излучающие ТУЭ. В конструкционных материалах и оболочках твэлов в результате активации образуются нуклиды наведенной активности.

В условиях нормальной эксплуатации АЭС выбросы радионуклидов незначительны. Иная ситуация складывается при авариях. За прошедшие 40 лет в мире произошло 152 аварии ядерных реакторов с выбросами радионуклидов во внешнюю среду. Величина выброса зависит от характера аварии, типа реактора и степени разрушения защитных барьеров. Чрезвычайно большую опасность представляют аварии с разрушением активной зоны реактора, когда в атмосферу выбрасывается огромное количество радионуклидов. Пример тому — авария на Чернобыльской АЭС, которая по своим масштабам и долгосрочным последствиям, не только радиационным, но и социально-психологическим, является самой крупной за всю историю развития атомной энергетики. Суммарный выброс активности (без учета РБГ — радиоактивных благородных газов) оценен в 50 МКи, что составляет 3,5 % всего количества радионуклидов, накопленных в реакторе к моменту аварии.

В выбросах содержалось много высокоактивных частиц. В их формировании главную роль играло диспергирование ядерного топлива, приведшее к образованию крупнодисперсных аэрозолей из топливной матрицы (АТМ), содержащих весь спектр радионуклидов продуктов деления и трансурановых элементов. Выход паров осколочных радионуклидов привел к образованию мелкодисперсных аэрозолей конденсации (АК) моноклидного состава — из осколочных и коррозионных радионуклидов. В составе АТМ радионуклиды находились в слабо растворимой форме. В организации они ведут себя как окислы урана, т. е. характеризуются низкой всасываемостью, равной тысячным долям процента. Радионуклиды АК обладали различной растворимостью (в зависимости от



Коэффициент задержки аэрозольных частиц в зависимости от их размера.

их свойств) и в организме проявляли свойства окислов соответствующих металлов.

Многие из образовавшихся аэрозолей представляли собой комплекс нелетучих и малорастворимых в воде радионуклидов и обладали высокой γ -, β - и α -активностью. Их можно считать горячими частицами. Частицы, активность которых достигала десятков-сотен-тысяч беккерелей на частицу, находились в воздухе, грунте, на растениях, спецодежде, в легких диких и домашних животных, а также в легких людей не только в ближней зоне, но и в Финляндии, Швеции, Болгарии, Германии и других странах. В аэрозолях идентифицировали ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{99}Mo , ^{103}Ru , ^{131}Te , ^{131}I , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{144}Ce , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{239}Pu и другие радионуклиды.

Кроме ядерных взрывов и АЭС источником поступления во внешнюю среду высокоактивных аэрозолей могут быть аварии ядерных устройств в космосе, ядерных реакторов на кораблях и подводных лодках, ядерные двигатели для ракетной техники, а также радиоактивные соединения, используемые в технике, науке и медицине.

МИГРАЦИЯ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

Значительный объем воздуха, проходящий через легкие ($2 \cdot 10^4$ л/сут) создает возможность поступления высокоактивных аэрозолей в организм человека, что подтверждают эпидемиологические исследования. По оценкам, в период наиболее ин-

тенсивных испытаний ядерного оружия в легких человека может содержаться около 10 горячих частиц². По данным исследований, проведенных в 1963 г.³, среднее содержание частиц — 3.2 ± 0.36 , а в 1964 г. — 1.8 ± 0.24 . Горячие частицы находили даже в легких людей, не имевших прямого контакта с радиоактивными веществами. Можно предполагать, что у всех людей Северного полушария в легких содержатся горячие частицы.

Поступление аэрозолей в органы дыхания, осаждение, перемещение и выведение представляют собой сложные процессы.

В организм человека обычно поступают полидисперсные аэрозоли, среди которых могут быть и горячие частицы. Эффективность осаждения аэрозолей в каждой области (носоглоточной, трахеобронхиальной, альвеолярной) зависит от аэродинамических показателей и геометрии воздухоносных путей.

Существует пять механизмов задержки аэрозолей в органах дыхания: касание, инерционное осаждение, седиментация (гравитационное осаждение), диффузия и электростатическое осаждение. За счет инерционных процессов оседают крупные (более 1 мкм) частицы, в носоглотке, например, могут задерживаться частицы размером не менее 50 мкм. Седиментация способствует осаждению частиц размером менее 1 мкм в мелких бронхах. В результате броуновского движения и диффузии в альвеолах оседают частицы размером менее 0,1 мкм. Основная часть полидисперсной пыли (до 100 % — частицы размером около 5 мкм и 30—40 % — 0,1—0,5 мкм) задерживается обычно в верхних дыхательных путях.

Легкие обладают высокой способностью к самоочищению за счет мукоцилиарного (выведения реснитчатого эпителия) и макрофагального механизмов. Судьба задержанных частиц определяется их размером, растворимостью в жидкостях слизистых оболочек, цитотоксичностью радионуклидов и реактивностью клеток. Различают три фазы выведения: быструю (в течение первых часов), медленную (в течение первых дней) и еще более медленную (сотни дней).

Растворимые радионуклиды в значительных количествах попадают в кровь. Резорбция протекает быстро. Включаясь в обмен, в зависимости от химических свойств, радионуклиды депонируются в печень, мы-

² Радиоактивные частицы в атмосфере. М., 1963.

³ Иськова В. З. и др. // Тр. НИИ радиационной гигиены. Л., 1967.

шечные и костные ткани и другие органы и становятся источником их облучения. Следует отметить, что перешедшие в раствор радионуклиды способны вступать в связь с белками и другими компонентами легочной ткани и, таким образом, задерживаться в легких на более продолжительные сроки.

Нерастворимые и слабо растворимые аэрозоли, задержанные в носоглотке, вместе со слизью быстро поступают в ротовую полость и заглатываются. Частицы, осевшие в трахеобронхиальной области, также достаточно быстро транспортируются реснитчатым эпителием вверх и через ротовую полость попадают в кишечник. Частицы субмикронного размера, задержанные в альвеолярной области и дистальных отделах легких, в значительной мере фагоцитируются и медленно удаляются из легких. Макрофаги, захватившие частицы, способны переносить их на мерцательный эпителий верхних дыхательных путей. По лимфатическим сосудам частицы могут достигать бронхиальных, трахеобронхиальных и медиастиальных лимфоузлов и, накапливаясь в них в значительно больших количествах, чем в тканях легких, они становятся источником длительного облучения. Нерастворимые частицы могут оставаться в легких в течение многих лет. По данным Международного комитета по радиологической защите (МКРЗ), 12,5 % полидисперсных аэрозолей задерживается в легких на длительные сроки.

Следует отметить, что в результате движения частиц внутри структуры легкого доза облучения распространяется на более обширную область. Зону распространения дозы облучения можно описать как горячее пятно. Исключение составляют частицы, фиксированные в рубцовой ткани, в этом случае облучение носит более локальный характер.

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ

Легкие, как известно, имеют чрезвычайно сложное строение. Они включают обширную сеть кровеносных и лимфатических сосудов, клетки соединительной ткани, гладкой мускулатуры и т. д., и каждая из анатомических частей характеризуется разной радиочувствительностью. При ингаляции радионуклидов воздействию подвергаются более 40 видов клеток легких. Радиологический эффект определяется их радиочувствительностью, поглощенной дозой и ее пространственно-временным распределением. Характер облучения зависит от физико-химических свойств радионуклидов, об-

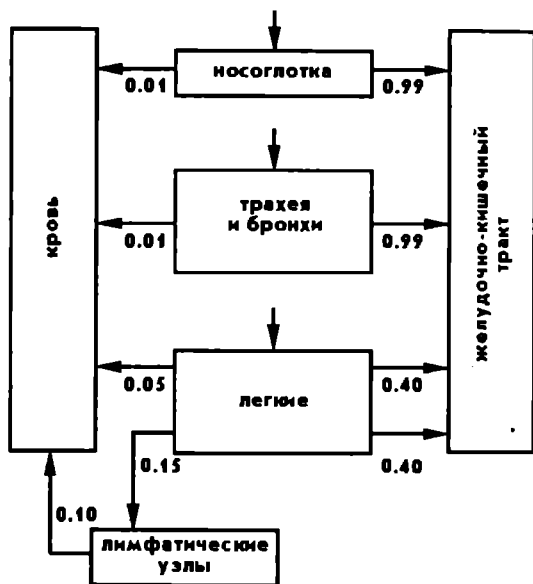


Схема миграции радионуклидов, поступивших в органы дыхания с аэрозольными частицами. Цифрами показаны доли переноса активности из легких в кровь, желудочно-кишечный тракт и лимфатические узлы.

ласти отложения, перемещения и времени удержания их. Облучение, как правило, носит неравномерный характер, особенно это проявляется при ингаляции α -излучающих нуклидов. Пробег α -частиц в ткани легких составляет лишь десятки микрон, и потому в небольшом объеме ткани вокруг ингалированной частицы создается высокая локальная доза.

Эпидемиологических исследований ингаляционного поступления больших количеств радионуклидов в организм человека практически не проводилось, за исключением обследований горнорабочих в Германии, Чехословакии и США, подвергшихся хроническому воздействию высоких концентраций радона. В этих случаях основным источником облучения были аэрозоли продуктов распада радона, а дозы облучения превышали 10 Гр.

Информация о биологическом действии ингалированных радионуклидов получена в основном в опытах на разных видах животных с использованием γ -, β -, α -излучающих радионуклидов в широком диапазоне доз.

При введении больших количеств радионуклидов, когда формировались высокие дозы порядка десятков-сотен грей, у животных (крыс и собак) развивались глубокие структурные и функциональные нарушения.

Например, радиационные ожоги слизистых приводили к ринитам, ларингитам, трахеитам и бронхитам. Особо опасна острая лучевая пневмония (воспалительная и экссудативная реакция легких на облучение), которая заканчивается летально в острый период или же переходит в хроническую форму с прогрессирующим фиброзом и соответствующей легочно-сердечной патологией. Развитие фиброза, повреждение эндотелиальных клеток легочных капилляров, разрушение макрофагов и пневмоцитов влекут за собой дыхательную недостаточность и могут привести к гибели животных. Обширный фиброз легких возникает при отложении в альвеолярной части более 0.01 мКи/г α -излучающих нуклидов. Ингалированные радионуклиды, как отмечалось, перемещаются в другие органы, которые также могут повреждаться, и даже в большей степени, чем легкие, сразу или спустя годы.

Наиболее распространено облучение малыми количествами радионуклидов. Оно может спровоцировать развитие новообразований, связанное с пролиферативным (пролиферация — увеличение числа клеток за счет непрямого деления, или митоза) потенциалом облученных клеток. В условиях длительного облучения депонированными радионуклидами радиация может себя проявлять и как непосредственный инициатор деления клеток, и как промотор, т. е. увеличивать активность первоначального катализатора. Восприимчивость животных к онкологическим заболеваниям может увеличиваться при действии других пролиферирующих агентов, стимулирующих деление клеток. У подопытных животных развивались плоскоклеточные карциномы, бронхоальвеолярные аденокарциномы, гемангиосаркомы, мезотелиомы и саркомы, а чаще всего — бронхоальвеолярные опухоли. Новообразования, как правило, появлялись в местах наиболее высоких концентраций радионуклидов. Регистрировали опухоли и в других органах и тканях, куда переместились всосавшиеся радионуклиды: печени, костной ткани, щитовидной железе и др. Заметим, у шахтеров через 20—30 лет работы преобладающей формой рака была мелкоклеточная анапластическая карцинома крупных бронхов.

Вокруг проникших в легкие высокоактивных горячих частиц создаются высокие локальные дозы. Такие горячие точки облучения в легких могут создаваться и вследствие агрегации большого числа ингалированных мелкодисперсных радиоактивных частиц. Образовавшаяся зона облученных клеток обладает достаточной для канцерогене-

за радиоактивностью. В этой связи возникло предположение о чрезвычайной опасности горячих частиц. В пользу такого суждения свидетельствовали данные экспериментальных исследований, когда частота возникновения злокачественных опухолей у животных при ингаляции им нерастворимых радиоактивных аэрозолей была в два-три раза выше, чем при ингаляции растворимых соединений. Это можно интерпретировать как эффект горячих частиц.

Многое мнения придерживаются американские экспериментаторы, которые исследовали ингаляционное действие $^{239}\text{PuO}_2$. Все случаи гибели животных от рака легкого были связаны со средней поглощенной дозой, и никакого эффекта горячих частиц им выявить не удалось⁴. Не был выявлен эффект горячих частиц и в специальном опыте в Лос-Аламосской научной лаборатории, в котором ставилась задача оценить степень риска изолированного точечного облучения и сравнить с диффузным облучением в равной дозе. В опыте сирийским хомячкам внутривенно вводили заданное количество микросфер с различной удельной активностью плутония в PuO_2 . Частота опухолей у животных при локальном облучении оказалась меньше, чем при диффузном⁵.

Таким образом, источники диффузного облучения с большей вероятностью вызывают опухоли по сравнению с локальными. В последнем случае меньшее число клеток подвергается лучевой трансформации и вероятность, что такие клетки будут уничтожены защитными механизмами организма, больше. Новообразования относятся к стохастическим эффектам, и вероятность blastomagenеза возрастает с увеличением числа клеток, подвергшихся лучевой трансформации.

Один из самых сложных вопросов, особенно при ингаляции небольших количеств радионуклидов, — оценка риска. Известно, что онкогенез относится к разряду наиболее чувствительных тестов на облучение, и в основу гигиенического нормирования положены blastomagenные эффекты, проявляющиеся стохастически. В опытах на животных отмечена связь между поглощенной дозой и проявлением blastomagenеза. Наименьшее количество α -излучающих нуклидов, вызвавших достоверное увеличение новообразований легкого у животных,

⁴ National Academy of Sciences National Council Health Effects of Alpha-Emitting Particles in the Respiratory Tract. Washington, 1976.

⁵ Perssones S. V. et al. // Proc. chuer. Ass. Cancer Res. 1953. V. 1. P. 41.

составляло свыше 0.001 мкКи на 1 г легкого. При ингаляции крысам PuO_2 опухоли развивались у животных при поглощенных дозах 41—47 сГр. Эффективность β -излучающих нуклидов примерно на порядок ниже⁶.

Риск возникновения рака легких у животных для α -излучающих нуклидов оценен в $25 \cdot 10^{-6}$ сГр⁻¹, а для β -излучающих — $0,84 \cdot 10^{-6}$ сГр⁻¹. Коэффициент «качества» α -излучателей, таким образом, равен 10. Риск развития рака легкого для нерастворимых соединений нуклидов в два-три раза выше, чем для растворимых.

Интерес к горячим частицам возрос после Чернобыльской аварии, которая имеет беспрецедентные социальные последствия. Радиационному воздействию кроме персонала станции подверглось значительное число людей, принимавших участие в ликвидации последствий аварии, а также население обширных регионов радиоактивных выпадений. Вначале для населения критическим нуклидом был радиоактивный йод, а после его

распада — радиоактивный цезий, как источник внешнего и внутреннего облучения. В организм человека нуклид поступает с местными мясо-молочными продуктами по цепи: загрязненный корм — животное — человек. Дозы облучения в подавляющем большинстве случаев находятся в пределах десятых долей сантигрэя (сГр) в год. Среди радиоактивных выпадений было немало горячих частиц. Их наличие может быть значимым фактором радиационной опасности. Горячие частицы попадали в организм животных и человека через дыхательные пути, о чем свидетельствует их наличие в легких. По данным клинко-эпидемиологических наблюдений за пострадавшими при атомных бомбардировках в Хиросиме и Нагасаки, латентный период рака легких у человека составляет примерно 15 лет. С момента аварии прошло 8 лет, и делать прогноз крайне сложно. В настоящее время за «ликвидаторами» и населением зон радиоактивных выпадений ведутся широкомасштабные наблюдения. Особое внимание уделяется динамике онкологической заболеваемости. При оценке результатов наблюдений следует учитывать воздействие всего комплекса вредных факторов, оказывающих негативное действие на здоровье человека.

⁶ Кошурникова Н. А., Лемберг В. Г., Любчанский Э. Р. Отдаленные последствия лучевых поражений. М., 1977. С. 305.

НОВОСТИ НАУКИ

Защита окружающей среды

Закон об энергетике США охраняет природу

После долгих дебатов в конгрессе США проведен наконец радикально измененный закон об энергетике. Его принятие — крупная победа Национальной Федерации по охране живой природы, члены которой направили в конгресс 8100 писем, настаивая на включении в закон вопросов по охране окружающей среды.

Новый закон запрещает бурить газовые и нефтяные скважины в Арктическом национальном заповеднике живой природы; оказывает поддерж-

ку предприятиям, использующим альтернативные виды энергии — в том числе энергию ветра и солнца; увеличивает налоги на парковку индивидуальных машин и снижает — на общественный транспорт; стимулирует коммунальные службы к экономии энергии; впервые вводит общенациональные стандарты по расходованию воды в водопроводных системах; повышает требования к эффективности использования энергии в общественных зданиях, электромоторах, флуоресцентных лампах и коммерческих системах обогрева и охлаждения; вводит мораторий на добычу полезных ископаемых в национальных парках и других охраняемых территориях сроком на год; требует от угле-

добывающих компаний возместить ущерб, нанесенный их деятельностью населенным пунктам и водоемам; обязывает федеральные организации и правительства штатов заранее извещать о проектировании, строительстве и пуске в эксплуатацию гидротехнических сооружений по лицензиям Федеральной комиссии регулирования энергии.

International Wildlife. 1993. V. 23. N 1. P. 25 (США).

Экспедиция в Карское море

А. П. Лисицын, М. Е. Виноградов



Александр Петрович Лисицын, академик, доктор геолого-минералогических наук, заведующий отделом Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН. Специалист в области геологии и геохимии океана. Руководитель многочисленных морских экспедиций, начальник 49-го рейса научно-исследовательского судна «Дмитрий Менделеев» в Карское море (1993 г.). Неоднократно публиковался в «Природе».



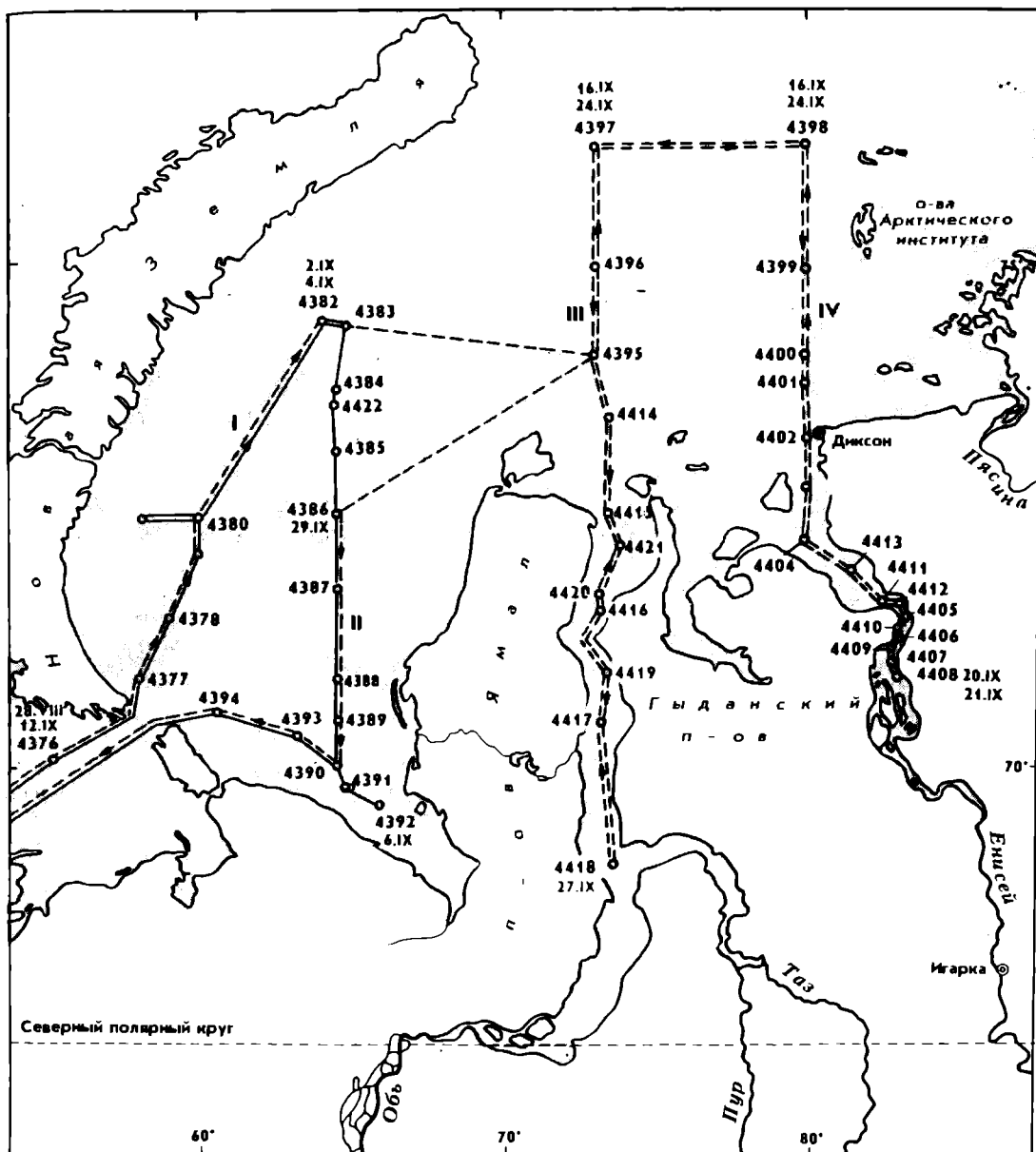
Михаил Евгеньевич Виноградов, академик, доктор биологических наук, заместитель директора того же института. Занимается изучением экосистем Мирового океана. Руководитель многих экспедиций, научный руководитель того же рейса. Член редколлегии журнала «Природа», где неоднократно публиковался.

БОЛЕЕ ГОДА НАЗАД, 15 октября 1993 г., закончилась международная экспедиция в Карское море, проходившая на научно-исследовательском судне «Дмитрий Менделеев» (это был его 49-й рейс). В экспедиции приняли участие 92 научных сотрудника, из них семь иностранных (из Франции, Германии, США, Норвегии), длилась она около двух месяцев. Обработка полученных данных не была закончена полностью и ко времени, когда готовилась эта статья, т. е. к июлю 1994 г. Несмотря на небольшую продолжительность работ, рейс был достаточно результативным. Удалось выполнить широкий комплекс исследований на четырех основных разрезах. Один из них мы назвали Огибающим, так как он охватывал Новоземельскую впадину — область захоронения радиоактивных отходов. В самой впадине и в зоне севернее 76° с. ш. военные власти работать нам не разрешили, за исключением единственной точки (станция 4381). К востоку от впадины располагался профиль Западный (64° в. д.), два других профиля продолжали эстуарии крупнейших азиатских рек — Оби (74° в. д.) и Енисея (80° в. д.).

Карское море как объект океанологических исследований имеет особое значение, связанное со спецификой этого водоема, и потому привлекает интерес не только российских, но и зарубежных специалистов. Не случайно работы здесь велись по международному проекту изучения потоков вещества в океане JGOFS (Joint Global Ocean Flux Study), а также российско-франко-голландской программе SPASIBA (Science Program on Arctic and Siberian Aquatorium).

ОСОБЕННОСТИ ВОДОЕМА И ЗАДАЧИ ЭКСПЕДИЦИИ

Карское море, как и море Лаптевых, занимает ключевую позицию в системе переноса льдов и водных масс в Арктике. Здесь начинается трансарктическая ветвь дрейфа, проходящего через район



Маршрут НИС «Дмитрий Менделеев» в Карском море. Сплошная линия — первая часть рейса (28.08. — 7.09.1993 г.), установка станций (точки с цифрами) с седиментационными ловушками; пунктирная линия — вторая часть рейса (12.09 — 1.10.1993 г.), подъем ловушек. Профили: I — Огибающий, II — Западный, III — Обь, IV — Енисей.

Северного полюса у берегов Гренландии и Северной Америки. Поэтому осадочный материал, продукты ядерных взрывов, разнообразные загрязнения, попавшие в воду и на лед в этих морях, через три-четыре года оказываются у берегов Северной Америки. При таянии льдов они попадают в систему циркуляции Северной Атлантики и через несколько лет достигают берегов Европы и Северной Америки — отсюда



Побережье Баренцева моря близ Мурманска. Отсюда «Дмитрий Менделеев» отправился в Карское море. Здесь и далее фото А. П. Лисицына

понятно беспокойство западных стран положением в Карском море.

В это море впадают крупнейшие реки Азии с водосбором, площадь которого равна почти половине территории России. При этом устья Оби и Енисея представляют собой длинные эстуарии, в которых речные воды смешиваются с морскими. Пресные воды проникают на сотни километров к северу от устьев рек (если их распределить по поверхности Карского моря, то средняя годовая мощность пресного слоя составит около 1,5 м). Таким образом, в Карском море существует огромная область смешения морских и пресных вод, восемь-девять месяцев в году покрытая льдом.

Воздушные массы над морем, его водная толща и водосборный бассейн — это, пожалуй, крупнейшие на Земле объекты радиоактивных загрязнений. На Новоземельском полигоне произведены (в том числе в атмосфере) крупнейшие ядерные взрывы, и продукты ядерного распада унесены преобладающими здесь западными ветрами с острова на акваторию моря.

Здесь же были проведены многочисленные подводные взрывы; во фьордах восточного побережья Новой Земли и в Новоземельском желобе в основном 20—30 лет назад захоронены твердые радиоактивные отходы и устройства — ядерные реакторы с подводных лодок (в том числе и с невыгруженным топливом), силовая установка ледокола «Ленин» и др.

В бассейнах Оби и Енисея находятся: семипалатинский атомный полигон (467 ядерных взрывов, из них 124 в атмосфере); заводы по производству ядерного топлива и оружейного плутония (Челябинск-65, -70; Златоуст-36; Свердловск-44, -45; Томск-7 и др.), красноярский ядерный комплекс, норильский атомный реактор и т. д.¹

Поэтому одна из задач экспедиции — выяснить, как море справляется с этой огромной радионуклидной нагрузкой. Известно, что арктические экосистемы достаточно уязвимы, а скорость протекающих в них

¹ Атом без грифа «секретно»: точки зрения. Москва — Берлин, 1992; Факты и проблемы, связанные с захоронением радиоактивных отходов в морях, омывающих территорию Российской Федерации // Материалы доклада Правительственной комиссии по вопросам, связанным с захоронением в море радиоактивных отходов, созданной распоряжением президента Российской Федерации от 24 октября 1992 г. Администрация президента Российской Федерации, М., 1993.



Спуск с борта «Дмитрия Менделеева» прибора для определения освещенности верхнего слоя воды.

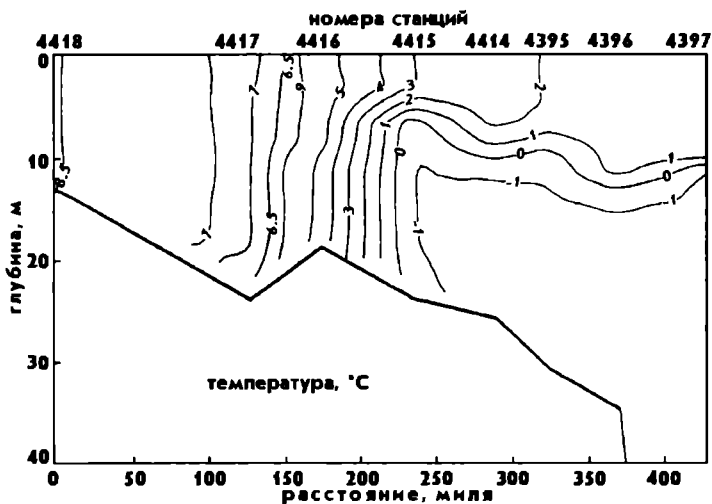
процессов незначительна. И тем не менее Карское море неплохо ассимилирует различные загрязнения, поскольку значительная его часть включена в так называемый маргинальный фильтр (от лат. *marginalis* — находящийся на краю).

Концепция существования таких фильтров, возникающих на окраинах континентов в областях смешения речных и морских вод, разрабатывается одним из авторов этой статьи (А. П. Лисицыным) на протяжении последних 15 лет. В соответствии с этим представлением, маргинальные фильтры — часть области мощного осаждения осадков, т. е. лавинной седиментации. В этих незначительных по площади (менее 10 % поверхности океана) зонах откладывается 90—95 % взвешенных и 20—40 % растворенных веществ (в том числе загрязнения, включая радионуклиды). Кроме того, здесь активно работают биологические системы, благодаря которым извлекается из воды и концентрируется большое количество элементов и соединений с последующим переводом их из растворенных и газообразных форм во взвеси.

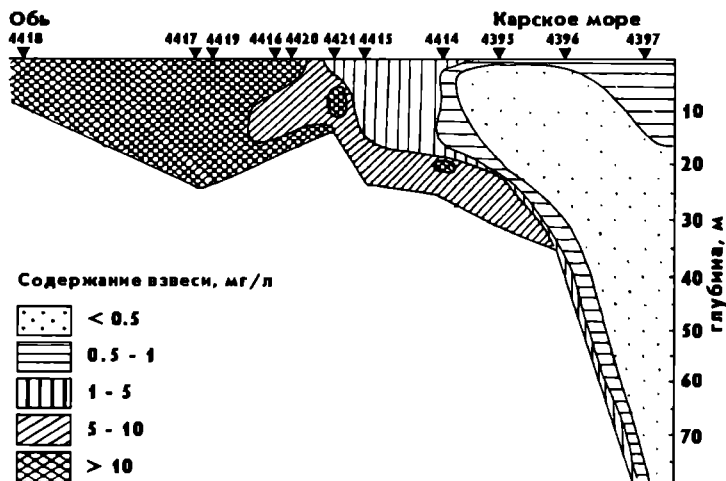
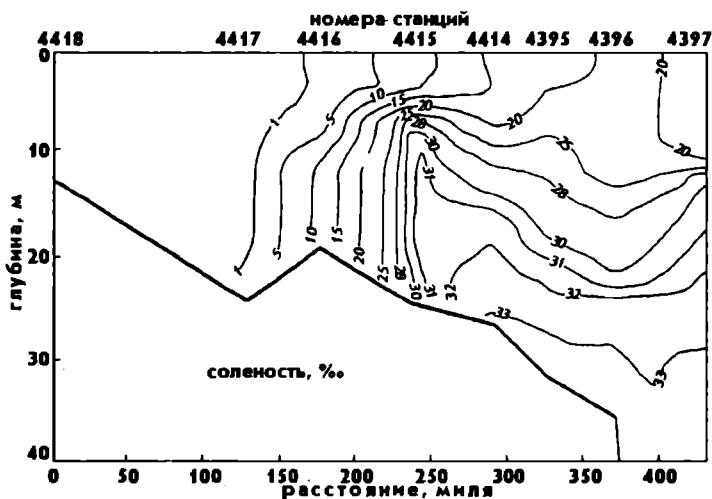
Огромное значение имеют биологические фильтраторы — зоопланктон и бентос, которые могут полностью отделить взвесь из всего объема вод Мирового океана за 15—20 суток. Работа маргинальных фильтров в условиях Арктики начала изучаться в экспедициях, проводившихся в море Лаптевых в 1989 и 1991 гг. по программе SPASIBA. В Карском море маргинальный фильтр оказался значительно мощнее, чем в море Лаптевых.

Поэтому основными объектами особо детальных исследований в нашей экспедиции стали эстуарии и устьевые участки Енисея и Оби. Предстояло изучить потоки растворенных и взвешенных веществ, поступающих с континента в арктический бассейн и формирующихся на его акватории, а также процессы, протекающие в экосистемах зон смешения речных и морских вод и прилегающих акваторий Карского моря. Этот комплекс исследований необходим и для изучения работы маргинального фильтра Арктики, который удаляет из воды главную часть загрязнений (в том числе радиоактивных) и является уникальной для планеты природной системой «очистки».

Поскольку на шельфах арктических морей начинается широкомасштабная добыча нефти и газа, чрезвычайно важно получить фоновую, еще почти не трансфор-



Распределение температуры, солености, взвеси на разрезе профиля Обь.



мированную картину состояния шельфа Карского моря, которая могла бы служить точкой отсчета в любых мониторинговых исследованиях, связанных с воздействием разлагающегося нефтегазового комплекса.

Экспедиция располагала широким набором приборов и оборудования, позволявшим вести исследования как на ходу судна, так и на океанических станциях, а также анализировать полученные материалы на его борту.

ВОДНАЯ ТОЛЩА: ГИДРОФИЗИКА И ГИДРОХИМИЯ

Работа на каждой станции начиналась с зондирования водной толщи зондом Нейла-Брайна с кассетой из 24 батометров Нискина, а также зондом Института полярных исследований им. А. Вегенера (Германия) с твердой памятью, гидрооптическим зондом «Дельфин». На большинстве станций зондирование проводилось дважды с интервалом от 1—2 до 12—15 суток, когда на них устанавливали и поднимали седиментационные ловушки.

Удалось изучить тонкую структуру толщи вод (распределение температуры, солености, плотности, мутности и гидрохимических показателей) Карского моря в зоне смешения с речными водами Енисея и Оби, а также на двух разрезах, удаленных от устьев этих рек на запад. В эстуариях Оби и Енисея четко выделяется поверхностный слой распресненных вод и залегающий ниже клин морской воды.

За границами зоны смешения в Карском море на поверхности располагается сильно распресненная линза с соленостью $24 \text{ }^{\circ}/_{\text{‰}}$. Процессы диффузии здесь очень медленные, но скорость их резко возрастает под воздействием штормов и сильных ветров.

Гидрохимические измерения включали определения концентрации растворенного кислорода, азота, нитратов и нитритов, аммиачного азота, кремневой кислоты, растворенного органического углерода, pH и Eh. Отбор проб для гидрохимических анализов проводился на каждой станции «прицельно», после анализа данных гидрофизического зондирования. Работы выполнены на всех станциях по разрезам уникальными пластиковыми батометрами объемом по 150 л.

По гидрохимическим параметрам удается разделить воды Енисея и Оби, проследить их распространение по глубинам на разрезах. Установлено, что воды Енисея проникают значительно дальше на северо-запад от устья, чем считали

ранее. Еще одна особенность, выявленная на повторных разрезах от устьев Оби и Енисея, в том, что температура и соленость за восемь-девять суток практически не менялись. Сопоставляя распределение солености на обском и енисейском разрезах, можно увидеть, что воды Оби проникают дальше на север, чем воды Енисея. Соответственно, клин соленых вод в устье Оби не заходит так далеко, как на Енисее. На одних и тех же широтах соленость вод на обском разрезе примерно на 5 % ниже, чем на енисейском. В соответствии с этим меняются и показатели, характерные для речных вод, — содержание взвеси, мутность (показатель ослабления), количество растворенной органики, кремния и т. д.

Низкая температура и хорошее перемешивание речной и морской североатлантической воды приводит к тому, что содержание кислорода практически всюду больше 7 мл/л. Характерны также высокие величины pH и относительно низкое значение парциального давления углекислоты. Содержание биогенных элементов (фосфатов и нитратов) в водах западной части Карского моря близко к аналитическому нулю, т. е. ниже минимальных значений, необходимых для развития фитопланктона. Кремния в речных водах Оби — 50 мкг/л, а Енисея — 80—84 мкг/л. Судя по распределению этого показателя, а также отношению Si/Cl, речные воды заходят очень далеко на север и северо-запад, достигая района станций 4382—4386. При этом распреснение вод и другие аномальные характеристики, судя по всему, связаны здесь с влиянием вод Енисея, а не Оби, которая находится ближе к этому региону. Если это предположение будет подтверждено другими данными, можно считать, что воды Енисея проникают на север на расстояние более 800 км.

По гидрохимическим показателям очень четко выявляются главные фронтальные зоны в маргинальных фильтрах Оби и Енисея. Первый раздел наблюдается на Обском разрезе на поверхности между станциями 4395 и 4414, а на Енисейском — между станциями 4400 и 4401. Вторая граница прослеживается до дна, соответственно между станциями 4420 и 4421, а также 4404 и 4413. Четко выделяется область концентраций хлопьев растворенного органического вещества (морской снег) и железа в маргинальных фильтрах: здесь отмечаются минимальные значения pH (7.2—7.4), концентрации растворенного кислорода (4—5 мл/л) и максимальное количество биогенных элементов. Влияние морских вод сказывается вплоть до самых южных станций разре-



зов, которые получены в областях пресных речных вод.

Судя по низкой концентрации растворенного кислорода и величине pH, разложение органического вещества в водах Енисея идет быстрее, чем в водах Оби. Вместе с тем для Енисея типично более низкое содержание биогенных элементов, что, вероятно, связано с их потреблением фитопланктоном.

Исследования углекислотной системы Карского моря показали, что этот полярный водоем отдает CO_2 в атмосферу, тем самым способствуя росту парникового эффекта.

Новым направлением исследований было определение содержания тяжелых металлов методом вольт-амперметрии (без предварительной концентрации проб воды полярографическим методом). С его помощью определялось содержание свинца, кадмия, цинка и меди. При изучении состава иловых вод этим методом было показано, что диффузионный поток металлов из осадков маргинального фильтра в наддонную воду составляет около 5 % и только для цинка достигает 30 %. Таким образом, главная часть тяжелых металлов оказывается надежно захороненной в осадочном веществе фильтра.

ПОТОКИ ВЕЩЕСТВА

Их исследование было одной из центральных задач рейса не только из-за того, что эти работы определялись международной программой, но и потому, что ранее такого рода исследования в Арктике не проводились. Разными методами изучалось не только вещество водной толщи, но и потоки аэрозолей. Сделаны также попытки определения потоков криозолей — осадочного материала, заключенного во льдах, покрывающих поверхность моря большую часть года. Кроме того, для определения потока биологического детрита (отмерших остатков организмов) из верхних слоев в донные осадки использовались биологические методы.

Главным методом определения потоков были седиментационные ловушки, размещенные на 23 станциях. На каждой устанавливали по две цилиндрические ловушки: одну — под деятельным приповерхностным слоем, вторую — в 120—150 м от дна. Одновременно на тех же станциях определены потоки по ^{234}Th и биологическими методами.

Предварительный анализ данных пока-

Лоцманское судно в устье Енисея.



Прибор для изучения морских осадков изотопным методом.

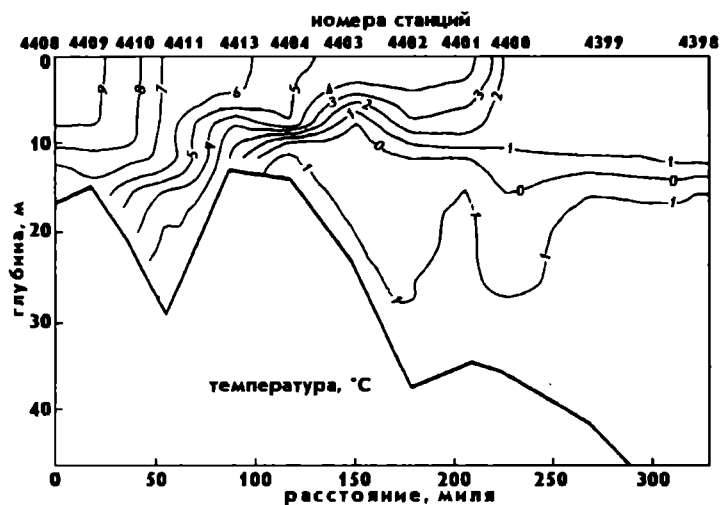
зывает, что значения потоков, определенных по торию и методом биологического нормирования, очень близки и, как правило, значительно выше, чем величины прямых измерений потока в ловушках. Это связано с тем, что ловушки улавливают более крупные частицы — пеллеты и частицы «морского снега» — и лишь в малой степени — тонкую взвесь, которая сорбирует торий и учитывается в численных биологических моделях. Таким образом, при сочетании разных методов открывается возможность более полного изучения как потоков взвеси, так и связанных со взвесью загрязнений.

Для изучения динамики потоков осадочного материала — это также новое направление — был использован доплеровский трехмерный измеритель течений. Зная содержание взвеси в воде и скорость осаждения частиц, можно с помощью трехмерного вектора течения определить реальное направление потока на данном горизонте водной толщи (обычно поток считали вертикальным). Это особенно важно в условиях мелководных водоемов, каким является южная часть Карского моря. Осадочное вещество здесь перемещается в горизонтальном или наклонном направлении, о чем свидетельствует положение слоя мутности (не-

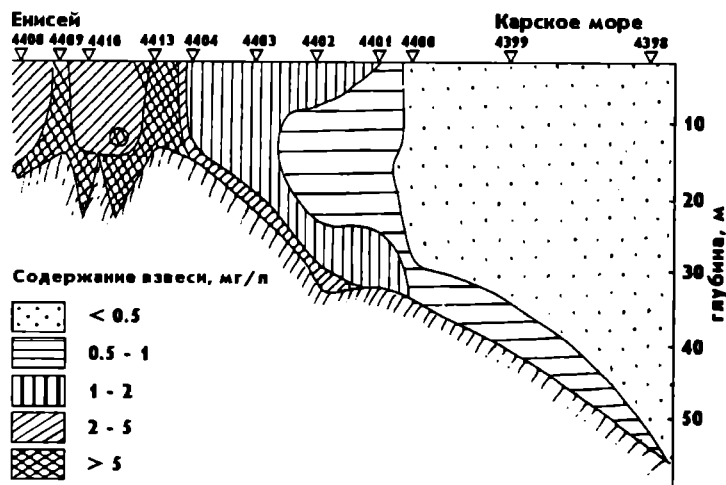
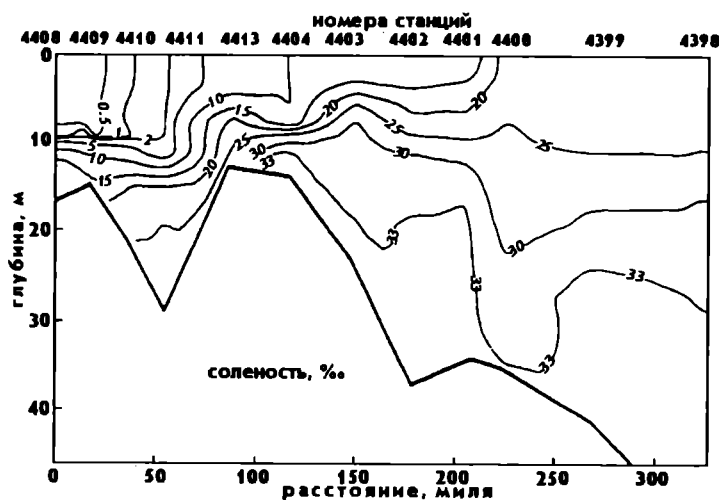
фелоида), который определяется по взвеси и данным гидрооптики.

Наконец, еще одна особенность работ — изучение древних потоков осадочного вещества. Для этого использованы данные, зафиксированные в толще донных осадков. Метками для определения таких потоков служат: начало атомных испытаний на Новой Земле в 1955—1962 гг.; последние 100—150 лет (по ^{210}Pb), тысячи лет (по ^{14}C). Это дает возможность определить средние многолетние значения потоков, сопоставлять их с современными и судить об изменении потоков во времени, т. е. вести четырехмерный анализ потоков.

Для изучения взвеси в водной толще вода берется с помощью батометров, а затем фильтруется через тонкие ядерные фильтры. В рейсе взято больше 500 проб, причем не только в Карском море, но и на пути следования из Калининграда в Карское море и обратно. Большое количество взвеси было взято на стеклянные фильтры специально для изучения органического вещества, а из поверхностных вод — на ходу судна с помощью сепарационной установки (этим методом удастся концентрировать взвесь из сотен тонн воды). Речная взвесь также концентрировалась методом осаждения из больших объемов воды.



Разрез профиля Енисей: распределение температуры, солености, взвеси.



Одним из перспективных направлений исследования глобальных потоков вещества являются синтетические карты цветности поверхности моря, полученные с помощью спутников. Дело в том, что существует связь между цветом океана, содержанием хлорофилла (показатель биологической активности) и количеством взвеси. Однако на конкретных участках океана и для конкретных сезонов она различна. Определение хлорофилла в пробах воды, полное изучение экосистемы и построение ее численных моделей были важными задачами рейса. Очевидно, после глубокой обработки этих результатов можно будет на основе космических снимков составить предварительные карты потоков вещества и проконтролировать определения прямыми данными, полученными в рейсе. Эти исследования особенно важны для решения задач, поставленных в международных программах «Глобальный обмен» и «Глобальный обмен и климат», поскольку можно будет учесть потоки углерода и углекислоты и в других районах Арктики, использовать их в глобальных построениях.

Хорошие результаты дал метод непрерывного зондирования содержания взвеси в водной толще. Предшествовавшие нашему рейсу работы в море Лаптевых по программе SPASIBA показали, что между весовым содержанием взвеси в воде и гидрооптическими показателями существует прямая связь, т. е. оптические методы могут использоваться для количественных определений взвеси. В Карском море корреляция подтвердилась, и метод непрерывного зондирования для выявления тонкой структуры распределения водной взвеси широко использовался на практике. Гидрооптические исследования выполнялись на всех 49 станциях рейса, причем на многих — повторно, с интервалом 2—15 суток. Зондировали водную толщу прибором «Дельфин», одновременно работал гидрофизический зонд Нейла—Брауна, что позволило получить уникальный материал о структуре вод Арктики.

На всем пути следования судна с помощью изотопа ^{7}Be изучались потоки аэрозолей в разных частях Карского моря (сухие выпадения), а также потоки с дождевыми осадками и снегом (влажные выпадения). Оказалось, что поток взвеси, выпадающий с дождями, достигает 14 мг/м^2 в сутки. Это в несколько раз больше, чем в среднем для Мирового океана, но на порядок меньше потока аэрозолей в Средиземном море. Анализ дождевой воды и взве-

си показал, что над западным сектором Арктики распространены кислотные дожди, в составе которых довольно значительное содержание тяжелых металлов. Их источник — Норильский горно-обогатительный комбинат. В аэрозолях очень много также биогенного материала — частиц мха, древесины, спор, пыльцы и др. — часто до 50 % и более.

Для изучения потока криозолей анализировалось содержание в верхнем слое донных осадков грубообломочного материала, переносимого льдом, и песчано-алевритовых осадков. Для этого на каждой из 49 станций через сита промывали не менее 100 л осадка. Каменный материал получали со дна также тралами (17 тралений).

Итак, в рейсе впервые удалось всесторонне изучить потоки всех видов вещества не на отдельных станциях, а на значительной площади Карского моря к западу от меридиана о. Диксон. Важный материал получен и на всем пути следования судна до Калининграда.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рейсе впервые была проведена съемка первичной продукции с определением суточных величин и измерением на ряде станций *in situ*. Установлены причины исключительно низкой первичной продукции в Карском море. Оно оказалось ультраолиготрофным водоемом, в котором величина первичной продукции в ряде мест ниже 60 мгС/м^2 в сутки. Выяснилось, что огромные градиенты плотности в сезонном пикноклине препятствуют поднятию биогенов из глубинных слоев, отчего содержание их в верхнем, освещенном слое вод чрезвычайно низко, а в эстуариях рек высокая мутность поверхностных вод ограничивает проникновение света и снижает активность фитопланктона. На всех разрезах отмечена обратная зависимость первичной продукции от солености. Полученные по первичной продукции данные помогли оконтурить положение «биологических пробок» в маргинальных фильтрах Оби и Енисея.

Впервые для Арктики удалось провести структурно-функциональный анализ экосистемы, включая ее живую и неживую части. Изучены все виды планктонных организмов — от самых крупных макро- и мезопланктона до мельчайших организмов пикопланктона (мельче 2 мкм) и бактерий, установлены трофические связи на количественном уровне. Особый интерес для понимания генезиса потоков вещества в Карском море имеют данные о биогенном детрите.

По результатам наблюдений цветности Карского моря, полученным с американского спутника «Нимбус-7» и алгоритмам, разработанным в Северной Атлантике, можно было предполагать в Карском море высокую первичную продукцию, близкую к Перуанскому апвеллингу или продуктивному Азовскому морю. В действительности же она оказалась по крайней мере на порядок ниже, чем это следует из спутниковых данных, и в 5—10 раз ниже, чем в соседнем Баренцевом море. Уже подчеркивалась бедность поверхностных вод Карского моря биогенами и отделение их от глубинных вод мощным пикноклином. Немаловажное значение имеет и то, что вегетационный период здесь очень короткий — всего 3—3.5 месяца в году. Во время наших работ в конце рейса развитие зоопланктона отвечало V-копеподидной стадии: планктон заготавливал жир, опускался в природные слои и готовился к зимовке.

В ходе биологических исследований установлена необходимость специальной интерпретации спутниковых карт цветности, разработанный алгоритм перехода от цвета к содержанию хлорофилла и первичной продукции, наиболее оправданный в условиях Карского моря. Очевидно, полученные данные могут быть распространены и на другие моря Арктики.

В рейсе установлено, что от 20 до 70 % хлорофилла приходится на пикопланктон, причем его основная часть приурочена к уровню показателя освещенности около 10 %. Применена новая методика выделения планктонных организмов мельче и крупнее 15 мкм. В конечном счете удалось построить количественную модель работы биогенной части маргинального фильтра, установить реальные значения потоков биогенного вещества, изучить его состав, создать количественные модели.

Большое внимание было уделено изучению бактерий в водах, взвеси и донных осадках Карского моря. Концентрация клеток бактериопланктона в воде была изучена в 215 пробах — она менялась в очень широких пределах (от 2—3 тыс. до 250—280 тыс. клеток/мл). Максимальным оказалось количество бактериопланктона в поверхностных водах, а также в речных водах Оби и Енисея, районе «биологических проб». Для обских вод характерно более высокое содержание бактерий, чем для енисейских. Еще более разнится биомасса бактериопланктона в зоне смешения и морской части разрезов. Для поверхностного слоя типичны колебания в пределах от 1 до 38 мг/м³, в «биологиче-

ской пробе» Оби биомасса достигает 265 мг/м³, а Енисея — 108. В придонных слоях биомасса бактериопланктона еще выше — до 700 мг/м³, т. е. эти воды, по меткому определению Л. А. Зенкевича, напоминают бактериальный суп. Содержание бактерий во взвеси обычно выше на более соленых и теплых горизонтах. Изучение бактерий подтверждает проникновение речных вод до северных частей разрезов.

Исследования бентоса Карского моря проведены на всех станциях (извлекали бентос дночерпателями и тралами). Можно было ожидать, что после атомных взрывов на Новой Земле донные организмы или погибнут, или будут находиться в угнетенном состоянии. Однако количество и качественный состав бентоса по данным нашего рейса оказались близки тем характеристикам, которые были установлены Л. А. Зенкевичем и З. А. Филатовой еще до 1946 г. Вместе с тем обнаружилось значительное расхождение с более поздними данными по распределению бентоса, полученными сотрудниками ПИНРО.

Таким образом, донные организмы Карского моря под влиянием взрывов, проводившихся на его берегах, не вымерли и не деградировали, что объясняется работой планктонного биофильтра, а также маргинального фильтра, который отсекал радиоактивные вещества, поступавшие в море из огромного водосбора.

Более детальное исследование по типу питания морских организмов (детритофаги, тестонофаги и др.) будет проведено позднее, также как и более полное радиохимическое и геохимическое исследование наиболее распространенных видов и биценозов.

НА ДНЕ МОРЯ. ДРЕВНЯЯ СЕДИМЕНТАЦИЯ

Осадочную толщу арктических морей, возраст которых в шельфовых частях менее 10—12 тыс. лет (в межледниковья шельфы были суше), достаточно трудно расчленить. Кроме уже упомянутых изотопных методов здесь можно использовать «кислородную шкалу», т. е. исследование изотопов кислорода из карбонатного вещества.

Исследования Баренцева и Карского морей, где на шельф выходили континентальные ледники, показали, что под небольшим слоем рыхлых влажных осадков залегают плотные и более сухие серые глины. Выделить этот слой и получить его количественные и качественные характеристики удалось с помощью изучения ило-

вых вод, а также определения влажности несколькими независимыми методами.

С целью стратиграфической корреляции проводились литологические и геохимические исследования, изучение планктонных и бентосных фораминифер и других органических остатков в донных осадках и их изменений.

В ходе рейса удалось выделить две крупные фациальные области: восточную, для которой главным источником осадочного вещества служат Обь, Енисей и ряд меньших рек, и западную, куда материал поставляют береговая абразия, особенно сильная в Байдарацкой губе. В донных осадках влияние речных вод прослеживается до 76° с. ш. и распространяется до бровки шельфа. Таким образом, седиментация на шельфе Карского моря идет за счет речных взвесей и продуктов размыва мерзлотных берегов.

Многолучевой эхолот дает возможность «просвечивать» верхнюю часть осадочной толщи высокочастотным сигналом и выделять отражающие слои толщиной менее 1 м. Анализ колонок донных осадков, получаемых из осадочной толщи, позволяет сопоставить эти данные с сейсмостратиграфическими. Работа эхолота не прекращалась на всех станциях во время получения колонок, а также в дрейфе, поэтому с предельной четкостью было изучено строение верхнего слоя осадочной толщи.

В рейсе было определено 15 элементов в 462 пробах донных осадков, выполнена статистическая обработка этих данных на компьютерах. Иловые воды изучались в 232 пробах, на борту судна определен их основной солевой состав. Уже отмечалось особое внимание к изучению органического вещества в морской воде и во взвеси. Кроме того, исследована газовая фаза органического вещества (метан и другие углеводородные газы) в мор-

ской воде (160 проб) и различных горизонтах донных осадков (400 проб). В южной части моря (и в Байдарацкой губе) в толще воды обнаружен газовый факел.

Установлено, что, несмотря на низкие температуры, в донных осадках арктических морей происходят активные диагенетические преобразования с участием как аэробных, так и анаэробных бактерий психрофильной группы. Вглубь по колонкам снижается окислительно-восстановительный потенциал, нарастает щелочность, повышается содержание аммонийного азота, причем быстрее всего эти процессы идут в отложениях маргинальных фильтров. Об интенсивном преобразовании свидетельствует и наличие в нескольких колонках свободного сероводорода.

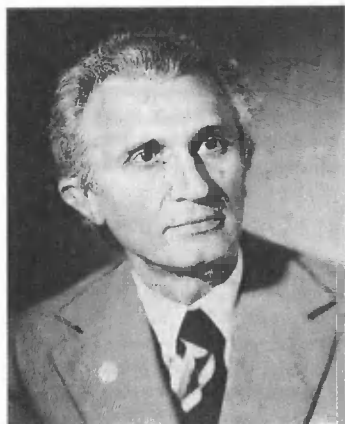
Оказалось, что донные осадки маргинального фильтра (эстуариев Оби и Енисея) существенно отличаются от шельфовых отложений Карского моря более высоким содержанием органического вещества, железа, марганца и целого ряда связанных с сорбентами этих групп элементов. Такие признаки дают возможность с помощью сейсмостратиграфии и изучения длинных колонок донных осадков определять области распространения древних маргинальных фильтров в геологических разрезах.

Обработка собранных в рейсе богатых материалов продолжается. Она будет проводиться не только в различных научных учреждениях России, но и в США, Франции, Германии, Бельгии и Норвегии. В заключение отметим, что рейс в Карское море состоялся при финансовой поддержке Лаборатории региональной геодинамики (Франция), Российского фонда фундаментальных исследований и Министерства науки и технической политики.

Российская гляциология: «не процветает, но и не теряет значения»

Интервью с В. М. Котляковым

С 15 по 18 июня в г. Валдае Новгородской области проходило рабочее совещание гляциологической ассоциации, объединяющей специалистов, изучающих ледники, морские и подземные льды, снег, сели и лавины. Наш корреспондент М. Ю. Зубрева, побывавшая на совещании, беседует с президентом ассоциации, директором Института географии РАН о проблемах этой организации и состоянии российской гляциологии.



Владимир Михайлович Котляков, академик, директор Института географии РАН. Географ и гляциолог, занимается проблемами взаимоотношения общества и природы, вопросами современного и будущего состояния снежного покрова ледников в условиях изменяющегося климата. Участник многочисленных экспедиций. Автор ряда монографий и научно-популярных книг. Неоднократно публиковался в «Природе».

Корр. Вместо гляциологической секции, существовавшей при Академии наук, появилась новая организация. Это дань моде (сейчас разнообразные сообщества растут, как грибы) или насущная необходимость?

В. К. Действительно, еще в 1961 г. возникла секция гляциологии, которая была частью Междуведомственного геофизического комитета при Президиуме Академии наук СССР. Долгие годы ее возглавлял Г. А. Авсюк, я был его заместителем. Эта организация была создана, чтобы гляциологи всего СССР могли общаться, обсуждать фундаментальные и некоторые прикладные проблемы. После смерти Г. А. Авсюка мы превратили секцию в полу-общественную организацию, ввели членство и даже некие взносы. Раз в четыре года проводили симпозиумы, на которые в «хорошие» годы собиралось до 200 человек, и ежегодно — рабочие совещания. Но случился распад Советского Союза, республики стали самостоятельными. Однако в прошлом году, на очередной, десятый по счету, симпозиум в Обнинске, как всегда, приехали специалисты из Узбекистана, Киргизии, Казахстана, т. е. из тех регионов, где есть ледники и довольно крупные научные силы, хотя собираться уже тогда было сложно. Не приехали только специалисты из Прибалтики — там тоже сильная гляциология. На симпозиуме в Обнинске мы и решили создать ассоциацию, которая стала





Наступающий ледник Петра I на Памире.

Фото Л. В. Десниова

бы преемницей секции гляциологии. Принят устав нашей общественной организации, по которому ее членами могут быть не только российские специалисты, но и ученые из ближнего и дальнего зарубежья. В ассоциацию уже вошли американцы с Аляски. Избраны президент и вице-президенты. Один из них специалист по лавинам из Казахстана И. В. Северский, член-корреспондент АН Казахстана.

Корр. А много ли вообще в СНГ гляциологов? Уж чем-чем, а снежными просторами и ледяными полями мы, кажется, богаты.

В. К. Думается, несколько сотен человек называют себя гляциологами. Основная их часть, конечно, в России — в одном нашем Институте географии около 100 человек, поменьше — в МГУ, довольно много гляциологов в Арктическом и Антарктическом научно-исследовательском институте Роскомгидромета (ААНИИ) в Петербур-

ге, около сотни человек в Ташкенте, по несколько десятков в Киргизии, Казахстане, Таджикистане. Но я говорю только о крупных организациях, а существует еще сеть Гидрометслужбы, и там тоже немало специалистов. Наши «Материалы гляциологических исследований» издаются тиражом 700 экземпляров, 250 уходят за рубеж, остальные расходились здесь, сейчас, правда, расходятся хуже. Сложность в том, что российская гляциология традиционно была в значительной степени горной, а теперь большинство горных ледников «отошли» за рубеж. Правда, остался Северный Кавказ, Полярный Урал, Восточная Сибирь с Алтаем, Прибайкальем и Забайкальем, Камчатка.

Но гляциологию мы понимаем широко: предмет ее изучения — не только ледники, но и снежный покров, снежные лавины, морские и подземные льды. А из регионов, достойных тщательного изучения, остались еще и необъятные полярные регионы. Самая большая комплексная экспедиция в этом году проходила в Арктике.

Корр. Объектов для изучения у гляциологов действительно немало — об этом свидетельствует даже это рабочее совещание,



Остатки ледника Минадун в бассейне р. Обихингоу на Памире.

Фото Л. В. Дасминова

собравшее около 50 участников. И место его проведения, один из красивейших уголков России, берег оз. Валдай, тоже совпадает с гляциологической тематикой. Ведь эта территория подвергалась воздействию трех древних оледенений, в разное время покрывавших часть территории России. Но это — палеогляциология, не менее важные работы в областях современного оледенения.

В. К. Несмотря ни на что, мы в 1994 г. начали проводить исследования в Арктике: Институт географии — на Земле Франца-Иосифа, а петербургский ААНИИ — на Северной Земле, хотя это очень дорого. Как-то выручают совместные с западными странами работы.

Мы затеяли сотрудничество с небольшим, но очень серьезным Полярным институтом им. Скотта (Великобритания). Разработали трехлетнюю программу исследований на Земле Франца-Иосифа и по инициативе англичан направили ее в Фонд европейских исследований, в рамках которо-

го действует программа поддержки российской науки. В результате одними из первых получили грант на три года — более 100 тыс. экю. Правда, для Арктики это деньги умеренные, но все же они обеспечили полевые работы и обработку результатов. О них на этом совещании рассказывали в докладах первого дня заседаний Ю. Я. Мачарет и А. Ф. Глазовский. На Земле Франца-Иосифа удалось провести картирование ледников с вертолетов, начать моделирование арктических куполов. Эта работа чрезвычайно важна с позиций фундаментальной науки, поскольку позволяет понять современный режим оледенения Арктики и соответственно сделать прогноз о его изменениях при потеплении. Эта проблема не только научная, но и практическая.

Петербургцы сотрудничают на Северной Земле с канадцами. Одну из станций, на м. Баранова, превратили в центр международного туризма — отсюда богатых иностранцев возят на Северный полюс. Затянули это все, чтобы как-то поддержать научные исследования.

Арктика — одна линия работ, другая — продолжение полярных антарктических ис-



Палатка гляциологов на леднике.

Фото Б. Р. Мавлюдова

следований. На этом совещании шла речь о результатах исследований ледникового керна, полученного на станции «Восток» при совместных российско-американско-французских исследованиях.

Корр. Об этих работах вы уже рассказывали на страницах нашего журнала в статье «Глобальные изменения природы в «зеркале» ледяного керна» (1992, № 7).

В. К. Да, но имеется немало нового. За прошедшие два года удалось продвинуться дальше в реконструкциях палеоклимата — об этом шла речь в моем докладе. Кроме того, в комплексных российско-франко-американских работах большое место сегодня занимает моделирование. На наше совещание приехал серьезный «модельер» — математик А. Н. Саламатин из Казани с двумя докладами. У него очень интересные работы по моделированию (на основе термометрии скважины на станции «Восток») и уплотнению льда.

Продолжаются, к сожалению, в небольшой степени, и горные исследования. У нас имеется станция на Северном Кав-

казе, в районе Эльбруса. Университетские гляциологи работают на леднике Джанкуат в Центральном Кавказе — там наблюдения ведутся уже 20 лет. Специалисты из нашего института побывали в Китае, где изучали позднеплейстоценовое оледенение Юго-Восточного Тибета, о нем на совещании рассказывал А. В. Орлов.

По-прежнему много сил мы отдаем завершению Атласа снежно-ледовых ресурсов мира. Атлас составляли 15 лет, над ним работали 300 специалистов (не считая технического персонала) из всех республик бывшего Союза. Составлением карт занимались 20 научных учреждений из Москвы, Санкт-Петербурга, Томска, Ташкента, Тбилиси и других городов под руководством Президиума Академии наук. Атлас представляет собой уникальное произведение — это тысячи карт: климатических, снежного покрова, ледников и связанных с ледниками явлений. Сейчас Атлас готовится к изданию, по договору готовят и выпускают его в Киеве — отсюда неожиданные дополнительные трудности. Стоимость предстоящих работ колоссальна — я ее оцениваю в 500 млн. рублей. Нужен спонсор, и, надеюсь, мы его найдем — ведь значение этой работы огромное. Данные из Атласа будут использовать в научных и практических целях по крайней мере несколько десятилетий.

Корр. И все же финансовые трудности, распад Союза сильно сказались на состоянии гляциологии. Ведь многие стационары пришлось закрыть. Гляциологи, ежегодно выезжавшие в горы Тянь-Шаня и Памира, вынуждены «устраиваться» в заграничные экспедиции. Затруднены связи с традиционными партнерами — гляциологами из Среднеазиатских республик.

Вот и на это совещание приехал только один представитель узбекской гляциологии — Г. Е. Глазырин, рассказавший нам о том, что гляциологи в Ташкенте не получают никакой новой литературы. Сведений о том, что делается в Таджикистане, вообще нет — там идет война.

В. К. В целом объем гляциологических исследований сократился. Прежде всего потому, что у нас нет возможности работать на крупных ледниках Средней Азии, которые были базовыми. С другой стороны, и тематику исследований приходится менять из-за того, что разрушены некоторые структуры — например, снеголавинная служба. И все же работы, связанные со стихийными бедствиями, ведутся, хотя и не в том объеме, как прежде. На этом совещании мы услышали об особенностях образования лавин в различных географических поясах, попытках типизации селевых бассейнов, составлении карты селевых явлений мира. Так или иначе гляциология сейчас не процветает, но значение ее все же не теряет.

Большие работы в разных странах мира сейчас ведутся в связи с глобальными изменениями среды, и в частности климата. Эти проблемы не могут быть решены без учета морского и покровного оледенения на всей территории нашей планеты. Если мы говорим об изменении климата, особенно палеоклимата, — мало принимать во внимание взаимодействие океана, суши и атмосферы. Оледенение выступает здесь совершенно отдельным феноменом, который тоже нужно безусловно учитывать. В этой связи уже ведутся исследования в рамках социальных проектов. В 1995 г. в Москве будет проводиться крупная международная конференция «География и глобальные изменения», на которой будут рассматриваться все аспекты этих изменений, изучаемых геофизической наукой — вплоть до социально-экономических. Из многочисленных симпозиумов 1995 г. два будут связаны с гляциологией.

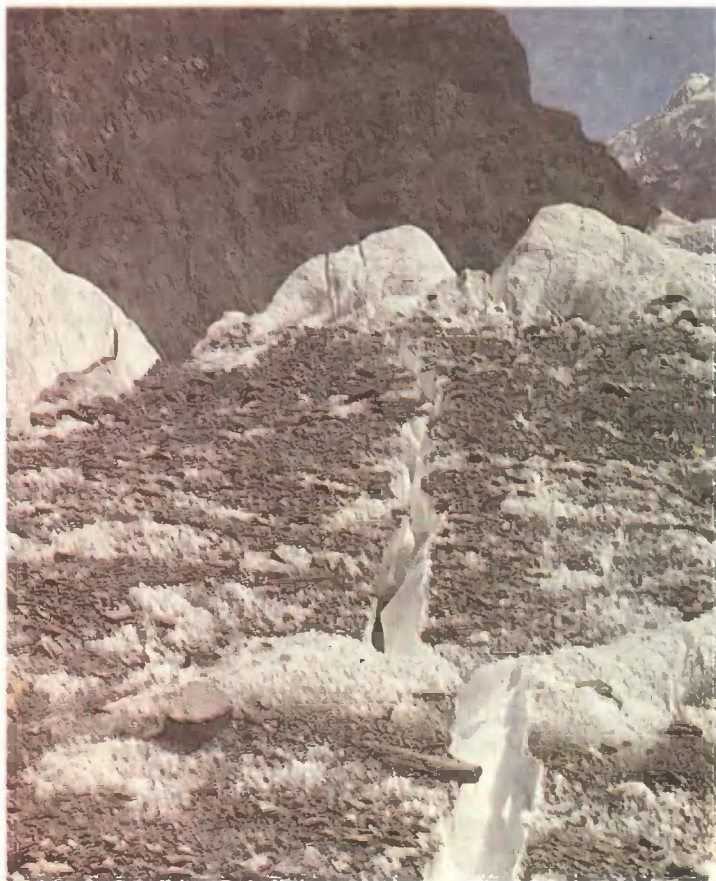
Корр. И конечно, особое место займут прогнозы изменения климата и, соответственно, будущего оледенения?

В. К. Чаще всего обсуждается сценарий, по которому глобальная приземная температура воздуха повысится в ближайшие 50 лет на 2—3 °C. Но и сегодня горные ледники деградируют быстро и направленно отступают (например, Центральный Туюк-суйский — базовый ледник в районе Алма-Аты). При потеплении и иссушении воздуха в Центральной Азии горное оледенение здесь будет разрушаться еще быстрее. В результате начнет уменьшаться ледниковый сток. А сельское хозяйство стран Центральной Азии живет благодаря ледниковой воде, так как случаются годы, когда дождей просто не бывает. Все сельскохозяйственные угодья, по существу, орошаются водой, которая течет с ледников, и в этом их огромное значение. Они регулируют сток в выгодную для человека сторону, перенося его на летний засушливый период. Если же ледниковый сток уменьшится или, не дай Бог, совсем исчезнет, орошать поля будет почти нечем. Придется строить водохранилища, аккумулирующие воду, выпадающую в виде осадков. А это огромные расходы. Поэтому нужно предвидеть, что же будет с ледниками при потеплении.

Так же важно научиться прогнозировать разрушение вечной мерзлоты по мере потепления климата. При таянии подземных льдов огромное количество земель — уже на нашей, российской территории — выйдут из оборота, они превратятся в болота.

Этой проблемой сейчас озабочены на международном уровне. По решению Межправительственной комиссии по климату к 1995 г. готовится доклад об изменениях на Земле, которые могут произойти через 50 лет в связи с изменениями климата. Над этими проблемами трудятся сотни ученых во всем мире. Я принимаю участие в работе над главой «Будущее криосферы». В ней, в частности, будут сведения об изменениях в оледенении Центральной Азии и мерзлоты Сибири. Прогнозу изменения оледенения гор Запада Канады и США при удвоении CO₂ в атмосфере на этом совещании был посвящен доклад сотрудников нашего института М. Д. Ананичевой и Н. В. Давидович. Правда, эта работа, основанная на данных, полученных с «Шаттла», носит методический характер, и пока это только начало пути. Но если мы такую методику создадим, ее можно применять для любой горной территории.

Корр. Вот сейчас прозвучало название американского корабля «Шаттл», а что же наши, всемирно известные космические станции?



Глубокая трещина в отступающем леднике.

Фото Б. Р. Мавлюдова

Ледники в окрестностях Рагунской ГЭС.

Фото Л. В. Десинова



Ледник Южный Иньльчек в Центральном Тянь-Шане.

Фото Б. Р. Мавлюдова



В. К. Существует российско-американская программа по использованию наблюдений космонавтов на российских и американских станциях. Так что мы теперь участвуем и в программе «Шаттла». Другими словами, на борту корабля космическая информация собирается теперь по определенной программе. Снимают и с нашей орбитальной станции, и со спутников. Рассекречиваются и ранее строго секретные космические снимки. А наша пленка и снимки считаются одними из самых лучших, если не самыми лучшими, в мире. Они имеют разрешающую способность до 2 м, т. е. позволяют видеть каждую крупную трещину в леднике, и другие детали на них выявляются не хуже, чем на аэрофотоснимках. Так что имеется огромное количество информации почти по любому району оледенения на Земле, кроме самых поляр-

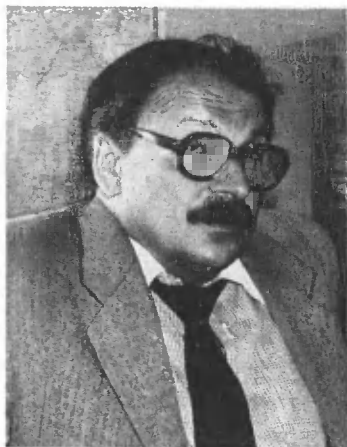
ных — не все спутники имеют полярную орбиту. Задача только в том, чтобы эту информацию обработать. А для этого нужны силы и оборудование. Вот последнего у нас, к сожалению, нет, надеемся здесь использовать в какой-то мере американскую помощь. Пока переходим на компактное хранение информации на лазерных дисках.

Корр. Об иностранной помощи российской гляциологии вы уже говорили, а как с поддержкой от государства Российского?

В. К. Географию, и гляциологию в частности, поддерживает крупнейший отечественный фонд — Российский фонд фундаментальных исследований. Представляет он субсидии не учреждениям, а отдельным исследователям или группам исследователей. И гляциологи такую помощь получают, так что работать можно.

Устойчивые агросистемы: мечта или реальность?

Б. М. Миркин



Борис Михайлович Миркин, доктор биологических наук, профессор Башкирского государственного университета. Круг научных интересов охватывает теоретические аспекты фитоценологии, разработку математических методов обработки геоботанических данных, а также прикладные исследования: моделирование агроэкосистем, рациональное использование естественных кормовых угодий, создание долгоживущих продуктивных травяных сообществ. Автор многих монографий. Неоднократно публиковался в «Природе».

В АЖНЕЙШЕЕ условие выживания человечества — обеспечение «хлебом насущным» растущего населения планеты. Расчеты на «автотрофное питание», т. е. пищу, производимую из неорганического сырья на заводах (об этом писали В. И. Вернадский и А. Д. Сахаров), весьма сомнительны. И дело тут не столько в том, что все еще нет соответствующих технологий такого производства, а в том, что синтез органики потребует гигантской дополнительной энергии, которая добывается, в основном, либо из истощаемых, либо экологически опасных источников. Таким образом, перспектива «автотрофного питания» вступает в противоречие с запретом на дальнейшее взвинчивание энергопотребления и необходимостью если не стабилизации, то по крайней мере замедления этого экологически опасного процесса, подталкивающего биосферу к апокалипсису.

Сегодня все очевиднее, что наши потомки будут питаться по преимуществу тем же «старым способом», что и мы, т. е. на основе солнечной энергии, фиксируемой растениями. Именно растения переводят эту энергию в органические вещества, которые усваивает человек. Дары естественных экосистем составляют лишь небольшую часть его питания, основа же поступает из агроэкосистем — своеобразных «солнечных комбинатов», где за счет экологически чистой и неисчерпаемой солнечной энергии производится растениеводческая и животноводческая продукция. И потому от состояния агроэкосистем и их способности утилизировать даровую энергию в конечном итоге и будут зависеть решения продовольственной проблемы и пределы роста популяций человека в разных районах земного шара.

Осознав почти полную зависимость от «солнечных комбинатов», мы должны изменить свой взгляд на использование агроресурсов биосферы — почвы, естественных кормовых угодий, лесов и водоемов, входящих в состав сельскохозяйственных земель. Доля

агросферы от общей площади суши уже не только достигла предела, но в ряде районов земного шара превысила его. Дальнейшее наступление пашни и пастбищ на леса — опаснейшая тенденция. Последствия, к которым приводит сведение лесов ради сиюминутной выгоды, пагубно отражаются на газовом составе атмосферы и климате Земли и опасны не менее, чем такие крупные катастрофы, как чернобыльская, кыштымская и аральская вместе взятые. Разница лишь в том, что их последствия могут быть уподоблены не инфаркту, а медленной смерти от расплзающихся, как метастазы раковой опухоли, язв на лике Земли.

Именно поэтому сегодня при обсуждении экологических аспектов природопользования в сельском хозяйстве на первое место выходит устойчивость агросистем — способность восстанавливать расходуемые ресурсы за счет саморегуляции и умеренных энергетических субсидий со стороны человека. Обеспечить устойчивость невозможно, если будут возрастать энергетические вложения в агросистемы за счет внесения высоких доз удобрений, разнообразных пестицидов, стимуляторов роста, витаминов, а также орошения и других способов «ублажать» прожорливых «биотехнологических монстров» из мира растений и животных, на которых эжидется перенасыщенное энергией сельское хозяйство. К устойчивости можно прийти лишь через мобилизацию внутреннего потенциала биосистем, начиная от одного растения или животного и кончая всей агросистемой как социально-биологической целостностью.

Устойчивость агросистем достигается за счет действия двух взаимодополняющих и отчасти перекрывающихся принципов — адаптивного подхода¹ и экологического императива². Первый принцип тактический (и чисто практический): отдать приоритет тем видам, породам, сортам, которые фиксируют максимальное количество солнечной энергии на единицу вложенной антропогенной и дают наибольшее количество органического вещества как растительного, так и животного происхождения. Второй принцип — соблюдение экологического императива — стратегический. В его основе — система запретов на все формы природопользования, которые истощают ресурсы, ухудшают качество среды обитания или продуктов питания. Поэтому-то следование

второму принципу важнее для достижения устойчивости агросистем. Главенство экологического императива сейчас (и в будущем) неоспоримо, но увы, агросистема — не заповедник, охрана ресурсов в ней не может быть самоцелью. Следовательно, следуя второму принципу поддержания устойчивости агросистем, необходимо использовать — охраняя, и охранять — используя.

ВЗГЛЯД НАЗАД: УТЕРЯ УСТОЙЧИВОСТИ

За счет механизмов саморегуляции биосфера сама способна ликвидировать нарушения, если они не превысили предела ее компенсационных возможностей. Сельское хозяйство внедрялось в биосферу постепенно — примерно в течение 10 тыс. лет — и вначале вызывало весьма умеренные нарушения. При небольшом числе домашних животных и обширных пастбищах стихийно соблюдался пастбищеоборот, близкий тому, который характерен и сейчас в естественных экосистемах Африки — саваннах или степях национальных парков; растительный покров еще не знал перевыпаса. Небольшие поля кочевали от участка к участку, так как периодически забрасывались и зарастали лесом или степной растительностью. В ходе восстановительной сукцессии возрождалось и плодородие почвы. Время восстановления такой системы земледелия всегда было больше времени использования поля. Но с ростом населения пашня стала использоваться дольше, ее доля увеличивалась, а период залечивания сокращался.

Переход этой залежно-переложной системы земледелия в нынешнюю плодосменную (севооборотную) подробно описан В. Р. Вильямсом для степных районов. В архайчной системе земледелия после нескольких лет использования посевы засорялись сорняками. Эти посланцы природы до поры до времени были защитниками почв и открывали восстановительную сукцессию еще во время выращивания культурных растений. Когда участок забрасывался, сорняки смыкали свой покров, и восстановительная сукцессия шла через ряд стадий — бурьянистую, пырейную, тонконоговую, типчаковую и ковыльную.

При невысокой плотности населения земледелец повторно распахивал почву на стадии типчака или ковылей (твердый перелог), но с увеличением числа едоков — после мягкого перелога, т. е. тонконоговой, пырейной и даже бурьянистой стадии (пашня, бывшая под бурьяном всего год, называлась уже не перелогом, а зеленым паром). Наконец, если с бурьяном боролись, чтобы

¹ Жученко А. А. Адаптивное растениеводство, экологические основы. Кишинев, 1990.

² Миркин Б. М., Наумова Л. Г., Злобин Ю. А. // Итоги науки и техники. Сер. растениеводство. Т. 10. М., 1991.

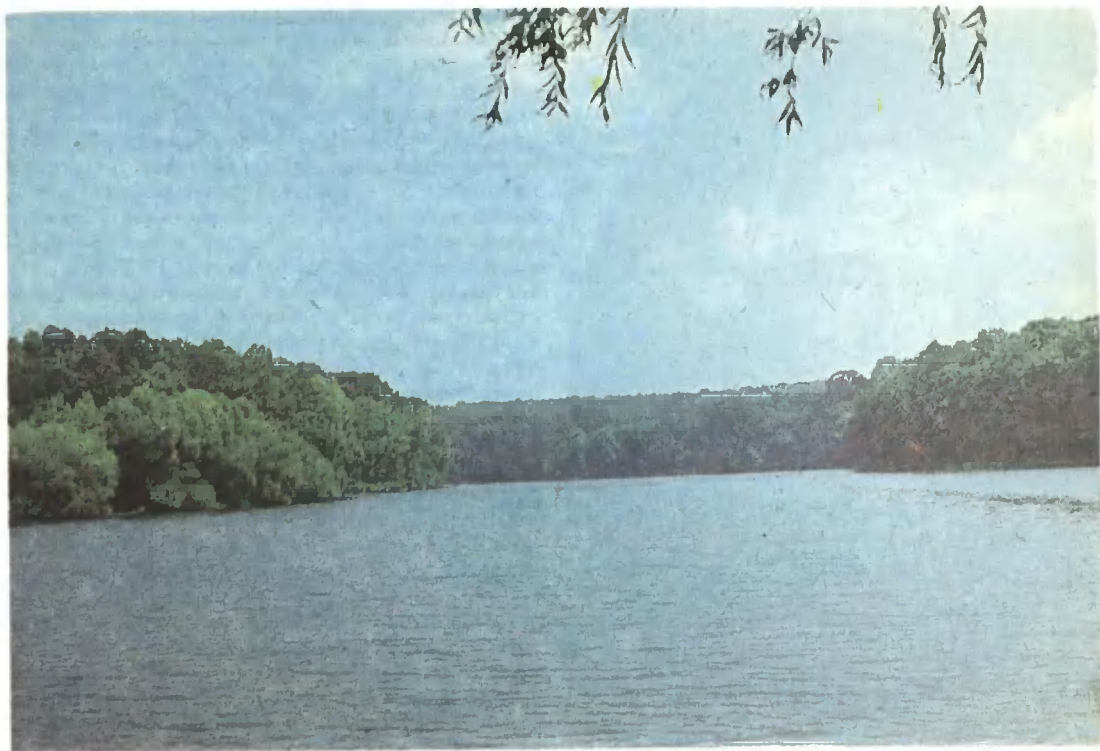


Ферма — обычный элемент агроландшафта. Однако хозяйства не должны располагаться непосредственно у реки, так как могут стать причиной загрязнения водоема.

Здесь и далее фото А. А. Орлова

Поле, распаханное до уреза реки. Это грубая экологическая ошибка: в год высокого паводка может начаться сильная эрозия берегов. Вдоль реки нужно высаживать лес, который защитит берега от разрушения, а реку — от удобрений и пестицидов, смываемых с полей.





Искусственный водоем — тоже часть агроэкосистемы. Пруды нормализуют гидрологический режим территории и дают доход от разведения рыбы.

уменьшить засоренность почвы и сэкономить влагу для будущего урожая, то пашню оставляли голой, без растительности (черный пар).

К чему привело сокращение длительности залежно-переложной стадии? Во-первых, не столь полно восстанавливалось плодородие почвы, подорванное изъятием элементов питания с урожаем культурных растений и разрушением почвенной структуры вспашками. Во-вторых, вызвало неизбежное увеличение доли пашни в сельскохозяйственном ландшафте, а так как кроме земледелия практиковалось и животноводство, то разрушение почв и растительного покрова пошли «рука об руку». Пастбищные нагрузки на эти куцые остатки естественной и полустеппенной растительности оказались выше, чем мог выдержать травостой. Скот пошел в леса, и началась их деградация. «Зеленый каркас», поддерживающий устойчивость экосистем, терял свои функции, состояние биосферы ухудшалось.

В России эти следствия экстенсивного развития сельского хозяйства стали заметны к началу XVIII в. Вторую его половину

можно считать временем зарождения агроэкологии, а ее основателем — А. Т. Болотова (1738—1833).

Этот естествоиспытатель-энциклопедист сочетал чисто агрономические работы с прекрасными трудами по ботанике³. Именно в его работах лежат истоки популяционного анализа, изучения биологии и фитоценологии сорных растений. Не прибегая к понятию агроэкосистемы, он первым пришел к ее осмыслению применительно к сельскохозяйственным территориям. Упоминая о бытовавшем тогда представлении о «трех царствах вещей натуральных» и относя к первому минералы, ко второму растения и к третьему животных, он подчеркивал, что человек «многие вещи из всех трех родов на службу имеет» и тонко чувствовал связь между ними. «Мы... видим, что все оные классы вещей натуральных между собой связаны и сопряжены»⁴.

Исходя из понимания этого единства (лишь через два столетия названного экосистемой), Болотов обосновывал естественную структуру хозяйства — соотношение площади пашни, луга, леса и поголовья скота, которые могли обеспечить устойчивость

³ Болотов А. Т. Избранные труды. М., 1988.

⁴ Там же. С. 146.



А. Т. Болотов — великий русский агроном, ботаник, врач, писатель.

его ресурсов. «Соблюдение должной пропорции между скотоводством и хлебопашеством есть главный пункт внимания сельского хозяйства. Сии две вещи так между собой связаны, что если одна упущена будет, то неминуемо нанесет вред и другой... Но как скот взаимного вспоможения требует от земли, то сие содержание предполагает и то, что для содержания скота довольно было летнего и зимнего корма, и потому следует само собою, чтоб скота не более содержать, как толикое число, сколько тутошними пашнями и лугами прокормить можно»⁵.

Предлагая заменить трехполье на сеипольный плодосменный севооборот и тем увеличить площадь трав на пашне, Болотов считал необходимым на каждый ее гектар ежегодно вносить навоз от двух коров. Поскольку скот тогда был мелким, можно полагать, что это соответствовало примерно 5 т, т. е. эта рекомендация близка современным нормам: 6—8 т навоза на гектар пашни лесной зоны. Если учесть невысокую

в этой зоне урожайность лугов и трав в севообороте, то для достижения баланса между кормами и поголовьем нужно было не меньше 2 га естественных лугов и сеяных трав на каждую голову. Таким образом, соотношение пашни и луга, по Болотову, равнялось примерно 1:4, а при том, что часть хозяйства занимал лес (который Болотов активно защищал от варварского вырубания и порчи скотом), доля пашни в его агроэкосистемах составляла не более 15—20 %. Естественно, экосистема с такими параметрами структуры была достаточно стабильна.

Понимая, что агроэкосистема не замкнута, т. е. происходит отток «питательных частиц» с урожаем, и навоз не может компенсировать потерь их почвой (кстати, он говорил о почвенном питании в то время, когда в Российской академии еще господствовала водяная теория питания), Болотов предлагал дополнительно включать торф, сапропель, а также компосты из любых органических остатков. Он практиковал удобрение извесью, золой, гипсом, мергелем.

Болотов сокращал долю пашни под зерновыми, увеличивал долю лугов и при этом доказывал, что «не произойдет от того никакого убытка, но паче хлеба родиться будет более, а сверх того произойдет еще та польза, что мы скота можем содержать более нынешнего, землю свою всю удабривать, да и сена еще с лугов гораздо более получать будем»⁶.

Пожалуй, только Болотов дал столь простую и убедительную схему оптимизации структуры агроландшафта на двух трофических уровнях; позже лишь взгляды В. Р. Вильямса были близки к пониманию агроэкосистемы как целостности, связанной трофическими отношениями. В подавляющем же большинстве современных работ по оптимизации структуры агроландшафта учитывается только растительный компонент, т. е. устанавливается соотношение пашни, леса и луга и обосновывается их размещение в пространстве в соответствии с рельефом. Чтобы сохранить плодородие пахотной почвы, Вильямс полагал необходимым занимать не менее половины площади хозяйства естественными и сеяными лугами, а важнейшим его элементом, как и Болотов, считал лес и потому был поборником лесомелиорации и защитником лесов от выпаса.

Однако призывы к сокращению площади пашни никем не были услышаны, идеи Болотова и Вильямса не повлияли сколь-нибудь заметно на практику организации

⁵ Там же. С. 121, 62.

⁶ Там же. С. 80.

Основные функциональные модели агроэкосистем

Модель	Основные трофические блоки	Импорт антропогенной энергии	Меры для соблюдения экологических требований
Комплексная интенсивная	← ПАШНЯ ⇌ СКОТ →	Максимальный (удобрения, корма, пестициды, горючее)	Поддержание бездефицитных агрогеохимических циклов, охрана среды от загрязнения, контроль качества продукции
Животноводческая интенсивная	← СКОТ ⇌ ПАШНЯ	Максимальный (удобрения, корма, пестициды, биопрепараты)	Защита среды от животноводческих стоков
Комплексная адаптивная	← ПАШНЯ ⇌ СКОТ → ЛУГ ¹	Умеренный (удобрения, пестициды, горючее, биопрепараты)	Поддержание бездефицитных агрогеохимических циклов, охрана биологического разнообразия
Растениеводческая адаптивная	← ПАШНЯ	Умеренный (удобрения, пестициды, горючее)	Поддержание бездефицитных агрогеохимических циклов, охрана биологического разнообразия
Скотоводческая экстенсивная	← СКОТ ⇌ ЛУГ	Минимальный (комбикорма)	Охрана биологического разнообразия

хозяйств, и постоянное наращивание пашни, удачно названное Ю. Ф. Новиковым «синдромом освоения», прогрессировало. Это и послужило развитию агроэкологии, причем концепция устойчивых агроэкосистем четче всего проявилась в наиболее развитых странах — США и ФРГ⁷.

МОДЕЛИ АГРОЭКОСИСТЕМ

Видение Болотовым и Вильямсом двух единств в агроэкосистеме распространялось на полунатуральный вариант хозяйства, в котором сочетались растениеводство и животноводство. Современный взгляд на агроэкосистему изменился, сегодня совершенно очевидно, что не может быть единой модели организации агроландшафта, ибо состояние одного может сильно отличаться от другого. В стремлении не разрушать далее агроэкосистемы, а сделать их устойчивыми, придется почти для каждого их типа создавать собственную модель (таблица). К сожалению, в наиболее интенсивных вариантах устройство агроэкосистемы может оказаться столь дорогим, что просто разорит хозяйство, если следовать пословице «И волки сыты и овцы целы».

Две первые модели агроэкосистем соответствуют интенсивному хозяйству с высокими энергетическими вложениями, причем в первом варианте производится и расте-

ние растениеводства, и животноводческая продукция, а во втором — только животноводческая. Оба типа экологически опасны.

Первый приводит к загрязнению вод смывами с полей, содержащими удобрения и пестициды, массированному уничтожению фауны различными пестицидными эффектами. Если в таких хозяйствах стремиться к соблюдению экологического императива, то уровень химизации в них неизбежно снизится и тогда при поддержании агрогеохимических циклов удастся обеспечить устойчивость агроэкосистем⁸.

Второй вариант хозяйств достаточно широко распространен в нашей стране. Это комплексы по откорму скота, в которых дешевизна говядины или свинины обеспечивается за счет экономии на утилизации бесподстильного навоза: полужидкая масса просто скапливается возле ферм в плохо устроенных хранилищах и превращается в «экологические мины». В принципе, эти органические массы можно перерабатывать либо в мощных установках по производству биогаза, либо компостированием. Но все это требует таких затрат на переработку и транспортировку, что вряд ли будет под силу хозяйствам. Рынок и требования экологии в недалеком будущем положат конец этим гигантам и придет пора ферм с умеренным поголовьем скота, приближенных к кормам. На таких фермах можно получать

⁷ Сельскохозяйственные экосистемы. М., 1987; Кант Г. Биологическое растениеводство: возможности биологических агроэкосистем. М., 1988.

⁸ Милашенко Н. З. Экологические проблемы химизации в интенсивном земледелии // Тр. ВИА. М., 1990. С. 3—10.



Поле ячменя. Эта важная культура в севооборотах за счет густоты стеблей снижает скорость эрозии почвы, кроме того, дает много пожнивных остатков.

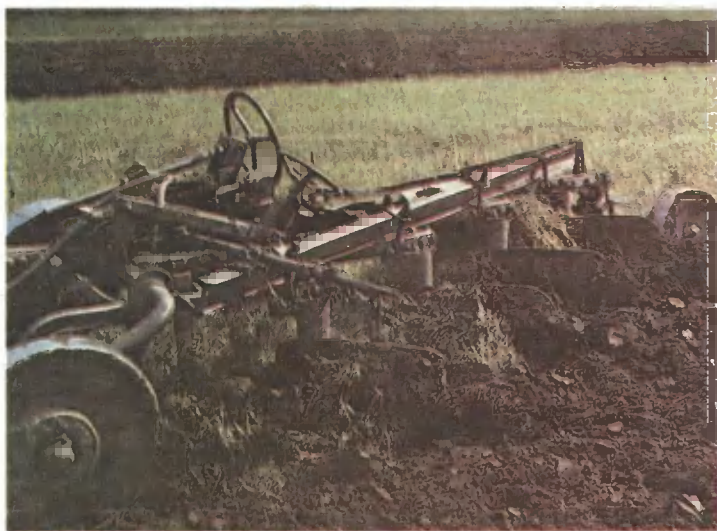
Поле кукурузы — самой рискованной культуры в севооборотах. Кукуруза дает высокий урожай зерна и зеленой массы, но требует много энергии для междурядных обработок. Как под всеми пропашными культурами, под ней активизируется эрозия, а если не вносятся органоминеральные удобрения, то почва сильно истощается.

и более дешевые мясопродукты, и не загрязнять природу отходами, а эффективно использовать навоз как недорогое органическое удобрение.

Третья модель агроэкосистемы — комплексная адаптивная — уходит корнями к хозяйствам по Болотову и Вильямсу, однако отличается более высоким уровнем энергетических субсидий за счет регулярного использования умеренных доз минеральных удобрений (на фоне внесения навоза), сидерации (запахивания зеленой массы специально посеянных для этого растений),



Одуванчик на сеяных лугах. Это свидетельствует о неудачно подобранной смеси луговых трав. Незаполненные экологические ниши занял сорняк, и хозяйство расплатится половиной урожая.



Плуг, оборачивающий пласт, — главное зло наших полей. Отвальная вспашка ведет к эрозии почвы, потери ею влаги, засорению и разложению гумуса. Чем суше климат, тем больше вреда приносит плуг, но полностью от него отказаться нельзя — он нужен для разделки пласта многолетних трав и запахивания навоза.

строгого соблюдения севооборотов, в которых предусмотрено достаточное количество восстанавливающих почву культур, в первую очередь бобовых. Могут применяться также и пестициды как некая «пожарная мера», когда из-за погодных условий невозможно контролировать сорняки, вредителей или болезни биологическими и агротехническими методами. В этой модели устойчивость достигается при сравнительно небольших затратах, т. е. удастся примирить экологические требования и экономику и решить проблему «сытых волков при целых овцах».

Еще одна модель — растениеводческая адаптивная экосистема, в ее структуре отсутствует животноводство. Навоз в таких системах с успехом заменяют сидераты⁹, в целом же все прочие средства достижения устойчивости сохраняются.

Наконец, последний тип агроэкосистемы — экстенсивный скотоводческий — формируется в условиях, когда невозможно или

⁹ Millington C. et al. Crop. protect. Agricult. and Low input Agricult Proceed. Symp. Brit. Crop. Prof. Counc. Cambridge 4th—6th Sept. 1990. Farnham, 1990. P. 163—173.

крайне энергетически дорого пахотное использование земель, например в пустыне, тундре. В этой модели устойчивость достигается регламентированием пастбищных нагрузок в соответствии с пастбищеоборотом.

Таким образом, формирование агроэкосистемы по той или иной модели определяется природными условиями и экономическими предпосылками, которые контролируются или не контролируются экологическими требованиями.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ГАРМОНИИ

Устойчивая агроэкосистема не может возникнуть сама по себе, ее нельзя подсмотреть в природе и повторить: сколь бы успешно ни действовали природные саморегулирующие механизмы, агроландшафт все равно остается искусственным, созданным человеком. Поэтому для любой модели агроэкосистемы параметры могут быть определены только расчетным путем. Можно, конечно, идти и методом проб и ошибок, именно так шли к современным агроэкосистемам фермеры США и ФРГ, которые добились почти полного прекращения эрозии пашни благодаря широко применяемому травосеянию и обеспечили бездефицитный баланс в почвах элементов питания за счет продуманного севооборота и удобрений.

На территории бывшего СССР во всех природных зонах агроэкосистемы находятся в процессе разрушения (исключая страны Балтии и Белоруссии, где положение несколько лучше), больше половины пашни эродировано, прогрессирует засоление и опустынивание, в большинстве районов циклы элементов питания не сбалансированы, отмечается закисание почв и т. д. Времени на пробы, а тем более ошибки уже нет, а потому нужно создавать конкретные варианты агросистем для разных природных зон, рельефов, экономических возможностей и т. д. Мы занимаемся таким конструированием и видим последовательность работы конструкторов-агроэкологов следующей¹⁰.

Вначале устанавливается принципиальная структура агроэкосистемы, соответствующая сложившимся природным и экономическим условиям. Понятно, что никому не придет в голову создавать интенсивный вариант хозяйства в виде комплекса по откорму скота либо комплексную адаптивную систему в пустыне или тундре. Там воз-

можен лишь экстенсивный вариант скотоводческой агроэкосистемы, в которой необходимо определить емкость пастбищ и допустимое поголовье скота, чтобы сохранять, а не разрушать ресурсы.

Однако в умеренном климате для одного и того же хозяйства возможен выбор вариантов: это может быть одна из комплексных агроэкосистем (адаптивная или интенсивная), адаптивная растениеводческая или интенсивная животноводческая.

Определение типа экосистемы в этом случае будет задачей экономической: если в хозяйстве можно вырастить дорогостоящую пшеницу сильных сортов с высокими хлебопекарными качествами, то вряд ли хороший хозяин увлечется свиноводством. Целесообразнее «посадить» свиноводческие фермы (причем не гиганты, а с ограниченным поголовьем) в лесостепные районы с дешевым зерном кормовых сортов пшеницы, ржи, тритикале, ячменя и т. д.

В России при дефиците и постоянно растущих ценах на шерсть овцеводство вполне может вытеснить разведение крупного рогатого скота, например, в степных районах. Оставленный в хозяйстве лишь в небольшом количестве, чтобы обеспечить местное сельское и городское население молоком и отчасти мясом, скот обойдется естественными пастбищами на тех землях, которые нельзя использовать под пашню.

Однако конструируя агросистемы и следуя при этом экологическому императиву, суммарное поголовье овец и коров не должно превышать емкость пастбищ, точно так же, как доля пшеницы или хлопка в севообороте не должна быть выше того предела, с которого неизбежно начнется разрушение ресурсов агроландшафта. А если выбирается комплексная адаптивная модель хозяйства, то важно определить, какую часть пашни нужно отвести под производство кормов, а какую — под растениеводство.

Когда определена специализация хозяйства и выбрана общая модель, можно приступать к расчету параметров структуры агроэкосистемы, при которой может быть обеспечена устойчивость. Иными словами, начинается сам процесс экологической оптимизации. В память компьютера вводится вся необходимая информация: карты (почвенная и естественных кормовых угодий); схема севооборотов; данные по урожайности культур и выносу с урожаем питательных элементов и разрушению органических веществ; параметры, определяющие интенсивность эрозии почвы (зависимость от крутизны склона, возделываемой куль-

¹⁰ Миркин Б. М., Хазиахметов Р. М., Соломещ А. И. // Журн. общ. биологии. 1992. Т. 53. № 1. С. 18—29.

туры); рационы скота и его поголовье. Ответы на возникающие в ходе оптимизации вопросы дает компьютер, если в него заложена соответствующая программа.

Прежде всего решаются противозернозные задачи, так как эрозия — самый опасный фактор разрушения ресурсов на сельскохозяйственных землях. Часть пахотных земель изымается под многолетние травы или естественное залужение, еще на одной части проектируются особые почвозащитные севообороты (без пропашных культур и с увеличением площади под многолетними травами). На оставшейся пашне оптимизируются состав севооборотов и режим внесения органических и минеральных удобрений так, чтобы сформировать бездефицитный баланс элементов питания. Расчеты такого рода для агрохимика обычны, нужно лишь перейти от отдельного контура на уровень всей агросистемы, используя при этом принципы контурно-мелиоративной организации территории¹¹, которая отражает рельеф хозяйства. Чтобы сделать оптимальной структуру агрогеохимических циклов, расчеты проводятся по двум-трем дозам минеральных удобрений, скажем, 100, 200, 300 кг действующего вещества на гектар.

Оптимизация, конечно, приведет к сокращению как площади пашни, так и доли разрушающих почву культур, обычно наиболее прибыльных для хозяйства. Но тем не менее общий выход зерна или силосной массы может не сократиться, а даже увеличиться за счет повышения урожая, так как в неоптимизированных агросистемах разрушение ресурсов часто происходит при крайне низких урожаях. Впрочем, не исключено, что за стабилизацию почвенного плодородия придется заплатить уменьшенным сбором зерна. Но если снизить его долю в рационе скота, а скармливать ему доброкачественное сено выращенной люцерны с высоким содержанием белка, то потери не будут велики.

Если имеются карты сенокосов и пастбищ и известна их продуктивность, то не сложно рассчитать баланс между поголовьем скота и кормовыми ресурсами агросистемы, ее «скотоемкость». В этом случае учитывается не только количество пастбищного корма (хотя перегрузка пастбищ — второй после эрозии фактор разрушения агроландшафтов в большинстве районов нашей страны), но и обеспеченность скота сеном, сочными и концентрированными кормами (для таких расчетов специалистами

разработаны меню для коров и свиней). Необходимо учитывать также импорт кормов, ведь иногда выгоднее купить комбикорма, разные отходы пищевой промышленности — жом, жмых, шроты, чем производить корма в своем хозяйстве.

При разных уровнях интенсификации рассчитывается и площадь угодий (пастбищ, пашни, на которой выращивается кормовое зерно и травы), необходимая для содержания одной головы скота. По нашим расчетам, если на юге лесной зоны и северной лесостепи в Башкирии вносить 100, 200, 300 кг минеральных удобрений (по действующему веществу) на гектар, то можно прокормить одну корову на 2.2; 1.6; 1.1 га соответственно. Следовательно, содержание 1000 коров потребует 2200, 1600 и 1100 га сельхозугодий.

В большинстве районов России поголовье придется сокращать даже после того, как продуктивность земли будет повышена за счет удобрений и правильного использования, а луга улучшены. Повод ли это для пессимизма? Вспомним, что сегодня в хозяйствах выращиваются «мясомолочные кентавры», от которых получают одинаково мало и мяса, и молока, равно как мясошерстные овцы — отнюдь не рекордсмены по живому весу и выходу шерсти. Если следовать хорошим рационам и разводить специализированные мясные и молочные породы крупного рогатого скота или породы более крупных овец с высоким настригом шерсти, то коэффициент биоконверсии, т. е. переработки растительной массы в продукты животноводства, повысится почти в два раза. Соответственно этому в два раза снизятся нагрузки скота на агросистемы.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПЛАТЕЖИ

Б. Коммонер сформулировал четыре аллегорических закона рационального природопользования в промышленности¹², ставшие очень популярными среди экологов. По крайней мере три из них применимы и к агроэкологии.

Законы «Все связано со всем» и «Природа знает лучше» выражают самую сердцевину экологического мышления в сельском хозяйстве. За счет моделирования законов организации естественных экосистем экологи стремятся по возможности замкнуть агрогеохимические циклы питательных элементов и органических веществ и сформировать системы полезных симбиотических связей, чтобы контролем за плотностью сорняков, вредителей и болезней «заялись» сами

¹¹ Котлярова О. Г. // Земледелие. 1990. № 6. С. 35—38.

¹² Коммонер Б. Замкнутый круг. Л., 1971.

культурные растения и полезные виды фауны, нашедшие в агроэкосистеме свои экологические ниши.

Закон «За все надо платить» — основа при выборе оптимального способа поддержания устойчивости. Платить агроэкосистеме приходится за то, что ее структура не соответствует почвам и климату, а лишь похожа на естественные экосистемы, где поддержание стабильности не требует дополнительной антропогенной энергии. Платы требует и более высокая по сравнению с естественной экосистемой продуктивность и поддержание устойчивости нужных человеку видов растений и животных. Каждому хочется, чтобы платежи были минимальными, ибо нужно обеспечить прибыльность хозяйства. Но они должны быть честными — скупой платит дважды, причем второй платеж за стратегические ошибки может быть не просто много больше первого, а столь велик, что станет не по силам. Нельзя, скажем, восстановить без фантастически высоких затрат почвенный слой на горных склонах, если он смыт водными потоками или унесен ветром.

Производитель продукции в значительной мере расплачивается сам, тем не менее в любой развитой стране сельское хозяйство дотационно. Дотации необходимы и отечественному сельскому хозяйству, ввергнутому в мало продуманные перипетии земельной реформы. Поскольку поддержание устойчивых агроэкосистем, к тому же еще и рентабельных, — задача наукоемкая, то большая часть платежей должна пойти на научные изыскания. Это понятно: удачно найденное решение тиражируется на большие площади, а следовательно, отдача будет наибольшей. Научных проблем, которые нужно решить, чтобы сельскохозяйственный производитель рационально использовал агроресурсы, не иссякая их, очень много, и нужно выбрать приоритеты. Главных направлений, на мой взгляд, два.

Первое — селекционно-генетические исследования, цель которых — выведение адаптивных сортов растений и пород животных. Арсенал методов геной инженерии и биотехнологии по сравнению с традиционной селекцией позволяет во много раз ускорить внедрение результатов, полученных в таких исследованиях. Важно, чтобы поиск был направлен именно на выведение адаптивных пород и сортов, вроде сорта ржи «чулпан» башкирского селекционера С. Кунабаева. Эта рожь дает не только более устойчивый, чем другие сорта, урожай в разные по погодным условиям годы, она урожайнее пшеницы на 6—10 ц/га, способна

подавлять сорняки и за счет формирования более крупных колосьев компенсировать убыток, приносимый стеблевыми паразитами (мухами шведской и озимой), что позволяет резко сократить пестицидные нагрузки¹³. Естественно, что этот сорт приобрел широкую популярность на полях России и за ее пределами.

Второе приоритетное направление — это исследования в области почвенной микробиологии. Всем известно, что микроорганизмы почвы участвуют во многих жизненно важных для растений процессах. Например, симбионты из мира грибов служат «всасывающими средствами», благодаря которым растения быстрее получают питательный раствор, а азотфиксаторы, живущие на корнях или вокруг них, кормят растения азотом, так как переводят молекулярный азот атмосферы в азотистые соединения, усваиваемые растительными клетками. Именно азотфиксаторы способны заменить дорогостоящий и далеко не безвредный для окружающей среды азот минеральных удобрений биологическим азотом. Оказывается, эти же микроорганизмы могут противостоять патогенной микрофлоре, вызывающей болезни корней. По всем этим причинам нужны такие штаммы бактерий, которые обладали бы высокой интенсивностью азотфиксации и были способны к тому же выдерживать конкурентную борьбу с уже имеющимся в почве микробным населением. «Разгрызать» остатки пестицидов и уничтожать нефтяное загрязнение почвы способны тоже почвенные микроорганизмы. Упомянутое — лишь малые крохи того, что может дать почвенная микробиология агроэкосистемам.

Нашим земледельцам еще предстоит освоить искусство сохранения плодородия почвы и травостоев пастбищ, и это потребует затрат. Американские же фермеры давно научились этому, так как для них чувства хозяина земли естественно, они уже давно осознали, что ухудшать ее качества весьма невыгодно, а точнее сказать, просто убыточно.

Если мы хотим сохранить землю плодородной и передать ее наследникам неистощенной, придется платить по многим счетам. Те из них, что пойдут в уплату за устойчивость агроэкосистемы, — неотложные.

¹³ Исмаилов Р. Р. // Биол. науки. 1991. № 8. С. 102—109; Он же. Вести. с.-х. науки. 1992. № 2. С. 106—112.

Охрана природы

Микрочипы против браконьеров

Черные носороги (*Diceros bicornis*), обитающие на территории национальных парков в северной части Южно-Африканской Республики, уже давно стали объектом браконьерской охоты. Для борьбы с этим злом дирекция парков решила применить новинки высоких технологий — микрочипы (полупроводниковые кристаллики с интегральной схемой), в которых записаны шифры конкретного национального парка.

Микрочипы вживляют в рога носорогов, благодаря чему таможенники и сотрудники парков в аэропортах или на автомагистралях могут точно определить, из какого национального парка вывезены рога, что значительно облегчает поиск браконьеров.

По мнению ветеринара Б. Кеффена (B. Keffen), работы по применению микрочипов — своего рода новаторство в деле охраны диких животных. Дирекция парков планирует использовать этот опыт и в других случаях, например при необходимости перевозки животных из одного парка в другой или в зоопарк.

BioScience. 1993. V. 43. N 10. P. 727 (США).

Охрана природы

Заоблачный лес в опасности

В то время как мировая общественность озабочена массовой вырубкой тропического леса Амазонии, возникает еще одна опасность для растительного покрова планеты: по сообщению J. L. Luteyn (Нью-Йоркский ботанический сад), за последнее десятилетие по берегам Амазонки выжжено и вырублено не более 20 % тропического леса, зато у подножия и на склонах Анд — 90 %. Де-

ло усугубляется тем, что разнообразие видов кустарников, эпифитов (растения, живущие на других растениях), мхов и травянистых возрастает с высотой, и именно они наиболее страдают от вторжения человека.

Андский регион служит родиной многих полезных растений. Здесь человек впервые стал выращивать картофель, лимскую фасоль, хинное дерево и другие ценные для него виды.

Богатство здешней флоры обусловлено определенной высотой над уровнем моря и значительной влажностью климата. В противоположность Амазонскому бассейну, где зеленый покров относительно однороден, в горах уникальные виды произрастают в каких-нибудь 500 м по склону друг от друга. В постоянно туманных местностях между низинами Амазонки и альпийскими лугами сложилась весьма редкая на Земле экологическая система, где возникают новые виды.

Примером разнообразия здешней флоры может служить горная область Перу; среди ее 25 тыс. видов некоторые представляют ценный генетический резерв для культурных растений. Местные жители используют 3140 видов в медицинских и косметических целях, для контроля за рождаемостью, в качестве стимулирующих средств и т. п.

В отличие от влажного тропического леса горный андский очень уязвим. Угроза его существованию усугубляется по мере заселения высоких склонов. Ныне в северной части Анд обитает более 70 млн. чел., образуя самую большую на Земле горную человеческую популяцию. А человек тем временем расчищает все новые участки под свои нужды.

В разных южноамериканских странах Андского региона преобладает тот или иной вид деятельности, угрожающий среде. В Эквадоре это — золотодобыча, в Коста-Рике — выпас скота, в Боливии — выращивание коки для производства кокаина, а в Колумбии — кроме коки возделывается опиумный мак (в 1992 г. в Колумбии пре-

вратили 11 тыс. га в маковые поля).

Широкомасштабная оценка сложившейся ситуации впервые была сделана на симпозиуме, собравшем 120 специалистов, 60 из которых представляли страны Латинской Америки. Приняты меры для составления полных списков произрастающих в Андах видов и выделения тех из них, что подвергаются сегодня наибольшей опасности; предложены пути восстановления ряда экосистем и охраны особо ценных ландшафтов с участием как местных, так и международных природоохранных сил.

Science News. 1993. V. 144. N 2. P. 23 (США).

Охрана природы

Эпидемия среди дельфинов

Исследовав ткани погибших дельфинов афалин (*Tursiops gervais*), найденных на побережье штата Алабама (17 особей) и штата Миссисипи (16 особей), группа ученых во главе с S. Kennedy (Министерство сельского хозяйства Северной Ирландии, Белфаст) установила, что животные были заражены тем же вирусом, от которого погибли сотни прорейфинов (*Stenella gray*) в Северном море в 1988 г. и в Средиземном — в 1990 г.

Специалисты не исключают возможности новой эпидемии среди дельфинов афалин в Мексиканском заливе и соседних с ним акваториях, поскольку очень многие животные этой популяции отличаются значительной восприимчивостью к болезни. Средства предотвратить эпидемию при таком широком распространении вируса неизвестны; если все же она разразится, надеяться можно лишь на ее естественное затухание.

New Scientist. 1993. V. 140. N 1903. P. 13 (Великобритания).

ИНОЙ ВЗГЛЯД

И. Панина
Север (Франция)

С ТАТЬЯ М. А. Смондырева («Природа», 1993, № 11) неприятно поразила меня назидательным и безапелляционным тоном. «С научной частью публикации,— считает Смондырев,— спорить бесполезно: мне приходилось иметь дело с подобными «теориями», в изобилии рассыпавшимися графоманами в научные учреждения и журналы. Лучший метод борьбы — не реагировать». Станным образом переключается со Смондыревым член-корреспондент РАН Е. Л. Фейнберг, для которого «остаётся неясным, что это такое — мания величия или комплекс неполноценности», проинкнущего в физику инженера. Чтобы добиться ясности, Фейнберг обратился даже в высококомпетентную в вопросах новой физики «Литературную газету», поместившую его отповедь Д. М. Панину. На подобные голословные утверждения, росчерком пера зачеркивающие многолетний труд русского мыслителя и ученого Дмитрия Михайловича Панина, я бы «реагировать» действительно не стала, если бы не сопроводительный комментарий «От редакции», солидаризирующийся со Смондыревым, а тем самым и с Фейнбергом. Недвусмысленно объясняет редакция своему читателю, что в последние годы на него «обрушился бурный поток бредовых идей» и что «содержащие их публикации... совершенно свободны, как правило, от мысли — будь то научной, философской и просто здоровой, что речь идет «о полемике... с очередным журналистским опусом, претендующим на изложение некоей высшей истины, почему-то ускользнувшей от «близоруких» профессионалов-естествоиспытателей», что может создаться «У неискующего читателя представление, что обсуждаются проблемы переднего края современной науки» и что «разумеемся, если бы речь шла о рецензии на действительно научный труд, аргументация автора (Смондырева.— И. П.) была бы иной».

После таких утверждений серьезного и глубоко уважаемого моим покойным мужем и мною журнала «Природа» его читатель не посмеет взять в руки ни «Теорию густот», ни «Механику на квантовом уровне» Д. Панина. Слава Богу, что эти книги,

несмотря на вето, наложенное на них Смондыревым, успели выйти в свет, правда, на Западе раньше, чем в отчизне их автора. В России в 1993 г. первая из вышеперечисленных книг опубликована в издательстве «Мысль» с предисловием религиозного философа С. С. Аверинцева, вторая — в Физматлите, с предисловием английского ядерного физика С. Тарасенко. «Димитрий Панин,— считает С. Тарасенко,— достиг величия пророка нашего времени: физика конца XX века подтверждает его прозрение о густоте как начале Вселенной и его гипотезу Биг-Банга. Физики Принстонского университета Д. Спергелль и Н. Тьюрок доказывают, что «событие (как образование тектур) породило различные густоты в первоначальной Вселенной. Недавние исследования, проведенные американским спутником Кобе, подтвердили наличие густот в основе тектур».

Дискуссия, дебаты, рецензии — прекрасное средство выяснения истины при условии, что участник дискуссии или рецензент знаком с предметом, о котором он говорит. Иначе он держит свою речь в ослепление. Смело сказать, что ни Смондырев, ни Фейнберг не читали труды Д. Панина. Первые его научные работы напечатаны в 30-е годы в «Трудах МИХМ», когда он был еще студентом и аспирантом. Увы, научный поиск молодого ученого был искусственно прерван арестом по доносу. Но все 16 лет сталинских тюрем, лагерей, ссылки Д. Панин продолжал думать о том, «что самые различные проявления Вселенной полностью интегрируются в универсальное начало, которое не только унифицирует все явления, но также управляет ими, обнаруживая существа и вещи, объединяя их в беспрестанном движении «сгущения-разрежения» фундаментальной сущности — густоты» (С. Тарасенко). Лишь через 40 лет после первых публикаций смог Д. Панин сделать на Западе доклады о Теории густот на международных симпозиумах и конгрессах по физике, в чьих трудах они и опубликованы, и прочесть курс лекций в университете.

Ни творцы квантовой механики В. Гейзенберг в Германии, которого по приезде на Запад мы еще застали в живых, и Луи де Бройль во Франции, ни Розен (один из

авторов известного в теории относительности парадокса) в Израиле, ни лауреат Нобелевской премии И. Пригожин в Бельгии не проявили высокомерия к Теории густот Панина. «Могу только пожелать, чтобы Ваш труд не только увидел свет, но и получил тот резонанс, который он заслуживает. Действительно, эта книга судьбоносна», — писал Панину православный философ отец Александр (Шмеман), книги которого наконец изданы в России. Прочел перед смертью рукопись Теории густот и заинтересовался ею и академик И. М. Франк. «Работы Д. Панина, — пишет доктор физико-математических наук Г. Идлис, — с их тезисной формой и нарочито обыденным языком, но с некоторой оригинальной терминологией, явно не укладываются в прокрустово ложе современных научных канонов. Но он и его идеи заслуживают предельно внимательного отношения. Многие из этих

идей имеют непреходящий характер и близки всем сколько-нибудь глубоким мыслителям: принципиальное, дискретное (атомистическое, квантованное) строение Вселенной, неразрывная взаимосвязь части и целого, свобода воли каждого разумного человека и его личная ответственность за свое самосозидание или саморазрушение, систематическая направленность всех природных процессов от большей сгущенности потенциальных возможностей к меньшей по мере их реализации, существование рационального (разумного) начала — или Первоначала — всего материального и духовного многообразия Природы, стабильность Вселенной как целого и циклический (маятникообразный) характер изменения отдельных ее миров». Такова точка зрения не менее известных, чем Смондырев, ученых, имеющая тоже право на существование.

ОТ РЕДАКЦИИ

Прежде всего хотелось бы внести ясность в главный вопрос нашего спора: М. Смондырев, чья статья вызвала резкий отклик г-жи Паниной, вообще не пытался оценивать философскую, мировоззренческую ценность работ Димитрия Панина. Это, по нашему мнению, вообще не входит в компетенцию естественно-научного журнала, каким является «Природа». И уж ни в коем случае журнал не ставит под сомнение правомерность философских размышлений об устройстве и смысле мироздания. Есть много примеров, подтверждающих плодотворность и важность подобных размышлений для философии, культуры в целом и даже для самой науки. Хрестоматийный пример — концепция ноосферы, ни в коем случае не являющаяся научной гипотезой, но бесспорно повлиявшая на ход развития естествознания в нашем веке.

Не случайно подобным размышлениям отдали дань великие физики (в том числе и упоминаемые г-жой Паниной в реплике на нашу публикацию), а иные естествоиспытатели (Мах, Авенариус, Пуанкаре) даже создали влиятельные философские школы. Нам безусловно интересны философские мысли и взгляды профессионалов, более широкие, чем те, которые даются ими в узкоспециальных работах.

Примером нашей публикации такого рода может служить статья нобелевского лауреата И. Р. Пригожина («Природа». 1993. № 12. С. 13). Мы избегаем обратного: физики философов. Попытки диктовать науке пути ее развития с чисто философских позиций неизменно и везде заканчивались печально, однако в истории нашей науки за все прошедшее столетие этот факт проследивается с особо грустной ясностью.

Но вот чего никогда не делали профессионалы — это не смешивали свои философские идеи с результатами собственных и особенно чужих научных исследований, не пытались на основе каких бы то ни было философских концепций судить об истинности или ложности естественно-научных теорий: у философии свои законы и принципы доказательства и обоснования знания, а у науки — свои. Они могут быть полезны как друг другу, так и человечеству в целом лишь до тех пор, пока сознают собственные границы, не пытаются судить одна другую и навязывать друг другу свои истины. Это всегда понимали и хорошие ученые, и хорошие философы, и даже богословы.

Не понимали этого только люди полубразованные, знакомые как с наукой, так и с философией лишь понаслышке. И

когда такие люди получали возможность проводить свои идеи в жизнь — это вело к трагическим последствиям для обеих областей знания.

Мы с огромным уважением относимся к личности Димитрия Панина — человека, сумевшего в аду сталинских лагерей и шараг жить напряженной интеллектуальной жизнью, с редкой для того времени свободой и раскованностью мысли размышлять об общих вопросах бытия. Думаем, что он согласился бы с высказанными утверждениями. Именно поэтому в критике, вызвавшей гневную реакцию г-жи Паниной, имя Д. Панина вообще не было упомянуто. И только вырванные из контекста фразы из редакционного послесловия, цитирующиеся г-жой Паниной, могли навести на мысль, что объектом критики были идеи Панина, а не их вульгарное, агрессивное и не вполне добросовестное использование журналистом, пытающимся сослаться на эти идеи дискредитировать едва ли не всю современную физику. На наш взгляд, такое использование идей ученого оскорбляет его память куда сильнее, чем любая критическая статья в его адрес. Заметим, что сам объект критики не нашел возражений против нашей публикации, а г-жа Панина избегает упоминать его имя. И ее можно понять.

Интеллектуальные системы: освоение НОВЫХ МЕТОДОВ

Л. Д. Мешалкин, С. И. Гольдберг



Лев Дмитриевич Мешалкин, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом актуальных расчетов АО «Страховая компания ИВМА», научный консультант ТОО «СОВТЕК» по анализу изображений. Основные направления исследований — теория вероятностей и математическая статистика, информатика, в частности разработка интеллектуальных и обучающих систем в медицине. Автор четырех монографий и более 100 научных работ.

Семелий Исаакович Гольдберг, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физиологии УрО РАН, заведующий группой математического моделирования. Работы по математическому распознаванию образов, медицинским экспертным системам и обработке данных в конкретных медико-биологических исследованиях. Имеет два авторских свидетельства.

РОМАНТИЧЕСКАЯ НАДЕЖДА НА ОДИН МЕТОД И ЕЕ КРИЗИС

Первые шаги вычислительной техники показали, что компьютеры не только хорошо считают, но и могут проводить логические вычисления, проверяя правильность умозаключений. Технология работы со знаниями, допускающими представление в форме продукций, т. е. рассуждений вида «если А и/или В, то С», в прикладном плане была освоена в середине 70-х годов. Деревья «и/или» не только дали наглядное изображение цепочек умозаключений, но и позволили оценивать надежность каждого вывода. Классическим примером этой технологии является программа MYCIN, направленная на лечение инфекций¹. В дальнейшем различные варианты реализации «и/или» продукций и другой близкой техники будем называть М-технологией.

В середине 80-х годов было проведено испытание, в котором сравнивались возможности программы MYCIN со способностями семи врачей из Станфорда². MYCIN набрала 52 балла из 80 возможных, врачи — от 34 до 50, т. е. все они в среднем показали результаты хуже, чем MYCIN. Правда, за скобками осталось, как измерить, что лучше, что хуже. Этот вопрос будет одним из существенных в данной статье.

Успехи породили надежду, что основные задачи в разработке интеллектуальных систем решены или почти решены. Возникла специальность «инженерия знаний» как совокупность методов получения знаний у специалистов конкретных областей (иногда говорят об «извлечении знаний») и представления их в форме, удобной для М-технологии. Готовые системы, построенные таким образом, стали называть экспертными системами (ЭС).

© Мешалкин Л. Д., Гольдберг С. И. Интеллектуальные системы: освоение новых методов.

¹ Уинстон П. Искусственный интеллект. М., 1980.

² Yu V. L. et al. An Evaluation of MYCIN's Advice // Rule Based Expert Systems. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1984.

Для ЭС характерно следующее:

- адресованность сравнительно узкому направлению;
- предложение пользователю готового решения;
- возможность объяснения цепочек умозаключений;
- ведение диалога с пользователем на естественном языке.

Достижения ЭС несомненны, однако после более чем 20 лет работы число используемых в медицине вне места разработки систем значительно меньше числа фирм-разработчиков этих продуктов³. Ведущие специалисты озабочены тем, как исправить создавшееся положение. Одним кажется, что необходимы более жесткие административные меры, форсирующие внедрение⁴, другие хотели бы видеть системы более интерактивными⁵, третьи считают, что виноваты разработчики и поэтому необходимо поднять требования к сдаваемым системам⁶.

Что это? Общий кризис ЭС? Нет, конечно. ЭС успешно вошли в нетворческие производственные и хозяйственные ниши, а также и в научные ниши, связанные с большим перебором, на которые, они и были изначально ориентированы. Вместе с тем кризис есть, и это кризис необоснованных надежд на достаточность одного метода в сложных областях деятельности. Цель статьи — показать, как кризис преодолевается за счет изменения взгляда на интеллектуальные системы и на то, что и как они должны делать.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ТРУДНОСТИ КЛИНИЧЕСКИХ ЭС

Попытаемся раскрыть изначальные, генетические трудности клинических ЭС, зависящие в большей степени от общего замысла, чем от недостатка административного принуждения при внедрении и качества исполнения. С большой вероятностью эти трудности могут быть отнесены и к системам других направлений, но клиническую практику авторы знают лучше. Кроме того, ме-

дицина всегда рассматривалась в качестве одного из главных направлений приложения ЭС. Используемые нами подзаголовки описывают то свойство, отсутствие которого является, на наш взгляд, главным недостатком большинства сегодняшних медицинских ЭС.

Системы должны быть адресованы тем проблемам, которые действительно актуальны для клиники. MEDLINE — библиографическая система рефератов статей, опубликованных в медицинских научных изданиях. В последние годы она распространяется на оптических дисках с ежемесячным обновлением. Эта система давно стала для англоязычных врачей основным инструментом слежения за научной периодикой. Изучение запросов клиницистов к MEDLINE показало⁷, что 41 % запросов связан с терапией и лишь 6 % — с диагностикой, вместе с тем из 47 систем, о которых сообщалось в статьях и на конференциях с 1973 по 1993 г., лишь 19 % были посвящены терапии, но зато 53 % — диагностике⁸. Таким образом, есть веские основания считать, что выбор задач для ЭС заметно смещен.

Консультант должен консультировать не пациента, а врача по поводу пациента. До сих пор в большинстве построенных систем моделируются действия эксперта при выполнении работы врача, а не действия эксперта, консультирующего врача по поводу больного. В обоих видах деятельности есть общее: получение вывода о проблемах пациента. Но консультация как таковая с этого только начинается. Ведь вывод консультанта еще только должен стать выводом лечащего врача. После консультации, попав в сходную ситуацию, врач самостоятельно приходит к соответствующему выводу. Более того, консультация часто назначается не потому, что врач не знает, что делать, а с целью прикрытия, уменьшения ответственности за неприятное решение или для психологического воздействия на пациента.

Необходимо учитывать особенности ниши внедрения. Английская система ACORN была предназначена для поддержки решений в случае «болей в груди». Она была построена с помощью М-технологии и следовала всем классическим традициям ЭС. Однако тщательная проверка показала, что практический эффект от внедрения системы в кабинете интенсивной терапии оказался нулевым. Интересны выводы, сделанные из этого одним из разработчиков ACORN: «Система

³ Heathfield H. A., Wyatt J. Philosophies for the Design and Development of Clinical Decision-Support Systems // *Meth. Inform. Med.* 1993. V. 32. P. 1—8.

⁴ Shortliffe E. H. Knowledge-based systems in medicine // *Medical Informatics Europe*. Vienna, 1991. P. 270—274.

⁵ Miller R. A., Mäserie F. E. The Demise of the "Greek Oracle" Model for Medical Diagnostic Systems // *Meth. Inform. Med.* 1990. V. 29. P. 1—2.

⁶ Clarke K., O'Moore R. et al. A Methodology for Evaluation of Knowledge-Based Systems // *Medical Informatics Europe*. Vienna, 1991. P. 361—366.

⁷ Haynes R., McKibbon K., Walker C. et al. Online access to Medline in clinical settings // *Ann Intern. Med.* 1990. V. 112. P. 78—84.

⁸ Heathfield H. A., Wyatt J. Op. cit.

имела плохой интерфейс, приводящий к ошибкам»⁹. Наш опыт показывает, что «ошибки» часто совершаются сознательно, чтобы система пришла к определенному выводу, т. е. проблема существенно глубже неудачного интерфейса. Вновь цитируем авторов: «В случае, когда система говорила о большом риске, койки в коронарном отделении могли быть заняты больными существенно меньшего риска, и перевод в коронарное отделение пациента был невозможен». Говоря профессиональным языком, система и общая организация работы не поддерживали принятия тактических решений врачами (кабинета интенсивной терапии), т. е. не помогали решить ту организационную задачу, которая была ключевой для повышения эффективности профилактики инфаркта миокарда и внезапной смерти. Плохой анализ ниши внедрения, неумение изменить организацию работы перед внедрением ЭС — одна из основных бед разработчиков этой и многих других клинических систем.

Система должна иметь сопровождение для отражения изменений окружающего мира. Это не продукт, выпускаемый и аттестуемый однажды. Конечная цель любой интеллектуальной системы — помощь пользователю в решении встающих перед ним задач. При этом задачи должны решаться с учетом определенных правил (представлений, условий, законов и т. п.), отражающих внешний по отношению непосредственно к задачам мир. Будем различать два процесса: поток задач и поток правил, действующих в момент поступления очередной задачи, хотя задачи и правила не всегда можно разделить однозначно. С точки зрения представлений, используемых в ЭС, задача — это данные, а правила — база знаний.

Одна из характеристик совместного потока (задача, правила) — степень новизны новой пары (задача, правила) по отношению к бесконечному ряду предшествующих пар. Для описания новизны правил удобна порядковая шкала, в основу которой положено характерное время возникновения изменений и которая опирается на широко известные ряды ситуаций. Начнем с ситуаций, в которых необходимость реального обновления возникает раз в несколько лет. Это дифференциальная диагностика внутри узкой группы хорошо известных болезней (первая градация). Именно на класс задач такой скорости обновления была рассчитана система MYCIN. Вторая градация — диагностика и лечение широкой группы болезней. Изменение представлений о механизмах отдельных

болезней, об индивидуальности реакций индивидуума на лечение, о действиях групп лекарственных средств на порядок увеличивают здесь скорость изменений соответствующей базы знаний. Невозможно функционирование системы второй градации новизны без ее постоянного научного сопровождения. Далее темп изменений увеличивается: третья градация — общеметодическое и статистическое консультирование научных исследований, четвертая — принятие решений в экономической деятельности в условиях переходной экономики, пятая — по-видимому, игра на финансовом рынке.

Шкала новизны для задач пока не разработана. Однако две ее крайние грани четко различимы. Первая — медленные изменения распределения свойств больных, поступающих из одного источника. Оценим ее баллом 1. Вторая — абсолютная техническая новизна (техническое решение на уровне изобретения). Оценим ее баллом 5. Положим:

Новизна потока (задача, правила) =
= max (новизна потока (задача), новизна потока (правила)). Пример. Новизна потока (задача, правила) при разрешении технических противоречий путем изобретений равна 5.

Многие известные нам клинические системы, в том числе MYCIN, и требования авторов первых ЭС к разработке систем не уделяют сопровождению должного внимания¹⁰.

Итак, сегодня для большинства клинических экспертных систем характерен своего рода математический аутизм, т. е. гипертрофированное внимание к одной функции системы — работе с профессиональными, но узко понятыми знаниями в ущерб другим профессиональным функциям и знаниям и осознанию объективного места системы в мире. К счастью, в настоящее время исходные рекомендации по разработке клинических ЭС пересматриваются с более реалистических позиций¹¹.

РЕШЕНИЕ НАЙДЕНО В ПРЕДЕЛЬНО БЕЗВЫХОДНОЙ СИТУАЦИИ

Техническое творчество — предельно трудный случай для М-технологии. Но именно здесь около 40 лет назад были найдены решения, которые можно рассматривать в качестве альтернативы возникшей через 20 лет М-технологии. Г. С. Альтшуллер, ши-

⁹ Ibid.

¹⁰ Davis R., Buchanan B., Shortliffe E. Production Rules as a Representation for a Knowledge-Based Consultation Program // Artificial Intelligence. 1977. V. 8.

¹¹ Heathfield H. A., Wyatt J. Op. cit.

роко известный в России изобретатель, проанализировав многие десятки тысяч патентов и авторских свидетельств об изобретениях, ввел понятие технического противоречия, которое должно быть устранено путем изобретения, и предложил специальные эвристические вопросы для стимулирования процесса изобретательства¹². Его идеи были подхвачены в Москве, Йошкар-Оле, Минске, Ташкенте и привели к созданию так называемых «изобретающих машин», одного из немногих отечественных компьютерных продуктов, успешно вышедших на мировой рынок.

Эрудированный читатель припомнит здесь также имена других ученых, работавших над методами и правилами эвристики — области исследований о том, как делать изобретения и открытия. Это — Папп (греческий математик второй половины III в. н. э.), Р. Декарт (1596 — 1650), Г. В. Лейбниц (1646 — 1716), Б. Больцано (1781 — 1848) и, наконец, наш современник Д. Пойа с его широко известными книгами «Математика и правдоподобные рассуждения» (1957) и «Как решить задачу» (1961). Таким образом, Альтшуллер начинал не на пустом месте.

Как показали Альтшуллер и его последователи, для целей создания интеллектуальных систем важно, что за счет методологически продуманного ассистирования можно резко повысить эффективность использования знаний и творческого потенциала человека. Они не ставили задачу создания искусственного интеллекта, самостоятельно решающего ее за специалиста. Их задача проще и вместе с тем существенно более применима к собственно творческой деятельности: найти пути и формы ассистирования, стимулирующего творческий потенциал специалиста.

Чтобы дать представление о методах ассистирования и показать возможности систематизации в этой области, приведем примеры приемов стимулирования для трех различных направлений ассистирования: клинической медицины (КМ), принятия административных решений (АР), консультаций по прикладной статистике (ПС). Ниже приводятся только рекомендации и вопросы, но им соответствуют наборы возможных действий и ответов и, главное, профессиональный анализ действий и ответов.

Примеры междисциплинарных эвристических приемов стимулирования мышления. (Сокращения в скобках указывают область приложений.)

1. Объяснение цели действия.

1.1. Укажите, на что направлено и что предотвращает предлагаемое (воз)действие (КМ, АР)?

1.2. Каков ожидаемый результат (воз)действия (КМ, АР)?

2. Соответствие действий поставленной цели.

2.1. На чем основана уверенность, что действие А является одной из возможных альтернатив при данном состоянии (КМ, АР, ПС)?

2.2. Учли ли вы, что при однократном наблюдении групп с воздействиями А и В различия в итогах могут в значительной степени быть связанными с исходными различиями в составе объектов групп, а не с различием в эффектах воздействий А и В (ПС).

3. Учет прошлого опыта.

3.1. Вспомните ситуацию S, столь же безнадёжную, как и рассматриваемая. Из нее удалось выйти благодаря использованию метода М (КМ, АР, ПС).

4. Состояние (ситуация) и регистрируемые переменные.

4.1. Является ли проявление А характерным для текущего состояния (ситуации) (КМ, АР)?

4.2. Учли ли вы, что состояние объектов может быть таким, что из-за трудностей получения информации возможно смещение (преселекция) выборки (ПС)?

5. Особенности процедур.

5.1. Учли ли вы, что выбранное средство А имеет побочное действие В (КМ)?

5.2. При использовании весовых коэффициентов возможна неоднозначность решения. Проверьте, не столкнулись ли вы с этим случаем (ПС).

6. Учет динамики.

6.1. Обратите внимание на динамику показателей Р, Q, R (КМ, АР).

6.2. Подумайте, почему произошло возвращение к состоянию S (КМ, АР).

7. Анализ результатов.

7.1. Чем объяснить низкую результативность проведенных мероприятий (КМ, АР)?

7.2. Полученные результаты говорят о выраженной стратификации исходных данных. Не кажется ли вам, что с учетом этого обстоятельства следует заново продумать весь план анализа (ПС)?

О системах, которые реализуют ассистирование путем стимулирования мышления пользователя, будем говорить, что они используют W-технологии. Для выбора буквы W есть два основания:

так путем стимулирования действовал известный герой Конан Дойла доктор Ватсон и

буква W перевернута по отношению к

¹² Альтшуллер Г. С. Алгоритм изобретения. М., 1973.

букве М. Она ее не отрицает, а просто изменяет взгляд, переворачивает.

Заметим, что термин «W-технология» предложен недавно, однако достаточно вспомнить простейшие программы — корректоры правописания, чтобы убедиться, что в реальной практике приемы W-технологии используются давно и широко.

W-технология в отличие от M-технологии

требует высокой квалификации специалиста, работающего с ней;

ее выводы, как правило, не пригодны для непосредственного использования, они только призваны стимулировать мышление специалиста;

в ней существенную роль может играть индивидуальная настройка на работающего с ней специалиста.

Основной эмпирический результат относительно W-технологии заключается в следующем утверждении.

Гипотеза W-технологии. Каждой системе А, основанной на M-технологии, можно найти уровень специалиста С и построить систему В(С), основанную на W-технологии, такую, что пара (В(С), специалист уровня С), будет иметь не худшую эффективность, чем система А. При этом объем базы предметных знаний системы В будет существенно меньше объема базы предметных знаний системы А.

Другими словами, недостаток объема базы знаний системы В будет восполнен знаниями специалиста.

При использовании W-технологии пользователь либо получает подсказку для решения текущей задачи, либо дает информацию, необходимую для повышения эффективности решения будущих задач. Однако он может уклоняться от диалога с системой. Мы пришли к следующей рекомендации.

Правило использования W-технологии. Для успешного применения W-технологии должна иметь место прямая личная заинтересованность пользователя в результатах. Если ее нет, то ее надо создать.

Принципиальная новизна W-технологии состоит в опоре на закономерности мышления человека и в эффективном использовании этих закономерностей. С формальной точки зрения M-технология может рассматриваться как частный случай W-технологии, но обратное не верно.

ПРИМЕР СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ

В дальнейшем изложении основным источником примеров и объектом ссылок будет медицинская система DINAR-2, кото-

рой оснащаются дистанционные реанимационно-консультативные центры (РКЦ) медработников (фельдшеров, врачей), к которым попали дети, нуждающиеся в неотложной помощи¹³. Идея создания подобных центров была высказана более десяти лет назад, и неоднократно предпринимались попытки ее реализовать¹⁴. Однако только система DINAR-2 получила реальное распространение: к концу 1993 г. она внедрена более чем в 30 регионах (краях и областях) России и Казахстана. Каждый центр обслуживает около 1 млн. жителей приблизительно с 250 тыс. детей возраста до 14 лет. РКЦ обычно располагается в отделении реанимации областной детской больницы, и ему прилагаются специальные средства для транспортировки тяжело больных детей. Работу РКЦ обеспечивают четыре врача-реаниматора. К ним обращаются врачи и фельдшеры, к которым попали дети в тяжелых или прогностически неясных состояниях. Врачи-реаниматоры помогают советом, а в случае необходимости выезжают на место, оказывают помощь и перевозят ребенка в госпиталь нужного профиля.

Программа DINAR-2 помогает в выполнении следующих функций РКЦ:

динамическое наблюдение за состоянием и оценка состояния серьезно больных детей;

поддержка диалога для получения исчерпывающей информации о состоянии ребенка, включая определение и устранение искажений в передаваемой информации; постановка полного синдромного диагноза и помощь в выборе лечения;

управление использованием централизованных ресурсов и координация действий в конкретных неотложных случаях;

анализ результатов лечения;

изготовление отчетных материалов о работе РКЦ, общем состоянии здоровья детей в области, дефектах в работе больниц, причинах неоказания своевременной помощи и т. п.;

поддержка справочной информации о концепциях и терминологии, используемых в системе, о лечебных возможностях боль-

¹³ Скляр М. С., Лахова Е. Ф., Ломовских В. Е. и др. Информационно-компьютерная технология в работе областного педиатрического центра // Здравоохранение Российской Федерации. 1992. № 2. С. 25—27; Meshalkin L., Goldberg S. et al. Children emergency aid information system // Proceedings of MIE-93, Eleventh International Congress European Federation for Medical Informatics. Jerusalem, Israel, April, 18—22, 1993. Freund. P. 195—197.

¹⁴ Цыбульский Э. К., Меньшустин И. Н., Жуковский К. А. // Вычислительная диагностика в практике экстренной и специализированной помощи в педиатрии. Л., 1984. С. 41—48.

ниц области, методах, фармакологическом обеспечении и т. п.

Каждый РКЦ связан с сотнями первичных фельдшерских пунктов (около 800) и десятками районных больниц (до 30). Чтобы давать правильные рекомендации, РКЦ должен располагать информацией об имеющихся там возможностях и навыках в диагностике и лечении. РКЦ принимает участие в лечении около тысячи больных в год, что приблизительно соответствует десяти консультациям и одному выезду к пациенту в день. В процессе функционирования РКЦ собирается большой объем информации о заболеваемости и смертности детей обслуживаемой области, а также об уровне и условиях оказания помощи. Существенно, что эта информация собирается как побочный продукт работы с конкретными пациентами. В настоящее время ставится вопрос об усилении статистической составляющей системы.

Статистический анализ должен помочь систематизировать данные в разных направлениях (детская заболеваемость и смертность, распределение медицинского оборудования в районах области, профессиональный уровень местного медперсонала, влияние оснащенности и профессиональной подготовки на детскую смертность и т. п.); установить связи между РКЦ-данными и другими источниками информации (социально-экономические характеристики районов, конкретные медицинские программы и административные решения, официальная медицинская статистика районов); интерполировать РКЦ-информацию на всю территорию России.

Создание, внедрение и эксплуатация DINAR-2 показали эффективность решений «слабых» с точки зрения классических экспертных систем. Например, такие задачи, как оценка адекватности лечения, его эффективности, понимание причин ухудшения состояния не решаются ЭС из-за недостаточности объемов знаний, необходимых для их полного решения. DINAR-2 решает эти задачи, хотя, естественно, только в первом приближении. Однако сама попытка решения является для врача стимулом для размышления над этими важными вопросами. В системе произошел внешний отказ от всех ключевых выводов (1), а тем более от их обоснований. Вывод делает консультант-реаниматор (пользователь), объясняя системе, а следовательно, и самому себе, почему и зачем он принимает данное решение. Возникающая при этом информация в сопоставлении с итогами лечения позволяет выделять области компетенции пользователя и осуществлять бо-

лее гибкое ассистирование. В случаях, когда реальное развитие событий совпадает с прогнозируемым, консультант поощряется высвечиванием его имени на графике динамики здоровья пациента. Поскольку одного больного, ежедневно сменяясь, ведут несколько консультантов, это серьезное моральное поощрение.

Проверим на DINAR-2 выполнение требований, изложенных в п. 2. Программа адресована прежде всего ведению записей о состоянии больного ребенка и представлению их в наглядной форме. Далее, поддержка тактических решений. Одно это окупает все расходы по содержанию РКЦ, поскольку уменьшает число рейсов санитарной авиации и делает их более обоснованными. Система является советчиком консультанта, она подсказывает ему высвечиванием места, где, как ей кажется, происходит искажение передаваемой информации, и подсказывает уточняющие вопросы. Искажения, по нашему опыту, одномерны. Система не ведет врача-консультанта за руку. Когда система не согласна с решениями врача, она подстраховывает его дополнительными уточняющими вопросами-возражениями, опирающимися на общую динамику тяжести состояния и динамику набора ведущих симптомокомплексов. Система выполняет массу дополнительных, «неинтересных» для врача функций: отчеты о деятельности, статистический анализ. Наконец, систему поддерживает и развивает группа ведущих специалистов в области неотложных состояний у детей во главе с научным руководителем всей программы Э. К. Цыбульским.

Система DINAR-2 настолько полно вписана в нишу РКЦ, что сегодня создание новых РКЦ сливается с приобретением будущими консультантами навыков работы с программой и освоением заложенных в нее знаний.

ВЗГЛЯД СВЕРХУ НА СОВОКУПНОСТЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Чтобы лучше увидеть, что происходит в мире интеллектуальных систем, целесообразно представить широко известные и по возможности контрастные по свойствам системы в едином пространстве. Координаты этого пространства выберем так, чтобы наиболее полно выразить новые тенденции. В качестве координат мы возьмем: 1) новизну потока (задача, правила); 2) сложность структуры прямых и опосредованных пользователей системы; 3) сложность структуры источников задач; 4) целостность системы, которая характеризует полноту использования системой собираемой информации для

решения как основных, так и дополнительных задач; 5) интенсивность использования W-технологии; 6) внимание к пользователю, складывающееся из дружественного интерфейса, свободы навигации, настройки на индивидуальные особенности, охраны достоинства пользователя. Как видно из перечня, пространство представления рассчитано на системы, адресованные достаточно сложным областям применения.

Характеристика программы MYCIN¹⁵

1. Новизна потока (задача, правила) пренебрежимо мала.

2. Структура пользователей простейшая.

3. Структура источников не рассматривается. Проблема изучения, с чем связана текущая заболеваемость, разработчиков не интересует.

4. Целостность начальная, так как нет ни анализа неудач, ни анализа источников инфекции. Кроме того, несмотря на пренебрежимо малую новизну потока (задача, правила), система нуждается в серьезном сопровождении, так как качество рекомендаций должно быть улучшено.

5. W-технология не используется.

6. Внимание к пользователю ограничивается дружественным интерфейсом и объяснением умозаключений.

В целом программа построена как решение относительно узкой, четко очерченной задачи, без желания использовать полностью собранную информацию. Это в большей степени демонстрация возможностей математики (M-технологии), чем система для лечебного учреждения. Описанная выше программа ACORN занимает то же место, что и MYCIN.

Характеристика текстового редактора английского языка (Grammatik IV by Bruce E. Wamper and The RSI Software Engineering Staff, Copyright 1988, 1989 Reference Software International).

1. Новизна потока (задача, правила) пренебрежимо мала или мала за счет особенностей задач. Стилистика письменных текстов меняется медленно.

2, 3, 6. Структура пользователей и источников простейшая. Настройка осуществляется путем создания локальных словников и учета особенностей стилистики различного типа текстов (художественные, деловые, научные) в рекомендациях.

4. Целостность средняя. Имеются: проверка правописания, локальная оценка и предложения по исправлению стиля, общая

стилистическая оценка, дифференцированная по типу текста, работа с источниками путем создания локальных словарей.

5. W-технология используется во всех основных решениях.

По сравнению с MYCIN программа GRAMMATIK IV лучше вписана в свою нишу, поэтому и выше ее целостность. В ней широко используется W-технология, помогающая пользователю самостоятельно принимать решения. Для лиц с начальным уровнем знания английского языка система сложна и не очень продуктивна.

Характеристика изобретающих машин¹⁶

1. Новизна потока (задача, правила) высокая за счет потока задач.

2, 3. Структура пользователей и источников не рассматривается, хотя потенциально здесь могут быть большие достижения.

4. Целостность средняя. Имеются: подбор принципа действия, помощь в поиске технического противоречия, контрольные вопросы с примерами для стимулирования творчества (поиск решений), оформление документации. Отсутствуют: изучение и систематизация пользователей и источников, анализ результатов, не полностью используется поступающая информация.

5. W-технология в той или иной степени используется во всех решаемых системой задачах, кроме подбора принципа действия.

6. Настройки на пользователя нет, интерфейс дружественный.

Целостность изобретающих машин получилась средней из-за отсутствия анализа результатов и настройки на пользователя. В этом они сближаются с MYCIN.

Характеристика программы DINAR-2¹⁷

1. Новизна потока (задача, правила) малая, в основном за счет потока правил. Быстрые изменения характеристик потока задач (пациентов) заслуживают пристального внимания администрации соответствующей области.

2. Структура пользователей: разработчики, консультанты-реаниматоры РКЦ, местный медицинский персонал. В системе учитывается возможность сознательного или неосознанного искажения информации местными врачами и фельдшерами.

¹⁶ Построена по: Глазунов В. Н. Параметрический метод разрешения противоречий в технике. М., 1990; Он же. Поиск принципов действия технических систем. М., 1990; Голдовский Б. И., Вайнерман М. И. Комплексный метод решений технических проблем. М., 1990; Автоматизация поискового эксперимента / Под ред. А. И. Половинкина. М., 1981.

¹⁷ Скляр М. С., Лахова Е. Ф., Ломовских В. Е. и др. Цит. соч.; Meshalkin L., Goldberg S. et al. Op. cit.

¹⁵ Построена по результатам испытания системы MYCIN. См.: Уинстон П. Цит. соч.

3. Структура источников сложная, возможны деления по административным районам, экосоциальным условиям, уровню подготовки местного фельдшерского и врачебного персонала.

4. Целостность охвата функций на конец 1993 г. около 80 %, так как пока нет развернутого статистического анализа источников, да и механизм сопровождения не формализован.

5. Интенсивность использования W-технологии средняя.

6. Настройка на пользователя осуществляется в процессе диалога, дружеский интерфейс, когнитивная графика. Выделение областей компетенции по конкретным результатам пока не проводится.

Целостность DINAR-2 существенно выше, чем рассмотренных ранее программ. Вместе с тем процент использования W-технологии в ней заметно ниже, чем в изобретающих машинах и в GRAMMATIK IV. В этом отношении DINAR-2 ближе к программе MYCIN.

Рассмотренные программы по своим системным свойствам, а не только по содержанию являются контрастными. Если отталкиваться от MYCIN как от исторического начала, то развитие происходит в трех направлениях: повышение целостности системы, включение знаний пользователя в процесс выработки решения путем использования W-технологии, повышение внимания к особенностям пользователя.

УДОБНО ЛИ ДЛЯ ВСЕХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ОДНО ОПРЕДЕЛЕНИЕ «ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ»?

Представим себе возможный диалог между разработчиками двух систем: М. (система MYCIN) и D. (система DINAR-2). Первым начинает М. как признанный в мире искусственного интеллекта авторитет.

М. Глубокоуважаемый коллега, ваша система очень интересна, направлена на решение актуальной задачи, даже точнее, комплекса связанных между собой задач, и я поздравляю вас с нахождением такой замечательной цепочки проблем. Вместе с тем система производит на меня впечатление незавершенности. Почему, например, вы не поработали побольше с экспертами и не отдали системе полностью принятие решения о ведущем симптомокомплексе?

D. Для введения ведущего симптомокомплекса может быть избрано несколько критериев: по тяжести состояния; по вероят-

ности летального исхода в ближайшие 30 минут, 3 часа, сутки; объему необходимых реабилитационных мероприятий и т. п. Эти критерии статистически близки. Но в конкретном случае они могут дать разные ответы, и выбор все равно приходится делать консультанту. Обилие вариантов в данном случае только затруднит принятие решения.

М. Коллега, вы безусловно правы, когда возражаете против сообщения консультанту множества показателей. Но вы могли бы провести специальное исследование и выбрать один из них или построить новый показатель.

D. Да, это можно было бы сделать, но таких мест слишком много, и полное научное доведение каждого из них потребовало бы слишком большого времени, система никогда не начала бы работать. А так в ходе реальной эксплуатации у нас есть возможность оценить актуальность развития каждого из разделов и развивать их в порядке очереди.

М. Но в таком случае, дорогой коллега, можно считать, что ваша система вообще никогда не будет завершена, потому что всегда будут возникать новые проблемы.

D. Вы правы, наша система представляет собой последовательность работающих вариантов. Каждый из них, кроме первого, обобщает опыт эксплуатации предшествующих. Рассматривать его как окончательное слово в разработке системы для данного рабочего места не хотелось бы.

М. Система решает очень сложные задачи, но почти нигде не дает развернутых ответов. Промежуточные решения врача и объяснения влияют на поведение и выводы системы. Складывается впечатление, что не DINAR помогает врачу, предлагая и объясняя решения, а врач своими действиями и объяснениями помогает системе сделать правильный вывод.

D. Вы правы. Однако, помогая DINAR, врач помогает и себе.

М. Я не сомневаюсь, что система помогает врачу. Я видел, что врачи легко и с удовлетворением работают с ней, может даже слишком легко. Малоквалифицированный человек может допустить ошибку, и система не помогает ему в этом.

D. И тут вы правы. DINAR предназначен для высококвалифицированных врачей, облеченных всей ответственностью за принимаемые решения. Однако разрешите и мне в свою очередь задать вам несколько вопросов.

М. Пожалуйста.

D. На какого конкретного работника поликлиники или больницы, более точно, на

какое рабочее место вы ориентировались, когда создавали MYCIN?

М. Видите ли, система может помочь всякому врачу, к которому попал больной с инфекцией. И вы знаете, что она «умнее» среднего врача, т. е. ее использование эквивалентно приглашению консультанта. На определенное рабочее место мы не ориентировались.

Д. Было ли проверено, насколько система помогает среднему врачу, т. е. насколько он работает эффективнее с системой, чем без нее? Причем не только по диагностике, но и по конечным результатам: вылечен больной или нет, какое это время заняло.

М. Видите ли, такое сравнение довольно трудно провести. Нужно уметь оценивать уровень специалистов и строить специальную шкалу для оценки эффективности работы. Мы этого не делали. Дело врачей оценить, насколько помогает им предложенный нами продукт.

Д. Систему анализа результатов ведения больного мы рассматриваем в качестве основы системы, ведь она как патологоанатом. Без его заключений нельзя наладить работу больницы. Вспомните «Окончательный диагноз» А. Хейли.

М. Дорогой коллега, у нас с вами, видимо, были разные цели: мой коллектив создал законченный продукт, ориентированный на сравнительно узкую функцию. Вы же создаете серию продуктов для определенного рабочего места, и поэтому мы обращаем внимание на разные стороны проектирования.

Д.: Согласен с вами.

Таким образом, в ходе дискуссии наши оппоненты смогли прийти к общему заключению, что они ставили перед собой разные цели. Поэтому-то системы настолько различны. С тем чтобы не повторять каждый раз подобную дискуссию, целесообразно перестать рассматривать систему DINAR с позиций системы MYCIN, а систему MYCIN — с позиций DINAR. Пора признать, говоря словами Маяковского, «что это животные разной породы».

Итак, наряду с классом ЭС, описанным в первой главе, надо рассматривать и другие классы интеллектуальных систем и судить о них в рамках требований, предъявляемых к соответствующим классам. И хотя имя является только условной меткой, выделение специальных классов и их теоретическое осмысление будет продуктивным при создании новых систем, так как облегчит обмен опытом. А это, в свою очередь, позволит на более ранних шагах проектирования уточнять общий замысел систем, познакомит

с возможным диапазоном решений, облегчит перенос готовых решений из одной системы в другую.

Далее мы подробно рассмотрим класс систем, отличительная черта которого — целостность подхода к ассистированию.

DrWT-СИСТЕМЫ

Назовем проблемную область областью высокой интеллектуальной сложности (ОВИС), если не существует конечного числа определений и правил, с помощью которых можно решить все возникающие в ней задачи. Примером ОВИС является любая творческая деятельность, от работы врача до работы исследователя.

Обобщая опыт успешных (с точки зрения внедрения) интеллектуальных систем для ОВИС, мы выдвинули концепцию ассистирующих систем типа «доктор Ватсон» (DrWT-систем)¹⁸. Коротко она определяется следующим образом.

Компьютерную систему, которая адресована работникам ОВИС, рассчитана на существенное использование творческого потенциала пользователя(-ей) посредством W-технологии, характеризуется полнотой охвата ситуаций, возникающих в ходе решения задач, и отличается интеллигентностью поведения по отношению к пользователю(-ям), назовем ассистирующей системой типа «доктор Ватсон».

В приведенном определении слово «интеллигентность» предполагает наличие «интеллекта» у системы, но не сводится к нему, поскольку система должна не столько самостоятельно выдавать готовый вывод, сколько подводить пользователя к умозаключению.

DrWT-система — это элемент интеллектуального технологического процесса. В силу целостности подхода она уделяет большое внимание вопросам взаимодействия специалистов, учитывает, что у участников процесса могут быть свои частные интересы. Функционирование системы невозможно без пространственной и временной настройки, без развитой системы аттестации качества.

Особенность DrWT-систем состоит в том, что в них активную роль играют все три компонента, фактически присутствующие в любой системе: А — множество пользователей, В — множество источников задач, С — множество вариантов настройки системы. В относительно простых областях при обсуждении качества системы А заменяют «средним пользователем», а В —

¹⁸ Гольдберг С. И., Мешалкин Л. Д. Новый класс систем искусственного интеллекта (DrWT-системы). // Техн. кибернетика. 1992. № 5. С. 217—223.

«средним источником». В ОВИС необходимо учитывать всю тройку во взаимодействии, поскольку взаимодействие между специалистом и системой может играть ключевую роль, и «умный», но бестактный подсказчик может по эффективности проиграть менее сложной, но активизирующей мышление специалиста системе.

DrWT-системы из-за целостности и интеллигентности являются удачным средством введения молодого специалиста в профессиональную деятельность. Система опекает, не разрешает делать грубые ошибки, а вместе с тем не давит знаниями и представляет самостоятельность, совместимую с уровнем знаний.

Рассмотрим теперь безусловные и условные характеристики тройки (А, В, С). При этом будем использовать обозначения, близкие к теоретико-вероятностным, когда (А|В) будет означать характеристику свойства А при фиксированном элементе множества В.

Характеристика пользователей (А) — это прежде всего их классификация по роли в процессе решения задач, уровню и направлению подготовки. Следует различать пользователей прямых и опосредованных. В системе DINAR прямые пользователи — это врачи-консультанты реанимационного отделения, а опосредованные пользователи — обращающиеся к ним медработники. Выявление всех лиц, участвующих в решении задач, и их типовых «интересов» является существенным моментом проектирования системы, так как только на его базе можно предусмотреть возможные источники искажения информации и наметить меры борьбы с ними.

Ассистирующая система создается и сопровождается трудом различных специалистов, часто достаточно узких специализаций. Так в DINAR-3 предполагается дополнительно к детям от месяца до 14 лет включить неонатальный и перинатальный периоды в жизни новорожденного. Таким образом, система будет охватывать четыре возрастные группы: первые 168 часов, 1—4 недели жизни, от месяца до года, от года до 14 лет. В стране не готовят таких универсальных специалистов. Поэтому при работе с конкретным пользователем возникает необходимость выявления областей разного уровня его компетенции.

Понятие «источника» задач (В) является ключевым для ассистирующей системы. Оно позволяет ввести последовательность задач и, значит, статистическую меру полноты системы по отношению к источнику (характеристика типа (С|В)). В качестве источ-

ников в DINAR выступают подмножества медработников, выделенные по уровню образования, месту работы, территории и т. п. Таким образом, источники могут иметь довольно сложную структуру. Для систем, ассистирующих научным исследованиям, в качестве источников могут выступать научные журналы соответствующего профиля. В обоих рассмотренных примерах наряду с решением основных задач интерес представляет проблема дополнительная (дуальная) — изучение источников по поступающим задачам. При этом в случае медицинской системы она напрямую связана с управлением здравоохранением на региональном уровне¹⁹. Если система имеет несколько упорядоченных уровней решения, то можно говорить о глубине проникновения конкретной задачи в систему. Характеристика научных журналов по распределению глубины проникновения (в систему) публикуемых в них статей (характеристика типа (В|С)) является новой и при достаточно развитой системе весьма информативной характеристикой журнала.

Характеристики системы. Первый набор показателей характеризует состав и организацию системы (С). Второй набор показателей — это характеристики статистической полноты отдельных решений системы по отношению к источникам (С|В). Третий набор — это характеристики того, насколько система помогает различным пользователям или группам пользователей в решении задач, освоении специальности. И все это при четко заданных источниках (характеристики типа (С|А, В)).

По отношению к традиционным экспертным системам новый класс использует значительно более широкий арсенал научных методов. Вместе с тем из-за сложности проблемных областей, которым он адресован, в нем допускается отказ от чистого логического вывода. Меняется также место системы: из внешнего эксперта она превращается в ассистента. Авторы надеются, что в ближайшие годы DrWT-системы начнут вытеснять традиционные ЭС в областях высокой интеллектуальной сложности.

Существенное замечание. DrWT-системы не претендуют на звание самых совершенных. Целостность — обоюдоострое требование, оно всегда приводит к компромиссу между тем, что умеешь, и тем, что надо. Как следствие, целостные системы выживают, но, по крайней мере на первых шагах, не поражают элегантностью решений.

¹⁹ Скляр М. С., Лахова Е. Ф., Ломовских В. Е. и др. Цит. соч.; Meshalkin L., Goldberg S. et al. Op. cit.

За «пленкой маловидения»

С. Н. Ключников

Москва

Те мелкие детали, которые обычному взору представляются почти украшением, потеряв нормальные размеры, дают и пугают. ...Пленкой «маловидения» преображен для нас мир чудовищ.

Н. Тэффи

БАБОЧКИ считаются самыми красивыми насекомыми. Тысячи неразличимых, содержащих пигменты чешуек, сливаются в единый фон или создают оригинальные рисунки на крыльях. Каждая чешуйка содержит только один пигмент, а рисунок в целом состоит как в газете или журнале, из отдельных точек. Есть виды бабочек, у которых «окраска так прекрасна, что у человека захватывает дух, когда он смотрит... на них... даже в коллекции»¹. Чрезвычайно яркие металлически-синие, чистейшие шелковисто-зеленые тона, как и матовая или блестящая поверхность крыльев, зависят не только от пигментов, но и от структурных особенностей чешуек.

Чешуйки — это видоизмененные щетинки, которые в процессе эволюции постепенно уплощались, пока не превратились в пластинки. На этом эволюция чешуек не закончилась, и дальнейшие изменения, затронувшие верхнюю пластинку, фактически превратили ее в решетку, а в некоторых случаях не сохранилась и она. По признаку сохранности верхней пластинки можно выделить три типа чешуек: у одних верхняя пластинка сохранилась полностью, у других — частично, у третьих от нее остались только продольные ребра, или, как их называют еще, гребни.

Внешняя часть чешуйки — лопасть — соединена с крылом с помощью стебелька. Он заканчивается утолщением, благодаря

которому чешуйка удерживается на крыле. Стебелек находится в полости, разделенной сужением на две части. В той, что находится дальше от внешнего отверстия, располагается утолщение, отделенное от остальной части стебелька узким пояском. По аналогии с волосом утолщение можно назвать «луковицей». Она не проходит через сужение, и в результате создается подвижное, шарнирное соединение чешуйки с крылом.

Место соединения чешуйки с крылом называют альвеолой. Возможно, было бы логично этот термин отнести только к той полости, в которой находится «луковица»; другую же, возвышающуюся над поверхностью и имеющую наружное отверстие, назвать текой. Вместе они составляют «гнездо».

Чешуйки бабочек имеют две пластинки, как правило, разделенные между собой трабекулами: верхняя — сетчатая или в виде тонкой решетки, нижняя — волнистая, с укрепляющими ее по периметру складками. Решетка образована продольными гребнями и поперечными ребрами. Гребни — это утолщенные в верхней части складки с проходящими под ними желобками. В них часто видны хитиновые наплывы, которые могут превратить их в серию выемок. Для гребней характерно то, что сверху они регулярно прерываются, образуя планки, с боков — покрываются короткими микроребрами и длинными складками, которые переходят на соседний гребень или сливаются с каймой от двух отверстий, и возникает поперечное ребро.

Гребень образует с поперечным реб-

© Ключников С. Н. За «пленкой маловидения».

¹ Станек В. Я. Иллюстрированная энциклопедия насекомых. Прага, 1977.



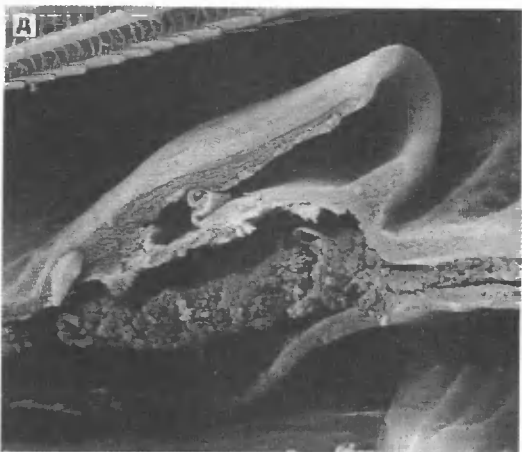
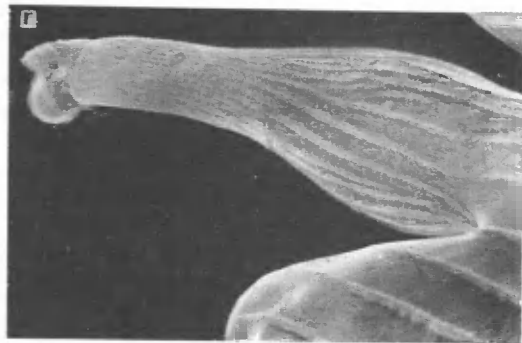
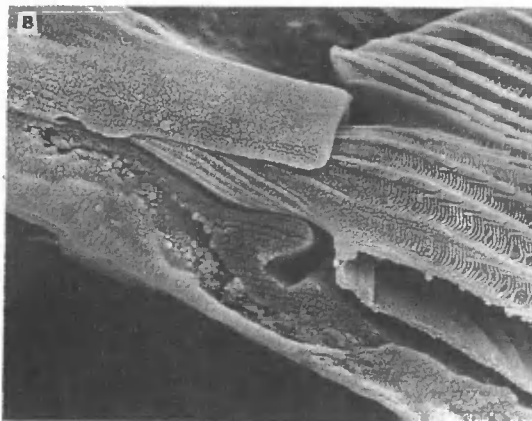
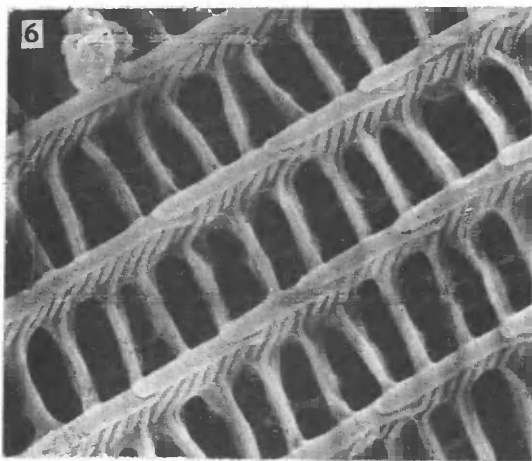
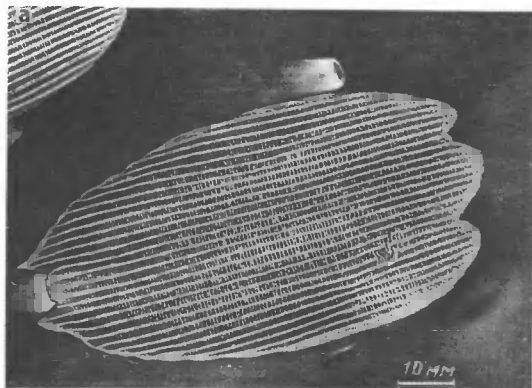
Так за «пленкой маловидения» выглядит тополевая моль (увел. 80).

Здесь и далее фото автора

ром прямой угол. У других чешуек переход в межребневое пространство может быть плавным, как бы провисающим. Таково схематичное описание строения обычной, пигментной чешуйки, оно сделано с чешуйки

крапивницы, но характерно для многих других бабочек.

Направленный свет, упавший на крыло крапивницы, отражается в разных направлениях. Он рассеивается решетками чешуек, и это отражение, придающее крыльям матовость, называют диффузным. Для появления блеска поверхность должна быть гладкой, свет в этом случае будет отражать-



Микрофотографии чешуйки крапивницы: общий вид (а — увел. 800, б — 10 000); продольный срез (в — увел. 4000); стелек, соединяющий чешуйки с крылом (г — увел. 6400); внутренняя поверхность облегающей стелек полости (д — увел. 4000).

ся в одном направлении, т. е. зеркально, при этом угол отражения равен углу падения. У чешуек крапивницы такие поверхности есть, но для появления на них видимого блеска они слишком малы. Еще более крайняя степень блеска — когда отверстия заполнены гранулами (например, у белянок).

Матовые крылья встречаются очень часто, но не всегда. Матовость или блеск многих, особенно ночных, бабочек зависят от положения крыльев к направлению света. Из дневных бабочек блеск хорошо виден у перламутровки пандоры (*Argynnis pandora*). Испод ее заднего крыла зеленого цвета с серыми полосками и точками, а под лучами света его цвет становится перламутрово-зеленым, иногда даже с голубым оттенком, на полосках же возникает серебристый блеск. Одни авторы перламутровый блеск относят только к полоскам, другим все крыло напоминает «окраской какие-то экзотические раковины»² (раковины с зеленым и желто-зеленым перламутром есть у моллюска

² Никитский Н. Б., Свиридов А. В. Насекомые «Красной книги СССР». М., 1987.

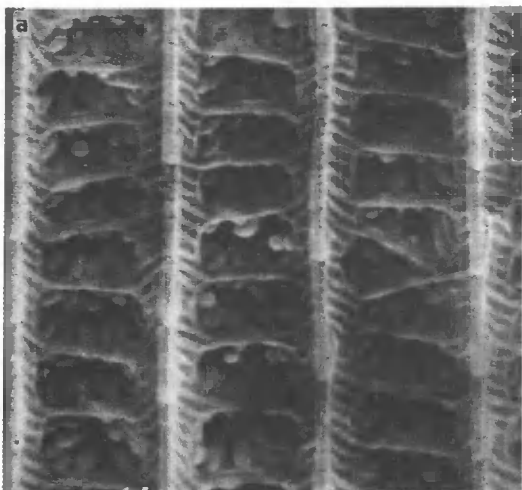
Pinctada margaritifera, с серебристым — у *P. maxima*). Перламутровый блеск, как и шелковистый, — это сравнительная субъективная характеристика цвета. Чешуйки, изменяющие цвет, располагаются по всему крылу.

Изменение цвета у пандоры происходит благодаря чешуйкам с полностью сохранившейся верхней пластинкой. Она покрыта мелкими ячейками, образованными невысокими гребнями и поперечными складками. При этом между гребнями сохраняется ровная, гладкая, с зеркальным отражением поверхность. Чешуйки на крыле ориентированы в одном направлении, и когда свет падает поперек крыла, а значит, и поперек гребней, блеска нет. В этом случае зеркальное отражение подавляется диффузным и волны, отраженные от боковых сторон гребня, могут двигаться поперек или навстречу зеркально отраженным. При смещении крыла относительно падающего света наступает момент, когда свет смещается вдоль гребней на ровную поверхность, практически не имеющую никаких препятствий для зеркального отражения и интерференции.

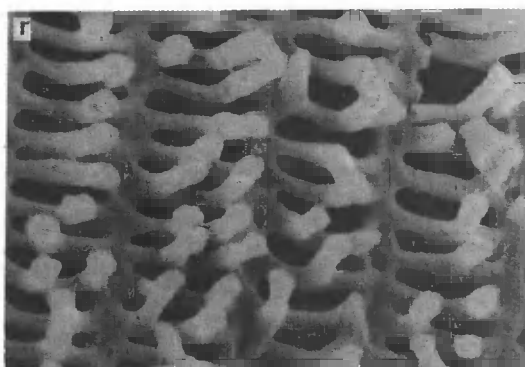
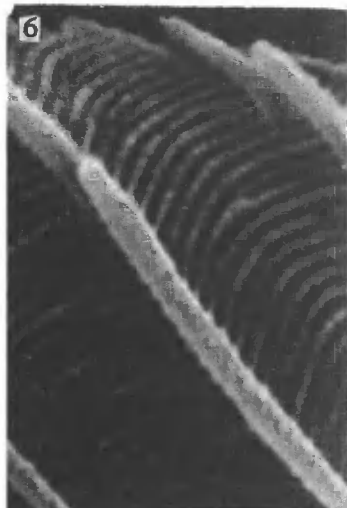
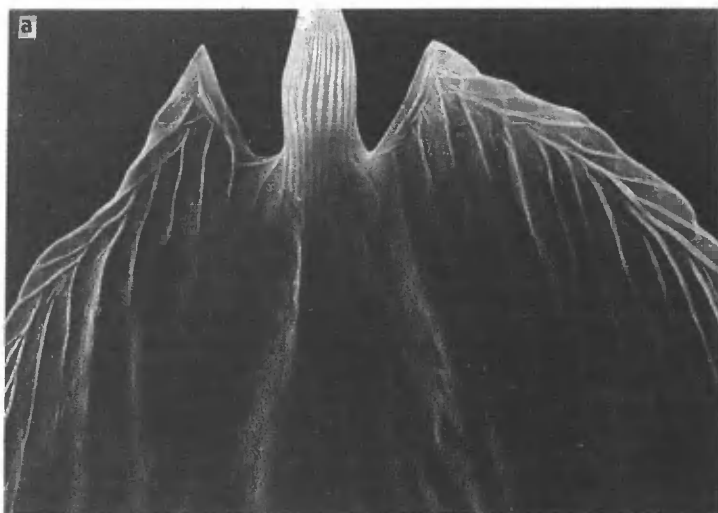
При зеркальном отражении насыщенность цвета значительно выше, чем при диффузном. В этом легко убедиться, покрыв матовую фотографию лаком. Поверхность чешуйки тоже можно рассматривать как поверхность с прозрачным покрытием. Подтверждением этому может быть голубой оттенок, который появляется благодаря интерференции. Световые волны, попав на пластинку чешуйки, частично отражаются от нее, а остальные проходят внутрь и, отражаясь от ее внутренней поверхности, выходят наружу, где накладываются на уже отраженные. При совпадении фаз происходит интерференция с усилением, это возможно лишь, когда толщина прозрачного слоя равна половине длины волны света синего диапазона. В этом случае разность хода волн будет равна их длине, так как волна проходит пластинку два раза.

Кроме «ячеистых» чешуек на крыле находятся и обычные, которые так же, как и первые, образуют скопления. Таким образом, возникают поверхности с разным отражением — диффузным и зеркальным. Это сочетание и придает крыльям мягкий перламутровый блеск.

Чешуйки с сохранившейся верхней пластинкой встречаются и у бабочек других семейств. У хвостоносца Маака (*Parilio maackii*) они периодически видны среди чешуек, рассеивающих свет. Особенность таких чешуек в том, что пространство



Микрофотографии чешуйки капустницы: гранулы в отверстиях «решетки» (а — увел. 10 000); перевернутая чешуйка с теми же гранулами (б — увел. 10 000); гранулы удерживаемые гребнями и ребрами (в — увел. 15 000).



Нижняя пластинка чешуйки крапивницы: складки, покрывающие пластинку по всему периметру (а — увел. 2000); продольные складки на противоположном от стебелька крае (б — увел. 15 000, в — 20 000); трабекулы, ставшие видимыми после удаления нижней пластинки (г — увел. 10 000).

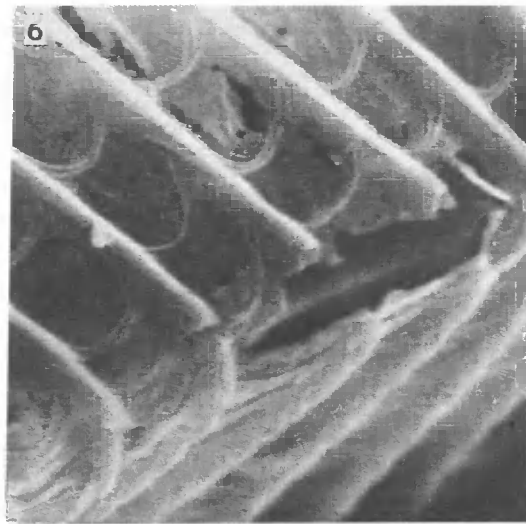
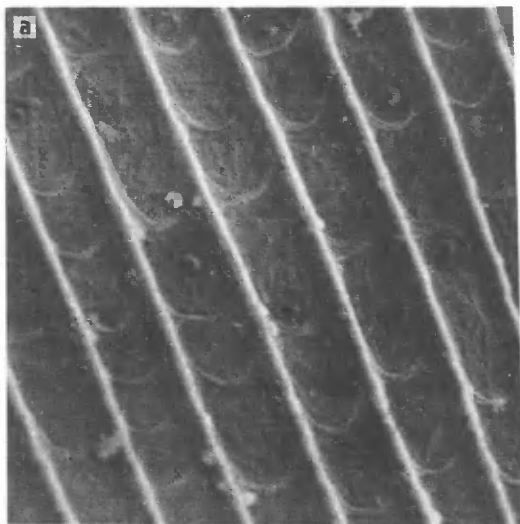
между внешними пластинками у них заполнено внутренними, разделенными множеством небольших выступов.

Интересна внешняя поверхность чешуек у совков металлоидок: между гребнями она покрыта сомкнутыми параллельными складками, благодаря чему на крыльях появляется металлический блеск. Такими же оказались чешуйки и у неидентифицированной моли. Поверхность этих чешуек аналогична шелковой ткани, у которой с лицевой стороны под стежками, расположенными в одном направлении, скрываются поперечные к ним нити. При проглажи-

вании неровности исчезают, и на материале появляется шелковистый блеск, который зависит от положения стежков к свету.

«Металлические» чешуйки *Autographa excelsa* окрашены в желтый цвет. При падении света поперек складок желтые лучи отражаются от пигментов, находящихся в параллельных складках, и движутся в одном направлении. Отразившись от последовательных точек, две световые волны приходят в третью, где накладываются друг на друга. Волны имеют некоторую разность хода, так как путь, пройденный до наложения, неодинаков. Если в длине, которая составляет разность, укладывается четное число полуволн, то к этой третьей точке они приходят с одинаковыми фазами и при наложении их амплитуды увеличиваются, т. е. происходит интерференция.

У металлоидки тутти золотисто-зеленый металлический цвет занимает большую часть крыла. Зеленый цвет появляется при смешивании желтого и интерферен-



Фрагмент верхней пластинки «ячестой» чешуйки (а — увел. 10 000) и ее излом (б — увел. 18 000).

ционного голубого³. Природное смешение цветов используют ювелиры: добавляя к золоту другие металлы, они получают золото разных оттенков, в том числе и желто-зеленое.

Голубой оттенок хорошо виден у этих же бабочек на серых экземплярах: серый цвет под лучами света становится серебристым с нежно-голубым оттенком.

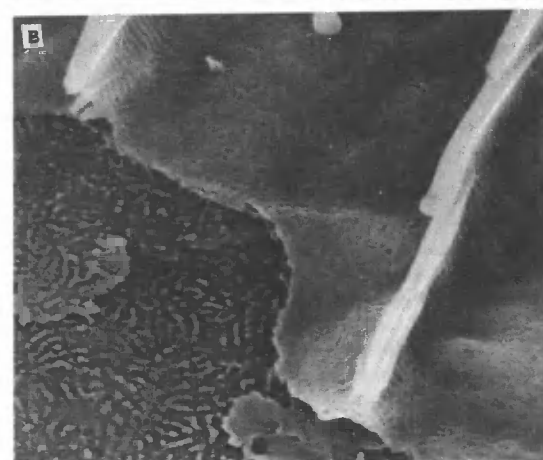
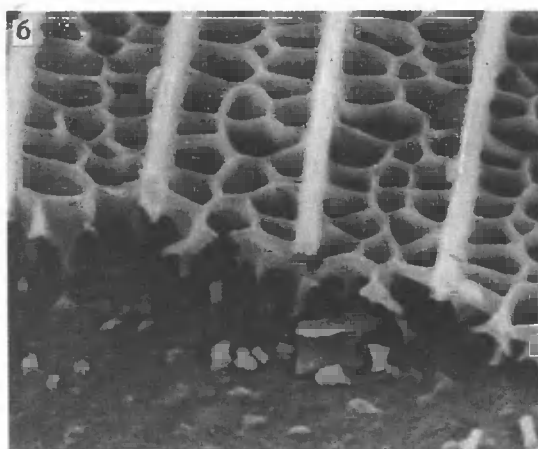
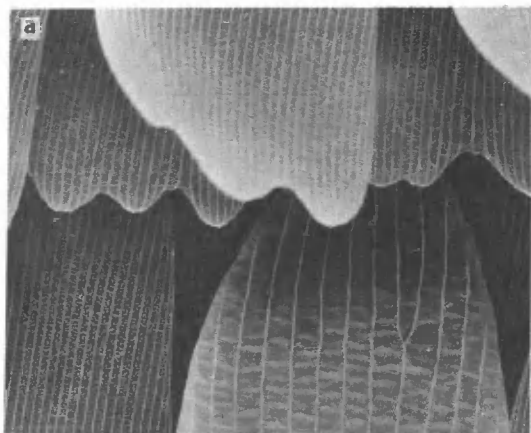
Голубые и синие цвета часто встречаются в окраске бабочек. Они могут присутствовать в качестве оттенков или быть составной частью рисунка. Появление синего цвета кажется неожиданным у переливницы: у нее при повороте крыла относительно света коричневую окраску сменяет синяя. Этот эффект связан с чередующимися оптическими и пигментными чешуйками. Гребень оптической чешуйки состоит из тончайших пластинок, налегающих одна на другую: один конец каждой пластинки выходит наверх, другой спускается и переходит в поперечное ребро и трабекулы. У некоторых чешуек видны гребни, которые склоняются то в одну, то в другую сторону, соприкасаясь при этом верхними пластинками с такими же соседними гребнями. Это открывает доступ света к боковым сторонам гребней под другим углом и рас-

ширяет возможность появления интерференции.

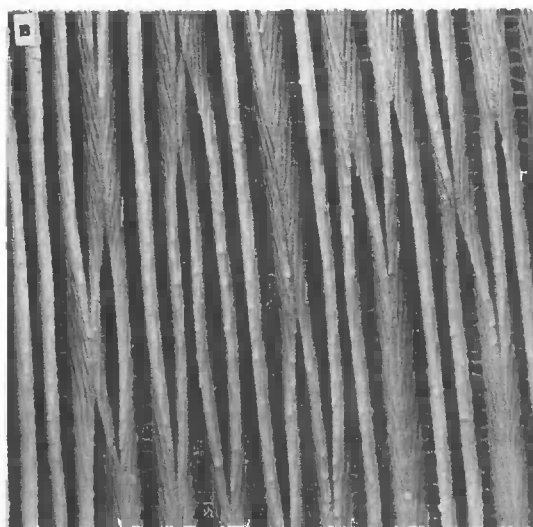
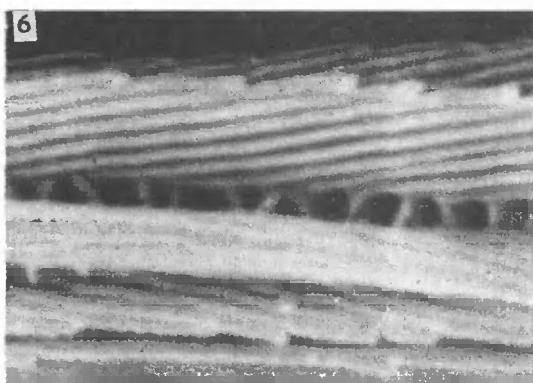
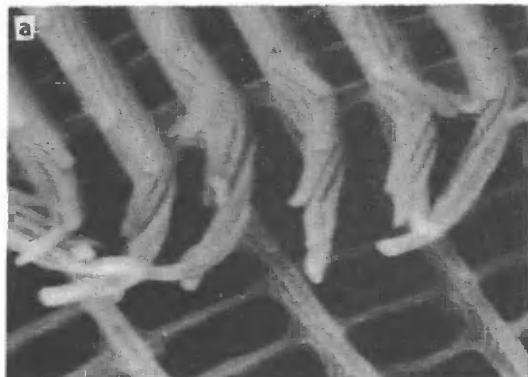
У крупных южноамериканских бабочек морфид синий цвет на крыльях виден постоянно, причем у некоторых видов он сочетается с ослепительным блеском. Гребни бабочек *Morpho rhetenor* состоят из сомкнутых пластинок разной ширины, при этом боковая сторона нижней пластинки выходит из-под верхней наподобие лестницы. Интерференция возникает между световыми волнами, отраженными от поверхностей и находящимися на разном уровне, равном толщине пластинки.

Постоянное присутствие блеска на крыльях *Morpho rhetenor* связано с поляризацией света чешуйками. Возникает она при отражении света на границе раздела двух сред, например воздуха и воды. Но у бабочек на границе раздела воздух — хитин такой поляризации не происходит, свет проникает внутрь пластинок. Очевидно, поляризация зависит от их внутреннего строения, т. е. от особенностей хитина. В химическом отношении хитин представляет собой азотсодержащий полисахаридный полимер, каждая молекула которого включает несколько сот элементарных звеньев. Эти молекулы, вытянутые в длину, связаны с белком и объединены в нитевидные пучки. Помимо такого структурированного хитина есть еще и бесструктурный, но из какого состоят чешуйки бабочек — пока не известно. Для объяснения поляризации света на крыльях

³ Ghiradella H. Structure and development of iridescent Lepidopteran scales: The Papilionidae as showase family // An. Entomol. Soc. Amer. 1985. V. 78. N 2. P. 252—264.



Микрофотографии чешуек хвостоносца Маака (а — увел. 600). Среди рассеивающих свет «сетчатых» чешуек (б — увел. 10 000) встречаются чешуйки со сплошной волнистой поверхностью (в — увел. 3500).



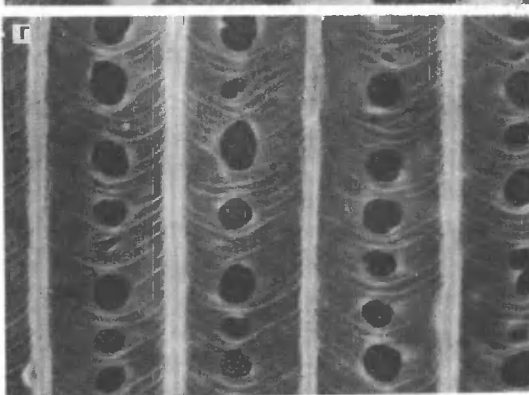
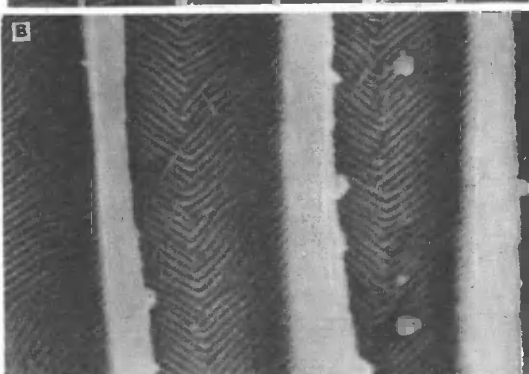
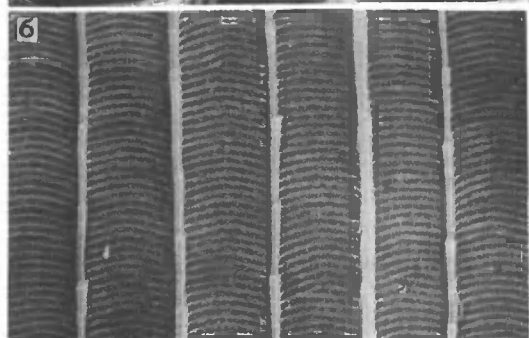
Микрофотографии чешуек переливницы: общий вид (а — увел. 11 000); пластинки, из которых состоят гребни оптических чешуек (б — увел. 10 000), и сами гребни (в — увел. 3700).

морфид можно предположить, что внешний слой — бесструктурный, а внутренний — из ориентированных нитевидных пучков. Луч света, попав во внешний, бесструктурный хитиновый слой, расщепляется на два поляризованных луча, перпендикулярных друг к другу. Дойдя до ориентированного хитина, один луч проходит через него, другой отражается и выходит наружу, т. е. механизм поляризации сходен с поляризацией при двойном лучепреломлении.

На крыльях тех морфид, у которых блеска нет, строение гребней другое. У них длинные пластинки разделены между собой многочисленными перегородками, отстоящими на равном расстоянии друг от друга. В результате этого получаются сквозные квадратные отверстия. Строение гребней оптических чешуек одинаково, отличаются же они тем, что у верхних гребни расположены намного реже. У них исчезают поперечные ребра и видны только нити хитина, тянущиеся по нижней пластинке. Под гребнями этих чешуек проходит широкий желоб, а вся конструкция из пластинок находится на многочисленных опорах (трабекулах), у которых от основного стержня к своду желобка отходят лучи, увеличивая тем самым площадь соприкосновения. С боков гребни поддерживаются трабекулами, в которые переходят стенки желобков.

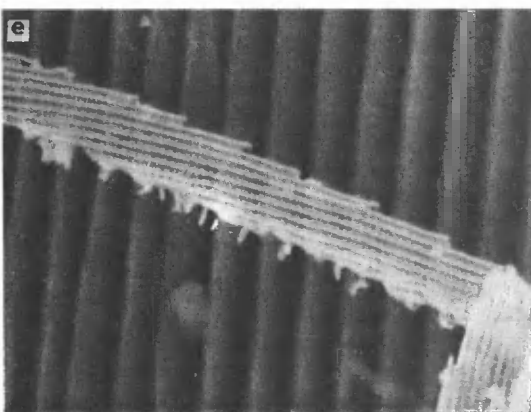
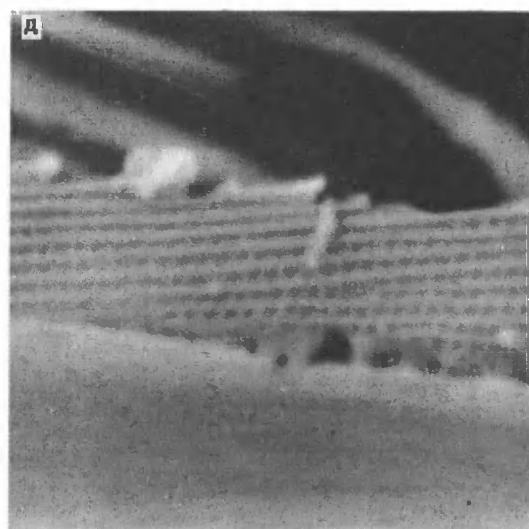
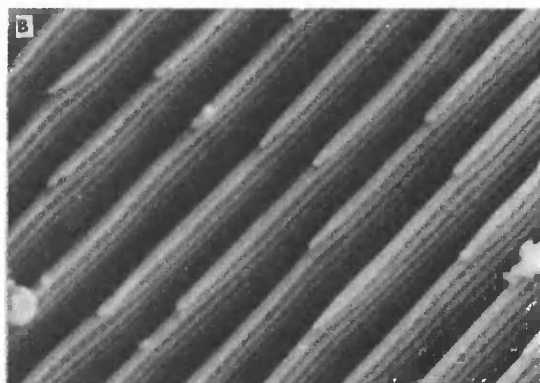
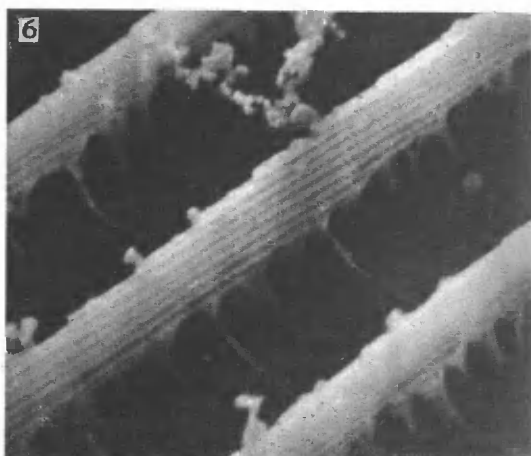
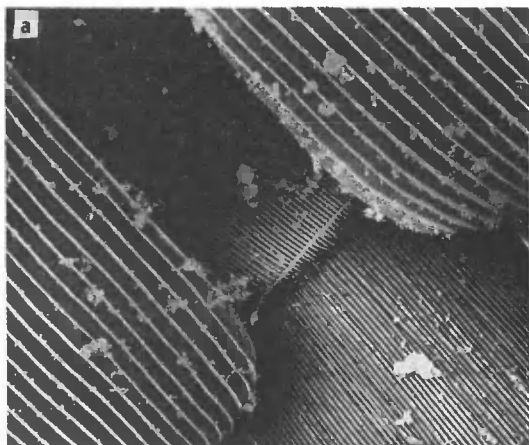
Интерференция у морфид «возникает, когда свет отражается горизонтальными выступами на поверхности чешуйки или штабелями тонких пластинок, которые составляют внешнюю кутикулу чешуйки. Эти радужные чешуйки также содержат пигмент, обычно темный меланин»⁴.

Рассматриваемые чешуйки не идентифицированной нами морфиды в световом микроскопе при 200-кратном увеличении выглядят бледно-желтыми. Они окрашены меланином, который отражает желтые лучи и поглощает остальные, поэтому интерференция на таких чешуйках возможна только между волнами, отраженными первоначально от внешних поверхностей, находящихся на разном уровне. Однако боковые стороны практически не выступают, к тому же их разделяет большое расстояние, которое меняется по всей длине. Все это говорит о том, что при таком строении на окрашенных чешуйках интерференция за счет отражения от внешних пластинок возникнуть не может. Свет, прошедший внутрь пластинки, должен рассеиваться пигментами.

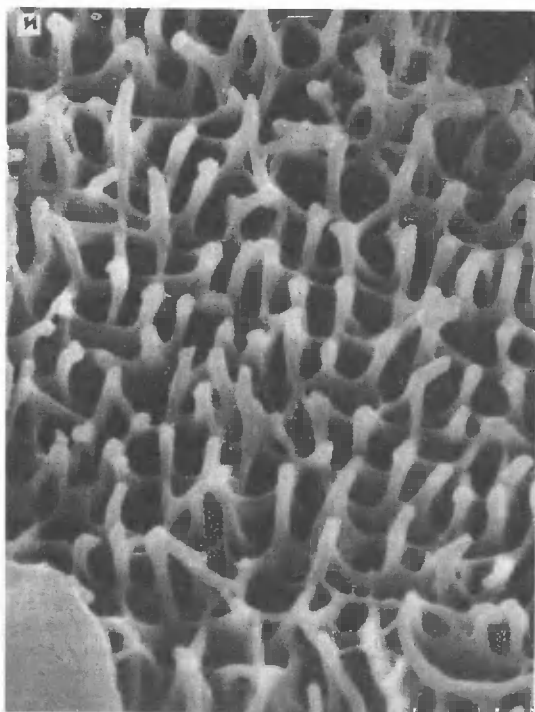
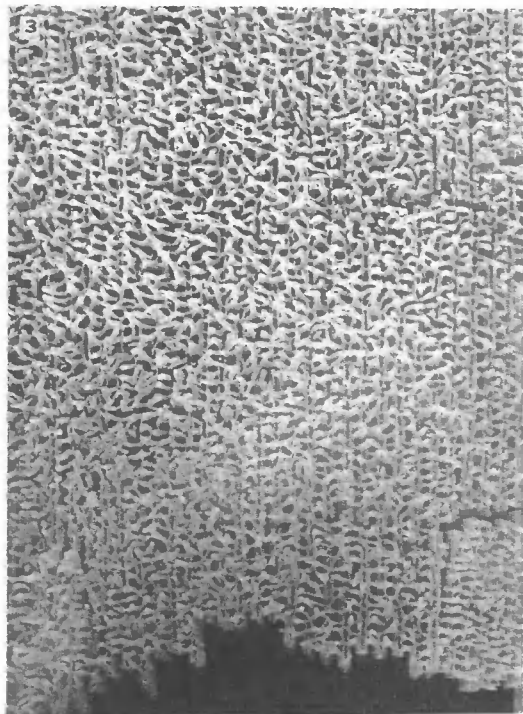
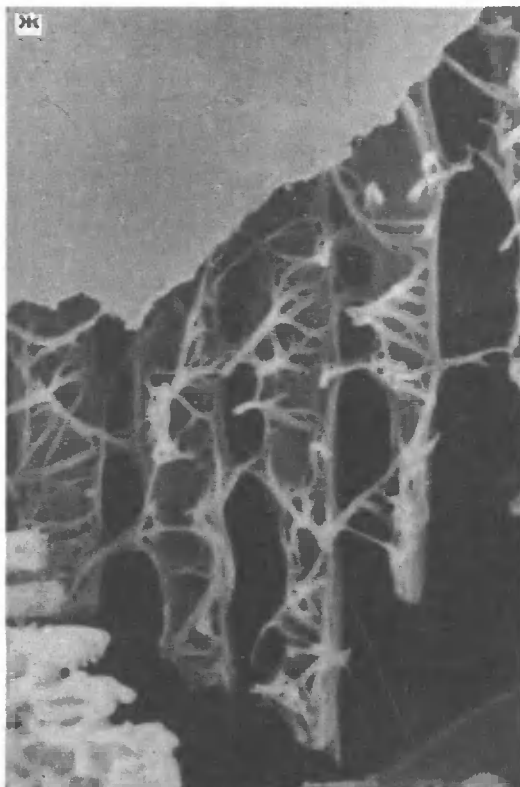


«Металлические» чешуйки двух метелловидок (а, в — увел. 10 000) и неидентифицированной моли (б — увел. 7000), «шелковистые» чешуйки метелловидки тутти (г — увел. 10 000).

⁴ Nijhont H. F. The Color Patterns of Butterflies and Moths // Scientific American. 1981. N 11.



Микрофотографии чешуек неидентифицированной морфиды: общий вид (а — увел. 800); верхние чешуйки с редким расположением гребней (б — увел. 10 000); в нижних чешуйках гребни расположены часто (в — увел. 10 000); нижние межгребневые пространства, покрытые сеткой мелких отверстий (г — увел. 40 000). Видно, что строение гребней обоих типов чешуек одинаково (д — увел. 15 000); при небольшом увеличении отверстия в гребнях просматриваются насквозь (е — увел. 2500). Трабекулы верхних (ж — увел. 5000) и нижних чешуек (з — увел. 2700, и — увел. 100 000).



Возможно, пигменты в чешуйках морфиды, о которой идет речь, откладываются в трабекулах и нижней пластинке и оказывают влияние на цвет гребней. При низкой концентрации пигментов пластинки становятся прозрачными, или, как их еще называют, стеклянными.

Появление синего цвета на крыльях морфид со стеклянными чешуйками объясняется интерференцией в результате преломления (выступающие боковые плоскости достаточны для того, чтобы интерференция возникла). При фронтальном взгляде на боковую сторону гребня пластинки выглядят ровными, одной ширины. На поперечном же срезе «штабель тонких пластинок» предстает как серия выступов в обе стороны.

Считается, что интерференция на чешуйках морфид достаточно хорошо изучена, и все же остаются вопросы, на которые можно было бы ответить, изучив поведение света на гребнях.

В заключение можно сказать, что многие вопросы, связанные с цветом и блеском, не освещены подробнее, так как рассматривались только в контексте строения чешуек различных видов бабочек.

«Зачем вы подались в науку, Фредерикс?»

А. С. Сонин,
доктор физико-математических наук
Москва

В. Я. Френкель,
доктор физико-математических наук
Санкт-Петербург

В ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ к нам из небытия вернулись имена многих крупных физиков, незаконно репрессированных в период сталинизма. Теперь все знают, как много потеряла физика из-за того, что из нее были вырваны такие выдающиеся ученые, как М. П. Бронштейн, В. Р. Бурсиан, А. Ф. Вальтер, А. А. Витт, Л. В. Шубников и многие другие. В этом ряду на одном из первых мест должен стоять В. К. Фредерикс, погибший в силу трагических обстоятельств 50 лет назад.

Фредерикса арестовали в конце 1936-го. К этому времени он был уже ученым с мировым именем, теоретиком и экспериментатором, известным своими работами в области механических свойств и оптики металлов, твердых и жидких кристаллов, электродинамики и оптики, теории относительности. Он был автором вузовских учебников, профессорствовал и руководил лабораториями в Ленинградском университете и Физико-техническом институте.

Все рухнуло в один день, и на долгие годы имя Фредерикса оказалось под запретом. Лишь в 1957 г., спустя 13 лет после смерти, он был реабилитирован. С тех пор минуло не одно десятилетие. Но история физики слишком долго вынуждена была обходить имя Фредерикса и его разнообразный вклад в науку. В результате он и по сию пору все еще не занял подобающего ему места в научных летописях. Может быть, предлагаемая здесь его краткая научная биография сыграет свою роль.

ПУТЬ В МЕККУ МАТЕМАТИКОВ И ФИЗИКОВ

Род Фредериксов ведет свое начало от плененного войсками Петра I шведского солдата. Он был депортирован в Архангельск, там обзавелся семьей и на родину



Всеволод Константинович Фредерикс (1885—1944).

не вернулся. Его сын получил дворянство и титул барона во времена Екатерины II¹.

Фредериксы дали России много крупных военных и государственных деятелей. Дед Всеволода Константиновича дослужился до генерал-лейтенанта, был губернатором Восточной Сибири. Отец, Константин Платонович, тоже генерал (действительный статский советник), занимал должность вице-губернатора Нижнего Новгорода.

Мать В. К. Фредерикса, Ольга Владимировна Менгден, также баронского рода,

© Сонин А. С., Френкель В. Я. «Зачем вы подались в науку, Фредерикс?»

¹ Эти сведения сообщены сыну В. К. Фредерикса, Дмитрию Всеволодовичу, генеалогом г. Иконники-вым (Франция).

обладала несомненным литературным талантом и сотрудничала в детских и юношеских журналах. Она печаталась под псевдонимом Всеволодова. Естественно, ее рассказы проверялись на сыне Всеволоде.

Всеволод Константинович родился 13 апреля 1885 г. Школьные годы прошли в Нижнем Новгороде, где он учился в Александровском дворянском институте (знаменитой мужской гимназии). Сверхуспехами Фредерикс не отличался, но был «очень исправен», а по естественным наукам и математике всегда имел «пять».

После окончания гимназии, по распространенному обычаю того времени, Фредерикс поехал получать высшее образование за границу. Он решил учиться в Женевском университете, видимо потому, что оттуда было удобно наезжать в университеты Германии и Франции. Фредерикс предпочел другим факультетам физический, где профессором состоял Шарль Гюи, физик европейского уровня. Он был незаурядной личностью и превосходным педагогом. От него ведет свое начало Фредерикс-экспериментатор, постигший под его руководством тонкости экспериментального искусства, а также определившийся в отношении тематики исследований. У Гюи Фредерикс занимался изучением упругих свойств металлов в широком температурном диапазоне. Он измерил модуль кручения золота, серебра, алюминия, магния и железа при нескольких фиксированных температурах от -196°C до 100°C . Эта работа стала его докторской диссертацией, которую он защитил в Женевском университете в 1909 г.²

Уже тогда Фредерикс показал себя отличным экспериментатором. Поражает необычно зрелый для молодого физика подход к конструированию экспериментальной установки, скрупулезный анализ возможных погрешностей, тщательная обработка экспериментальных результатов. После блестящей защиты диссертации Фредерикс мог с полным основанием считать себя профессионалом в области экспериментальной физики твердого тела. Он имел возможность вернуться домой и легко получить место в любом, даже столичном университете, ибо физиков с такой подготовкой в России тогда было совсем мало. В перспективе его ждала профессорская кафедра и спокойная плодотворная работа.

Но у Всеволода Константиновича были совсем другие планы. Он не спешил воз-

вращаться домой, его путь лежал в Мекку математиков и физиков того времени — Геттинген.

Что же влекло туда 25-летнего доктора философии? Гюи много дал Фредериксу. Он сделал из него хорошего физика-экспериментатора. Что же касается теоретической подготовки, то Фредерикса, по-видимому, она не удовлетворяла. Поэтому он решил поработать с таким видным теоретиком в области физики твердого тела, как Вольдемар Фойгт, директор Физического института Геттингенского университета. С 1 сентября 1911 г. он занял место ассистента профессора теоретической физики этого института³.

Однако заняться теорией ему не пришлось. Фойгт поручил Фредериксу экспериментальную работу — измерить коэффициенты отражения света ряда металлов в широком спектральном диапазоне. Фойгт, по-видимому, просто решил использовать его опыт в работе с металлами.

Фредерикс выполнил целую серию таких исследований. В 1912—1914 гг. он разработал аппаратуру, позволявшую измерять коэффициенты отражения в диапазоне $0.25\text{—}0.67\text{ мкм}$ и $0.8\text{—}5\text{ мкм}$ и провел тщательные измерения хрома, марганца, серебра, золота, платины, меди, иридия; все это было обработано в соответствии с классической теорией Друде. Результаты, полученные в этих работах (в соавторстве с К. Ферстерлингом, докторантом, которым руководил Фредерикс), отличаются особой точностью и до сих пор цитируются во всех монографиях по металлооптике⁴.

Незадолго до начала первой мировой войны Фредерикс выполнил вместе с Фойгтом ставшую классической работу по изучению прямого пьезоэлектрического эффекта в кварце при его кручении и изгибе. Теоретически вопрос о том, по каким направлениям в кристалле кварца должны возникать электрические заряды при деформации кручения, долгое время оставался дискуссионным. Эксперимент же, выполненный еще в 1889 г. В. Рентгеном, указывал, что при закручивании этого кристалла вокруг оси третьего порядка электрические заряды возникают на гранях, параллельных оси. В 1910 г. Фойгту удалось разработать точную теорию пьезоэлектрического эффекта. Из нее следовало, что при геометрии опыта Рентгена пьезоэлектрический эффект в квар-

² Freedericksz V. Sur le frottement interieur des solides aux basses temperatures. These presentee a la faculte des sciences de l'universite de Geneve pour obtenir le grade docteur. Geneve, 1910.

³ Архив Геттингенского университета. Akte IIID-335(58).

⁴ Freedericksz V. // Ann. Phys. 1911. Bd. 3A. S. 780—796; 1913. Bd. 40. S. 201—232; 1914. Bd. 43. S. 1227—1234.



В год защиты докторской диссертации. Женева.

це невозможен. Фойгт поручил Фредериксу поставить корректный, в соответствии со своей теорией, эксперимент. Из нее следовало, что если кручение осуществлять вокруг оси второго порядка, то пьезоэлектрические заряды возникнут на гранях, перпендикулярных оси третьего порядка.

Эксперимент прекрасно подтвердил теорию Фойгта. До сих пор эта работа Фойгта и Фредерикса — наиболее цитируемая в области пьезоэлектричества⁵. Но после столь блестящего научного старта на жизненном пути Фредерикса стали возникать серьезные препятствия.

Началась война. Всеволода Константиновича объявили «гражданским пленным». Это означало, что над ним установлено наблюдение полиции и, что более существенно, он оказался без средств к существованию, поскольку Фойгт был вынужден уволить своего ассистента, хотя и предоставил ему возможность продолжать экспериментальную работу бесплатно. Выручил Фредерикса Д. Гильберт, которому Фойгт рекомендовал его в качестве «частного ассистента». Эта

категория преподавателей получала жалование из личных средств профессора.

В это время Гильберт интересовался проблемами общей теории относительности, и Фредерикс с энтузиазмом начал помогать ему в физических вопросах, параллельно осваивая новую для себя область теоретической физики. Теплые отношения и контакты с Гильбертом сохранились у Фредерикса и после отъезда из Германии, о чем свидетельствует их переписка⁶.

РАБОТЫ В ОБЛАСТИ ОТО

После заключения Брестского мира Фредерикс получил возможность вернуться на родину. Вначале он обосновался в Москве, подальше от всех фронтов. Его пригласил к себе в только что открытый Институт физики и биофизики возглавлявший его академик П. П. Лазарев. Однако там что-то у Всеволода Константиновича не заладилось, и через 10 месяцев Фредерикс перебирается в Петербург. Здесь он сразу включается в активную преподавательскую и научную работу. Физиков такого класса в стране было совсем немного, и Фредерикс оказался, что называется, нарасхват. Он работал старшим научным сотрудником в Государственном оптическом институте (ГОИ), профессором Педагогического института и доцентом физикоматематического факультета университета.

В ГОИ Фредерикс стал членом Атомной комиссии, куда директору ГОИ академику Д. С. Рождественскому удалось собрать весь цвет тогдашних петербургских физиков: А. Ф. Иоффе, В. А. Бурсиана, Ю. А. Круткова, А. И. Тудоровского, механика А. Н. Крылова, математиков Н. И. Мухелишвили и А. А. Фридмана. В задачи Атомной комиссии входило решение экспериментальных и теоретических проблем в области взаимодействия электронов с электрическим полем ядра тяжелых атомов, учет магнитного взаимодействия между электронами, исследование природы рентгеновского излучения. Фредерикс участвовал в работе над первой из перечисленных проблем.

Сохранился его доклад о результатах работы. К расчету эффекта Штарка для сложных атомов Фредерикс привлек понятие адиабатических инвариантов, к тому времени наиболее успешно развиваемое П. С. Эренфестом и его петербургским учеником Ю. А. Крутковым. Используя общие методы аналитической механики, Фредерикс тща-

⁵ Voigt W., Fredericksz V. // Ann. Phys. 1915. Bd. 48. S. 145—176.

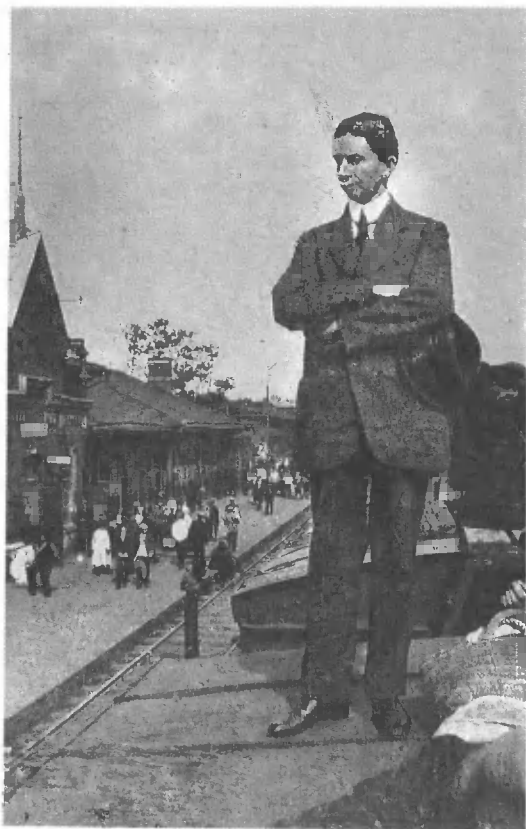
⁶ Визгин В. П., Френкель В. Я. Всеволод Константинович Фредерикс — пионер релятивизма и физики жидких кристаллов в СССР // Эйнштейновский сборник. 1984—1985. М., 1988. С. 106—142.

тельно проводит сравнение между способами расчета, которые использовали в аналогичных работах П. С. Эпштейн (основное внимание уделявший эффекту Штарка) и А. Зоммерфельд (соответственно — расчету серии Бальмера и эффекту Зеемана). Работу Фредерикса отличает тщательность в выполнении громоздких расчетов. Она свидетельствует о совершенном владении ее автора математическими методами и идеями квантовой теории Бора — Зоммерфельда. Сейчас, однако, это исследование представляет лишь исторический интерес.

На заседаниях Атомной комиссии произошло знакомство Фредерикса с Фридманом, перешедшее затем в тесное сотрудничество. Можно думать, что именно Фредерикс, хорошо знавший общую теорию относительности (ОТО), заинтересовал ею Фридмана. Вскоре они стали главными распространителями идей Эйнштейна в Петрограде и, шире, России.

Уже в 1921 г. Фредерикс опубликовал в «Успехах физических наук»⁷ большую обзорную статью с последовательным изложением идей ОТО. Одновременно, вместе с Фридманом, он начинает работать над фундаментальным курсом «Основы теории относительности», первый выпуск которого вышел в 1924 г.⁸ Он посвящен математическим основам ОТО (тензорное исчисление), без усвоения которых невозможно глубокое понимание идей ОТО. Предполагалось написать еще четыре выпуска, которые должны были включить геометрию многомерных пространств, электродинамику, специальную и общую теории относительности. К сожалению, этот план не был реализован, главным образом из-за смерти в 1925 г. 30-летнего Александра Александровича Фридмана.

Однако Фредерикс продолжал работать в области ОТО. В 1926—1928 гг. он выполнил шесть оригинальных работ (четыре из них — вместе с молодыми теоретиками Г. А. Манделем, А. А. Изаксоном и А. Б. Шехтер). Две из этих работ посвящены силам инерции в ОТО. Фредерикс использовал эффект Тирринга (возникновение центробежной силы и силы Кориолиса в центре вращающейся сферы) для трактовки аналогичных сил на поверхности Земли, если считать ее неподвижной, а звезды — вращающимися⁹. Кроме того, рассмотрел вращение



Возвращение в Россию на крыше вагона.

небесного свода и соответственно эффекты параллакса и aberrации в космологических моделях с ненулевой кривизной¹⁰.

Две другие работы касались проблемы электрона в ОТО. Введя равноускоренную систему координат, в которой электрон покоится, и рассматривая его в соответствии с принципом эквивалентности, Фредерикс показал, что электрон излучает только тогда, когда однородное поле нестационарно¹¹. Другая статья затрагивает вопросы, примыкающие к проблеме единых теорий поля. В ней исследована возможность, в рамках полевого уравнения Эйнштейна, дополненного «материальным» тензором энергии-импульса электромагнитного поля, получить и обсудить проблему размеров электрона¹².

И, наконец, последние работы этого ряда относятся к единым геометризованным

⁷ Фредерикс В. К. // Успехи физ. наук. 1921. Т. 2. Вып. 1. С. 162—188.

⁸ Фридман А. А., Фредерикс В. К. Основы теории относительности. Л., 1924.

⁹ Фредерикс В. К. // ЖРФХО. Ч. физ. 1925. Т. 57. С. 475—483.

¹⁰ Фредерикс В. К., Шехтер А. Б. // ЖРФХО. 1928. Т. 60. С. 469—484.

¹¹ Фредерикс В. К., Мандель Г. А. // ЖРФХО. Ч. физ. 1926. Т. 58. С. 387—393.

¹² Frederiks V., Isakson A. // Phys. Z. 1926. Bd. 38. S. 788—802.



Среди участников III съезда российских физиков во время экскурсии на пароходе по Волге. Нижний Новгород, 1922 г.

теориям поля. Одна из статей посвящена аффинно-метрической теореме Эйнштейна¹³, другая — проблеме синтеза ОТО с электродинамикой и квантовой теорией на основе пятимерного обобщения ОТО¹⁴.

Оценивая работы Фредерикса в этой области, еще раз отметим, что он был одним из тех немногих физиков 20-х годов, кто активно содействовал утверждению у нас ОТО. В этом плане Фредерикс оказал существенное влияние на Фридмана и В. А. Фока, которые внесли фундаментальный вклад в релятивистскую теорию гравитации и космогонии.

УЧИТЕЛЬ

Мы уже упоминали о преподавательской деятельности Фредерикса. Естественным ее продолжением явилось издание курсов и лекций в виде учебников, а также написание обзорных и научно-популярных статей.

¹³ Frederiks V., Isakson A. // Phys. Z. 1926. Bd. 38. S. 48—60.

¹⁴ Фредерикс В. К. Теория Шредингера и общая теория относительности // Основания новой квантовой механики. М.—Л., 1927. С. 83—98.

В 1934 г. вышла книга Фредерикса «Электродинамика и введение в теорию света», написанная на основе курса лекций, много лет читавшегося на физико-математическом факультете университета. Это солидный учебник объемом в 38 печатных листов, содержащий подробные вычисления и снабженный примерами и задачами¹⁵. По своей идеологии он близок к знаменитой книге И. Е. Тамма «Электродинамика».

Второй учебник Всеволода Константиновича — «Курс общей физики» — был издан в 1935 г. Здесь Фредерикс выступает, вместе с профессором Ленинградского университета А. П. Афанасьевым, в качестве редактора. Авторами же отдельных глав книги были известные физики: А. П. Александров, Н. И. Добронравов, И. К. Кикоин, Д. Н. Наследов, Ю. Б. Харитон, Е. А. Штрауф. Однако и роль редакторов была велика! Они сумели придать тексту стилистическое единство, выстроить последовательность глав, которая отличалась от традиционной исторической и была обусловлена логикой.

«Курс общей физики» имел большой и заслуженный успех. Ну а то обстоятельство, что во втором его издании отсутствует фамилия Фредерикса и даже его подпись под предисловием, увы, примета того вре-

¹⁵ Фредерикс В. К. Электродинамика и введение в теорию света. Л., 1934.

мени (достаточно вспомнить А. А. Витта и книгу «Теория колебаний», написанную им совместно с А. А. Андроновым и С. Э. Хайкиным).

Большое место в научно-педагогической деятельности Фредерикса занимают историко-физические исследования. Под его редакцией и с его содержательными комментариями вышли труды классиков физической оптики О. Френеля «О свете» и Х. Гюйгенса «Трактат о свете». Перевела обе эти книги сестра Фредерикса математик Наталья Константиновна. Значительный успех имел вышедший в 1935 г. сборник «Принципы относительности». В него вошли переводы классических статей Х. Лоренца, А. Пуанкаре, А. Эйнштейна и Г. Минковского. Редактировали сборник и комментировали эти статьи В. К. Фредерикс и Д. Д. Иваненко.

В 1927 г. вышла статья В. К. Фредерикса «Начала механики Ньютона и принцип относительности», написанная к 200-летию со времени кончины Ньютона и опубликованная в специальном номере «Успехов физических наук», посвященном этой дате.

ПОВОРОТ К ЖИДКИМ КРИСТАЛЛАМ

В 1924 г. Фредерикс был введен в состав Ученого совета физико-технического института и вскоре стал заведовать в нем лабораторией жидких кристаллов. Экспериментатор в области упругости и оптики металлов и твердых кристаллов, теоретик — специалист в области ОТО, и вдруг — жидкие кристаллы! Объяснить этот феномен невозможно. Но именно в области физики жидких кристаллов Фредериксом были получены фундаментальные результаты, без преувеличения, обессмертившие его имя.

К тому времени, когда Фредерикса заинтересовали жидкие кристаллы, основной проблемой в этой области считалась природа сил, действующих между анизотропными молекулами жидкости и обеспечивающих их ориентационное упорядочение. Фредерикс решил изучать их, помещая жидкие кристаллы в магнитные и электрические поля¹⁶. На этом пути им были сделаны важные открытия.

Прежде всего было достоверно установлено, что жидкие кристаллы, обладающие только ориентационным упорядочением (их называют нематиками), действительно ориентируются магнитным полем. При этом их молекулы выстраиваются своими длинными осями вдоль направления по-



В Петербурге. 1922 г.

ля. Этот эффект в 70-е годы, по предложению нобелевского лауреата французского физика П. де Жена, получил название «переход Фредерикса». Выяснена была и причина этого эффекта — взаимодействие магнитного поля с анизотропией диамагнитной восприимчивости нематиков.

Для подробного изучения кинетики этого перехода была разработана оригинальная методика, которая теперь считается классической. Нематик помещают в зазор между плоским и выпуклым стеклами так, что в исходном состоянии длинные оси молекул располагаются перпендикулярно плоскому стеклу. Такой препарат, наблюдаемый в параллельном свете, кажется темным. Если его поместить в магнитное поле, параллельное плоскому стеклу, то молекулы нематика станут, начиная с краев, выстраиваться вдоль поля. В этой части параллельный пучок света дает интерференционные кольца, по ширине которых и судят о величине переориентируемой области.

Этими экспериментами было установлено, что для каждой напряженности поля существует своя предельная толщина слоя, до которой нематик сохраняет первоначальную ориентацию. Это положение сейчас известно как закон Фредерикса. Он указывает,

¹⁶ Архив ФТИ. Ф. 1. Оп. 1. Ед. хр. 23. Л. 3.



На семинаре у А. Ф. Иоффе в Физико-техническом институте. Справа от Иоффе — В. Р. Бурсиан и Н. Н. Семенов, слева — Я. И. Френкель, П. И. Лукирский; последний в этом ряду — В. К. Фредерикс. Середина 30-х годов.

что переориентация нематика в магнитном поле имеет пороговый характер и описывается неким критическим полем (поле Фредерикса). Выражение для этого критического поля было получено Фредериксом в 1930 г. Все эти классические работы были выполнены Фредериксом вместе с его сотрудниками А. Н. Репьевой, В. В. Золиной и В. Н. Цветковым (ныне членом-корреспондентом РАН)¹⁷.

В 30-е годы последовала целая серия выдающихся работ Фредерикса (вместе с Золиной и Цветковым) по влиянию электрического поля на ориентацию нематиков.

Разобраться во взаимодействии электрического поля и жидкого кристалла было очень сложно, так как из-за конечной электропроводности нематик мог ориентировать-

ся вследствие движения носителей заряда. Фредерикс и Цветков подвергли жидкий кристалл одновременному действию и магнитного и электрического поля. Поскольку влияние магнитного поля на ориентацию нематика было предсказуемо, то при уменьшении или увеличении напряженности электрического поля (при фиксированной напряженности магнитного) можно было надежно судить о его влиянии. Эти классические работы показали, что причиной ориентации нематика в электрическом поле является анизотропия диэлектрической проницаемости, а не постоянные дипольные моменты, как думали раньше.

Эффекты ориентации (переходы Фредерикса) имеют место в полях немного выше критического ($\sim 10^3$ Э и 10^3 В/см). В электрических полях выше критических Фредерикс и Золина обнаружили новый интересный эффект — возникновение периодической структуры (названной доменной). Эта структура создается вследствие периодических деформаций нематика, которые могут сопровождаться и периодическим течением вещества.

В еще больших электрических полях течение нематика становится хаотичным, возникают микроскопические вихри, которые сильно рассеивают свет. Препарат становится молочно-белым. Этот эффект и образование доменной структуры были в 60-е годы переоткрыты американскими уче-

¹⁷ Репьева А., Фредерикс В. К. // ЖРФХО. 4. Ч. физ. 1927. Т. 59. С. 183—200; Phys. Z. 1927. Bd. 42. S. 532—546; Fredericksz V., Zolina V. // Trans. Amer. Electrochem. Soc. 1929. V. 55. P. 85—96; Z. Krist. 1931. Bd. 70. S. 255—267; Trans. Faraday Soc. 1933. V. 29. P. 919—928; Fredericksz V., Zwetkoff V. // Phys. Z. Sow. 1934. Bd. 6. S. 490—504; Acta Physicochim. URSS. 1935. V. 3. P. 879—894, 895—912; Докл. АН СССР. 1935. Т. 2. С. 528—534; Т. 4. С. 123—126.

ными, и им стало приписываться их авторство. И это при том, что почти все основные работы Фредерикса и его сотрудников были опубликованы в немецких журналах и журналах СССР на иностранных языках.

Можно уверенно сказать, что в 30-е годы Фредерикс был мировым лидером в изучении жидких кристаллов. Его работы получили высокую оценку Дж. Бернала, посетившего СССР в 1933 г. Однако подлинное признание они обрели лишь в 70-е годы. Сегодня ни одна монография или учебник по жидким кристаллам не обходится без многократного упоминания имени Фредерикса. И дело не только в фундаментальном характере его исследований. Все открытые им эффекты — ориентация в магнитных и электрических полях, доменные структуры и вихревое движение нематика (динамическое рассеяние) — служат основой практического применения жидких кристаллов. Эти эффекты работают в многочисленных приборах, начиная от плоских телевизионных экранов до индикаторов наручных электронных часов.

Параллельно с исследованием жидких кристаллов Фредерикс продолжал изучение пьезоэлектрических свойств кристаллов кварца, начатое им еще в лаборатории Фойгта. Вместе со своими сотрудниками А. Андреевым, И. Казарновским и Г. Михайловым ему удалось точно экспериментально доказать, что пьезоэлектрический модуль, описывающий возникновение поляризации при деформации сжатие—растяжение, для высокотемпературной модификации кварца равен нулю. Это подтвердило его симметрию (гексагонально-трапециоздрический класс), о которой давно шла дискуссия. Эта работа тоже до сих пор цитируется в специальной литературе, хотя выполнена в 1932 г.¹⁸

В ТАЙШЕТ- И УХТ-ИЖИМЛАГЕ

В 1934 г. Фредериксу без защиты диссертации была присвоена ученая степень доктора физико-математических наук, и он вместе с Д. В. Скобельцыным и И. В. Курчатовым был выдвинут Ученым советом ФТИ в члены-корреспонденты АН СССР по специальности «физика». В характеристике, подписанной директором ФТИ академиком А. Ф. Иоффе, говорилось: «Всеволод Константинович Фредерикс сочетает в себе физика-экспериментатора, теоретика и техника. Область его интересов чрезвычайно широка: оптика металлов, пьезоэлектричество,

внутреннее трение, анизотропные жидкости, теория относительности и геологическая электроразведка. В каждой из этих областей знаний В. К. Фредериксу принадлежит работы серьезного научного значения. Наибольшие результаты достигнуты им в исследовании жидких кристаллов и в электроразведке. В первом вопросе В. К. Фредерикс опубликовал большой опытный материал, открыв новые оптические и механические явления, и дал теоретическое освещение, вычислив величину молекулярных сил сцепления. Он несомненно является одним из крупнейших авторитетов в этой области знания и имеет мировое имя. Так же успешны его работы по теоретическому обоснованию и практическому осуществлению электроразведки, широко вошедшей в геологическую практику»¹⁹.

Мы еще не говорили об этой последней сфере деятельности Фредерикса, а в то время ей, как мы видим, придавали большое значение. Метод электроразведки успешно развивался в 20—30-е годы. Он состоял в анализе сопротивления, разности потенциалов или напряженности магнитного поля при пропускании постоянного или переменного тока через исследуемые геологические горизонты. Для того чтобы по этим физическим параметрам судить о наличии тех или иных ископаемых, нужно предварительно теоретически выяснить зависимость этих величин от параметров геологических материалов.

Фредерикс вместе с Бурсианом и Фомом стоял у истоков таких исследований²⁰. Это неудивительно, так как Фредерикс был знатоком электродинамики. Однако он и сам участвовал в экспедициях с целью практической проверки полученных его коллегами теоретических соотношений. Таких экспедиций было две, в 1928 и 1929 гг., в районе Ходжента в Таджикистане. Лагерь экспедиции располагался в предгорье, в местечке Кан-и-Мансур. Вместе с Фредериксом в этих экспедициях участвовала его сотрудница Золина.

Лето 1936 г. Фредерикс провел на юге и вернулся к учебному году в Ленинград отдохнувшим и посвежевшим. Однако здесь его встретила тревожная атмосфера. В ФТИ и университете шли аресты. Собственно аресты в Ленинграде начались еще в начале 1935 г., сразу после убийства Кирова. Были арестованы сотрудники ФТИ Д. Д. Иваненко, В. П. Жузе, В. Е. Лошкарёв. Все они были коллегами Фредерикса. Среди университет-

¹⁸ Freedericksz V., Michailow G. // Phys. Z. 1932. Bd. 76. S. 328—336.

¹⁹ Архив РАН. Ф. 411. Оп. 4. Ед. хр. 154.

²⁰ Фредерикс В. К. Электрическая разведка полезных ископаемых. Л., 1929.



У Шостаковичей после премьеры оперы «Болт», 1931 г.

ских профессоров арестовали В. А. Фока, Е. Ф. Гросса, тоже близких Фредериксу. Неожиданно арестовывают сестру Фредерикса, Наталью Константиновну. Она была выслана в Оренбургскую область (и умерла там в середине 40-х годов).

Как вспоминает Золина, в лаборатории Фредерикса по незначительным, казалось бы, приметам ощущалась нависшая опасность. Сотрудников лаборатории стали сторониться, забывали приглашать на семинары и конференции. Начальство университета без объяснений отобрало у Фредерикса большую комнату, где велась вся экспериментальная работа и где за перегородкой он устроил себе кабинет. Взамен дали маленькое помещение, в котором вся группа заведомо не могла поместиться.

15 октября 1936 г. арестовали одного из ближайших друзей Фредерикса по университету — В. Р. Бурсиана. 20 октября пришли за Всеволодом Константиновичем.

25 мая 1937 г. Фредерикс был осужден на 10 лет исправительно-трудовых лагерей по статье 58 п. п. 6, 8 и 11. Ему инкриминировалась организация заговора с целью

свержения советской власти и шпионаж в пользу иностранных держав²¹.

Первые годы Фредерикс провел в Тайшетлаге, на лесозаготовках. Это было для него, уже немолодого, тяжелым физическим испытанием, хотя его использовали чаще всего на подсобных работах: он обрубал сучья на поваленных деревьях и собирал их в кучу.

Многочисленные друзья и коллеги Фредерикса не сомневались в его невиновности и энергично хлопотали об его освобождении. Среди хлопотавших были И. В. Курчатов и Д. Д. Шостакович, на сестре которого, Марии Дмитриевне, был женат Фредерикс. Писал в инстанции и сам Всеволод Константинович — просил, чтобы его «использовали по специальности».

Эти хлопоты увенчались относительным успехом: осенью 1940 г. Фредерикса перевели в Ухт-Ижмлаг (республика Коми), где определили в заводскую лабораторию на нефтеперегонном заводе лаборантом. Фредерикс там определял плотность нефти.

Об этом периоде сохранились воспоминания Е. Г. Жуковской и Л. С. Полака²². Всеволод Константинович выделялся среди многочисленных политических заключенных

²¹ Успенская Н. В. // Природа. 1989. № 8. С. 85—98.

²² Жуковская Е. Г. // Химия и жизнь. 1989. № 9. С. 68—79; Полак Л. С. Рукопись воспоминаний.

своей благородной внешностью и манерами. Жуковская пишет о нем: «Немолодой человек, лет шестидесяти, красивый, высокий, седой, с очень ясными голубыми глазами: было в нем что-то детски чистое».

Читая воспоминания Полака, видим, что Фредерикс и в лагере оставался таким же прекрасным человеком, каким был на воле. Он продолжал верить в общечеловеческие идеалы, полагая, что люди «по начальным условиям» хороши, но портит их общество, обстоятельства. Он был единственным, кто считал неправильным убивать лагерных доносчиков, предателей и провокаторов. Полак вспоминает: «У него была еще одна прекрасная черта — в нем было что-то от няни, которая искренне любит своих питомцев, несмотря на то, что те орут и пачкают белье. Он мог сидеть возле больных в бараках, ухаживать за ними (по возрасту он уже работал в зоне). Это совсем не просто, когда нет врача, лекарств, опыта, чистого белья, нет даже чистой тряпки, чтобы сделать перевязку. Мы острили: «Из вас бы вышла хорошая няня. Чего вы подались в науку? Надо было в няни к какому-нибудь великому князю и вместе с ним за границу. А вы все перепутали, пошли в науку, приехали из-за границы».

Непременным условием выживания была борьба против интеллектуальной деградации — умственная работа. В немногие выходные дни (примерно раз в месяц) Фредерикс вместе с Полаком занимались теоретической физикой. На случайных листочках оберточной бумаги огрыском украденного в конторе карандаша они решали разные задачи, условия которых сами же и придумывали. Из этих занятий родилась последняя научная работа Фредерикса, выполненная в лагере вместе с Полаком. Переписав своей рукой, Полак сохранил ее и после своего освобождения передал сыну Всеволода Константиновича. Рукопись осталась неопубликованной.

Называлась эта работа «К теории анизотропной жидкости». В ней сделана попытка построить феноменологическую теорию жидких кристаллов с использованием, кроме деформаций, сжатия — растяжения, деформаций изгиба, описываемых полярным тензором четвертого ранга. Такой подход появился в литературе лишь в 1967 г. Введение изгибных деформаций позволило рассматривать жидкие кристаллы в криволинейном пространстве (аналогия с тяготением в ОТО!)

и выделить новые физические эффекты, которые еще не обнаружены экспериментально. Один из таких эффектов — возникновение поляризации при изгибных деформациях (аналог пьезоэлектрического эффекта) — предсказан Фредериксом и Полаком. А в литературе считается, что этот эффект, названный флексоэлектрическим, был предсказан лишь в 1969 г.

Но не только жидкими кристаллами занимался Фредерикс. Вместе с Жуковской и Полаком он предложил осенью 1942 г. использовать ультразвуковой крекинг нефти для увеличения количества легких фракций из ухт-ижимской тяжелой нефти. Испытания метода прошли успешно, и всех трех разработчиков представили к досрочному освобождению. Однако решение об освобождении пришло лишь в сентябре 1946 г., когда Фредерикса уже давно не было в живых.

Из официальных документов известно, что Фредерикс скончался в январе 1944 г. в Горьком (городе своего детства), в городской больнице от крупозного воспаления легких. Как он попал в Горький?

Существуют две версии. Вот первая, основанная на воспоминаниях Жуковской и Полака. Зимой 1943 г. их троих вызвал начальник лагеря и предложил перевестись в «шарашку». Жуковская и Полак отказались, так как надеялись на досрочное освобождение, а Фредерикс согласился. Так он мог оказаться в Горьком, по дороге куда простудился и заболел.

Другая версия основана на воспоминаниях Д. Г. Алхазова, сотрудника Физикотехнического института. Он утверждает, что видел Фредерикса, которого сопровождали двое сотрудников НКВД, в приемной Курчатова в 1943 г. Игорь Васильевич в это время формировал свою «урановую» команду и, конечно, не мог не вспомнить о Фредериксе, с которым — это известно точно — взаимодействовал в ФТИ, когда занимался исследованиями пьезо- и сегнетоэлектричества. Фредерикс находился в кабинете Курчатова больше часа. Вполне возможно, что поездка в Горький была связана с откомандированием Фредерикса в распоряжение Курчатова.

Могила Всеволода Константиновича до сих пор не найдена. Однако все так же свежа память о нем. Он живет и в своих блестящих теоретических и экспериментальных работах.

Черные дыры и искривление времени: дерзкое наследие Эйнштейна*

К. С. Торн

ГЛАВА 8

ПОИСК

в которой предложен, воплощен
и (возможно) привел к успеху
метод поиска на небе черных дыр.

МЕТОД

Представьте себе, что вы — Роберт Дж. Оппенгеймер. 1939-й год. Вы только что убедились, что массивные звезды, умирая, должны образовывать черные дыры. Засядете ли вы вместе с астрономами за разработку плана поиска на небе свидетельств того, что черные дыры действительно существуют? Вовсе нет.

Если вы — Оппенгеймер, то ваши интересы сосредоточены в сфере фундаментальной физики. Вы можете предложить свои идеи астрономам, но ваше собственное внимание будет теперь обращено на атомные ядра и разразившуюся вторую мировую войну, которая вскоре втянет вас в разработку атомной бомбы.

А что же астрономы? Воспримут ли они ваши идеи? Тоже нет. В сообществе астрономов укоренился консерватизм, исключая, правда, этого «дикаря» Цвики, проталкивающего свою идею нейтронных звезд. Принятая во всем мире точка зрения, отвергающая максимальную массу Чандrasekhara, все еще удерживает свои позиции.

Вообразите теперь, что вы — Джон Арчибальд Уиллер. 1962-й год. После долгого сопротивления вы начинаете убеждаться, что некоторые массивные звезды, умирая, должны создавать черные дыры. Станете ли вы разрабатывать вместе с астрономами план их поиска? Вовсе нет. Если вы — Уиллер, то ваше внимание теперь приковано к объединению общей теории относительности и квантовой механики,

которое, возможно, имеет место в центре черной дыры. Вы проповедуете физикам, что конечная точка схлопывания звезды является величайшим кризисом, из которого может возникнуть новое глубокое понимание. Но вы не станете взывать к астрономам с призывом искать на небе черные дыры или хотя бы нейтронные звезды. О поиске черных дыр вы вообще ничего не скажете. Что же касается более обещающей идеи поиска нейтронных звезд, то вы в своих заметках выразите консервативную точку зрения астрономического сообщества: «Такой объект будет иметь диаметр порядка 30 км ... он будет быстро остывать... Надежда увидеть подобный тусклый объект столь же мала, что и увидеть планету, принадлежащую другой звезде» (другими словами, надежды нет).

Теперь представьте себя на месте Якова Борисовича Зельдовича. 1964-й год. Член вашей команды разработчиков водородной бомбы Михаил Подурец только что завершил компьютерное моделирование схлопывания звезды, учитывающее эффекты давления, ударных волн, тепловыделения, излучения и потерю массы. Модель порождает черную дыру (по крайней мере, ее компьютерную версию). Теперь вы совершенно убеждены, что некоторые звезды, умирая, формируют черные дыры. Будете ли вы тогда сидеть вместе с астрономами и планировать поиск черных дыр?

Да, конечно. Если вы — Зельдович, то у вас не вызывает симпатии одержимость Уиллера конечной точкой схлопывания звезды. Эта точка будет скрыта за горизонтом черной дыры, она будет невидима. Наоборот, сам горизонт и влияние черной дыры на все окружающее должны быть вполне наблюдаемы, надо лишь быть достаточно умным, чтобы понять, как это проявляется. Понять наблюдаемую Вселенную — вот какой идеей вы одержимы, если вы — Зельдович. Как же вы сможете сопротивляться вызову искать черные дыры?

Где начать поиск? Ясно, что его следует вести прежде всего в нашей собственной Галактике, Млечном Пути — дисковом скоплении из 10^{12} звезд. Другая ближайшая

© Торн К. С. Черные дыры и искривление времени: дерзкое наследие Эйнштейна.

* Продолжение. Начало см.: Природа. 1994. № 1, 2, 5, 7, 8.

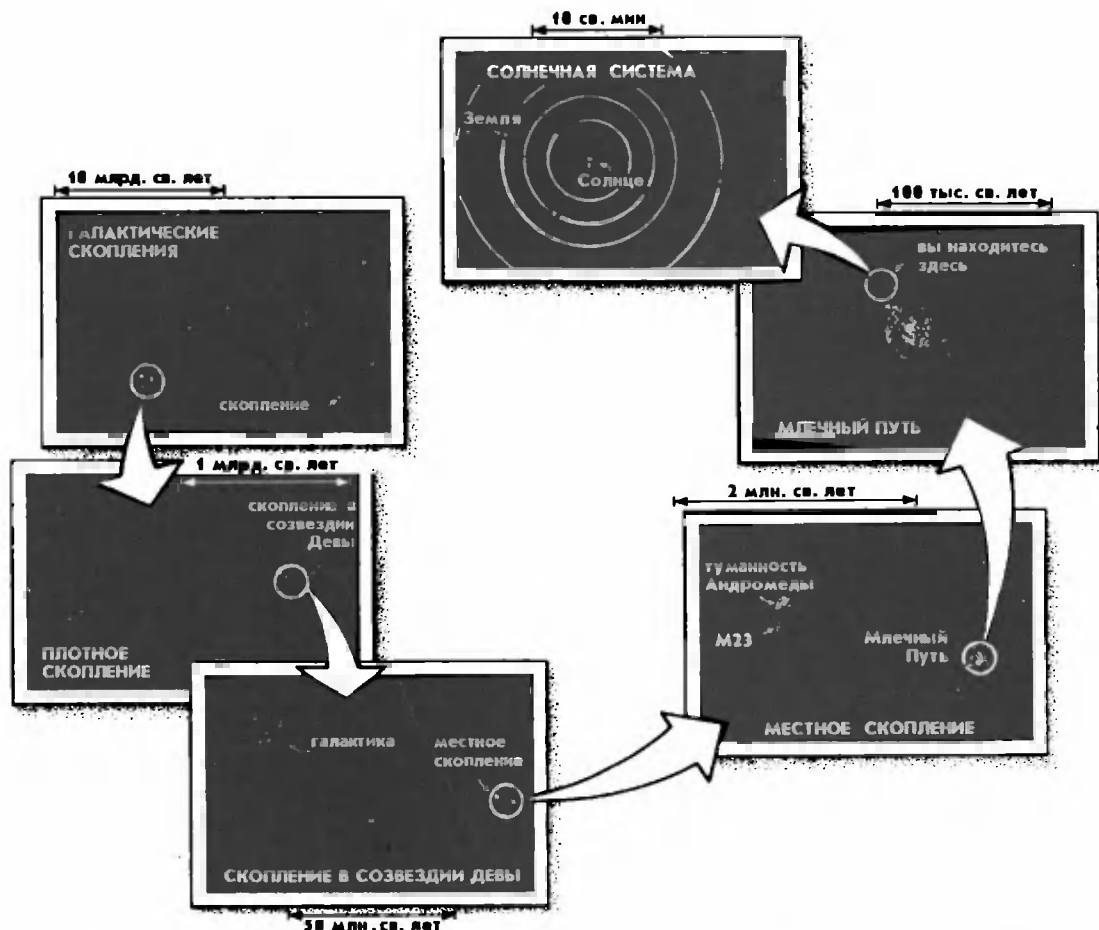


Рис. 1. Картина структуры Вселенной.

к нам галактика — Туманность Андромеды — находится от нас на расстоянии 2 млн. св. лет, что в 20 раз больше размера Млечного Пути (рис. 1). Поэтому любая звезда или газовое облако в Туманности Андромеды покажутся в 20 раз меньше и в 400 раз более тусклыми, чем в нашей Галактике. И поэтому если черные дыры трудно обнаружить в Млечном Пути, то в Туманности Андромеды найти их будет в 400 раз труднее. И невообразимо тяжелее это сделать для миллиарда других галактик, более отдаленных, чем Туманность Андромеды.

Но если настолько важен поиск именно в ближайших окрестностях, то почему бы не поискать в нашей Солнечной системе, простирающейся от Солнца до планеты Плутон? Не может ли где-то здесь, среди планет,

находиться черная дыра, незаметная из-за своей «черноты»?

Нет, очевидно, нет. Гравитационное тяготение такой черной дыры было бы намного больше солнечного; оно бы совершенно нарушило орбиты планет, чего на самом деле не наблюдается. Ближайшая черная дыра поэтому должна располагаться много дальше орбиты Плутона.

Насколько далеко за Плутоном? Можно сделать грубую оценку. Поскольку черные дыры образуются после смерти массивных звезд, ближайшая к нам черная дыра, скорее всего, не может быть намного ближе, чем ближайшая массивная звезда, Сириус, расположенная в 8 св. годах от Земли, и почти наверняка не ближе, чем ближайшая из всех звезд, не считая Солнца, альфа Центавра, находящаяся на расстоянии 4 св. лет.

Как астрономы смогли бы засечь черную дыру на столь огромном расстоянии? Нельзя ли просто осматривать небо в поисках

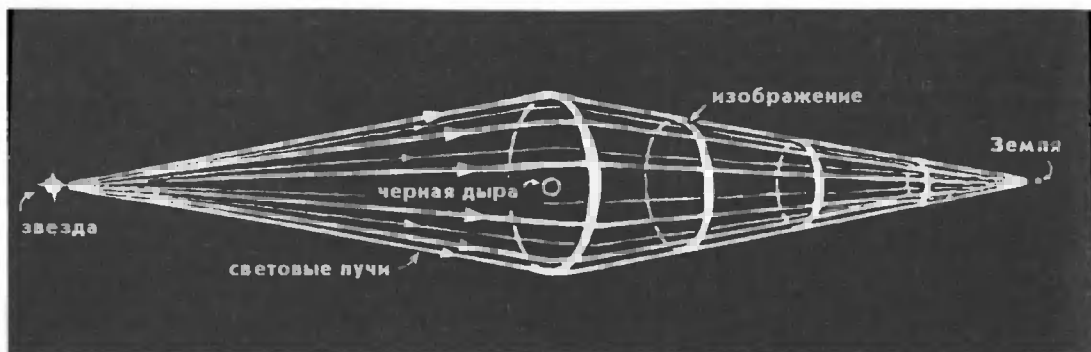


Рис. 2. Схема воздействия черной дыры на звездный свет. Гравитация черной дыры должна действовать подобно линзе, изменяя кажущийся размер звезды при ее наблюдении с Земли. На этом рисунке черная дыра находится точно на линии, соединяющей Землю и звезду. Поэтому световые лучи от звезды могут достичь Земли, пройдя сверху или снизу от черной дыры, либо обогнув ее спереди или сзади. Все световые лучи, достигающие Земли, испускаются звездой в виде расходящегося конуса; проходя мимо черной дыры, они изгибаются по направлению к Земле и приходят к ней в виде сходящегося конуса. Получающееся изображение звезды имеет вид тонкого кольца. Такое кольцо имеет гораздо большую поверхность и поэтому гораздо большую полную яркость, чем та, которую звезда имела бы в отсутствие черной дыры. Кольцо это слишком мало, чтобы его можно было рассмотреть в таком виде с помощью телескопа, однако яркость звезды будет увеличена в 10, 100, а возможно, и в еще большее число раз.

движущегося черного объекта, пятном закрывающего свет от более далеких звезд? Нельзя. Имея окружность примерно в 50 км и располагаясь на расстоянии по крайней мере в 4 св. года, темный диск черной дыры был бы виден под углом в 10^{-7} угловых секунд. Это приблизительно соответствует толщине человеческого волоса при наблюдении его с расстояния, равного расстоянию до Луны, что в 10 млн. раз меньше разрешения лучших в мире телескопов. Итак, движущийся темный объект был бы невидимой крошкой.

Но если нельзя заметить темный диск черной дыры, когда она проходит перед другой звездой, может быть, можно уловить воздействие гравитации черной дыры на звездный свет, подобное увеличивающему действию линзы (рис. 2)? Не будет ли тусклая поначалу звезда становиться ярче, когда черная дыра проходит между ней и Землей, а затем — опять бледнеть?

Нет, такой способ тоже не годится. Причина этого в том, что неизвестно, обращаются ли звезда и черная дыра одна вокруг другой и потому находятся на близком расстоянии или они разделены типичным межзвездным расстоянием.

Если они расположены близко, то крошечная черная дыра будет подобна увеличительному стеклу, помещенному на подоконнике 89-го этажа «Эмпайр стэйт билдинг», в которое смотрят с расстояния в несколько километров. Конечно же, крошечное увеличительное стеклышко не в состоянии увеличить вид здания, и точно так же черная дыра не оказывает влияния на вид звезды.

Если же звезда и черная дыра разнесены достаточно далеко (как на рис. 2), то фокусирующее действие может быть велико, приводя к 10- или 100-кратному (и даже еще большему) увеличению звездной светимости. Однако межзвездные расстояния столь огромны, что нужная расстановка (Земля — черная дыра — звезда) представляет собой чрезвычайно редкое событие, настоящее редкое, что поиск ее был бы безнадежным делом. Более того, даже если бы такое усиление и наблюдалось, световые лучи от звезды до Земли проходили бы от черной дыры на достаточном расстоянии, чтобы на ее месте могла расположиться настоящая звезда, также действующая как линза. Поэтому астроном на Земле не смог бы различить, играет ли роль линзы черная дыра или это обычная, но тусклая звезда.

Когда Зельдович искал метод наблюдения черной дыры, он, должно быть, составил цепочку рассуждений, подобных приведенным выше, которые в конце концов и привели его к довольно продуктивному методу (рис. 3).

Представьте себе, что черная дыра и звезда обращаются по орбитам одна относительно другой, т. е. образуют двойную систему (рис. 3, а). Если астрономы направят свои телескопы на подобную двойную систему, то они увидят свет только от одной звезды — черная дыра будет невидима. Однако свет звезды будет свидетельствовать о присутствии черной дыры. Обращаясь по орбите вокруг черной дыры, звезда вначале будет двигаться по направлению к Зем-

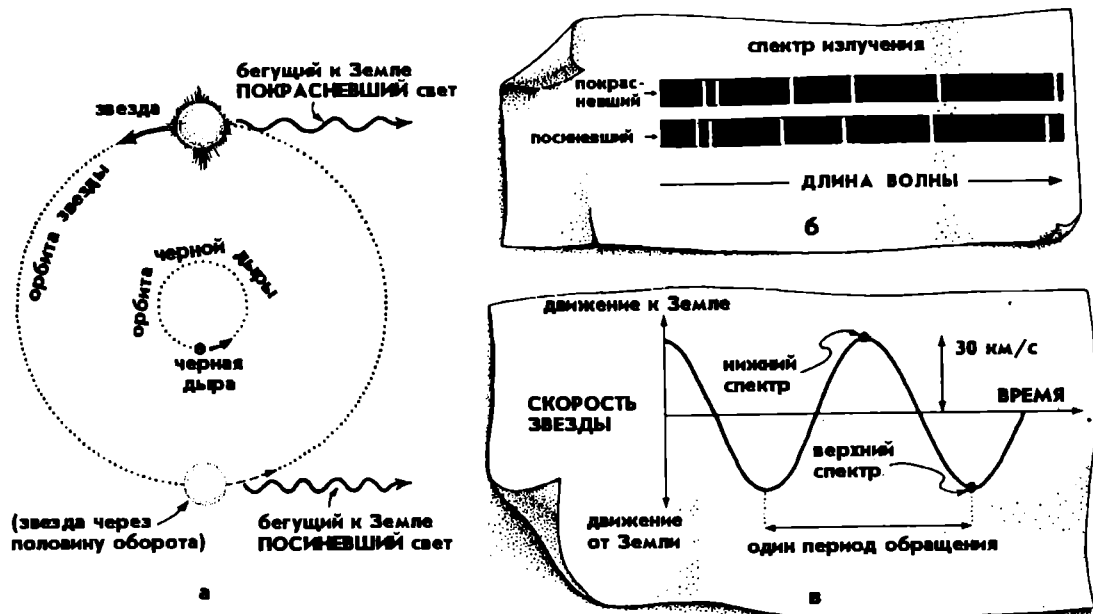


Рис. 3. Метод поиска черных дыр, предложенный Я. Б. Зельдовичем. а — если черная дыра тяжелее звезды, то ее орбита меньше; если бы она была легче звезды, то двигалась бы по большей орбите; два спектра: верхний (б) — получен для звезды, движущейся от Земли, нижний (в) — через полпериода обращения, когда звезда движется к Земле. Длины волн резких линий сдвинуты друг относительно друга. Последовательно измеряя такие спектры, астрономы могут определить, как меняется во времени скорость звезды при ее движении от Земли и к Земле, и из этого изменения скорости найти массу объекта, вокруг которого обращается звезда.

ле, а затем — от нее. Когда она движется к нам, эффект Доплера должен сместить излучение звезды к синему краю спектра, а при движении от нас — к красному.

Астрономы умеют измерять подобные смещения с высокой точностью, поскольку свет звезды, пропущенный через спектрограф (дальнейшее развитие обычной призмы), дает резкие спектральные линии, и слабое изменение длины волны (цвета) таких линий легко выявляется. Измерив сдвиг длины волны, можно определить скорость движения звезды от Земли и к Земле, а проследив в течение некоторого промежутка времени за изменением сдвига, узнать, как изменяется скорость звезды. Типичная величина таких изменений должна лежать где-то в интервале между 10 и 100 км/с, тогда как обычная чувствительность таких измерений составляет 0.1 км/с.

Что же мы узнаем из таких высокоточных измерений скорости звезды? Кое-что о массе черной дыры: чем массивнее черная

дыра, тем сильнее она притягивает к себе звезду и поэтому тем большей должна быть центробежная сила, с помощью которой звезда противодействует тяготению черной дыры. Чтобы добиться большей центробежной силы, звезда должна быстрее обращаться по орбите. И поэтому большой массе черной дыры всегда сопутствует большая орбитальная скорость.

Значит, чтобы найти черную дыру, необходимо искать звезды, спектр которых сигналил, периодически смещаясь от красного к синему. Такое смещение есть недвусмысленное свидетельство того, что у звезды есть спутник. Астрономам остается изучить спектр звезды, чтобы найти скорость ее обращения вокруг спутника, а зная скорость, рассчитать массу. Если спутник достаточно массивен и света от него не видно, вполне возможно, что перед нами черная дыра. Вот в чем состояло предложение Зельдовича.

Хотя предложенный Зельдовичем метод и много лучше, чем любой из предыдущих, однако и в нем кроются несколько ловушек. Я расскажу лишь о двух.

Во-первых, подобное «взвешивание» темной компоненты двойной звезды не совсем точное. Измеренная скорость зависит не только от массы компаньона, но и от массы самой звезды, а также от наклона плоскости обращения двойной звезды к линии наблюдения. Несмотря на то, что масса звезды и наклон орбиты могут быть найдены путем тщательных наблюдений, хорошей точ-

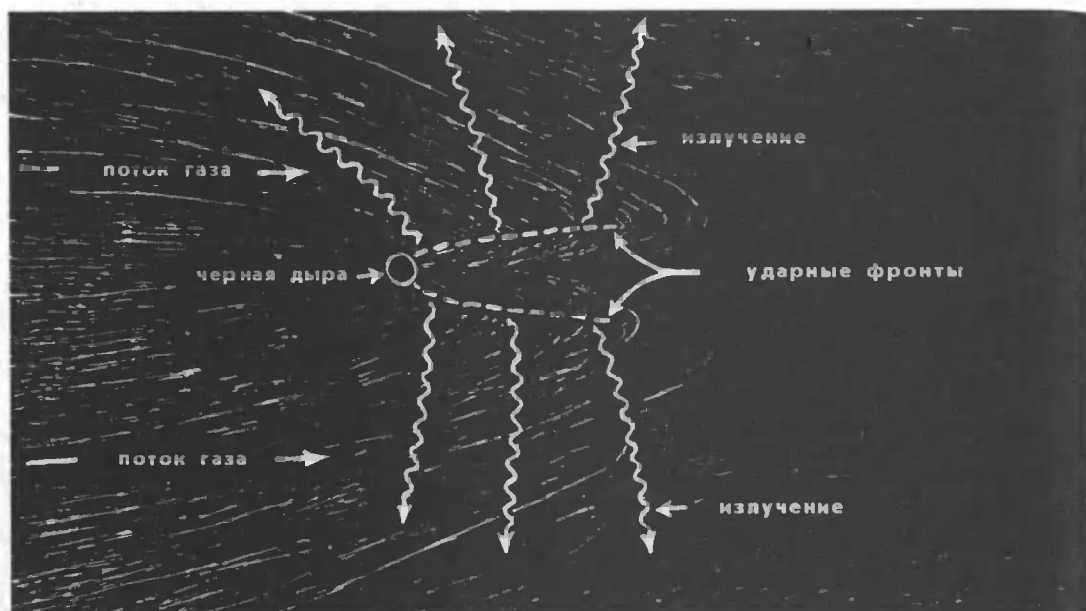


Рис. 4. Предложение Солпитера — Зельдовича, как обнаружить черную дыру.

ности получить **все** же нельзя. В результате легко можно допустить большие ошибки (скажем, в два или три раза) в оценке массы темного спутника.

Во-вторых, черные дыры — не единственный вид темного спутника, который может быть у звезды. Например, темным спутником была бы и нейтронная звезда. Чтобы быть уверенным, что спутник — не нейтронная звезда, нужно точно знать, что он много тяжелее максимума, допускаемого для нейтронной звезды (примерно 2 солнечных массы). Две близкие нейтронные звезды, обращающиеся одна относительно другой, также могут иметь массу до 4 солнечных. Такая система может стать темным спутником; кроме того, им может стать и система из двух вращающихся вместе белых карликов, полная масса которых составляет 3 солнечных. Есть и другие виды звезд (хотя и не абсолютно темных), которые могут быть достаточно массивными и чрезвычайно тусклыми. Поэтому нужно быть очень внимательными при изучении спектров для полной уверенности, что нет никаких признаков слишком слабого излучения от таких звезд.

В течение десятилетий астрономы напряженно работали над составлением каталогов двойных звездных систем, поэтому Зельдовичу не было надобности вести свой поиск прямо на небе — вместо этого он мог

обратиться к звездным каталогам. Однако у него не было ни времени, ни терпения, чтобы самому копаться в каталогах, не было у него и соответствующего опыта, позволявшего обойти все возникающие при этом ловушки. Поэтому (как он обычно и поступал в подобных ситуациях) он распорядился временем и талантом другого. На этот раз — Октя Гусейнова, аспиранта-астронома, уже достаточно много знавшего о двойных звездах. Среди многих сотен хорошо описанных в каталогах двойных звезд Гусейнов и Зельдович нашли пять наиболее вероятных кандидатов в черные дыры.

В последующие несколько лет астрономы почти не обращали внимания на эти пять звезд. Меня немного раздражало это отсутствие интереса с их стороны, и потому в 1968 г. я завербовал Вирджинию Тримбл, астронома из Калтеха, с тем чтобы она помогла мне пересмотреть и расширить список Гусейнова — Зельдовича. Тримбл, хотя и защитила кандидатскую диссертацию всего лишь за несколько месяцев до этого, получила основательную астрономическую подготовку. Она знала обо всех ловушках, с которыми мы могли столкнуться (описанных выше и еще многих других), и умела аккуратно их учесть. Поисках непосредственно в каталогах и собрав все опубликованные данные относительно наиболее обещающих двойных звезд, которые только удалось найти, мы выступили с новым списком из восьми кандидатов в черные дыры. К сожалению, во всех восьми случаях Тримбл могла изо-

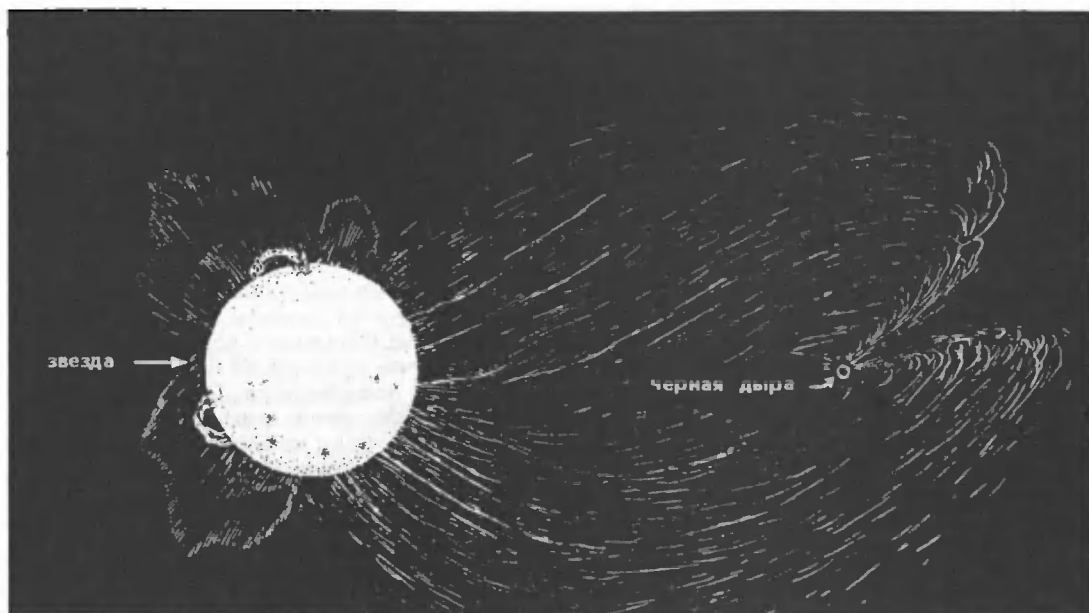


Рис. 5. Предложение Зельдовича — Новикова, как искать черную дыру.

Ветер, дующий с поверхности звезды-спутника, захватывается гравитацией черной дыры. Поток газов, из которых состоит звездный ветер, обгибают черную дыру в противоположных направлениях и сталкиваются, образуя резкий ударный фронт, где эти потоки нагреваются до температуры в миллионы градусов и испускают рентгеновское излучение. Оптические телескопы должны видеть звезду, обращенную вокруг тяжелого темного объекта; рентгеновские телескопы должны увидеть от этого объекта рентгеновское излучение.

бresti полувразумительное объяснение темного спутника, не привлекающее черные дыры. Сегодня, четверть века спустя, ни один из наших кандидатов не выжил. Как ясно теперь, ни один из них в действительности черной дырой не является.

Зельдович, когда все это задумывал, хорошо знал, что метод поиска с использованием двойных звезд — в сущности, потеря, никоим образом не обеспечивающая успеха. К счастью, его мозговой штурм проблемы поиска черных дыр принес и вторую идею. Одновременно и независимо от Зельдовича такую же идею в 1964 г. предложил Эдвин Солпитер — астрофизик из Корнеллского университета в Итаке (штат Нью-Йорк).

Представьте себе, что черная дыра движется через облако газа или (что эквивалентно с точки зрения черной дыры) облако газа движется мимо нее (рис. 4). Поток газа, ускоренные гравитацией черной дыры до околосветовых скоростей, облетают ее с разных сторон и сталкиваются позади черной

дыры. При столкновении образуется ударный фронт (неожиданное резкое возрастание плотности), который преобразует огромную энергию падения газа в теплоту, заставляя газ сильно излучать. Фактически черная дыра будет служить «машиной» для превращения части массы падающего газа в тепло и затем — в излучение. Как показали Зельдович и Солпитер, эта «машина» может быть весьма эффективной, гораздо эффективнее, чем, например, горение ядерного топлива.

В группе Зельдовича идея эта муссировалась в течение двух лет, ее рассматривали то с одной, то с другой точки зрения, в поисках пути сделать ее более плодотворной. Однако эта была всего лишь одна из десятков других разрабатывавшихся идей, касающихся черных дыр, нейтронных звезд, сверхновых или рождения Вселенной, и поэтому ей уделялось довольно мало внимания. Однажды, в 1966 г., в ходе жаркой дискуссии Зельдович и Новиков поняли, что можно совместить идеи двойных звезд и падающего газа (рис. 5).

С поверхности многих звезд дуют мощные газовые ветры, состоящие в основном из гелия и водорода. (Солнце тоже порождает такой ветер, хотя и очень слабый.) Представьте, что черная дыра и звезда, порождающая такой ветер, обращаются по орбитам друг относительно друга. Черная дыра будет захватывать часть газового потока, нагревать его в ударном фронте и заставлять излучать. На метровой грифельной доске в своей московской квартире Зельдович

вместе с Новиковым оценили температуру сталкивающегося газа — несколько миллионов градусов. При такой температуре газ излучает не много света. Зато он испускает рентгеновские лучи. Таким образом, заключили Зельдович и Новиков, среди черных дыр, обращающихся вместе со спутником, некоторые (хотя и не многие) должны ярко светиться в рентгеновском диапазоне. Поэтому, чтобы искать черные дыры, надо использовать комбинацию оптического и рентгеновского телескопов.

Кандидатами в черные дыры будут в таком случае такие двойные звезды, в которых один объект представляет собой оптически яркую, но рентгеновски слабую звезду, а другой — оптически темный, но яркий в рентгеновском диапазоне (черная дыра). Поскольку нейтронные звезды также могут захватывать газ у компаньона, нагревать его в ударном фронте и давать рентгеновское излучение, правильное «взвешивание» оптически темного, но рентгеновски яркого объекта весьма важно. Нужно быть уверенным, что этот объект тяжелее, чем два Солнца, и поэтому не представляет собой нейтронную звезду.

В этой стратегии поиска, однако, существовала по крайней мере одна серьезная проблема: в 1966 г. рентгеновские телескопы были еще чрезвычайно примитивны.

ПОИСК

Астрономы считают недостатком рентгеновских лучей невозможность их проникать сквозь земную атмосферу. (Обычно же это считается достоинством, поскольку рентгеновские лучи вызывают рак и мутации.)

К счастью, физики-экспериментаторы с широким кругозором из Военно-морской исследовательской лаборатории Соединенных Штатов под руководством Герберта Фридмана с 1940 г. работали над тем, чтобы заложить основы космической рентгеновской астрономии. Вскоре после второй мировой войны Фридман и его коллеги начали исследовать Солнце, запуская приборы с помощью захваченных немецких ракет V-2 («Фау-2»). Фридман так описал их первый запуск 28 июня 1946 г., когда на носу ракеты был установлен спектрограф для изучения ультрафиолетового излучения Солнца (поскольку ультрафиолетовые лучи, как и рентгеновские, не могут проникнуть сквозь атмосферу Земли): на короткое время взлетев над атмосферой и собрав данные, «ракета, в соответствии с расчетом, носом вернулась на Землю, уткнувшись в дно огромного кратера — примерно 80 футов в диаметре и 30

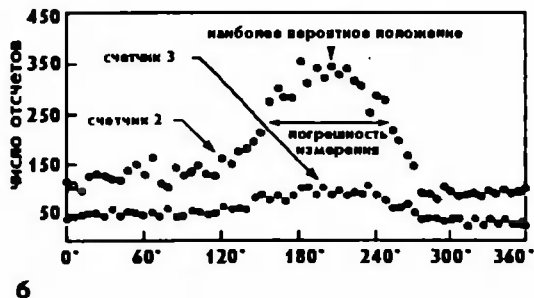
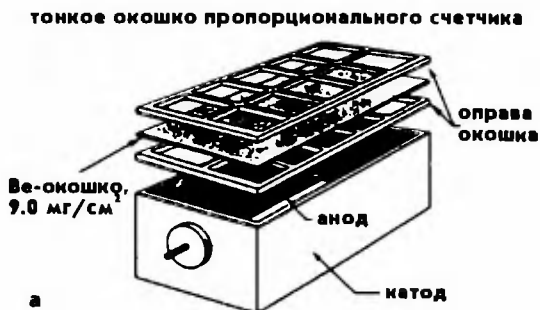
футов в глубину. Несколько недель раскопок позволили обнаружить лишь маленькую кучку неидентифицируемых обломков; все выглядело так, будто при столкновении ракета испарилась».

Так, неудачно начав, благодаря изобретательности, настойчивости и напряженной работе Фридмана и других, ультрафиолетовая и рентгеновская астрономия шаг за шагом стала приносить свои плоды. К 1949 г. Фридман и его коллеги для изучения рентгеновского излучения Солнца запускали счетчики Гейгера на ракетах «Фау-2». К концу 1950-х годов Фридман с коллегами, устанавливая счетчики на ракетах теперь уже американского производства «Аэробии» (аэропчела), исследовали ультрафиолетовое излучение не только от Солнца, но и от звезд. Но рентгеновские лучи — дело другое. Каждую секунду Солнце обрушивает около 1 млн. рентгеновских квантов на каждый квадратный сантиметр счетчиков Гейгера, поэтому детектировать солнечное рентгеновское излучение относительно несложно. Однако, согласно теоретическим оценкам, самая яркая рентгеновская звезда будет излучать в миллиард раз слабее, чем Солнце. Чтобы обнаружить столь слабое излучение, требовались детекторы в 10 млн. раз более чувствительные, чем те, что запускал Фридман в 1958 г. Такое усовершенствование, хотя и весьма существенное, все же не было невозможным.

К 1962 г. детекторы были улучшены в 10 тыс. раз. Осталось добиться тысячекратного выигрыша в чувствительности; и под впечатлением достижений группы Фридмана в соревнование включились другие исследователи. Одна из команд, руководимая Ричардом Джаккони, со временем стала грозным конкурентом.

Станным образом успех Джаккони мог бы разделить и Зельдович. В 1961 г. Советский Союз неожиданно прервал совместный советско-американский трехлетний мораторий на испытания ядерного оружия, взорвав самую мощную бомбу, которую когда-либо создавал человек, — бомбу, разработанную на «Объекте» группами Зельдовича и Сахарова. В панике американцы начали подготовку собственных новых испытаний, которые должны были стать первыми американскими ядерными испытаниями эры орбитальных космических полетов.

Впервые открывалась возможность измерить из космоса рентгеновское и гамма-излучение, а также частицы высокой энергии, образующиеся при ядерном взрыве. Такие измерения были необходимы, чтобы отслеживать дальнейшие советские испытания



рентгеновские лучи

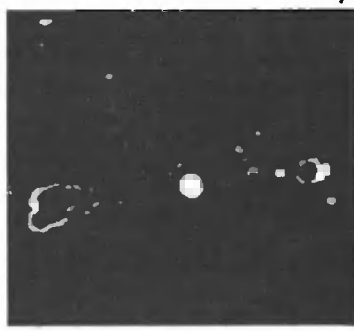
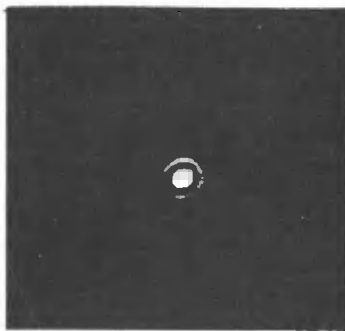
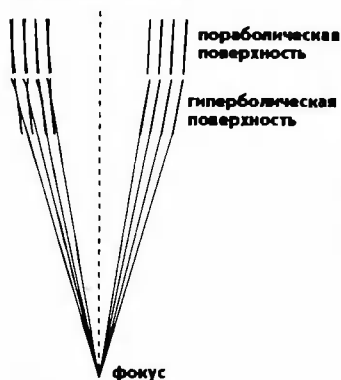


Рис. 6. Совершенствование технологии и разрешения рентгеновских астрономических инструментов в 1962—1978 гг.

а — схема конструкции счетчика Гейгера, использованного группой Джаккони в 1962 г. при открытии первой рентгеновской звезды; б — данные, полученные с помощью счетчика Гейгера: звезда находится не там, где Луна; обратите внимание на плохое угловое разрешение (большую погрешность измерений, составляющую 90°); в — схема зеркал для фокусировки рентгеновских лучей в рентгеновском телескопе «Эйнштейн», 1978 г.; фотографии двух кандидатов в черные дыры — Cyg X-1 (г) и SS-433 (д).

бомб. Однако чтобы провести такие измерения в ходе предстоящей американской серии испытаний, требовалась форсированная программа.

Организация и руководство этой программой были поручены Джаккони, 28-летнему физику-экспериментатору из частной компании «Американская наука и техника» (Кембридж, штат Массачусетс), недавно начавшему разработку и запуск в космос детекторов рентгеновского излучения, подобных фридмановским. Военно-воздушные силы Соединенных Штатов предоставили Джаккони все требуемые средства, но мало времени. Менее чем за год он расширил свою группу рентгеновской астрономии,

первоначально состоявшую из шести человек, введя в нее 70 новых участников; разработал, изготовил и испытал множество приборов слежения за взрывами военного назначения, запустил их в космос, достигнув 95 %-ного успеха на 24 ракетах и 6 спутниках. Этот опыт сформировал из костяка его группы верную, знающую и высококвалифицированную команду, идеально подходящую для того, чтобы обойти всех конкурентов в создании рентгеновской астрономии.

Временная команда Джаккони делала свои первые шаги в астрономии, начав с поиска рентгеновского излучения Луны. При этом был использован детектор (рис. 6, а), сделанный по образцу детектора Фридмана, причем, как и фридмановский, запускали его на ракете «Аэробии». Их ракета, запущенная из Уайт Сэндз в Нью-Мексико за одну минуту до полуночи 18 июня 1962 г., быстро набрала высоту 230 км, а затем упала на Землю. В течение 350 с она находилась за пределами земной атмосферы на высоте, достаточной, чтобы зарегистрировать рентгеновское излучение Луны. Данные, переданные на Землю телеметрией, были загадочны: рентгеновское излучение оказалось значительно сильнее, чем ожидалось. При более внимательном изучении эти данные оказа-

лись еще более удивительными. Создавалось впечатление, что рентгеновское излучение шло не от Луны, а из созвездия Скорпиона (рис. 6, б).

Два месяца Джаккони и члены его команды (Герберт Гурски, Франк Паолини и Бруно Росси) искали ошибку в данных и в аппаратуре. А когда таковой не нашлось, объявили о своем открытии. Впервые была обнаружена рентгеновская звезда, в 5000 раз ярче, чем предсказывали астрофизики. Десятью месяцами позже группа Фридмана подтвердила это открытие, и звезде было присвоено имя Sco X-1 (1 — потому что самая яркая; X — потому что источник рентгеновских лучей¹; Sco — по латинскому названию созвездия — Scorpius).

Но почему ошибались теоретики? Как могло случиться, что они в 5 тыс. раз недооценили силу космического рентгеновского излучения?

Из-за неверного предположения, что на небе в рентгеновском диапазоне будут преобладать объекты, уже известные по оптическим наблюдениям, такие как Луна, планеты и обычные звезды, слабые источники рентгеновских лучей. Однако Sco X-1 и другие, открытые вскоре рентгеновские звезды, не были подобны наблюдавшимся ранее объектам. Они являлись нейтронными звездами и черными дырами, захватывающими газ у нормальных звезд-спутников и нагревающими его до высоких температур. (Вскоре к такому выводу пришли Зельдович и Новиков, см. рис. 5.) Однако, чтобы показать, что в действительности природа наблюдаемых рентгеновских звезд именно такова, потребовалось еще десятилетие, в течение которого рука об руку работали экспериментаторы Фридман и Джаккони и теоретики Зельдович и Новиков.

Детекторы Джаккони образца 1962 г. были чрезвычайно просты (см. рис. 6, а): камера с электродами, заполненная газом, с тонким окошком сверху. Когда рентгеновские лучи попадают в камеру через окошко, они выбивают электроны из некоторых атомов газа; эти электроны притягиваются полем к электродам и, попадая в провод, создают электрический ток, свидетельствующий о приеме рентгеновского излучения. (Такие приборы называют иногда счетчиками Гейгера, а иногда — пропорциональными счетчиками.) Ракета, несущая камеру, вращалась со скоростью два оборота в секунду, а ее нос медленно качался, нацеливаясь то вверх,

то вниз. Движения эти позволяли окошку камеры просканировать большую область неба, исследуя его то в одном, то в другом направлении. Направленная на созвездие Скорпиона, камера регистрировала многочисленные отсчеты рентгеновских лучей. Когда она нацеливалась в другую сторону, отсчетов было мало. Однако поскольку рентгеновское излучение могло попадать в камеру с широкого диапазона направлений, оценки положения Sco X-1 с помощью камеры были весьма неточны. Она могла указать лишь наиболее вероятное положение, с 90-градусными пределами ошибок, демонстрирующими, насколько неточной может быть наилучшая оценка (см. рис. 6, б).

Чтобы определить, действительно ли Sco X-1 и другие, открытые вскоре рентгеновские звезды являются черными дырами и нейтронными звездами в двойных системах, нужно было уменьшить пределы ошибок (неопределенность положения источника на небе) до нескольких угловых минут. Это было суровое требование, означавшее тысячекратное улучшение углового разрешения. Необходимое, и даже еще более значительное, улучшение разрешения шаг за шагом было достигнуто за последующие 16 лет несколькими конкурирующими группами (Фридмана, Джаккони и других).

За чередой ракет, запускаемых то одной, то другой группой, оснащенных все более совершенными детекторами, в декабре 1970 г. последовал «Ухуру», первый рентгеновский спутник. Созданный группой Джаккони, «Ухуру» содержал заполненные газом рентгеновские счетчики, в 100 раз превышающие возможности тех, что запускались на ракете в 1962 г. Перед окошками камер были установлены щели, подобные жалюзи, не дающие камере видеть лучи, исходящие из любых направлений, кроме нескольких градусов вокруг перпендикуляра.

За «Ухуру», обнаружившим и позволившим занести в каталог 339 рентгеновских звезд, последовали другие такие же рентгеновские спутники, но уже специального назначения, построенные американскими, британскими и голландскими учеными. Затем, в 1978 г., группа Джаккони запустила могучий приемник «Ухуру» — первый настоящий космический рентгеновский телескоп «Эйнштейн». Поскольку рентгеновские лучи легко проникают через любой объект, расположенный перпендикулярно на их пути, даже через зеркало, в телескопе «Эйнштейн» использовались наборы последовательных зеркал, вдоль которых рентгеновские лучи скользят, подобно салазкам вдоль ледяного склона (рис. 6, в). Такие зеркала фокусируют

¹ Рентген назвал свои лучи X-лучами, так они и сейчас называются на многих языках. — (Примеч. перев.)

вали рентгеновские лучи для построения изображения участка рентгеновского неба размером в 1 угловую секунду — разрешение такое же, как и у лучших оптических телескопов (рис. 6, г, д).

Всего за 16 лет, начиная от ракет Джакони и кончая телескопом «Эйнштейн» (т. е. с 1962 по 1978 г.), было достигнуто 300-тысячекратное улучшение углового разрешения. Произошел переворот в нашем понимании Вселенной: рентгеновские лучи обнаружили нейтронные звезды и кандидаты в черные дыры, горячий диффузный газ, окружающий галактики в гигантских скоплениях, и горячий газ в остатках сверхновых и коронах (внешней атмосфере) некоторых типов звезд, частицы высоких энергий в ядрах галактик и квазары.

Из всех кандидатов в черные дыры, открытых с помощью рентгеновских детекторов и рентгеновских телескопов, Cygnus X-1 (для краткости — Cyg X-1) является одним из наиболее достоверных². В 1974 г., вскоре после того, как он был признан хорошим кандидатом, Стивен Хокинг и я заключили пари: я ставил на то, что Cyg X-1 — это черная дыра, а он — что нет.

Кароли Уинштейн, на которой спустя 10 лет после заключения этого пари я женился, была недовольна, узнав, что стоит на кону («Penthouse» для меня, если выигрываю я, и «Private Eye» для Стивена, если выигрывает он). Недовольны были и мои сестры, и моя мать. Им, однако, не стоило беспокоиться, что я и правда выиграю подписку на «Penthouse» (так я думал в 1980 г.); наши знания о природе Cyg X-1 хотя и улучшались, но очень медленно. В 1990 г. мне казалось, что мы только на 95 % можем быть уверены, что это действительно черная дыра, но все же недостаточно, чтобы считать, что Стивен проиграл спор. Очевидно, Стивен оценивал ситуацию иначе. Поздно вечером в июне 1990 г., пока я в Москве работал вместе с советскими коллегами, Стивен в окружении семьи, медсестер³ и друзей вломился в мой кабинет в Калтехе, нашел наше пари и сделал в нем приписку о своей капитуляции, скрепив запись отпечатком пальца.

Свидетельство того, что Cyg X-1 содержит черную дыру, было как раз таким, как это предвидели Зельдович и Новиков, когда предложили метод поиска: Cyg X-1 является двойной звездой, состоящей из яркой в опти-

ческом диапазоне и слабой в рентгеновском диапазоне звезды. Она обращается вокруг рентгеновски яркой, но оптически темной компоненты, у которой измерили массу, чтобы убедиться, что она слишком велика, чтобы быть нейтронной звездой, и потому, вероятнее всего, является черной дырой.

Свидетельства того, что именно такова природа Cyg X-1, дались нелегко. Потребовались совместные значительные усилия, предпринятые в 60-х и 70-х годах сотнями физиков-экспериментаторов, астрофизиков и астрономов в разных странах.

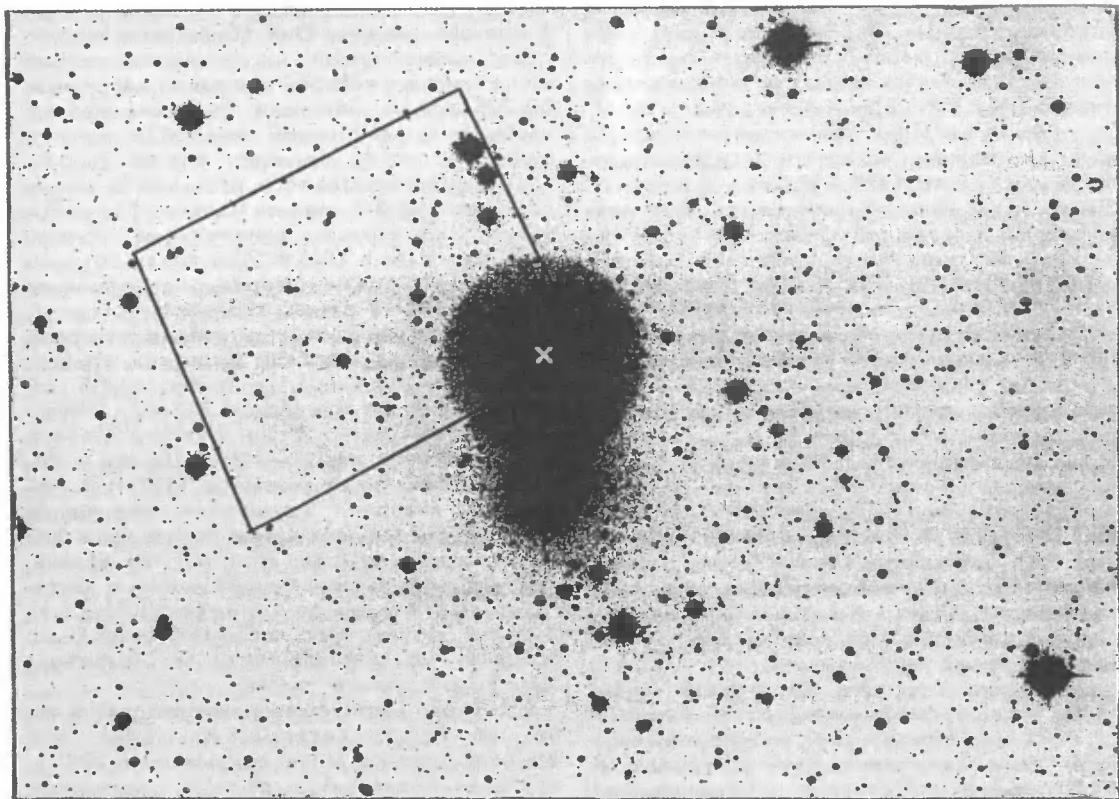
Среди физиков-экспериментаторов были такие, как Герберт Фридман, Стюарт Бойер, Эдвард Байрам и Талботт Чубб, открывшие Cyg X-1 при запуске ракеты в 1964 г.; Харлей Тененбаум, Эдвин Келлог, Герберт Гурски, Стивен Мюррей, Этан Шриер и Ричардо Джакони, которые в 1971 г. с помощью «Ухуру» определили положение Cyg X-1 с погрешностью не более чем в две угловые минуты (рис. 7); и многие другие, открывшие и исследовавшие мощные хаотические флуктуации рентгеновских лучей и их энергии, флуктуации, которые можно было ожидать от раскаленного турбулентного газа вокруг черной дыры.

Среди астрономов можно выделить таких, как Роберт Хеллминг, Ким Вэйд, Люк Браес и Джордж Мили, открывших в 1971 г. всплески радиоволн в области расположения Cyg X-1, определенной «Ухуру» (эти всплески происходят одновременно с гигантскими, измеренными «Ухуру», изменениями рентгеновского излучения; таким образом, положение Cyg X-1 было зафиксировано с точностью до 1 угловой секунды, см. рис. 7); Луис Вебстер, Пол Мурдин и Чарльз Болтон, которые с помощью оптических телескопов обнаружили, что видимая звезда HDE 226868, расположенная на месте радиовсплесков, обращается вокруг массивного, оптически темного, но излучающего в рентгеновском диапазоне спутника (Cyg X-1); и сотни других астрономов, проводивших кропотливые оптические измерения HDE 226868 и других окрестных звезд, измерения, необходимые для того, чтобы обойти различные ловушки при оценке массы Cyg X-1.

Среди астрофизиков-теоретиков, внесших свой вклад в общие усилия, такие люди, как Зельдович и Новиков, предложившие метод поиска; Богдан Пачинский, Йорам Авни и Джон Бакал, разработавшие сложные, но надежные способы избежать ошибки при определении массы; Джеффри Барбидж и Кевин Прендергаст, которые поняли, что горячий, испускающий рентгеновское излучение газ должен образовывать диск вокруг черной дыры; а также Рашид

² Созвездие Лебедя. — (Примеч. перев.)

³ Стивен Хокинг, один из величайших ученых современности, почти полностью парализован и передвигается в кресле-каталке. — (Примеч. перев.)



Сюняев, Джеймс Прингл, Мартин Рис, Джерри Острайкер и многие другие, давшие детальные теоретические модели газа, излучающего рентген, и образующегося диска для последующего сравнения с данными рентгеновских наблюдений.

К 1974 г. эти масштабные усилия привели примерно с 80 %-ной достоверностью к следующей картине для Суг X-1 и его спутника — звезды HDE 226868, которая изображена художником в правой части рис. 7. В общем это была картина, которую предсказали Зельдович и Новиков, но только с гораздо большим числом деталей. Черная дыра в центре Суг X-1 имеет массу, определенно большую, чем три массы Солнца; возможно даже большую, чем 7 Солнц, а скорее всего, около 16 Солнц; масса ее яркого в оптическом диапазоне, но темного в рентгеновском диапазоне спутника HDE 226868, вероятно, больше, чем 20 солнечных масс, скорее всего, около 33; радиус примерно в 20 раз больше, чем у Солнца; расстояние от поверхности звезды до черной дыры также составляет около 20 солнечных радиусов (14 млн. км). Эта двойная звезда находится от Земли на расстоянии при-

мерно в 6000 св. лет. Суг X-1 — второй по яркости объект на рентгеновском небе, а HDE 226868 — хотя и достаточно яркая по сравнению со многими другими звездами, наблюдаемыми в большие телескопы, но все же слишком слаба, чтобы ее можно было видеть простым глазом.

На протяжении двух десятилетий, начиная с 1974 г., наша уверенность в достоверности этой картины для Суг X-1 возросла примерно с 80 % до, скажем, 95 %. (Это мои личные оценки.) Достоверность не равна 100 %, потому что, несмотря на принятые огромные усилия, какой-либо однозначной своеобразной визитной карточки черной дыры в Суг X-1 обнаружено не было. Никакого сигнала, рентгеновского или светового, который бы недовольно заявлял астрономам: «Я пришел от черной дыры», — не было зарегистрировано. Все еще можно придумывать другие (не привлекающие черную дыру) объяснения для всех наблюдаемых явлений, однако подобные объяснения представляются настолько вычурными, что мало кто из астрономов принимает их всерьез.

По контрасту с этим, некоторые ней-

Рис. 7. Система Суг Х-1. Слева — негатив фотографии, сделанной Джеромом Кристианом с помощью 5-метрового оптического телескопа в Маунт Паломар в 1971 г. Черные линии обозначают границы, в которых, согласно данным «Ухуру», расположен Суг Х-1; крестик — положение радиовсплесков, полученное с помощью радиотелескопов, которое коррелирует с резкими изменениями рентгеновского излучения от Суг Х-1. Крестик совпадает с оптической звездой HDE 226868 и, таким образом, идентифицирует спутник Суг Х-1 в двойной системе. В 1978 г. рентгеновский телескоп «Эйнштейн» подтвердил идентификацию. Справа — версия художника (системы Суг Х-1 и HDE 226868), основанная на оптических и рентгеновских данных. [С разрешения журнала «National Geographic».]



тронные звезды, называемые пульсарами, однозначно сигналият: «Я — нейтронная звезда». Их рентгеновское излучение (или в некоторых случаях — радиоволны) приходит к нам в виде коротких, точно повторяющихся импульсов. В некоторых случаях точность воспроизведения периода между импульсами настолько высока, что становится сравнимой с ходом лучших атомных часов. Эти импульсы могут быть объяснены только как пучки излучения, испускаемые с поверхности нейтронной звезды и проходящие мимо Земли при вращении звезды — подобно сигнальному маяку.

Почему возможно только такое объяснение? Столь точные временные интервалы могут получаться лишь при вращении массивного объекта, у которого большая инерция и, соответственно, сильное сопротивление случайным силам, приводящим к случайным промежуткам времени между импульсами. Из всех массивных объектов, когда-либо рассматривавшихся астрономами, лишь нейтронные звезды и черные дыры могут вращаться, подобно некоторым пульсарам, со столь чудовищной скоростью (сотни оборотов в секунду), и лишь нейтронные

звезды (а не черные дыры) могут порождать вращающиеся пучки, поскольку черные дыры не могут иметь «волос». (Любой источник подобного пучка, закрепленный на горизонте черной дыры, был бы примером таких «волос», которые не могут на нем удержаться!)

На протяжении 20 лет астрономы безуспешно искали однозначную «подпись» черной дыры в Суг Х-1. Примером такой «подписи» (предложенной в 1972 г. Р. Сюняевым, членом команды Зельдовича) могли бы быть импульсы излучения, подобные импульсам пульсаров, создаваемые пробегающим пучком, исходящим из плотного газового сгустка, который вращается вокруг черной дыры. Если бы такой сгусток находился достаточно близко к горизонту черной дыры и сохранялся в течение многих оборотов, пока наконец не погрузился бы под поверхность горизонта, детали постоянного изменения интервалов между им-

¹ «Волосы» электрического поля заряженной черной дыры, очевидно, располагаются вокруг оси вращения и потому не могут образовывать сосредоточенный луч.

пульсами могли бы дать ясную и недвусмысленную «подпись»: «Я — черная дыра».

К сожалению, этого никто никогда не наблюдал. На это, кажется, существует несколько причин. Во-первых, раскаленный, испускающий рентгеновское излучение газ движется вокруг черной дыры настолько турбулентно и хаотично, что плотные сгустки могут сохраняться лишь на протяжении одного или малого числа оборотов, но не дольше. Во-вторых, даже если несколько сгустков и сохраняются достаточно долгое время и выдают подписи черной дыры, турбулентное рентгеновское излучение остального турбулентного газа, очевидно, хоронит эти свидетельства. В-третьих, если Суг X-1 действительно черная дыра, то, как показывают математические расчеты, большая часть рентгеновского излучения должна излучаться достаточно далеко от ее горизонта — с окружностей, примерно в 10 и более раз большей критической, где просто объем, излучающий рентген, гораздо больше. На столь больших расстояниях от черной дыры предсказания общей теории относительности и ньютоновской теории тяготения приблизительно одинаковы, поэтому если бы и были импульсы от вращающихся сгустков, они не несли бы в себе отчетливой «подписи» черной дыры.

По причинам, аналогичным изложенным, астрономы, возможно, никогда не смогут обнаружить «подписи», удостоверяющую черную дыру, в электромагнитных волнах любого типа, исходящих из ее окрестностей. К счастью, существуют блестящие перспективы для «подписи» совершенно другого типа — «подписи» приносимой гравитационными волнами. К этому мы еще вернемся.

Золотой век теоретических исследований черных дыр совпал с поиском черных дыр, а также с открытием и расшифровкой природы Суг X-1. Поэтому, казалось, можно было ожидать, что молодежи, доминировавшая в «золотой век» (Пенроуз, Хокинг, Новиков, Картер, Израэль, Прайс, Теукольский, Пресс и другие), будет играть ключевую роль в поисках черных дыр. За исключением Новикова, это оказалось не так. Таланты и знания, приобретенные этими молодыми людьми, так же как и сделанные ими замечательные открытия, касающиеся вращения, пульсации и отсутствия «волос» у черной дыры, имели отношение к поиску и расшифровке Суг X-1. Все могло бы быть по-другому, если бы Суг X-1 имел однозначную «подпись», удостоверяющую его как черную

дыру. Но такого не случилось. Этих молодых, как и других подобных им физиков-теоретиков, иногда называют релятивистами, поскольку они проводят много времени, работая с законами общей теории относительности.

Теоретики, действительно внесшие вклад в поиски черных дыр (Зельдович, Пашинский, Сюняев, Рис и другие), были иной породы, их называли астрофизиками. Для поиска этим астрофизикам требовалось владеть лишь малой частью общей теории относительности — вполне достаточной, чтобы понять, что кривизна пространства-времени ко всему этому практически отношения не имеет и что ньютоновского описания гравитации вполне достаточно для моделирования объектов, подобных Суг X-1. Однако им требовался чудовищный объем других знаний, являющихся частью стандартного инструментария астрофизика. Они должны были мастерски владеть пространственными астрономическими данными о двойных звездах и спектрах звезд-спутников, кандидатов в черные дыры, о поглощении звездного света в межзвездной пыли (ключевой инструмент для определения расстояния до Суг X-1). Им требовалось также быть экспертами в таких вопросах, как течение раскаленного газа, ударные волны, формирующиеся при столкновении раскаленного газа, турбулентность газа, силы трения в нем, обусловленные турбулентностью и хаотическим магнитным полем, вынужденный разрыв и соединение линий магнитного поля, образование рентгеновского излучения в раскаленном газе, распространение в нем рентгеновского излучения, и многих, многих других. Лишь немногие могли мастерски владеть всем этим и одновременно — сложной математикой искривленного пространства-времени. Пределы человеческих возможностей обуславливают разделение в сообществе исследователей: либо вы специализируетесь в теоретической физике черных дыр, в выведении из общей теории относительности свойств, которыми должна обладать черная дыра, либо — в астрофизике двойных систем, раскаленном газе, падающем на черную дыру, и излучении, создаваемом газом. Таким образом, вы либо релятивист, либо астрофизик.

Некоторые из нас пытались быть и тем и другим одновременно, но со скромным успехом. Превосходному астрофизику Зельдовичу иногда удавалось проникнуть в самую суть черных дыр. Я, в общем-то, талантливый релятивист, пытался построить модели потока газа вблизи черной дыры в Суг X-1, основываясь на общей теории относительности. Но Зельдович недостаточно глубоко

понимал общую теорию относительности, а я недостаточно хорошо знал астрономическую науку. Барьер, который нужно преодолеть, был слишком велик. Из всех исследователей, работавших в «золотой век», которых я знал, лишь Новиков и Чандрасекар твердо стояли одной ногой в астрофизике, а другой — в релятивизме.

Физики-экспериментаторы, подобные Джаккони, которые разрабатывали и запускали рентгеновские детекторы и спутники, наталкивались на тот же барьер. Но существовала и разница. Для поиска черных дыр не требовались релятивисты, тогда как без физиков-экспериментаторов было не обойтись. Астрономы и астрофизики со всем их мастерством и пониманием двойных звезд, течения газов, распространения рентгеновских лучей ничего не могли сделать, пока экспериментаторы не предоставили в их распоряжение подробные рентгеновские данные. Физики-экспериментаторы часто сами пытались расшифровать то, что говорили их собственные данные о потоках газа и о порождающей их возможной черной дыре, но успехи были невелики. Астрономы и астрофизики брали данные, благодарили, а затем интерпретировали их по-своему, более изощренным и надежным образом.

Эта зависимость астрономов и астрофизиков от физиков-экспериментаторов показывает лишь один пример тесных взаимосвязей, которые были необходимы для достижения успеха в поиске черных дыр. Фактически успех стал продуктом объединенных, взаимозависимых усилий шести различных групп людей, каждая из которых сыграла свою существенную роль. Реляти-

висты, с помощью законов общей теории относительности, продемонстрировали, что черные дыры должны существовать. Астрофизики предложили метод поиска и показали несколько конкретных шагов, которые было необходимо предпринять. Астрономы идентифицировали HDE 226868, спутник Суг X-1, используя периодические сдвиги его спектральных линий; вычислили массу Суг X-1 и провели другие обширные наблюдения, чтобы подтвердить эту оценку массы. Физики-экспериментаторы создали технику и инструменты, сделавшие возможным поиск рентгеновских звезд, и провели такой поиск, идентифицировав Суг X-1. Инженеры и менеджеры НАСА создали ракеты и спутники, выведшие рентгеновские детекторы на орбиту Земли. И, что не менее важно, американские налогоплательщики обеспечили финансирование в несколько сотен миллионов долларов на создание ракет, спутников, рентгеновских детекторов и рентгеновских телескопов, а также зарплату для инженеров, менеджеров и ученых, работавших с ними.

Благодаря подобной замечательной коллективной работе сегодня, в 1990-х годах, мы почти на 100 % уверены, что черные дыры существуют не только в Суг X-1, но и во многих других двойных системах нашей Галактики.

(Окончание следует)

© Перевод с английского М. Л. Городецкого

Астрофизика

Невидимая масса вокруг гигантской эллиптической галактики

Уже не первое десятилетие астрономы не могут решить загадку скрытой массы. Речь идет о том, что притяжение многих галактик оказывается гораздо сильнее, чем если бы просто суммировалось притяжение всех входящих в галактику звезд. Поскольку все другие входящие в галактику виды материи (помимо звезд) — межзвездный газ и пыль, планеты и т. п. — составляют совсем небольшую долю от массы звезд, то очевидно, что существует какое-то невидимое вещество, которого в галактике намного больше, чем известного нам — видимого. Что это за вещество, как оно распределено в галактиках разных типов и во всех ли галактиках присутствует — этого пока никто не знает.

Чтобы заметить присутствие скрытой массы, необходимо измерить силу притяжения галактики. Это можно сделать, определив скорость движения звезд или газовых облаков на периферии галактики: чем больше их скорости, тем сильнее должно быть притяжение галактики, чтобы удержать их от разлета. Однако отдельные звезды видны только в ближайших к нам галактиках, а газовые облака присутствуют только на периферии дисковых спиральных галактик, подобных нашему Млечному Пути. Поэтому до сих пор не исследованными на присутствие скрытой массы оставались многие эллиптические галактики, и среди них наиболее величественные — гигантские эллиптические галактики, в десятки и сотни раз превышающие по массе Млечный Путь. Рядом с нами



Планетарные туманности в гигантской эллиптической галактике NGC 1399. Центральная ее часть на снимке оказалась засвеченной, поскольку ставилась цель выделить на изображении менее яркие туманности по периферии галактики [ESO. Press Release. 05/94].

таких галактик нет. Обычно они расположены в центрах больших скоплений галактик и «царствуют» там, окруженные свитой менее массивных звездных систем.

Недавно международной группе астрономов удалось провести рекордное наблюдение гигантской эллиптической галактики NGC 1399 в скоплении

галактик, удаленном от нас на расстояние 50 млн. св. лет и расположенном в направлении южного созвездия Печь¹. Используя прекрасные возможности NTT (Телескопа новой технологии) с диаметром главного зеркала 3,5 м на обсерватории Ла-Силла в Чили, они получили в ноябре 1993 г. спектры 37 планетарных туманностей, расположенных на периферии этой галактики. Планетарные туманности — это сферические га-

¹ Arnaboldi M., Freeman K. C. (Australia), Ford H., Hui X. (USA), Capaccioli M. (Italy) // ESO. Press Release. 1994. 15 April.

зовые оболочки, сброшенные старыми звездами. В их спектре присутствуют яркие линии излучения простых химических элементов — кислорода, азота и др., по положению которых в результате эффекта Доплера можно измерять скорость движения туманности.

Правда, получить эти спектры чрезвычайно трудно: ведь галактика очень далека от нас и планетарные туманности в ней имеют видимый блеск 27-й звездной величины, т. е. они в сотни миллионов раз слабее самых слабых звезд, доступных невооруженному глазу! Даже просто сфотографировать эти туманности очень нелегко. Обычная астрономическая фотопластинка для этого не годится — слишком мала ее чувствительность. Чтобы обнаружить туманности, использовали ПЗС-матрицу (прибор с зарядовой связью, подобный тем, которые применяются в видеокамерах). На приведенном здесь изображении галактики NGC 1399 некоторые планетарные туманности обведены кружками. Но сами туманности даже на оригинальных изображениях астрономы различают с трудом. А получить спектры этих туманностей, где были бы видны отдельные линии, — задача гораздо более сложная. Поэтому экспозиция при регистрации спектров туманностей продолжалась 5 часов!

Если бы, как это делали прежде, в течение каждой экспозиции регистрировался спектр только одной туманности, то для изучения 37 туманностей понадобилось бы несколько месяцев непрерывной работы NTT. Это, разумеется, невозможно: такой телескоп всего один, а астрономов много. Все с нетерпением ждут своей очереди. При этом далеко не каждая ночь подходит для астрономических наблюдений: атмосфера должна быть идеально спокойной и прозрачной. Для изучения галактики NGC 1399 было выделено лишь три ночи. Одна оказалась облачной. Можно ли было решить задачу за две оставшиеся?

С помощью специальной системы световодов, напоминающей щупальца осьминога, изображения всех 37 планетарных туманностей были перехвачены в фокусе телескопа и под-

ведены к длинной щели одного спектрографа. На полученной за одну ночь спектрограмме остались «автографы» сразу всех туманностей.

Определив скорости планетарных туманностей вдоль луча зрения, астрономы оценили массу галактики: она оказалась в 10 раз больше, чем суммарная масса всех ее звезд. Следовательно, масса этой гигантской системы на 90 % остается для нас невидимой. Если таковы же свойства всех подобных систем, то во Вселенной достаточно вещества (неизвестного пока вида), чтобы его гравитационное поле остановило в будущем расширение Вселенной и сменило его на сжатие.

© В. Г. Сурдин,
кандидат физико-математических наук
Москва

Астрофизика

Необычный взрыв сверхновой

28 марта 1993 г. испанский астроном-любитель F. Garcia Diez обнаружил гигантский взрыв звезды, получившей обозначение «сверхновая 1993 J». Она находится в спиральной галактике M 81, расположенной от нас на расстоянии 11 млн. св. лет. Вслед за этим ряд астрономов выявил на прежних снимках этого района изображения красного сверхгиганта, сделанные еще до его взрыва. В момент взрыва он стал ярче в 10 тыс. раз, благодаря чему оказался в десятке наиболее ярких сверхновых, известных до последнего времени. Первое место в этом списке занимает сверхновая 1987 А, взорвавшаяся в Большом Магеллановом Облаке. И 1987 А, и 1993 J относятся к сверхновым II типа, хотя звезда, взорвавшаяся в Большом Магеллановом Облаке принадлежала к числу голубых сверхгигантов, а не красных, как это бывает обычно, в том числе и в случае 1993 J.

В спектре сверхновой 1993 J обнаружены линии водорода, характерные для данного типа. Они возникают, когда звезда с массой, по меньшей ме-

ре в восемь раз превышающей массу Солнца, исчерпывает запас ядерного горючего и в ней остается лишь чисто железное ядро; затем звезда коллапсирует, превращаясь в нейтронную. Внешние слои сильно сжимают звезду, порождая ударную волну, разлетающуюся во все стороны со скоростью 10—15 тыс. км/с. В такой момент верхние, богатые водородом слои «сдуваются», и в ее спектре появляются линии водорода.

Через двое суток после открытия сверхновой 1993 J было обнаружено со спутника «IUE» (International Ultraviolet Explorer — Международный спутник «Эксплорер» для ультрафиолетовых наблюдений) ее ультрафиолетовое излучение. G. Sonneborn (Центр космических полетов им. Годдарда, НАСА, Гринбелт, штат Мэриленд, США) считает это излучение, поступающее от ионизованного азота, свидетельством того, что взрывная волна столкнулась с окружающим звезду газом и разогрела его более чем до 100 000°С.

Обычно красные сверхгиганты утрачивают свою газовую оболочку под влиянием мощного звездного ветра. Обнаружение ультрафиолета через столь короткое время указывает на близость газовой оболочки к самой звезде.

Как и предсказывал Sonneborn, вскоре были зарегистрированы рентгеновское и радиоизлучение. Радиоизлучение возбуждается ионами ударной волны по мере их ускорения в магнитных полях газовой оболочки; его и зарегистрировала 2 апреля 1993 г. сеть радиотелескопов VLA, расположенная в Сокорро (штат Нью-Мексико, США). Затем W. Lewin (Массачусеттский технологический институт, США) убедил немецких коллег в необходимости «обратить внимание» на эту сверхновую европейского спутника «ROSAT» с его рентгеновским телескопом, что и было сделано. Хотя от сверхновой 1987 А рентгеновское излучение обнаружено лишь спустя 4 месяца после ее взрыва, на этот раз спутник зафиксировал рентгеновское излучение уже 3 апреля, т. е. всего через неделю после взрыва.

Сопоставление всех данных показало, что масса сверхновой 1993 J всего лишь в 10 раз превышает солнечную, так что она близка к нижнему пределу для сверхновых II типа. Как у 1987 A, так и у 1993 J взрыв был вызван коллапсом ядра. Различия же связаны со структурой внешних слоев этих звезд. Именно эти особенности привели к задержке рентгеновского излучения от 1987 A на 4 месяца.

New Scientist, 1993. V. 138. N 1870.
P. 14 (Великобритания).

Астрономия

Странности звезды HD 98 800

В 1983 г. американский искусственный спутник Земли «IRAS» (Infrared Astronomical Satellite — спутник для астрономических наблюдений в инфракрасной области спектра) исследовал звезду HD 98 800 в созвездии Чаша, находящуюся от нас на расстоянии 65 св. лет. Этот же объект недавно наблюдали с помощью Инфракрасного телескопа НАСА США на Гавайских о-вах (В. Zuckerman, E. Becklin; Университет штата Калифорния, Лос-Анджелес, США).

Как и наше Солнце, эта звезда генерирует энергию благодаря происходящему в ее центре синтезу гелия из водорода. Ученые установили, что 10 % ее излучения относится к инфракрасной области спектра (длина волн между 10 и 100 мкм). Эта необычная яркость в данной области спектра может быть объяснена лишь тем, что звезда окружена огромным облаком космической пыли, переносимым в этом диапазоне оптическое излучение звезды.

Известно еще несколько звезд, излучающих в ИК-диапазоне повышенное количество радиации, но ни у одной из них оно не достигает 10 %. Например, звезда β Живописца, окруженная пылевым диском, который удалось сфотографировать, излучает 0,24 % своей энергии в дальнем ИК-диапазоне. К этому же ряду принад-

лежит и звезда HR 4796, обладающая плотным пылевым облаком, но и она излучает лишь 0,5 % своей энергии в дальней ИК-области.

Zuckerman и Becklin пришли к выводу, что HD 98 800 погружена в плотное кольцо пыли радиусом всего в несколько астрономических единиц; это расстояние значительно меньше, чем у других подобных объектов с «избыточным» ИК-излучением: у них пылевое облако находится на расстояниях 30—150 а. е.

Оценки показывают, что общая масса космической пыли вокруг необычной звезды составляет примерно 0,1 массы Луны. Причина, по которой эта пыль не падает на свое центральное тело, неясна. Не исключено, что этому препятствуют своим тяготением две звезды, вращающиеся вокруг HD 98 800.

Было высказано предположение о возможности существования там планет. Однако две другие звезды могут нарушать стабильность орбиты таких гипотетических планет. Одна из этих звезд удалена от центральной на расстояние в 20 а. е.; другая, которую совсем недавно открыли астрономы В. Stefanik, D. Latham (Гарвардский астрофизический центр, Кембридж, штат Массачусетс, США), расположена значительно ближе, примерно на расстоянии 1 а. е. Влияние этих звезд может приводить к частым столкновениям планет с астероидами, если бы они тут появились, и к образованию большого количества космической пыли.

Многие странности звезды HD 98 800 еще требуют объяснений.

Astrophysical Journal Letters. 1993. 20 March (США); New Scientist. 1993. V. 137. N 1865. P. 16 (Великобритания).

Астрономия

Изучается астероид Ида

Сотрудники Института планетарных наук при Университете штата Аризона в Тусоне (США), возглавляемые С. Чар-

ман, опубликовали первые результаты обработки изображений поверхности астероида Ида, которые были получены с американского космического аппарата «Галилей», проследовавшего 28 августа 1993 г. по пути к Юпитеру всего в 3,5 тыс. км. от этого малого небесного тела.

Общее изображение состоит из шести частичных перекрывающих друг друга снимков при разрешающей способности 35 м, что почти вдвое подробнее, чем лучшие снимки астероида Гаспра, впервые сделанные с близкого расстояния еще в 1991 г. также «Галилеем». Удача на этот раз тем более существенна, что система связи космического аппарата была не в полной исправности и передача информации серьезно задерживалась.

Ида относится пока к числу слабо изученных малых планет, хотя представляет собой более интересный объект исследования, чем Гаспра: ее длинная ось — около 52 км, тогда как протяженность Гаспры всего 19 км. Для геологов объем полученной ныне информации на порядок превышает тот, что относится к Гаспре.

Хорошо различимы топографические детали Иды, чему способствовала весьма удачная освещенность Солнцем в момент съемки, позволяют предположить, что ее возраст в составе пояса астероидов, лежащего между орбитами Марса и Юпитера, составляет уже несколько миллионов лет, что намного превышает прежние представления.

О древности Иды говорит обилие на ее поверхности мелких (но, учитывая размеры астероида, все же достаточно крупных) кратеров, связанных с длительным пребыванием в поясе однородных с нею тел и неизбежными при этом столкновениями с ними.

Ида принадлежит к большому семейству астероидов со сходными орбитами, по-видимому, порожденному распадом более крупного небесного тела. Некоторые исследователи, изучавшие скорости вращения этих родственных друг другу малых планет, ранее видели в их свойствах доказательство того,

что распад произошел якобы недавно. Полагали даже, что Ида намного моложе Гаспры, отколовшейся от своего «родительского» тела примерно 200 млн. лет назад. Теперь же участник обработки данных «Галилея» научный сотрудник Корнеллского университета (Итака, штат Нью-Йорк, США) Р. Thomas пришел к выводу о том, что возраст Иды по крайней мере равен возрасту Гаспры, а может, даже и превышает его.

Знакомство с Идой продолжается, хотя «Галилей» давно прошел мимо этого астероида. Дело в том, что на борту космического аппарата скопился значительный массив дополнительной информации — цветных и инфракрасных изображений его поверхности. Эти данные предполагалось получить весной — летом 1994 г., когда «Галилей» окажется сравнительно близко к Земле.

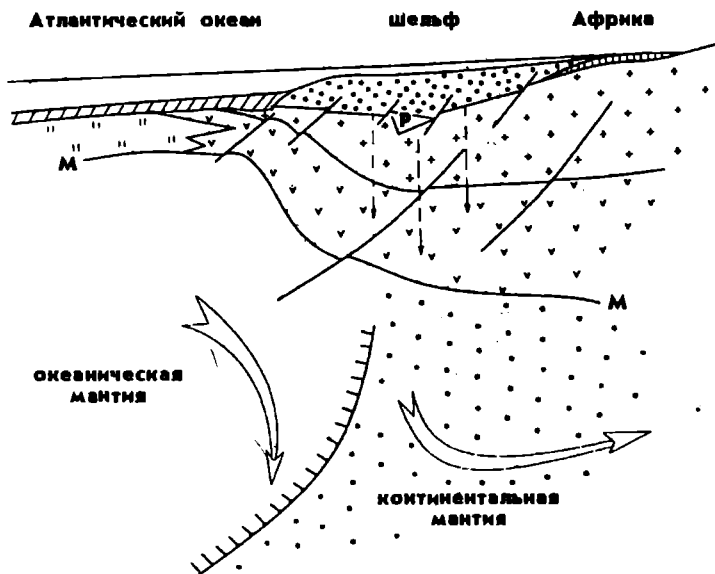
Science. 1993. V. 262. N 5130. P. 33 (США).

Геотектоника

Происхождение перикокеанических бассейнов

Как известно, континентальные окраины относятся к одному из двух типов: пассивному или активному. В пределах пассивных окраин по морфологическим признакам выделяются шельф, континентальный склон и континентальное подножие. Наиболее ярким примером такого типа являются континентальные окраины Атлантики и Индийского океана; во многих местах здесь распространены мощные призматические осадочного чехла (до 15—20 км). Изучение этих бассейнов, получивших в русскоязычной литературе название перикокеанических, очень интересно с точки зрения их нефтегазоносности.

Перикокеанические бассейны обычно располагаются цепочками, вытянутыми на многие сотни и тысячи километров. Их заполняют континентальные и мелководно-морские отложения юры, мела, палеогена, а местами — неогена и четвертичного периода. Чаше такие бассейны имеют резко выраженное



Возможная геодинамическая модель в зоне сочленения Африки и Атлантического океана. М — раздел Мохоровичича, Р — палеорифт.

- Осадочный слой океанической коры
- Заполнение перикокеанического бассейна
- Осадочный чехол платформенного бассейна
- 2-й и 3-й слои океанической коры
- Гравитно-метаморфический слой
- "Базальтовый" слой континентального фундамента
- Раздел океанической и континентальной мантий
- Направления движения глубинных масс
- Направления растягивающей силы

асимметричное строение: короткие и крутые борты со стороны суши и пологие — в сторону океана. Образуются они в результате относительно длительного (100—150 млн. лет) прогибания земной коры, сопровождающегося накоплением осадочного материала. В течение этого времени они остаются мелководными, современная

же их большая глубина связана с более поздними опусканиями.

Основная тектоническая особенность перикокеанических бассейнов состоит в том, что их основание большей частью сложено двумя типами кор: континентальной корой — с внешней стороны и океанической — с внутренней. Нерешенным остается вопрос: почему в зоне стыка континентальной и океанической коры возникают области интенсивного погружения. На сегодня распространена плет-тектоническая модель образования перикокеанических бассейнов: охлаждение океанической литосферы по мере ее отодвигания от осевой зоны спрединга приводит к последующему ее погружению и вовлечению в него соседних участков более тонкой континентальной коры.

В Геологическом институте РАН предложен новый механизм образования перикокеанических бассейнов¹, причем, по мнению авторов, он может быть общим как для перикокеанических бассейнов, так и для линейных структур, расположенных на границе платформ и прилегающих горно-складчатых сооружений. Основное сходство

¹ Антипов М. П., Беляков С. Л., Пушаровский Ю. М., Шлезингер А. Е. О тектонике перикокеанических бассейнов // Геотектоника. 1994, № 1. С. 62—73.

этих структур заключается в большой глубине прогибания, свидетельствующей о мощной глубинной стягивающей силе. Используемые авторами данные сейсмической томографии свидетельствуют, что расположенная на глубине плоскость сопряжения континентальной и океанической литосферы чаще всего наклонена в сторону внутренних областей, реже — в сторону океана. В зоне взаимодействия континентальной и океанической масс могут возникать мощные латеральные движения глубинного вещества, показанные на приведенном рисунке. Наклонные ограничения этих масс способствуют возникновению нисходящих потоков вещества в мантии, что обеспечивает стягивающий эффект и глубокое прогибание периокеанических бассейнов.

© М. В. Лучицкая
Москва

Океанология

Плавательный бассейн для океанологов и метеорологов

Администрация Тихоокеанской Северо-Западной лаборатории (Ричмонд, штат Калифорния, США) в период межсезонья использует популярный летом среди местных жителей водный парк Уайлд-Ривер для научных исследований. В них участвуют также специалисты из Национального управления по изучению океана и атмосферы США, Научно-исследовательской лаборатории ВМФ США и Университета штата Коннектикут.

Основная цель ведущихся здесь научных экспериментов — построить уравнение, описывающее процессы глобального потепления Земли. В первую очередь — установить, каким образом и насколько эффективно главный из парниковых газов — CO_2 — поглощается Мировым океаном.

С осени по весну в гигантском увеселительном бассейне, снабженном устройством для генерации искусственных волн, ве-

дутся измерения движений водной среды, регистрируются образование в ней пузырьков, концентрация CO_2 и т. п. На столах палм, окружающих бассейн, установлены видеокамеры, фиксирующие возникновение, движение и распад волн; на стреле высокого крана смонтирован прибор для регистрации микроволн. В условиях бассейна экспериментаторы могут возбуждать волны любых параметров — от тех, что генерируются легким бризом, до вздымающихся при мощном урагане. Все это помогает понять, как волны различных размеров способствуют передаче CO_2 из атмосферы в морскую среду. Руководит этими опытами гидрофизик W. Asher.

В естественной обстановке аналогичные измерения потребовали бы не менее трех недель судового времени, что обходится в миллионы долларов. Впрочем, на суше экспериментаторов ждали и неожиданные затруднения. Так, осенью 1993 г. на территории южной Калифорнии возникло множество лесных пожаров, и продукты горения привели к зашкаливанию, а затем и к поломке прибора, измеряющего количество взвешенных в атмосфере частиц.

Результаты бассейновых экспериментов будут проверены натурными работами в море. Существует также план создания системы подобных измерений с искусственных спутников Земли. *New Scientist*, 1993. V. 140. N 1890. P. 11 (Великобритания).

Океанология

Растет уровень акустического загрязнения океана

Растущие уровни акустического загрязнения океанских вод, омывающих побережья США, и его негативное воздействие на морских млекопитающих привлекало внимание специалистов Национальной службы США по морскому рыболовству; сейчас они устанавливают допустимые пределы акустических нагрузок антропогенного характера на морских обитателей.

Критику вызвал предложенный ими предел в 120 дБ. Как ни странно, она исходит от океанографов, геологов, климатологов и других специалистов, занятых исследованиями в океане: нелепо, но получается так, что шумовые эффекты, создаваемые в ходе их работ, наносят или могут причинить ущерб тем самым животным, жизнь которых они изучают (например, Национальная служба морского рыболовства заключила, что серия подводных взрывов, проведенная консультантом по акустике W. Cummins'ом, оказала вредное воздействие на поведение морских черепах).

Хотя мало кто сомневается в том, что повышенные уровни шумов опасны для морских млекопитающих, сама проблема состоит в том, какой уровень шума признать избыточным. Исследователи, возражающие против предложенного предела, утверждают, что 120 дБ — это естественный уровень звукового фона океана. По данным одного океанографа, «голоса» дельфинов звучат на уровне приблизительно 220 дБ, финвалы генерируют около 180, волны прибоя — около 130.

Вместе с тем эффект воздействия антропогенного шума на морских млекопитающих меняется в широком диапазоне. W. Richardson, консультант по вопросам окружающей среды, сообщает, что наблюдал гренландских китов, оглушенных шумами, уровень которых не превышал 90 дБ, однако другие виды китов толерантны к 135 дБ — такой уровень шума возникает при бурении океанского дна. В одном из исследований приводятся доказательства того, что оглушения китов у берегов Ньюфаундленда от мощных взрывов при работах по углублению дна.

Оглуший полностью или частично кит теряет способность ориентироваться, поскольку для «навигации» он использует эхолокацию. Не удивительно, что число китов, попадающих в рыболовные сети, постоянно увеличивается, а некоторые киты попадают в сети повторно.

Но даже если правила, регулирующие допустимые уровни акустических загрязнений при различных работах в

морской среде, будут приняты в США, это, скорее всего, станет паллиативной мерой: учитывая большую скорость и дальность распространения звука в океане от его источника, вводимые ограничения скажутся лишь в прибрежных водах США и вряд ли окажут эффект на более удаленные акватории Мирового океана.

Environment. 1993. V. 35. N 10.
P. 22—23 (США).

Океанология. Техника

«Водные крылья» повысят продуктивность марикультуры

Сотрудники Исследовательского центра НАСА в Лэнгли и Колледжа Уильяма и Мэри при Вирджинском институте морской науки предложили искусственно перемешивать глубинные воды Чесапикского залива (38° с. ш. и $76^\circ 15'$ з. д.), создавая тем самым благоприятные условия для жизни донной фауны.

В периоды жаркой летней погоды воды залива сильно прогреваются и водная толща стратифицируется, расслаивается. В результате перемешивание протекает медленно или вовсе прекращается, кислород на глубину не поступает и донные организмы гибнут.

Опытный образец «водных крыльев» представляет собой несложную, дешевую в изготовлении крылообразную конструкцию из фанерных листов, покрытых эпоксидной смолой; крылья, размах которых 6,6 м, придан необходимый по расчетам аэродинамический профиль. Приливные течения, обтекая крылья, генерируют струи, аналогичные возникающим при обтекании крыльев самолета воздухом. Но если в воздухе за крыльями создаются струи в форме горизонтально ориентированных торнадо, то в воде образуются вертикальные токи и турбулентные движения, значительно способствующие транспорту кислорода и питательных солей в глубинные воды.

«Водные крылья» скон-

струированы таким образом, чтобы ставить их на якоря и удерживать на глубине порядка 3 м — такого заглубления достаточно, чтобы предотвратить их столкновение с небольшими судами.

Специалист НАСА D. Greene считает, что экспериментальное исследование показало пригодность опытного образца. Ожидается, что «водные крылья», изготовленные из формованного пластика, стоимостью менее 1000 долл., найдут применение в марикультурных хозяйствах, особенно устричных, и значительно повысят их продуктивность.

Environment. 1993. V. 35. N 10.
P. 24 (США).

Сейсмология

Землетрясения подчиняются цикличности!

1950—1960-е годы были, вероятно, самыми сейсмичными за все время наблюдений. В этот период произошли, в частности, мощные Чилийское ($M=9.5$ по шкале Рихтера) и Аляскинское ($M=9.2$) землетрясения. Однако с тех пор столь сильных подземных толчков на Земле не отмечалось.

Эту статистику проанализировала В. Romanovicz (Университет штата Калифорния, Беркли, США) и пришла к выводу, что наиболее сильные землетрясения с начала текущего века подчинялись некоей закономерности, причем два типа землетрясений чередовались с периодичностью от 20 до 30 лет.

Сейсмологи различают надвиговые и сдвиговые землетрясения. Мощные толчки первого типа возникают, когда «головная» часть одной литосферной плиты «подскальзывает» под другую в зоне субдукции; они присущи районам глубоководных желобов, опоясывающих акваторию Тихого океана.

Сдвиговые землетрясения обычно случаются вдоль границы двух соседних плит, взаимодействующих в процессе горизонтально направленного трения; характерный пример — толчки в районе разлома Сан-Андреас (штат Калифорния,

США). К наиболее катастрофическим последствиям, как правило, приводят надвиговые землетрясения.

По мнению автора, Земля поочередно проходит через периоды, когда преобладают толчки то одного, то другого типа, причем в тот период (одно-два десятилетия), когда преимущественно случаются мощные землетрясения первого типа, практически отсутствуют землетрясения второго типа, и наоборот.

Автор подчеркивает, что в период высочайшей сейсмической активности, отмеченный в 1950—1960-е годы, сильные сдвиговые землетрясения почти не происходили. Зато в 1980-х годах, когда «надвиговая эпоха» завершилась, их число возросло, включая Новозеландское землетрясение 1987 г. ($M=8.2$); аналогичным этому был и период 1930—1940-х годов, когда произошло множество довольно сильных сдвиговых толчков.

Помимо временной, сейсмические события, очевидно, подчиняются и пространственной закономерности. Большая часть надвиговых землетрясений середины нашего века приходилась на «головную» часть Тихоокеанской плиты — между Японией и Аляской. С тех пор сдвиговые толчки сместились по сторонам этой плиты на юго-восток Аляски и к югу от Японских о-вов. В периоды повышения сдвиговой активности сейсмические события распространяются на более широкие области планеты.

По мнению автора, сейсмическая активность может концентрироваться вдоль зон субдукции, где силы, «затягивающие» плиту в недра, воздействуют на ее «головной» край, но возникающее при этом напряжение может передаваться и другим частям плиты, вызывая землетрясения по отдаленным ее границам. Предполагается, что в отдельных случаях подобное напряжение передается даже другим плитам. Не исключено, что провоцировать подобные события могут неравномерности во вращении планеты, биекции ее оси.

Если данная гипотеза подтвердится, то нынешний период умеренных по силе сдвиговых

землетрясений должен вскоре смениться новой эпохой мощных надвиговых толчков. Сочетая эту гипотезу с текущей информацией о характере пространственных изменений, сейсмологи смогут совершенствовать свои прогнозы.

Следует, однако, иметь в виду, что имеющийся 80-летний ряд инструментальных сейсмических наблюдений охватывает всего полтора цикла, определяемого гипотезой Romanovicz. Поэтому пока трудно сказать, насколько эта гипотеза точна. По мнению Н. Kanamori (Калифорнийский технологический институт, Пасадена, США), отдающего должное этой работе, даже события 30—40-х годов были зафиксированы с недостаточной точностью, чтобы на их основании делать столь далеко идущие выводы. R. J. O'Connell (Гарвардский университет, Кембридж, штат Массачусетс, США) подчеркивает, что до сих пор сейсмологи уделяли основное внимание лишь самым мощным событиям, оставляя «за бортом» большинство сдвиговых землетрясений. Отсюда и происходило игнорирование закономерностей чередования их типов.

Science News. 1993. V. 143. N 26. P. 404 (США).

Вулканология

Спутник следит за вулканом

В пустынной местности на севере Эфиопии находится одинокий вулкан Эрта-Але, активность которого известна ученым с 1906 г. В 1967 г. было обнаружено, что в двух его кратерах бурлят лавовые озера. За последние пять лет лава, изливавшаяся через кромку одного из озер, расположенного севернее, заполнила значительную часть впадины площадью 700×1600 м, которая существовала вблизи вершины. В 1971 г. южное озеро «вышло из берегов» и лава сошла вниз по склону.

По данным приборов, установленных на спутнике «Landsat», остатки лавы в феврале

1987 г. в северном озере еще существовали. Температура покрывавшей озера корки была относительно низкой — менее 400°C и лишь в расселинах достигала 1150°C . Но в ноябре 1992 г. D. A. Rothery (факультет наук о Земле Открытого университета, Милтон-Кейнс, Великобритания), совершив восхождение на Эрта-Але, сообщил, что северное лавовое озеро более не существует; очевидно, его содержимое застыло и обрушилось вниз; в южном кратере лава продолжает бурлить.

В июне 1992 г. над этим районом Эфиопии пролетал японский спутник «Fuyo-1». Его приборы зафиксировали сильное коротковолновое инфракрасное излучение, шедшее от южного озера, что убедительно свидетельствовало о его активности. Никакого теплового излучения от северного озера не обнаружено. Наблюдения велись на четырех частотах ИК-диапазона.

Это подтверждает, в частности, эффективность космических методов в вулканологии.

Smithsonian Institution Bulletin of the Global Volcanism Network. 1993. V. 18. N 7. P. 8 (США).

Вулканология. Экология

Жизнь на вулкане Баррен возрождается очень медленно

В апреле 1993 г. комплексная группа ученых из Геологического и Зоологического управлений Индии посетила необитаемый остров Баррен в Индийском океане, входящий в состав Андаманского архипелага (12.29° с. ш., 93.88° в. д.). Остров представляет собой вершину и склоны одноименного вулкана, который в 1991 г. возобновил свою активность.

Известны извержения этого вулкана в 1787—1789, 1795, 1803, возможно — в 1852 и, наконец, 1991 гг. В ходе извержения 1803 г. был выброшен мощный лавовый поток, достигший берега моря; столбы пара там вздымаются и поныне. Последнее из-

вержение началось в апреле 1991 г.; над вершиной взвился столб пепла; изливавшаяся базальтово-андезитовая лава покрывала около 1.6 тыс. м^2 площади слоем толщиной 5—6 м. К концу 1991 г. активность вулкана Баррен ослабела.

Высадившиеся у северо-западного побережья острова ученые зарегистрировали все еще продолжающиеся, но уже незначительные выбросы газов из расщелин в сравнительно свежей лаве, центральный же кратер не клубился дымом. Температура морской воды в пункте высадки достигала 45°C ; в остальных местах была нормальной. Температура воздуха находилась в пределах 40 — 60°C , но по мере приближения к кромке кратера повышалась.

Установлено, что извержение резко сократило видовой состав фауны. Например, из 16 видов птиц, ранее встречавшихся на острове, 10, очевидно, мигрировали в безопасные места; среди сохранившихся теперь чаще других встречается местная разновидность голубя (*Ducula bicolor*). Обнаружены также крысы (*Rattus rattus*) и 51 вид насекомых. Повсюду лежат опаленные огнем трупы птиц, крыс и сухопутных крабов. Живых крабов, как и бабочек, не оказалось.

В 1891 г. на о. Баррен впервые завезли коз (*Capra hircus*). Их многочисленное потомство прекратило сохраняться, вероятно, благодаря тому, что животные сумели укрыться от извержения на сравнительно спокойном южном склоне гористого островка.

Smithsonian Institution Bulletin of the Global Volcanism Network. 1993. V. 18. N 9. P. 4 (США).

География

Уроки урагана «Полли» в Китае

По экспертным оценкам, около 10 % ущерба, наносимого Китаю стихийными бедствиями, связано с состоянием омывающих его морей и атмосферы над ними. На первом месте среди

воздействующих явлений стоят разрушительные штормовые приливы. По их частоте побережье Китая, где подобные события возможны в любое время года, занимает одно из первых мест в мире. Особенно они часты на территории, прилегающей к заливу Бохайвань и собственно Желтому морю, однако нередко тайфун вызывает опасные приливы и на юго-востоке страны. Это существенно влияет на экономическое развитие соответствующих регионов.

К настоящему времени общая длина дамб и валов, ограждающих побережья Китая от воздействия морской стихии, составляет 12 883 км, из них лишь 2966 км отвечают современным требованиям. Тяжелым испытанием для подобных инженерных сооружений, а также для метеорологических служб и населения страны оказались события, связанные с ураганом «Полли», обрушившимся на восточное побережье Китая 28 августа — 1 сентября 1992 г. Анализ их последствий проведен коллективом сотрудников Национального центра прогнозов состояния морской среды (Пекин).

Это бедствие по своим масштабам превысило любое из подобных явлений, имевших место с 1949 г. Его особенно разрушительный характер объясняется тем, что высокий сезонный прилив в омывающих Восточный Китай акваториях, вызванный обычными астрономическими причинами, на этот раз совпал с выходом на берег мощного урагана «Полли». В той или иной мере его прямому воздействию подверглись районы, общая численность населения которых превысила 20 млн. чел. Длина разрушенных дамб составила 1170 км; затоплено 2 млн. га сельскохозяйственных угодий (0,33 млн. — до невозможности степени); дороги и мосты разрушены на протяжении 1678 км; смыты 99 200 домов; уничтожено 5200 судов различного водоизмещения; остановлено полностью или частично 10 700 промышленных предприятий. Погибло 193 чел. (в том числе 114 — в провинции Чжэцзян), прямые убытки достигли 92,5 млрд. юаней.

Еще в самом начале приближения урагана «Полли», дви-

жавшегося почти прямо с юга на север, многие морские уровнемеры зарегистрировали необычный подъем вод. На 76 станциях сразу был превышен уровень, при котором объявляется тревога (на нескольких — на 1 м и более, а 13 станций зарегистрировали рекордный за всю историю наблюдений подъем зеркала моря). Данные всех уровнемерных станций вместе с информацией наземных метеостанций достаточно оперативно передавались местным властям и органам, действующим в чрезвычайных ситуациях. Прогнозы дальнейших событий составлялись с помощью нескольких методов, включая построение динамических моделей, и многократно передавались по местному радио, телевидению, телефонным сетям.

Сопоставление прогнозных данных с реальным положением показало, что из 101 уровнемерной станции на 34 % ошибка была в пределах 10 см. Это позволило своевременно оповестить значительную часть населения и срочно эвакуировать многие тысячи людей из районов, которым угрожало наводнение.

Берегоукрепительные сооружения, отвечавшие современным стандартам, отлично сыграли свою защитную роль (например, в устье р. Хуанпуцзян в Шанхае дамба, рассчитанная на прилив, возможный, согласно расчетам, не чаще одного раза в тысячелетие, выстояла и на этот раз). Не соответствующие же современным требованиям приморские валы в провинциях Фуцзянь и Чжэцзян, которые были рассчитаны лишь на приливы, случившиеся раз в 20 лет, не смогли противостоять урагану «Полли».

Для уменьшения опасности подобных бедствий предложено повысить готовность к ним населения; укрепить слабые дамбы и валы; учитывать возможность штормовых приливов при планировании нефте- и газоразработок на шельфе и в прибрежных районах; улучшить систему наблюдения за состоянием моря и воздушных масс над ним.

Natural Disaster Reduction in China. 1993. V. 2. N 3. P. 126 (КНР).

География

Наводнение на Миссисипи

На протяжении двух столетий население центральной части США, местные и федеральные власти не щадили усилий, чтобы не допустить разливов Миссисипи, которые каждый раз приводили к человеческим жертвам, разрушениям и значительным убыткам. Главным методом борьбы с наводнениями всегда считалось обвалование берегов реки, сооружение дамб и плотин. Лишь за последние 60 лет на это израсходовано более 7 млрд. долл.

В результате Миссисипи оказалась полностью отгороженной от заливных долин и болот на протяжении от штата Айова, в ее верхнем течении, до Луизианы, где она впадает в Мексиканский залив. Эти долины и увлажненные земли ранее служили естественными «резервуарами»; они принимали воду из самой реки и ее притоков, когда их уровень поднимался, и выравнивали сезонные колебания стока.

Высоко поднятые дамбы и плотины усиливают скорость движения воды в половодье, что повышает опасность для мест, расположенных ниже по течению. Так как в естественных «резервуарах» вода уже не накапливается, в периоды засухи сток оказывается еще более низким. Летом 1988 г. Миссисипи почти совсем пересохла на участке, расположенном ниже места ее слияния с р. Миссури, южнее Сент-Луиса.

Наоборот, лето 1993 г., оказалось в этом районе самым дождливым за последние 20 лет; в некоторых частях штата Миссури осадки в 1993 г. превышали многолетнюю среднюю норму в шесть раз.

Истоки Миссисипи и Миссури находятся вблизи границы США с Канадой. Их общий бассейн охватывает область Великих равнин и штаты Небраска, Канзас, Айова и Миссури. Возникшее наводнение принесло большие потери во всем этом регионе. Пришлось эвакуировать более 30 тыс. жителей; убытки оцениваются в сумму свыше 10 млрд. долл.

В 150 км вниз по течению от Сент-Луиса расположены водозащитные сооружения, возведенные по государственному плану «Миссисипи и ее притоки» главным образом силами Инженерного корпуса армии США. Они образуют вдоль берегов реки почти сплошную дамбу. Но севернее этого района дамбы и плотины местами разбросаны на значительные расстояния. Именно здесь произошло наибольшее число прорывов воды, поднявшейся на отдельных участках на 14 м выше ординара в прилегающие низменные местности.

Отмечается, что в организации спасательных работ и борьбе с наводнением большую пользу оказали космические съемки, сделанные с борта американского искусственного спутника Земли «Landsat-4». Они же теперь изучаются с целью определить меры, способные предотвратить аналогичные бедствия в будущем.

Еще в 1990—1991 гг. группа сотрудников Университета штата Флорида (Гейнсвилл, США), которую возглавлял гидролог Н. Odum, провела оценку мер по «обузданию» величайшей реки на Земле. Главный вывод экспертов: необходимо в бассейне Миссисипи восстановить естественную систему заливных лугов и болот. Это, по их мнению, не только устраним наводнения, но и позволит ценным для сельского хозяйства илам снова отлагаться вдоль берегов; улучшатся условия для рыболовства. Выгоду от подобных мер они оценили в 22 млрд. долл. в год. Подчеркивают, что западноевропейские гидрологи рассматривают аналогичный план действий в отношении Рейна.

New Scientist. 1993. V. 139. N 1882. P. 3; N 1883. P. 5 (Великобритания).

деш (Индия) — продолжает оставаться предметом ожесточенных разногласий.

Главным аргументом противников строительства является нежелание многих десятков тысяч людей переселяться с затопляемых земель; кроме того, они указывают на непоправимые, по их мнению, последствия для природной среды окружающего региона от создания водохранилища.

Сторонники же проекта подчеркивают, что лишь одна плотина на р. Нармада позволит оросить 1,8 млн. га земель и снабдить питьевой водой жителей 8 тыс. деревень в прилегающем штате Гуджарат, регулярно страдающем от жесточайших засух.

В августе 1993 г. плотина на Нармаде уже достигла 60-метровой высоты и вода затопила несколько окрестных деревень. В ответ участники движения «Спасем Нармаду» угрожали утопиться в прибывающей воде. Правительство страны было вынуждено создать комиссию по пересмотру проекта.

Еще в апреле 1993 г. Всемирный банк отменил свое прежнее решение о выдаче Индии субсидии в 170 млн. долл. на строительство этих гидротехнических сооружений. Такая мера была принята после того, как сформированная Всемирным банком независимая комиссия констатировала недостаточность мер для устройства переселяемых людей и защиты окружающей среды. Общественность продолжает борьбу.

New Scientist. 1993. V. 139. N 1886. P. 8 (Великобритания).

География

Как прокормить мир!

Институт «Всемирная стража» (Worldwatch Institute, Вашингтон, США) опубликовал очередной ежегодный отчет об экономическом, социальном, демографическом состоянии человечества.

В 90-х годах в мире началось заметное снижение темпов производства продуктов

питания, отстающего теперь от роста народонаселения. По мнению возглавляющего институт Л. Р. Брауна (L. R. Brown), связано это с экологической деградацией ресурсов суши и моря и истощением «задела» новых сельскохозяйственных технологий.

Особенно нагляден пример океанического рыболовства: прирост уловов полностью прекратился в 1989 г., тогда как с 1950 по 1989 г. он возрос более чем в четыре раза. По оценкам ООН, ныне все 17 основных рыболовных акваторий или достигли, или даже превысили естественные пределы возможностей, в результате — падение мирового производства рыболовства на душу населения Земли с 1989 по 1993 г. примерно на 9 %, причем с ростом численности человечества этот показатель еще ухудшится, а цены возрастут.

Во многих регионах планеты потребление пресной воды уже нарушает пределы, допускаемые гидрологическим циклом. Это препятствует развитию новых ирригационных систем. Если между 1950 и 1984 гг. производство зерна росло в мире примерно на 3 % в год и увеличилось в 2,6 раза, то теперь — менее чем на 1 %.

С 1981 г. не расширяются на Земле площади под зерновыми, при этом почти не растет и урожайность. Так, сбор кукурузы в США, поставляющих 1/8 мирового урожая этой культуры, с 1950 по 1984 г. увеличился втрое, но затем почти не изменялся. Почти такая же тенденция и в Западной Европе: неуклонный рост в течение 35 лет (с 1950 г.) урожайности пшеницы затем резко прекратился. В Китае, крупнейшем производителе пшеницы, после экономических реформ 1978 г. ее урожай возрос к 1984 г. на 81 %, а в следующие девять лет прирост составил всего 16 %.

Поскольку в последние

Защита окружающей среды

Борьба вокруг плотины

Проект одного из крупнейших в мире гидротехнических сооружений — Сардар-Саровар в штате Мадхья-Пра-

1 См. также: Рыболовство: настоящее и будущее // Природа. 1994. № 5. С. 90; Истощение рыбных ресурсов и рыболовство // Там же. С. 90—91.

три года производство риса в странах Азии не достигало уровня его потребления, приходилось расходовать прежние запасы, в результате — рост мировых цен на этот продукт. Неясно, сможет ли сельское хозяйство региона справиться с этой ситуацией в 1994 г. и обогнать рост численности населения. Власти Японии значительно субсидируют рисосеяние в своей стране. Несмотря на это, роста урожайности в последнее десятилетие не наблюдалось, она достигла предела, непреодолимого, пока не появится кардинально новая технология.

Движущей силой в этом процессе с середины XX в. было увеличение потребления удобрений: с 1950 по 1984 г. — с 14 до 126 млн. т.; каждая тонна удобрения дополнительно давала около 9 т зерна. Но с 1984 г. никакая добавочная масса удобрений не приводила к сравнимому росту урожая. В сочетании с отменой субсидий на приобретение удобрений в ряде стран это на 12 % уменьшило их использование в период между 1989 и 1993 гг.

Процесс замедления роста урожайности охватил как промышленные, так и аграрные страны. Отсюда вывод: мировое сельское хозяйство не сможет прокормить в недалеком будущем возросшее к тому времени население Земли. Равновесие между потреблением и производством продуктов питания может быть достигнуто главным образом путем планирования численности семьи.

За 40 лет после 1950 г. население планеты увеличилось на 2,8 млрд. чел. (в среднем ежегодно — на 70 млн. чел.). Демографы предсказывают, что с 1990 по 2030 г. прирост составит 90 млн. в год. В отдельных странах цифры особенно контрастны: население Нигерии с 1900 по 1990 г. возросло на 55 млн. чел., прирост к 2030 г., вероятно, составит еще 191 млн.; в Эфиопии за тот же период прирост численности поднимется с 30 до 106 млн. чел., в Египте — с 33 до 51 млн., в Бангладеш — с 68 до 129 млн., в Индии — с 484 до 590 млн. Даже в

Китае, где принимаются строжайшие демографические меры и рост народонаселения замедляется, за следующие 40 лет появится 490 млн. новых «ртов» и число граждан перевалит за 1,6 млрд. чел.

Улучшить положение можно было бы, ограничив скапливание зерна скоту в промышленных странах. Помимо этого, следует расширить продовольственную помощь странам, находящимся на грани голода уже сейчас. Однако если даже найдутся денежные средства для ее удвоения, это позволит лишь кое-как прокормить 50 млн. добавочных потребителей, появившихся на Земле в течение всего 7 мес.

Отчет завершается призывом повсеместно сделать доступными средства планирования семьи (полагают, что в «третьем» мире насчитывается более 100 млн. женщин, которые хотели бы ограничить число детей, но не имеют такой возможности). Важные положительные результаты дала бы ликвидация неграмотности, в особенности среди женщин: это, как известно, тоже приводит к падению рождаемости.

Прообразом бед, ждущих в противном случае человечество, авторы обзора называют сегодняшние Сомали, Судан и Гаити, где недоедание вызывает катастрофические социальные потрясения.

Worldwatch Institute. News Release. 1994. January 15. P. 1—6 (США).

Биология

Отчего похудели осетры!

Шесть-семь лет назад в Волго-Каспийском бассейне появилось множество особой русской осетры (*Acipenser gueldenstaedti*) с признаками нарушения мышечной ткани. По внешнему виду они не отличались от нормальных рыб, однако на ощупь можно было обнаружить размягченные участки, в которых под кожей невооруженным глазом было видно продольное расслоение белой мышцы на отдельные пучки мышечных волокон. Рыбное хо-

зяйство стало нести огромные убытки из-за низкого качества гастрономической продукции, получаемой из таких рыб.

Для выяснения природы этого явления О. К. Басурманова (Институт эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова РАН, Москва) изучила с помощью электронного микроскопа строение мышц осетров, пойманных во время нерестовой миграции в низовьях Волги и у Волгоградской плотины.

Оказалось, что как в мышцах с заметным расслоением, так и в совершенно нормальных всегда имеются некоторые деструктивные изменения. Даже у осетров с сильной степенью расслоения мышц оно не охватывает всей мышечной ткани, а имеет очаговый характер. Дегенерация мышц начинается с исчезновения толстых и тонких протофибрилл (строго упорядоченных миофибрилл и актиновых нитей, формирующих миофибриллы — структурные единицы мышечных волокон). В результате сначала или уменьшается площадь поперечного сечения миофибрилл, или в них образуются «щели», а затем идет дальнейшая дезорганизация протофибрилл. Однако полностью мышечное волокно не разрушается: сохраняется его оболочка и рядом с дегенерирующими миофибриллами всегда есть хотя бы небольшое их количество с нормальным строением.

Описанные деструктивные изменения автор рассматривает не как патологические, а как нормальный физиологический процесс утилизации сократительных белков, вполне обратимый.

Известно, что во время длительного сезонного голодания или при созревании икры и спермы рыбы могут утилизировать сократительные белки белых мышц наряду с жировой тканью и гликогеном (их энергетическими делами). В период нерестовой миграции, который продолжается у осетров около года, они не питаются, а живут за счет внутренних энергетических ресурсов. Поэтому практически у всех половозрелых особей, отловленных на Волге в местах нереста, в их белой мышце всегда отме-

чаются деструктивные изменения. После нереста рыбы обычно переходит на нормальное питание, и израсходованные белки восстанавливаются до уровня, близкого к исходному.

Высказано предположение, что массовое появление русских осетров с признаками расслоения мышечной ткани в 1987—1988 гг. связано с какими-то экстремальными для этого вида условиями (отсутствие пищи в традиционных местах нагула или изменение температуры воды), попав в которые, рыбы теряют способность восстанавливать израсходованные мышечные белки или не имеют такой возможности.

Антропогенные факторы также были учтены, но решающего значения они не имели: после 1989 г. осетры с признаками расслоения мышц стали встречаться реже, хотя вода в Волго-Каспийском бассейне не стала чище; зависимость между степенью дефекта мышц и содержанием в органах и тканях рыб токсических веществ не обнаружена; наконец, у других представителей семейства осетровых поражение мышц не имело столь массового характера.

Цитология. 1994. Т. 36. № 1. С. 91—97 (Россия).

Молекулярная биология

Механизм деления злокачественных клеток

Исследования последних лет показали, что ключевую роль в остановке роста раковых опухолей, таких как рак прямой кишки, молочной железы и легких, играет белок p53, участвующий в регуляции клеточного деления. Установлено, что у многих видов безудержно размножающихся раковых клеток ген, кодирующий этот белок, мутирован или совсем отсутствует, а его функция состоит в активации других генов.

Одновременно и независимо друг от друга В. Эл-Дейри с коллегами (W. El-Deiry; Университет Дж. Гопкинса, Балтимор, США) и Ст. Элледж и У. Харпер (St. Elledge, W. Harper;

Бэйлорский медицинский колледж, Хьюстон, США) открыли конкретный ген, который может активироваться геном p53. Группа из Балтимора назвала его CIP1, а группа из Хьюстона — WAF1.

Исследователи под руководством Эл-Дейри обнаружили: если добавить белок, кодируемый геном CIP1, к клеткам опухоли мозга, то их деление остановится. Оказалось также, что человеческий белок, кодируемый геном p53, активирует ген CIP1/WAF1 у грызунов, что может указывать на сохранение в процессе эволюции этой системы регуляции клеточного деления. Белок мутантного гена p53 не влияет на ген CIP1/WAF1 в опухолевых клетках.

Авторы из Хьюстона установили, что при активации гена CIP1/WAF1 клетки вырабатывают белок (названный так же, как ген), который ингибирует активность фермента Cdk2 из группы киназ — ключевого фактора в запуске деления клеток.

Возможно, что ген CIP1/WAF1 участвует в регуляции деления не только опухолевых, но и нормальных клеток, давая сигнал к прекращению деления в определенный период развития органа или ткани.

Разработка нового направления в лечении раковых опухолей может пойти по пути создания белков, идентичных или близких по структуре тому белку, который кодируется геном CIP1/WAF1, с последующим их введением в организм больных.

New Scientist. 1994. V. 141. N 1909. P. 15 (Великобритания).

Биохимия

О природе шизофрении

Несмотря на многолетние исследования, природа и механизм развития шизофрении остаются пока мало понятными. Наиболее распространена «дофаминовая гипотеза» происхождения этого заболевания: проявление клинических симптомов шизофрении вызывает дофамин,

в избытке накапливающийся в головном мозге. Дофамин относится к катехоламинам и действует через молекулярные рецепторы, расположенные на поверхности нервных клеток мозга. Относительно самих рецепторов пока получены противоречивые данные: одни авторы указывают на увеличение их числа у больных шизофренией, другие не находят подобных изменений. Решение вопроса осложняется тем, что больные, как правило, принимают большие дозы нейролептиков, которые, судя по опытам на животных, сами по себе способны увеличивать число рецепторов дофамина в головном мозге.

Группа специалистов из Торонтского университета (Канада), которую возглавляет Ph. Seeman, исследовала различные виды рецепторов дофамина (D2, D3, D4) не только у больных шизофренией, но и у людей, страдающих болезнью Альцгеймера и болезнью Гетчинсона (при которых в конечной стадии заболевания нарушается двигательная активность, обусловленная, однако, разными причинами).

Все образцы тканей мозга были взяты после смерти пациентов: 32 — у больных шизофренией (6 из них при жизни не получали нейролептиков); 5 — у страдавших болезнью Альцгеймера, 11 — болезнью Гетчинсона и 5 — у здоровых людей. Авторы установили, что число рецепторов D2 и D3 у больных всех групп не отличалось от такового у здоровых людей. Число же рецепторов D4 у шизофреников примерно в шесть раз превышало этот показатель во всех остальных группах обследованных (страдавшие болезнями Альцгеймера и Гетчинсона употребляли нейролептики в столь же больших дозах, как и больные шизофренией). Эти данные свидетельствуют в пользу того, что избыток рецепторов и связанный с ним избыток дофамина в мозге играют решающую роль в развитии шизофрении. Таким образом, дофаминовая гипотеза происхождения этого тяжелого заболевания получила серьезное подтверждение.

Nature. 1993. V. 365. N 6445. P. 441—445 (Великобритания).

Медицина

Рибосомы бактерий против бронхита

Рост хронических легочных заболеваний в последние годы потребовал создания новых лекарственных препаратов, в том числе на основе бактериальных рибосом — внутриклеточных органелл, синтезирующих белки.

При лечении больных хроническим бронхитом с признаками иммунной недостаточности группа исследователей под руководством Р. М. Хаитова (Институт иммунологии, Москва) применила препарат рибомунил фирмы «Pierce Fabre» (Франция). Он состоит из фракций рибосом четырех бактерий, наиболее часто вызывающих инфекции верхних дыхательных путей и легких: клебсиеллы (*Klebsiella pneumoniae*), диплококка (*Diplococcus pneumoniae*), стрептококка (*Streptococcus pyogenes*) и гемофильной палочки (*Haemophilus influenzae*). Препарат действует подобно вакцинам и обладает свойствами иммунокорректора. Хотя идея применения убитых бактерий для вакцинации больных не нова, возрождение старого способа стимуляции иммунной системы организма осуществляется теперь на совершенно новом методическом уровне.

Через три недели лечения рибомунилом у больных исчезает кашель, слабость, одышка, температура, улучшаются показатели дыхания, постепенно снимается воспаление в бронхолегочной системе. Во время курса лечения у двух третей больных обострение болезни либо вовсе не наблюдалось, либо оно было незначительным. Особенно хорошие показатели получены при использовании препарата в период ремиссии — затихания болезни с ослаблением ее клинических проявлений.

Лечение, однако, не помогало заядлым курильщикам, больным, находящимся в состоянии постоянного стресса, и тем, кому часто приходилось контактировать с вредными химическими веществами, сыростью и пылью.

Установили, что в процессе лечения улучшались только показатели общего клеточного иммунитета: нормализовалось соотношение субпопуляций лимфоцитов крови, активировались нейтрофилы (специальные лейкоциты, или макрофаги), в то же время гуморальный иммунитет не менялся: содержание иммуноглобулинов (специфических защитных белков) осталось в сыроворотке крови прежним.

Более заметное действие рибомунил оказывал на местный иммунитет. Повышалось количество иммуноглобулинов А и D в бронхиальном секрете и слюне больных, увеличилось число макрофагов (клеток, захватывающих и переваривающих чужеродные частицы, в том числе и возбудителей инфекции) в просветах легочных альвеол и усиливалась их функциональная активность. Вместо многочисленных фаголизосом (внутриклеточных резервуаров, накапливающих шлаки, инородные частицы, фрагменты погибших клеток и бактерий) в легких появляется много молодых, функционально активных нейтрофилов и макрофагов, в цитоплазме которых накапливаются первичные лизосомы, содержащие ферменты и готовые к перевариванию поглощенных частиц.

Авторы рекомендуют назначать рибомунил в фазе ремиссии хронического бронхита, особенно больным со сниженным иммунитетом.

Иммунология. 1994. № 1. С. 36—43 (Россия).

Медицина

Инфекции грозят захлестнуть мир

Международные эксперты Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) на своем очередном совещании в Женеве выразили озабоченность угрожающим распространением как новых, так и возрождающихся инфекционных заболеваний. Среди первых наиболее опасен СПИД, о котором еще лет 10 назад было известно крайне мало.

Недавно на юго-западе США обнаружено неизвестное

прежде заболевание, которое поражает преимущественно легкие и приводит к гибели более половины заболевших. Его возбудителем оказался новый вирус — hantavirus, который передается полевыми мышами. В Азии обнаружен новый штамм возбудителя холеры, а в Южной Америке — неизвестный ранее ареновирус (РНК-содержащий вирус), который ведет к развитию двух сходных заболеваний с неблагоприятным исходом — венесульской и бразильской геморрагических лихорадок.

В последние годы наметилась тенденция роста заболеваний, распространение которых до недавнего времени считалось ограниченным: туберкулеза, включая формы, устойчивые к антибиотикам, холеры, желтой лихорадки и лихорадки денге. В 1993 г. отмечено возрождение ряда инфекционных заболеваний: холеры в Латинской Америке и желтой лихорадки в Кении, где они ранее никогда не регистрировались; кишечных инфекций, вызванных кишечной палочкой (*Escherichia coli*) в Южной Африке и Свазиленде; лихорадки денге в Коста-Рике и дифтерии в России.

Все чаще возникают эпидемии, связанные с заражением продуктов питания и питьевой воды. Одним из основных возбудителей пищевых токсикоинфекций традиционно является сальмонелла (*Salmonella enteritidis*), передающаяся преимущественно через зараженные куриные яйца и содержащие их продукты питания. Число заболеваний сальмонеллезом за последние 12 лет катастрофически выросло.

В 1993 г. в США была зарегистрирована рекордная вспышка кишечных заболеваний, связанных с заражением питьевой воды фекалиями. Более 400 тыс. чел. в Милуоки (штат Висконсин) страдали от длительной диареи, вызванной кишечным паразитом криптоспоридиумом (*Cryptosporidium*).

Руководитель секции ВОЗ по контролю за пищевыми продуктами F. Kaferstein заявил о необходимости срочного принятия во всех странах специальных государственных программ с целью ограничить

распространение пищевых инфекций.

Многие инфекционные болезни относятся к зоонозным, т. е. они возникают и передаются через животных. За последние семь лет появилось огромное число таких заболеваний по всему земному шару. Их возникновение связано с новыми условиями ведения сельского хозяйства, распространением международного туризма и торговли, более широким международным обменом продуктами питания и животными, изменениями условий жизни, привычек и традиций в приготовлении пищи. Кроме того, меняются и сами возбудители, приобретая новые свойства в результате адаптации, мутаций и рекомбинаций (например, вирус гриппа, поражающий как человека, так и животных).

Обсудив необходимость и возможности создания широкой сети научных и лечебных центров по борьбе с инфекционными болезнями, специалисты ВОЗ выразили надежду, что принятые на совещании предложения помогут развернуть соответствующую базу, особенно в развивающихся странах, для своевременной диагностики и ликвидации вспышек инфекций.

World Health Organization. Press Release. 1994. N 37 (Швейцария).

Палеонтология

Портрет трилобита в глине

Палеонтологу - любителю С. Connolly, который преподает в одной из британских школ, посчастливилось найти остатки трилобита — членистоногого, жившего 475 млн. лет назад. Довольно отчетливые отпечатки части его мягких тканей сохранились в древних морских осадочных породах нижнего ордовика на территории Хаверфордзета (графство Дайфед, юго-западный Уэльс). Такая находка — большая редкость: обычно внутренние органы этих животных разрушаются бесследно. Животное принадлежит к уже известному виду *Placoparia cambriensis*.

Заметив, что в обнаруженном образце имеются отпечатки той области, где смыкаются два выступа головной части панциря, Connolly послал снимки в Национальный музей Уэльса. Найденным экземпляром заинтересовались палеонтологи H. Wittington и R. Owens, поскольку выявленные мелкие детали внутреннего строения трилобитов до сих пор оставались неизвестными. Ценность находки как раз и заключается

в том, что отпечатки панциря в глинистых сланцах оказались настолько отчетливыми, что по ним можно судить о некоторых особенностях мягких тканей и внутренних органов трилобита. Это первый случай, когда существующие представления были подтверждены фактическим материалом.

Помимо основания выступов головной части были обнаружены также отрезок заполненного глиной пищеварительного тракта и, вероятно, остатки сухожилий, похожие на поперечные «перекладины»; к ним прикреплялись мускулы, расположенные в центрально-осевой области, в местах соединения брюшных сегментов.

Трилобитов чаще всего находят в свернутом виде: сворачиваясь подобно ежу, животное, скорее всего, защищалось от хищников. До сих пор было неясно, как достигалось такое положение тела. Теперь же по расположению следов, оставленных сухожилиями, специалисты могут понять способ крепления вытянутых в длину мышц, обеспечивающих свертывание и развертывание тела трилобита.

Philosophical Transactions of the Royal Society B. 1993. V. 339. P. 109; New Scientist. 1993. V. 140. N 1889. P. 20 (Великобритания).

КОРОТКО

Индийцы племени апачей на территории своей резервации площадью 1.8 млн. акров в штате Аризона проводят учет животных, находящихся в опасности или под угрозой исчезновения и наиболее чувствительных к внешним воздействиям. Дотации Национальной федерации по охране живой природы США и ассигнования из фонда племени предполагаются использовать для найма специалиста-биолога, который и возглавит эту работу. Программа предусматривает выявление мест обитания таких видов, как мексиканская пятнистая сова, северный ястреб, белоголовый орлан, сапсан и

пустынная черепаха, а также восстановление природных богатств резервации и охрану животных, на которых запрещена охота.

International Wildlife. 1993. V. 23. N 6. P. 27 (США).

Эксперты Всемирной организации здравоохранения считают излишним вводить нормы допустимых концентраций частиц асбеста в питьевой воде, поскольку их присутствие не опасно для здоровья в случаях использования асбесто-цементных труб для водоснабжения. (Количество таких частиц в воде, протекающей по этим трубам в ряде районов США, Канады и

Великобритании, не намного выше, чем обусловленное естественными эрозийными процессами.)

Действительно, экспериментальные и эпидемиологические данные свидетельствуют, что проглоченные частицы не оказывают вредного действия, в отличие от частиц асбеста, которые попадают в организм со вдыхаемым воздухом и вызывают заболевание легких, известное как асбестоз, а также различные формы рака преимущественно в бронхах, плевре и брюшной полости.

World Health Organization. Press Release. 1994. N 17 (Швейцария).

Призвание — заповедное дело

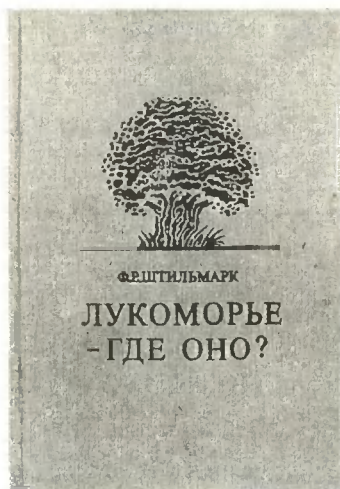
Н. И. Чесноков,
кандидат биологических наук
Москва

ФЕЛИКС РОБЕРТОВИЧ ШТИЛЬМАРК — известный природозащитник и писатель, много лет отдавший заповедному делу. Его неумными трудами существенно приросли и площадь, и количество заповедников, обогатилась методология природоохранного дела. Читатель знает автора книги по его обширной литературе.

Книга «Лукоморье — где оно?», уверен, понравится. Написана она прозрачным языком художественных текстов. И немудрено — ведь писательский дар Ф. Штильмарка имеет фамильные корни. Его отец, Р. Штильмарк — автор захватывающего приключенческого романа «Наследник из Калькутты», написанного за колючей проволокой одного из сталинских лагерей.

Книга «Лукоморье...» вскрывает разные пласты интересов автора: полевую экологию, охотоведение, охрану природы и заповедное дело. Западают в душу слова: «А в общем-то Лукоморье — страна сказочная и у каждого своя» (с. 81).

Полагаю, в охране природы Ф. Штильмарк нашел свое призвание. Этот выбор, сделанный в молодые годы, не сулил легкой жизни, куда выгоднее было примкнуть к компании преобразователей природы. Стоит напомнить, что в 50-е годы охрана природы у нас была подавлена,



Ф. Р. Штильмарк. ЛУКОМОРЬЕ — ГДЕ ОНО? М.: Мысль, 1993, 332 с.*

преобладающая часть заповедников ликвидирована. Как трудно было спасти от разграбления даже малую толику земли! Взять хотя бы затяжную эпопею с организацией заповедника «Малая Сосьва». На месте ликвидированного Кондо-Сосвинского заповедника площадью более 800 тыс. га Ф. Штильмарк попытался сохранить заповедную территорию в 480 тыс. га, затем эта площадь по требованию лесозаготовителей сократилась до 290 тыс. га, а потом и вовсе до 93 тыс. га. Ряд запроектированных Штильмарком заповедников так и остался на бумаге (оз. Ханка, Ненецкий и др.). Но все же важные победы — «Малая Сосьва», «Таймырский», «Сохондин-

ский», «Юганский» и другие заповедники.

Штильмарку постоянно приходилось сталкиваться с вопиющими несуразностями. Учреждение заповедника зависело от воли хозяйственного руководителя, для которого на первом месте, конечно же, экономические интересы, а точнее — сиюминутная выгода. Вот и потерпела неудачу попытка основать заповедники в степной зоне, где они ох как нужны.

Автор книги твердо держится принципа, что заповедность исключает эксплуатацию территории. По его справедливому мнению, «охрана начинается лишь там, где она прочно и реально не содействует, а противодействует природопользованию» (с. 326). Заповедники — истинная защита природы, поскольку их территория изъята из хозяйственного пользования. Штильмарк убежден, что неприкосновенной природе мы обязаны отдать хотя бы полпроцента территории. Не нужно заповедовать большие площади, их ведь и охранять трудно.

Предложения о создании заповедников в малонаселенных местах тундры и тайги с изъятием из пользования громадных площадей (2—3 млн. га) не заслуживают одобрения автора книги. Действительно, как совместить в данном случае интересы природы и людей, занимающихся промыслом? Штильмарк, кажется, близок к мысли, что тайга, тундра и коренное их население — равноправные сочлены природного сообщества. В северных районах Западной Сибири должны существовать зоны, где запрещается промышленная деятельность (вы-

© Чесноков Н. И. Призвание — заповедное дело.

* Издание заказное. Книгу можно приобрести в библиотеке ЦНИЛ Главохоты РФ, тел. 915-08-86.

рубка леса, добыча нефти и газа), но разрешено заниматься охотой, рыболовством, оленеводством, без чего не могут существовать народности Севера — ханты, манси, ненцы.

Пишет Штильмарк и о тяжелых последствиях «преобразования природы». Это загрязненная полустоячая Волга, засоленные земли, бесплодные пустоши на месте осушенных болот, фауна, засоренная чуждыми видами животных. Не обошло сие бедствие и заповедники. В их границах выпускали не свойственных местной природе

зверей, которые губили природные комплексы. Так, в заповедники Европейской России были завезены для акклиматизации пятнистые олени, которые порядком «преобразовали» лесные угодья. Столь же опасными в ряде заповедников оказались ондатра, американская норка и другие виды, завезенные для акклиматизации.

Штильмарк с теплотой и любовью говорит о видных ученых, энтузиастах охраны природы — А. Н. Формозове, В. Г. Гептнере, Г. П. Деметьеве, С. И. Огневе, В. Н. Сука-

чеве, А. Г. Банникове, В. Н. Скалоне и др.

В заключение Штильмарк обращается к теме покаяния. По его мнению, все без исключения — экологи и философы, физики и лирики, академики и плотники — виновны в содеянном над природой и должны покаяться за «покорение» Волги, Дона и Енисея, за порчу Байкала, за надругательство над нашей землей.

Будут ли услышаны эти слова?

НОВОСТИ НАУКИ

История науки. География

На Шпицбергене найдены остатки экспедиции Уэльмана

На о. Данскё (79°40' с. ш., 11°00' в. д.), входящем в архипелаг Шпицберген, американская экспедиция Ратгерского университета обнаружила остатки двух воздушных шаров. Специалисты считают их первыми документальными свидетельствами арктического воздухоплавания. Они относятся к полярным экспедициям 1906, 1907 и 1909 гг. американского журналиста В. Уэльмана.

В период между 1894 и 1909 гг. В. Уэльман — корреспондент газеты «Chicago Record Herald» — провел пять неудавшихся экспедиций с целью достижения Северного полюса; в трех из них были использованы воздушные шары.

В июле—августе 1993 г. в течение трех недель аспирант археолог Р. J. Capeloffi под руководством С. Schrire (Факультет антропологии Ратгерского университета) обследовали бухту

Вирго на о. Данскё, включая место базового лагеря Уэльмана. Гондола воздушного шара, который использовался в экспедициях 1907 и 1909 гг. была обнаружена на второй день после прибытия на остров, а остатки гондолы, использованной в экспедиции 1906 г., найдены к концу работ на острове. Их обнаружили на расстоянии 200 м друг от друга. В сотрудничестве с правительством Норвегии разрабатывается план сохранения этих недолговечных предметов и других остатков базы экспедиций Уэльмана. Реализация плана осложняется тем, что база и находки расположены вблизи небольшой бухты, которую ежегодно посещают более 1000 туристов, прибывающих на небольших крейсерских яхтах.

Экспедиция нашла также предметы, которые, по-видимому, являются деталями моторных саней, доставленных Уэльманом на остров в 1906 г.

К числу других интересных находок относятся балластные грузы к воздушным шарам экспедиций 1907 и 1909 гг., обнаруженные под обломками ангара (сам ангар был разрушен в

1912 г.), и большая, выложенная железными плитами, яма для варки ворвани.

Сохранявшиеся вываренные остатки были собраны со дна ямы и отправлены в США для датировок спектрометрическим и радиоуглеродным методами. Для детального изучения туда же последовали гондолы экспедиций 1907 и 1909 гг.; канистра с веществом неустановленного состава, имеющая бирку с надписью «Чикаго, США»; бутылка с горельефной надписью «Фармацевтическая компания Ламберта», а также батометр, принадлежавший, вероятно, экспедициям С. Андрэ 1896—1897 гг. — ведь базы Уэльмана и Андрэ были расположены поблизости друг от друга. Кроме того, были отобраны пробы грунта в местах расположения различных установок для производства водорода, который использовался для наполнения оболочек воздушных шаров.

Polar Record. 1993. V. 29. N 171. P. 343—344 (Великобритания).

Еще один талантливый Мечников

Г. И. Любина

Институт истории естествознания и техники РАН
Москва

В СЕМЬЕ МЕЧНИКОВЫХ, из которой вышел всемирно известный биолог, лауреат Нобелевской премии, было три брата, и каждый из них стал знаменит по-своему. Старшего отметил Л. Н. Толстой, списав с него героя повести «Смерть Ивана Ильича». Младшего, Илью Ильича, мы уже упомянули. А вот имя среднего брата, Льва Ильича, теперь знакомо сравнительно узкому кругу историков. В бурных событиях XX в. о нем подзабыли, но следы его без особого труда обнаруживаются в журнальной публицистике, научной критике второй половины прошлого века, в частной переписке и мемуарах. Сохранился на диво и архив Л. И. Мечникова, он находится в составе фонда его приемной дочери Н. В. Кончевской в Государственном архиве Российской Федерации (ГАРФ)¹.

Природа не дала Л. И. Мечникову крепкого здоровья, но, по свидетельству современников, он был одарен талантами. Отличался энциклопедической памятью, «речь его, блестящая, живая, остроумная, лилась совершенно свободно», его литературным способностям воздавали должное все многочисленные редакторы, с которыми он сотрудничал. Многие отмечали его строгий, аналитический ум, склонность к систематизации и широким обобщениям, а также редкую работоспособность. Илья был восприимчив к музыке, а Лев страстно любил живопись, легко



Лев Ильич Мечников (1838—1888).

писал стихи. От матери, Эмили Львовны, они унаследовали повышенную эмоциональность. Оба были людьми пылкими, страстными, увлекающимися.

В официальных бумагах Льва Ильича, выданных в разное время швейцарскими властями, в графе «род занятий» значится: литератор, художник, профессор географии. В каждой из этих областей он работал вполне профессионально. Но

многообразие талантов и интересов мешало Льву Ильичу достичь подлинных высот.

Непокорный нрав заставил юного Льва Мечникова провести, по его словам, «смотр всех учебных заведений Российской империи», начиная с частных пансионов и кончая харьковской гимназией. Отсюда родители забирали его во избежание худшего. В студенческие годы повторилась история с «переменой мест». Не более семи месяцев задержался он на ме-

© Любина Г. И. Еще один талантливый Мечников.

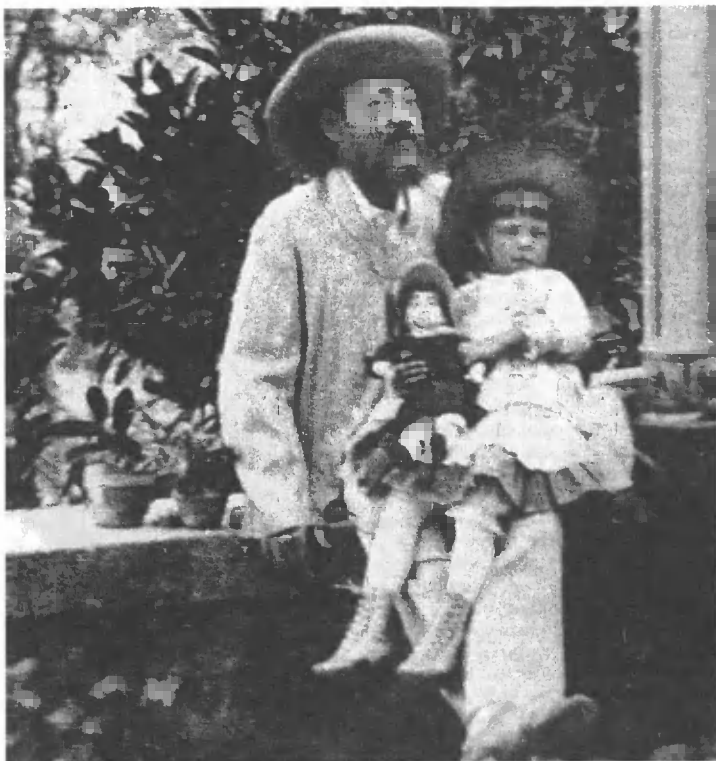
¹ Автор благодарит сотрудников ГАРФ Л. И. Петрушеву, Е. Г. Широкову, Л. М. Аппак за помощь в работе. Хотелось бы отметить в качестве источника обстоятельную статью А. К. и О. В. Лишних в «Литературном наследстве» (Т. 87. М., 1977. С. 466—507). См. также: Карташова А. С. Дороги Льва Мечникова. М., 1981.

² Воспоминания О. Р. Мечниковой о муже. ГАРФ. Ф. 6753. Оп. 1. Д. 88. Л. 12.

дицинском факультете Харьковского университета. Участие в студенческих волнениях — и Мечников вынужден перебраться в Петербург. В северной столице он занимается на физико-математическом факультете университета, в Медико-хирургической академии, в Академии художеств, изучает восточные языки. Они ему вскорегодились. После очередного изгнания из университета (по аналогичной причине) он устроился переводчиком русской дипломатической миссии на Ближнем Востоке. Но возникла размолвка с начальником, и он стал торговым агентом частного торгового пароходства на Ближнем Востоке, побывал в Египте, в городах Малой Азии и Греции, а затем отправился в Венецию с намерением брать уроки живописи³.

Но не таков был нрав Льва Ильича, чтобы спокойно заниматься живописью, когда в Италии шла освободительная борьба против владычества Австрии. После злоключений, связанных с австрийской полицией, Мечников вступил в отряд Гарибальди. В 1861 г. во Флоренции появился капитан генерального штаба корпуса Гарибальди, «храбрый солдат и защитник свободы», — так рекомендовали Мечникова его польские друзья. Он с трудом приходил в себя после тяжелого ранения в боях под Вольтурно. Мечникову было 23 года, он отрезал себе путь возвращения в Россию и выбрал судьбу эмигранта.

Во Флоренции в ту пору обосновалось много русских. Здесь Мечников познакомился со своей будущей женой Ольгой Ростиславовной Скарятиной и с А. И. Герценом, который в 1863 г. приезжал повидаться с сыном Александром, жившим в Италии. Встреча с Герценом многое определила в жизни Мечникова. Он окончательно утвердился в идеалах революции, а Герцен нашел подходящего сотрудника для «Колокола» и «Полярной звезды». Мечников стал публиковать там заметки по общественно-политическим вопросам, а также исторические очерки о Пугачеве и Разине.



Лев Ильич с приемной дочерью Н. В. Кончевской.

В письмах к сыну Герцен часто упоминал Льва Ильича, признавая его литературный талант.

В 1864 г. произошло знакомство Мечникова с другим «генералом от революции» — М. Бакуниным. Это склонило Мечникова к анархизму, он примкнул к бакунинскому крылу I Интернационала. Свободно владея десятью европейскими языками, он стал посредником между представителем русской политической эмиграции и деятелями европейского революционного движения. Часто выполнял задания по печатанию и пересылке в Россию нелегальной литературы. Но постепенно стал все более терять вкус к деятельности «цехового революционера» и, наконец, почувствовал, что бунтарские настроения «молодой эмиграции» ему чужды.

В записках 80-х годов Лев Ильич писал, что для будущего России «нужно ждать и работать... А всякое дело, совершае-

мое при пособии элементов безумных, мистических, фантастических, в последних выводах своих будет иметь и безумные результаты рядом с дельными. Я не верю в прежние революционные пути...». Но в нем неистребимо жила вера в общество, построенное на началах добровольной кооперации.

В огромном архиве знаменитого Мечникова нет писем от младшего брата. В архиве Льва Ильича писем от Ильи Ильича всего два, да и те датированы последними месяцами жизни адресата. Совершенно очевидно, что братья не были духовно близки. Известно, что Илья Ильич осуждал революционное народничество и возлагал на него ответственность за многолетнюю политическую реакцию в России после убийства Александра II. Только смертельная болезнь Льва Ильича смячила их отношения.

Журналистская работа продолжалась более 20 лет. Лев Ильич называл ее «подневольной из-за куска хлеба, при которой размеры и архитектуру каж-

³ Сведения, почерпнутые из фонда ГАРФ, будут даваться без ссылок.

дой статьи приходилось соотносить с итогами счетов, подпирających кнутом не позже следующего месяца». Работа эта к тому же была сопряжена с соблюдением жестких требований цензуры, приходилось строго контролировать себя, писать «обо всем, кроме того, о чем чувствовал потребность писать в данную минуту». О размахе этой работы свидетельствует счет за 1879 г., из которого узнаем, что только в журнале «Дело» Мечников опубликовал в течение года 32,4 печатных листа.

Он сотрудничал со многими другими русскими журналами прогрессивного толка. Печатался (иногда под псевдонимом Басардин) в «Современнике», «Русском слове», «Отечественных записках», «Русском богатстве», «Вестнике Европы». Занимался литературной критикой и текущей политикой, из-под его пера выходили беллетристика и заметки о посещениях Италии, Швейцарии, Испании, Японии, статьи по истории, религии, философии и социологии, этнографии, антропологии, географии, педагогике, психологии и др.

Приходилось заниматься и переводами. Издательство «Плос» приобрело у вдовы Ф. М. Достоевского права на издание его сочинений во Франции, заключило с Мечниковым договор на перевод «Записок из мертвого дома». Впрочем, первые пробы не понравились известному французскому русисту М. Вогюэ. Он нашел перевод Мечникова неточным, и договор был расторгнут. Упреки в некоторой небрежности, торпливости Мечникову приходилось слышать и от русских редакторов, например, от Г. Е. Благовещенского, редактора журнала «Дело», все же находившего в статьях Мечникова «прекрасную форму, верность взгляда, огонь публициста». Достоинства всегда брали верх над недостатками, критические и публицистические статьи Мечникова охотно принимали русские и западноевропейские журналы.

Весной 1874 г. по приглашению японского министерства просвещения Мечников прибыл в Токио, «чтобы посеять там некоторые зерна западной ци-

вилизации, до которой эти славные островитяне стали с некоторых пор очень падки»⁴. В токийской школе иностранных языков он преподавал русский язык, читал лекции по русской литературе и истории. Лев Ильич выучил японский еще до приезда на острова. Жизнь его в Японии складывалась удачно. Он много путешествовал, изучил природу, экономику, культуру страны, приобрел друзей в разных социальных слоях японского общества. У него было много учеников, некоторые из них стали впоследствии видными деятелями японской культуры и политики. Но местный климат оказался для Льва Ильича неблагоприятным, у него развилось малокровие, и уже в 1876 г. он вынужден был покинуть гостеприимную страну.

По дороге в Европу Мечников начал писать книгу «Японская империя», которая вышла с его рисунками в Женеве в 1881 г. Это собрание самых разнообразных сведений о Японии: о ее физической и экономической географии, демографии, истории и культуре. Книга добавила к известности Мечникова-этнографа (с 1872 г. он — член Географического этнографического общества) и географа (с 1876 г. — член Географического общества в Женеве) заслуженную репутацию ориенталиста. В 1882 г. он был избран членом Общества исследований в области японистики в Кларане (Женева).

Сам Мечников обобщил свои достижения в этой области в письме к секретарю Парижского географического общества Ш. Мануару от 5 ноября 1881 г. Кроме книги он, в частности, называет курс по этнографии Японии, прочитанный на факультете наук Женевского университета (1878), серию публичных лекций по географии и истории Японии в том же университете, опубликованных в журнале «Science politique», доклад по геологии Японии на заседании Парижской академии наук, доклад о происхождении японцев, сделанный в Парижском антропологическом обществе.

В последние годы жизни Мечников сильно сдружился с известным французским географом Э. Реклю, который после разгрома Парижской Коммуны обосновался в Швейцарии. Помимо географии их сближали анархистская идея и скитальческая судьба. Реклю использовал материалы Мечникова по Японии и Дальнему Востоку при написании одного из томов своего обширного сериала «Всеобщая география». В конце 70-х годов он предложил Мечникову секретарскую работу по изданию «Всеобщей географии». Работа была изнурительной, но давала после многих лет литературной поденщины твердый заработок. Мечников делал переводы с незнакомых Реклю языков, помогал в редактировании, составлял библиографию к отдельным томам, правил корректуры. Вместе с Кропоткиным он принял участие в написании двух томов, посвященных географии России, которые рецензенты признали едва ли не самыми лучшими.

В 1883 г. Невшательская академия (Швейцария) предложила Льву Ильичу кафедру сравнительной географии и статистики. Современники отзывались о его лекциях с высокой похвалой. Но для кипучей натуры Мечникова этой работы оказалось мало. Он организовал в целом ряде швейцарских городов серию публичных лекций по естественной истории. В «космогонических чтениях» перед слушателями представляли картины происхождения Солнечной системы, геологического строения Земли, истории кругосветных путешествий и т. п. Театральная лекторская манера, демонстрация с помощью проекционного фонаря красочных картинок, нарисованных самим Мечниковым, создавали потрясающий эффект. В одном лишь промахнулся удачливый лектор: выступления, которые должны были пополнить семейный бюджет, оставили в нем брешь в 1000 франков.

Попытка придать университетскому курсу систематический вид привела к написанию книги «La civilisation et les grands fleuves historiques» («Цивилизация и великие исторические реки», 1889), которая стала последней работой Меч-

⁴ L'empire japonais. Texte et dessins par Léon Metchnikoff. Genève, 1881. P. 1.

никова. Замысел книги был под-
сказан Реклю, он же осуществ-
вил ее посмертное издание.

Сам Мечников рассмат-
ривал эту книгу как введение к
обширному труду по социальной
философии под названием
«Цель существования». Социоло-
гический подтекст книги соот-
ветствовал устроению эпохи.
Она встретила интерес у
специалистов, сочувственные от-
зывы появились в «Вестнике Ев-
ропы», «Русской мысли», «Се-
верном вестнике», во франко-
язычных журналах, своеобраз-
ным рецензентом стал Реклю,
автор предисловия. Сочинение
Мечникова, как и все, что он пи-
сал, не укладывалось в тради-
ционные рамки. Одни критики
увидели в нем скорее социоло-
гическую, чем географическую
работу, другие — весьма удов-
летворительный ответ на многие
вопросы философии истории.
Симпатии большинства критиков
вызвала мечниковская идея со-
циального прогресса: он считал,
что основой будущего общества
должна стать ассоциация людей
на началах добровольности и
общности целей.

Однако анархистские пла-
ны лишить государство контроля
над общественной жизнью и
особенно над производитель-
ными силами рождали большие
споры. Г. В. Плеханов нашел
книгу к тому же недостаточно

материалистичной и упрекнул
автора в пренебрежении эконо-
мической теорией Маркса.

Особый интерес вызвала
отстаиваемая в книге мысль о
ведущей роли географической
среды в развитии человеческой
цивилизации. Мечников не был
создателем этой теории. Но его
знаменитые предшественники —
Монтескье, Гегель, Бокль, Рит-
тер — рассматривали влияние
географической среды на чело-
века главным образом в плане
психологии и физиологии. Меч-
ников перенес основной акцент
на социальные отношения. Ци-
вилизации сложились в долинах
исторических рек — Нила, Тигра,
Евфрата, Хуанхэ, Янцзы. Река,
писал Мечников, «есть выраже-
ние живого синтеза всей со-
вокупности физико-географи-
ческих условий и климата, и
почвы, и рельефа земной по-
верхности, и геологического
строения данной страны»⁵. Влия-
ние географической компонен-
ты в истории человечества
трансформируется во времени.
Древние речные цивилизации
уступили место в более позднее
время морским цивилизациям
(Средиземноморье, Северное
море), в новое время ось
цивилизации переместилась на

океанические регионы (снача-
ла — Атлантика, затем —
Тихий океан).

Мечников решительно от-
рицал тезис об избранности бе-
лой расы, да и вообще отрицал
существование чистых рас. По
его представлениям, все народы
способны к культурному раз-
витию и самостоятельному твор-
честву. Он рассматривал исто-
рию человека во взаимодейст-
вии с природой, но был чужд
антропоцентризму. Это особен-
но ценил Реклю.

Последнее сочинение
Мечникова, как и все, что он
писал, блещет эрудицией, для
доказательства своих тезисов он
использовал все достижения
современных ему сравнительной
географии, этнографии, антро-
пологии, социологии, антропо-
географии и др. Книга Мечни-
кова четырежды издавалась в
России. Последнее издание по-
явилось в 1924 г. в Москве.

Скитальческая жизнь, не-
посильный труд подорвали и без
того хрупкое здоровье Льва
Ильича. С 1885 г. тема болезни
звучала в его письмах неотступ-
но. 30 июня 1888 г. он скончал-
ся, через месяц после того, как
ему исполнилось 50 лет. Его
похоронили на кладбище Кла-
рана, маленькой деревушки на
берегу Женевского озера, где
он жил последние два года по
соседству с Элизе Реклю.

⁵ Мечников Л. И. Цивилизация
и великие исторические реки. М.,
1924. С. 159.

Над номером работали
Ответственный секретарь
Л. П. БЕЛЯНОВА

Заместитель ответственного
секретаря
В. И. ЕГУДИН

Научные редакторы
И. И. АРУТЮНЯН
О. О. АСТАХОВА
М. Ю. ЗУБРЕВА
Г. М. КАРАСЕВА
Г. В. КОРОТКЕВИЧ
М. С. ПОКРОВСКАЯ
Н. В. УСПЕНСКАЯ
О. И. ШУТОВА
Литературный редактор
Г. В. ЧУБА

Художественные редакторы
Л. М. БОЯРСКАЯ, Е. В. СЕНИЦЫНА

Заведующая редакцией
И. Ф. АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Е. Е. БУШУЕВА

Компьютерный набор
М. Н. ГРИЦУК

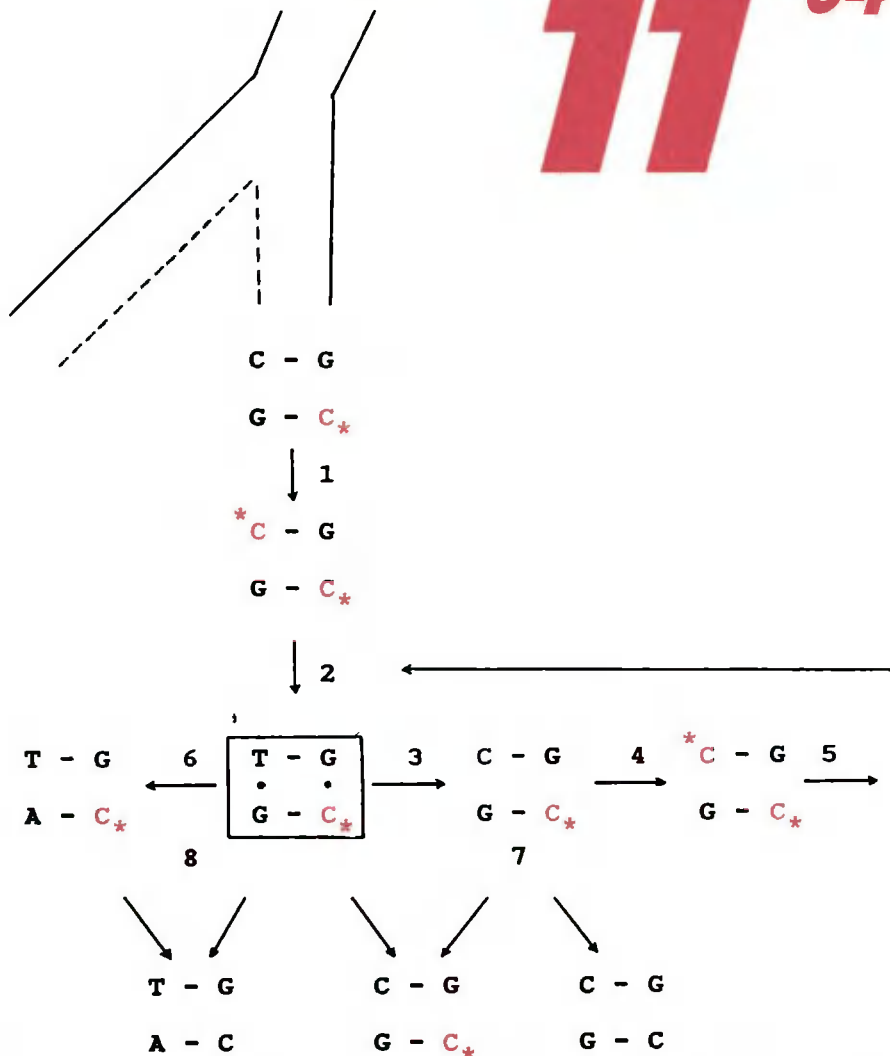
Корректоры
Р. С. ШАЙМАРДАНОВА,
Т. Н. МОРОЗОВА

В художественном оформлении
номера принимали участие
В. С. КРЫЛОВА
В. И. ЕГУДИН

Адрес редакции:
117810, Москва, ГСП-1
Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 31.08.94.
Подписано в печать 12.10.94.
Формат 70×100 1/16
Бумага книжно-журнальная № 2
Офсетная печать
Усл. печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 195,3 тыс.
Уч.-изд. л. 15,2
Тираж 7297 экз.
Зак. 3293

Ордена Трудового Красного
Знамени
Чеховский полиграфический
комбинат
Комитета Российской Федерации
по печати
142300, г. Чехов
Московской области



Никто не сомневается, что старение — процесс неизбежный и постепенный. Но какие механизмы участвуют в глубокой перестройке организма, внешне почти незаметной на протяжении нескольких десятилетий, а потом превращающей человека в глубокого старика? На сей счет существует множество гипотез. Одна из них сводится к накоплению мутаций, и, похоже, для этого есть универсальный механизм, своеобразный генератор мутаций — метилирование ДНК. Постоянно накапливаясь в генах, мутации, возникающие за счет метилирования, могут остановить деление клеток, нарушить работу органов и тканей и в конечном итоге привести к старению и гибели любого организма. Метилирование — это особая генетическая программа, которая включается уже на ранних стадиях эмбрионального развития и работает вполне автономно, не needing в какой бы то ни было дополнительной регуляции. Это — мина замедленного действия, заложенная в ядерный геном каждой нормальной клетки и отсчитывающая число клеточных делений. Хорошо бы остановить часовой механизм этой мины и, замедлив старение, продлить активную жизнь.

Мазин А. Л. МОЖНО ЛИ НЕ СТАРЕТЬ?

Индекс 10707

ISSN 003 2-874X. Природа. 1994. № 10. 1-126.