

ISSN 0013-774X

ПРИРОДА

3-91



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Л. Д. ФАДДЕЕВ

Кандидат физико-математических наук
А. И. АНТИПОВ

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТУШКОВ

Член-корреспондент АН СССР
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук
А. А. ВЕЛИЧКО

Академик
В. А. ГОВЫРИН

Заместитель главного редактора
Ю. Н. ЕЛДЫШЕВ

Член-корреспондент АН СССР
Г. А. ЗАВАРЗИН

Академик
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Доктор физико-математических наук

И. Ю. КОБЗАРЕВ

Доктор физико-математических наук
А. А. КОМАР

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор философских наук
Н. В. МАРКОВ

Доктор исторических наук
П. И. ПУЧКОВ

Заместитель главного редактора
академик
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ

Доктор философских наук
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР
А. А. СОЗИНОВ

Академик
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

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

Академик
В. Е. ХАИН

Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

ПРИРОДА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
ПОПУЛЯРНЫЙ
ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
АКАДЕМИИ НАУК СССР

Издается с января 1912 года



НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Люминесцентное свечение кальцита. См. в номере: **Горбюц Б. С., Новиков В. В.** Люминесцентное обогащение руд.

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Майоликовая облицовка колонны мавзолея Ходжа Ахмеда Ясави в г. Туркестане. См. в номере: **Такибаева С. С., Ахметов С. Ф.** Секреты древних глазурей.



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



© Издательство «Наука»,
журнал «Природа» 1991

В НОМЕРЕ

3 «НАУКА, НАУКА — ВОТ МОЕ ДЕЛО...» К 100-летию со дня рождения С. И. ВАВИЛОВА

Заслуги выдающегося физика-оптика и крупного организатора науки Сергея Ивановича Вавилова были высоко оценены при его жизни. Но только теперь мы начинаем постигать глубину его жизненной драмы. Публикуемые статьи показывают плодотворность научных идей С. И. Вавилова, приоткрывают завесу вынужденной скрытности, которая хранила его внутренний мир.

Франк И. М. МЫСЛИ О С. И. ВАВИЛОВЕ (5)

Франк А. И. ПОСЛЕСЛОВИЕ (20)

Вавилов С. И. СВЕЧЕНИЕ ЧЕРЕНКОВА (21)

Болотовский Б. М. ПОСЛЕСЛОВИЕ (24)
Фок М. В., Фетисова З. Г. ФОТОСИНТЕЗ И РЕЗОНАНСНАЯ МИГРАЦИЯ ЭНЕРГИИ (25)

Тимофеев Ю. П. ОТ ИНФРАКРАСНЫХ ЛУЧЕЙ К ВИДИМОМУ СВЕТУ (32)

Чукова Ю. П. ИТОГИ СПОРА С. И. ВАВИЛОВА И П. ПРИНГСХЕЙМА (38)

Горобец Б. С., Новиков В. В. ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЕ ОБОГАЩЕНИЕ РУД (44)

50 Такибаева С. С., Ахметов С. Ф. СЕКРЕТЫ ДРЕВНИХ ГЛАЗУРЕЙ

Большой вклад в реставрацию одной из жемчужин средневекового зодчества — мавзолея Ходжа Ахмета Ясави — внесли геологи. Они не только изучили состав древних строительных материалов и воссоздали технологию изготовления кирпичей и глазури, но и подобрали подходящее сырье для реставрационных работ.

56 Румянцев В. Ю. КАРЛИКИ И ГИГАНТЫ СРЕДИ ЗЕМЛЕРОЕК

ВЕСТИ ИЗ ЭКСПЕДИЦИЙ

58 Кирьяк М. А. УНИКАЛЬНАЯ ГРАФИКА ДРЕВНЕЙ ЧУКОТКИ

ГИПОТЕЗЫ

61 Топорков А. В. ЗАГАДКИ МОРЕЙ

КРАСНАЯ КНИГА

62 Белик В. П. СТЕПНАЯ ПТИЦА СТРЕПЕТ

64 Шхаулин Р. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Используя геохимические методы утилизации промышленных отходов и продуктов жизнедеятельности, мы гарантированы от неизбежных негативных последствий: такие технологии проверены природой задолго до нашего появления.

73 Пущаровский Ю. М. НОВАЯ МОДЕЛЬ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

74 Корогодни В. И., Кутлазмедов Ю. А., Файси Ч. ИНФОРМАЦИЯ, ЭВОЛЮЦИЯ И ТЕХНОГЕНЕЗ

Новые представления о роли информации в динамике живой природы будут полезны для разработки моделей развития биоценозов и технологий.

83 Сиротенко О. Д., Величко А. А., Долгий-Трач В. А., Климанов В. А. ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ И БУДУЩИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ РУССКОЙ РАВНИНЫ

Моделирование возможного влияния потепления климата на агроклиматические ресурсы и продуктивность агроэкосистем Европейской части СССР показывает, что такое изменение в целом создаст благоприятные условия для развития сельского хозяйства.

89 Лебединец В. Н. ОРГАНИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ В МЕЖПЛАНЕТНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Результаты экспериментов на космических зондах «Вега», «Джотто» и «Дайнемикс Эксплорер-1» позволили предположить, что в атмосферу Земли из космоса ежедневно поступают тысячи тонн высокомолекулярных органических соединений.

РЕЗОНАНС

97 Марголис Л. Б. ПОЧЕМУ МЫ НЕ ПОНИМАЕМ ЖИВУЮ КЛЕТКУ, ИЛИ МИФЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ БИОЛОГИИ

101 НОВОСТИ НАУКИ

112 КОРОТКО

РЕЗЮМЕ, ОБЪЯВЛЕНИЯ (37, 57, 166)

114 РЕЦЕНЗИИ

116 НОВЫЕ КНИГИ

ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

117 РАЗНЫЕ ГРАНИ С. И. ВАВИЛОВА Болотовский Б. М. ГЛАЗАМИ СОТРУДНИКОВ ФИАН (117) Левшин Л. В. С. И. ВАВИЛОВ И МОСКОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (120) Вавилов Ю. Н. ОН БЫЛ МНЕ БЛИЗКИМ ЧЕЛОВЕКОМ (123) Фабрикант В. А. О НЕКОТОРЫХ ВЫСКАЗЫВАНИЯХ С. И. ВАВИЛОВА ПО ПОВОДУ ГАЛИЛЕЯ И НЬЮТОНА (126)

CONTENTS

3 "SCIENCE IS MY PRINCIPLE CAUSE..."

S. I. Vavilov's 100th birth anniversary
 During his lifetime S. I. Vavilov was highly respected as a prominent scientist and organizer of science. His life drama has just emerged to our attention. The following articles testify to the fruitfulness of his scientific ideas and lift the veil of secrecy imposed on his inner world.

Frank I. M. THOUGHTS ABOUT S. I. VAVILOV (5)

Frank A. I. AFTERWORD (20)

Vavilov S. I. CERENKOV RADIATION (21)

Bolotovskiy B. M. AFTERWORD (24)

Fok M. V., Fetisova Z. G. PHOTOSYNTHESIS AND THE RESONANCE MIGRATION OF ENERGY (25)

Timofeev Yu. P. FROM INFRARED RAYS TO VISIBLE LIGHT (32)

Chukova Yu. P. VAVILOV-PRINGSHEIM CONTROVERSY (38)

GOROBETS B. S., NOVIKOV V. V. LUMINESCENT ORE DRESSING (44)

50 Takibaeva S. S., Akhmetov S. F. SECRETS OF ANCIENT GLAZES

Geologists made a great contribution into the studies of the Khoja Akhmed Yesavi mausoleum, one of the best samples of mediaeval architecture. Having established the content of ancient construction materials and the technology of bricks and glazes they suggested raw materials for restoration works.

56 Rumyantsev V. Yu. DWARFS AND GIANTS AMONG SHREWS**58** NEWS FROM EXPEDITIONS

Kiryak M. A. UNIQUE GRAPHICS OF ANCIENT CHUKOTKA

61 HIPOTHESES
Toporkov A. V. THE ENIGMAS OF THE SEAS**62** Belik V. P. BASTARD, A BIRD OF THE STEPPES**64** Schuiling R. GEOCHEMICAL TECHNOLOGIES

Geochemical technologies of utilizing the products of vital activity were employed by nature even before man appeared on Earth. To protect ourselves from possible unexpected negative consequences we should employ them to utilize industrial refuse.

73 Pushcharovsky Yu. M. A NEW MODEL OF GEODYNAMIC PROCESSES**74** Korogodin V. I., Kutlakhmedov Yu. A., Fajsz Cs. INFORMATION, EVOLUTION AND TECHNOGENESIS

New ideas on the role of information in the dynamics of the living nature will greatly contribute to the development of biocenoses and technologies.

83 Sirotenko O. D., Velichko A. A., Dolgy-Trach V. A., Klimanov V. A. THE GLOBAL WARMING OF THE CLIMATE AND THE FUTURE AGROCLIMATIC RESOURCES OF THE GREAT RUSSIAN PLANE.

Modelling of the possible impacts of this process has testified that on the whole it will improve conditions in this region of the USSR and contribute to a better agricultural situation.

89 Lebedinets V. N. ORGANIC POLYMERS IN INTERPLANETARY SPACE

Space sounding performed by "Vega", "Giotto" and "Dynamics Explorer-1" allows us to surmise that thousands of tons of highly molecular organic compounds enter the Earth's atmosphere from outer space every day.

RESONANCE

97 Marlogis L. B. WHY DO WE FAIL TO UNDERSTAND THE LIVING CELL, OR THE MYTHS OF MOLECULAR BIOLOGY**101** SCIENCE NEWS**112** NEWS IN BRIEF

ADVERTISEMENTS, ANNOUNCEMENTS (37, 57, 100)

114 BOOK REVIEWS**116** NEW BOOKS

MEETING THE FORGOTTEN PAST

117 DIFFERENT FACETS OF S. I. VAVILOV
Bolotovskiy B. M. HOW FIAN ASSOCIATES REMEMBER VAVILOV (117)

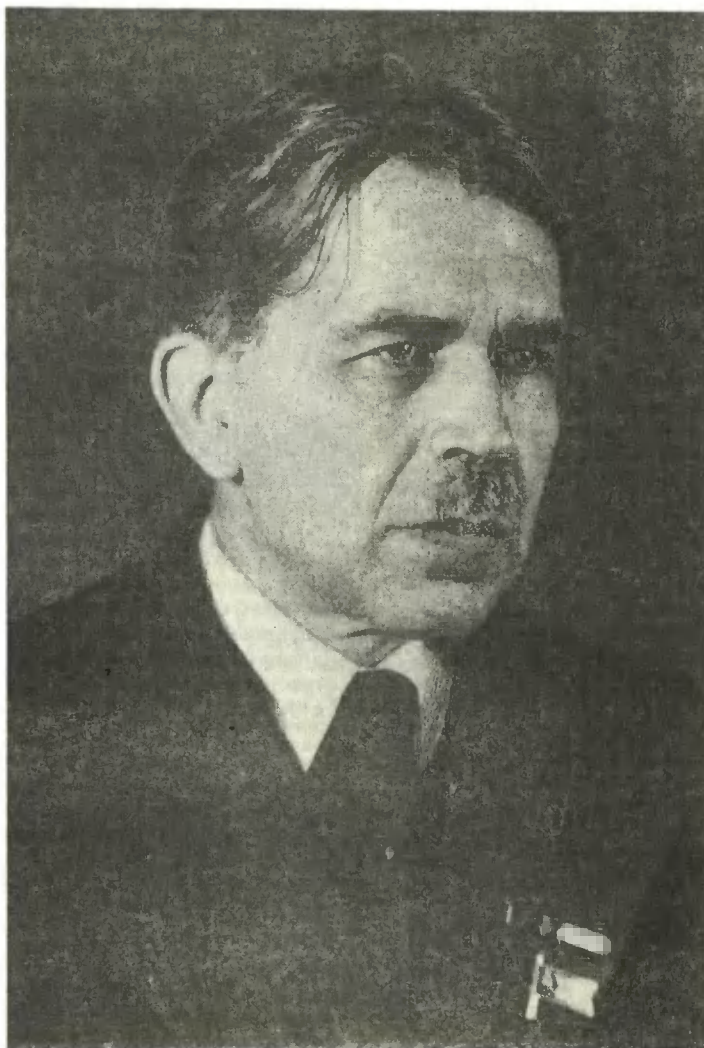
Levshin L. V. VAVILOV IN MOSCOW UNIVERSITY (120)

Vavilov Yu. N. WE WERE VERY CLOSE (123)

Fabrikant V. A. SOME OF VAVILOV'S COMMENTS ABOUT GALILEI AND NEWTON (126)

«НАУКА, НАУКА — ВОТ МОЕ ДЕЛО...»

К 100-летию со дня рождения С. И. Вавилова



СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ ВАВИЛОВ
(12 (24).III 1891—25.I 1951)

РАЗНОСТОРОННЕ образованный физик, пылкий исследователь, талантливый организатор, человек широких интересов и культуры, Сергей Иванович Вавилов, равно как и его брат, Николай Иванович Вавилов, оставил яркий след в нашей

истории науки. «...Проделанная им работа на пользу Родины превосходит выпадающую на долю одного человека», — писал о С. И. Вавилове Дж. Бернал.

Вавилов начал самостоятельные исследования в пору, когда в физике утверж-

дались квантовые представления, и предпринял смелую попытку экспериментально обнаружить проявления квантовой природы света при малых и больших интенсивностях световых пучков. После длительных опытов она увенчалась успехом: при малых интенсивностях были обнаружены флуктуации числа световых квантов, при больших — насыщение поглощения в средах, т. е. отклонение от линейной зависимости интенсивностей поглощенного и падающего света (первое наблюдение нелинейности в оптике: 1925 год!). Вавилов пытался также обнаружить рассеяние света на свете, но экспериментальные возможности того времени были неадекватны поставленной задаче.

Вавилов первым приступил к количественному изучению люминесценции, предложив изящный способ измерения ее энергетического выхода. Было установлено (1922—1923), что доля энергии первичного излучения, переходящей в энергию люминесценции, чрезвычайно высока (30—80%), а это открывало возможность создания экономичных источников освещения.

В 1927 г. Вавиловым была исследована зависимость энергетического выхода люминесценции от длины волны возбуждающего света. Оказалось, что в определенных пределах наблюдается рост выхода люминесценции с увеличением длины волны, затем он замедляется и резко падает (закон Вавилова). Объяснение этого падения было не столь очевидно, и Вавилов не раз возвращался к анализу механизмов люминесценции в так называемой антистоксовой области. Этому была посвящена и его последняя статья (1951).

Достоин восхищения, сколь всесторонне изучалась люминесценция в созданной Вавиловым обширной школе исследователей. Здесь вопросы поляризации люминесцентного излучения, концентрационные эффекты и связанные с ними механизмы миграции энергии при люминесценции, кинетика явления. В поле зрения Вавилова и его учеников находились и всевозможные приложения люминесценции.

Обсуждая концентрационные эффекты, Вавилов в книге «Микроструктура света» (1950) указал, что следствием взаимодействия двух близко расположенных возбужденных молекул в среде может быть появление когерентного излучения. От этого утверждения до формулировки принципа действия лазера — полшага.

Глубокое знание особенностей люминесцентного излучения позволило Вавилову быстро прийти к заключению, что обнаруженное П. А. Черенковым свечение

чистых жидкостей под действием γ -лучей не является люминесценцией, а, скорее всего, вызвано электронами. В конечном итоге это и привело к пониманию природы эффекта, ставшего основой работы счетчиков, без которых немислимы многие современные физические эксперименты.

Уже первые работы С. И. Вавилова по люминесценции, выполненные в 20-х годах, приносят ему широкую известность и выдвигают его в число ведущих ученых нашей страны. В 1931 г. он избирается членом-корреспондентом, в 1932 — действительным членом Академии наук СССР.

В 1945 г. С. И. Вавилов становится президентом АН СССР. За пять лет пребывания на этом посту С. И. Вавилов выполняет огромный, нечеловеческий объем работы.

Как президент С. И. Вавилов делает все от него зависящее для укрепления научного потенциала страны, роста научных кадров, улучшения материальной базы институтов Академии наук (при нем начато строительство новых зданий по крайней мере для десяти институтов, нового здания МГУ).

При этом он продолжает руководить созданным им в 1934 г. Физическим институтом им. П. Н. Лебедева, в котором ко времени окончания войны были представлены практически все наиболее важные направления исследований, шло строительство целого ряда крупных ускорительных установок.

В 1939 г. и до своей смерти Вавилов был председателем редколлегии журнала «Природа», а с 1947 г. председателем Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний.

В подборке статей, посвященных юбилейной дате, помещена глава из популярной статьи Вавилова, напечатанной в «Природе» 46 лет назад. Вслед за ней мы публикуем материалы, в которых обсуждаются научные проблемы, непосредственно связанные с работами Вавилова последних лет его жизни, а также отдельные технические приложения люминесценции. В то же время нам хотелось дать представление о С. И. Вавиле как о человеке, приподнять завесу над его внутренним миром. Эта задача в известной мере решается в очерке-размышлении академика И. М. Франка, которым открывается номер, и ряде небольших очерков, опубликованных в последнем разделе журнала — «Встречи с забытым».

Мысли о С. И. Вавиловe

И. М. Франк



Работы выдающегося физика, лауреата трех Государственных и Нобелевской премий, академика Ильи Михайловича Франка (1908—1990) относятся к физической оптике и ядерной физике. В 1937 г. он вместе с И. Е. Таммом разработал на основе классической электродинамики теорию излучения Вавилова—Черенкова. В дальнейших работах по физической оптике предсказал вместе с В. Л. Гинзбургом переходное излучение. Работы И. М. Франка в области ядерной физики посвящены в основном изучению нейтронов и ядерных реакций на легких ядрах. Под его руководством в Дубне был построен и в 1960 г. запущен импульсный реактор на быстрых нейтронах. И. М. Франк возглавлял Лабораторию нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований и Лабораторию атомного ядра Института ядерных исследований АН СССР.

Илья Михайлович многократно печатался в нашем журнале (последняя прижизненная публикация у нас: Из истории открытия излучения Вавилова—Черенкова // Природа. 1984. № 10).

ГОВОРИЯ о братьях Вавиловых, мы всегда наталкиваемся на нечто, казалось бы, неопределимое. Каждый, кому выпало счастье встречаться с братьями, а тем более быть в числе их учеников, не мог не испытывать их огромного влия-

ния и не почувствовать обаяния их личности. Об этом пишут в своих воспоминаниях как знавшие Николая Ивановича, так и знавшие Сергея Ивановича, и при этом обычно подчеркивают необычайную простоту и доступность в общении с другими этих великих людей. Как уяснить секрет этого обаяния и сделать его понятным тем, кто не был с ними знаком? Пока никто не сумел этого сделать.

Сейчас еще нет таких биографий Вавиловых, которые бы нас полностью удовлетворяли. Что касается Сергея Ивановича, конечно, имеются добросовестные и документально точные работы, например биография Сергея Ивановича, написанная старшим из учеников С. И. Вавилова Вадимом Леонидовичем Лёвшиным. Она обладает многими достоинствами. Но ведь самый добросовестный перечень сведений о жизни ученого, а тем более перечень его научных достижений — это далеко не все, что мы хотели бы о нем знать. К сожалению, никто из учеников Сергея Ивановича не написал научного обзора трудов С. И. Вавилова.

Имя ученого, который не был забыт, может войти в науку по-разному. Его могут помнить как автора ставших общеизвестными истин, которым в монографиях и учебниках уделяется какое-то место, порой несколько слов. Однако иногда находятся избранные, которые остаются участниками развития науки на многие годы после своей кончины. Только немногим, подобно С. И. Вавилову, суждена эта славная участь. Теперь, когда мы можем свободно говорить о Николае Ивановиче, необходимо понимать, что это в полной мере относится и к нему. Со дня гибели Николая Ивановича прошло уже почти полвека. В 1991 г. исполняется 40 лет с тех пор, как мы потеряли Сергея Ивановича. Быть может, написание творческих биографий братьев Вавиловых вообще уже стало неразрешимой задачей? Но сам Сергей Иванович доказал, что не только десятилетия, но и столетия, когда речь идет о великом человеке, не могут служить препятствием.

В тяжелейшие военные годы С. И. Ва-

вилов написал научную биографию И. Ньютона, помня о приближающемся 300-летию со дня рождения. Даже если бы у Сергея Ивановича не было других трудов по истории науки, то его книга о Ньюtone навсегда обеспечила бы ему известность как выдающемуся историку науки. Ведь ничего подобного не было сделано к юбилею Ньютона даже англичанами. Он заботится о том, чтобы эта дата была отмечена Академией наук, которая тогда находилась в Казани. Ему принадлежит первый перевод с латыни на живой язык лекций по оптике Ньютона и другие работы.

Торжественная конференция, посвященная 300-летию Ньютона, состоялась в Лондоне уже после войны, осенью 1946 г. В составе делегации советских ученых, принявших участие в этих торжествах, С. И. Вавилова не оказалось. Не удивлюсь, если по этому поводу было специальное указание Сталина. Сергей Иванович был абсолютно уверен в невиновности своего брата, погибшего в тюрьме, и не скрывал этого не только от нас, но, несомненно, и от самого высокого начальства. Не опасалось ли оно того, что его мнение может стать достоянием западной прессы? Не будем забывать, что Сергей Иванович активно заступался за многих арестованных ученых. Можно ли предположить, что, выступая в защиту лично ему мало известных людей, он не писал о своем горячо любимом брате? Поверить этому невозможно, но пока найти документального подтверждения не удалось.

Было и другое более чем очевидное обстоятельство. Сергей Иванович, занимая пост президента АН СССР, был осведомлен о самых больших государственных тайнах, таких, как проблема атомной энергии и работы по развитию ракетной техники. Конечно, послать его в заграничную поездку можно было только для того, чтобы после возвращения арестовать и осудить как изменника Родины.

Так или иначе, но доклад Вавилова для ньютоновской конференции в Лондоне был туда отвезен не им и прочитан там тоже не советским, а английским ученым. Доклад произвел глубокое впечатление. По общему мнению, С. И. Вавилов был признан самым выдающимся специалистом по наследию Ньютона. Но ведь у Вавилова есть и другие труды по истории науки, которые читаются с захватывающим интересом. Такова, например, статья «Наука и техника в период Великой французской революции», опубликованная в 1939 г. и в настоящее время ставшая библиографической ред-

костью. Исключительную ценность составляют и его статьи о многих ученых: Галилее, Ломоносове, Василии Петрове, Лебедеве и другие. Я не говорю здесь о Вавилове-пушкинисте, так как это требует специального рассмотрения.

После его скоропостижной кончины английский ученый Джон Бернал в статье, посвященной его памяти и опубликованной в английском журнале «Nature» писал: «Он умер на посту, по всей вероятности, в результате переутомления. Однако проделанная им работа на благо Родины превосходит выпадающую на долю одного человека. Наряду с Ломоносовым его будут считать одним из великих создателей науки в СССР».

Мы можем утверждать, что братья Вавиловы были русскими интеллигентами в широком смысле этого слова. Лучшей части нашей научной интеллигенции, такой, какой она сложилась в первое десятилетие нашего века, принадлежит особая роль. Среди них были те, кто взял в свои руки судьбы нашей науки и обеспечил поразительно быстрый прогресс ее в первые годы после Октябрьской революции. В числе тех, кому мы обязаны этим, и это, конечно, не случайно, оказались такие блестящие ученые и организаторы науки, как братья Вавиловы. Судьба этого поколения нашей интеллигенции, являющейся носителем моральных и духовных традиций народа, была трагична.

Читая опубликованное Сергеем Ивановичем, всегда поражаешься широте его знаний и литературному дару. При этом Сергей Иванович никогда не становился соавтором статей своих учеников и сотрудников, даже если выполненная работа делалась по его инициативе и была многим обязана его рекомендациям. Иногда, если его сотрудник был еще очень неопытен и не умел хорошо изложить полученные им результаты в виде статьи, Сергей Иванович вместе с ним, не жалея времени, дорабатывал текст, в результате чего все, заслуживающее публикации, становилось для читателя понятным и убедительным. Но даже и тогда Сергей Иванович не претендовал на роль соавтора.

Я всегда ощущал на себе влияние постоянных плодотворных научных бесед с Сергеем Ивановичем и того круга идей, которые содержались в его творчестве. Невольно помогая этим нашей работе, он всегда радовался всему, самостоятельно сделанному нами, и меньше всего думал о соавторстве. Научное бескорыстие было

одной из характерных особенностей московской физической школы, основы которой заложил еще П. Н. Лебедев и которую на моей памяти развивал Л. И. Мандельштам, оказавший на меня влияние не только непосредственно, но и через С. И. Вавилова.

Из сказанного не надо делать вывод, что Сергей Иванович никогда не публиковал работ в соавторстве со своими учениками. Это не так. Я, кажется, теперь понимаю, когда это происходило. Недостаточно было, чтобы Сергей Иванович был просто участником работы или ее руководителем. Требовалось, чтобы ученик активно и творчески воспринял тот круг идей, из которого исходил он сам. В статье «Воспоминания студенческих лет» я рассказал о начале своей научной работы у С. И. Вавилова. Результаты этих исследований готовились к публикации уже после окончания мной Московского университета, когда я в 1931 г. начал работать в Ленинграде в лаборатории А. Н. Теренина. С. И. Вавилов писал мне о своих соображениях по поводу полученных результатов, многие из которых были для меня совсем новыми, и сообщал, что предполагает опубликовать их в совместной статье на немецком языке. Помогая Сергею Ивановичу в обработке результатов, я писал ему письма, которые даже сохранились. Не знаю, почему Сергей Иванович счел необходимым хранить их, хотя тогда я еще делал только самые первые шаги в науке (теперь письма оказались в Архиве Академии наук).

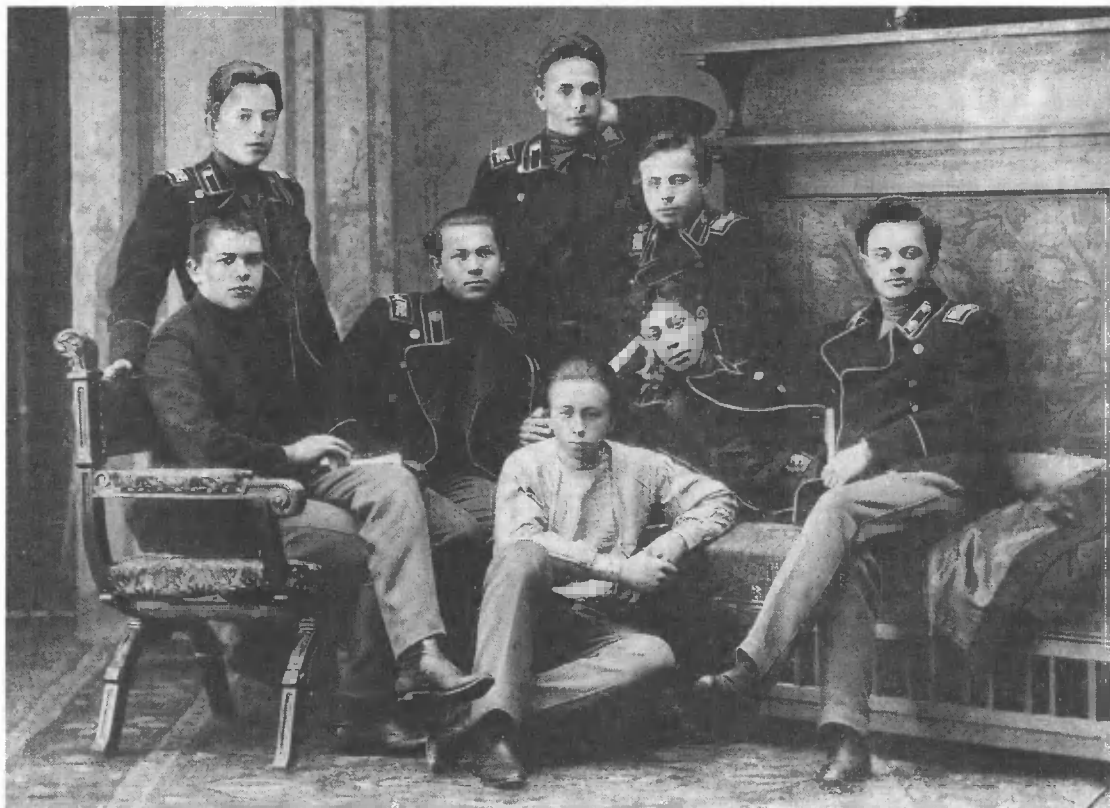
Я писал, что было бы справедливым не ставить меня соавтором, а ограничиться благодарностью, тем более что существенная часть соображений, содержащихся в статье, была для меня новой и возникла у С. И. Вавилова при обдумывании экспериментальных данных. Однако он решил иначе, и статья напечатана в 1931 г. за двумя подписями, его и моей. Для меня это, конечно, было высокой честью, и думаю, что лестное мнение обо мне как о физике, видимо, возникшее у Сергея Ивановича в результате этой совместной работы, в сущности было мною еще не заслуженным. Я был тогда только добросовестным учеником, хотя и с жадностью впитывающим тот круг идей, которые были развиты Сергеем Ивановичем в его предшествующих исследованиях.

Прежде чем приступить к самому сложному для меня разделу статьи, а именно — к истории 40-х годов, мне необходимо рассказать о нескольких более ранних событиях, связанных с началом 30-х годов. Мне кажется, хотя бы частично, они помо-

гают разобраться и в том, что происходило в следующем десятилетии.

Вспоминая об отношении Сергея Ивановича к фундаментальной науке, которую он всем своим авторитетом поддерживал там, где были условия для ее развития, нельзя не назвать имя Дмитрия Сергеевича Рождественского. Он основал в Петрограде Государственный оптический институт (ГОИ). Ему принадлежали замечательные исследования по оптической спектроскопии. Когда я впервые попал в Ленинград в 1929 г. на студенческую практику, я познакомился с прекрасным научным институтом, в котором авторитет Д. С. Рождественского был очень высок и где велись исследования в спокойной творческой атмосфере, которой мог бы позавидовать любой из наших научных институтов. Поступив на работу в ГОИ в 1931 г., я еще застал заложенный Рождественским стиль работы, сочетавший в проблематике института развитие фундаментальной науки с решением научно-прикладных задач, не только необходимых, но и требовавших от специалистов таланта и знаний. Один из учеников С. И. Вавилова, увы, уже покойный, Петр Петрович Феофилов в статье «Сергей Иванович Вавилов в Оптическом институте» приводит соображения Сергея Ивановича, который, не соглашаясь с мнением одного из очень известных и уважаемых наших ученых, утверждал, что нельзя делить науку на большую и малую. Все решают полученные результаты работы. Иногда из широко задуманного плана работ ничего существенного не получается, и, наоборот, иногда, на первый взгляд, скромная задача в ходе ее решения может оказаться весьма существенной.

Я упоминал, что судьба поколения, к которому принадлежал Рождественский, была трагична. Трагически сложился и конец жизни Дмитрия Сергеевича. Нет, репрессирован он не был, но как директор стал начальству неугоден. Оно хотело превратить ГОИ в технический отраслевой институт. После того как Дмитрий Сергеевич был вынужден подать в отставку, директором ГОИ назначили человека, не только не имевшего отношения к фундаментальной науке, но и к науке вообще. Квалифицированных специалистов в институте было мало, любые сиюминутные требования промышленности они могли удовлетворить, и среди них, конечно, задачи, которые были сильны даже заводской лаборатории и вовсе не нуждались в усилиях такого первоклассного научного института, как ГОИ. В таких случаях ни ума, ни знаний директору института просто не было нужно. Его



С. И. Вавилов (сидит первый слева) в годы учебы в Московском коммерческом училище.

В Италии. 1913 г. ▶

Препорщик. 1916 г.

С женой Ольгой Михайловной. Начало 1920-х годов. Из архива В. С. Вавилова. Публикуется впервые.

В 1920-е годы. Из архива В. С. Вавилова. Публикуется впервые.



задача — требовать от ученых немедленной практической пользы. Желание подменить постановку перспективных исследований, для которых необходимы знания и талант, техническими поделками, особенно если вокруг них можно было создавать ореол секретности, очень активно поддерживалось начальством, тем более что о них выгодно было рапортовать. Иные из таких работ оказывались на поверку бесполезными или даже вредными. Такая тенденция характерна для различного рода научных администраторов.

Мне кажется, этим можно объяснить многие тяжелые беды нашей науки. Эта тенденция жива и сейчас. Однако в то время она опиралась на высокомерное пренебрежение таких квазипрактиков фундаментальной, истинно высокой наукой.

Дмитрий Сергеевич Рождественский, несомненно, еще до своей отставки с поста директора прекрасно понимал, что не в его силах сохранить в ГОИ заложенные им традиции. Желая спасти свое детище, Дмитрий Сергеевич добился приглашения в Ленинград Сергея Ивановича Вавилова — в то время профессора Московского университета. Вероятно, это было не просто, но в 1932 г. С. И. Вавилов, представленный Л. И. Мандельштамом в Академию наук и избранный академиком, приехал в Ленинград и взял на себя научное руководство ГОИ в должности заместителя директора. Высокий научный и личный авторитет в сочетании со свойственным ему даром организатора позволили С. И. Вавилову повести дело так, что разумное сочетание фундаментальных и прикладных исследований не было нарушено.

Работающие в ГОИ выдающиеся ученые позже не раз вспоминали о деятельности Сергея Ивановича в Оптическом институте в те годы. Именно Сергею Ивановичу ГОИ обязан тем, что фундаментальные исследования в нем не только не были прекращены, но и продолжали вестись на очень высоком научном уровне. Обращая внимание читателей, которым это может быть неизвестно, что Сергей Иванович руководил научной деятельностью как заместитель директора, внося в нее неоценимый вклад и продолжая традиции, заложенные Рождественским.

Общая атмосфера в науке, и особенно в отношении к старым ученым, продолжала меняться к худшему. Здесь Сергей Иванович ничего изменить не мог. Приближалось время массовых репрессий. Никто заранее не мог знать, кому и когда предстоит стать их жертвой. Как я уже от-

мечал, трагично закончилась и жизнь Дмитрия Сергеевича Рождественского. После смерти жены Добиаш-Рождественской, которая была для него большой духовной опорой, он в человеческом плане был очень одинок. Никто из многочисленных его учеников в ГОИ не мог ему помочь, так как, очевидно, ни с кем из них у него не было близких дружеских отношений, не было такой духовной близости, которая могла бы послужить ему опорой. В результате прожил Дмитрий Сергеевич недолго. Чувствуя себя в какой-то мере опальным, в 1940 г. он покончил с собой. В сущности, это еще одна жертва того страшного времени, которое далеко не всем удалось пережить.

В 30-е годы в Ленинграде был Физико-математический институт Академии наук, состоявший из двух отделов: математического и физического. Руководить физическим отделом в 1932 г. было поручено Сергею Ивановичу. До этого физический отдел довольно долго фактически был лишен руководителя. Сотрудников в нем было очень мало, и научная работа велась вяло. Со свойственным ему умением и организаторским даром Сергей Иванович начал поднимать науку в этом отделе, с самого начала имея в виду организовать многоплановый физический институт, занятый фундаментальной тематикой. Здесь он имел довольно большую свободу действий, так как Академия наук, находившаяся тогда в Ленинграде, видимо, этим отделом не очень интересовалась.

При переводе по постановлению правительства в 1934 г. Академии наук из Ленинграда в Москву физический отдел был стараниями Сергея Ивановича превращен в Физический институт им. П. Н. Лебедева Академии наук. Историю института С. И. Вавилов рассказал в прекрасной книге «Физический кабинет, Физическая лаборатория, Физический институт Академии наук СССР за 220 лет» (М., 1945). Глубочайшая дальновидность Сергея Ивановича сказалась и в том, что он счел необходимым развить в физическом отделе, а затем в Физическом институте ядерную физику. В то время только очень немногие даже известные ученые, в том числе и связанные с Резерфордом, понимали значение, которое приобретет ядерная физика уже в ближайшие годы, и считали актуальным это новое направление исследований. Что касается физического отдела, то, казалось бы, никаких условий для занятий ядерной физикой там не было. Не было ни квалифицированных в этой области кадров, ни оборудования. Дополнительным доводом против было и

то, что в таком прекрасном передовом институте, как Ленинградский физико-технический, по инициативе его основателя академика А. Ф. Иоффе такие работы уже начались. Уделялось им внимание и в основном В. И. Вернадским Радиевом институте. Начинать такие исследования с пустого места в никому пока не известной физической лаборатории казалось более чем опрометчивым. Да ведь и сам Сергей Иванович ни в коей мере не был специалистом в ядерной физике. Только в силу своих широчайших и разносторонних знаний в области физики и исключительной дальновидности он понимал, что в Академии наук развивать ядерную физику необходимо.

Приступая к следующему разделу своей статьи, я испытываю большие затруднения. То, что я собираюсь написать, прямого отношения к Сергею Ивановичу Вавилову не имеет, однако иллюстрирует ту обстановку, которая сложилась в нашей науке в начале и середине 30-х годов.

Я уже упоминал о тех, кто после революции поднимал нашу науку. Среди них несомненно нельзя не назвать имя Петра Петровича Лазарева — старшего из учеников П. Н. Лебедева. Он основал в Москве Институт физики и биофизики.

Многие московские физики получали возможность плодотворно работать в институте Лазарева. Институт разместился на Миусской площади в здании, которое строилось для П. Н. Лебедева, но до окончания строительства которого он не дождался. Лазарев многое сделал и, несомненно, пользовался поддержкой правительства. В конце 20-х годов Институт физики и биофизики успешно функционировал. Мне в студенческие годы приходилось общаться со многими там работавшими, и невозможно было себе представить, что приближается беда, о которой я узнал только через несколько лет.

В марте 1931 г. Петра Петровича Лазарева совершенно неожиданно арестовали. Никто не знал, что послужило поводом для ареста и в чем его обвиняли. Но это была только часть беды. Вскоре его жена Ольга Александровна, жившая, как и он, в помещении института, повесилась. Было ли это просто самоубийством, вызванным тревогой за здоровье и судьбу Петра Петровича, как полагает едва ли не единственный работающий сейчас свидетель того времени профессор Б. В. Дерягин, или же в какой-то мере ее к этому вынудили — мы достоверно не знаем.

Жизнь П. П. Лазарева удалось спасти. По ходатайству ряда академиков через

полгода после ареста его освободили и отправили в ссылку в Свердловск. Где теперь эти ходатайства академиков? Кому они были адресованы? И сохранились ли вообще? Мы этого не знаем и, вероятно, никогда знать не будем. Из тюрьмы Петр Петрович вышел, по свидетельству профессора Б. В. Дерягина, с подорванным здоровьем, страдающим приступами эпилепсии. Ему еще довелось вернуться в Москву и даже незадолго до начала войны получить в Академии наук собственную биофизическую лабораторию. Но он так и остался опальным. Скончался П. П. Лазарев в 1942 г. в эвакуации в Алма-Ате.

Сразу же после ареста Лазарева перестал существовать его институт. В него вселился некто Вадим Лукашев — заведомый проходимец. Лукашев объявил, что здесь будет Институт спецзаданий, занимающийся какими-то секретными видами излучений. Лукашев, как вспоминает Б. В. Дерягин, уволил всех сотрудников Лазарева. Появление шарлатанов в науке возможно во все времена, но тогда они могли находить высочайшую поддержку.

Думаю, что никому из физиков не было известно, чем занимается Институт спецзаданий под руководством В. Лукашева. Во всяком случае мне об этом никто не говорил. Когда в 1934 г. Академия наук была переведена из Ленинграда в Москву и здание на Миусской площади было передано основанному С. И. Вавиловым Физическому институту им. П. Н. Лебедева (ФИАН), Лукашева там уже не было. Профессор Б. В. Дерягин, продолжавший еще несколько лет после этого жить в помещении института, вспоминает теперь, что один из приближенных к Лукашеву инженеров сбежал через Сибирь в Америку. Если он не ошибается, то этим приговор Лукашеву был уже предreshен. Тем не менее история пребывания в институте и затем исчезновения Лукашева во многом остается таинственной. Дело в том, что вместе с ним бесследно исчезло все богатейшее научное оборудование института Лазарева. Нетронутой осталась только прекрасная научная библиотека института. При переезде Физического института в Москву она пополнилась многими интересными и ценными книгами, привезенными С. И. Вавиловым из Ленинграда. Усилия С. И. Вавилова разыскать и вернуть исчезнувшее оборудование ни к чему не привели. Его хлопоты наталкивались на глухую стену. Кто этому мешал, судить не берусь.

Если вспоминать вторую половину 30-х годов, то, конечно, братья Вавиловы

не могли не видеть, как вокруг них исчезают ученые и другие представители интеллигенции и что, по официальной версии, это враги народа. Могли ли братья Вавиловы с их умом и проницательностью верить, что это так? Это почти невозможно предположить. Николаю Ивановичу пришлось пережить арест многих выдающихся близких ему по духу ученых. Он был членом ЦИК и ВЦИК. Возникает вопрос, что он сделал в их защиту? А. И. Солженицын в «Архипелаге ГУЛАГ» утверждает, что Н. И. Вавилов бесстрашно заступался за арестованных ученых Всесоюзного института растениеводства. У меня нет оснований сомневаться. Вместе с тем я не читал чьи-либо свидетельства о том, за кого и когда он хлопотал. Сергей Иванович в автобиографических записках последних лет жизни пишет, что его брат рано стал материалистом и атеистом. Не знаю, как понимать эти слова, но уверен, что Николай Иванович не был бы на меня в претензии, если бы мог услышать мои слова (которые я здесь пишу), что труд его был выполнением веления Божьего.

Было ли у его замечательного брата такое же чувство своей ответственности за судьбу отечественной науки и культуры? В последние годы жизни оно не только было, но имело для него решающее значение, и именно оно заставляло его, неся непосильный груз забот и труда, сознательно идти навстречу своей безвременной смерти. Думаю, оно возникло уже в годы войны, когда он непрерывно думал сначала об аресте, затем о гибели брата. Возможно, он чувствовал это и раньше. Сергей Иванович, конечно, понимал, что аресты ученых в 30-х годах — это сознательный удар по интеллигенции и научной культуре, носителем которой она была. В тридцать седьмом и тридцать восьмом годах была арестована и истреблена большая группа астрономов, главным образом из числа работавших в Пулковской обсерватории. Среди арестованных и погибших были люди, пользовавшиеся мировой известностью, и среди них прежде всего директор обсерватории Борис Петрович Герасимович.

Сергей Иванович Вавилов, ставший в 1938 г. депутатом Верховного Совета РСФСР, вместе с известным астрофизиком академиком Григорием Абрамовичем Шайном пишут письмо на имя самого недоброй памяти Вышинского в защиту репрессированных астрономов. В сущности, просьба была скромной: пересмотреть их дела и предоставить им возможность работы по специальности. Но просьба удовлетворена

не была. По счастливой случайности копия этого письма сохранилась и сейчас находится в Архиве Академии наук в фонде С. И. Вавилова. Для меня сделали с нее ксерокопию, и я увидел на ней хорошо мне знакомую собственноручную подпись С. И. Вавилова. В 1989 г. удалось разыскать еще одно письмо С. И. Вавилова и Г. А. Шайна Вышинскому — и снова об астрономах. Выдержки из этого второго письма, полный текст которого у меня есть, опубликованы в 1989 г. в журнале «Природа» [№ 8]. Теперь стало известно, что эти письма не остались совершенно безрезультатными. Одно из дел об астрономах было пересмотрено, и несколько невинно арестованных ученых были освобождены.

Был и еще ряд писем, о существовании которых достоверно известно, разыскать их пока не удалось и вряд ли удастся. Так, мне передали копию письма С. И. Вавилова к Лидии Корнеевне Чуковской, где он сообщает, что послал ходатайство о ее муже, молодом талантливейшем теоретико-физике Матвее Петровиче Бронштейне.

В Архиве Академии наук есть письмо бывшего помощника президента АН СССР В. Л. Комарова о том, что он вместе с С. И. Вавиловым готовил письмо за подписью Комарова на имя Сталина в защиту Н. И. Вавилова, но самого письма в Архиве нет. По тому же свидетельству, о ходатайстве в защиту Н. И. Вавилова обращался к Берии учитель Вавилова Д. Н. Прянишников, но и это письмо или письма пропали.

Оказалось, что вовсе не просто получить архивную справку и по другому, казалось бы, более простому вопросу. Во время войны Сергей Иванович был уполномоченным Государственного комитета обороны по оптической промышленности. Но и об этом сведений в Архиве Академии наук не имеется. Профессор Валерий Иванович Красовский — специалист по оптике атмосферы — вспоминает, что однажды ночью в апреле 1943 г. его подняли с постели и отвезли сначала к Маленкову, а затем к Сталину. Вопрос, который обсуждался, состоял в том, кому поручить руководство оборонными оптическими исследованиями, которыми он занимался, и он назвал имя Сергея Ивановича. По его воспоминаниям, назначение Сергея Ивановича уполномоченным ГКО произошло вскоре после этого, т. е. во второй половине апреля 1943 г. Вместе с тем в письмах Сергея Ивановича в конце 1942 г., посланных из Москвы в Казань, говорится, что он занят целый день. Несомненно, он выполнял оборонные работы, связанные с ГКО.

Так или иначе, но Сергей Иванович оказался вскоре руководителем В. И. Красовского, который очень тепло вспоминает о деятельной помощи С. И. Вавилова не только в его работе, но и ему лично. Дело в том, что он — сын священника, репрессированного и погибшего на строительстве Беломорканала. С такой анкетой, да еще без диплома о высшем образовании ему непросто было находиться на секретной работе. Сергей Иванович преодолел здесь все трудности, а затем помог ему с защитой диссертации. Как всегда, помощь С. И. Вавилова была не только умелой, но и деятельной. Вообще, трудно сосчитать научных работников, которым Сергей Иванович не оказал бы ту или иную поддержку, не говоря уже о щедрой материальной помощи. Впоследствии очень многие вспоминали об этом. Мне известно, что Сергей Иванович хлопотал, и притом успешно, за академика Ивана Васильевича Обреимова и академика Александра Львовича Минца, находившихся в заключении и работавших в одной из так называемых «шарашек», но документальных свидетельств у меня нет. Уже в годы, когда С. И. Вавилов был президентом АН СССР и депутатом Верховного Совета СССР, мать моего университетского товарища — талантливого и хорошего человека Виктора Львовича Гинзбурга, осужденного по ложному обвинению, — через меня обратилась к Сергею Ивановичу с просьбой похлопотать за ее сына. Сергей Иванович немедленно выполнил эту просьбу и получил категорический отказ. Даже и этого ходатайства С. И. Вавилова — президента АН СССР и депутата — в Архиве не оказалось.

Суммируя все эти архивные неудачи, я невольно повторяю про себя пушкинские строки из «Бориса Годунова», вложенные им в уста монаха Пимена: «Да ведают потомки православных Земли родной минувшую судьбу». А ведают ли они ее?

Меня занимает вопрос, почему участь Николая Ивановича не постигла Сергея Ивановича, ведь не только родство, но и взаимная любовь и глубочайшее уважение друг к другу братьев Вавиловых были известны не только их друзьям, но, несомненно, и тем, от кого зависела их судьба. Приходится думать, что Сталин решил до поры до времени держать Сергея Ивановича заложником. Теперь мы знаем, что такое поведение вождя было для него довольно обычным, и можно вспомнить немало аналогичных случаев. Сергей Иванович и тогда, и позже был готов к тому, что судьба брата может в любой момент постигнуть

и его. Уже будучи президентом АН СССР, он говорил мне: «Каждый раз, когда вызывают в Кремль, не знаю, вернуться ли я оттуда домой или отвезут на Лубянку». Позже аналогичные слова во всеуслышание произнес Хрущев. Уже в самом конце своей жизни Сергей Иванович как-то сказал мне с горечью: «Меня уверяли, что Николай Иванович содержался в хороших условиях, а теперь выяснилось, что он умер в тюрьме от истощения». Таким образом, Сергей Иванович не только обращался по поводу брата к начальству, но и получал от него заведомую дезинформацию.

Понятно, какой личной трагедией был арест брата. Это было несчастьем, подорвавшим и его здоровье. Он тщательно скрывал, что болен, но близкие ему люди об этом догадывались. Референт С. И. Вавилова в ФИАНе Анна Илларионовна, всегда искренне о нем заботившаяся, рассказала мне весной 1941 г., что он не только болен, но категорически отказывается обращаться к врачам. Не знаю, как удалось Анне Илларионовне уговорить Сергея Ивановича, но он согласился сесть в машину и поехать вместе со мной в поликлинику. Результата консультации я не помню, но, видимо, состояние здоровья Сергея Ивановича оказалось серьезнее, чем мы думали. Требовалось больничное лечение. Думаю, это был первый из инфарктов миокарда, перенесенных Сергеем Ивановичем на ногах. Мне кажется, именно тогда Сергей Иванович — заядлый курильщик — полностью и навсегда бросил курить.

Шли последние предвоенные месяцы. Находясь в больнице, слушая зарубежное радио, он знал, что Гитлер готовится на нас напасть, и предупредил об этом нас, его навещавших. Не знаю, как Сергею Ивановичу это удалось, но из больницы он довольно скоро выписался. В первый месяц войны он уже был на работе и начал готовить ФИАН к эвакуации. Мне он поручил обеспечить сохранность довольно большого количества радия, имевшегося в институте¹.

И в Казани все, в сущности, держалось на Сергее Ивановиче, так как его помощники далеко не всегда оказывались на высоте в преодолении трудностей того во всех отношениях тяжелого времени. Несомненно, особенно трудной была жизнь самого Сергея Ивановича. Он разрывался между Казанью, где находилась Академия наук, и Йошкар-Олой, куда был вывезен из

¹ О том, как выполнялось это поручение, см. доп. 19 в сб.: С. И. Вавилов. Очерки и воспоминания. М., 1991. — Прим. ред.



В Крыму. 1935—1936 гг. Публикуется впервые.

Фото В. С. Вавилова

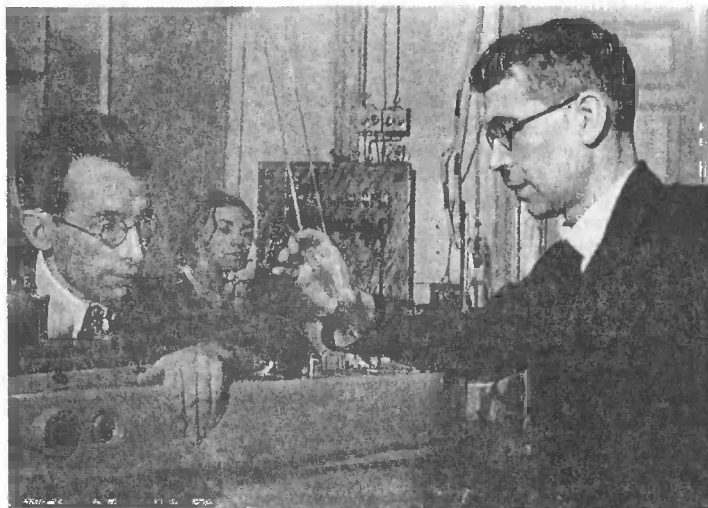
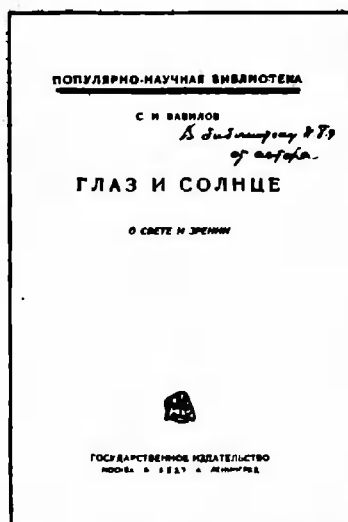
Фотография на память: приезд президента Французской академии наук Ж. Перрена (в центре) и его сына физика Ф. Перрена (третий справа) в Государственный оптический институт. В группе провожающих И. В. Гребенников, Д. С. Рождественский (первый и второй слева), Г. Г. Слюсарев (справа от Вавилова). Май 1934 г.

Книгой «Глаз и Солнце» С. И. Вавилов заявил себя как блестящий популяризатор науки.

С Б. Я. Свешниковым в лаборатории ГОИ. 1938 г.

На заседании Академии наук СССР. Рядом — академик А. М. Терпигорев. 1930-е годы. Из архива кинофотодокументов (Красногорск). Публикуется впервые.

Одна из последних фотографий.
Фото В. С. Вавилова



Лс Кавалер



Ленинграда ГОИ. Ездить между этими городами приходилось в тяжелых условиях, зачастую стоя в нетопленном вагоне.

В первую военную зиму научные сотрудники института мерзли и ходили голодными. Десятичасовой рабочий день был для нас нормой, а субботы были обычно заняты различного рода субботниками, но при этом все испытывали огромный патриотический подъем. Не только на фронте, но и в тылу многие тогда вступали в партию. Казалось, что особенно естественным это было бы для Сергея Ивановича, бывшего не только крупнейшим ученым, но общественным деятелем. Недоуменные вопросы по этому поводу мне иногда приходилось слышать. Однажды в самом начале войны я имел бестактность спросить его об этом, и он ответил: «Неужели не понимаете? Ведь Николай Иванович в тюрьме». Мне до сих пор стыдно вспоминать этот разговор. Я ранее о нем никогда не рассказывал. Думаю, о нем следует знать тем, кто сейчас пытается противопоставлять братьев Вавиловых друг другу. Сергей Иванович, конечно, не мог ни смириться, ни простить факт ареста, а затем и гибель брата. Конечно, не мог он состоять в партии, возглавляемой Сталиным.

Через много лет после кончины обоих братьев Вавиловых в дневнике последних лет жизни С. И. Вавилова я прочел, что в результате событий 1905 г. сложилась его органическая беспартийность (имеется в виду вообще принадлежность к какой-либо революционной партии). Причина этого — кровавая жестокость происходившего, совершенно для него неприемлемая, хотя, как он понимал, и неизбежная. При этом братья Вавиловы в 1905 г. были на стороне народа и участвовали в сооружении баррикад на Красной Пресне. Однако при всей своей дальновидности они, конечно, не могли предвидеть миллионов невинных жертв сталинского режима. Братья Вавиловы, всей силой своего таланта, со всей энергией служившие родной стране и ее культуре, стали жертвой того времени, в которое жили.

После великой победы 1945 г. остро возник вопрос о новой кандидатуре на пост президента АН СССР. Президент Академии наук Владимир Леонтьевич Комаров был стар, много болел и Академией наук практически не руководил, передоверив эту работу мелким чиновникам. Д. А. Волкогонов в своем многотомном труде о Сталине «Триумф и трагедия» пишет, что в связи с этим Сталин после войны заинтересовался наукой. Справку об академиках ему

подготовило МГБ (?). О Лысенко отзыв в этой справке малоблагоприятный как о человеке, не пользующемся авторитетом среди ученых, которого при этом считают повинным в гибели Н. И. Вавилова. О Сергее Ивановиче было сказано, что это ученый в расцвете сил, но его брат умер в Саратовской тюрьме. Вероятно, была известна и его поразительная работоспособность, свойственная обоим братьям, и глубочайшее чувство ответственности за порученное ему дело. То, что В. Л. Комарову как президенту АН СССР следует уходить в отставку, было совершенно очевидным. Было понятно также, что выборы президента в то время — это только формальность. Его просто назначал Сталин.

Когда мы узнали, что президентом АН СССР может стать С. И. Вавилов — это было для нас полной неожиданностью. Было непонятно, почему Сталин остановился на кандидатуре беспартийного ученого и добавил еще брата «врага народа».

Вспоминая то время, следует отметить, что мы, по крайней мере те, кто не сидел в лагерях, в самом деле считали Сталина вдохновителем и организатором наших побед. Если быть честным перед самим собой, то надо признать, что мы искренне в это верили. Конечно, среди известных нам репрессированных людей были и те, в виновность которых поверить было невозможно. Поэтому мы разделяли с Сергеем Ивановичем его уверенность в невинности брата. «Ну что же, — думали мы, — ошибки возможны». Правда, которая теперь для нас открылась, тяжела и мучительна.

Вероятно, каждый из нас понимает, что нельзя переносить точки зрения сегодняшнего дня на прошлое. «Ведь с нами Ворошилов — первый красный офицер», — пело наше поколение. Действительно, для нашего поколения Ворошилов был личностью легендарной и национальным героем. Автору этих строк вскоре после смерти Сталина довелось в течение одного дня дважды получить орден Ленина из рук Ворошилова, и я считал это для себя большой честью.

Думая об окончании Великой Отечественной войны, я всегда вспоминаю «Войну и мир» Льва Толстого и его рассказ о том, как Кутузов оказался во главе русской армии. Я не встречался с более убедительным доказательством того, что в переломные исторические моменты решения могут диктовать не личные пристрастия, а историческая необходимость.

Полагаю, что и Сталин, принимая решения, связанные с развитием науки и

техники, должен был в то время учитывать многие объективные обстоятельства. Ему приходилось выдвигать многих выдающихся людей. Так, во главе атомной проблемы был поставлен такой талантливый организатор и умнейший человек, глубоко знавший и любивший науку, как И. В. Курчатов. Во главе работ по ракетной технике стал С. П. Королев, немало претерпевший до этого. Был возвращен к активной работе А. Н. Туполев. То же было и в промышленности.

Возвращаясь памятью к нашим выдающимся ученым того времени, которых, в сущности, было немного, так что всех их мы знали по именам, а большинство из них и лично, я теперь думаю, что назначение С. И. Вавилова президентом АН СССР было тогда неизбежно. Выдающийся физик, обладавший разносторонними знаниями и необычайно широко мыслящий, он был необходим. Ведь в центре внимания стояли проблемы освоения атомной энергии и развития реактивной техники. Для их решения нужен был человек именно такой широты знаний и интересов. Предложение стать президентом поставило перед С. И. Вавиловым сложнейшую задачу. Не только в 1945 г., но и в 1944 г. он, несомненно, уже знал, что брата нет в живых, но, думаю, об обстоятельствах его смерти ему было еще известно очень немногое. Никакой вины С. И. Вавилов перед памятью брата не мог чувствовать, но вопрос о том, кто виноват в его гибели, несомненно, его волновал. Разговаривая со Сталиным, а такой разговор у Сергея Ивановича, несомненно, был, он, очевидно, окончательно понял, что настоящий виновник здесь именно Сталин. Конечно, это только мое мнение, и сам Сергей Иванович ни мне и, насколько я знаю, никому другому этого не говорил.

Сразу после окончания войны в сталинском режиме наступила некоторая кратковременная оттепель. Возможно, С. И. Вавилов получил заверения, что ему будет предоставлена возможность развивать фундаментальные науки и способствовать послевоенному возрождению культуры. Весьма возможно, что это так, и на какой-то срок можно было на это рассчитывать. Но мне неизвестно, мог ли Вавилов при реалистичности его воззрений полагаться на то, что это может продлиться долго? Слишком многое он знал и понимал. Соглашаясь стать президентом, С. И. Вавилов, безусловно, думал не о себе. Он выполнял свой долг перед Отечеством, перед культурой страны. Не будет преувеличением сказать, что по существу он спасал нашу науку. Подвиг, со-

вершенный им за пять с небольшим лет пребывания на посту президента, велик, сделанное им так прекрасно и обширно, что будущие поколения будут вспоминать о нем с глубочайшим уважением и благодарностью.

Однако ему довелось пережить много тяжелого. О пресловутой сессии ВАСХНИЛ он говорил мне как о самых тяжелых днях своей жизни. Насколько я знаю, он на ней только присутствовал. Позже, однако, ему пришлось публично признать и одобрить триумф Лысенко. Обсуждать позицию С. И. Вавилова в этом вопросе трудно и болезненно. Скажу только несколько слов о том, как я ее понимаю. Теперь часто говорят, что Сталин никогда ничего не прощал. Если бы назначенный им президент выступил против Лысенко, т. е. по существу против воли самого Сталина, то это, вероятно, было бы расценено как вражеская вылазка, причем не только Вавилова, но всех ученых, которых он представлял. Страшно подумать, какой удар мог бы быть тогда нанесен науке. С. И. Вавилов мог жертвовать собой, и в сущности он это и делал (ведь жить ему оставалось менее трех лет), но ставить под удар всю науку и других ученых для него было неприемлемо.

Многим памятно, как помогал он тем, кто попал в опалу или был гоним, и пострадавшим в следующих кампаниях, таких, как борьба с «низкопоклонством» и «безродным космополитизмом». Конечно, противостоять возникновению всех этих отвратительных кампаний, проводившихся по инициативе или при прямой поддержке Сталина, он не мог, но делал все, чтобы по возможности оградить деятелей науки и культуры от гонений. В этом огромном труде он никогда и ни в чем не щадил себя. Он вовсе не был послушной пешкой начальства, а тем более лакейским президентом, как его однажды и совершенно несправедливо назвал Солженицын. Он действовал умело и смело, имея в виду прежде всего интересы науки и культуры. И он безжалостно платил за это своим здоровьем, укорачивая свою жизнь.

В начальной части этой статьи уже отмечалось, что у нас нет биографии С. И. Вавилова и очерка его трудов, которые бы нас удовлетворяли, и, более того, что никто из ныне здравствующих учеников С. И. Вавилова или представителей его научной школы не в состоянии восполнить этот пробел. Высказывалась надежда, что эта интереснейшая и очень нужная работа будет в дальнейшем выполнена.

Обращу внимание только на то, что, каким бы конкретным и даже, на первый взгляд, частным вопросам ни посвящал С. И. Вавилов свои исследования, они по существу были направлены на решение проблем принципиального характера, и прежде всего проблемы природы света. Вавилов отчетливо понимал внутреннее единство своих работ. Он объединил, обобщил и критически пересмотрел большой цикл исследований, закончив в последний год своей жизни книгу, опубликованную в 1950 г. и названную «Микроструктура света», введя тем самым новый термин в оптику. Он принимал под этим термином особенности отдельных элементарных излучателей, которые в обычных условиях неразделимой совокупности создают то, что мы называем светом. Он не включил в эту книгу свои классические исследования по люминесценции, которой предполагал посвятить отдельную книгу.

Работы по люминесценции — это часть проблем взаимодействия света с веществом, стоявших в центре внимания С. И. Вавилова всю его жизнь. Наука о люминесценции из простого описания того, что способно светиться, главным образом благодаря трудам С. И. Вавилова и его школы, превратилась в точную науку о законах преобразования веществом различных видов энергии в свет. Основной и, бесспорно, любимой им областью были исследования преобразования при взаимодействии с веществом одного вида света в другой — фотолюминесценция. Между работами по микроструктуре света и фотолюминесценции, конечно, имеется глубокая связь. Он предполагал обобщить всю совокупность этих исследований в задуманных книгах. Сохранились записи о его планах написания таких книг, но осуществить их ему уже не было суждено.

Столь же органически связана с кругом научных идей С. И. Вавилова и его популяризаторская деятельность и интерес к истории науки и культуры. В его прекрасной популярной книге «Глаз и Солнце» — широчайший простор для глубоких раздумий, научных, философских и поэтических параллелей и вместе с тем множество конкретных сведений о свете, Солнце и зрении человека. Мне кажется, совершенно прав В. А. Фабрикант, говоря, что, пожалуй, всего точнее Сергея Ивановича можно охарактеризовать старомодным словом «естествоиспытатель».

К вопросам популяризации науки Сергей Иванович относился с очень большим вниманием, поощряя нас писать статьи

и читать лекции. Д. С. Лихачев в прекрасной, но краткой статье рассказал о Вавилове как основателе книжной серии «Литературные памятники». Он вспоминает с благодарностью помощик С. И. Вавилова, который сам был великолепным редактором и помог подобрать для работы компетентных и энергичных ученых.

Далее Д. С. Лихачев пишет: «Многие теперь вспоминают, каким знатоком книги был Сергей Иванович». Действительно, знавшие Сергея Ивановича неоднократно отмечали, что по выходным дням он обходил московских букинистов, разыскивая и покупая редкие и антикварно-интересные книги. Многие из них он затем передавал в библиотеку Физического института. Все ли они сохранились? Я не уверен в этом. С. И. Вавилов очень заботился о развитии букинистической торговли книгами, на которую в послевоенные годы начались гонения. Помню, что он водил меня в прекрасный букинистический магазин Академии наук, открытый по его настоянию.

С. И. Вавилов ряд лет вел дневниковые записи, которые не только до сих пор не изучены, но даже далеко не все еще находятся в Архиве Академии наук. Законченных автобиографических записок он не написал. В июне 1949 г., т. е. за полтора года до кончины, сознавая состояние своего здоровья, он во время отпуска, живя на даче в своей любимой Можжинке, приступил к написанию автобиографии. В записках Сергея Ивановича звучат нотки печали и одиночества. Правда ли это или преувеличение, но он говорил, что близких друзей у него никогда не было.

Автобиографические записи С. И. Вавилова доведены до 1909 г. — года окончания училища и поступления в университет. Вспоминая школьные годы, Сергей Иванович отмечает свои литературные способности, которые он, видимо, осознал очень рано. Обладая прекрасными способностями к языкам, он самостоятельно овладел многими из них, считая это необходимым для ученого. Он упоминает, в частности, что уже в студенческие годы в несколько месяцев изучил итальянский язык. В период 1909—1913 гг. он совершил три путешествия по Италии. Результатом их были глубочайшие знания итальянского и мирового искусства и истории культуры.

Вместе с тем С. И. Вавилов с горечью отмечает, что у него не было таких способностей к математике, как к литературе. Пожалуй, это требует пояснений. Действительно, научных исследований в области математики у него не было. Однако он

прекрасно понимал красоту математического творчества и умело пользовался в своих работах методами математики. Хорошо известна его единственная в своем роде книга «Экспериментальные основания теории относительности», изданная в 1928 г. Далеко не все физики, а особенно экспериментаторы, в то время так хорошо знали, а тем более понимали, эту тогда еще сравнительно молодую область теоретической физики. Должен сказать, что не все профессора физики признавали теорию относительности и некоторые даже считали ее ложной. Один из наших профессоров именно в годы издания книги С. И. Вавилова уверял нас, студентов, что теория относительности экспериментально опровергнута и только буржуазные идеалисты скрывают от нас правду. (Речь идет здесь о профессоре А. К. Тимирязеве, сыне нашего знаменитого ботаника К. А. Тимирязева.) Мы, студенты, этому совершенно не верили и охотно читали хорошую книгу С. И. Вавилова.

Автору этой статьи известен дневник третьего путешествия студента С. И. Вавилова по Италии в июне и июле 1913 г., содержащий записи 22-х летнего будущего ученого, сделанные для себя. Во многих местах записи сделаны карандашом и не очень разборчивы. Страницы дневника посвящены искусству, описаниям церкви, картин, фресок, скульптур.

Начинаются записи с посещения пушкинских мест. С. И. Вавилов пишет: «Рядом под прекрасным большим памятником почтуют останки поэта. Закатное солнце, грозно выглядывая из-за туч, озаряет мрамор памятника. Величественно и грустно. На уме пушкинские фразы, пушкинские слова. Для меня Пушкин — вечная надежда. Когда я буду погибать, быть может, одной рукой схвачусь за Евангелие, другой, несомненно, за творчество Пушкина».

Записи дневника полны сомнений, поисков своего я. «Я человек науки ... не смотря на всю мою антипатию к философии, я философ... В сущности говоря, я рад, что наслаждение искусством отравляется для меня тоской по науке... Наука, наука — вот мое дело, бросить все и заниматься только физикой... Книга — самая высокая вещь в мире, потому что это почти человек, даже иногда выше человека, как Гаусс и Пушкин».

Во Флоренции, незадолго до своего отъезда из Италии, он посетил церковь Санта Кроче и записал: «Не из-за Джотто попал я сюда, а чтобы поклониться праху Галилея. Почивайте с миром, Дант и

Буонаротти etutti quanti. Вы сделали много хорошего, но кроме Галилея никто не сделал серьезного. Пусть этот мой почти последний поклон Италии будет поклоном не искусству, а науке. Здесь, около могилы Галилея, почти клянусь делать только дело серьезное, т. е. науку. Пусть ничего не выйдет, но будет удовлетворение». Здесь впервые можно угадать в С. И. Вавилове историка науки. Думал ли он тогда, что станет автором широко известных статей «Галилео Галилей» в Большой Советской Энциклопедии и классического исследования «Галилей в истории оптики», написанного через 20 лет.

16 июля, видимо, также во Флоренции, записано: «В церкви не в богослужбное время какой-то искусный музыкант играл Баха или Гайдна, точно не знаю... Когда, сидя под кипарисами и вглядываясь в дали далекие, я услышал старинную элегию органа, я растаял. Из искусств серьезна только музыка — самое чистое, светлое и живое. И право, я теперь начинаю понимать, почему математики и физики так любят музыку. У той и другой серьезность». Продолжаю цитировать: «...Многое печальное в своей судьбе увидел под эту музыку».

Хочу вернуться к воспоминаниям Д. С. Лихачева. Статья Дмитрия Сергеевича начинается словами: «Яркой чертой Сергея Ивановича была широта его культурных интересов. Мне приходилось встречать его с женой в Эрмитаже, на последней квартире Пушкина на Мойке, на открытии Пушкинского музея в Александровском дворце в городе Пушкине (к сожалению, после смерти Сергея Ивановича Всесоюзный Пушкинский музей был из Александровского дворца переведен в гораздо менее подходящее для музея помещение Екатерининского дворца), на открытии пушкинской экспозиции в Лицее в городе Пушкине и во многих других местах, связанных с русской культурой».

Все, кто вспоминают С. И. Вавилова-ученого, с восхищением говорят о его поразительной памяти и необыкновенно разносторонних знаниях. При необычайной занятости он никогда не торопился, так как если бы был совершенно свободен, и всегда оставался для всех доступен. Объем, а главное, весомость того, что он успевал сделать, были поразительны. Конечно, при этом он был совершенно беспощаден к себе, оставаясь внимательным, заботливым по отношению к окружающим. Секрет этого, как и всякого подлинного подвига духа, не может не вызывать восхищения и вместе с тем не поддается объяснению.

Послесловие

Автор этой статьи Илья Михайлович Франк считал себя учеником С. И. Вавилова и до конца дней своих оставался верным памяти учителя. На протяжении 40 лет после его смерти он не жалел сил и времени для любой работы, так или иначе связанной с именем Сергея Ивановича. Под редакцией И. М. Франка в издательстве «Наука» вышел в 1979 г. сборник «Сергей Иванович Вавилов. Очерки и воспоминания», положивший начало серии книг с воспоминаниями об ученых. Этот сборник и второе его издание 1981 г. предваряются предисловием и вступительной статьей Ильи Михайловича, озаглавленной «Что мы хотим рассказать о Сергее Ивановиче Вавилове». Однако в то время он не мог сказать о своем учителе то и так, как ему хотелось. В еще большей степени это касалось упоминаний о Николае Ивановиче, хотя судьбы этих двух замечательных людей неразделимы. Это обстоятельство мучило Илью Михайловича, тем более, что в последние годы появились статьи и высказывания, в которых трагедия Николая Ивановича не просто противопоставлялась видимому жизненному благополучию его брата, но и, более или менее явно, ставилась в вину последнему.

И. М. Франк старался как-то восстановить истину. 6 января 1989 г. Ленинградское отделение

Советского фонда культуры провело вечер, посвященный памяти братьев Вавиловых. Приглашение принять в нем участие получил и Илья Михайлович. Будучи тяжело больным, приехать в Ленинград он не смог, но счел своим долгом подготовить текст, который был зачитан от его имени, а потом опубликован в газете «Дубна. Наука. Содружество. Прогресс» (№ 5, от 1 февраля 1989 г.). В дальнейшем Илья Михайлович использовал его при подготовке третьего издания сборника памяти С. И. Вавилова.

К этому изданию, приуроченному к 100-летию со дня рождения С. И. Вавилова, вступление было написано практически заново. Илья Михайлович был болен, работать ему было тяжело, и чрезвычайно интересная и искренняя статья осталась не вполне завершенной. В ней много отступлений и повторов, но она не только содержит воспоминания и размышления о судьбе двух выдающихся ученых, но несет на себе неповторимый отпечаток личности самого автора. Хотя название осталось прежним, ее можно было бы назвать «Братья Вавиловы и их время». Эта статья оказалась последним, что Илья Михайлович успел сделать в своей жизни. Работа над ней была закончена 20 июня 1990 г., а 22 июня Илья Михайловича не стало. Издательство «Наука» бережно

отнеслось к тексту и сохранило его практически без изменений.

Уверен, что будь Илья Михайлович жив, он бы подготовил статью о Сергее Ивановиче для этого номера «Природы». Теперь же перед родными и друзьями И. М. Франка встал трудный вопрос, что из написанного им предложить вниманию читателей журнала. С одной стороны, объем не позволял печатать статью из сборника целиком, с другой стороны, именно эта работа в наибольшей степени соответствует его взглядам. Не без сомнений мы решились опубликовать фрагменты из статьи, скомпоновав их в более или менее цельный текст и изменив название. Все приведенное выше принадлежит перу И. М. Франка, и в то же время это не совсем авторский текст, поскольку он подвергся почти трехкратному сокращению. При этом неизбежно было опущено многое, что было автору дорого. Ведь сокращение в какой-то мере всегда является и искажением. Тем не менее мы не нашли лучшего решения. Читателя, желающего прочесть эту статью полностью, мы отсылаем к третьему изданию сборника «Сергей Иванович Вавилов. Очерки и воспоминания» (М.: Наука, 1991).

А. И. Франк
Москва

Свечение Черенкова*

Академик С. И. Вавилов

...Весьма курьезным и интересным примером специфических условий, складывающихся при распространении света в веществе, может служить свечение, обнаруженное и изученное за последние годы в Физическом институте Академии наук П. А. Черенковым. Сейчас это свечение в иностранной литературе стали называть «свечением Черенкова». Поэтому я буду для краткости в дальнейшем также пользоваться этим обозначением.

Рассмотрим это любопытное новое оптическое явление, с виду совершенно неожиданное и загадочное, но при ближайшем анализе оказывающееся укладываемым в общепризнанные рамки как классического, так и квантового представлений.

Прежде всего нужно сказать несколько слов о чисто экспериментальной стороне дела.

Явление состоит вот в чем: если вы возьмете любую чистую жидкость — воду, глицерин, серную кислоту и т. д. — и будете их освещать гамма-лучами радия, то, оказывается, что все эти жидкости светятся чрезвычайно слабым видимым светом. Это явление и было замечено П. А. Черенковым. *Post factum* можно сказать, что его видели неоднократно и до П. А. Черенкова, в частности супруги Кюри.

Кюри и некоторые другие авторы до самого последнего времени приписывали это явление люминесценции жидкости под действием радиоактивных радиаций. Всем хорошо известно свечение самого препарата радия; оно в значительной части, как можно думать теперь, соответствует свечению Черенкова, но его всегда считали нормальной люминесценцией.

Преимущество П. А. Черенкова перед другими исследователями состояло прежде всего в том, что ему, вполне несомненно, удалось доказать нелюминесцентную природу свечения. Я, к сожалению, не могу подробно останавливаться на этом важном пункте. Ограничусь указанием того, что ря-

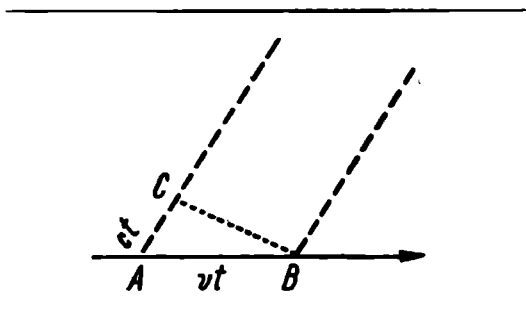


Рис. 1.

дом опытов удалось обнаружить, что «длительность» наблюдавшегося свечения была, несомненно, много короче, чем у всех известных случаев типичной люминесценции.

Далее были найдены совершенно особые свойства свечения: во-первых, было обнаружено, что интенсивность всех жидкостей самого разнообразного химического состава, примерно, одинакова. Спектральный состав тоже почти одинаков. Свечение оказалось поляризованным, причем не перпендикулярно направлению возбуждающего гамма-луча, а вдоль него. Далее свечение обладает совершенно необычными геометрическими свойствами. Оказалось, что оно идет только вперед и сосредоточено внутри конуса с прогибом на оси.

Таковы необыкновенные свойства нового свечения. Полное объяснение его удалось дать И. Е. Тамму и И. М. Франку.

Для того чтобы возможно проще и короче изложить смысл этого объяснения, обратимся к следующей схеме (рис. 1). Представим себе некоторую оптически прозрачную среду, в которой распространяются электроны, или световые лучи. Почему мы при этом не видим свечения? Казалось бы, что электроны, или световой луч, необходимо должны возбуждать при своем распространении в среде частицы вещества. Почему же этого не происходит?

Общее объяснение может быть получено из учета когерентных свойств излучения.

* Глава из статьи: В а в и л о в С. И. Об элементарных процессах излучения и поглощения света // Природа. 1945. № 4. С. 9—22.

В самом деле, предположим, что возбуждающий луч (электронный, или световой) распространяется вдоль АВ (рис. 1). В точке А возникает некоторая электромагнитная пертурбация. За время t она распространяется на расстояние АС, в точке же В к моменту t находится еще в В. Таким образом, имеется разность хода когерентных волн, равная АС. Мы предполагаем нашу среду простирающейся на расстояние, значительно большее длины видимой световой волны. Это условие чрезвычайно важно как увидим в дальнейшем. На основании его всегда можно подобрать такие лучи, для которых разность хода будет равна полуволне $\frac{\lambda}{2}$. Вследствие этого будет происходить

взаимное уничтожение лучей, и излучения в сторону не останется.

Приблизительно такие же по существу рассуждения были приведены в свое время покойным академиком Л. И. Мандельштамом в его известной дискуссии с М. Планком в применении к вопросу о рассеянии света. Мандельштам утверждал, что если среда, в которой распространяется свет, совершенно однородна, то вследствие указанной интерференции никакого рассеяния не будет. Рассеяние может происходить только вследствие пространственных и временных неоднородностей в среде. Известно, что эта мысль стала основой дальнейшей теории молекулярного рассеяния света, развитой Смолуховским и Эйнштейном (флуктуационная теория рассеяния света).

В случае распространения электронов в той же однородной среде все складывается совершенно так же до тех пор, пока скорость электрона не будет превосходить фазовую скорость света в данном веществе, равную

$\frac{c}{n}$ (где c — скорость света в вакууме,

n — показатель преломления). В протяженной среде когерентные электромагнитные возмущения в молекулах, вызываемые электроном, будут по всем направлениям взаимно уничтожаться. Но электрон может двигаться в среде со скоростью, большей фазовой скорости света. В условиях первых опытов П. А. Черенкова, когда имелись достаточно жесткие гамма-лучи, происходило явление рассеяния гамма-лучей на электронах. В результате получились комптоновские электроны, часть которых обладала скоростями несколько большими, чем фазовая скорость видимого света в среде.

Если учесть это обстоятельство, то оказывается, что возникает новая непредвиденная возможность.

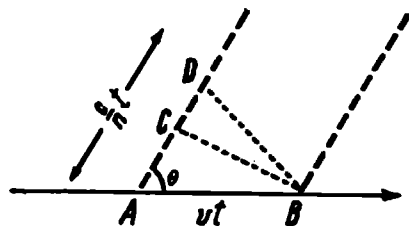


Рис. 2.

Строим чертеж, аналогичный прежнему (рис. 2). Однако теперь мы замечаем, что такое положение дела, когда каждому лучу находится всегда партнер с разностью фазы в половину длины волны, не будет иметь места в случае, когда разность фазы равняется нулю.

Составим выражение для разности хода для общего случая:

$$\frac{c}{n}t - vt \cos \theta = CD.$$

Но если разность хода равна нулю, т. е.

$$\frac{c}{n}t - vt \cos \theta = 0,$$

то умножением на время t мы ничего не достигаем. Разность хода всегда равна нулю, т. е. лучи будут усиливать друг друга, иначе говоря, имеется такое направление, под которым лучи усиливают друг друга, т. е. излучение существует. Таково простое интерференционное рассуждение, приводящее к выводу, что в среде, вследствие наличия в ней электронов, движущихся со скоростями, превышающими фазовую скорость света, должно под определенным углом появиться видимое свечение. Угол этот, очевидно, определяется формулой:

$$\cos \theta = \frac{c}{vn}.$$

Это необычное свечение, которое возможно только в среде при указанных условиях, и обнаружил П. А. Черенков. Поучительно на одну минуту заглянуть в историю. Едва ли кто из физиков старшего поколения не читал знаменитую речь лорда Кельвина «Облака XIX века», сказанную им в 1900 г. Однако едва ли кто помнит, что в этой речи эффект Черенкова предсказывался

Кельвином, правда, для пространства, свободного от вещества. В это время теории относительности еще не было, еще не существовало запрета для скорости частиц в вакууме, превышающей скорость света, поэтому Кельвин, рассуждая по аналогии со звуком и опираясь на артиллерийские опыты Маха, указал, что если частица будет двигаться со скоростью, большей скорости света, то должна получиться коническая световая волна с углом θ , определяемым только что написанным уравнением.

«Если равномерная скорость атома,— говорил Кельвин,— превзойдет хотя бы немного скорость света, то должна появиться непериодическая, коническая волна... Угол конуса в эфире, так же как и для звука в воздухе, должен быть равным углу, синус которого есть отношение волновой скорости к скорости движущегося тела».

Через четыре года после Кельвина, независимо от него, гораздо более громоздко к тому же выводу пришел Зоммерфельд в последние месяцы перед появлением теории относительности, когда еще разрешалось говорить о скоростях электронов в пустом пространстве, превышающих скорость света.

И Кельвин и Зоммерфельд ошибались. С другой стороны, физики более молодого поколения, загипнотизированные невозможностью скорости движения тела большей скорости света в безвоздушном пространстве, забыли о том, что в среде этого запрета нет. Новое явление было открыто чисто эмпирически, и только потом, задним числом, удалось его теоретически объяснить во всех подробностях.

Замечу, что тот же эффект получает объяснение и с точки зрения квантовой теории на основе применения закона сохранения количества движения и сохранения количества энергии, как это было показано В. Л. Гинзбургом, а много позднее, в 1944 г., и американскими теоретиками.

Движение совершенно однородных электронов с одинаковой сверхсветовой скоростью должно бы сопровождаться свечением в пределах очень тонкого конуса (рис. 3, а).

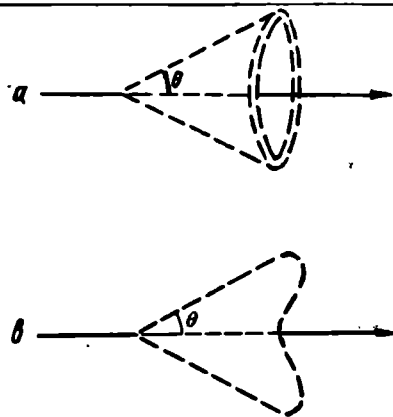


Рис. 3.

В реальных опытах, особенно с лучами гамма, мы имеем дело с весьма разнообразными скоростями как по величине, так и направлению. Поэтому в опытах П. А. Черенкова получался заполненный конус с прогибом по оси (рис. 3, б).

Новое явление интересно, между прочим, в том отношении, что здесь впервые обнаруживаются вынужденные колебания среды, происходящие под влиянием проходящего электрона. В обычных условиях эти колебания скрывались от нас вследствие их взаимной интерференции.

В общем, свечение Черенкова развернуло перед нами новую страницу оптики источников, движущихся со сверхсветовыми скоростями в вещественной среде.

Существенно заметить, что наши выводы применимы только в том случае, если путь электрона достаточно велик и охватывает довольно большое число длин волн. Если мы имеем дело со слоем чрезвычайно тонким, меньшим длины волн, мы (как в этом легко убедиться хотя бы на основании приведенного интерференционного рассуждения) должны получить свечение и при прохождении электрона со скоростью, меньшей скорости света.

Послесловие

С. И. Вавилов был прирожденным популяризатором, и приведенный отрывок, как и все, что он написал, отличается классической ясностью. Но не следует забывать, что достижение этой ясности потребовало огромного экспериментального и теоретического труда.

«Есть наблюдение, а есть и эксперимент». В этом высказывании Вавилова, которое не раз повторял И. М. Франк, подчеркивается, что между этими понятиями есть принципиальная разница. Наблюдатель описывает увиденное и этим может ограничиться (так древние описывали солнечные затмения, не зная еще небесной механики). Эксперимент — это нечто большее. Он планируется заранее для подтверждения или опровержения определенных предположений, возникающих у исследователя. Результаты эксперимента способствуют выяснению физических закономерностей, определяющих результаты наблюдения.

Свечение чистых жидкостей под действием γ -излучения, обнаруженное П. А. Черенковым, осталось бы «наблюдением», по терминологии Вавилова, если бы не стало объектом планомерного и целенаправленного исследования. Прежде всего, по предложению Вавилова были проведены эксперименты с применением стандартной методики, разработанной в его лаборатории для исследования люминесценции. По их результатам Вавилов однозначно заключил, что наблюдаемое свечение не есть люминесценция. Он же высказал и первое предположение о возможных его причинах: излучают электроны, выбитые γ -лучами из атомов жидкости. Что касается конкретного механизма излучения, Сергей Иванович высказал предположение, что наблюдаемое свечение есть тормозное излучение выбитых электронов. В дальнейшем оказалось, что свечение не связано с торможением, и эта часть предположений Вавилова неверна. Но его утверждение, что из-

лучают электроны, оказалось правильным и определило весь ход дальнейших исследований.

П. А. Черенков проводил труднейшие измерения очень слабого свечения с большим мастерством, и полученные им результаты были всегда надежны. Планирование же экспериментов проходило под началом Сергея Ивановича, причем он принимал участие не только в обсуждениях, но и в измерениях. В обсуждениях участвовал также Франк, который в качестве ассистента иногда помогал Черенкову. В своих воспоминаниях об этом времени Франк пишет:

«Непрерывное обсуждение новых работ и соображений, связанных с ними, в беседах с коллегами и учениками, было характерно для С. И. Вавилова до конца его жизни. Вполне естественно, что я знал о работе П. А. Черенкова с самого ее начала и во всех подробностях. Вскоре С. И. Вавилов познакомил меня с П. А. Черенковым, а после моего перехода в ФИАН началось и наше тесное научное общение. После переезда в 1934 г. Академии наук в Москву С. И. Вавилов не раз говорил об этих работах с И. Е. Таммом, постоянно общался с ним и я. Без этих многократных совместных обсуждений не родилась бы работа, которой посвящена эта статья».¹

Участие Вавилова на всех стадиях исследований нового свечения было определяющим. Он сразу принял его теоретическое объяснение, а для этого надо было преодолеть установившиеся стереотипы. Ведь И. М. Франк и И. Е. Тамм показали, что свечение возникает при равномерном движении электронов, скорость которых превосходит скорость света в жидкости. А в то время считалось твердо установленным, что равномерно движущийся заряд

не излучает и что скорость материальных тел не может превышать скорости света. Поэтому лишь немногие сразу признали объяснение Франка и Тамма и поняли, что никакого противоречия с известными законами физики в нем нет.²

М. Н. Аленцев рассказывал мне, что Сергей Иванович вскоре после появления теории Франка и Тамма устроил своим сотрудникам красивую демонстрацию явления, основанную на аналогии между электромагнитными волнами и поверхностными волнами на воде. В стеклянную кювету он налил воду, а под кюветой поместил источник света, так что ее изображение проецировалось на потолок. Взяв заточенный карандаш, Вавилов провел острием прямую линию на поверхности воды в кювете. На потолке появилась характерная картина — направленные волны, расходящиеся в обе стороны от движущегося острия. Это была гидродинамическая аналогия обнаруженного свечения.

Сергей Иванович категорически возражал против того, чтобы название свечения было связано с его именем. И все-таки, чтобы отметить определяющую роль не только Черенкова, но и Вавилова, его ученики предложили в 1957 г. называть явление «эффектом Вавилова — Черенкова»: для этого, несомненно, есть все основания. Это предложение многими было принято, хотя устоявшимся за много лет термином «эффект Черенкова» пользуются некоторые авторы в СССР и практически все за рубежом.

Б. М. Болотовский,
доктор физико-математических наук
Физический институт
им. П. Н. Лебедева
АН СССР

¹ Франк И. М. О когерентном излучении быстрого электрона в среде. // Проблемы теоретической физики. Памяти И. Е. Тамма. М., 1972. С. 350.

² Подробнее см. подборку статей: Излучение Вавилова—Черенкова: 50 лет открытия // Природа. 1984. № 10. С. 74—93.

Фотосинтез и резонансная миграция энергии

М. В. Фок, Э. Г. Фетисова



Михаил Владимирович Фок, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР. В круг научных интересов входят проблемы люминесценции и биофизики. Автор монографии «Введение в кинетику люминесценции кристаллофосфоров» (М., 1964), а также научно-популярных книг «Преобразование света» (в соавторстве с Ю. П. Тимофеевым; М., 1985) и «Видим в невидимом свете» (в соавторстве с Ю. П. Тимофеевым и С. А. Фридманом; М., 1983).



Зоя Григорьевна Фетисова, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Межфакультетской проблемной научно-исследовательской лаборатории молекулярной биологии и биоорганической химии им. А. Н. Белозерского Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Занимается исследованиями первичных процессов при фотосинтезе.

К ОЕ-КОГО, возможно, удивит появление статьи под таким заголовком в подборке статей, посвященной С. И. Вавилову, — ведь он никогда не занимался фотосинтезом. Напрямую — да, не занимался, но он подробно исследовал индуктивно-резонансную миграцию энергии возбуждения между молекулами люминесцирующих красителей, а этот процесс играет большую роль в фотосинтезе, точнее, в первичных фотофизических процессах, протекающих между поглощением света молекулами хлорофилла и передачей этой энергии реакционному центру (РЦ), в котором начинается длинная цепь химических превращений, приводящих к усвоению организмом поглощенной энергии света.

Работы Вавилова имеют отношение к фотосинтезу и еще с одной стороны. В последние годы жизни он много занимался вопросом об ограничении, накладываемом термодинамикой на энергетический выход фотолюминесценции. Его интересовала физическая природа правила Стокса, согласно которому яркость люминесценции начинает резко уменьшаться, как только энергия возбуждающих квантов становится меньше энергии, приблизительно соответствующей максимуму спектра люминесценции. Люминесценция перестает возбуждаться, как только это различие становится всего в несколько раз больше средней энергии теплового движения одной частицы. Чем вызвано такое ухудшение возбуждающей способности квантов при уменьшении их энергии? Мыслимы три причины.

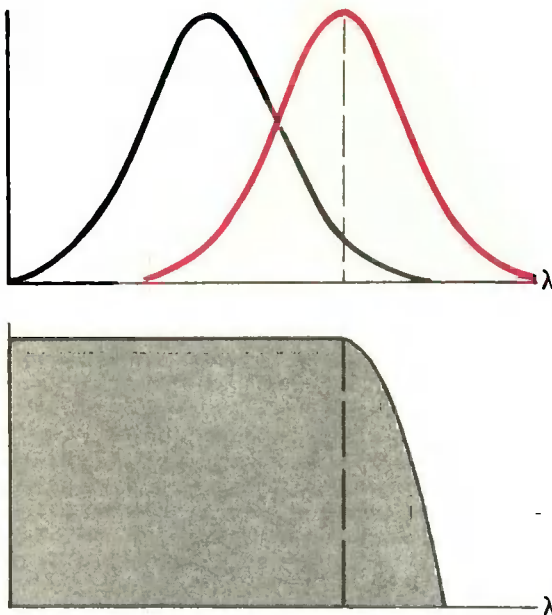
Уменьшение поглощения, из-за чего кванты попросту проходят сквозь образец.

Слабое, неактивное для люминесценции поглощение света всегда присутствующими примесями, которое, будучи равномерным по всему спектру, успешно конкурирует с активным поглощением, когда оно становится слабым.

Внутренние процессы в самой люминесцирующей молекуле, избежать которых невозможно в силу законов термодинамики.

Во время правила Стокса не знало исключений и даже называлось законом. Вавилов в нем усомнился и предложил искать истинные ограничения, накладываемые тер-

РЕЗОНАНСНАЯ МИГРАЦИЯ ЭНЕРГИИ



Спектральные кривые, иллюстрирующие правило Стокса: черная кривая — спектр поглощения люминесцирующего вещества, цветная — спектр его излучения (вверху). Спектральная зависимость эффективности возбуждения (внизу).

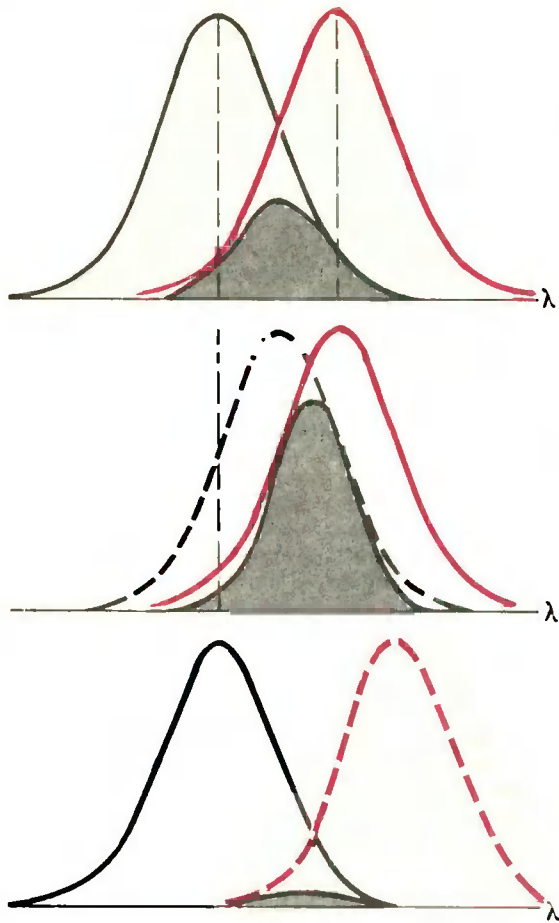
модинамикой, и был прав в своих сомнениях. Теперь известны так называемые антистоксовы люминофоры, в которых правило Стокса решительно нарушается. Выяснились и термодинамические ограничения — они различны в разных случаях, но обычно менее жесткие, чем следующие из правила Стокса. Вопрос этот выходит, однако, за рамки нашей статьи¹. Он затронут лишь потому, что эффективность фотосинтеза также ограничена со стороны низких энергий квантов. Эта граница тоже имеет термодинамическую природу, причем существуют практические ограничения, подобные правилу Стокса, и чисто термодинамические, несколько менее жесткие.

Прежде чем рассказывать о роли резонансной миграции возбуждения в фотосинтезе, кратко опишем свойства самой резонансной миграции энергии и устройство молекулярной системы, ответственной за поглощение света и начальные стадии преобразования его энергии в химическую.

Само по себе явление резонанса хорошо известно, и пояснять его не требуется. Резонанс широко используется в технике. — на нем основано, например, действие всех радиоприемников. Менее известен резонанс в живой природе, но он играет роль и в ней, и резонансная миграция (передача) энергии в светособирающих антеннах фотосинтезирующих организмов служит тому убедительным доказательством. В своей книге «Микроструктура света» Вавилов для пояснения этого явления рассматривает мысленный опыт, суть которого сводится к следующему. Допустим, есть два источника света на расстоянии L друг от друга. Будем считать, что они малы по сравнению с длиной волны λ испускаемого ими света и когерентны (т. е. световые волны от них имеют одинаковую частоту и постоянную разность фаз). Если надеть на источники колпак из матового стекла, то на нем будут видны светлые и темные интерференционные полосы. Пока $L \gg \lambda$, полос будет много (их число приблизительно равно L/λ), а средняя мощность света, падающего на колпак от источников, будет такой же, как если бы внутри находился только один источник, но вдвое большей мощности. Будем теперь сближать источники. Число полос начнет уменьшаться, и при $L < \lambda$ ни одной темной полосы не останется. Во все точки поверхности экрана обе волны будут приходить в одинаковых фазах, суммарная амплитуда будет вдвое, а мощность — в 4 раза больше, чем от одного источника. А по «здравому смыслу» она должна быть всего в 2 раза больше — ведь источников-то 2, а не 4!

Вавилов дает разгадку парадокса. Она в том, что так близко расположенные источники уже не независимы друг от друга и каждый вынуждает своего «соседа» испускать больше энергии. Это явление называется индуктивным резонансом (обычно слово «индуктивный» для краткости опускают). Индуктивный резонанс наблюдается, например, между двумя одинаковыми трансформаторами, включенными параллельно как по входу, так и по выходу. Подобный резонанс между двумя связанными колебательными системами (осцилляторами) возникает и в том случае, когда один из них не испускает, а поглощает энергию. Так, нагруженный на антенну высокочастотный генератор «чувствует» появление рядом со своей антенной второй, нагруженной на приемник. Точно так же возбужденная молекула чувствует присутствие поблизости невозбужденной, способной воспринять передаваемую ею

¹ См. в номере: Тимофеев Ю. П. От инфракрасных лучей к видимому свету. С. 32—37.



Перекрытие спектров поглощения и излучения. Черным показаны спектры поглощения молекул А (сплошная кривая) и Б (пунктирная), цветом — соответствующие им спектры излучения. Утолщенной линией дана кривая, представляющая произведение ординат соответствующих спектров. Вероятность передачи возбуждения пропорциональна закрашенной площади. Видно, что она значительно больше при передаче от молекул с более коротковолновым спектром излучения и поглощения к длинноволновым, чем в обратном направлении.

энергию. Принимающая молекула может иметь другое строение, причем ее спектры излучения и поглощения могут быть сдвинуты в длинноволновую область. Тогда примесь таких молекул к раствору изменяет спектр его свечения, даже если возбуждающий свет поглощают только передающие молекулы. Особенно сильно это проявляется, когда максимум поглощения принимающей молекулы совпадает с максимумом излучения передающей. При этом в присутствии принимающих молекул люминесценция передающих не только ослабляется, когда воз-

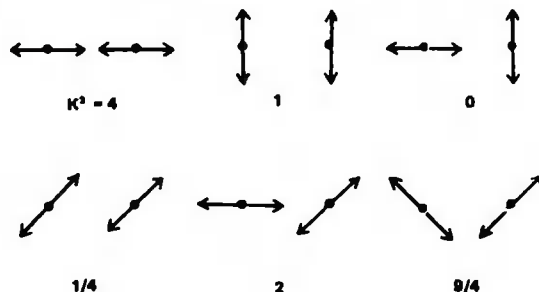
буждение постоянно, но и затухает быстрее после его прекращения. Это и показывает, что принимающие молекулы как бы вытягивают энергию из передающих.

Отметим главные факторы, от которых зависит вероятность резонансной передачи энергии между молекулами.

Расстояние между ними. От него вероятность зависит очень резко — обратно пропорционально шестой степени расстояния.

Близость к резонансу передающей и принимающей молекул. Она характеризуется тем, насколько хорошо перекрывается спектр излучения передающей молекулы со спектром поглощения принимающей. Чем сильнее они перекрываются, тем больше вероятность передачи. (Точнее, она пропорциональна площади под кривой, ограниченной произведением ординат спектров излучения передающей молекулы и поглощения принимающей.) Поскольку спектр излучения каждой молекулы сдвинут в длинноволновую сторону относительно ее же спектра поглощения (правило Стокса), нередко бывает, что излучающие молекулы находятся в худшем резонансе сами с собой, чем с молекулами с более длинноволновым спектром поглощения (а значит, и излучения).

Ориентация поглощающего и излучающего диполей друг относительно друга и относительно соединяющей их линии. Влияние ориентации характеризуется так называемым ориентационным фактором K^2 , который лежит в пределах от 0 до 4. В растворах $K^2=2/3$, поскольку молекулы в них расположены хаотически. Если при этом они лежат в одной плоскости, то $K^2=5/4$. (Так может быть, например, когда молекулы адсорбированы на какой-либо поверхности.)



Взаимное расположение излучающего и поглощающего диполей для различных значений ориентационного фактора K^2 . Поскольку в поглощающем или излучающем диполе, в отличие от статического, заряды периодически меняются местами, эти диполи изображены двойными стрелками. Точками обозначено местонахождение диполей.

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ АППАРАТ

Не вдаваясь в подробности, можно сказать, что у всех фотосинтезирующих организмов, от бактерий до высших растений, он устроен по одному плану: свет поглощается светособирающей молекулярной антенной, и энергия поглощенных квантов передается реакционным центрам (РЦ), которые запускают цепь химических превращений, приводящих в конце концов к синтезу нужных организму веществ. Антенна работает необычайно эффективно: к РЦ передается энергия не менее 90 % поглощенных квантов. Правда, от каждого кванта РЦ использует далеко не всю энергию, на что есть термодинамическая причина, которую мы рассмотрим ниже.

УСТРОЙСТВО СВЕТОСОБИРАЮЩЕЙ АНТЕННЫ

Главная ее часть — молекулы белка, имеющие форму клубков (глобул) со встроенными в них молекулами пигментов (хлорофилла или иных, близких по оптическим свойствам красителей). Существует несколько разновидностей светособирающих пигментов, различающихся положением максимума полосы поглощения. Вместе со своими «коллегами» по светосбору хлорофилл образует слаженный, хотя и пестрый (в буквальном смысле), «коллектив». Отдельные его «члены» поглощают свет разных оттенков — от зелено-голубых (с длиной волны около 0,5 мкм) до инфракрасного (1,1 мкм), и все вместе эффективно передают полученную энергию РЦ. В дальнейшем будем для простоты употреблять слово «хлорофилл» в собирательном смысле, не уточняя, о каком именно «члене» этого «коллектива» идет речь.

Расстояние между молекулами хлорофилла в глобуле составляет 1—1,5 нм, что в 500, а то и в 1000 раз меньше длины волны поглощаемого ими света. Между ближайшими молекулами хлорофилла, принадлежащими соседним глобулам, расстояние несколько больше — около 3 нм. Оно, однако, достаточно мало, чтобы резонансная миграция энергии между глобулами происходила значительно интенсивнее, чем высвечивание. Глобулы внедрены в липидную мембрану и образуют в ней узор «ковра», в который вкраплены пятна РЦ, содержащие наряду с хлорофиллом и другие молекулы, необходимые для начала химической реакции. На один РЦ приходится несколько десятков, сотен, а иногда и тысяч молекул

хлорофилла в антенне. (Впрочем, большая антенна имеет вид не «ковра», а скорее «подушки», ибо глобулы расположены в несколько слоев, а РЦ «пришиты» к ней с одной стороны.)

ПОЧТИ НЕРАЗРЕШИМАЯ ЗАДАЧА

Как обеспечить высокую эффективность светособирающей антенны?

Ведь квант света может поглотить любая молекула, в том числе и самая далекая от РЦ. А передаваться энергия может к любой соседней молекуле, и в принципе возможна ситуация, когда блуждающее возбужденное состояние подойдет близко к РЦ, а потом вновь удалится от него. И прежде чем оно попадет в РЦ, так может быть много раз. Ведь возбуждение «не знает», куда ему следует двигаться. А за время такого блуждания какая-нибудь молекула хлорофилла может испустить квант люминесценции, и тогда энергия возбуждения пропадет для фотосинтеза.

Количественные соотношения здесь таковы. Среднее время жизни возбужденного состояния молекулы хлорофилла около $5 \cdot 10^{-9}$ с. Много это или мало? По сравнению с периодом колебаний света с длиной волны 1 мкм ($3 \cdot 10^{-15}$ с) — очень много, в миллион раз больше. Но за это время возбуждение должно побывать в сотнях молекул хлорофилла и к тому же успеть прочно зафиксироваться в РЦ. При 98 %-ной эффективности лишь энергия 1 кванта из 50, «имеет право» не дойти до РЦ, а рассеяться в тепло где-то в антенне или покинуть ее в виде кванта света люминесценции. Это значит, что возбуждение должно переходить из антенны в РЦ в 50 раз быстрее, чем оно исчезало бы из нее в отсутствие РЦ, т. е. не за $5 \cdot 10^{-9}$ с, а за 10^{-10} с. Иначе в антенне будет потеряно более 2 % полученной ею энергии. А за это время, как уже отмечалось, возбуждению надо побывать в сотнях молекул хлорофилла. Например, если их 500, то на каждую придется всего по $2 \cdot 10^{-13}$ с, т. е. примерно по 70 световых колебаний. Казалось бы, и это не так уж мало, но как успеть задержать возбуждение в РЦ? Ведь если соседняя с РЦ молекула быстро отдала ему возбуждение, она может так же быстро получить его обратно. А задержать надо надолго. Химическая реакция синтеза контролируется диффузией, т. е. ее скорость определяется временем, необходимым для того, чтобы реагирующие молекулы подошли к РЦ, а продукты реакции удалились от него. В живых организмах это время порядка 10^{-2} с, т. е. в 100 млрд. раз

больше времени передачи возбуждения от одной молекулы к другой.

Вообще говоря, возможна и большая задержка, но за любую задержку приходится расплачиваться частью энергии поглощенного кванта. Дело в том, что вероятность перехода энергии возбуждения от молекулы А к молекуле Б в точности равна вероятности обратного перехода, только пока молекула Б не потеряла даже малой части полученной энергии. Если же часть энергии превратилась в тепло, то для обратного перехода требуется восполнить эту потерю, получив необходимую энергию опять-таки от теплового движения.

Согласно термодинамике, вероятность того, что молекула получит от теплового движения энергию ΔE , пропорциональна величине e^{-E_r/E_r} , где E_r — средняя энергия теплового движения (она пропорциональна абсолютной температуре тела). Поэтому, если РЦ превратил в тепло энергию ΔE , то независимо от того, какую часть составляет ΔE от всей полученной им энергии E , вероятность обратной передачи от РЦ к антенне будет приблизительно в $e^{\Delta E/E_r}$ раз меньше. При комнатной температуре задержка в 10 раз требует потери энергии 0,06 эВ. Отсюда следует, что для задержки возбуждения в РЦ в 100 млрд. раз (10^{11}) требуется превратить в тепло 0,66 эВ (точнее, чуть больше, ибо отдать энергию РЦ может не только той молекуле, от которой он ее получил, но и любой соседней). Для сравнения: энергия кванта света с длиной волны 0,65 мкм равна 1,9 эВ, а кванта с длиной волны 1,1 мкм — всего 1,1 эВ. Получается, что потери энергии, необходимые для задержки возбуждения в РЦ, довольно велики. Они составляют от трети до половины энергии каждого поглощенного кванта. Характерные порции энергии, которые передаются в биохимических реакциях, составляют около 0,3 эВ (энергия связи фосфатной группы в АТФ). В сумме получается более 0,9 эВ. Кванты с меньшей энергией фотосинтезирующие организмы использовать не могут. В действительности эта граница еще выше, ибо в химических реакциях также терется часть энергии. С этой оценкой вполне согласуется приведенная выше предельная энергия кванта (1,1 эВ), участвующего в фотосинтезе.

Интересно, что это согласуется и со спектром солнечного излучения. Максимум спектральной плотности световых квантов на поверхности Земли (т. е. числа квантов в единичном интервале энергии) приходится на 1,4 эВ, так что уходить далеко в инфракрасную область не стоит — там и квантов

меньше, и энергия их слишком мала. С высокоэнергетической стороны спектра тоже есть граница, но она более размыта. Светособирающие пигменты поглощают свет и в синей части спектра, что расширяет используемую область солнечного спектра, но далеко продвинуться в коротковолновую область все же не удастся из-за резкого уменьшения потока квантов в солнечном спектре.

Здесь уместно отметить одно довольно распространенное заблуждение. В литературе, особенно в популярных статьях, иногда встречается утверждение, будто растения зеленые потому, что на зеленую область спектра приходится максимум излучения Солнца. Тут сразу две ошибки. Во-первых, зеленый цвет листьев означает, что как раз в зеленой области спектра они не поглощают свет, а рассеивают его. Ведь мы видим предметы только благодаря тому, что часть света они рассеивают. Но зачем бы растениям иметь минимум поглощения как раз там, где энергии больше всего? Вторая ошибка в том, что в зеленую область попадает вовсе не максимум числа испускаемых квантов (как отмечалось, он соответствует 1,4 эВ, или 0,9 мкм), а максимум мощности света, и притом отнесенной к единичному интервалу длин волн, а не энергий. В таких координатах спектр изображают довольно часто, но для фотохимии они неудачны. Дело в том, что, согласно закону фотохимической эквивалентности, один поглощенный квант порождает один акт химической реакции. Энергия же этого кванта может лежать в широких пределах, обусловленных опять-таки энергетическими соотношениями, а не собственно длиной волны света. Длина волны сама по себе важна только в интерференционных явлениях.

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ АНТЕННЫ

Итак, со стабилизацией энергии возбуждения в РЦ, казалось бы, все ясно: надо «заплатить» 0,6—0,7 эВ, и все будет в порядке. Но не так все просто. «Оплату» надо осуществить в 50 раз быстрее, чем за 10^{-13} с, иначе возбуждение «убежит» из РЦ. Но это время меньше даже периода световых колебаний! А «взимается» плата в виде тепловых колебаний, период которых в 1000 раз больше, чем у световых. Попробуйте выпить стакан воды не за 10 с (это всякий сумеет), а за сотую долю секунды?

Как же выйти из этого положения? Можно предположить, что в действительности миграция возбуждения происходит настолько быстро, что уже невозможно сказать,

где оно находится, и всю антенну можно рассматривать как одну огромную молекулу. В этом случае возбуждение много раз возвращается к РЦ и на какой-то раз может в нем и задержаться. Подсчет, однако, показывает, что хотя в таком случае и не требуется такой нереальной скорости превращения энергии возбуждения в тепло, но все же требуемая скорость этого процесса слишком велика.

При этом подсчете выяснилось важное «смягчающее обстоятельство»: достаточно «выпить» быстро только первый «глобок» — можно не тратить все 0,6 эВ разом, а быстро превратить в тепло хотя бы 0,06 эВ. Это задержит возбуждение в РЦ в 10 раз. За такое время успеет произойти другой процесс, в результате которого превратится в тепло еще некоторая часть энергии возбуждения. Это задержит оставшуюся часть энергии возбуждения еще дольше и т. д. Но первый процесс все-таки должен быть очень быстрым.

Этой возможностью растения действительно воспользовались, но вместо трудноосуществимой бесконечно быстрой миграции они пошли по другому пути — создав направленный поток энергии к РЦ. Для этого растения используют все три упомянутые выше фактора, влияющие на вероятность резонансной передачи возбуждения (расстояние между молекулами, ориентацию диполей и перекрытие спектров излучения и поглощения).

Как уже говорилось, в силу правила Стокса, спектр люминесценции хлорофилла сдвинут в длинноволновую сторону относительно спектра поглощения. Поэтому, если максимум спектра поглощения более длинноволновой формы хлорофилла совпадает с максимумом излучения коротковолновой, то вероятность перехода возбуждения с коротковолновой формы на длинноволновую будет больше (при прочих равных условиях), чем вероятность перехода даже между одинаковыми молекулами, не говоря уж о переходе от длинноволновой формы к коротковолновой. Поэтому достаточно окружить РЦ молекулами хлорофилла самой длинноволновой спектральной формы, чуть подальше расположить более коротковолновую и т. д., чтобы получилась, так сказать, «энергетическая воронка», по которой энергия возбуждения стекает прямо в РЦ. Расчет показывает, что так можно в десятки раз ускорить миграцию возбуждения к РЦ.

Однако и здесь есть свои трудности. Растения живут в условиях переменной освещенности. Им требуется эффективно исполь-

зовать как слабый, так и сильный свет. Чтобы РЦ не оставались «без работы» на слабом свете, надо иметь побольше молекул хлорофилла в расчете на один РЦ. Но тогда на сильном свете РЦ может не успеть переработать предыдущее возбуждение, как к нему придет следующее, которое он не сможет воспринять. Это «безработное» возбуждение не сможет «выскочить» из воронки и в лучшем случае пропадет без пользы, но может и натворить бед, вызвав нежелательную фотохимическую реакцию в молекулах антенны. Оно ведь будет жить в ней много дольше, чем обычно, и притом все это время в основном в тех немногих молекулах хлорофилла, которые принадлежат к самой длинноволновой форме. Во избежание этого светособирающие антенны растений имеют помногу РЦ каждая, причем РЦ расположены так, что могут обмениваться между собой энергией возбуждения, мигрирующей по длинноволновой антенне хлорофилла.

В больших антеннах помимо этого используется и ориентация диполей, и различия в межмолекулярных расстояниях. Например, зеленые бактерии, живущие в глубине водоемов, где света мало, вынуждены иметь очень большие антенны, содержащие тысячи молекул хлорофилла на один РЦ. Если расположить их все в одной плоскости, то путь к РЦ получится такой долгий, что возбуждение потеряется «по дороге», и никакие ухищрения не помогут его сохранить. Поэтому такая антенна имеет не плоскостное, а объемное расположение молекул хлорофилла, где путь к РЦ гораздо короче. В ней РЦ вместе с длинноволновой формой хлорофилла образует «ковёр», на котором расположены плотные «пакеты» молекул коротковолновой формы. Диполи в этой сложной системе параллельны друг другу. Все это обеспечивает быстрое перемещение возбуждения по направлению к длинноволновому «ковру» и переход его в этот «ковёр», где оно может «проситься» в любой РЦ, ибо они расположены недалеко друг от друга.

Как видно, все устроено очень рационально. Но почему молекулы хлорофилла не располагаются равномерно по антенне, а «теснятся» в белковых глобулах? Конечно, от этого ускоряется обмен энергией в пределах каждой глобулы, но обмен между соседними глобулами замедляется. Что перебивает — ускорение или замедление? Если ускорение, то биологическая целесообразность глобул понятна. А если замедление? Зачем они тогда?

Как показывает расчет, если резонанс-

ный характер миграции сохраняется и в пределах глобулы, то замедление явно перебивает. Но дело в том, что расстояние, на которое удалены друг от друга молекулы хлорофилла внутри глобулы, это как раз то расстояние, начиная с которого электронные облака соседних молекул могут взаимодействовать друг с другом непосредственно, а не через электромагнитное излучение. В результате такого взаимодействия энергия распределяется разом по всем молекулам хлорофилла, внедренным в одну глобулу, и, кроме того, возрастает вероятность переходов в каждой молекуле. Вместо многих молекул в одной глобуле получается как бы одна большая возбужденная молекула. Это ускоряет миграцию возбуждения по антенне и передачу ее в РЦ. Неравномерное распределение хлорофилла оказывается в конечном счете все же выгоднее равномерного. Однако индуктивно-резонансная передача не утрачивает своего значения. Она сохраняется между глобулами. Благодаря этому РЦ, получив энергию от соседней глобулы, не может быстро вернуть ее обратно, как было бы, если бы передача происходила внутри одной глобулы.

Из опыта следует, что во всех светособирающих антеннах передача энергии к РЦ завершается за время порядка 10^{-10} с. Время жизни возбуждения в отдельной молекуле антенны в десятки, если не в сотню раз меньше. Столь же малым будет и время жизни возбуждения в РЦ, если он не «примет меры», чтобы не выпустить его обратно в антенну. Но как задержать возбуждение в РЦ, какая «защелка» может сработать так быстро? Видимо, это молекулы воды, которых, согласно рентгеноструктурному анализу, в бактериальных РЦ более 10. Как известно, молекулы воды — это электрические диполи. Кислород в них «оттянул» на себя оба электрона от атомов водорода, оставив протоны почти «голыми», причем оба протона расположены по одну сторону от атома кислорода. Протоны легкие и могут почти без задержки развернуться вокруг атома кислорода. А это очень важно, ибо фотохимическая реакция в РЦ начинается с так называемого первичного разделения зарядов, в результате которого в РЦ образуется диполь. (Электрон с одной молекулы хлорофилла в РЦ переходит на другую, тесно с ней связанную.) Такой диполь своим электрическим полем может повернуть расположенные поблизости диполи воды. Расчет показывает, что каждый поворот диполя воды может перевести в тепло свыше 0,06 эВ, т. е. в 10 раз уменьшить вероятность выхода возбуждения из РЦ обрат-

но в антенну. А если повернутся 2—3 молекулы, задержка будет такова, что успеют завершиться и более сложные процессы.

Паразитально, что в каком-нибудь зеленом листе, который за всю свою жизнь если и шевелится, то только от ветра, решающее значение имеют процессы, протекающие за невообразимо короткое время — миллионную долю миллионной доли секунды. Среди этих процессов — индуктивно-резонансная миграция энергии, для понимания которой немало сделал С. И. Вавилов. Он изучал люминесценцию, для которой фотохимические процессы — это потери. Мы говорим о фотосинтезе, для которого люминесценция — потери. Но индуктивно-резонансная передача важна и там, и там. Как и всегда, хорошо продуманные и выполненные исследования имеют значение, далеко превосходящее ту цель, ради которой они были поставлены.

Роль этих исследований С. И. Вавилова не ограничивается собственно фотосинтезом. В связи с проблемой использования солнечной энергии возникает вопрос о применении для этого фотохимических реакций, например, получения водорода из воды, синтеза метилового или этилового спиртов или же других соединений, которые могут служить топливом. Для искусственных светопреобразующих систем вопрос о передаче энергии к РЦ, пожалуй, даже важнее, чем для естественных. Результатами естественного фотосинтеза можно пользоваться, не имея ни малейшего понятия о том, как он происходит, но вряд ли кто-нибудь сумеет создать эффективную искусственную светопреобразующую систему, не понимая процессов, которые должны в ней протекать. Здесь приходится учиться у природы. Попытки создать искусственную систему в виде простого раствора РЦ, красителей и других необходимых веществ не увенчались успехом. Такие системы безнадежно малоэффективны. Теперь ясно, что в них отсутствуют условия для быстрой передачи поглощаемой энергии к РЦ, вследствие чего почти вся она теряется, не успев до него дойти. Ведь в растворе взаимные ориентации молекул и расстояния между ними случайны, а требуется высокая степень их упорядоченности. Создать такую упорядоченность в искусственных системах весьма проблематично. Но можно сказать определенно, что без нее не обойтись и что при конструировании таких систем необходимо учитывать свойства индуктивно-резонансной передачи энергии, которые исследовал С. И. Вавилов.

От инфракрасных лучей к видимому свету

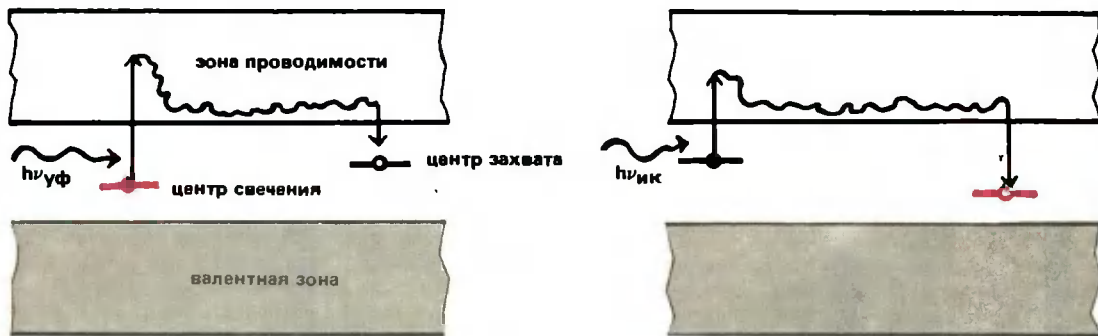
Ю. П. Тимофеев



Юрий Петрович Тимофеев, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР. Занимается исследованиями люминесценции твердых тел. Автор ряда научно-популярных книг, в том числе «Преобразование света» (в соавторстве с М. В. Фоком). М., 1985. Лауреат Государственной премии СССР.

ГЛАЗ ЧЕЛОВЕКА — уникальный продукт эволюции, предмет восхищения не только поэтов и влюбленных, но и многих ученых самых разных специальностей. Об удивительном совершенстве этого преобразователя оптических изображений, с помощью которого мы получаем подавляющую часть информации об окружающем нас мире, образно и научно достоверно рассказал С. И. Вавилов в известной брошюре «Глаз и Солнце». Однако способности нашего зрения не беспредельны, и история цивилизации в значительной мере связана с созданием оптических приборов и устройств, существенно расширяющих возможности «невооруженного» глаза. Некоторые из них основаны на применении люминесценции, позволяющей выйти за границы спектральной чувствительности нашего зрения.

На видимый свет приходится значительная (~40 %) часть энергии излучения Солнца; вместе с тем он занимает очень скромный участок — узкую щель от 0,4 до 0,7 мкм — на обширной шкале длин волн электромагнитного излучения, простирающейся от ничтожных долей ангстрема до километровых радиоволн. В современной науке и технике, да и просто в быту все шире используют различные источники не видимых глазом излучений. Поэтому разностороннее применение люминесценции (в лампах дневного света, системах отображения информации, рентгенологических и других установках) во многом обусловлено возможностями преобразования не видимых глазом излучений, а также потоков заряженных частиц в видимый свет. При этом из-за сильной зависимости коэффициентов пропускания, поглощения, отражения и рассеяния для многих объектов от длины волны излучения их изображения, полученные в разных невидимых лучах, резко отличаются друг от друга. В ряде случаев такие изображения содержат уникальную информацию, позволяют заглянуть внутрь объекта исследования, не разрушая его. Так, многие полупроводниковые материалы (в том числе широко используемые в современной микроэлектронике) вообще непрозрачны в видимом свете, но хорошо пропускают инфракрасные



Зонная модель и схема электронных переходов во вспышечных люминофорах: предварительное возбуждение люминофора квантами ультрафиолетового излучения $h\nu_{УФ}$ (слева); испускание видимого свечения люминофором, возбужденным квантами инфракрасного излучения $h\nu_{ИК}$ (справа). Электронные уровни центров свечения и захвата расположены в запрещенной зоне; прямыми стрелками обозначены оптические переходы, волнистыми — перемещение электрона в кристаллической решетке, сопровождающееся энергетическими потерями на возбуждение ее колебаний.

лучи; состояние внутренних органов человека врачи уже давно контролируют с помощью рентгеновских лучей, например, применяя люминесцентные экраны.

К сожалению, существует принципиальное различие в визуализации коротковолновых (ультрафиолетовых и рентгеновских лучей, γ -квантов) и длинноволновых, в частности инфракрасных (ИК), излучений: подавляющее большинство люминофоров, ярко светящихся под действием коротковолнового излучения, практически не «чувствуют» ИК-лучи. Такая асимметрия обычного люминесцентного преобразования, эмпирически замеченная еще в прошлом столетии Д. Стоксом, отнюдь не случайна. Взаимное расположение спектров свечения и возбуждения люминофоров детально изучалось в работах Вавилова и его сотрудников, установивших ряд важных закономерностей (обобщенный закон Вавилова-Ломмеля, правило зеркальной симметрии Левшина, универсальный закон Степанова и др.).

Правило Стокса и его обобщения легко объясняются на основе квантово-механических представлений. В самом деле, в элементарных процессах в возбужденном люминофоре значительно легче растерять часть энергии первичного возбуждения $h\nu$, чем приобрести дополнительную порцию энергии. Потерянная для свечения энергия обычно расходуется на усиление тепловых колебаний атомов и молекул люминофора или на

возбуждение фотохимических реакций. Правда, в некоторых случаях все же удается использовать часть тепловой энергии люминофора, так что длина волны люминесцентного свечения может стать несколько меньше длины волны возбуждающего света. Однако эта тепловая добавка (около 0,026 эВ для комнатной температуры) весьма мала по сравнению с энергией кванта оптического излучения (около 2,4 эВ для зеленого света) и такой классический вид антистоксова свечения абсолютно непригоден для визуализации ИК-лучей. Вместе с тем сейчас уже известны и применяются различные классы люминофоров, позволяющие обходить, а то и прямо нарушать запрет Стокса, не входя при этом в противоречия с законом сохранения энергии.

Еще в прошлом столетии П. Ленард синтезировал и провел первые обследования так называемых вспышечных люминофоров (в частности, на основе сульфидов щелочно-земельных металлов, активированных редкоземельными элементами), позволивших «увидеть» ИК-лучи. Экраны из этих люминофоров дают вспышку при воздействии ИК-лучей. Для этого, однако, требуется предварительное возбуждение люминофора УФ-излучением (Солнца или какого-нибудь ртутной лампы). Многочисленные исследования, значительная роль в проведении которых принадлежит ученикам и сотрудникам Вавилова — В. В. Антонову-Романовскому, В. Л. Левшину, З. Л. Трапезниковой и другим, — позволили объяснить основные свойства этих люминофоров с помощью зонной теории твердых тел. Первичный квант УФ-излучения ионизует центры свечения, образованные вводимыми примесями. Оторванный таким образом от них электрон поступает в зону проводимости. Хаотически блуждая по кристаллической решетке, он обычно захватывается, «застревая» на неко-

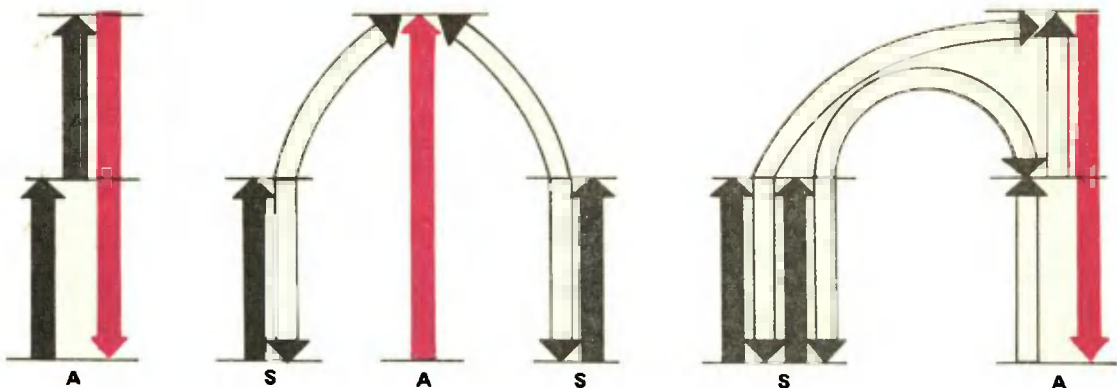


Схема электронных переходов при различных механизмах суммирования энергии электронных возбуждений, приводящих к антистоксовой люминесценции: слева — последовательное поглощение ИК-квантов в одном и том же ионе А (схема Бломбергера); в середине — кооперативная сенсбилизация излучающего иона А другими возбужденными ионами S (схема Овсянкиной и Феофилова); справа — последовательная сенсбилизация излучающих ионов другими возбужденными ионами (схема Озеля). Поглощению ИК-квантов соответствуют черные стрелки, переносу электронного возбуждения к другому иону — полые, антистоксовой люминесценции в видимой части спектра — цветные.

торых ее дефектах: примесях, вакансиях регулярных ионов и т. п. Для его высвобождения и последующей излучательной рекомбинации на центрах свечения может потребоваться относительно мало энергии (0,5—1 эВ). Поэтому зона чувствительности таких люминофоров расположена в ИК-области спектра (примерно до 2 мкм при комнатной температуре). ИК-лучи лишь высвобождают энергию, предварительно запасенную в люминофоре пространственно разделенными зарядами — дырками на ионизованных центрах захвата и электронами на центрах захвата. По мере воздействия ИК-лучей запасенная энергия («светосумма») начинает исчерпываться, причем тем быстрее, чем больше интенсивность ИК-лучей. Таким образом, яркость вспышки постепенно убывает и может стать даже меньше, чем в участках люминофора, не подвергнутых воздействию ИК-света. Указанное обстоятельство (которое можно частично устранить, перемещая экран с люминофором), наряду с необходимостью в дополнительном источнике возбуждения, заметно осложняет практическое применение этих люминофоров. Тем не менее они успешно использовались в годы второй мировой войны в приборах ночного видения, а также в мирных целях, в частности, для анализа бо-

лее поздних наслоений при реставрации картин.

В последние десятилетия особый интерес приобретает визуализация полей излучения различных видов лазеров, работающих в ИК-области спектра. Преобразование их когерентного излучения в видимый свет сильно облегчает юстировку различных лазерных установок как при их разработке, так и при разносторонних применениях (например, в дефектоскопии изделий, непрозрачных в видимом свете). С помощью люминесцентных экранов удается и непосредственно определить такие важные характеристики лазерного излучения, как угловая направленность, модовый и спектральный состав излучения. При этом естественно стремление упростить схему наблюдения, в частности исключить дополнительный источник возбуждения люминесцентного экрана.

Уже в 60-е годы начали создаваться принципиально новые люминофоры, позволяющие вопреки правилу Стокса осуществлять прямое преобразование ИК-лучей в видимый свет. Это достигается за счет суммирования энергии нескольких первичных возбуждений редкоземельных ионов, осуществляемого различными способами. Так, по схеме Н. Бломбергера, возбужденный ИК-квантом редкоземельный ион поглощает еще один ИК-квант, переходя при этом в более высокое по энергии состояние, соответствующее уже испусканию видимого света. Согласно другому механизму, предложенному П. П. Феофиловым и В. В. Овсянкиной, два возбужденных иона, поглотившие ИК-кванты, могут затем в едином акте передать свою энергию другому иону, дающему видимое свечение. В схеме Ф. Озеля передача энергии возбуждения от поглотивших ИК-кванты ионов сенсбилизатора к люминесцирующему иону может происхо-

дить последовательно в два (или более) этапа. В настоящее время надежно установлено, что все эти механизмы реализуются в некоторых поликристаллических люминофорах, например, легированных ионами Er^{3+} , Ho^{3+} или Tm^{3+} . Однако наиболее эффективное преобразование обеспечивает последовательная сенсбилизация излучающих ионов, другими ионами (обычно Yb^{3+}). Это следует из теоретических расчетов, в частности выполненных Е. Миякавой и Д. Л. Декстером, а также эмпирических критериев (например, инерционность послесвечения), позволяющих различать вышеуказанные процессы. К аналогичному выводу о предпочтительности последовательной сенсбилизации можно прийти и из таких элементарных соображений. При последовательном поглощении ИК-квантов в один и тот же ион нужно «попасть» дважды, причем с интервалом не более 10^{-2} — 10^{-3} с (время жизни возбужденного состояния иона). В случае же последовательной сенсбилизации энергия второго возбуждения может быть доставлена к однократно возбужденному иону от многих соседних ионов за счет миграционного механизма передачи энергии, наблюдаемого в различных конденсированных средах (кристаллах, растворах красителей, фотосинтезирующих системах и т. д.). Его систематические исследования опять-таки восходят к основополагающим работам Вавилова¹.

Кооперативная, т. е. одновременная, сенсбилизация требует встречи возбужденных за значительно более короткий промежуток времени (10^{-10} с), что менее вероятно. Но для некоторых люминесцирующих ионов, не имеющих промежуточных состояний (например, Tb), близких по энергии к возбужденному состоянию сенсбилизатора (обычно Yb^{3+}), такой механизм возбуждения вполне возможен. В принципе, и последовательную сенсбилизацию этих ионов можно рассматривать как частный случай кооперативных взаимодействий возбужденных ионов.

Эффективность всех этих видов суммирования возбуждений возрастает пропорционально концентрации первоначальных возбуждений, которая, в свою очередь, растет обычно пропорционально плотности возбуждения. Лишь при относительно высоких плотностях ИК-возбуждения (более 10 Вт/см^2) она достигает своего максимума (в некоторых случаях до 10—20 %).

Какие же условия нужно обеспечить для повышения эффективности антистоксова

свечения при заданной плотности ИК-облучения, что представляет интерес для любых приложений? Первоначально казалось, что уникальность редкоземельных элементов как рабочих ионов в таких люминофорах обусловлена относительно большим (в атомном масштабе) временем жизни их возбужденных состояний, обусловленным запретом переходов в частично заполненной оболочке.

В самом деле, при прочих равных условиях концентрация возбужденных ионов, а следовательно, и вероятность встречи двух возбужденных вблизи одного иона возрастает пропорционально времени жизни возбужденных состояний. Однако, согласно фундаментальным соотношениям А. Эйнштейна между вероятностями поглощения и испускания света, увеличение времени жизни возбужденных состояний должно привести к уменьшению коэффициента поглощения ИК-квантов, а следовательно, и объемной плотности возбуждения. В действительности изменения вероятностей обоих процессов полностью компенсируются, но концентрация возбужденных состояний оказывается обратно пропорциональной ширине полосы поглощения. Именно узостью оптических спектров редкоземельных ионов вызвано их применение в антистоксовых люминофорах.

Эта узость спектров редкоземельных ионов (обусловленная защищенностью их внутренних электронных оболочек от воздействий кристаллического поля и колебаний решетки) обеспечивает при резонансе энергии переходов и повышение вероятности переноса энергии возбуждения. Однако простое повышение вероятности переходов между ионами еще не гарантирует увеличение эффективности антистоксова свечения. Дело в том, что наряду с кооперированием возбуждений происходят противоположные, так называемые кросс-релаксационные процессы. В результате этих процессов электрон центра свечения переходит в состояние с меньшей энергией, а разность энергий передается соседнему невозбужденному иону. А поскольку концентрация возбужденных ионов обычно относительно мала (менее 1 %), этот процесс значительно вероятнее.

Чтобы удержать возбуждение на центре свечения, необходимо потратить часть энергии, на тепловые колебания кристаллической решетки. Тогда возбужденный электрон может совершить обратный переход, лишь дополнительно поглощая энергию фононов, что значительно менее вероятно. Однако редкоземельные ионы, используемые в антистоксовых люминофорах, имеют сильно разветвленную систему энергетических уров-

¹ См. в номере: Фок М. В., Фетисова З. Г. Фотосинтез и резонансная миграция энергии. С. 25—31.

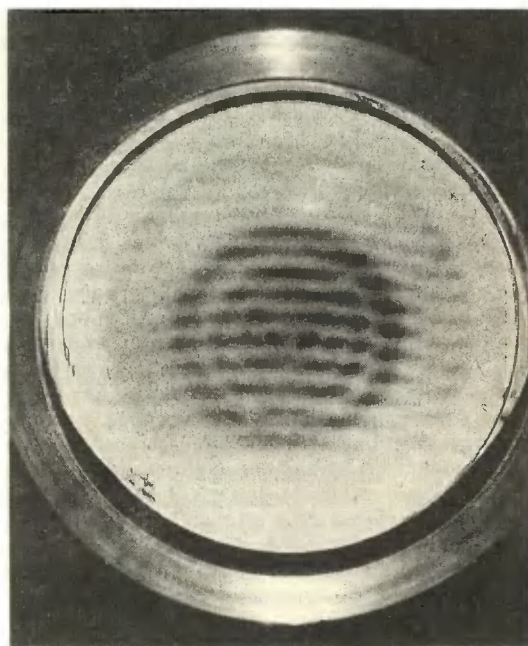
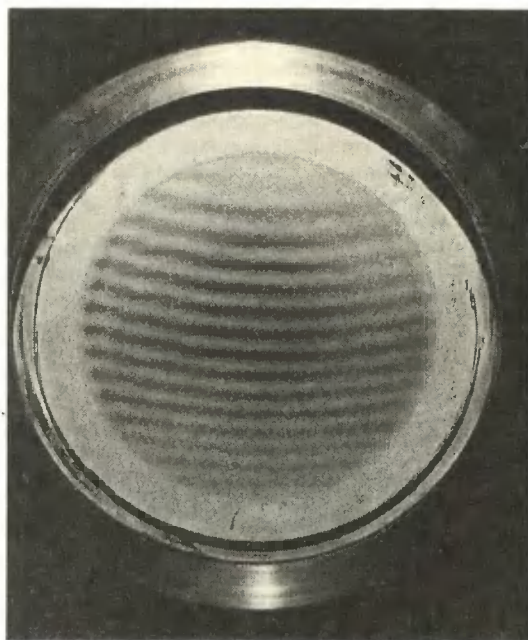
ней, так что после внутрицентральной релаксации возникают новые возможности переходов между ионами, удовлетворяющих резонансному условию. В этом отношении уникален ион Yb с единственным возбужденным состоянием, который поэтому широко используется как сенситизатор антистоксова свечения.

Отметим, что кросс-релаксационные переходы, принципиально ограничивая эффективность антистоксова свечения, интересны для практики. Действительно, благодаря им удается получать два (и более) кванта ИК-излучения при возбуждении одним квантом видимого света. Такое размножение электронных возбуждений полезно для повышения КПД солнечных батарей на основе Ge и Si, чувствительных к ИК-излучению.

Антистоксовы люминофоры ныне успешно используют в светоизлучающих диодах (типа GaAs с высокой эффективностью ИК-излучения в диапазоне 0,9—1 мкм), а также для регистрации полей излучения ИК-лазеров. При этом удается просуммировать не только два, но три и даже четыре первичные возбуждения, так что область чувствительности в некоторых случаях простирается до 2 мкм. Интересно, что в твердотельных лазерах, активированных редкоземельными ионами, происходят как кооперативные, так и кросс-релаксационные процессы между ионами. Из-за этого меняется распределение электронов по возбужденным состояниям, что может облегчить (или, наоборот, осложнить) получение инверсной заселенности рабочих уровней. Так, от них в сильной степени зависит работа лазера на ионах Er³⁺ с длиной волны 3 мкм, представляющего особый интерес для волоконно-оптических линий связи и медико-биологических исследований. Детальное изучение антистоксовых люминофоров важно не только для усовершенствования приемников лазерного излучения, но и для уточнения механизмов работы самих лазеров.

Основной недостаток антистоксовых люминофоров, непосредственно связанный с природой происходящих в них процессов,—узость полос их чувствительности. Поэтому для каждого источника ИК-лучей приходится подбирать рабочие ионы и кристаллическую основу, а метод непригоден для регистрации длинноволнового ИК- и тем более СВЧ-излучения. Но уже разработаны люминесцентные экраны, чувствительные и в этой области спектра.

Принцип их действия основан на известном механизме температурного тушения стационарной люминесценции, возбужден-



Интерферограмма СВЧ-радиоволн (длина волны $\lambda = 3$ мм) на люминесцентном экране радиовизора (вверху). Аналогичная интерферограмма, когда в один из пучков введен исследуемый объект, непрозрачный в видимом свете (внизу).

ной УФ-излучением в результате незначительного локального нагрева экрана регистрируемым излучением. Правда, для повышения чувствительности этого метода (порог наблюдения около 10^{-3} Вт/см²) пришлось специально подбирать состав люминофоров (типа ZnSCdS:Ag, Ni), чтобы обеспечить неустойчивое равновесие между излучательными переходами на центрах свечения (Ag) и тушения (Ni). Стоит подышать на эти экраны, и яркость их свечения заметно меняется, а с применением специальных поглотителей (тончайшая пленка металла) они с одинаковой эффективностью визуализируют излучения во всем ИК-диапазоне — вплоть до сантиметровых радиоволн.

Не останавливаясь специально на кинетике переходов, обеспечивающих оптимальную температурную чувствительность таких люминофоров, отметим, что на их основе в ФИАНе и ИОФАНе созданы приемники полей ИК- и СВЧ-излучения, получившие название радиовизоров. Эти приемники использовались при разработке и различных применениях ИК-лазеров (например, на основе

CO₂), а также при юстировке трактов СВЧ-излучения.

Таким образом, различные типы люминесцентных экранов позволяют в настоящее время визуализировать не только коротковолновое, но и длинноволновое электромагнитное излучение. При этом разные виды люминофоров не столько конкурируют между собой, сколько дополняют друг друга. То же самое следует сказать и об иных типах современных преобразователей ИК-излучений (электронно-оптических, на жидких кристаллах, специальных фотопленках и т. д.). Рассказ о них увел бы нас слишком далеко от люминесценции — основной области научных интересов С. И. Вавилова. К сожалению, широкое промышленное освоение (или, как у нас принято говорить, «внедрение») люминесцентных и других видов преобразователей невидимых излучений происходит отнюдь не так, как хотелось бы. Впрочем, постараемся сохранять оптимизм, который составлял основу всей многогранной творческой деятельности Сергея Ивановича.

РЕКЛАМА, ОБЪЯВЛЕНИЯ

Вниманию деловых людей!

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

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

117810, ГСП-1, Москва, Мароновский пер., 26, «Природа». Международный телекс 411612 IZAN. Тел. 238-24-56.

Итоги спора С. И. Вавилова и П. Прингсхейма

Ю. П. Чукова



Юлия Петровна Чукова, кандидат физико-математических наук. Основные научные интересы в области термодинамики необратимых процессов, люминесценции и биофизики. Автор монографии «Антистоксова люминесценция и новые возможности ее применения» (М., 1980), научно-популярных книг «Тайны алмаза» (М., 1989) и «Загадки зрения» (М., 1990), а также серии очерков о женщинах в Арктике.

КАЖДЫЙ РАЗ, когда какое-то явление выходит в сферу широкого технического применения, встает вопрос о предельном коэффициенте полезного действия (КПД) основанных на нем устройств. Так было в XIX в. с тепловыми двигателями, то же самое повторилось в первой половине XX в. с люминесценцией.

Главный путь практического использования люминесценции обозначился, как только С. И. Вавиловым были выполнены первые измерения энергетического выхода излучения красителей. Это случилось в 1927 г.

Энергетический выход, или КПД, люминесценции определяется как отношение мощности люминесцентного излучения к мощности возбуждающего. Для некоторых веществ эта величина оказалась очень высокой, например для раствора флуоресцина в воде — около 80 %. Это навело на мысль о создании люминесцентных ламп и еще раз

напомнило о необходимости выяснения предельного значения КПД люминесценции.

Впервые этот вопрос был затронут в 1928 г. немецким физиком Ф. Ленардом, который высказал утверждение, что КПД люминесценции не может превышать единицу. Это было сделано без всякого специального рассмотрения, а лишь по аналогии с тепловой машиной, для которой предельное значение КПД дается циклом Карно.

Позиция Ленарда вызвала в 1929 г. возражения другого немецкого физика П. Прингсхейма¹, в то время как Вавилов — лидер советской школы люминесценции — считал ее вполне правильной и предпринял попытки дать ей строгое обоснование. Так возникло противостояние, вошедшее в историю люминесценции как спор Вавилова с Прингсхеймом.

АРГУМЕНТАЦИЯ ПРОТИВОБОРСТВУЮЩИХ СТОРОН

В своей дискуссии с Прингсхеймом Вавилов исходил из тех же посылок, что и Ленард. Беря за основу процессы, протекающие в цикле Карно, он предлагал следующий мысленный цикл преобразования энергии: «...некоторая механическая работа, сообщенная извне, последовательно преобразуется в электрическую, световую и снова механическую энергию (посредством светового давления)». Вавилов считал, что «такой цикл может быть осуществлен, в принципе, с любой степенью приближения»². Введя затем в световой стадии люминесцирующее тело и предположив, что выход люминесценции превышает единицу, он получил как результат действия такого цикла охлаждение теплового резервуара до абсолютного нуля. Противоречие второму закону термодинамики!

Аргументы, выдвинутые Прингсхеймом в 1929 г., также носили термодинамический характер. «Из второго начала термодина-

¹ Pringsheim P. // Zeitschrift f. Physik. 1929. В. 57. S. 739—746.

² Вавилов С. И. Собр. соч. в 3-х т. М., 1952. Т. 2. С. 239.

мики,— писал он,— следует лишь то, что в изолированной системе тепло не может переходить без компенсации от места с более низкой температурой к месту с более высокой температурой. Для всех явлений люминесценции характерно, то, что если учитывать только люминесцирующее тело и освещаемый им приемник, то никогда не получится изолированной системы, так как всегда должен существовать внешний источник энергии как возбудитель люминесценции. В случае фотолюминесценции — это первичный источник света, в других случаях — электрический разряд, химический процесс и т. д. Если же извне непрерывно подводится работа, то охлаждение одной части системы и нагревание другой найдется, как известно, в полном согласии с термодинамикой, каждая холодильная машина может служить тому примером: простейшая аналогия — пожалуй, явление Пельтье, при котором поддерживаемый извне электрический ток, протекая через проводник, состоящий из двух различных металлов, вызывает охлаждение одного места спая и нагревание другого до тех пор, пока и здесь снова не устанавливается (вследствие теплопроводности) состояние равновесия³.

Следует отметить, что уже в этом рассуждении совершенно отчетливо проведено различие между тепловыми машинами и люминесцирующими системами — последние не могут рассматриваться как изолированные.

Сравнивая аргументацию Прингсхейма со своим мысленным экспериментом, Вавилов пытался показать ее ошибочность и сформулировав два закона люминесценции, один из которых утверждал, что абсолютное значение КПД люминесценции не может превышать единицу, а второй касался зависимости КПД от длины волны возбуждающего света с учетом его резкого падения в антистоксовой области, где частота возбуждающего света меньше частоты люминесцентного излучения. Эти законы опирались на широкий круг экспериментальных фактов, полученных к тому времени, главным образом, на растворах красителей.

Прингсхейм подверг критике работу Вавилова и для утверждения своей позиции предложил в 1946 г. конкретную модель со ссылкой на эксперимент Дж. У. Брауна (1933), в котором резонансный спектр двухатомной молекулы Na_2 , возбужденный линией кадмия (508,6 нм), содержит 4 анти-

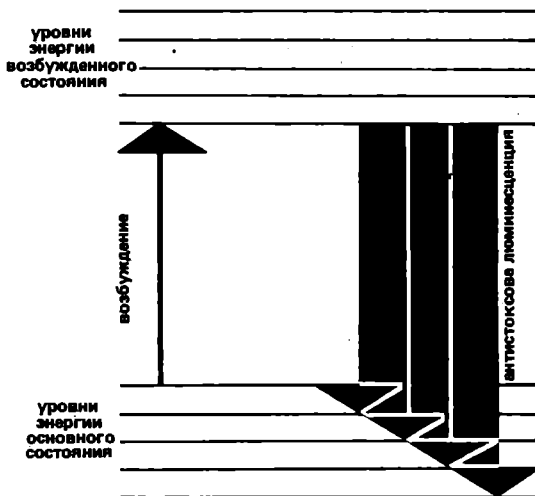


Схема энергетических уровней двухатомных молекул с переходами, дающими в спектре лишь антистоксовы линии. Такое возможно, когда на двухатомный газ (скажем, Na_2 или I_2) действует монохроматическое излучение, частота которого подобрана так, что переводит электрон в молекуле, например, на самый нижний колебательный уровень возбужденного электронного состояния, при переходе с которого в основное состояние в спектре появятся 4 антистоксовы линии.

стоксовы линии и ни одной стоксовой заметной интенсивности.

Такова была ситуация в этом споре, когда Вавилов предложил Л. Д. Ландау рассмотреть вопрос о предельном КПД люминесценции строгими методами термодинамики, что и было сделано.

В ДИСКУССИЮ ВКЛЮЧАЕТСЯ ЛАНДАУ...

Ландау отказался от всяких аналогий с циклами тепловых двигателей и рассмотрел процесс люминесценции с точки зрения величины и характеристик энтропии, как того требует второй закон термодинамики. Для простоты он ограничился предположением, что энергия возбуждения люминесценции имеет нулевую энтропию. Считая, что и энтропия люминесценции также равна нулю, Ландау в 1946 г. пришел к выводу, что ее энергетический выход не может превышать единицу⁴. Однако выбранные Ландау ограничения были чрезмерной идеализацией — ведь энтропия излучения всегда отлична от нуля.

³ Pringsheim P. Op cit.

⁴ Ландау Л. Д. Собр. тр. в 2-х т. М., 1969. Т. 2. С. 32.

Формула для расчета энтропии равновесного излучения была предложена М. Планком еще в начале XX в. Ландау показал, что ее можно использовать и для расчета энтропии неравновесного излучения, если функцию распределения брать, исходя из конкретного спектра такого излучения. Учет ненулевого значения энтропии люминесцентного излучения сразу же привел его к выводу, что термодинамика не запрещает значений КПД люминесценции, превосходящих единицу. Вот как он это сформулировал в своей работе: «...относительный выход люминесценции превышает единицу лишь на незначительную величину, даже когда это допустимо термодинамически».

Таким образом, результат Ландау был в пользу позиции Прингсхейма, а не Вавилова и, казалось, подвел итог их спору. Тем не менее работа Ландау стала скорее стартовой площадкой для последующих исследований. Она, видимо, поколебала и взгляды Вавилова. Сейчас остается лишь гадать, как бы они эволюционировали в дальнейшем, но несомненно одно — перед смертью, 25 января 1951 г., он просматривал статью «О причинах снижения выхода люминесценции в антистоксовой области», где уже допускал КПД выше единицы для люминесценции разреженных газов.

В 1955 г. В. В. Антонов-Романовский, Б. И. Степанов, М. В. Фок и А. П. Халалюк рассмотрели молекулярно-кинетическим методом люминесцирующую систему с тремя уровнями энергии и продемонстрировали, что в ней КПД люминесценции может быть больше единицы⁵.

...И АМЕРИКАНСКИЙ ТЕОРЕТИК ВАЙНШТЕЙН

Следующий шаг в развитии обсуждаемой проблемы был сделан сотрудником фирмы «Дженерал электрик» М. А. Вайнштейном, который в 1960 г. рассмотрел ту же задачу, что и Ландау, но используя последние достижения термодинамики необратимых процессов⁶. В то время Нобелевские премии еще не были присуждены ни Л. Онсагеру, ни И. Пригожину, но понятием скорости генерации энтропии \dot{S}_i для необратимо протекающих процессов уже пользовались достаточно широко.

Вайнштейн рассмотрел в установившемся режиме люминесценцию тела, над которым для ее возбуждения совершается работа со скоростью \dot{W}_a (это мощность поглощенного возбуждающего излучения). Само тело испускает люминесцентное излучение со скоростью \dot{W}_n (мощность люминесценции) и обменивается с окружающей средой тепловым потоком \dot{Q} . По первому закону термодинамики для такой системы справедливо соотношение

$$\dot{W}_a - \dot{W}_n - \dot{Q} = 0.$$

Это не что иное, как закон сохранения энергии. Для энтропии аналогичное равенство справедливо лишь в приближении обратимости процесса. Для необратимого процесса в уравнение баланса должна входить и скорость генерации энтропии. Учет этой величины сразу же включает в рассмотрение необратимость процесса люминесценции, на что указывал еще Прингсхейм. Как и Ландау, Вайнштейн положил энтропию возбуждающего излучения равной нулю; поэтому записанное им уравнение баланса энтропии имело вид

$$\dot{S}_i - \dot{S}_n - \dot{Q}/T = 0,$$

где кроме скорости генерации энтропии \dot{S}_i учитывался еще и поток энтропии люминесцентного излучения \dot{S}_n и энтропия теплового потока \dot{Q}/T (здесь T — температура окружающей люминесцирующее тело среды). Следует подчеркнуть, что написанное уравнение не есть второй закон термодинамики — в рассматриваемом случае он имеет вид $\dot{S} \geq 0$ (равенство для обратимых процессов и неравенство для необратимых).

На основании первых двух уравнений можно определить КПД люминесценции η , который, как уже отмечалось, представляет собой отношение \dot{W}_n/\dot{W}_a . Предельное значение η^* получается в приближении термодинамической обратимости процесса, т. е. при $\dot{S}_i = 0$. Для него Вайнштейн получил выражение:

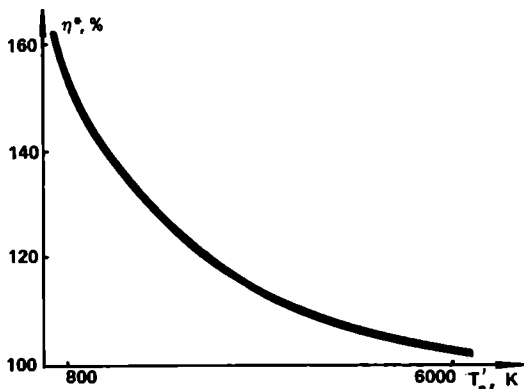
$$\eta^* = 1 + T/(T'_n - T),$$

введя параметр $T'_n = \dot{W}_n/\dot{S}_n$, который по формальному признаку — из-за размерности — был назван эффективной температурой, причем всегда $T'_n > T$.

Для численных оценок η^* необходимо уметь рассчитывать эффективную температуру люминесцентного излучения. Впрочем, учитывая общий характер ее введения,

⁵ Антонов-Романовский В. В., Степанов Б. И., Фок М. В., Халалюк А. П. // Докл. АН СССР. 1955. Т. 105. С. 50—53.

⁶ Weinstein M. A. // JOSA. 1960. V. 50. P. 597—602.



Зависимость предельного КПД люминесценции η^* от эффективной температуры люминесцентного излучения T_n .

эту величину можно получить для любого излучения. Вайнштейн рассчитал эффективную температуру для нескольких конкретных случаев — для равновесного излучения она оказалась ровно на четверть меньше его термодинамической температуры. Он же показал, что для квазимонохроматического излучения эффективная температура меньше яркостной температуры⁷ излучения, но при не очень высоких яркостных температурах видимого и ультрафиолетового излучений этим различием можно пренебречь.

Формула для η^* показывает, что чем ниже эффективная температура, тем выше предельный КПД люминесценции. Для получения максимального КПД надо подставить минимальное значение эффективной температуры. Как его выбрать? Для грубой, но наглядной оценки Вайнштейн поступил следующим образом. Нить лампы накаливания при дневном освещении становится заметной, если ее нагреть до 800 К. Эту температуру Вайнштейн и подставил в формулу для η^* в качестве эффективной и получил $\eta^* = 160\%$ при $T = 300$ К. Это означало, что с точки зрения термодинамики (в приближении обратимости!) допустимо получение 1,6 Вт мощности люминесцентного излучения на каждый ватт затраченной мощности. Иначе говоря, люминесцентный источник должен охлаждаться! А стало быть, он может функционировать одновременно как источник света и как холодильник, что исключительно привлекательно с технической точ-

ки зрения. Но тут же возникает вопрос: уж не вечный ли это двигатель?

ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ? НЕТ!

Давно миновал период развития науки и техники, когда безуспешные попытки создания перпетуум мобиле были предметом жарких дискуссий. После того как в середине прошлого века был сформулирован второй закон термодинамики. Французская академия наук перестала принимать на рассмотрение модели вечных двигателей. Ее решение базировалось на термодинамической оценке предельного КПД тепловой машины.

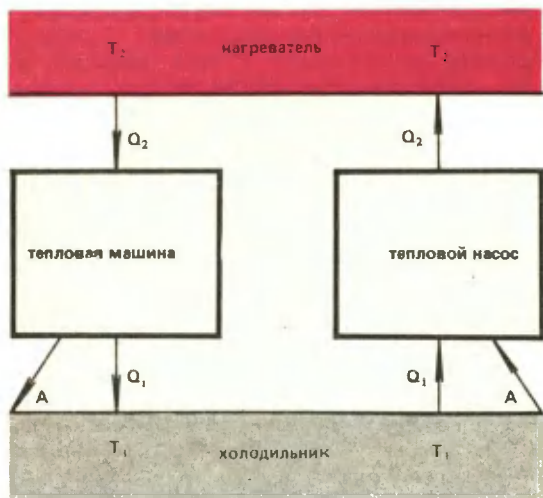
Поскольку вопросы предельного КПД тепловой машины (η_c) относятся сейчас к курсу средней школы, мы ограничимся лишь напоминанием, что η_c вводится как отношение произведенной механической работы A к затраченному теплу Q , а предельный КПД равен $1 - T_1/T_2$, где T_2 — температура нагревателя, а T_1 — холодильника, которому отдается часть затраченного тепла Q . Поскольку T_1 всегда ниже T_2 , но η_c всегда меньше 1, но при возрастании температуры нагревателя стремится к 1.

Та же самая машина, работая по обратному циклу, будет уже не тепловой, а холодильной. Холодильную машину, или тепловой насос, обычно характеризуют двумя величинами: отопительным и холодильным коэффициентами. Отопительный коэффициент $\eta_{от} = Q/A$ и, следовательно, представляет собой величину, обратную η_c , а его предельное значение дается выражением $\eta_{от}^* = 1 + T_1/(T_2 - T_1)$. Для $T_1 = 300$ К и $T_2 = 400$ К имеем $\eta_{от}^* = 3$, а если $T_2 = 330$ К, то $\eta_{от}^*$ уже равен 10. Таким образом, предельный отопительный коэффициент всегда выше 1. Аналогичные рассуждения для холодильного коэффициента $\eta_x = Q_1/A$ приводят к выводу, что он может быть как выше 1, так и ниже.

Теперь посмотрим на эти процессы с точки зрения энтропийных характеристик энергии. Иногда говорят, что энтропия является характеристикой качества энергии, поскольку она отражает степень беспорядка или, как говорят, хаоса. Механическая энергия как исключаяющая беспорядок имеет нулевую энтропию, а энтропия тепловой энергии зависит от температуры и может быть весьма велика.

В тепловом двигателе неупорядоченная тепловая энергия преобразуется в полностью упорядоченную механическую работу, энтропия которой равна нулю. Именно поэтому при рассмотрении теплового двигателя не используются энтропийные характеристики работы. Предельный КПД такого

⁷ Яркостная температура источника равна температуре излучения черного тела, имеющего в данном диапазоне длин волны такую же интенсивность.



Направленность потоков энергии в тепловой машине и тепловом насосе, когда совершается цикл между нагревателем с температурой T_2 и холодильником с температурой T_1 . В тепловой машине часть затраченного тепла Q превращается в работу A , а другая — Q_1 — передается холодильнику. В тепловом насосе при затрате механической работы A от холодильника отбирается тепло Q_1 , а нагревателю передается тепло Q .

преобразователя не может превышать единицу.

В холодильной машине полностью упорядоченная механическая работа преобразуется в неупорядоченную энергию нагревателя (тепловой насос), и предельный КПД такого преобразователя всегда выше единицы. Таким образом, классическая термодинамика запрещает преобразование одного вида энергии в другой с КПД выше единицы, если при этом уменьшается беспорядок. В обратном случае, как показано на примере теплового насоса, термодинамика разрешает КПД, превосходящие единицу.

Теперь вернемся к люминесценции. В задаче, которую решали Ландау (методами классической термодинамики) и Вайнштейн (методами термодинамики необратимых процессов), исходным условием была полная упорядоченность возбуждающего излучения, т. е. равенство нулю энтропии, характеризующей поглощенную энергию W_0 . Следовательно, они рассмотрели преобразователь, аналогичный холодильной машине или тепловому насосу, а для такого преобразователя термодинамика разрешает значения КПД выше единицы. И, стало быть, нет ничего поразительного в результате, полученном Ландау, а затем и Вайнштейном. И нет оснований думать о каком бы то ни было вечном двигателе. Различие числен-

ных результатов Ландау и Вайнштейна связано лишь с тем, что первый провел оценку для высокого значения эффективной температуры, а второй — для низкого.

На самом деле задача, решенная Ландау и Вайнштейном, наводила на совсем иные размышления: почему они положили энтропию возбуждающего излучения равной нулю? Всегда ли это так?

Ландау считал, что для возбуждения люминесценции используется монохроматическое излучение, и полагал, что энтропия такого излучения равна нулю. Вайнштейн же сделал это в силу совершенно определенной технической адресации своей работы: его интересовала электролюминесценция полупроводниковых р—п-переходов, возбуждаемых постоянным током. В этом случае энтропия возбуждающего излучения действительно равна нулю. Что же касается монохроматического излучения, то в 70-е годы разными авторами было показано, что его энтропия отлична от нуля. Более того, оказалось, что даже энтропия лазерного излучения, характерного своей упорядоченностью, тоже отлична от нуля, хотя и очень мала. Таким образом, задача о предельном КПД люминесценции, рассмотренная Ландау и Вайнштейном, отражает ситуацию лишь для одного вида люминесценции, а именно электролюминесценции, возбуждаемой постоянным током. Во всех остальных случаях корректное решение такой задачи требует учета энтропии возбуждающего излучения, и это было сделано несколькими авторами в разных странах.

ИТОГОВАЯ СИТУАЦИЯ

Учет энтропии S_0 возбуждающей энергии W_0 должен привести к появлению еще одного члена (\dot{S}_0) в уравнении баланса энтропии, которое приводилось выше. Совместное решение этого уравнения и уравнения сохранения энергии позволяет найти предельный КПД люминесценции, возбуждаемой самыми разнообразными способами. В наиболее полном виде это было осуществлено⁸ в 1969 г. Из полученной в работе формулы для предельного КПД

$$\eta^* = 1 + T(\dot{S}_n - \dot{S}_0)/W_0$$

видно, что $\eta^* > 1$, когда поток энтропии люминесцентного излучения выше потока энтропии возбуждающего излучения. Возможны

⁸ Чукова Ю. П. // Письма в ЖЭТФ. 1969. Т. 10. С. 458—460.

ли такие ситуации? И если возможны, то часто ли они встречаются?

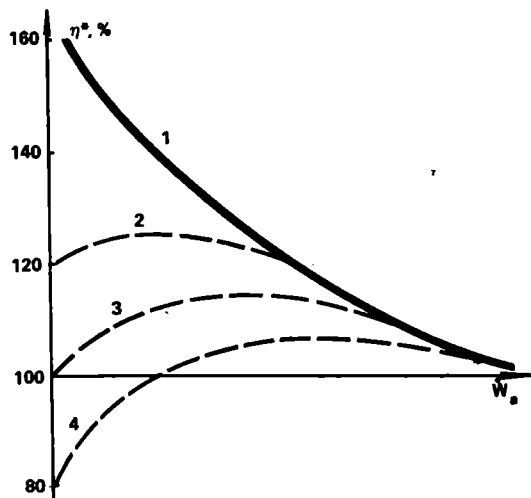
Чтобы ответить на эти вопросы, надо определить поток излучения для различных конкретных случаев. Не вдаваясь в технические детали расчетов⁹, укажем, что поток энтропии зависит от целого ряда параметров, а именно спектральной плотности (или мощности) излучения, его частотных характеристик (ширины частотного интервала и средней частоты), угловой направленности излучения и его поляризации. Если принять во внимание, что все эти характеристики должны быть учтены как для возбуждающего, так и для люминесцентного излучения, станет ясно, насколько это непростая проблема.

Можно несколько упростить задачу, считая, что возбуждающее и люминесцентное излучения не поляризованы и имеют равномерное угловое распределение. Это позволит показать, как изменяется предельный КПД в зависимости от основных параметров. Во многих случаях удобно также пользоваться монохроматическим приближением, чтобы избавиться от необходимости учета формы спектра. Суть дела от этого не изменится, а она такова. В системах с узкой полосой возбуждения предельные КПД люминесценции будут выше, чем в системах с широкой полосой, а в системах с узкой полосой люминесценции ниже, чем в системах с широкой полосой.

Экспериментаторам хорошо известно, что в подавляющем большинстве случаев люминесцентное излучение менее упорядочено, чем возбуждающее, а это означает, что для очень большого круга люминесцентных процессов термодинамика предопределяет предельное значение КПД, больше 1.

Итак, в некотором смысле правы были оба — и Вавилов, и Прингсхейм. Как утверждал Вавилов, термодинамический предел энергетического выхода действительно существует, но, как считал Прингсхейм, этот предел может превышать единицу. Таков итог спора Вавилова и Прингсхейма.

Однако на современном уровне знаний в этой области возникает новый вопрос, имеющий сугубо практическое значение. Он касается абсолютного значения скорости генерации энтропии S_i — величины, характеризующей необратимость процесса. Ведь именно она определяет численное значение реального КПД. Если S_i велика, то он



Зависимость предельного КПД люминесценции η^* от поглощенной мощности возбуждающего излучения W_0 для различных характеристик потока энтропии S_0 возбуждающего излучения, который возрастает по мере увеличения номера кривой: 1 — соответствует условию $S_0=0$, т. е. кривой, полученной Ландау и Вайнштейном (любая кривая при $S_0 \neq 0$ соответствует меньшим значениям); 2—4 — показывают, как по мере уширения полосы возбуждения η^* уменьшается и даже может стать меньше единицы.

будет мал, даже если предельный КПД больше единицы. Значения S_i рассчитаны уже для многих процессов преобразования излучения (но не для люминесценции) могут различаться в миллионы раз. Найдены процессы с очень малой необратимостью¹⁰. Но окажется ли она в современных люминесцентных преобразователях настолько малой, чтобы их реальный КПД превысил единицу? Ведь так заманчиво иметь вместо нагревающегося излучателя — охлаждающийся. Пока теоретики медлят с ответом, можно обратиться к эксперименту.

В наши дни оптическое охлаждение обнаружено лишь как нестационарный эффект при прохождении луча лазера через атмосферу (охлаждение молекул в первые моменты включения лазера) и в экспериментах по лазерному охлаждению атомов¹¹. Возможно ли добиться охлаждения на кратковременного, а стабильного, наблюдаемого в течение всего времени, пока люминесцирует система, например светит люминесцентная лампа? Этот вопрос остается нерешенным, так что есть о чем спорить и сейчас...

⁹ Подробнее см.: Чукова Ю. П. Антистоксова люминесценция и новые возможности ее применения. М., 1980.

¹⁰ Чукова Ю. П. // Биофизика. 1989. Т. 34. С. 898—900; Чукова Ю. П. // Докл. АН СССР. 1988. Т. 300. С. 504—507. См. также: Загадки зрения. М., 1990.

¹¹ Балыкин В. И., Миногин В. Г. Лазерное охлаждение атомов // Природа. 1989. № 7. С. 19.

Люминесцентное обогащение руд

Б. С. Горобец, В. В. Новиков



Борис Соломонович Горобец, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией Всесоюзного института минерального сырья Министерства геологии СССР. Занимается люминесценцией минералов, методами ее применения в геологии и обогащении полезных ископаемых. Возглавляет геологическую секцию Научного совета АН СССР по проблеме «Люминесценция и развитие ее применения в народном хозяйстве».



Владлен Васильевич Новиков, кандидат технических наук, руководитель отделения рудоподготовки совместного Советско-австралийского предприятия «Ленинформинвест». Разрабатывает технологию обогащения полезных ископаемых методами радиометрической, в первую очередь люминесцентной, сепарации. Заслуженный изобретатель РСФСР, лауреат Государственной премии СССР.

ГОРНОДОБЫВАЮЩАЯ промышленность перерабатывает огромные массы горных пород — порядка 5 млрд. м³ в год. Из их значительной части полезные компоненты извлекают традиционными жидкостными технологиями — флотационной и гравитационной¹. При принципиальных различиях они имеют две сходные черты. Во-первых, руда измельчается до частиц размером в несколько миллиметров, а во-вторых, отходами этих технологий являются полужидкие шламы, хранимые в бетонированных бассейнах-накопителях — так называемых хвостохранилищах. Расходы на мелкое дробление породы и содержание хвостохранилищ составляют около половины всех затрат на обогащение руд такими способами. Вдобавок жидкие отходы становятся настоящей экологической проблемой, так как занимают большие площади на поверхности земли и нередко просачиваются в грунтовые воды, загрязняя их. Положение считалось терпимым, пока в переработку вовлекались в основном богатые руды. Но их в нашей стране почти не осталось, и сегодня в дело идут средние и даже бедные руды. При этом катастрофически увеличивается их масса, вовлекаемая в переработку, и, соответственно, объемы шламов.

Выбраться из этого замкнутого круга в какой-то мере позволяют новые сухие бесконтактные методы обогащения, использующие электронные сигналы, пропорциональные содержаниям полезных минералов в кусках руды. Они не только дешевле, но и значительно экологичнее традиционных — ведь отходами таких производств по существу является сухой щебень, который может служить строительным материалом. К тому же при их применении не требуется измельчения пород, при котором драгоценные

¹ При флотации измельченную руду пропускают через камеры, заполненные водой с реагентами. Созданные ими пузырьки прилипают к частицам полезного минерала и транспортируют их в желоба, собирающие концентрат. При гравитационной технологии руду погружают в воду или тяжелую жидкость, где происходит расслоение минералов в соответствии с их различной плотностью.

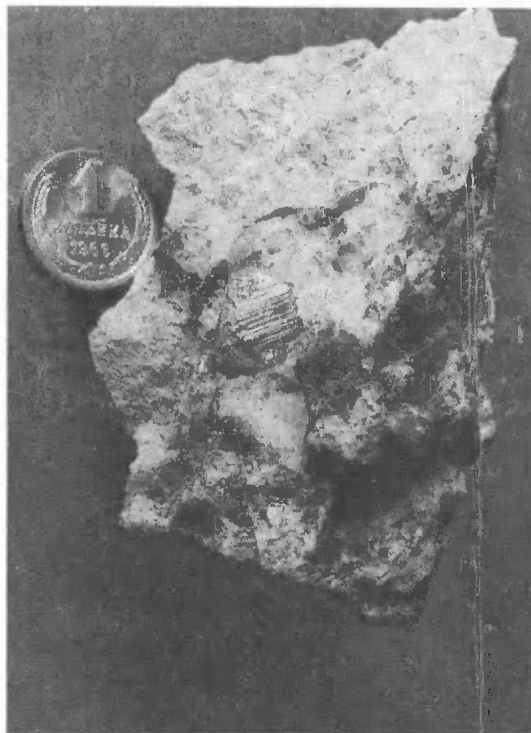
крупные кристаллы минералов неизбежно повреждаются.

Электронные или радиометрические методы обогащения руд используют различные виды излучений, испускаемых минералами самопроизвольно (например, радиоактивное) или при облучении извне радиоактивными изотопами, источниками рентгеновского, оптического или более длинноволнового излучения. Каждый минерал взаимодействует с различными излучениями по-разному, что позволяет выбрать так называемые разделительные признаки минералов в руде. Поэтому электронное обогащение как бы воссоздает почти безвредный для окружающей среды древний процесс ручной выборки минералов из руды. Только сегодня его осуществляют с помощью современной физики, электроники, механики. В группе этих методов важнейшее место занимает люминесцентное обогащение руд, основанное на том, что ряд важнейших минералов светится под действием рентгеновского или ультрафиолетового излучения².

АЛМАЗЫ

Поток дробленой руды летит по наклонной плоскости к зоне облучения рентгеновским источником. Если в зоне оказывается кристаллик алмаза, в нем вспыхивает синее свечение. Для алмазов размером от 2 до 4 мм среднее значение испускаемого при этом светового потока составляет $5,6 \times 10^{-9}$ лм, минимальное — $5,5 \times 10^{-11}$ лм (такой поток испускает свеча на расстоянии 150 км в идеально прозрачной атмосфере). Чувствительный фотозлемент (фотозлектронный умножитель) принимает люминесцентный сигнал алмаза, передает его на усилитель и электромагнит, включающий пневмоклапан. Импульс сжатого воздуха, как выстрел из духового ружья, сбивает кусок породы со светящимся алмазом в накопитель. Пустая же порода продолжает идти в отвал. Так действует люминесцентный сепаратор.

Отмечая 100-летний юбилей выдающегося исследователя люминесценции С. И. Вавилова, видимо, уместно хотя бы кратко упомянуть и тех почти неизвестных инженеров, которые сумели применить работы Вавилова и его школы в горнодобывающей отрасли. Незаурядность их разработок про-



Кристалл алмаза в кимберлитовой породе, извлеченный рентгенолюминесцентным методом.

явилась в том, что способ рентгенолюминесцентной сепарации алмазосодержащих руд стал основой технологии извлечения алмазов не только в нашей стране, но и во всех алмазодобывающих странах.

Еще в 1939 г. сотрудник Всесоюзного института минерального сырья М. Г. Богословский предложил извлекать уральские алмазы из черновых концентратов, полученных после обогащения россыпей, используя свечение, возникающее в любом алмазе под действием рентгеновского излучения. (Это свечение сейчас связывают с двумя спаренными атомами азота в кристаллической решетке алмаза, формирующими так называемый А-центр)³. Ранее для извлечения алмазов из черновых концентратов использовали покрытую жиром ленту, к которой избирательно прилипали кристаллы алмаза. Однако жировая технология, пригодная для россыпей, не лучший вариант для извлечения алмазов из кимберлитов, так как при мелком дроблении разрушаются редкие ювелирные кристаллы.

² Мокроусов В. А., Лилеев В. А. Радиометрическое обогащение нерадиоактивных руд. М., 1979; Горобец Б. С., Гафт М. Л., Подольский А. М. Люминесценция минералов и руд. М., 1990.

³ Соболев Е. В. Тверже алмаза. Новосибирск, 1989.



Свечение алмазов под действием ультрафиолетового излучения [фотолюминесценция] наблюдается примерно у 20 % кристаллов и имеет различные цвета, обусловленные разнообразными дефектами кристаллической решетки. Рентгенолюминесценция свойственна всем кристаллам алмаза и всегда имеет синий цвет, обусловленный молекулой азота. (Снимок из кн.: Gleason Q. Ultraviolet guide to minerals. N. Y., 1960.)

В конце 1940-х годов было сделано крупнейшее геологическое открытие. Оправдался научный прогноз В. С. Соболева — в Якутии обнаружили алмазоносные кимберлитовые трубки, подобные знаменитым южноафриканским. С 50-х годов началась их промышленная разработка. Ленинградский инженер В. В. Финне сконструировал образец автоматического рентгенолюминесцентного сепаратора АРЛ-1, перерабатывающего 0,6 м³ руды в час. Однако его селективная способность была не слишком велика, и в обогащенный продукт все же попадало довольно много полевых шпатов, кварца, известняков.

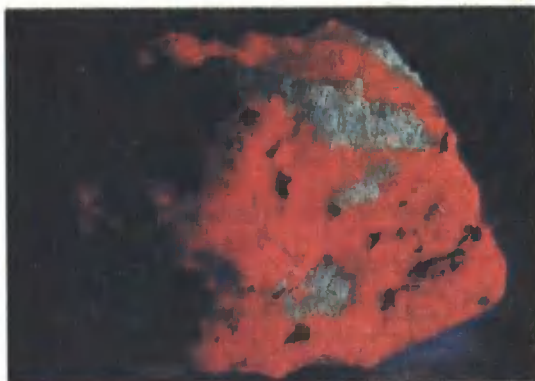
Дальнейшее развитие технологии люминесцентного обогащения происходило в столице алмазоносной провинции — г. Мирном. В созданном там институте «ЯкутНИИ-алмаз» группой инженеров и конструкторов во главе с Г. О. Гомоном и одним из авторов этой статьи (В. В. Н.) разрабатывались задачи повышения селективной способности сепараторов и увеличения размеров сортируемых кусков.

Любой процесс селекции характеризуется соотношением сигнал — шум. По статистике, в 2 кг дробленой руды на один кристалл алмаза приходится 100 млн. частиц других минералов. Среди 100 млн. частиц — 1 млн. люминесцирующих. Это — плагиоклазы с голубовато-зеленым свечением, циркон — с желтым, кальцит и доломит — с красным. Кроме того, часто возникают искры из-за соударений частиц кварца (как при высекании огня кремнем). Люминесцентный сигнал алмаза удается выделить на фоне этих помех благодаря, во-первых, «фильтрации» по длине волны люминесценции λ (т. е. ее цвету) и, во-вторых, по времени разгорания люминесценции τ после

включения импульса рентгеновского возбуждения и времени ее затухания после его исчезновения. Эта вторая особенность имеет решающее значение. Согласно классическому определению Вавилова, люминесценция отличается от отраженного и рассеянного света своей продолжительностью после прекращения возбуждения, которая на много порядков превышает период световых колебаний. У минералов, как и у искусственных материалов, длительность люминесценции меняется в гигантских пределах — от 10^{-9} с до миллионов лет (к примеру, термолюминесценция минералов, подвергавшихся радиоактивному облучению после отложения руд). Если люминесценцию возбуждать импульсами рентгеновского или ультрафиолетового излучения (например, лазером), то разные центры свечения в различных минералах реагируют на эти импульсы с неодинаковым запаздыванием τ , обычно в пределах от 10^{-8} до 10^{-2} с.

При рентгенолюминесценции алмаза выделяют две составляющих затухания синего свечения: быстрая — $\tau \sim 10^{-7}$ с и медленная — $\tau \sim (3-10) \cdot 10^{-3}$ с, связанная с молекулой азота. У плагиоклазов синее свечение возбужденных атомов кислорода характеризуется значением $\tau \sim 10^{-5}$ с. Кроме того, в кимберлитовой руде имеются кальцит и доломит, дающие оранжево-красное свечение мельчайшей примеси марганца (ион Mn^{2+}) с $\tau \sim 4 \cdot 10^{-2}$ с. Как же сигналы люминесценции этих трех минералов селектировать по задержке времени разгорания и затухания люминесценции?

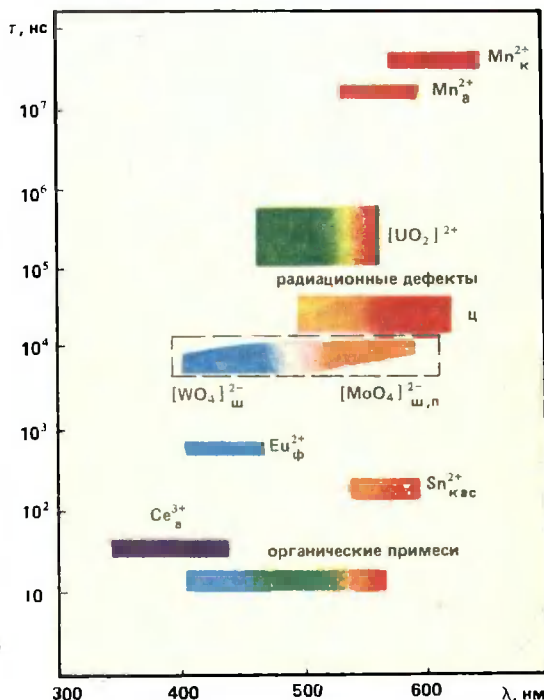
Мощный рентгеновский генератор вырабатывает импульсы с частотой 50 Гц и длительностью 10^{-3} с. За время импульса плагиоклазы практически мгновенно достигают максимума светимости, медленно «разго-



Люминесцентное свечение: оранжево-красное — кальцита и доломита [цвет обусловлен примесями ионов марганца в кристаллической решетке]; желтое — циркона [радиационные дефекты кристаллической решетки]; голубое — шеелита — [вольфрамоокислородные комплексы]; синее — флюорита [примеси ионов двухвалентного европия].

Окна селекции наиболее распространенных минералов, выделенные по длине волны λ и времени затухания τ люминесценции. Границы интервалов соответствуют половине максимального значения яркости. Символы химических элементов указывают, какой дефект структуры [центр] ответствен за люминесценцию минерала; буквенными индексами обозначены минералы: а — апатит, к — кальцит, кас. — касситерит, п — повелит, ш — шеелит, ф — флюорит, ц — циркон. Пунктиром обозначено окно селекции шеелита, извлекаемого из руд Тырнаузского месторождения.

рающихся» кальцит и доломит едва успевают выйти на уровень 1—2 %, в алмазах же он составляет примерно 10—15 %. Если после окончания возбуждающего импульса регистрировать сигнал не сразу, а с задержкой специальным элементом (линией задержки) на время, близкое к медленной составляющей τ алмаза, то на фотоумножитель поступит хорошо отфильтрованный сигнал алмаза. Ведь сигнал плагиоклаза упадет до нуля



за время задержки (как, кстати, и быстрая составляющая свечения алмаза), а сигналы карбонатов останутся на уровне 1 %. Сигнал же от алмаза, снизившийся в 2 раза, можно усилить до любой нужной величины электронными устройствами. Лишь бы он выделялся над фоном. В действительности требуется еще селекция по длине волны, чтобы надежно отделять карбонаты с красным и циркон с желтым свечением. Карбонатов в руде очень много, и, несмотря на снижение уровня их люминесценции до 1 %, благодаря фильтрации по времени, они все же проскакивают в обогащенный продукт. Циркон же имеет время затухания, близкое к т алмаза, и от него можно избавиться только фильтрацией по длине волны.

Описанные принципы селекции сигнала люминесценции по длине волны и времени затухания впервые были реализованы в объединении «Якуталмаз». На их основе Ленинградским объединением «Буревестник» созданы серийные люминесцентные сепараторы алмазов, способные перерабатывать мокрую руду (раньше ее сушили) с размером кусков от 0,5 до 50 мм⁴. Экономический эффект только от снижения эксплуатационных затрат (расхода воды, энергии и технологических материалов) составил к началу 1990 г. 200 млн. руб.

Сейчас техника рентгенолюминесцентной сепарации позволяет располагать на ленте в один слой сухие и влажные продукты и перерабатывать до 100 т руды в час, выделяя из нее 99 % алмазов. Потери составляют главным образом алмазы мельче 0,5 мм. (Кстати, нередко спрашивают: зачем нужны мелкие природные алмазы, ведь таких можно синтезировать сколько угодно, ибо уже давно освоена технология синтеза алмазов размером в 1—3 мм? Дело в том, что природные алмазы тверже синтетических во много раз и поэтому незаменимы в буровых коронках, резцах, шлифовальных кругах, полировальных абразивах, предназначенных для работы с особо твердыми материалами.) Работа всех сепараторов полностью автоматизирована. На одной из фабрик бригада из 18 чел. обслуживала 64 сепаратора с производительностью 3 млн. т руды в год. Себестоимость переработки 1 т не превышала 20 коп. Вдумаемся: перебрать целый кубометр дробленой породы и выбрать из него кристаллики алмазов общим

весом около 100 мг (или, например, изредка один ювелирный алмаз) стоит 50 коп., из которых, кстати, на зарплату персоналу идет всего несколько копеек. Теперь можно себе представить, сколько получило государство от этого научного и технологического достижения.

Кстати, в 1990 г. один из авторов (В. В. Н.) побывал в ЮАР на алмазодобывающей фабрике, где используют рентгенолюминесцентные аппараты только для извлечения алмазов из сухих концентратов, примерно соответствующие аппарату Финне. По мнению руководства фабрики, ознакомившегося с результатами советских работ, наша современная технология опережает южноафриканскую на поколение.

ШЕЕЛИТ И ДРУГИЕ МИНЕРАЛЫ

Вторым видом сырья, обогащаемым с помощью рентгенолюминесцентных сепараторов, стала содержащая вольфрам шеелитовая руда. Шеелит под действием рентгеновских лучей светится голубым цветом. Однако отобрать этот минерал без потерь с помощью рентгенолюминесценции невозможно, так как часть его распределена в породе равномерно в виде очень мелких включений, т. е. не контрастно. Чтобы извлечь полезный компонент пришлось бы в измельченной руде просматривать люминесценцию каждой частицы, что нереально, да и нерентабельно для более дешевой (по сравнению с алмазоносной) руды. Поэтому люминесцентный способ обогащения шеелитовой руды, при котором отбрасываются «пустые» куски породы, может лишь предшествовать традиционному для этого вида сырья способу — флотационному.

Если еще недавно флотационным способом обогащали только богатые шеелитовые руды с содержанием вольфрама порядка нескольких процентов, то теперь в ход пошли и руды с содержанием 0,1 %. Добывать и такие руды приходится из достаточно глубоких горизонтов, «снятая» при этом огромные объемы вскрышных пород. Так, на Тырныаузском месторождении (Северный Кавказ), где добывают более половины вольфрама в нашей стране, при добыче 1 т руды с содержанием WO_3 0,1 % перемещается 6,4 т вскрышных пород со средним содержанием минерала 0,03 %, которые просто сбрасывают в отвалы. Недавно проведенные здесь испытания показали, что с помощью рентгенолюминесцентного сепаратора из них можно отобрать куски с повышенным содержанием вольфрама. Этот метод — люминесцентное кондиционирование вскрышных

⁴ За эту работу группе специалистов: А. Г. Баранову, Л. А. Васильеву, В. С. Вьюннику, В. И. Долженкову, С. И. Зельбергу, Г. Г. Инешину, Ю. Н. Карпенко, Ю. А. Лаврентьеву, А. И. Левитину, А. Н. Межевичу, В. В. Новикову, А. А. Харитонову — была присуждена Государственная премия СССР за 1986 г.

пород — позволяет извлечь дополнительно 25—40 % вольфрама. Два сочлененных сепаратора, установленные на участке с уже дробленным материалом, способны переработать 500 тыс. т таких пород в год. Производительность каждого сепаратора — 40 т руды в час для кусков размером 25—50 мм. В результате в обогащенном продукте, составляющем по объему 20—30 % всей перерабатываемой массы, содержание WO_3 повышается до 0,12 %, т. е. до уровня, уже пригодного для флотационного обогащения. При этом себестоимость 1 т руды составляет от 20 коп. до 2 руб. (в 5 раз ниже, чем у руды с тем же содержанием вольфрама, добытой из глубины). Оставшуюся после люминесцентного кондиционирования породу можно использовать как щебень. Подсчитано, что технология люминесцентного обогащения вскрышных пород крупнейшего в СССР Тырныаузского вольфрамового месторождения позволяет удвоить его запасы, т. е. вдвое продлить жизнь горно-обогатительного комбината, обеспечивающего работой целый город. При этом уменьшается площадь земель, занятых отвалами, снижается расход энергии, взрывчатых веществ, горюче-смазочных материалов (на транспортировку руды), а следовательно, и загрязнение окружающей среды.

Люминесцентное обогащение руд применимо и к другим видам сырья. Например, с помощью сепаратора «Фотон», разработанного А. В. Беловым и А. К. Лариним, уже 20 лет выделяют кусковой флюорит на фабрике под Ленинабадом. Разделительным признаком флюорита служит синяя люминесценция примеси европия (Eu^{2+}). Испытания показали, что с помощью люминесценции можно обогащать руды, содержащие литий, тантал, стронций, бор, барит, апатит, фосфорит и т. п.⁵

Но иногда нужно выполнить задачу иного рода — избавиться от минерала, мешающего дальнейшей флотации концентрата. Например, требуется сократить до минимума содержание в фосфоритовой руде доломита, так как входящий в его состав магний препятствует пенообразованию при флотации. Часто приходится избавляться от примесей железосодержащих минералов, скажем, в рудах бора или высокосортном керамическом сырье. Заметим, что удаление основной массы железа при люминесцентном обогащении происходит автоматически, так как железосодержащие минералы не люминесцируют.

ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ БУДУЩЕГО

Еще не в полной мере освоен в промышленности рентгенолюминесцентный метод обогащения руды, но уже вырисовывается новая перспектива — люминесцентная лазерная технология сепарации. Конечно, и в ней все основополагающие принципы остаются прежними. Те же в большинстве своем и наблюдаемые центры свечения в минералах, обеспечивающие разделение. Но появляются новые инженерные возможности.

Во-первых, ультрафиолетовый лазерный импульс, возбуждающий фотолюминесценцию минерала, может быть гораздо мощнее и короче, чем рентгеновский. Сейчас УФ-лазеры, используемые в США, Канаде, ФРГ для дистанционного зондирования поверхности земли и воды, имеют мощность от 0,05 до 0,5 Дж в импульсе длительностью в десятки наносекунд, при частоте от 10 до 100 Гц, сечении пучка 10×30 мм.

Во-вторых, с лазерным лучом легко манипулировать: передавать на большие расстояния, разворачивать системой зеркал, вводить в сепаратор любой конструкции. Расстояние от лазера до объекта ничем не лимитировано, тогда как в рентгеновском сепараторе оно не должно превышать 10—25 см.

В-третьих, можно плавно менять длину волны λ перестраиваемых лазеров. Это позволяет подобрать длину волны возбуждения извлекаемого минерала так, чтобы люминесцентный отклик от него был возможно больше, а от сопутствующих минералов — меньше. Так, синее свечение комплексов $[WO_4]^{2-}$ в шеелите лучше всего возбуждать коротковолновым УФ-излучением с $\lambda = 266$ нм, а синее свечение примеси европия во флюорите, сопутствующем шеелиту в некоторых типах руд, — азотным лазером с $\lambda = 337$ нм. И наконец, УФ-излучение лазера не так опасно для человека, как проникающее рентгеновское.

С помощью УФ-лазеров уже удалось установить «окна селекции» наиболее важных люминесцирующих минералов⁶. Принципиальные ограничения этого метода связаны только с природой минералов (которые могут быть нелюминесцирующими) и руд (которые могут оказаться неконтрастными). Все остальное — интенсивность сигнала, его обработка и прием — как говорится, дело техники.

⁵ Горобец Б. С., Вальщиков А. В., Литвинцев Э. Г. // Обогащение руд. 1987. № 3. С. 12—16.

⁶ Подробнее см.: Рассулов В. А., Рогожин А. А., Горобец Б. С., Гафт М. Л. // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1988. № 4. С. 474—479.

Секреты древних глазурей

С. С. Такибаева,

кандидат геолого-минералогических наук

Алма-Ата,

С. Ф. Ахметов,

кандидат геолого-минералогических наук

Всесоюзный научно-исследовательский институт

синтеза минерального сырья

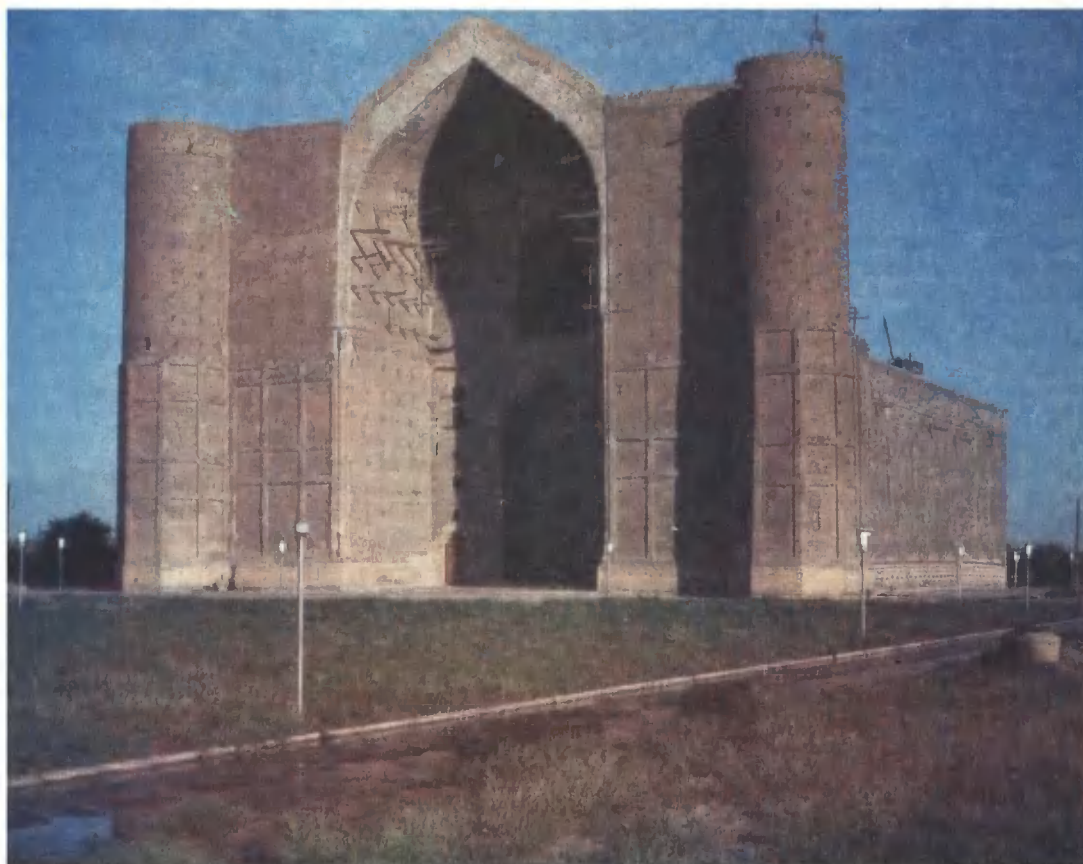
Александров

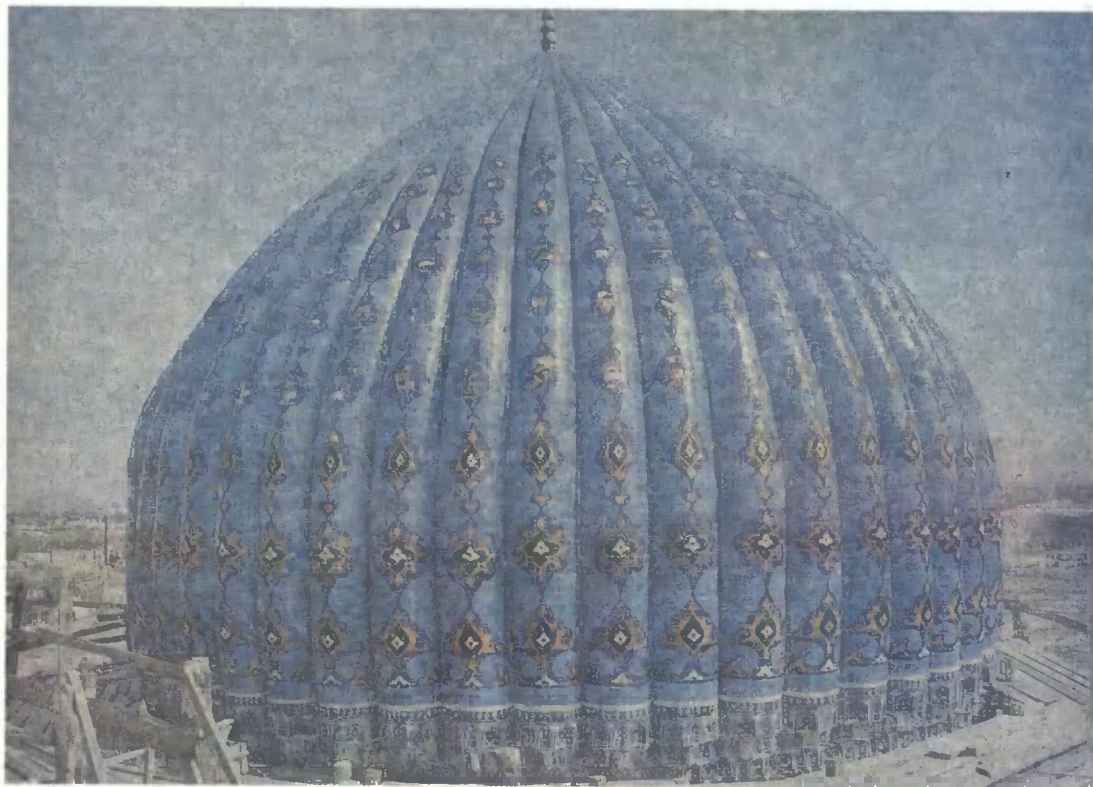
В КОНЦЕ 80-х годов завершена реставрация одной из жемчужин средневекового мусульманского зодчества — мавзолея Ходжа Ахмеда Ясави в г. Туркестане (Чимкентская обл. КазССР). Кроме архитекторов, художников и строителей в этой работе приняли участие геологи, и именно об их вкладе в реставрацию нам и хо-

телось рассказать. Но сначала несколько слов об истории мавзолея.

В начале XIV в. монгольская конница сровняла с землей оазисы среднеазиатской цивилизации — Бухару, Самарканд, Хорезм. А вот маленький зеленый городок Ясы (с XVI в. — Туркестан) остался цел. Спас его мазар (мавзолей) знаменитого

тюркского поэта и проповедника мусульманства Ходжа Ахмеда (около 1105—1166 гг.). Большую часть жизни он прожил в этом городке, здесь и скончался — поэтому к его имени и добавили слово «Ясави» (т. е. «из Ясы»). Ходжа Ахмед Ясави считался мусульманским святым, и каждый правоверный стремился побыть на его скромной могиле —





Мавзолей Ходжа Ахмеда Ясави.

◀ Фото С. С. Такибаевой

Ребристый купол гурзаны.

Восточный фасад мавзолея.



был среди них и Тимур, задумавший соорудить на месте бедного мазара величественное сооружение. Тимур сам определил диаметр купола будущего мавзолея — около 18 м, что стало своеобразной точкой отсчета для определения размеров его остальных частей. Строительство началось в конце XIV в. и закончилось уже после смерти Тимура

в начале XV в. Воздвигнутое сооружение поразило весь мусульманский восток красотой и грандиозностью.

Мавзолеем — огромном прямоугольном в плане здании с мощным арочным порталом высотой около 40 м, ограниченным двумя минаретами. В нем множество залов и помещений: усыпальница (гурхана), где под глыбой полированного серпентинита покоится прах Ходжа Ахмеда, парадный зал (казанлык) с 60-ведерным бронзовым казаном для причащения паломников в центре, мечеть, колодец (кудукхана), кухня, библиотека, Белый дворец (Аксаарай).

Голубой купол над казанлыком соперничает с куполом неба. На восточный и западный фасады мавзолея словно наброшены ковры — это керамическая плитка, сложенная в геометрический орнамент. Голубыми глазурованными и терракотовыми кирпичами облицованы стены. Окна обрамлены узором, надоконные ниши — синей майоликой с растительным орнаментом. Фриз вознесен на высоту 13 м и выложен голубой и синей глазурованной плиткой.

На северном портале, предназначенном для входа избранных, колонны на углах увенчаны лирообразными капителями из зеленоватой майолики.

Шесть долгих веков противостоят солнцу, непогоде (и в частности, песчаным бурям) керамическое покрытие мавзолея. На его состоянии сказались и землетрясения, и бесчисленные набеги завоевателей, и вандализм паломников, растаскивавших плитку. В 1864 г. Туркестан, принадлежавший Кокандскому ханству, осадил русские войска. Артиллерийские снаряды пробили стены, перекрытия, повредили облицовку, и через эти зияющие раны в мазар стали проникать дождь, снег, ветер, песок. Возле стен вырос так называемый культурный (а скорее, мусорный) 2,5-метровый слой.

В 1872 г., после того как Туркестан вошел в состав Российской империи, территорию мавзолея частично очистили от мусора, еще через 10 лет отремонтировали крышу, заделали выбоины в стенах, выложили вокруг мавзолея мостовую. В 1884 г. правительство ассиг-

новало 15 тыс. руб. на реставрацию мавзолея. Однако во время работ первоначальную роспись замазали темперой, в парадном зале сбили изразцовые плитки. Когда через 3 года обнаружилось оседание западной стены, под нее подвели контрфорсы, что исказило облик мавзолея.

И в последующем реставрационные работы велись столь же неумело. Уникальные кирпичи заменялись современными, стены белили известкой, мозаичные панели попросту разворовывали. Эти десятилетия для дряхлеющего сооружения оказались опаснее минувших столетий.

Уже после революции перекрыли куполом колодец, спасая его от дождей и снега. В 1938 г. под стены мечети подвели новый фундамент. Потом началась война...

В 1951—1957 гг. реставрационные работы возобновились. Убрали 2-метровый культурный слой, подвели новые фундаменты, облицевали фасад и купола. Однако отреставрированные участки сохранились недолго: кирпич рассыпался, облицовочная плитка обваливалась, глазурь осыпалась. «Новенький» мавзолеем дряхлел на глазах. Становилось ясно, что любая реставрация современными строительными материалами и принятыми в то время авральными методами обречена на провал. Пришлось обратиться к древним трактатам и летописям. Выяснилось, что каждый кирпич, каждая плитка мавзолея делались вручную, из великолепного сырья, а в связующий раствор добавляли куриные яйца. Однако главный секрет приготовления кирпичей, керамических изделий, глазури так и не удалось раскрыть. И тогда алма-атинские геологи применили для их изучения современные методы анализа (химического, спектрального, кристаллооптического, электронно-микроскопического, рентгенофазового и др.).

При дополнительном анализе древних трактатов выявили технологию изготовления кирпича. Сначала с выбранной части карьера удалялся почвенный слой. В обнаженном материковом лёссе выкапывали яму, тщательно разрыхляли кетменями грунт и заливали его водой. Затем несколько человек подол-

гу перелопачивали жидкую глину, месили ее ногами. Дав воде отстояться, вычерпывали ее ложаными мешками и заливали свежую. Многократное промывание глины освобождает ее от сульфатов кальция и магния, способных испортить кирпич при обжиге. На последнем этапе в глинистую массу добавляли тонко измельченные стебли, травы, конский волос, шерсть, пух камышовых метелок. В сыром кирпиче они втягивают в себя влагу и при сгорании оставляют мелкие поры и пустоты. Это уменьшает массу обожженного кирпича, не снижая его прочности.

На зиму глину складывали в кучу и оставляли до весны, когда начинали делать кирпичи. Глиняной массой набивали деревянные формы, тщательно срежая излишек брусом или ладонью, чтобы верх был ровным. Длительность сушки выбитых из форм кирпичей зависела от температуры и влажности воздуха. Опытные мастера раскатывали глиняную массу пластом, уплотняли ударами колотушек и вырезали фигурные изделия необходимых размеров, а также изображения и детали орнамента на поверхности подсушенного сырца.

Высушенные кирпичи (в основном 7-килограммовые квадратные или шестиугольные плиты толщиной 5—6 см и длиной от 24 до 46 см) обжигали в специальных печах-тандирах с хорошей тягой, а в топливо, судя по всему, добавляли какую-то траву, усиливающую жар.

Облицовочный кирпич мазара — это терракота (обожженная керамика), майолика (керамика с сюжетной росписью), глазурованные (покрытые стекловидной пленкой толщиной 0,15—0,3 мм) кирпичные плитки с орнаментом. Как следует из химического анализа этих изделий и строительных кирпичей, изготавливали их из одной и той же глины близлежащего Сауряновского месторождения с добавками.

На сколах кирпичей видны зерна кварца и полевого шпата. Есть и цемянка (кирпичная крошка), которую добавляли в глину. Размеры пор в кирпиче от 1—3 до 10 мм. Совершенно отсутствуют «дутки» — крупные из-

вестковые включения, из-за которых при обжиге кирпич может разорваться изнутри. Нет также включений сульфатов кальция и магния, так называемых «высолов». Все это подтверждает, что глинистая масса многократно перемешивалась и промывалась.

Химический анализ кирпичей показал, что в них 51—61 % оксида кремния, 11—15 % оксида алюминия, 10—16 % оксида кальция, 3,6—5 % оксида железа, 2—2,5 % оксида натрия. Содержание других оксидов почти одинаковое и незначительное. В микроскоп видна неравномерно-зернистая структура образцов с преобладанием мелких зерен. Минеральный состав кирпича разнообразен. Здесь и агрегаты аморфизованных глинистых минералов, и сильно измененные зерна кварца, полевого шпата, карбонатов и т. п. Обнаружены также корунд, сфен, авгит, обожженная слюда и хлорит. Зерна кварца и полевого шпата распределены равномерно по всему объему кирпича и имеют различные размеры¹.

По данным химического анализа, глины из ближайшего карьера крепости Старый Сауран идентичны материалу кирпичей. Поэтому ее решили использовать при реставрационных работах. Первые же опыты дали отличные результаты. Поэтому главной заботой стала глазурь.

В Средней Азии голубая глазурь появилась в XI—XII вв., ею украшали купола мечетей и мазаров. В древних трактатах сказано, что глазурь получали из корней желтой травы — сарычоба, которую сжигали в печи. В полученную золу — ишхор, содержащую от 15 до 50 % оксида натрия, добавляли 30—40 % кварца. Использовали и золу других трав — солянки, кирбугина, чозана и т. п., содержащую определенный вид щелочи. Так, солянка после сгорания давала свыше 40 % золы с большим содержанием соды. Но поскольку сода легко раствори-

ма в воде, ее нужно было перевести в нерастворимый силикат.

Для этого соду смешивали с кварцевым песком (7:3) и помещали в специальную печь на день для нагрева при постоянном перемешивании, а затем расплав (фритту) перекладывали в яму с холодной водой, где он дробился в мелкую крошку, которую впоследствии растирали, добавляя минерал-краситель и пластичную глину, подержавшую частицы стекла во взвешенном состоянии. Полученную однородную суспензию наносили на керамическое изделие кистью и затем обжигали. Можно было и просто поливать плитку полужидкой глазурной массой (отсюда и термин «поливка, поливной кирпич»).

Составы поливы в каждой стране держали в тайне. Поэтому исследование глазурей мавзолея Ходжа Ахмеда началось с определения их химического состава. Для этого их аккуратно отделяли от поверхности керамических плиток, измельчали и исследовали разнообразными методами. Оказалось, что глазури содержат почти треть элементов таблицы Менделеева, и прежде всего кремний, свинец, олово, натрий, магний, кальций, алюминий, железо, калий, кобальт, медь. Некоторые микроэлементы затем обнаружили в глине окрестных карьеров и в золе сарычоба. Результаты исследований позволили выделить 5 разновидностей глазурей, четко отличающихся друг от друга по составу и количеству кристаллических фаз.

К первой относятся глазури белого, голубого и бирюзового цветов (краситель для последних двух — оксид меди). Содержание кристаллических фаз, по данным микроскопических исследований, колеблется от 3 до 20 %. Часть стекла имеет голубоватую окраску, отчетливо различимую в микроскоп, и показатель преломления $n \sim 1,575$. Другой вид стекла бесцветен и характеризуется значением $n = 1,56$. Эти различия вызваны неодинаковым содержанием оксидов свинца, меди и других элементов.

Голубой глазурью покрыты шестиугольные плитки, облицовочные кирпичи, изразцы.

Толщина глазури от 0,2—0,3 до 1 мм. Глазурь двухслойная, причем в зоне контакта с керамической стеклом бесцветно. В верхнем голубоватом слое обнаружены включения оливина, авгита, корунда, кристобалита, оплавленные остатки зерен кварца, гематит и муллит. Минералы эти образовались в результате обжига при высокой температуре.

Облицовочные кирпичи фасада мавзолея покрыты бирюзовой глазурью толщиной 0,5—1 мм. В стекле также повышено содержание кристаллических фаз оливина, муллита, авгита и гематита.

Глазурь зеленого цвета относится ко второй разновидности. Ею покрыты облицовочные плитки на фаянсовой основе толщиной до 0,8 мм. Кристаллических фаз в этой глазури почти нет, стекло имеет бутылочно-зеленый цвет и высокий показатель преломления (1,79), что связано с присутствием оксида свинца. Красителем служит медь. В зависимости от содержания оксидов меди цвет глазури меняется от голубого до зеленого.

К третьей группе принадлежит глазурь густого синего цвета. Она легко отделяется от поверхности изделий, покрытая сеткой мелких трещин, поэтому сохранилась хуже, во многих местах отслоилась и осыпалась. Для нее характерно малое содержание оксидов свинца и кристаллических фаз (до 50 %) и относительно низкий показатель преломления стекла (1,525).

Черные и коричневые глазури стоят особняком. Их слой на керамике настолько тонок, что отделить его в чистом виде и определить химический состав не удалось. Под микроскопом в коричневой глазури обнаружены два вида стекла: розово-коричневое и бесцветное ($n = 1,55$ и 1,52). Имеется также стекло темно-зеленого цвета ($n > 1,78$) с высоким содержанием свинца. Красителями в этих глазурах являются оксиды железа и марганца. Из кристаллических фаз присутствуют оплавленные зерна кварца, полевых шпатов, муллита и кристобалита.

Последняя разновидность представлена глазурами желтого и красного цветов. Их хи-

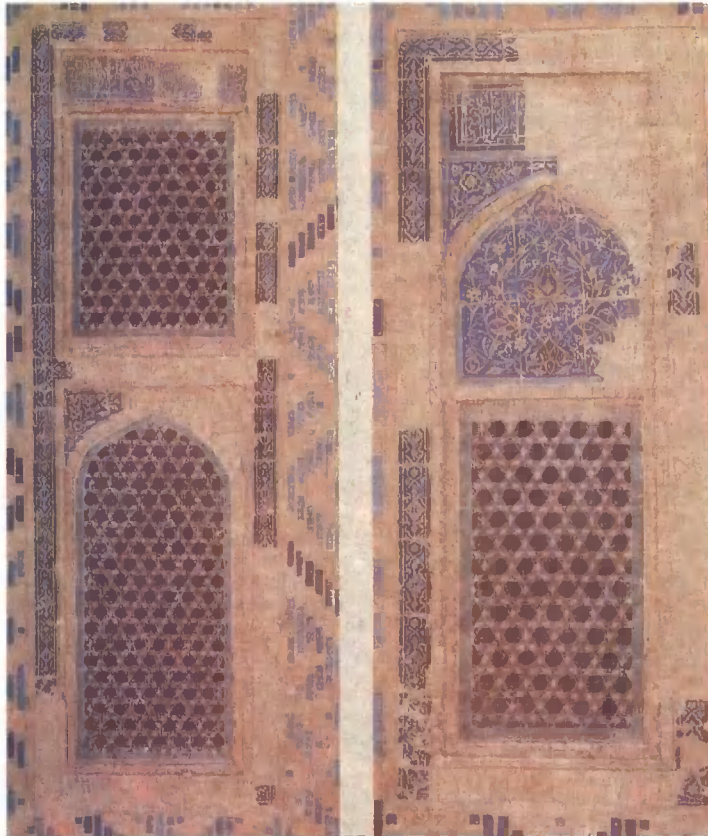
¹ Такибаева С. С., Шулгаубаева Г. И. Петрографические исследования строительного кирпича памятника-комплекса Ходжа Ахмеда Ясави // Стройматериалы из местного сырья и отходов промышленности Казахстана. Алма-Ата, 1981.



Восьмилепестковый мозаичный медальон.

Окна кудуханы.

Узор из «поливанных» кирпичей. ►



мический анализ также провести не удалось. Эти глазури состоят из трех видов стекла: двух бесцветных ($n=1,532$ и $1,46$) и светло-коричневого ($n=1,55$). Содержание кристаллических фаз в них достигает 50%. Это в основном измененные зерна кварца, полевого шпата. Муллиты, кристобалиты и оливина меньше, чем в других глазуриях. Красящее вещество — оксид железа.

Очень сложно было исследовать керамику с несколькими слоями глазури разных цветов. Чаще всего на белую глазурь наносили синюю и голубую. Орнамент составлен в три слоя: белая глазурь покрыта кроваво-бурой, поверх которой рисунок из черной глазури и золотых полосок толщиной до 0,4 мм.

Глазури сильно различаются содержанием кристаллических (от 3 до 50%) и аморфных фаз, что сказывается на их свойствах. Показатели преломления стекла меняются от 1,525 в синей глазури до 1,79 в зеленой².

² Такибаева С. С., Шулгаубаева Г. И. // Вестн. АН КазССР. 1982. № 9. С. 55—62.



Выявлен еще один фактор прочности глазурей. В керамике мавзолея древние мастера использовали такой состав глазури и такой режим обжига, благодаря которым в стекле сначала образуются каркасы из кристаллических образований. Затем они превращаются в хорошо сформированные кристаллы, которые в основной стеклянной массе играют роль арматуры. В этом смысле древняя глазурь напоминает железобетон. Кроме того, она еще и эластична: растягивается и сжимается вместе с керамикой основы.

Итак, почти все тайны создателей комплекса Ходжа Ахмеда были раскрыты. Специалисты из Алма-Атинского научно-исследовательского и проектного института строительных материалов доказали пригодность суглинка из Саурановского карьера для изготовления кирпичей, песков Котырбулакского и гли-

ны Туетасского месторождения — для производства глазури. Разработаны оптимальные составы шихт для 17 видов глазури голубого, синего, белого, желтого, черного, коричневого и травяно-зеленого цветов, аналогичных древним образцам. Все они защищены авторскими свидетельствами СССР³.

Сложнее было установить оптимальные технологические параметры одновременного обжига глазури, поскольку каждая из них наносилась на изделие отдельно и, соответственно, обжигалась отдельно. Поэтому пришлось откорректировать составы глазури и содержание красителей, по-прежнему заботясь об их соответствии эталонам древней майолики и дру-

гих видов изделий с орнаментом.

Желаемые оттенки окрасок глазурей можно получить при определенных соотношениях отдельных компонентов и красителей (оксидов кобальта, меди, марганца и железа). Однако глазури различных окрасок при обжиге сливались, и орнамент расплывался. Помог разделительный контур из более тугоплавких, чем глазури, соединений, после обжига приобретающий коричневый или черный цвет. Тончайший разделительный контур заполнил промежутки между рисунками из сырых глазурей на плитках орнамента. Таким образом, благодаря найденному сырью, разработанным составом и технологиям реставрация мавзолея Ходжа Ахмеда Ясави завершена. Ныне он включен в международное кольцо туризма.

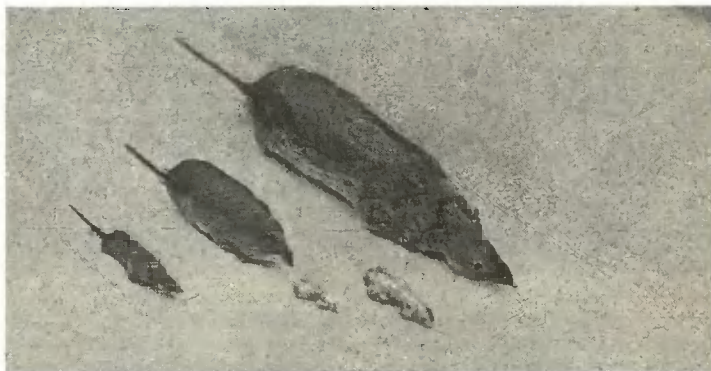
³ Такибаева С. С. Тайны небесной глазури. Алма-Ата, 1987.

Карлики и гиганты среди землероек

В. Ю. Румянцев,
кандидат географических наук
Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

КАРЛИКОВАЯ белозубка, или многозубка-малютка (*Suncus etruscus*), из семейства землеройковых считается самым мелким из современных млекопитающих, хотя в печати и появлялись сообщения о конкурентах среди рукокрылых. Длина тела этой миниатюрной землеройки всего 35—45 мм (без хвоста), черепа — 12—13 мм, средняя масса взрослого зверька 1,5 г. Это единственный вид рода *Suncus* на территории нашей страны, обнаруженный на юге Средней Азии и в Закавказье. За пределами СССР он распространен широко, но его экология тем не менее почти не изучена, очень мало данных о численности и конкретных местах распространения и в нашей стране, и за рубежом. Для этого уникального животного не нашлось даже места в «Красной книге СССР».

Однако к роду *Suncus* принадлежат не только карлики, но и подлинныя гиганты среди землероек. Такова гигантская, или домовая, многозубка (*S. tigrinus*) — одна из самых крупных землероек мировой фауны: длина ее тела 12—16 см, черепа — больше 30 мм, масса достигает 70—75 г, т. е. в 50 раз превышает массу карликовой белозубки. В СССР эта землеройка не встречается, но за пределами распространена достаточно широко, хотя и не так, как ее крошечная родственница. Ареалы обоих видов, приуроченные главным образом к тропикам, занимают почти всю Индо-Малайскую фаунистическую область, юг Палеарктики и восток Африки. На обширных пространствах землеройки обитают совместно, хотя биотопически, видимо, разделены.



Карликовая белозубка, бурозубка (наиболее обычная в СССР из землероек) и гигантская многозубка. Из зоологической коллекции кафедры биогеографии географического факультета МГУ.

Фото автора

Если карликовая белозубка, вероятно, довольно редка в своем ареале, то гигантская, напротив, местами вполне обычна. В отличие от большинства землероек (в том числе почти всех в фауне СССР) это — синантропный вид, что нашло отражение в одном из его русских названий — «домовая». Вот как описывает П. Пфеффер первую встречу с ней в Центральной Индии: «В первый же вечер... я увидел косматое существо цилиндрической формы с длинной заостренной мордой и крысиным хвостом, проскользнувшее в мою спальню. Когда я позвал сторожа и возмущенно спросил его, что это такое, он ответил: «Не беспокойтесь, это всего-навсего мускусная крыса, они водятся в каждом доме». Тогда я понял, что объект моего

отвращения — крупная домовая землеройка...»¹. Мускусной (еще одно имя этого вида) ее называют из-за резкого специфического запаха, издаваемого выделениями сильно развитых боковых желез; размерами же она действительно сходна с некоторыми некрупными южноазиатскими крысами.

Мне пришлось встретиться с гигантской многозубкой летом 1989 г. на севере Вьетнама, где проводились работы Советско-вьетнамского научно-исследовательского тропического центра. Из наблюдений и знакомства с коллекциями выяснилось, что здесь, как и в Индии, гигантская многозубка вполне обычна: мы обнаруживали ее и в небольших населенных пунктах, и в крупных городах. Примечательно, что она не попадала вне населенных пунктов, не встречалась ни в горном массиве Тамдао, ни в заповеднике Кукфын.

¹ Пфеффер А. Азия. М., 1982. С. 201.

Соотношение полов среди отловленных землероек, их размеры и масса в целом соответствуют литературным данным. Поскольку в зоологических хранилищах СССР не так уж много экземпляров гигантской многозубки, мы дополнили коллекцию кафедры биогеографии географического факультета МГУ тушками и черепами четырех животных.

Несмотря на обычность этого вида, а может быть, и в связи с ней, экология гигантской многозубки также изучена плохо, немногие имеющиеся сведения исходят от Пфеффера. Он указывает, что основной ее пищей, как и всех землероек, служат различные беспозвоночные — преимущественно, насекомые, и в частности огромные тараканы, кишачице в индийских домах. Уничтожает она скорпионов, мышей и других вредных или опасных для человека животных, за что пользуется благосклонностью индусов. Есть сведения, что она делает запасы пищи. Многозубка устраивает гнездо из растительного материала и мусора в норе или другом убежище и роет там двух-трех детенышей. Когда выводок выходит из норы, детеныши, как у многих землероек, следуют за матерью, цепляясь зубами запереди идущего. Размножается домовая многозубка, видимо, в любое время года.

В больших городских домах на севере Вьетнама она селится в канализационных си-

стемах, мусоропроводах, под полом, в междуэтажных перекрытиях и т. д. Питается также преимущественно насекомыми (тараканы и здесь изобилиуют в каждом доме) и другими беспозвоночными, не брезгует и пищевыми отбросами животного происхождения. Мы наблюдали, как она преследовала даже мелких гекконов. В отличие от синантропных крыс (*Rattus porvegicus*, *R. flavipectus*) и мышей (*Mus musculus*), в тесном соседстве с которыми нередко обитает гигантская многозубка, она практически не вредит продовольственным запасам. Местным жителям хорошо известны эти особенности, и они, отличая многозубку от крыс, относятся к ней доброжелательно, несмотря на отталкивающий внешний вид и неприятный запах. Правда, в пищу, ее по этим причинам не употребляют.

На севере Вьетнама носительницей опасных инфекций гигантская многозубка, видимо, не является (большинство землероек распространяет их): ни на одном из экземпляров каких-либо эктопаразитов, способных переносить заболевания человека или домашних животных, мы не обнаружили, хотя на отловленных здесь же крысах такие паразиты были найдены. Таким образом, гигантскую многозубку, вероятно, можно признать во всех отношениях полезным сожителем человека — во всяком случае, противоположных свидетельств, относя-

щихся к району наших работ, нет.

Экологию гигантской многозубки, несомненно, нужно изучать, равно как ее распространение и во Вьетнаме, и по всему ареалу. Подчеркнем, что землеройки Вьетнама, в отличие, скажем, от грызунов, изучены очень плохо. Из 5—6 видов многозубок, типичных для Юго-Восточной Азии, на севере Вьетнама кроме *S. murinus* достоверно не зафиксировано ни одного, не отмечена, кстати, и карликовая белозубка, хотя в целом для этого региона она характерна. Возможно, это связано с трудностью обнаружения мелких землероек в природе, а может быть, с отсутствием у исследователей интереса именно к этой группе, а значит, и целенаправленного поиска. В заповеднике Кукфын в 1989 г. была поймана очень мелкая землеройка, но видовая принадлежность пока не установлена. С другими группами землероек (рода *Crocidura* и др.) дело обстоит примерно так же. Среди довольно многочисленных публикаций результатов совместных советско-вьетнамских исследований млекопитающих Вьетнама в последние десятилетия данных по землеройкам практически нет. Между тем кроме названных групп здесь обитают такие интересные и редкие животные, как кротоземлеройка (*Apogororex squamipes*) и другие. Надеюсь, что в дальнейшем и им будет уделено внимание.

РЕКЛАМА, ОБЪЯВЛЕНИЯ

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Редакция и редакционная коллегия «Природы» продолжают работу по изучению читательского мнения. Мы просим вас сообщить, какие публикации 1990 г. вызвали у вас наибольший интерес. Достаточно указать фамилии авторов и номера журналов.

Уникальная графика древней Чукотки

М. А. Кирьяк,

кандидат исторических наук

Северо-Восточный комплексный НИИ ДВО АН СССР

Магадан



В АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ экспедициях по Западной Чукотке автору посчастливилось обнаружить уникальные памятники первобытного искусства; их аналоги очень редки на территории нашей страны. Первые находки — фрагменты сланцевых плиток с изображениями, выполненными в технике граффити, — были сделаны еще в 1981 г. у оз. Раучувагытгын, на поздненеолитической стоянке Раучувагытгын I; позже коллекция графических миниатюр пополнилась в результате раскопок открытых здесь двух наземных жилищ и ныне насчитывает 51 предмет: фрагменты изображений на сланцевых плитках, отщепах, бытовых предметах (рыбных ножах), а также неповрежденные композиции на плоских камешках и небольших гальках.

Трасологический анализ, проведенный Н. А. Кононенко (Институт истории, археологии, этнографии народов Дальнего Востока ДВО АН СССР), показал, что изображения процарапаны металлическим инструмен-

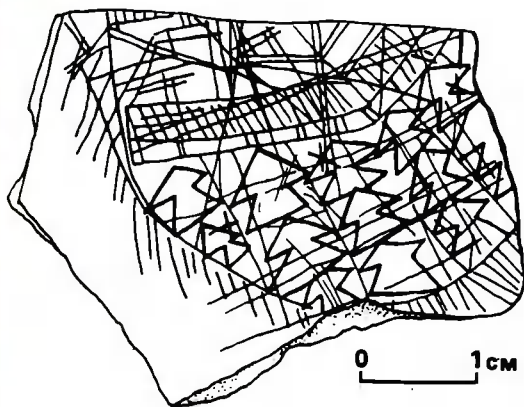
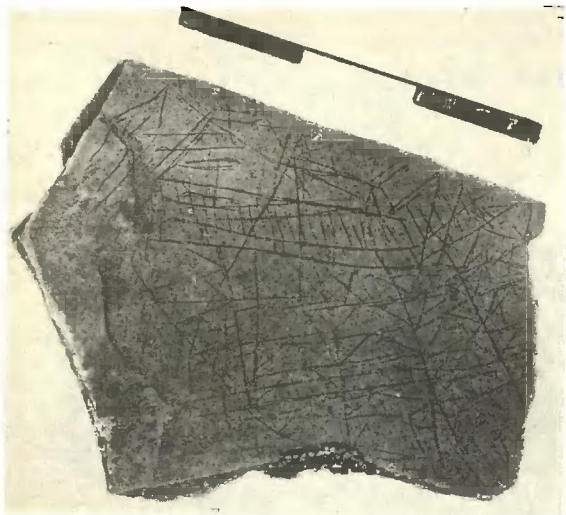
том. Судя по технике, стилю, манере исполнения, повторяющимся элементам и материалу, создается впечатление, что рисунки, во всяком случае большинство из них, нанесены рукой одного мастера. Принадлежность их к одному материальному комплексу позволяет датировать граффити временем существования стоянки — 2500 ± 100 лет.

Раучуванские рисунки объединяет ряд общих признаков. Прежде всего — техника исполнения: все они процарапаны желобчатыми линиями (лишь дважды отдельные элементы протирались). Однороден стиль: изображения линейно-геометрические; животные даны в профиль одним контуром, стилизованы, трактуются упрощенно (глаза, уши и прочие детали отсутствуют); антропоморфные фигуры показаны в виде стрелок. Очевидно, для древнего мастера важен был не столько сам объект, сколько то, что с ним происходит, т. е. в изображение прямых и кривых ли-

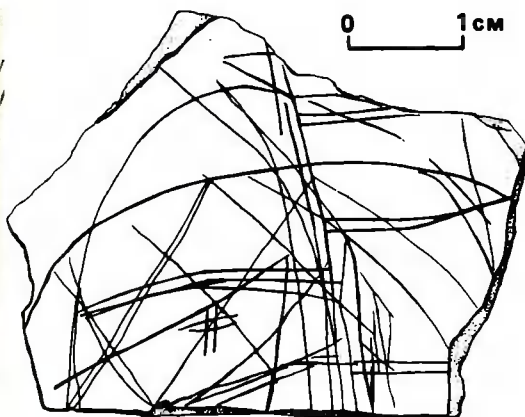
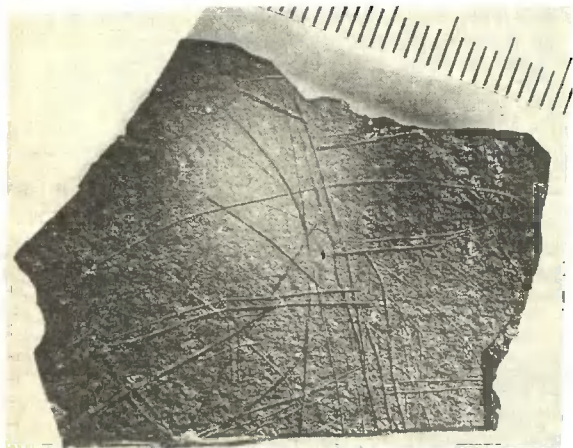
ний, решеток, которыми сопровождалась фигуры, вкладывался определенный магический смысл. Наконец, все граффити — это миниатюры; их размеры не превышают 10—11 см; некоторые из них, возможно, выполняли роль амулетов: они отшлифованы по краям, что придавало им округлость, имеют форму дисков и биконические отверстия, служившие для подвешивания или пришивания.

Раскрыть семантику граффити — задача нелегкая, а порой и вовсе неразрешимая. Для анализа сюжетов приходится искать аналогии в наскальных изображениях от Чукотки до Урала, в графике и орнаментах на керамике Сибири эпохи неолита и бронзы, а также в рисунках на дереве и бересте, бубнах и сумках шаманов, вышивке на колчанах, используя, таким образом, этнографический материал, который мог сохранить элементы древних культов.

Среди раучуванских граффити можно встретить обрядовые рисунки и обереги; пикто-



Композиция с грибовидным орнаментом (изображение на плитке и прорисовка). Здесь культовая символика орнамента сочетается с его декоративной функцией.



Фотография плитки с зооморфными изображениями и их прорисовка. На переднем плане — белый медведь.

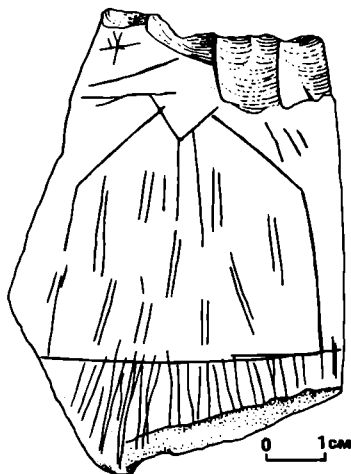
граммы; рисунки, отражающие мировоззренческие (космогонические?) идеи.

К обрядовым относится, например, сложная композиция с грибовидным орнаментом, на которой представлены как бы два изобразительных ряда: вверху — прямоугольные сооружения («изгороди», «заборы»), внизу — орнамент из стилизованных грибов, которые скомпонованы по два или по три в вертикальные ряды. Связующим звеном между ними служат прочерченные сверху вниз линии, между которыми просмат-

риваются изображения прямого и косых крестов. Попытки отыскать аналогии верхней части композиции уводят далеко от Чукотки: подобные «заборы» встречаются в наскальной живописи Урала, в рисунках хантов на дереве и трактуются исследователями как охотничьи и рыболовные сооружения¹. Грибовидный орнамент для нынешнего коренного населения Северо-

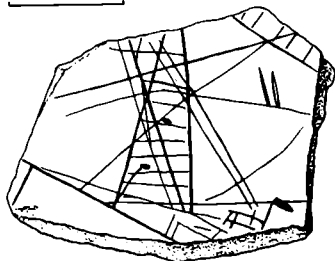
Востока Азии не характерен; он встречается у селькупов (проживающих в Тюменской и Томской областях и Красноярском крае), в представлениях которых гриб — это символ соединения огня и воды, мужского и женского начал, дающих «силу жизни» всему живому. Подобными орнаментальными мотивами украшались берестяные ритуальные браслеты, лукошки для хранения одежды и украшений, бубны шаманов и др. Грибы-мухоморы, обладающие галлюциногенными свойствами, — довольно распространенный мотив

¹ Чернецов В. Н. Наскальные изображения Урала. М., 1971. С. 25, 77.

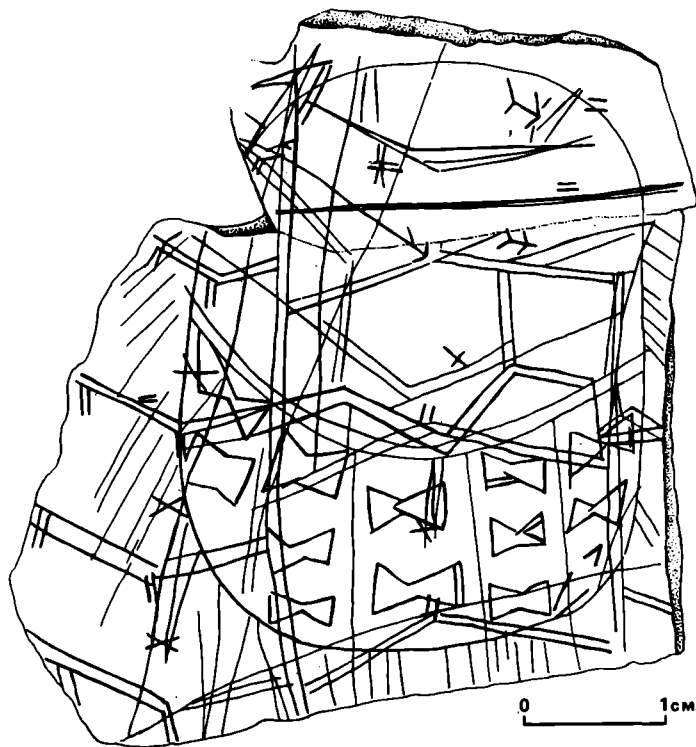


Изображение жилища в разрезе.

0 1см



«Геометрический чертеж» с зооморфным изображением.



Сложная композиция с орнаментом из треугольников, состыкованных своими вершинами.

Пегтымельских петроглифов Северной Чукотки². Похоже, что и в раучуванском орнаменте изображены мухоморы, только в иной стилистической манере и технике. Выгравированы они совместно с ловчими изгородями не случайно. Эти изгороди или загоны, скорее всего, отражают не реальные сцены охоты, а ирреальные представления древних: ведь объектом «охоты» служат стилизованные изображения грибов. Взаимосвязь же изгородей и грибов несомненна — древний художник соединил их прямыми линиями.

В числе обрядовых можно назвать и рисунок жилища. На граффити контуром выведена

² Диков Н. Н. Наскальные загадки древней Чукотки. Петроглифы Пегтымеля. М., 1971. С. 23—27; см. также: Дзвлет М. А. Пляшущие человечки // Природа. 1976. № 9. С. 115—123.

постройка цилиндро-конического типа с высокой нижней частью (как у якутской урасы) и небольшой верхней, завершенной конусовидной фигурой, видимо, символизирующей дымовое отверстие. Жилище показано в разрезе. Подобные «прозрачные» жилища с изображениями внутренних конструкций встречаются в наскальной живописи Средней Лены.

К мифологическим сюжетам тяготеет композиция с белым медведем, в которой на втором плане контуром обозначена зооморфная фигура, напоминающая мамонта. Этот вымерший гигант редко встречается в искусстве современных народов Сибири, но в представлениях хантов и манси — это «земляной зверь», в котором они видят иногда лося, но чаще медведя, превращающегося после смерти в мамонта.

Своеобразна пиктограмма на плитке с изображением вытянутого треугольника со штриховкой, расположенного между двумя прямыми, рядом с которыми помещено животное, похожее на оленя. Подобные рисунки есть в наскальной живописи Урала; с раучуванскими их объединяют сюжет и общие стилистические приемы.

Разумеется, отдельные категории рисунков нельзя рассматривать в «чистом виде», поскольку магическая деятельность древних переплеталась с хозяйственной, религиозные верования — с мировоззренческими идеями. Раучуванская графика, представляя собой произведения позднего неолитического искусства, в то же время отражает нерасчлененность форм общественного сознания, первобытный синкретизм.

Загадки морей

А. В. Топорков

Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по осущению месторождений полезных ископаемых, специальным горным работам, рудничной геологии и маркшейдерскому делу
Белгород

В редакцию постоянно приходят письма читателей с предложением опубликовать выдвигаемые ими по тем или иным проблемам гипотезы. В подавляющем большинстве случаев эти материалы не отвечают требованиям научно-популярного журнала и отвергаются рецензентами и редколлегией. К немногочисленным исключениям относится одна из гипотез, которую мы выносим на суд читателей. Ее автор давно и всерьез занимается разгадкой пресловутой «тайны Бермудского треугольника». Его первая публикация в «Природе» на эту тему («Исчезнувшие корабли») вызвала заинтересованный отклик читателей. Новая заметка не встретила серьезных возражений специалистов. Приглашаем вас к обсуждению этой и других загадок природы. Главное условие при этом — компетентность.

В ПОСЛЕДНЕЕ время из космоса в районе Бермудского треугольника установлен прогиб — воронка в море глубиной несколько метров. Гидрометеорологические исследования, в том числе с советских научно-исследовательских судов, свидетельствуют, что погода здесь зачастую непредсказуемо меняется: внезапно появляются смерчи и ураганные ветры, в то время как вокруг погода остается ясной и солнечной. Нет ли связи между этими, на первый взгляд далекими друг от друга, явлениями, и не могут ли они иметь отношение к внезапному исчезновению кораблей в этом регионе?

Как установили А. А. Трофимук и Н. В. Черский, залежи газогидратов в земной коре, в частности под дном моря, могут сохраняться длительное время при большом давлении и низкой

температуре ($-2-4^{\circ}\text{C}$). При понижении давления или повышении температуры газогидраты могут переходить из твердого в газообразное состояние. На глубинах 2—3 км под дном выделяющийся из газогидрата (или другого источника) газ оказывается под давлением 20—30 МПа. Поднимаясь, он расширяется адиабатически, так что его температура понижается. Понижение температуры при этом может достигать 15 градусов, в результате чего в земной коре на значительных глубинах образуются изолированные слои мерзлых пород².

Из-за этого эффекта теплый поверхностный слой воды в рассматриваемом районе может охладиться до $4-6^{\circ}\text{C}$. Но при этой температуре вода обладает максимальной плотностью, в результате чего в море образуется прогиб. Подобные прогибы обнаружены из космоса

в северных морях после таяния льдин: в результате охлаждения плотность воды повышается, она сжимается, образуя воронки метровых глубин, сохраняющиеся длительное время. Впоследствии массивы плотной воды без нарушения целостности могут опускаться на глубину³.

Из-за быстрого понижения температуры воды образуется локальный подсос воздуха, вызывающий смерчи и ураганные ветры. На аналогичное развитие событий при понижении температуры поверхности моря на несколько градусов и образовании разности температур воды и суши указывают и расчеты на ЭВМ климатологов СССР и США.

Таким образом, предложенный механизм позволяет наметить подход к объяснению одной из загадок океана.

¹ См. об этом, например: Павлов А. Н., Топорков А. В. Исчезнувшие корабли // Природа. 1989. № 10. С. 53.

² Шполянская Н. А. Мерзлая зона литосферы Западной Сибири и тенденции ее развития. М., 1981. С. 79.

³ Назиров М. Лды и взвеси как гидротермодинамические трассеры. Л., 1982. С. 165.

Степная птица стрепет

В. П. Белик
Ростов-на-Дону

СЕРЕБРЯЩИЕСЯ, уходящие к горизонту волны цветущего ковыля. Сурки-байбаки, столбиками стоящие у своих нор. Токующие на курганах и заброшенных сурчинах стрепеты. Эта летняя картина в течение многих тысячелетий была типичной для целинных южнорусских степей. Но минули столетия. Степи из «дикого поля» превратились в поля золотистой пшеницы. А ковыль, байбаки и стрепеты для многих из нас остались в значительной мере лишь символами, олицетворяющими безбрежные степные просторы, знойное летнее солнце и выгоревшее, белесое небо.

Но если ковыльники нередко еще радуют взгляд путника по склонам балок, в каменистых и песчаных степях, а байбаков, заселивших благодаря стараниям человека многие степные ложины, заброшенные хуторища и даже окраины сел, можно увидеть иногда прямо из окна автомобиля, то токующего на заре стрепета услышать очень трудно.

Основная причина достаточно ясна: из-за распашки степей резко сократились ареал и численность стрепета (*Otis tetrix*). Принадлежа к древней, приходящей в упадок реликтовой группе птиц (семейству дрофиных отряда журавлеобразных), он оказался весьма консервативен в своих требованиях к среде обитания и поэтому с трудом приспосабливается к ее изменениям, сохраняясь лишь там, где еще остались значительные площади целины. Сейчас на месте некогда сплошного ареала, занимавшего всю степную полосу от Приднестровья до Алтая, известно всего несколько более или менее устойчивых популяций стрепета: донская, средневолжская и приуральская. Здесь, судя по



Самка стрепета.

Фото И. А. Мухина

учетам птиц на зимовках в Азербайджане, в настоящее время гнездится не менее 2—3 тыс. пар стрепетов. Но принимая во внимание, что часть их зимует за пределами Азербайджана, общую численность стрепета в СССР можно оценить, очевидно, в 3—4 тыс. пар.

На Дону стрепет заселяет чаще всего песчаные массивы по речным террасам: обычен на Доно-Цимлянских песках (0,5—1,5 пары на 1 км²), до 2 пар на 1 км² — в Шолоховском районе на Среднем Дону, по паре — на такой же площади Нижнекундрюченского массива в низовьях Северского Донца и на Чирских песках.

В зональных глинистых степях стрепет сейчас редок, лишь кое-где плотность его населения сопоставима с приведенными данными. Численность птиц почти повсеместно

сокращается, особенно в районах интенсивного овцеводства, где степи подвергаются мощной пастбищной деградации. Исчезает стрепет и на тех целинных массивах, где эпидемиологами были уничтожены суслики, которые своей роющей деятельностью благотворно влияли на травянистую растительность степей.

В то же время стрепет постепенно осваивает агроценозы, прежде всего посевы многолетних трав (люцерны, житняка и др.), реже — паровые поля и очень редко — зерновых культур. На полях люцерны птиц обычно больше, чем в прилегающих целинных степях, — 7—20 пар на 1 км². Но они приспособляются к сельхозугодьям лишь в том случае, если достаточно высока их численность в окружающих полях естественных местообитаниях. А будут ли заселены другие агроценозы — зависит, очевидно, от человека, его природоохранной деятельности.

Сейчас же, судя по результатам наших исследований и

анкетирования егерской службы, стрепет в Ростовской области сохранился в 29 из 42 административных районов (нет этой птицы в наиболее освоенных районах — Северо-Восточном Приазовье и Западном Предкавказье). Численность стрепета, по анкетным сведениям, составляет 100—500 особей. Но учитывая, что эти данные, как правило, сильно занижены (примерно на порядок), на Дону обитает, видимо, не менее 1,5—2 тыс. пар птиц.

Сюда они возвращаются с зимовки в конце марта — начале апреля, после окончания линьки надевают брачный наряд и занимают, наконец, гнездовые участки. Во второй половине апреля самцы начинают токовать, и в степях, как писал М. Шолохов, отовсюду слышно их призывное, неудержимо-страстное «тржиканье».

Услышав ток впервые, трудно поверить, что это кричит птица. Еще труднее установить ее местонахождение. Кажется, короткий сухой отрывистый треск, время от времени разносящийся над степью, раздаётся в 40—50 м, но подходишь ближе, а звуки как будто удаляются, пока не смолкнут совсем. И вдруг, трепеща искрищимися на солнце снежно-белыми крыльями и оглашая степные увалы громким вибрирующим свистом, недалеко, будто из-под земли, взрывается пегая, рыже-черно-белая птица величиной с курицу. И вот уже стрепет, описав в воздухе широкую дугу, скрылся вдали в траве, а его звенящий свист долго звучит в ушах сказочным гимном степным просторам.

В Заволжье, в местах, где стрепета еще много, он сохранил исконный обычай токовать на маленьких голых земляных площадках — топках, на которых самец выбивает ногами глухую барабанную дробь, заканчивающуюся криком-треском и высоким прыжком-взлетом. И если его дробь слышна за какую-то сотню метров, а крик — за полкилометра, то свист крыльев на взлете разносится еще дальше. А сами белые крылья, мелькающие над степью в виде вспыхивающих искр, видны за километр и больше. Этой эффектной брачной демонстрацией каждый самец показы-



Кладка.
Здесь и далее фото Б. А. Нечаява



Птенцы стрепета в песчаной степи.

вает, очевидно, что занял территорию. На Дону же, видимо, из-за резко снизившейся численности, токовое поведение стало сейчас нехарактерным — самцы издают лишь громкий треск, расхаживая по своему участку. Все-го несколько раз мне пришлось наблюдать по-настоящему токового стрепета, и то в закрытых местах среди высокотравья или редколесий, затрудняющих птицам обзор местности.

Рядом с точком держится и самка. Перед началом гнездования она несколько раз посещает его, спаривается и в конце мая откладывает 4 яйца в неглубокую, скудно выстланную растительной ветошью ямку, вырытую среди степного разнотравья. Через 3 недели насиживания вылупляются птенцы, которых самка одна, без помощи самца, самоотверженно опекает в течение полутора месяцев, пока молодняк не

поднимется на крыло. После этого стрепеты сбиваются в стаи и готовятся к отлету на зимовки. К началу октября, времени отлета, скопления их на Дону достигают порой 500—1000 особей.

Состояние популяций во многом зависит от условий в период насиживания. Именно в это время многие гнезда погибают в результате хищничества, вытаптывания скотом, непреднамеренного уничтожения сельскохозяйственными машинами. Последние особенно губительны на полях многолетних трав, поскольку в первую косовицу под ножами гибнут не только гнезда, но и сидящие на яйцах самки. В последние годы большой урон наносят чрезмерно размножившиеся в лесополосах врановые — грачи, вороны, сороки, кормящиеся в степи и уничтожающие множество гнезд. По данным В. Н. Мосейкина, в агроландшафтах сейчас гибнет от различных причин более 90 % кладок стрепета, что ставит под угрозу существование вида.

Для сохранения и восстановления численности стрепета можно рекомендовать простейшие биотехнические меры, направленные прежде всего на создание подходящих условий в период гнездования: засеять люцерной широкие полосы вдоль кромки полей, примыкающих к целине, и дисковые прилегающие к угольям участки целины для развития залежной растительности. Чтобы предотвратить гибель кладок в полях многолетних трав, желательно пораньше — до середины мая — провести их первую косовицу и оставить несошенными неширокие кулисы, в которых могли бы повторно гнездиться самки, потерявшие первые кладки. Вокруг паровых полей, заселенных стрепетом, кулисы тоже были бы полезны — они привлекут на гнездовье самок, кладки которых погибли рядом при культивации полей. А окончательную обработку почвы на этих участках можно проводить после завершения гнездования стрепета.

«Окультуривая» природу, добывая себе хлеб насущный, мы попутно губим многих ее питомцев. Как же не пойти теперь на уступки?

Геохимические технологии

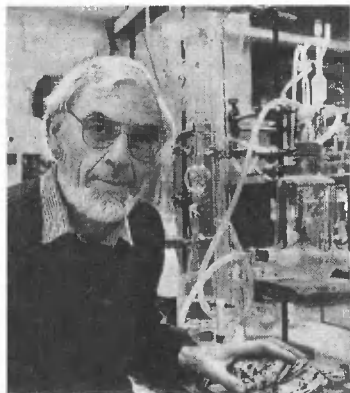
Во время одного из визитов в СССР профессор Р. Шхаулин прочел в Институте экспериментальной минералогии АН СССР лекцию, в которой изложил совершенно оригинальный подход к разнообразным проблемам защиты окружающей среды от индустриальных отходов и продуктов жизнедеятельности. Основная идея Шхаулина довольно проста: природа за миллиарды лет существования Земли сталкивалась с различными ситуациями и каждый раз находила решение, не противоречившее развитию цивилизации. Ее сохранению помогло бы и использование моделей природных процессов для организации промышленных методов борьбы с отходами. В этом случае мы гарантированы от самых неожиданных негативных последствий, поскольку такие технологии проверены природой задолго до нашего появления.

В русский перевод пятого английского издания книги Р. Шхаулина «Основы геохимии», готовящийся в издательстве «Мир», автор включил и эту лекцию, так что его идеи в наиболее полном объеме впервые будут опубликованы в русском издании. Переводчику эта глава показалась столь интересной, что ее сокращенный вариант предложен журналу «Природа»¹.

Шмулович К. И.,

доктор геолого-минералогических наук
Институт экспериментальной минералогии АН СССР

Р. Шхаулин



Рольф Шхаулин, профессор геохимии, декан факультета наук о Земле Утрехтского университета (Нидерланды). С 60-х годов занимается проблемами охраны окружающей среды, и сейчас благодаря его усилиям Утрехтский университет располагает несколькими патентами на геохимические методы очистки индустриальных отходов. По инициативе Шхаулина установлено сотрудничество между возглавляемым им факультетом и Институтом экспериментальной минералогии АН СССР.

ПОД ТЕРМИНОМ «геохимическая технология» подразумевается использование геохимических процессов в реальной природной обстановке. Важнейшая часть геохимической технологии — охрана среды. Но существуют и другие ее аспекты, например изменение физических свойств материалов при химическом воздействии.

Различие между геохимической технологией и геохимией окружающей среды аналогично различию между техникой и наукой. В науке наблюдатель (даже весьма талантливый) не является частью системы, которую он изучает, тогда как в технике инженер играет активную роль в создании или модификации разрабатываемой системы. Если, занимаясь геохимией окружающей среды, специалист исследует собственно геохимические процессы, то в геохимической технологии они являются той «печкой», от которой начинается разработка технологических процессов.

Проблема защиты окружающей среды

¹ Если читателей заинтересуют изложенные здесь методы, они могут обратиться за подробностями в ИЭМ АН СССР по адресу: 142432, Московская обл., Ногинский р-он, п/о Черноголовка.

обычно возникает при слишком высоком уровне загрязнений важнейших ее составляющих — грунтовых вод, почвы, атмосферы. Дефицит рассеянных элементов (йода, фтора и др.) также может стать причиной негативного воздействия среды на биоту. Во многих случаях загрязняющие компоненты удается разрушить или превратить в менее вредные вещества (в первую очередь это касается органики). Радиоактивные отходы уничтожаются благодаря радиоактивному распаду. Кислоты могут быть нейтрализованы. Однако большинство неорганических загрязняющих компонентов требуют совершенно иных подходов. И сама природа подсказывает нам различные способы ее защиты. Здесь кроме распада и нейтрализации следует выделить природные процессы концентрирования, рассеивания, иммобилизации (фиксации) и изоляции. Попытаемся в защите среды использовать весь этот набор.

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Концентрирование в природе реализуется при рудообразовании, когда вещество из большого объема с низкой концентрацией переходит в малый объем с высокой концентрацией. Наиболее ярко это проявляется в черных курильщиках на дне океана, где образуются массивные сульфидные руды. Если мы имеем загрязненный резервуар, можно попытаться сконцентрировать вредные вещества в малом объеме, очистив таким образом исходный резервуар. Малое количество высококонцентрированных отходов можно осадить в контролируемых условиях без взаимодействия с окружающим веществом, а в отдельных случаях и переработать.

Рассеивание — обычный природный процесс, эквивалентный выветриванию. Его удается наблюдать, например, в вулканических fumarолах, где исходная концентрация разбавляется в большом резервуаре и, следовательно, вещества теряют токсичность. Рассеивание широко используется в защите среды. На нем основаны любые сбросы вредных веществ в реки и моря, выбросы в атмосферу, т. е. смешение загрязняющих веществ с большим количеством достаточно чистого материала. Цель рассеивания как решения экологических проблем состоит в том, чтобы при разбавлении концентрация загрязняющих веществ опустилась ниже уровня, допустимого законом.

Иммобилизация (фиксация) проявляется в природе в самых разных формах. Например, вещество фиксируется, когда обра-

зуется нерастворимый минерал, когда какой-то элемент входит в кристаллическую решетку минерала в виде изоморфной примеси или адсорбируется на минералах типа глины и цеолитов. Вещество лишается подвижности, если оно оказывается заключенным в непроницаемой среде (например, в вулканическом стекле или глине, поровом пространстве растущего минерала). Фиксация вещества во многих случаях — эффективный природный механизм защиты среды. Меняя степень окисления или добавляя какие-то химикаты, мы могли бы вызвать искусственное осаждение минералов, лишить подвижности некоторые ядовитые вещества. Однако в ряде стран в соответствии с их законодательством фиксация не считается истинным решением экологических проблем, поскольку не ведет к снижению концентрации загрязняющих веществ, а лишь изолирует их от биосферы.

Изоляция, толкуемая расширительно, является частью иммобилизации. Выше рассмотрена изоляция на атомном уровне и на уровне минерала, здесь же остановимся на изоляции некоего цельного резервуара, отделенного от вмещающей среды. В природе изоляция реализуется в глинистых отложениях или других непроницаемых породах. Изоляция — один из самых распространенных методов охраны среды: он значительно дешевле других и к тому же создает ощущение секретности. Но это ощущение ложное, поскольку любой способ изоляции нельзя считать абсолютно надежным. Как бы хорошо, на первый взгляд, ни были изолированы отходы, в любой момент может произойти их утечка. Поэтому изоляция приемлема только в тех случаях, когда объект со временем самопроизвольно теряет токсичность, или же как временная мера — до разработки надежных технических приемов обезвреживания.

Физическое воздействие на среду подразумевает изменение ее физических свойств химическими методами. Это повышение проницаемости пород (например, впрыскивание кислот в нефтеносные породы), или ее снижение (впрыскивание вяжущих веществ), повышение прочности пород (реакции цементации *in situ*) или ее уменьшение (кислотное воздействие на известняки), изменение объема пород с помощью метасоматических реакций и т. п. В общем, это любые изменения физических свойств среды с помощью химических реакций.

Другие аспекты геохимических технологий связаны с концепцией использования природных физико-химических процессов для искусственного получения веществ. При-

мер: получение воды в пустыне, основанное на низкотемпературной ночной гидратации гигроскопичных солей и дневной их дегидратации с высвобождением поглощенной воды.

Геохимические технологии обычно базируются на природных аналогах. Однако большинство природных процессов протекает слишком медленно. Поэтому, несмотря на то, что изучение геохимических процессов стимулирует развитие геотехнологий, простая их реализация неэффективна. Для оптимизации параметров промышленных технологий приходится повышать температуру, использовать отличные от природных интервалы концентраций, увеличивать поверхности реагентов и т. п.

Обобщив основные особенности геохимических технологий, рассмотрим их более детально на конкретных примерах.

ОСЛАБЛЕНИЕ, РАЗЛОЖЕНИЕ ИЛИ НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ

Эта группа геохимических технологий базируется на способности некоторых материалов терять свою токсичность и другие вредные свойства при различных преобразованиях. (В случае радиоактивности ускорить распад невозможно, поэтому геохимические технологии, связанные с захоронением радиоактивных отходов, будут рассмотрены в разделе «иммобилизация».)

Некоторые органические вещества, как уже отмечалось, сравнительно легко разрушаются микробиологическими методами и термической обработкой. Здесь подробнее рассмотрим нейтрализацию, в частности нейтрализацию промышленных кислых отходов.

В ряде отраслей промышленности сырье обрабатывают кислотами, которые, пройдя технологический цикл, становятся слишком разбавленными и (или) слишком грязными. Существуют три способа их утилизации: сброс (в море, поверхностные водоемы, подземные резервуары), повторное использование и нейтрализация. По мере роста наших знаний об окружающей среде первый способ применяется все меньше и меньше. Повторное использование иногда возможно, но в случае серной кислоты — а она наиболее распространена в промышленности — энергетически невыгодно. Для нейтрализации отходов с серной кислотой обычно используют CaCO_3 , однако при этом остается большое количество загрязненного гипса. Вообще, проблема гипса, образующегося при десульфурации газов на

тепловых электростанциях, и без того достаточно остра в индустриально развитых странах. Следовательно, в этом случае проблема не решается, а лишь переносится с жидких продуктов на твердые.

Природа и сама производит много серной кислоты: ежегодно из вулканов поступает $16 \cdot 10^6$ т H_2SO_4 , а за счет окисления серы горных пород добавляется еще $2 \cdot 10^7$ т. Ясно, что вся эта кислота утилизируется в реакциях при выветривании пород. Хотя силикаты менее подвержены выветриванию, чем карбонаты, не следует забывать, что кальций и магний карбонатных пород в конечном счете образовались при выветривании силикатов. Из распространенных силикатов наибольшую реакционную способность проявляет оливин — $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$, поэтому мы разработали технологию, в которой промышленные кислотные отходы нейтрализуются оливином.

Оливин помещается в нижней части резервуара с агрессивной смесью кислот. Оказалось, что при температуре $70\text{--}100^\circ\text{C}$ для почти полного завершения процесса (нейтрализуется 99 % кислоты) достаточно 2 часа. Причем процесс этот экзотермический и, раз начавшись, поддерживается сам. В результате образуется кремнезем хорошего качества, который после полимеризации и отделения от раствора (при pH 1—2) может быть собран на фильтрах. При производстве красителя на основе TiO_2 (титановые белила) образуются кислотные отходы с высоким содержанием ванадия и хрома, которые можно почти полностью осадить в небольшом объеме, повысив pH до 3,5—4 (без доступа воздуха для предотвращения соосаждения железа). Если pH довести до 7, при доступе воздуха станет осаждаться железо, содержавшееся в исходных кислых отходах и оливине. Его удается осадить в виде тонкозернистого магнетита, а не аморфных гидроокислов, что облегчает фильтрацию и уменьшает объем продукта.

Конечным продуктом является чистый, концентрированный раствор MgSO_4 , который можно использовать как источник магнезии. (Напомню, что ныне ее получают частично из морской воды, где концентрация MgSO_4 значительно ниже.) И хотя промышленностью эти технологии еще не освоены, их перспективность очевидна, поскольку оливин широко распространен и дешев (один только рудник Аахейм в Норвегии производит около 2 млн. т оливины ежегодно). Главное преимущество рассмотренного процесса в том, что все его продукты можно либо использовать, либо хранить без вреда для окружающей среды.

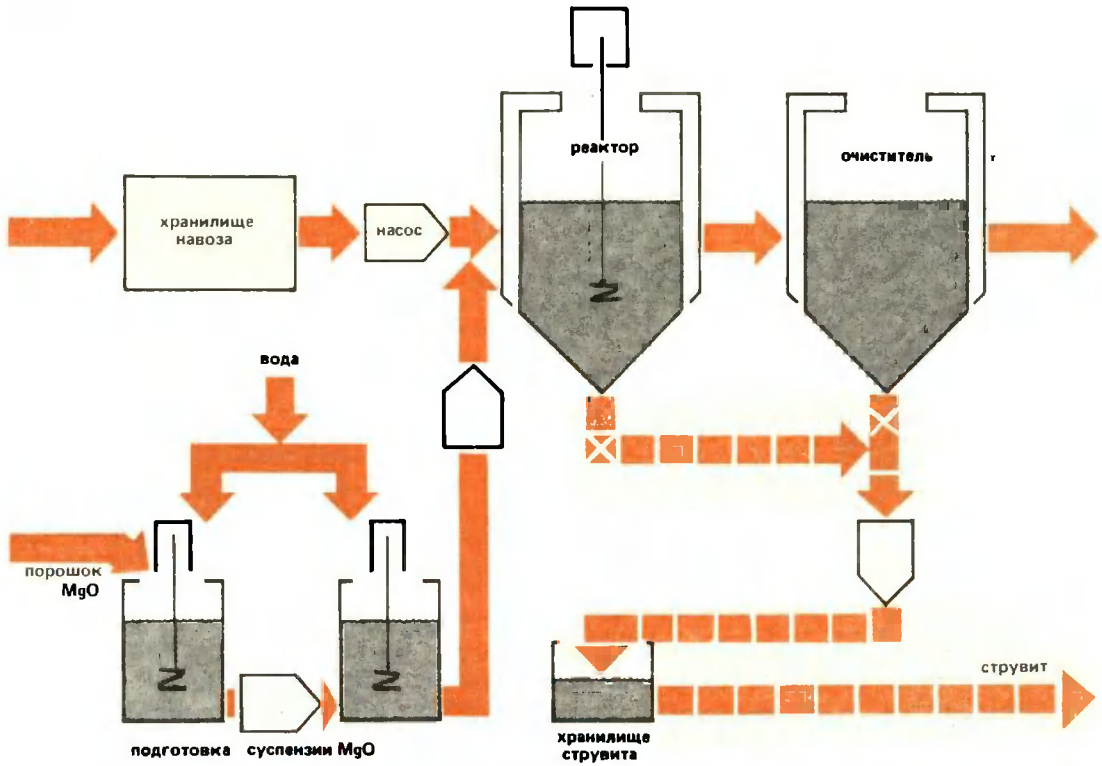


Схема лабораторной установки для дефосфатации стоков ферм.

КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ

Образование любого рудного месторождения — успешная попытка природы превратить большой объем пород с низкой концентрацией элементов в малый объем с высокой концентрацией. Многие технологии утилизации отходов имеют ту же цель: обработать загрязненный резервуар, сконцентрировав вредные компоненты в небольшом объеме и очистив тем самым исходный объем. Приведем два примера, основанных на геохимии и минералогии.

В ряде стран столь широко развито животноводство, что по крайней мере в некоторых районах скапливаются большие количества органических отходов — больше, чем может использовать местная агротехника. С избытком навоза связано сразу несколько вредных эффектов: здесь и загрязнение поверхностных вод фосфатами, и выделение аммиака (который окисляется до азотной кислоты, выпадающей с кислотными дождями), и загрязнение подземных вод

нитратами, и запах, и чрезмерная концентрация солей в почвах и водах.

В промышленных масштабах для решения этой проблемы используют разные способы: восстановление навоза в биоиндустрии, осаждение фосфатов при добавлении солей железа и алюминия, микробиологическая денитрификация, высушивание для получения продукта, пригодного к перевозке. Несколько лет назад мы столкнулись со способом дефосфатизации органических отходов, придуманным самой природой. При раскопках в средневековой части Амстердама археологи обнаружили много крупных коричневых кристаллов, диагностированных как струвит — $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Они найдены на месте, куда в XIII в. сливались отходы жизнедеятельности. После ряда реакций эти продукты образовали в анаэробных условиях струвит.

Мы попытались осадить фосфор (в виде калиевого аналога струвита) из предварительно денитрифицированного телячьего навоза. Оказалось, что в экспериментах легко удается достичь 98—99 % дефосфатизации. Метод очень прост — он состоит в соединении органических отходов с суспензией оксида магния и механическом перемешивании. В ходе реакции pH медленно

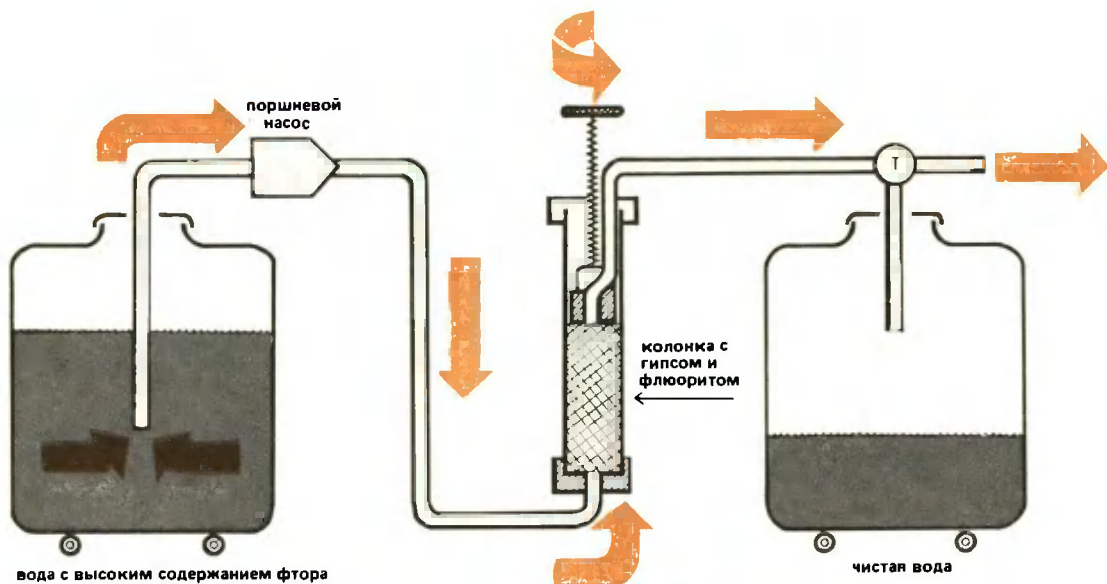
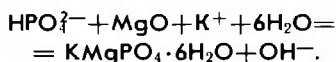


Схема установки для обесфторивания питьевой воды.

возрастает, и при значениях 9,5—10 начинает осаждаться калиевый струвит — KMgPO_4 :



Как видно из уравнения реакции, добавление оксида магния преследует две цели: дает ион Mg для струвита и сдвигает фосфатное равновесие в сторону $[\text{PO}_4^{3-}]$, что обеспечивает пересыщение по струвиту. В большинстве случаев органические отходы содержат избыток калия и аммония. И поскольку MgO растворяется довольно медленно, струвит имеет время для роста — иногда его кристаллы достигают 25 мкм. Такие кристаллы сравнительно быстро осаждаются, их легко отфильтровать и высушить. При нагревании до 120°C струвит теряет 5/6 связанной воды и становится аморфным. Такой концентрированный и к тому же стерилизованный продукт представляет собой ценное, медленно растворяющееся удобрение.

Другой пример связан с природной экологической аномалией. Во многих аридных зонах подземные воды, используемые как источник питьевой воды, содержат избыток фтора, что ведет к эндемичному флюорозу местного населения. Флюороз вызывает кариес зубов, а также поражает кости и суставы, приводя больного к полной неподвижности. Эндемический флюороз рас-

пространен в Индии, Пакистане, Шри-Ланке, Вьетнаме, Танзании, Кении, Сенегале, на северо-востоке Бразилии и среднем западе США. Только в одной Индии количество больных флюорозом составляет, по разным оценкам, от 500 тыс. до 1 млн. чел.

Установлено, что высокие концентрации фтора характерны для бедных кальцием щелочных природных вод. Обычно концентрация кальция достаточно высока, что лимитирует концентрацию фтора через осаждение флюорита. В других случаях выпадающие осадки разбавляют выщелоченный из горных пород фтор и снижают его концентрацию до приемлемого уровня. Поэтому во влажном климате испарение не должно приводить к опасному концентрированию фтора.

Существует много способов удалить фтор из воды, но большинство из них требует определенной технической культуры: применения системы централизованного водоснабжения, дорогих реактивов и т. п. В сельской местности с индивидуальными источниками воды необходимы совершенно другие методы и приспособления, не связанные с ежедневным обслуживанием, пригодные для отдельных колодцев и дешевые.

Мы разработали такой метод, в котором богатая фтором вода проходит через пласт гипсового песка. В созданной нами лабораторной установке для дефторирования воды ее равновесие с гипсом приводит к повышению концентрации кальция и осаждению флюорита, особенно если в гипсе

рассеяны зародыши кристаллов флюорита. Нам удалось понизить концентрацию фтора от 10^{-5} до $2 \cdot 10^{-6}$. Это несколько выше нормы Всемирной организации здравоохранения ($1,5 \cdot 10^{-6}$), но при таком уровне сохраняется лишь риск кариеса.

РАЗБАВЛЕНИЕ

Разбавление локального загрязнения за счет смешивания с большим объемом незагрязненного материала вряд ли можно назвать оригинальной технологией: каждый день мы что-то моем, используя избыток воды, постоянно сбрасываем отходы в реки и моря. Однако и тут возможны новые подходы. Один из примеров очистки разбавлением — сравнительно недавно разработанный способ удаления трихлорэтана из системы забора питьевой воды. Поскольку трихлорэтан значительно более летуч, чем вода, система сконструирована так, чтобы загрязненную воду прибывало к стенкам. Затем эта вода распыляется, что резко снижает загрязнение.

Другой пример — микробиологическая десульфурация угля — несколько перекрывается с процессами концентрирования, на которых мы еще остановимся. Известно, что некоторые бактерии способны окислять сульфиды, в частности пирит. Отделить от угля тонкозернистый рассеянный пирит физическими методами невозможно. Но если на угольном шламе культивировать бактерию *Thiobacillus* (например, на заброшенных угольных выработках), то за несколько дней пиритная сера будет связана. Затем полученные соединения растворяются в грунтовых водах. Это еще один вариант геохимической технологии, основанной на разбавлении.

ИММОБИЛИЗАЦИЯ (ФИКСАЦИЯ)

Преобразование опасных отходов в нерастворимые неподвижные формы или их заключение в некорродирующие материалы — один из распространенных подходов к решению экологических проблем. В последние годы особенно острой стала проблема иммобилизации радиоактивных отходов. Этот пример здесь и рассмотрим.

Отходы атомных электростанций представлены главным образом смесью нестабильных окислов. Чтобы лишить их подвижности, отходы остекловывают, затем помещают в цилиндры из нержавеющей стали, а их, в свою очередь, — в специфическую геологическую среду: донные океанические осадки, соляные купола, глинистые пласты или пустоты в однородных изверженных по-

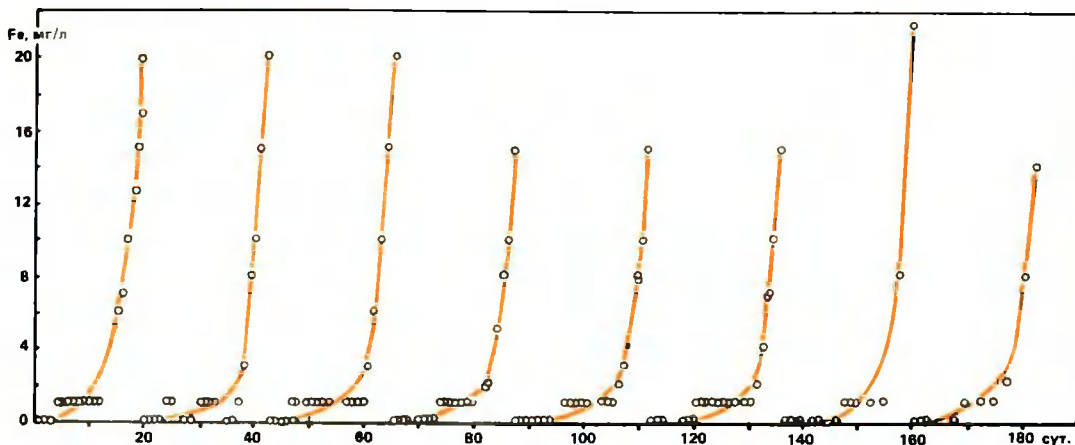
родах. Цель всех этих операций — изолировать отходы от биосферы на время, достаточное для снижения уровня радиоактивности. По самым скромным подсчетам, время изоляции должно составлять не менее 10 % периода полураспада самого долгоживущего изотопа ^{239}Pu (период полураспада 24 тыс. лет).

Хотя «стеклянная» технология общепринята и относительно дешева, стекло слишком непрочный материал. Предпочтительнее превратить ядерные отходы в смесь искусственных устойчивых минералов. Эта идея, предлагавшаяся многими исследователями, легла в основу концепции SYNROC, разработанной австралийским геохимиком Е. А. Рингвудом². Суть ее в следующем: если к радиоактивным отходам добавить определенные химические компоненты и нагреть смесь до температуры несколько ниже точки плавления, образуется керамика из стабильных новообразованных минералов. Выбор компонентов основан на информации об устойчивости минералов, содержащих те же элементы, что и ядерные отходы (Sr, Cs, актиниды), или их геохимические аналоги. Рингвуд в качестве консервирующих минералов предложил перовскит — CaTiO_3 , цирконолит — $(\text{Ca}, \text{Th}, \text{Ce}) \text{Zr} (\text{Ti}, \text{Nb})_2\text{O}_7$ и голландит — $\text{BaMn}_8\text{O}_{16}$. Устойчив в геологических процессах и монацит — его тоже можно использовать для иммобилизации некоторых ядерных отходов.

При правильном выборе материала контейнера он может стать вторым барьером. Известно, что нержавеющая сталь окисляется в агрессивной среде (например, морской воде) за несколько лет. Химически более инертные медь или титан явно предпочтительнее.

Третий барьер впервые проявился при работе природного ядерного реактора в Окло (Габон). Произошло это также 1,8 млрд. лет назад. Чтобы началась цепная реакция, ядерное топливо должно содержать около 3 % ^{235}U . В современном уране концентрация этого изотопа обычно не превышает 0,7 %, и его приходится обогащать. Но 1,8 млрд. лет назад в природном уране было более 3 % ^{235}U . Следовательно, в присутствии подходящего замедлителя (грунтовых вод) могли быть достигнуты критические условия. Это в истории Земли случилось по крайней мере однажды — в районе Окло. Судьбу продуктов деления и актинидов, образовавшихся в реакции, можно проследить и сейчас. Оказалось, основная их часть не

² Ringwood E. A. Safe disposal of high-level nuclear reactor wastes: a new strategy. Canberra, 1978.



Изменение содержания железа в питьевой воде из скважины при периодической закачке около 3 тыс. м³ насыщенной кислородом воды обратно в скважину. Такой способ очистки не требует строительства фильтровальных установок.

покинула реактор, а была поглощена глинистыми минералами урановых пластов. Значит, хранилища ядерных отходов следует окружать глинами с высокой ионообменной емкостью, например бентонитом. Конечно, такой барьер — типично геологический, и все же его идея близка к геохимической технологии.

Другой пример иммобилизации связан с мышьяком в грунтовых водах. Многие неокисленные грунтовые воды содержат 10^{-3} — 10^{-2} г железа и 10^{-6} — 10^{-5} г мышьяка в 1 л. До использования воды из нее удаляют железо, иначе вода будет оранжево-коричневой. Это достигается фильтрованием воды после интенсивного пропускания через нее воздуха. Но в ходе окисления и осаждения железа мышьяк переходит из арсенита в арсенат и осаждается вместе с железом. В зависимости от исходного соотношения железа и мышьяка осадок содержит 10^{-4} — 10^{-3} % мышьяка.

По законам Нидерландов, любое вещество, содержащее свыше 50 мг мышьяка в 1 кг сухой массы (т. е. более $5 \cdot 10^{-3}$ %), рассматривается как химические отходы. В этой связи все железистые отстой водного хозяйства страны считаются химическими отходами и должны перерабатываться соответствующим образом. Голландские специалисты нашли элегантное решение: периодически меняя направление потока воды в скважинах, в них закачивают насыщенную воздухом воду, создавая вокруг забоя зону окисления, где осаждаются железо и мышьяк, что делает излишним создание

фильтровальных установок. Способ эффективен и не ведет к снижению проницаемости пород вокруг скважины. Однако в Нидерландах он не получил признания из-за закона, запрещающего закачку любых химических отходов в недра. Парадокс в том, что сама природа производит богатые мышьяком железистые соединения во многих районах страны, где восстановленные подземные воды попадают в окислительные условия.

В заключение этого раздела кратко остановимся на **ИЗОЛЯЦИИ**, поскольку иммобилизация, как уже отмечалось, является ступенью к изоляции. Но если иммобилизация работает на уровне атомов или отдельных минералов, то изоляции подвергается объект в целом: загрязненный резервуар, место захоронения отходов и т. п. Главную роль в изоляции играют, конечно, физические процессы, а геохимические технологии привлекаются лишь в тех редких случаях, когда, например, отходы приходится просто закапывать в землю.

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДЫ

Изменение проницаемости. Во многих случаях, когда стоит задача извлечь из резервуара какой-то газ или жидкость (воду, нефть, природный газ), необходимо увеличить проницаемость среды. Если же нужно подавить утечку жидкости из природного резервуара, проницаемость среды следует уменьшить. Вода слишком дешева, чтобы при ее добыче применять сложные дорогостоящие методы. Зато в нефтедобыче стимулирование притока нефти к скважине весьма распространено. Большинство применяемых здесь методов основано на физических воздействиях (взрыве в забое, нагре-

вании нефтеносной толщи парами для снижения вязкости нефти). Но существуют и типично геохимические технологии, например закачка кислот для растворения карбонатного цемента.

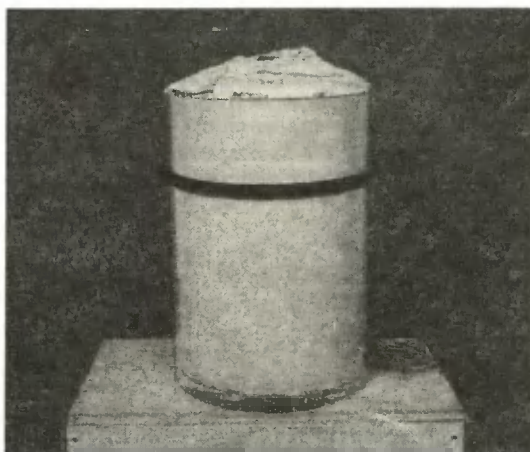
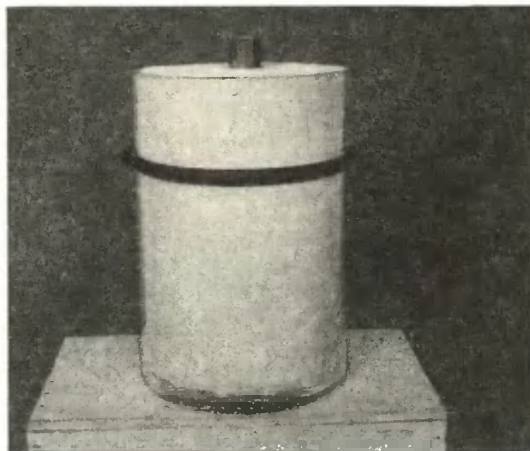
Изменение прочности или стабильности. Иногда необходимо повысить прочность вещества или изменить его структуру — эту задачу приходится, в частности, решать, чтобы предотвратить его разрушение или превратить в конструкционный материал. В случае сыпучих песков это можно сделать вибрацией, вызывающей более плотную упаковку песчинок. Химическими средствами удается провести цементацию *in situ*. (Вероятно, первым примером использования геохимической технологии для уменьшения прочности пород была обработка известняков уксусом, обеспечившая безопасный проход слонам Ганнибала.) Однако снижения прочности пород для облегчения их добычи редко добиваются химическими средствами.

Изменение объема. Многие плотно населенные районы мира расположены на уровне моря или даже ниже. Любое повышение уровня океана из-за парникового эффекта или других причин может стать для них бедствием. Более того, судьба некоторых городов (например, Венеции или Бангкока) неясна даже при современном уровне моря, поскольку почвы и породы под ними проседают. Все это хорошо известно. Но немногие знают, что в некоторых случаях уровень земной поверхности можно повысить.

Известняки, взаимодействуя с серной кислотой, образуют гипс. Его мольный объем ($74,2 \text{ см}^3$) более чем вдвое превышает мольный объем кальцита ($36,9 \text{ см}^3$). Следовательно, закачав серную кислоту в известняк, мы увеличим его объем в два с лишним раза. Поскольку породы могут расширяться главным образом в направлении земной поверхности, уровень ее повысится в тех местах, где залегают проницаемые известняки. Лабораторные эксперименты и термодинамические расчеты доказывают, что воспрепятствовать расширению пород неспособно даже значительное литостатическое давление.

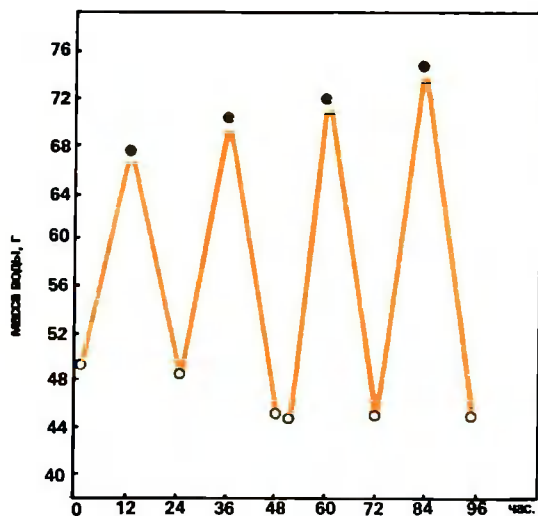
Эта идея применима, конечно, только в ограниченных масштабах (для создания искусственных островов, берегоукрепительных работ, защиты отдельных памятников культуры). Кстати, для снижения стоимости работ можно использовать промышленные кислотные отходы.

Изменение магнитных свойств. Как уже отмечалось, очень трудно отделить от угля загрязняющий его тонкозернистый пирит.



Лабораторный эксперимент, иллюстрирующий возможность повышения уровня земной поверхности при закачке серной кислоты в проницаемые известняки. В стакан, наполненный измельченным кальцитом добавляется кислота, и в результате образуется менее плотный гипс.

Физическими методами сделать это невозможно, поскольку пирит немагнитен. Но пирит разлагается при плавлении ($743 \text{ }^\circ\text{C}$) с образованием пирротина (FeS) и серы. И это его свойство можно использовать для удаления серы из угля. Если уголь нагреть до температуры, при которой пирит быстро разрушается, половина его серы и значительная часть органической серы из угля перейдут в газовую фазу. После охлаждения эту серу можно собрать на ловушках и использовать для производства серной кислоты. Пирротин же, обладающий магнитными свойствами, удаляют магнитной сепарацией.



Цикличность гидратации-дегидратации CaCl_2 в лабораторном эксперименте по получению воды в пустыне. Ночная гидратация происходит при относительной влажности 55 % и температуре 17 °С, дневная дегидратация — при 80 °С.

ДРУГИЕ СПОСОБЫ

Существует немало смешанных способов переработки промышленных отходов и продуктов жизнедеятельности, которые не вписываются в разработанную нами классификацию. Трудно очертить область их применения. Ясно лишь, что в дальнейшем, с развитием геохимических технологий, она будет расширяться. Чтобы дать хоть какое-то представление о смешанных способах, рассмотрим один пример.

Давно уже заметили, что в пустынях

ранним утром, когда температура начинает повышаться, почвы становятся влажными. На солнце они высыхают, а на следующий день все повторяется сначала. (Такие почвы называют «сабах» — по-арабски «утро».) Эффект объясняется тем, что частицы почвы покрыты корочкой из гигроскопических солей кальция и магния. Ночью — при низкой температуре и относительно высокой влажности — соли гидратируются, а днем — при повышении температуры — теряют воду. Этот простейший эффект можно использовать для получения питьевой воды.

Пропитаем пористую ткань раствором CaCl_2 и высушим ее. Ночью вынесем ткань на воздух, а утром поместим в выставленный на солнце черный ящик, чтобы при повышении температуры соль «отдала» воду. Ящик соединим трубкой с охлаждающим резервуаром, в котором и будет конденсироваться вода. С помощью такой простейшей установки мы получали около 0,75 л воды за сутки (при площади ткани 1 м²). Промышленное использование данной технологии позволило бы резко сократить перевозки воды в пустынные районы.

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Даже из приведенного небольшого обзора видно, что геохимические технологии позволяют решить множество вполне конкретных вопросов, связанных с защитой окружающей среды. Но их конечная цель неизмеримо шире: она в использовании человеком только тех процессов, которые «придумала» сама природа, а также в полной совместимости технологий и материалов с окружающей средой.

Публикацию подготовила Л. Д. Майорова

Новая модель геодинамических процессов

Академик Ю. М. Пуцаровский

САМАЯ распространенная модель глубинных геодинамических процессов — плиттектоническая. В ее рамках признается, что внутри земного шара, между ядром и литосферой, существует единая крупноячеистая система конвективных движений мантийного вещества, вызывающая и направляющая перемещение литосферных плит. Оно происходит по слою пониженной вязкости — астеносфере, которая располагается на глубинах 300—400 км под континентами и от нескольких километров до 80 км под океанами. Однако многие явления, и в первую очередь перемещение (иногда на очень большие расстояния) мощных или тонких внутрилитосферных пластин горных пород по полному срывам, в эту модель не укладываются.

В связи с этим советский геофизик Л. И. Лобковский предложил двухъярусную модель тектоники плит, соглас-

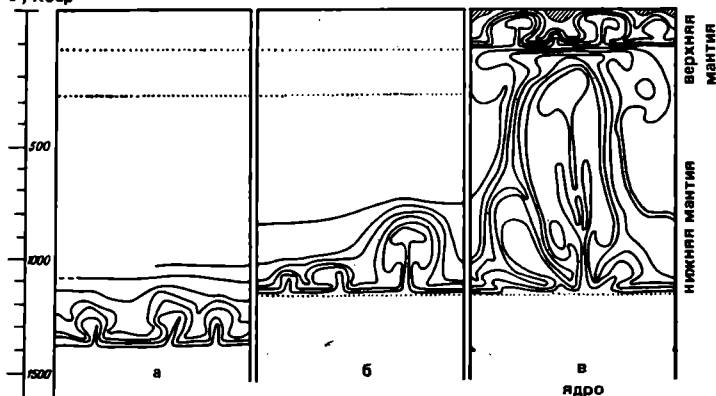
но которой помимо движений литосферных плит по астеносфере имеется независимое перемещение тектонических масс по поверхности Мохоровичича, т. е. по основанию земной коры. Но и эта модель (созвучная, кстати, идеям А. В. Пейве и Н. А. Богданова, высказанным еще 10 лет назад) не полностью охватывает геодинамические явления. В частности, она совершенно не касается структурообразования в тех областях мантии, которые заключены между астеносферой и земной корой, а также глубокие астеносферы.

Автором этих строк, В. Л. Новиковым, А. А. Савельевым и В. Е. Фадеевым предложена новая модель конвективных процессов в мантии Земли и ее коре¹. Эти процессы разномасштабны, происходят на разных глубинах (вплоть до ядра) и в общем нерегулярны. Лишь иногда их проявления достигают глобального масштаба.

Основой для построения модели послужило несколько весьма существенных фактов, ставших известными в последний период. Назовем лишь некоторые из них.

Схема развития каскадной конвекции в мантии: а — слабая конвекция в нижней части мантии, возможная при малом избытке тепла и химическом составе, близком к составу внешнего ядра. б — большой запас плавучести вещества приводит к выносу масс к границе верхней мантии. в — конвективное возмущение затрагивает и верхнюю мантию, мощный поток тепла и массы резко дифференцирован.

Р, кбар



¹ Пуцаровский Ю. М., Новиков В. Л., Савельев А. А., Фадеев В. Е. // Геотектоника. 1989. № 5. С. 3—13.

Прежде всего, в верхних геосферах геологическими и геохимическими методами установлены разные по размерам вещественные неоднородности, сменяющие друг друга не только по вертикали, но и по горизонтали. Их индикаторами служат минеральный состав пород, содержание редких элементов в них и изотопные отношения таких элементов, как стронций, неодим и свинец. Разницу в составе пород проще всего объяснить дифференцированным характером глубинных тепло-массопотоков.

То же объяснение приложимо и к другому феномену — геофизическим неоднородностям, которые выражаются в сложных пространственных соотношениях низко- и высокоскоростных сейсмических слоев, а также в гравитационных аномалиях. Существенно и то, что астеносфера распространена на Земле не повсеместно, а прерывисто. Но именно на предположении о единстве слоя астеносферы базируется тектоника литосферных плит.

Все это привело к мысли о сложном проявлении глубинных тепло-массопотоков, зарождающихся в земном ядре. Под их влиянием возникают конвективные ячеи, которые, как и неоднородности, весьма различны по размерам, распространены на разных расстояниях от ядра и непостоянны во времени. В конечном счете, тепло-массопотоки и есть главная причина тектонических движений и структурообразования в земных оболочках.

Предложенная геодинамическая модель многоярусна, в ней утверждается тектоническое расслоение коровых и мантийных масс на многих уровнях. Теоретически областью структурообразования может быть вся совокупность геосфер над земным ядром. Вероятно, это так, поскольку сейсмическая томография выявила глубинные аномалии до уровня 2750 км, т. е. практически до ядра².

Изложенная концепция подтверждается результатами лабораторного и численного моделирования конвективных процессов.

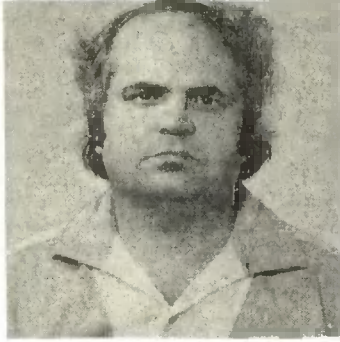
² Природа. 1990. № 10. С. 49.

Информация, эволюция и техногенез

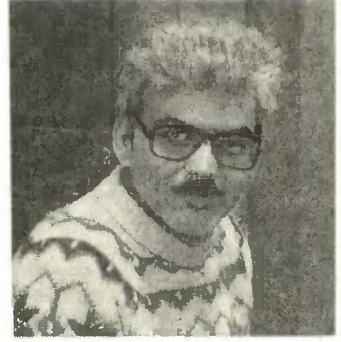
В. И. Корогодин, Ю. А. Кутлахмедов, Ч. Файси



Владимир Иванович Корогодин, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Отдела биофизики Объединенного института ядерных исследований. Основные научные результаты относятся к радиобиологии, генетике, теории информации.



Юрий Алексеевич Кутлахмедов, доктор биологических наук, заведующий лабораторией радиобиологической надежности биосистем Института клеточной биологии и генетической инженерии АН УССР. Научные интересы связаны с радиобиологией, теорией информации и эволюционной теорией.



Чаба Файси, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биофизики Биологического центра Венгерской Академии наук. Занимается математическим моделированием биологических процессов и теорией информации.

В 1988 г. мировая научная общественность отмечала 125 лет со дня рождения В. И. Вернадского. Замечателен Вернадский не только как основатель двух новых наук — биогеохимии и учения о биосфере, но и как основоположник научного мировоззрения, трактующего развитие Земли, эволюцию биосферы и становление человеческого общества как единый процесс, подчиняющийся объективным закономерностям.

Значение этого учения стали осознавать лишь в последние десятилетия, в связи с развитием мощной информационной системы и глобальных технологий, загрязнением биосферы и рождением ядерной энергетики. Учение Вернадского о трансформации биосферы в ноосферу¹ может служить методологической основой анализа этих феноменов, позволяющего противопоставить разумную человеческую деятельность стихийности. Однако учение Вернадского — лишь исходная концепция, которая нуждается

в разработке и конкретизации, прежде чем приобретет не только эвристическую, но и прагматическую ценность.

Под «прагматизмом» в данном случае подразумевается использование соответствующих представлений для построения математических моделей развития биоценозов и технологий. Как подчеркивает Н. Н. Моисеев, создание таких моделей и соответствующих сценариев — единственный путь изучения динамики биосферы, где полностью исключены и детерминистические описания, и эксперименты².

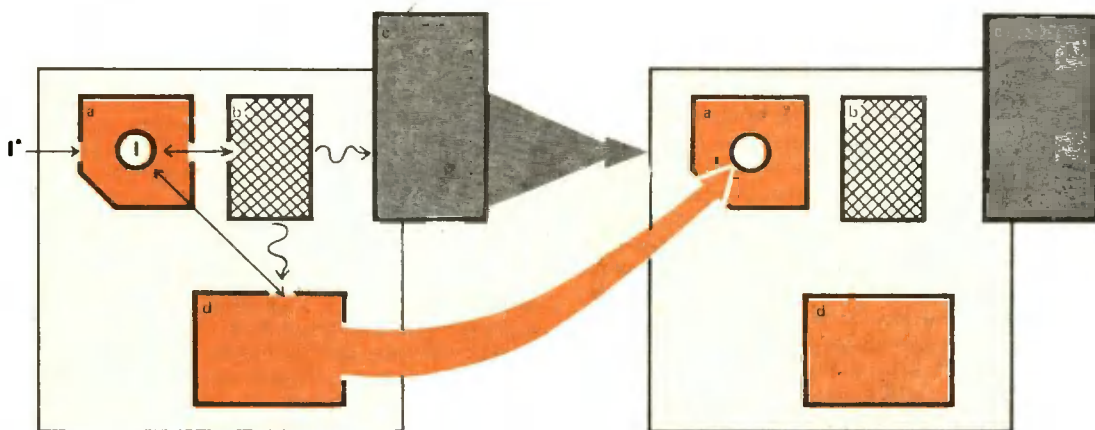
Мы надеемся, что изложенные ниже представления об информации и ее роли в динамике живой природы могут помочь в разработке моделей развития биоценозов и технологий.

ФЕНОМЕН ЖИЗНИ

Феномен жизни на нашей планете представлен дискретными организмами и их

¹ Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера. М., 1989.

² Моисеев Н. Н. Алгоритмы развития. М., 1987.



Блок-схема универсального автомата Дж. фон Неймана. а — блок, содержащий информацию I , может также получать дополнительную или новую информацию I' . Блок b , считывает информацию, содержащуюся в блоке a , и на ее основе подает «команды» блокам c и d . Блок c по этим командам выполняет различные целенаправленные действия, в том числе строит из ресурсов окружающей среды все 4 блока автомата следующего поколения. Блок d по командам блока b воспроизводит информацию, содержащуюся в блоке a , и вводит ее в блок a автомата нового поколения.

сообществами. Все живые объекты, независимо от особенностей их организации, отличаются от неживых способностью совершать целенаправленные действия³.

Такое действие можно определить как наложение ограничений (Q) на внешнюю среду или пространство режимов (S), в результате чего вероятность (P) осуществления в этом пространстве некоторого события (Z) превышает ее спонтанное значение (p). Коротко это можно записать так:

$$R[S] \frac{Q[I]}{p, P} \rightarrow (Z+W).$$

Символ R здесь обозначает ресурсы, необходимые для осуществления целенаправленного действия и содержащиеся в окружающей среде S , а Z — цель этого действия. Систему ограничений вместе со способом ее наложения Q будем называть «оператором», который организован в соответствии с кодирующей его информацией I . Символ W обозначает побочные продукты действия, всегда и неизбежно ему сопутствующие.

³ Блюменфельд Л. А. Проблемы биологической физики. М., 1977.

Особый интерес представляют целенаправленные действия, цель которых — воспроизводить операторы и кодирующую их информацию, т. е. когда $\bar{Z} = (Q, I)$ ⁴.

Моделью реальных операторов может служить блок-схема универсального автомата Дж. фон Неймана⁵ (совокупность устройств, в одно из которых введена информация, записанная на подходящем носителе). Работая по программе, содержащейся в имеющейся информации, автомат может воссоздавать самого себя или строить другой автомат, копировать информацию и вводить ее в автомат нового поколения. Каждый цикл целенаправленного действия такого автомата завершается воспроизведением кодирующей его информации.

Каковы взаимоотношения информации и оператора в автомате фон Неймана? Информация выступает здесь в пассивной роли: сама по себе она не способна создать ни оператор, ни собственную копию. Это выполняет лишь уже имеющийся оператор, используя ресурсы (вещество и энергию) окружающей среды $R[S]$. Но делать это он способен лишь постольку, поскольку он, воплощая, материализуя семантику кодирующей его информации, претворяет ее в мире вещей.

При этом существенны два обстоятельства. Во-первых, в каждом цикле самовоспроизведения оператор строится заново, копируется же только информация, т. е. только для нее сохраняется непрерывность и преемственность. Во-вторых, неточности или

⁴ Авторы благодарны покойному А. Ночкину, подсказавшему им идею о связи информации с оператором и целенаправленным действием. Подробнее см.: Коргодин В. И. // Биофизика. 1983. Т. 28. С. 171—179.

⁵ Тьюринг А. Может ли машина мыслить? М., 1960. С. 59—77.

ошибки, возможные при работе оператора, могут изменять новый оператор или копии информации. Для всей системы такие ошибки влекут разные последствия.

Ошибка при создании нового оператора либо вообще нарушит его дееспособность, либо ограничит его работоспособность, либо ограничит его работоспособность некоторыми новыми условиями. Но тогда, снабженный старой информацией, он не сможет воспроизвести себя и все равно погибнет. Ошибка при копировании информации (если она не лишит ее смысла, а лишь изменит семантику) приведет к тому, что оператор прежней конструкции создаст измененный оператор и снабдит его новой информацией. Попав в подходящую ситуацию, такой оператор возобновит циклы самовоспроизведения.

Итак, деятельность автомата фон Неймана можно рассматривать как воспроизведение кодирующей его информации, семантика которой сводится к построению операторов, обеспечивающих воспроизведение этой информации в подходящих условиях.

Определение информации как алгоритма или программы для построения какого-либо объекта⁶, в том числе и оператора, на первый взгляд, кажется слишком узким. В научной литературе термин «информация» часто используется как синоним организации, упорядоченности. Однако представление об информации как о «руководстве к действию» (в изложенном выше смысле) намного ближе к исходному значению этого слова, которого придерживались многие специалисты⁷.

В природе информация не существует сама по себе, а лишь в единстве со своими носителями и операторами, обеспечивающими ее воспроизведение. Феномен жизни в этом смысле трактуется как форма существования природных информационно-систем (или природных автоматов фон Неймана), в основе эволюции которых лежит воспроизведение и изменчивость кодирующей их информации. Вне живой природы информации не существует — ведь все искусственные информационные системы создаются человеком для удовлетворения его потребности, а другие неживые объекты к целенаправленным действиям не способны.

ИНФОРМАЦИЯ, ЕЕ НОСИТЕЛИ И ОПЕРАТОРЫ

Таким образом, в отличие от неживых объектов «живыми» мы будем называть объекты, способные совершать действия, конечная цель которых — воспроизводить кодирующую их информацию, а также операторы, обеспечивающие следующие циклы такого воспроизведения.

Известны три вида информации, которым соответствуют три вида носителей и операторов. Прежде всего, это — генетическая информация, заключенная в ДНК (реже РНК) и присущая всем живым организмам. Здесь операторы — это все негенетические компоненты организмов, реализующие воспроизведение информации в ходе размножения живых клеток и многоклеточных существ. Второй вид — поведенческая информация, кодирующая поведение, она содержится в нервных клетках и присуща многоклеточным животным с развитой нервной системой. Такая информация создается и накапливается в ходе «жизненного опыта» и воспроизводится при обучении молодых особей. Наконец, информация, называемая логической, в развитой форме присуща только человеку. Эта информация создается в нервной системе и передается от человека к человеку с помощью речи (устной или письменной). Она может существовать и вне отдельных индивидуумов в виде записи на тех или иных физических носителях. В этом случае независимы (от отдельных людей) и операторы, ее воспроизводящие, — орудия труда и производственные навыки, т. е. технологии в широком смысле слова. Логическую информацию и ее операторов можно назвать «коллективной собственностью» человеческих сообществ.

Эта специфическая для человека информация, отличающая его от других живых существ и составляющая человеческое знание, определяет присущий только человеку вид целенаправленной деятельности — создание и использование самых разнообразных технологий.

Существующие вне отдельных видов носители логической информации (например, письменное сообщение) и операторы (разные орудия труда) обычно называют искусственными, противопоставляя их естественным генетическим и соматическим компонентам организмов. Но искусственные объекты — такое же порождение природы, как и естественные, и подчиняются в своем развитии тем же природным закономерностям.

Всем видам информации присущи одни

⁶ Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. М., 1968; Колмогоров А. Н. Теория информации и теория алгоритмов. М., 1987; Харкевич А. А. // Проблемы кибернетики. М., 1960. Вып. 4. С. 53—59.

⁷ Korogodin V. I., Fajsi Sc. // Int. J. Systems Sci. 1986. V. 17. P. 1661—1667.

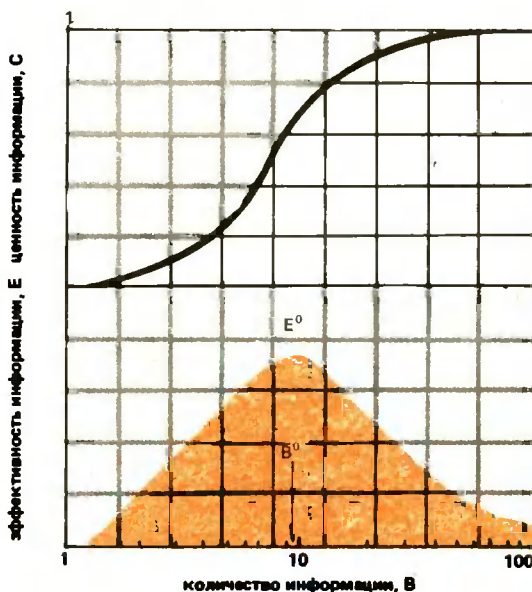
и те же свойства и общие закономерности развития. Информация может существовать, лишь будучи «заключена» в тот или иной носитель (природа которого ограничивает ее количество), а размножаться — только с помощью кодируемого ею оператора в подходящих условиях (или пространствах режимов). Чем больше информации в данном носителе, тем более сложный оператор она кодирует и, как следствие, «осваивает» все усложняющиеся ситуации — пространства режимов все большей размерности. При этом каждое ее воспроизведение неизбежно сопровождается появлением «побочных продуктов» — неконтролируемых информацией изменений окружающей среды. Это отражается во втором законе термодинамики: невозможно создать машину, для которой $\text{КПД} \geq 1$. Оператор (как машина в широком смысле слова) не является исключением.

Каковы же свойства информации, проявляющиеся в деятельности кодируемых ею операторов?

Каждая информация характеризуется количеством (V), равным «объему информационной тары», требуемой для ее фиксации. Количество информации выражают в битах, т. е. в числе букв бинарного кода, необходимых для «записи» данной информации в максимально компактной форме. Любая информация имеет ценность $C = \frac{P-p}{1-p}$, т. е. относительное приращение вероятности достижения данной цели Z при использовании этой информации в некоторой конкретной ситуации S . Очевидно, что для реализации той же информации в разных ситуациях, для достижения одной и той же или разных целей ее ценность существенно меняется. С другой стороны, для достижения данной цели в данной ситуации ценности разных информационных также могут быть различны.

Еще одна характеристика информации — «эффективность» ($E = VC^{-1}$). Если зависимость C от V в любом информационном поле ограничена сверху монотонно возрастающей кривой, которая стремится к $C=1$, то зависимость $E(V)$ всегда ограничивается сверху кривой с максимумом. Это означает, что для любого информационного поля, т. е. любой пары «ситуация — цель», всегда существует хотя бы одна информация с максимальной эффективностью.

Если операторы, кодируемые информацией, рассматривать как машины, то их целенаправленную деятельность можно оценивать величиной, подобной КПД технических устройств, — коэффициентом полезного использования ресурсов (КПИР). Из общих



Зависимость ценности C и эффективности E информации от ее количества V . Данное количество информации может иметь ценность и эффективность в пределах площади, ограниченной кривыми $C(V)$ и $E(V)$. Максимальную эффективность E^0 может иметь только информация, количество которой равно V^0 .

соображений следует, что КПИР операторов возрастает с увеличением эффективности (E) кодирующей их информации. Иными словами, зависимость КПИР операторов от количества (V) кодирующей их информации имеет такую же форму, как и эффективность (E) этой информации. Следовательно, для достижения любой цели в любой конкретной ситуации должен существовать хотя бы один оператор, имеющий максимальное значение КПИР. Количество информации, кодирующее такой оператор, будем называть оптимальным (V^0).

СТАНОВЛЕНИЕ БИОЦЕНОЗОВ

Теперь, опираясь на сформулированные послылки, попробуем понять, как формировались биоценозы, а затем и биосфера.

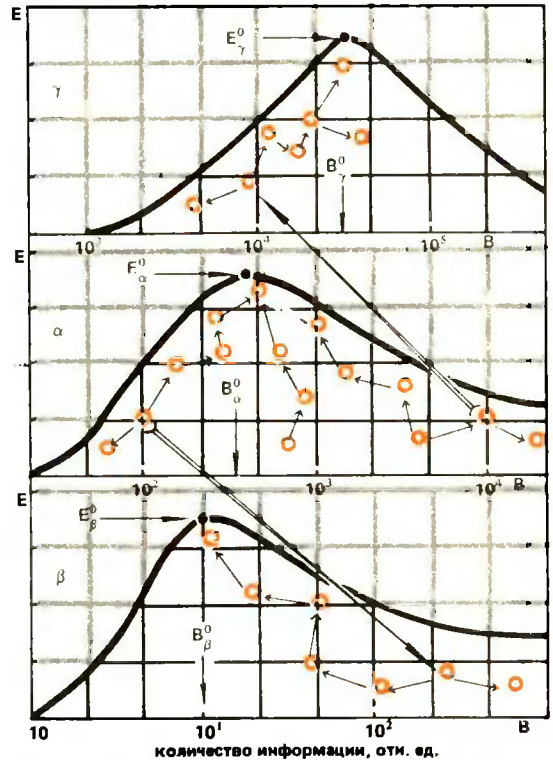
Как полагают специалисты, жизнь на Земле возникла около 4 млрд. лет назад. Первые, «элементарные» организмы (простейшие живые варианты автомата фон Неймана) представляли собой, скорее всего, макромолекулярные агрегаты типа гиперциклов М. Эйгена⁸. Пространства режимов, где они могли размножаться, или их «элементарные» экологические ниши, имели столь же простую структуру. Характерно,

⁸ Эйген М., Шустер П. Гиперцикл. М., 1982.

что все составляющие компоненты таких экологических ниш имели абиогенное происхождение. Следовательно, все элементарные организмы были аутокотрофными. Ясно, что первые поселенцы Земли могли выжить и дать начало биогенезу лишь при условии, если скорость их размножения (v) превосходила скорость их естественного вымирания (w). Отношение $L = \frac{v}{w}$ можно назвать «давлением жизни», которое противостоит «давлению внешней среды», увеличивающему смертность в результате различных неблагоприятных воздействий. Отсюда следует, что не только $L < 1$, но и $L = 1$ обрекает данную группу организмов на гибель: любые флуктуации, увеличивающие скорость естественного вымирания (w), могут стать для них роковыми. Только соотношение $L > 1$ гарантирует организациям процветание. С другой стороны, излишне большая величина L ($L > 1$) может приводить к перенаселенности ареала обитания, что чревато нехваткой питания, усилением конкуренции за территорию и т. д., и в конечном счете повышает w . Поэтому в реальных условиях, при $L \geq 1$, численность популяций все время колеблется около некоторого среднего значения («волны жизни» по С. С. Четверикову), не выходя за определенные минимальные и максимальные пределы.

Как же меняется наследственная информация, кодирующая строение живых организмов, в ходе их размножения?

Размножение любых организмов неизбежно сопровождается рекомбинационной и мутационной изменчивостью их генетической информации. В результате в популяции время от времени появляются особи, генетическая информация которых отличается от исходной либо по количеству (B), либо по ценности (C), т. е. в конечном счете по ее эффективности ($E = BC^{-1}$). Мы уже видели, что чем больше эффективность информации, тем выше значение КПИР кодируемых ею операторов. Допустим, что организмы с более высоким КПИР имеют селективные преимущества перед родственными организмами с меньшими значениями КПИР. Тогда, в каких бы участках некоторого информационного поля α не размещались его первые обитатели, эволюция их будет направлена к точке $E = E_{\alpha}^0$ и $B = B_{\alpha}^0$, т. е. иметь конвергентный характер. Параллельно, однако, будет осуществляться и дивергентная эволюция: для этого достаточно, чтобы обитатели информационного поля α , у которых $B_{\alpha} \neq B_{\alpha}^0$, теми или иными путями попадали в другие информационные поля, например в информационное поле β с $B_{\beta} < B_{\alpha}^0$ или в ин-



Динамика информации в разных информационных полях. В информационном поле α эволюция информации имеет конвергентный характер и направлена к точке $E = E_{\alpha}^0$. Переход информации в другие информационные поля β и γ , для которых $B_{\beta}^0 < B_{\alpha}^0 < B_{\gamma}^0$ может породить новые ветви эволюции, имеющие дивергентный характер. Динамику информации в пределах одного и того же информационного поля α можно назвать адаптивной, при переходе в информационное поле β с меньшим значением B^0 — регрессивной, а при переходе в информационное поле γ с большим значением B^0 — прогрессивной. В последнем случае на фоне высокого значения $E \approx E_{\gamma}^0$ количество информации возрастает ($B_{\gamma}^0 > B_{\alpha}^0$).

формационное поле γ с $B_{\gamma}^0 > B_{\alpha}^0$. Иными словами, любые реальные воплощения автоматов фон Неймана, попадая в те или иные реальные ситуации, благодаря изменчивости их информации и под влиянием отбора, будут эволюционировать в направлении максимально возможных для данной ситуации значений E или, что то же самое, КПИР.

Но сколь бы ни было высоким значение КПИР, оно, согласно второму закону термодинамики, никогда не достигает единицы. Поэтому, сколь бы хорошо ни были «пригнаны» живые организмы к условиям обитания, их жизнедеятельность всегда сопровождается накоплением в этой среде побочных продуктов W . Это, конечно, справедливо и по отношению к первичным живым организ-

мам, заселявшим элементарные экологические ниши (первый ярус жизни). В биологической эволюции нашей планеты феномен этот играл очень важную роль.

В геохимическом отношении побочные продукты неуклонно обогащали среду обитания первичных ауксотрофных организмов биогенными компонентами. Поскольку накопление таких продуктов возможно лишь до некоторого предела (ни один живой организм не может существовать в среде, перегруженной отходами его жизнедеятельности), важным условием обитания живых организмов в некоторой среде становится достаточно эффективная ее самоочистка.

Возможны два пути такой очистки: пассивный и активный. Пассивный путь — разбавление, химическая нейтрализация и т. п. — имеет постоянную скорость и далеко не всегда успевает за увеличением численности обитателей разных экологических ниш. Этот путь неизбежно ограничен численностью заселяющих ниши популяций. Однако при накоплении «отходов» жизнедеятельности первичных организмов возникают условия для существования других организмов, способных использовать продукты жизнедеятельности своих предшественников. Такая утилизация биогенных компонентов среды представляет собой активный путь самоочистки.

Среди новых генетических вариантов, возникавших благодаря изменчивости кодирующей первичные организмы информации, появлялись и такие, которые могли размножаться во вновь образующихся экологических нишах, содержащих уже биогенные компоненты. Так возникали организмы второго яруса жизни. Увеличивая скорость очистки среды, они способствовали размножению организмов первого яруса, что, в свою очередь, увеличивало их собственную численность. Так складывались простейшие биоценозы. Разнообразие их составляющих и укрепление трофических связей между ними было лишь делом времени.

ОГРАНИЧЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ

Выше мы неявно ввели фактор, существенно влияющий на эволюцию: ограниченность реальных, оптимальных по размеру зон обитания. Если бы такие зоны были безграничны, а элементарные организмы продолжали безудержно размножаться, то возникающие время от времени мутации только ускоряли бы этот процесс. При этом отходы метаболизма нейтрализовались разбавлением, и следующий ярус жизни не на

чем было бы строить⁹. Но в слишком малых зонах обитания, с недостаточным числом их обитателей (что мешало проявлению наследственной изменчивости), они вымерли бы от перенаселения, отравленные продуктами своей жизнедеятельности раньше, чем следующая ярус жизни успел образоваться.

Так на отдельных оптимальных по размерам участках Земли постепенно складывались первичные биоценозы с иерархическим строением. Их стабильность была тем выше, чем больше компонентов в них входило: трофические аналоги никогда не тождественны друг другу, и их различия лишь стабилизируют систему по отношению к случайным колебаниям окружающей среды. Но вот что важно: независимо от разнообразия ценозов, их суммарная биомасса целиком и полностью определяется активностью ауксотрофных организмов первого яруса, превращающих абиогенные компоненты среды в живое вещество и продукты его метаболизма.

Первичные биоценозы не были полностью изолированы. Как правило, между ними существовал обмен отдельными обитателями. Это способствовало увеличению видового разнообразия биоценозов и большей экологической пригнанности. Появление фотосинтеза привело к трем важным последствиям: освоению последних пригодных для жизни участков Земли; возникновению кислородсодержащей атмосферы; созданию новой богатой энергетически-пищевой базы для дышащих кислородом организмов. Так складывалась биосфера, и дальнейший биогенез проходил в ее рамках, ограниченных уже размерами земного шара.

СТАНОВЛЕНИЕ БИОСФЕРЫ

В развитии биосферы можно выделить два периода, характеризующихся количеством вещества, включенного в биологический круговорот: период нарастания биомассы и стационарный период. В конце первого периода, длившегося около 1 млрд. лет, растения окончательно освоили сушу и газовый состав атмосферы стабилизировался. Второй период, отмеченный расцветом высших растений и животных, завершился появлением млекопитающих, а затем и человека.

На этом этапе особенно важны две особенности биогенеза.

Во-первых, это постоянная суммарная биомасса, ограниченная вовлеченным в

⁹ С е р в р о в с к и й А. С. Некоторые проблемы органической эволюции. М., 1973.

биологический круговорот количеством вещества. Благодаря увеличению разнообразия видового состава ценозов биогенез шел по пути дробления и проторения новых путей для восходящих и нисходящих потоков вещества и энергии. Движущей силой этого процесса было возрастание надежности таких ценозов, их объединение трофическими связями как внутри себя, так и между собой.

Во-вторых — прогрессивность развития: это появление эвкарриот, вегетативной диплофазы, оогенеза, многоклеточности и эмбриогенеза; в ряду животных — формирование нервной системы и цефализация у самых разных их представителей, особенно позвоночных.

Биологический прогресс обеспечивался увеличением количества информации, кодирующей соответствующие операторы, что ускоряло освоение новых, все больших по размерам экологических ниш. Все это было возможным лишь при постоянном повышении надежности базовых экосистем.

Обусловленность биологического прогресса возрастанием количества информации ставила ограничения на этом пути в виде надежности ее носителей. На примере генетической информации можно видеть, что все четыре главные формы организации генома (однонитчатые РНК или ДНК, двунитчатая ДНК, одиночные наборы истинных хромосом и их удвоенные наборы) имеют свой предел информационной емкости, преодолевать который удавалось только новым генетическим структурам все большей надежности¹⁰. Эта закономерность справедлива и для поведенческой, и для логической информации. «Овладение» информацией новыми носителями большей надежности — необходимое условие дальнейшего увеличения ее количества.

Но вот что важно для понимания всего биогенеза. Во-первых, в основе прогрессивной эволюции лежало не возрастание приспособленности таксонов к условиям обитания, а расширение ареалов их обитания, увеличение размерности их экологических ниш. Во-вторых, возникновение все более высоких ярусов жизни никогда не сопровождалось уничтожением нижележащих. Напротив, они укреплялись, повышалась их надежность. Ведь только процветание ауцотрофов, продуцирующих биогенные компоненты, могло обеспечить благоденствие их потребителей, которые, утилизируя отходы, защищали обитателей вышележащих ярусов от отравления продуктами своей жизнедеятельности.

Такое представление о биосфере означает, что численность каждого входящего в нее вида (а в рамках биоценозов — каждой популяции) есть величина, ограниченная общей массой обитателей, мощностью трофических потоков, числом трофических аналогов. Эти факторы и задают средние количества биомассы, приходящейся на каждый трофический аналог. Численность какого-либо трофического аналога сверх такого предела при прочих равных условиях может увеличиваться лишь за счет уменьшения численности других, что чревато их исчезновением и уменьшением надежности всего биоценоза.

ФЕНОМЕН ЧЕЛОВЕКА

Вершиной биогенеза был, конечно, человек, появившийся около 40 тыс. лет назад.

Количество генетической информации, кодирующей человека, не превышает такое у многих других млекопитающих; специфика лишь в особом регуляторном «сдвиге», позволившем резко увеличить информационную емкость головного мозга. Удачная мутация, создавшая переразвитый (по отношению к содержащейся в нем поведенческой информации) мозг, превратила его в устройство, способное оперировать с новым, не существующим у других организмов видом информации — знанием. Это оказалось возможным благодаря появлению вначале устной, а затем и письменной речи, обеспечивающей обмен такой информацией между разными индивидами. Если по отношению к поведенческой информации мозг — и носитель, и оператор, то по отношению к логической информации он только один из элементов коллективного носителя и того оператора, имя которому — технология.

Возникнув, логическая информация сразу же начала выполнять три функции: совершенствовать аппарат, необходимый для создания новой логической информации, ее передачи, приема, хранения и обработки; объединять индивидуумы, связанные общей информационной сетью; создавать операторы, обеспечивающие ее воспроизведение. Эти функции логическая информация выполняет до сих пор.

Одна из характерных особенностей человека — использование для жизни крайне разнообразных внешних условий — значительно расширила ассортимент потенциальных экологических ниш. В первый, экстенсивный период развития человечества в полную силу «работала» генетическая и поведенческая информация, а логическая лишь формировалась. Человек вписывался в биоценозы как их компонент, выполняющий оп-

¹⁰ Корогодина В. И. // Природа. 1985. № 2. С. 3—14.

ределенные трофические функции. Человеческие популяции только увеличивали разнообразие трофических аналогов, повышая надежность своих биоценозов.

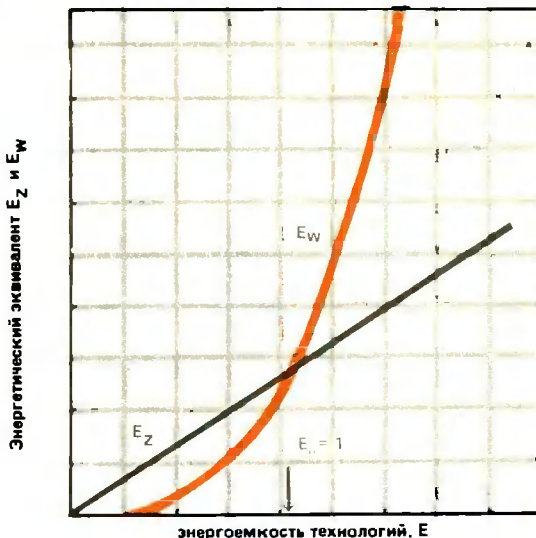
Следующий период можно назвать переходным к использованию различных примитивных технологий (или орудий труда), первоначально, по-видимому, как простейшего оружия против экологических конкурентов — своих трофических аналогов, а также для добычи пищи. При этом, уничтожая и вытесняя из ареалов своего обитания хищных зверей и других пищевых конкурентов, человек увеличивал свою численность уже за счет трофических аналогов. Биоценозы, заселенные человеком, сохранялись, но их видовое разнообразие сокращалось, а параллельно уменьшалась и надежность этих ценозов.

С появлением примитивных орудий труда и оружия возникали технологии и, вместе с ними начался новый, интенсивный этап развития, когда необходимые для жизни человека элементы биоценозов постепенно замещались их технологическими аналогами: дикие животные и растения — культурными, пещеры — жилищами и т. д. На этом этапе, в результате возрастания эффективности логической информации, численность людей росла сверх ограничений, налагаемых биологическими закономерностями.

БИОСФЕРА И ТЕХНОГЕНЕЗ

Представим себе теперь биосферу как единое целое, как оболочку земного шара. Она состоит из общей среды обитания (воздуха, воды, суши) и совокупности биоценозов — ее элементарных единиц, надежность которых гарантируется разнообразием их видового состава. Это — ограниченная в пространстве термодинамически открытая система. В биологический круговорот включено ограниченное количество вещества. Объем и скорость такого круговорота поддерживаются солнечной энергией, улавливаемой и трансформируемой зелеными растениями. Сложившаяся ситуация стабильна и налагает строгие ограничения на численность популяций, слагающих биоценозы. Давление на эти популяции «извне», со стороны среды обитания, компенсируется «изнутри» давлением жизни, которое обеспечивает сохранность популяций, реставрацию поврежденных биоценозов и биологическую экспансию.

Благодаря развитию технологий человек впервые переступил ограничения, налагаемые биосферой на численность популяций живых организмов. Стремительный рост численности, все растущее потребление ве-



Зависимость «энергоемкости» E_w экологических катастроф [в энергетическом эквиваленте расходов на ликвидацию их последствий] от энергоемкости технологий E . Прямая показывает зависимость от E энергоемкости «полезного продукта» E_z технологической деятельности. Принято, что $E_z = kE$, где $k < 1$. Кривая E_w описывает зависимость энергоемкости экологических катастроф от E как степенную функцию $E_w = E^\eta$ [$\eta > 1$]. [За единицу энергоемкости принята величина E_0 , при которой $E_w = E_z$, т. е. энергоемкость полезного продукта сравняется с энергоемкостью возможной экологической катастрофы.] Значения k и η могут варьировать в широких пределах и в каждом конкретном случае требуют специальных оценок.

щества и энергии и, как плата, разрушение биоценозов, уменьшение надежности биосферы. Биоценозы, перерабатывающие отходы своих компонентов, уже не могут справиться с отходами техногенной деятельности человечества. «Безотходные технологии» могут существенно смягчить давление техногенеза на биосферу, но нет уверенности, что это достаточно для кардинального решения проблемы.

Мощность любой технологии можно условно выразить в ее энергоемкости. Учитывая, что масса нижележащих ярусов биосферы сильно превосходит вышележащие, естественно ожидать, что по мере замены биологических компонентов «фундамента жизни» технологическими аналогами энергоемкость последних в расчете на одного человека возрастет. Это и происходит. Как заметил Вернадский, по масштабу геологической деятельности техногенез давно уже сопоставим с биогенезом.

Конкуренция техногенеза с биосферой порождает естественные опасения за состояние окружающей среды. Призывы Рим-

ского клуба стабилизировать техногенез и численность людей (добиться соотношения $L=1$) и, тем более, пожелания некоторых ученых¹¹ уменьшить население земного шара примерно в 10 раз ($L<1$) противоречат биологической природе человека, требованию «давления жизни» (когда $L>1$) и потому нереальны. Можно думать, что развитие человека пойдет по другому пути, намеченному еще Вернадским, — пути создания «автотрофного человечества», когда техногенные компоненты среды обитания будут брать на себя все больше функций нынешних ее биологических компонентов.

Надо ясно понимать, что это не фантастический и не насильственно навязываемый, а уже давно реализуемый путь все более планомерной замены технологическими аналогами все большего числа биологических компонентов биосферы, вплоть до технологизации «базы жизни» — производства энергии и продуктов деятельности автотрофных организмов. Только этот путь по мере накопления соответствующей информации позволит разрабатывать технологии жизнеобеспечения человека вне зависимости от биосферы и за пределами Земли.

Мы видели, что информация, зародившись однажды на еще безжизненной Земле, в ходе эволюции успешно преодолевала барьеры, возникавшие на ее пути то в связи с малой информационной емкостью носителей, то в связи с разрушительным воздействием кодируемых ею операторов на окружающую среду. Информация организовывала вокруг себя жизненное пространство, создавала все новые экологические ниши, обеспечивая тем самым возможность дальнейшего прогресса. В ходе этого процесса вслед за генетической и поведенческой информацией возникла информация логическая; на смену биогенезу пришел техногенез, позволивший человечеству пойти по пути замены биологических компонентов биосферы их технологическими аналогами, что сопровождалось неуклонным увеличением численности людей на Земле. По существу, это путь к полной автотрофности человечества.

Вполне естественно возникает вопрос: просматриваются ли уже сейчас какие-либо

ограничения для дальнейшего развития информации и технологий?

Априори можно полагать, что продвижение человечества по пути к автотрофности и одновременно рост его численности могут ограничиваться двумя факторами: пределом накопления необходимой для этого информации и побочными продуктами развития технологий.

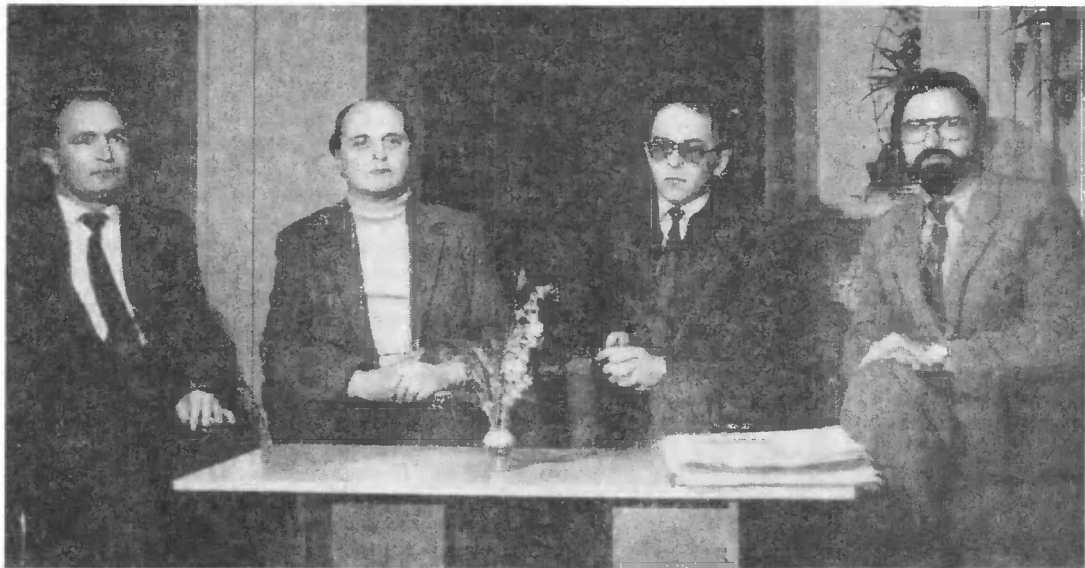
Предела дальнейшему увеличению количества логической информации сейчас не видно. Более того, все новые средства ее хранения, виды носителей и способы обработки не выявляют пока никаких ограничений. Что же касается технологий, то предел развитию просматривается в связи с ростом их энергоемкости. Если выход полезного продукта увеличивается примерно пропорционально энергоемкости технологий, то экологические последствия технологических катастроф, выраженные в таком же эквиваленте, могут возрастать как степенная функция их энергоемкости и, достигнув некоторого критического значения, начнут быстро превышать выход полезного продукта, приобретая все более глобальные разрушительные размеры. Это относится как к естественной, так и к искусственной, т. е. техногенной, экологии. Связь между количеством информации, энергоемкостью кодируемых ею операторов и разрушительностью последствий возможных технологических катастроф заслуживает самого пристального изучения. Однако уже сейчас можно полагать, что наиболее надежный способ избежать тающихся здесь опасностей — это замена технологических объектов с энергоемкостью, превышающей критическое значение (т. е. когда $\varepsilon \geq \varepsilon_0$), эквивалентным числом «малых технологий», что обеспечит выпуск такого же количества полезного продукта, но практически исключит опасность глобальных экологических катастроф.

Что же касается возможных прогнозов, то они практически исключены. Самые неожиданные, самые маловероятные последствия наших сегодняшних начинаний могут кардинальным, но непредсказуемым образом изменить ход истории, в частности роль и место человека в дальнейшем развитии информации. Решение наших злободневных задач может привести как к неожиданным «счастливым находкам», открывающим новые пути дальнейшего прогресса, так и к катастрофическим последствиям, угрожающим судьбе всего человечества. Это налагает особую ответственность на лиц, призванных принимать те или иные решения как регионального, так и глобального характера.

¹¹ Горшков В. Г., Кондратьев К. Я., Шерман С. Г. Устойчивость биосферы и сохранение цивилизаций // Природа. 1990. № 7. С. 3—16.

Глобальное потепление и будущие агроклиматические ресурсы Русской равнины

О. Д. Сиротенко, А. А. Величко, В. А. Долгий-Трач, В. А. Климанов



Олег Дмитриевич Сиротенко, доктор физико-математических наук, заведующий отделом математического моделирования продуктивности агроэкосистем Всесоюзного научно-исследовательского института сельскохозяйственной метеорологии (ВНИИСМ) Государственного комитета СССР по гидрометеорологии. Специалист в области моделирования энергомассообмена и продуктивности агроэкосистем, влияния изменений климата на сельское хозяйство.

Андрей Алексеевич Величко, доктор географических наук, заведующий лабораторией эволюционной географии Института географии АН СССР. Занимается проблемами эволюции природы и вопросами взаимодействия человека и природы. Член редколлегии журнала «Природа».

Валерий Анатольевич Долгий-Трач, кандидат географических наук, научный сотрудник отдела математического моделирования продуктивности агроэкосистем ВНИИСМ. Занимается агрометеорологическими аспектами моделирования продукционного процесса сельскохозяйственных культур.

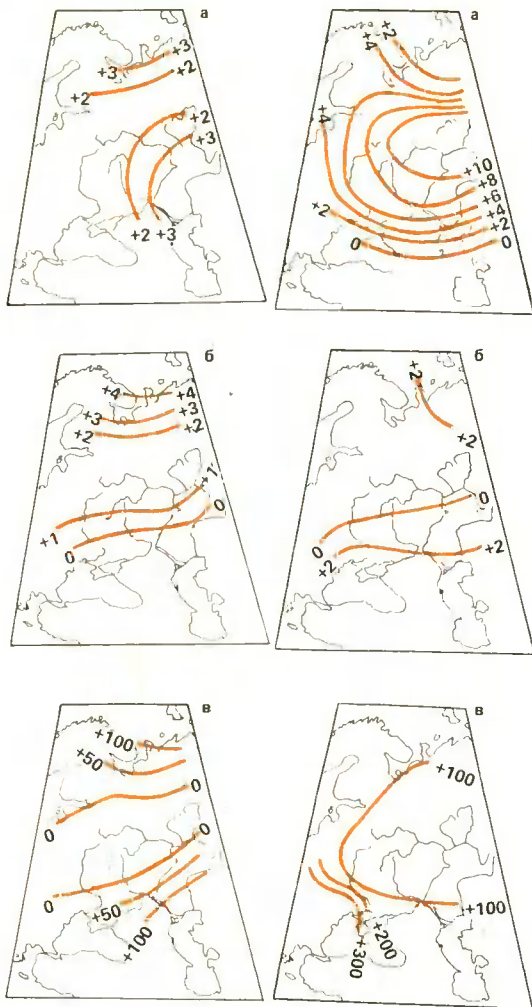
Владимир Андреевич Климанов, кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории эволюционной географии Института географии АН СССР. Занимается проблемами изменения климата в голоцене и применением математических методов в палеогеографии.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ о том, что изменение химического состава атмосферы, в частности увеличение концентрации CO_2 , вызванное человеческой деятельностью, ведет к глобальному потеплению на планете, прочно утвердилось среди специалистов. В США, например, группа ученых прямо связывает засухи последних лет в восточных районах с антропогенным влиянием на климат. Вместе с тем возникает новая задача: рассчитать, какими будут условия для сельскохозяйственной деятельности

в тех или иных районах Земли при потеплении климата. Такие работы уже выполнены в ряде стран. В СССР же все ближайшие и отдаленные планы развития экономики (и в том числе сельского хозяйства) строятся, как правило, без должного учета глобальных климатических изменений.

В 1989—1990 гг. мы попытались оценить возможное влияние климата на агроклиматические ресурсы Европейской части СССР (точнее, Русской равнины).

Часто при оценках климата будущего



Отклонение средних температур января (а) и июля (б), а также среднегодовой суммы осадков (в) от современных значений в оптимуме голоцена (слева), в оптимуме микулинского межледникового (справа).

пользуются моделями общей циркуляции атмосферы. Однако при более или менее согласованных прогнозах термического режима эти модели дают различные оценки региональных особенностей режима увлажнения. Поэтому мы использовали так называемый аналоговый метод, основанный на палеоклиматических реконструкциях.

Дело в том, что широкомасштабные потепления и похолодания в геологическом прошлом также были связаны с колебаниями газового состава атмосферы, о чем, в частности, позволяют судить данные анализов газового состава воздуха за последние

150 тыс. лет в ледяных ядрах Антарктиды. Поскольку, по подсчетам многих исследователей¹, глобальная температура на Земле к 2000 г. повысится примерно на 1°C , а к 2020—2030 гг. на 2°C , аналогами служили палеоклиматические реконструкции для оптимума голоцена (5—6 тыс. лет назад) и микулинского межледникового (125 тыс. лет назад), когда средняя глобальная температура как раз и была выше современной соответственно на 1° и 2°C . В лаборатории палеогеографии Института географии АН СССР были построены карты температур и условий увлажнения для этих периодов. Мы не будем подробно останавливаться на методике их создания, поскольку в «Природе» уже шла речь об этих картах².

Напомним только, что в оптимуме голоцена средние температуры января были выше современных повсеместно. Наибольшие отклонения, примерно на 3°C , наблюдались на севере рассматриваемой территории и в юго-восточной части. Средние температуры июля сильнее всего повышались на севере Русской равнины (выше нынешних на 4°C). К югу отклонения уменьшались, и примерно на широте 50° температура была близка к современной, а южнее — даже несколько ниже. Средняя годовая сумма осадков в это время была выше современных значений на севере и юго-востоке Европейской части СССР. На севере и Нижней Волге осадков выпадало на 50—100 мм больше, а в Прикаспии — примерно на 100 мм. В центральных районах Европейской части СССР годовая сумма осадков была близка к современной или меньше (разница достигала до 50 мм).

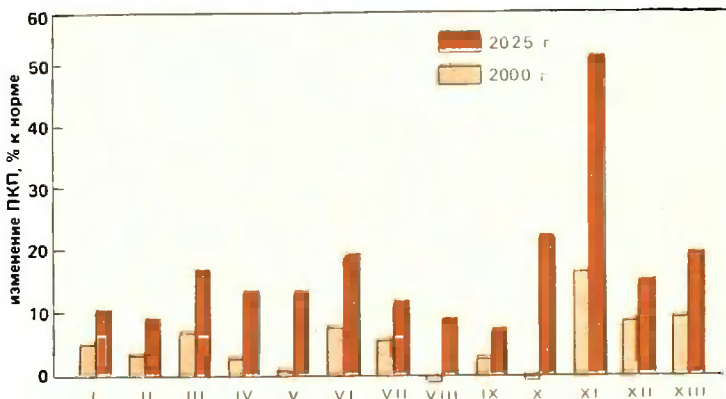
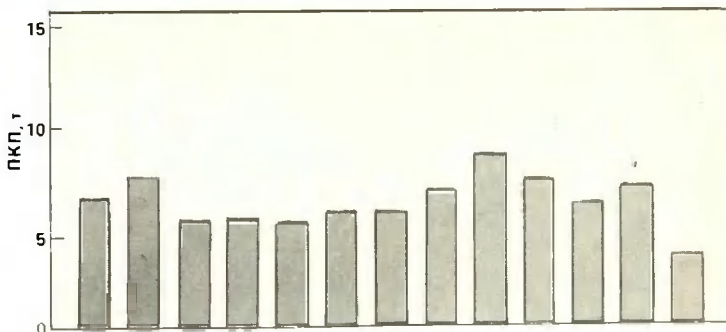
В микулинском межледниковье средние температуры января наиболее значительно повышались на востоке центральной части Русской равнины, где они превышали современные более чем на 10°C . Величины отклонений уменьшаются к северу, югу и западу. Так, в Прибалтике средние температуры января были выше современных на 2— 6°C , на севере Кольского п-ова — примерно на 2°C , а на юге Крыма и Северном Кавказе — близки к современным.

Средние температуры июля на центральной части Русской равнины также были сходными с нынешними. Исключение составляют степная зона и северо-восточные рай-

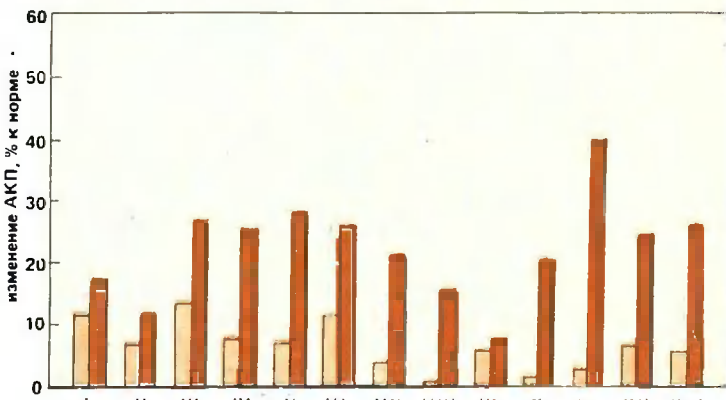
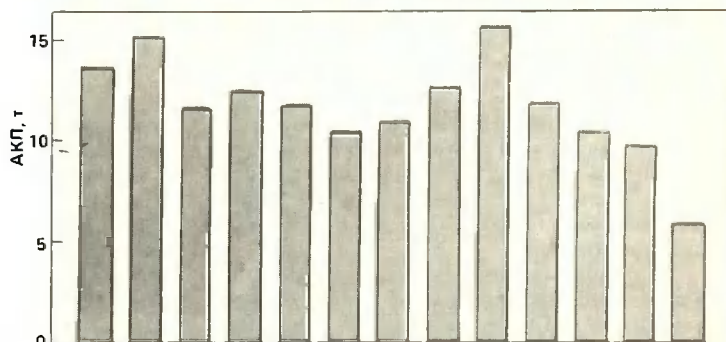
¹ Антропогенные изменения климата. Л., 1987.

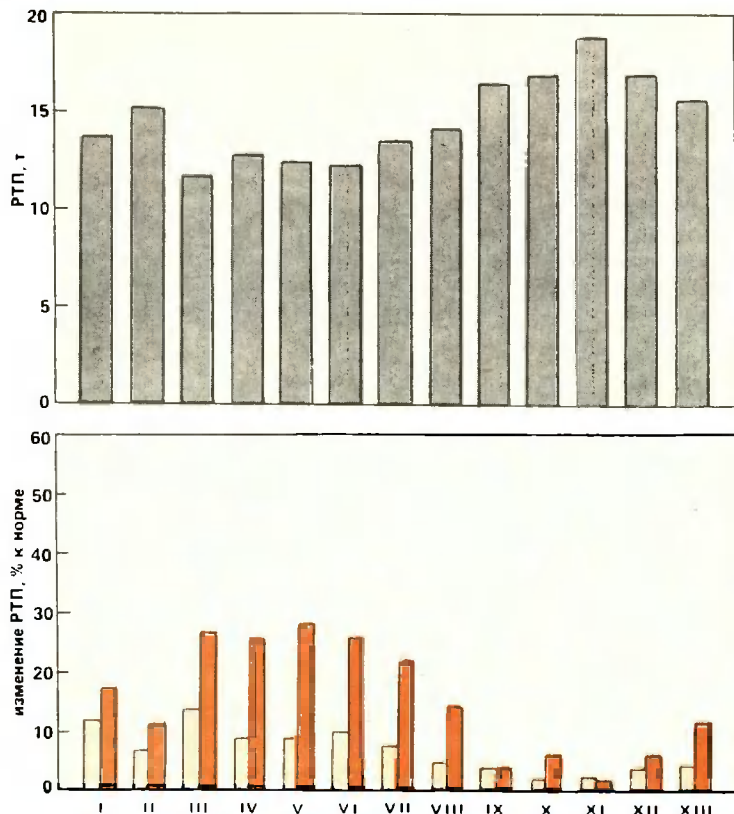
² Величко А. А., Климанов В. А., Белая А. В. Каспий и Волга 5,5 и 125 тысяч лет назад // Природа. 1987. № 3. С. 60—66.

Почвенно-климатический потенциал (ПКП) 1 га в год и прогноз его изменений к 2000 и 2025 гг. в Прибалтике (I), Белоруссии (II), северной и северо-западной зонах (III), центральной (IV), волго-вятской (V), уральской (VI) зонах, на севере Поволжья (VII), в центрально-черноземной зоне (VIII), юго-западной зоне Украины (IX), донецко-приднепровской (X), южной зоне Украины и Молдове (XI), северо-кавказской зоне (XII), на юге Поволжья (XIII).



Агроклиматический потенциал (АКП) и прогноз его изменений к 2000 и 2025 гг. (обозначения те же, что на предыдущем рисунке),





Радиационно-термический потенциал (РТП) и прогноз его изменений к 2000 и 2025 гг.

оны, где июль был теплее на 1—2 °С. Средняя годовая сумма осадков почти на всей Европейской части СССР превышала современный уровень. Особенно сильные различия (более чем на 300 мм) отмечаются в юго-восточных районах.

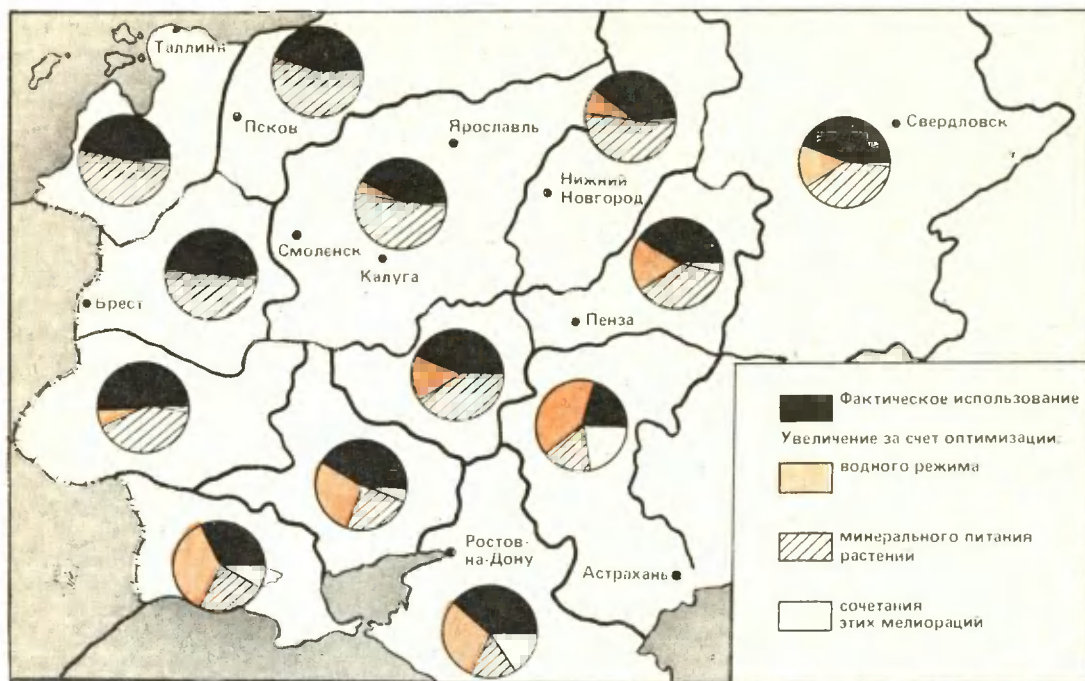
В целом изменения гидротермических условий 5—6 тыс. лет назад и 125 тыс. лет назад имели сходную тенденцию, хотя и различались в деталях.

От результатов палеоклиматических реконструкций мы перешли к расчету возможных изменений продуктивности сельского хозяйства, соответствующих ожидаемым изменениям климата. Наиболее перспективный путь решения подобных задач — использование моделей, основанных на фотосинтетической теории продуктивности агроэкосистем. Таких моделей существует немало. В частности, во Всесоюзном научно-исследовательском институте сельскохозяйственной метеорологии (ВНИИСХМ) разработана динамическая модель формирования урожайности зерновых культур, представляющая собой систему дифференциальных уравнений, описывающих баланс биомассы агроэко-

системы (фотосинтез, дыхание, утилизация метаболитов), а также процессы передвижения и трансформации воды и минерального азота в системе «почва — растение — атмосфера»³. Модель использовалась для расчетов климатической нормы продуктивности ряда зерновых культур для территории СССР. Однако оценка урожайности какой-либо конкретной культуры не дает полного представления о степени благоприятности как самого климата, так и его изменений для сельского хозяйства, поскольку одновидовые агроэкосистемы средних широт не в состоянии эффективно использовать весь доступный для вегетации период года.

Поэтому в качестве потенциала продуктивности растениеводства в этой работе принята интегральная сухая надземная биомас-

³ Абашина Е. В., Сиротенко О. Д. Прикладная динамическая модель формирования урожая для имитационных систем агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства // Тр. ВНИИСХМ. 1986. Вып. 21. С. 13—33; Сиротенко О. Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. Л., 1981.



Фактическое использование почвенно-климатических ресурсов и их возможное преобразование за счет оптимизации водного режима и минерального питания (в процентах).

са, продуцируемая многолетней периодически скашиваемой травяной агроэкосистемой за отрезок года со среднесуточной температурой воздуха выше 5°C . Расчеты выполнялись на основе созданной во ВНИИСХМ базы данных, включающей в себя метеорологическую информацию и набор гидрофизических и агрохимических характеристик почв, необходимый для использования динамических моделей. Расчеты выполнялись для 94 территориальных единиц, совпадающих, за некоторыми исключениями, с границами административных областей.

Сначала было получено распределение почвенно-климатического потенциала, в значительной степени совпадающего с фактической урожайностью, поскольку при его расчете учтены современные почвенно-климатические условия и принятые нормы внесения органических и минеральных удобрений. (Однако совпадение не может быть полным, поскольку при моделировании не учитывались потери урожая при уборке, из-за вредителей и болезней, а также нарушения агротехнических приемов.) Наибольшим почвенно-климатическим потенциалом (сухой

биомассой) в настоящее время располагает юго-западный экономический район УССР (8,4 т/га в год), наименьшим — Нижнее Поволжье (5,8 т/га). Из краев и областей наилучшим сочетанием почвенных и климатических условий обладает Краснодарский край (11,5 т/га) и ряд областей на западе Украины (9—10 т/га), в то время как на севере (в Кировской области) и юго-востоке (в Астраханской области) потенциал падает до 4,2 и 2,2 т/га соответственно.

При формировании почвенно-климатического потенциала значительную роль играет антропогенная составляющая почвенного плодородия, другими словами, нормы внесения удобрений. Чтобы убедиться в этом, достаточно сравнить его значения для Ленинградской (6,4 т/га) и более южной Новгородской (4,9 т/га) областей. Поэтому, рассматривая агроклиматический потенциал, мы сняли этот фактор, «наделив» все регионы оптимальным количеством азотных удобрений. Полученное распределение агроклиматического потенциала отражает такой уровень продуктивности, который будет достигнут при решении проблем с дефицитом удобрений. Продуктивность сельского хозяйства во многих экономических районах при этом может удвоиться и достигнуть 15 т/га (БССР и юго-запад УССР). По областям максимальные величины продуктивности смещаются из Краснодарского края (13,2 т/га)

в Закарпатье (17,2 т/га), где наилучшее в Европейской части СССР сочетание радиационного и водно-теплового режимов.

Минимальные значения сохраняются в Астраханской (2,3 т/га) и Кировской (10,3 т/га) областях, поскольку улучшение минерального питания не снимает острого недостатка влаги на юге и тепла на севере.

Анализ влияния климатических условий на продуктивность сельского хозяйства можно углубить, оценив продуктивность при оптимизации не только минерального питания, но и водного режима почв. Соответствующий показатель назовем радиационно-термическим потенциалом, поскольку продуктивность растений ограничивается при его расчете лишь солнечной радиацией и температурой. При расчете этого потенциала моделировалась влажность почвы, не ограничивающая производственный процесс. Распределение радиационно-термического потенциала носит, естественно, широтный характер с максимумом в Крыму (20 т/га) и минимумом на северных границах товарного земледелия (около 10 т/га). Значения этого потенциала можно считать верхним пределом продуктивности, достижимым при оптимизации водного режима и минерального питания растений.

Общая картина эффективности водной и химической мелиорации почв на территории Европейской части страны представлена на одном из рисунков. Рассмотрим для примера Приволжский экономический район. Эффективность использования радиационно-термического потенциала из-за недостатка влаги и бедных почв здесь самая низкая — 19,9 %. За счет орошения она может быть увеличена на 40,9 %, а при оптимизации минерального питания — лишь на 16,4 %. Однако, если одновременно улучшить и водный, и пищевой режим растений, продуктивность возрастет еще на 22,8 %. Совсем иная картина в Прибалтике, где эффективность использования радиационно-термического потенциала значительно выше — 45,6 %, орошение малоэффективно, но оптимизация минерального питания растений может повысить продуктивность на 53,9 %.

Оценив с помощью динамической модели реальные и потенциально возможные уровни продуктивности земледелия, мы перешли к их возможной трансформации под воздействием глобального потепления.

Первый и самый важный вывод состоит

в том, что эволюция климата к условиям оптимума голоцена и микулинского межледниковья в целом благоприятна для сельского хозяйства Европейской части страны.

В первом случае (при повышении температуры на 1 °С) максимальный рост продуктивности можно ожидать на юге УССР и в Молдове (17 %), в других районах он не превысит 9 %.

Условия оптимума микулинского межледниковья — повсеместный рост годовой суммы осадков на 100—200 и даже 250—300 мм (юг УССР и Молдова) с одновременным понижением летних температур на юге Европейской части и повышением на севере — чрезвычайно благоприятны для растениеводства. Во всех экономических районах продуктивность возрастет, причем в половине из них примерно на 15 % и более. Особенно значительный рост можно ожидать на Украине и в Молдове — до 52 % (в Донецко-Приднепровском районе до 23 %).

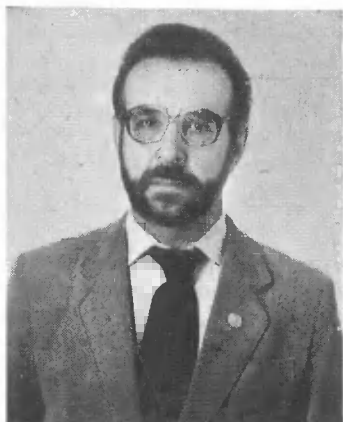
Повысятся агроклиматический и радиационно-термический потенциалы (первый увеличится более чем на 20 % в 8 из 13 экономических районов, второй — в 5).

Кроме того, при глобальном потеплении по обоим сценариям сгладятся различия агроклиматических условий на Русской равнине. При этом выравнивается продуктивность не только агро-, но и естественных экосистем. Так, при увеличении глобальной температуры на 2 °С будет значительно расширяться площадь зоны широколиственных лесов — через несколько столетий она продвинется к северу на 600—700 км, а на юге (в зоне современной степи) может появиться лесостепь.

Выполненные нами модельные исследования агроклиматических ресурсов Русской равнины в случае потепления на 1 °С и 2 °С носят методологический характер и учитывают лишь природную составляющую процессов формирования урожайности. Реальных перспектив сельского хозяйства мы не прогнозируем, поскольку моделирование такого рода ни в какой мере не учитывает ни политических, ни экономических факторов, во многом определяющих будущее сельскохозяйственное производство. Остается лишь надеяться, что в лучшую сторону изменится не только климат, но и само сельское хозяйство — набор культур и сортов, способы обработки почвы и внесения химических удобрений, характер и распространение мелиоративных работ и т. п.

Органические полимеры в межпланетном пространстве

В. Н. Лебединец



Владимир Никифорович Лебединец, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом оптики атмосферы Института экспериментальной метеорологии НПО «Тайфун» Госкомгидромета СССР. Занимается исследованиями межпланетной среды и ее взаимодействия с Землей и атмосферой.

В СЕРЕДИНЕ 50-х годов возрос интерес к исследованиям метеоров и космической пыли. Это было вызвано начавшимся освоением верхней атмосферы и космического пространства и стало возможным благодаря быстрому развитию оптики, радиолокации, ракетно-космической техники, методик и технических средств сбора и анализа продуктов ядерных взрывов в атмосфере. В результате увеличился поток информации о структуре и динамике облака межпланетной пыли, природе составляющих его частиц, их взаимодействии с атмосферой. Однако физически обоснованная и внутренне непротиворечивая модель межпланетной пыли так и не была создана. Данные разных методов исследований — казалось бы, весьма совершенных — резко противоречили друг другу.

В 1955—1970 гг. в острых дискуссиях быстро менялись представления о твердой составляющей межпланетной среды, рождались и рушились многочисленные гипотезы и теории. Начиная с 1958 г. автор статьи был не только свидетелем, но и активным участником этих исследований и дискуссий. Некоторые представления тех лет не выдержали проверки временем, но есть и такие, что вошли в фонд науки о метеорах и космической пыли.

В последние пять лет, благодаря ряду интересных космических экспериментов и развитию теории, снова началась ломка сложившихся представлений о так называемых малых телах Солнечной системы. Но теперь мы знаем о них намного больше. В этой статье на фоне краткого описания главных этапов в исследовании метеоров и космической пыли излагаются и обосновываются новые идеи автора. Часть из них уже опубликована, а некоторые еще ждут своей очереди в научных журналах.

ТВЕРДАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЫ

В Солнечной системе, кроме девяти планет и их спутников, тысяч астероидов и миллионов комет, бесчисленное множество более мелких твердых тел — от мель-

чайших пылинок массой порядка 10^{-20} г до огромных глыб поперечником в сотни метров и массой в миллионы тонн. При столкновениях между собой, с астероидами и ядрами комет твердые тела межпланетной среды дробятся и распыляются (самые мелкие из образующихся при этом пылинок столь малы, что могут выталкиваться из Солнечной системы световым давлением). Взаимодействуя с солнечным излучением и солнечным ветром, пылинки тормозятся, размеры их орбит постепенно сокращаются, и в конечном счете они испаряются в солнечной короне. У частиц массой более 1 мкг этот процесс идет очень медленно, и по пути к Солнцу они захватываются планетами, в том числе Землей.

Существуют и другие механизмы удаления твердых частиц из межпланетной среды. В результате их совместного действия за миллионы лет из межпланетного пространства исчезнут почти все ныне существующие там частицы массой $M \leq 1$ г. Но наблюдения показывают, что число пылевых частиц в межпланетном пространстве не уменьшается, следовательно за 4,6 млрд. лет существования Солнечной системы состав твердой составляющей межпланетной среды сменился тысячами раз. Основные источники ее пополнения — распад ядер комет, дробление астероидов и спутников планет.

Твердые частицы влетают в атмосферу Земли из межпланетного пространства со скоростью 11—72 км/с, поэтому их начальная кинетическая энергия во много раз больше той, что необходима для их полного испарения. Эта огромная энергия по-разному расходуется частицами разной массы. Метеороиды — частицы массой примерно от 10^{-8} г до 1 кг при торможении в атмосфере сильно нагреваются и испаряются полностью (непосредственно или раздробившись сначала на мелкие фрагменты). Сталкиваясь с молекулами воздуха, испарившиеся атомы и молекулы возбуждаются и ионизируются. В результате после пролета метеора остается ионизированный след, хорошо отражающий радиоволны и различимый с помощью радиолокаторов.

Тела массой более 1 кг, если они достаточно прочны и влетают в атмосферу со скоростью не более 25 км/с, при торможении могут сохранить какую-то часть начальной массы. Дело в том, что непосредственно перед такими телами возникают ударные волны, частично предохраняющие лобовую поверхность от нагревания. Затормозившиеся остатки таких тел падают на поверхность Земли в виде метеоритов. Достигать Земли

могут и микрометеориты массой $M < 10^{-8}$ г, которые тормозятся в атмосфере на высоте более 100 км и, расходуя свою кинетическую энергию в основном на тепловое излучение, не нагреваются до температуры испарения. Сбор и лабораторный анализ метеоритов и микрометеоритов дают уникальную возможность непосредственно исследовать состав, структуру и другие характеристики твердых тел межпланетной среды.

Не вдаваясь в детали весьма сложной классификации метеоритов, напомним, что среди них более 90 % — каменные и менее 10 % — железные и железо-каменные. Каменные состоят в основном из магний-алюминиевых силикатов с большой примесью железа и его соединений. Главные компоненты их состава — SiO_2 , MgO , FeO , Fe , FeS , Al_2O_3 , CaO , Na_2O и конституционная вода в кристаллах. Основные типы каменных метеоритов можно выстроить в ряд — обыкновенные хондриты, углистые хондриты CIII, CII, CI, — в котором уменьшается содержание железа и растет содержание воды и серы (в довольно редких углистых хондритах CI около 20 % воды и 6 % серы). Плотность метеоритов в этом ряду убывает от 3,5 до 2 г/см³.

СОСТАВ И СТРУКТУРА МЕТЕОРИТОВ И МЕТЕОРОИДОВ

В спектрах метеоров обычно преобладают эмиссионные линии тех же элементов (Fe, Na, Mg, Ca, Si и др.), из которых состоят метеориты, и до 1955 г. никто не сомневался, что метеороиды по составу, структуре и плотности не отличаются от метеоритов.

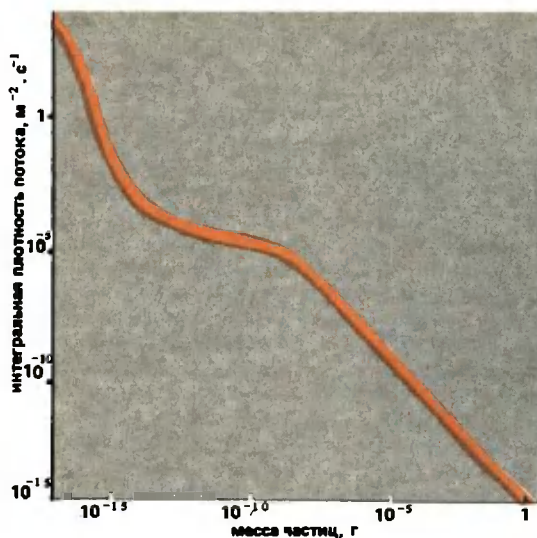
О плотности и других характеристиках метеороидов можно судить по наблюдаемым высотам, свечению и торможению метеоров, используя при этом теорию их взаимодействия с атмосферой. Вот узловые пункты этой теории:

каков механизм абляции (потери массы) метеороидов — испарение или дробление?

какова величина коэффициента светимости τ , т. е. какая часть кинетической энергии переходит в излучение?

как начальный радиус ионизованных следов сказывается на возможности заметить при радиолокационных наблюдениях метеоры с разными скоростями?

До 1955 г. почти все специалисты пользовались теорией Ф. Уиппла, Л. Яккья и А. Ловелла. Ее авторы считали, что испарение — единственный механизм абляции метеороидов, а начальный радиус метеорных



Интегральная плотность потока $N(M)$ частиц межпланетной пыли массой больше M . Видно, что в межпланетном пространстве очень мало пылинок массой от 10^{-11} до 10^{-14} г, которые эффективно выталкиваются световым давлением солнечного излучения.

следов пренебрежимо мал. Исходя из одинакового состава метеоритов и метеороидов, Э. Эпик и Л. Яккя рассчитали зависимость t от скорости метеороидов. В рамках этой теории Ф. Ватсон, по данным исследований метеоров, метеоритов и зодиакального света, подсчитал, что на Землю за сутки выпадает около 10 т метеорного вещества. Эти расчеты воспринимались как вполне достоверные, поскольку приближенные и недостаточно информативные визуальные и фотографические наблюдения метеоров с помощью малых камер в целом не противоречили простейшей физической теории метеоров.

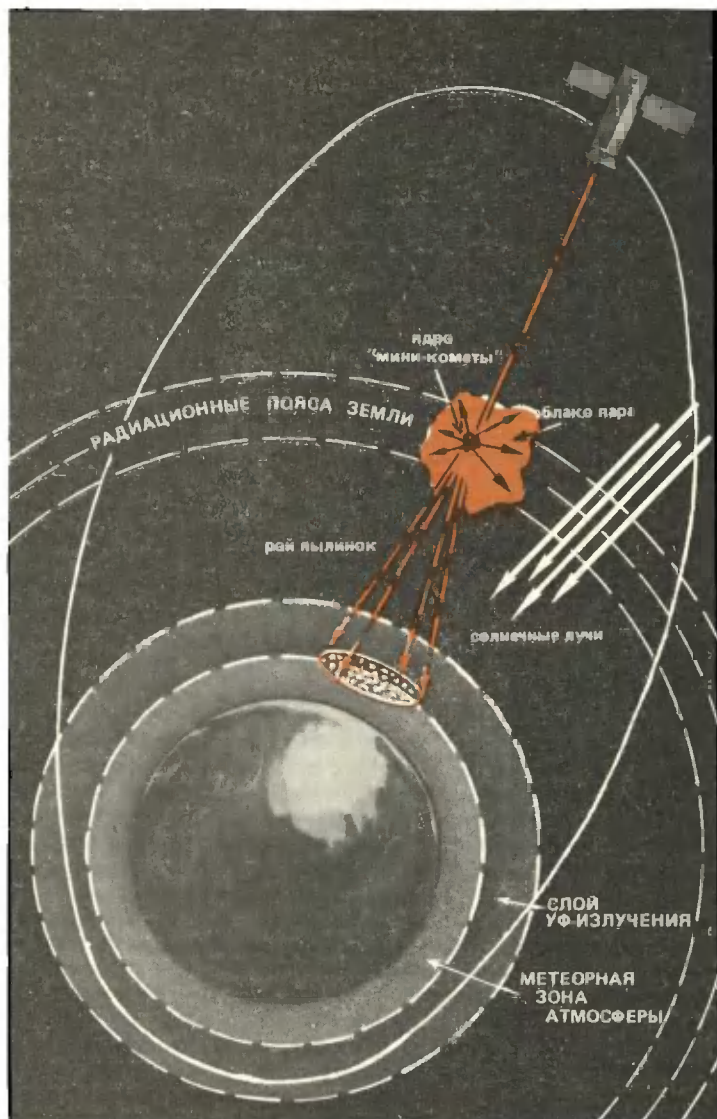
Но в 1955 г. были опубликованы первые фотоснимки метеоров, сделанные большими сверхсветосильными камерами. Они наконец-то позволили точно измерить торможение метеоров и обнаружить их светящиеся хвосты. Это однозначно доказало, что метеороиды в атмосфере не просто испаряются, а сначала дробятся на множество фрагментов, причем дробление начинается на таких высотах, где аэродинамическое давление на лобовую поверхность метеороида очень мало. Полагая, что метеороиды тем не менее «раздавливаются» им, Эпик и Яккя сочли их рыхлыми «комочками пыли» с плотностью около $0,1 \text{ г/см}^3$. Таким образом, метеороиды были объявлены совершенно непохожими на плотные каменные и железные метеориты.

Уже к 1960 г. эти представления признавались почти всеми и рассматривались как доказательство того, что метеориты — продукт дробления астероидов, а метеороиды — комет. Дело в том, что астероиды считали тогда плотными каменными и железными телами, а метеороиды — рыхлыми пылевыми образованиями, возникшими в результате сублимации льда из запыленных ядер комет. При этом не учитывалась возможность существенного различия химического состава метеороидов и каменных метеоритов.

В том же 1955 г. А. Кук получил косвенные, но довольно убедительные данные о необходимости поправки к принятым значениям коэффициента светимости: их надо уменьшить в 200 раз и соответственно в 200 раз увеличить оценки притока метеорного вещества в атмосферу Земли (с 10 до 2000 т/сут.). Так за 3—4 года разрушились казавшиеся такими устойчивыми представления о твердой составляющей межпланетной среды и ее взаимодействии с атмосферой Земли.

ИЗМЕРЕНИЯ С РАКЕТ И СПУТНИКОВ

Начиная с 1957 г. космическую пыль стали изучать с помощью ракет и искусственных спутников Земли (ИСЗ). Появились различные датчики микрометеоритов: акустические (регистрирующие вибрацию специальных пластин при ударах пылинок), оптические (реагирующие на световые вспышки при микровзрывах) и др. В 1957—1961 гг. в СССР и США были проведены десятки космических экспериментов, в основном с акустическими и оптическими датчиками. Их результаты оказались совершенно парадоксальными: датчики фиксировали микрометеориты в тысячи раз чаще, чем ожидалось. Отсюда следовало, что верхняя атмосфера и околоземное космическое пространство (на высотах 100—2000 км) буквально забиты частицами космической пыли, а оценку притока метеорного вещества в атмосферу надо увеличить с 10 до 10^4 — 10^5 т/сут. Поскольку в это время разрабатывались дорогостоящие и престижные проекты высадки человека на Луну, стал вопрос об оценке метеорной опасности для космических аппаратов: ведь даже крохотная пылинка массой 1 мг, движущаяся со скоростью 70 км/с, обладает большей пробивной способностью, чем винтовочная пуля! Существование же плотного пылевого облака в верхней атмосфере подтверждалось как данными ее зондирования с земной поверхности и с борта



Результаты наблюдений с борта ИСЗ «Дайнемикс Эксплорер-1» облаков пара, образующихся при взрывах снежных ядер «мини-комет» в радиационных поясах Земли и экранирующего ультрафиолетовое излучение верхней атмосферы. После взрыва облако пылинок продолжает двигаться к Земле расширяющимся конусом.

ракет, так и результатами непосредственного сбора пыли.

Чтобы срочно решить эту проблему, в 1962—1965 гг. в США запустили пять специализированных спутников для исследования микрометеоритов. ИСЗ «Эксплорер-16» и «Эксплорер-23» несли наборы разнообразных и сложных датчиков микрометеоритов, а каждый из трех огромных «Пегасов» — лишь наиболее простые и надежные пробойные датчики с металлическими пленками разной толщины общей площадью по 200 м^2 (до этого площадь рабочих поверхностей датчиков была в тысячи раз меньше). Датчики «Пегасов» позволили прямо и непо-

средственно оценить метеорную опасность для космических аппаратов. Оказалось, что концентрация пыли в околоземном пространстве может превосходить ее концентрацию в межпланетном пространстве не более чем на порядок.

В это же время в США и СССР велись десятки сложнейших методических экспериментов на ракетах, спутниках и в наземных лабораториях. Они выявили ряд недостатков и источников погрешностей акустических и оптических датчиков микрометеоритов, методов оптического зондирования и сбора пыли в верхней атмосфере. На этом основании результаты, отличные от данных пробой-

ных датчиков, признали ошибочными. Их даже не стали глубоко анализировать, хотя уже тогда высказывались предположения, что расхождение в показаниях пробойных и акустических датчиков могут объясняться рыхлой структурой и низкой пробивной способностью подавляющего большинства частиц космической пыли. Главная же причина неприятия результатов акустических датчиков заключалась в том, что так и не удалось найти физический механизм накопления межпланетной пыли в околоземном пространстве. Между тем представление о метеороидах и микрометеоритах как о «комочках пыли» осталось.

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТЕОРОИДОВ

До 1980 г. не существовало строгой физической теории дробления метеороидов в атмосфере и все рассуждения о влиянии дробления на характеристики метеоров имели спекулятивный характер. Такая теория была создана А. Н. Симоненко, В. В. Калениченко и автором. При торможении в атмосфере лобовая поверхность метеороида нагревается чрезвычайно быстро — со скоростью до 10^5 К/с! Лабораторное нагревание в вакууме образцов горных пород, железа и метеоритов показало, что задолго до начала интенсивного испарения нагреваемая поверхность начинает разрушаться и от нее отлетает множество мелких фрагментов.

Автором был предложен и экспериментально обоснован один из возможных механизмов такого дробления плотных метеороидов в атмосфере: сброс поверхностного слоя нагреваемого метеороида вследствие бурного испарения летучих примесей (воды и серы). Стало быть, не испарение, а дробление является основным механизмом абляции плотных каменных и железных метеороидов. Более того, факт дробления вообще не свидетельствует о рыхлости метеороидов.

В 1985—1988 гг. автор разработал метод детального математического моделирования наблюдаемых высот и торможений метеоров, который впервые позволил надежно оценить плотность и удельную энергию дробления метеороидов по данным каталога 413 заснятых метеоров. В этом каталоге, составленном Л. Якья, Ф. Верниани и Р. Бриггсом (к сожалению пока единственным), приведены точно измеренные характеристики торможения метеоров. Оказалось, что среди породивших их метеороидов представлены все основные типы метеоритов — от железных до углистых хонд-

ритов CI, а также еще три типа метеороидов, которые не встречаются среди метеоритов: «комочки пыли», углистые хондриты CO (отличающиеся очень высоким содержанием воды) и метеороиды особого химического состава (мы назвали их метеороидами «типа Драконид», так как впервые обнаружили их в этом метеорном рое).

В результате совместного статистического анализа данных наиболее точных каталогов метеоров мы получили следующее распределение различных типов метеороидов в межпланетном пространстве (без учета метеороидов последнего типа, к которым мы вернемся позже): железные и железокремниевые — 4 %; обыкновенные хондриты, углистые хондриты CIII и CII — 20 %; углистые хондриты CI — 32 %; углистые хондриты CO и «комочки пыли» — 44 %.

Таким образом, хотя рыхлые «комочки пыли» и очень богатые водой углистые хондриты CO, очень широко распространены в межпланетном пространстве, даже вместе они не дают большинства всех метеороидов. Отсутствие же подобных образований среди метеоритов совершенно естественно, так как крупные тела такого состава полностью разрушаются при торможении и сильном нагреве в плотных слоях атмосферы (метеороиды и метеоритообразующие тела теряют скорость или массу тем ниже в атмосфере, чем больше их начальная масса). Однако остатки таких частиц — уже без летучих соединений — составляют до половины всех микрометеоритов, собираемых в стратосфере. Богатые водой и серой углистые хондриты CI широко представлены в межпланетном пространстве, но их доля среди собираемых на поверхности Земли метеоритов относительно невелика, так как они легче разрушаются при торможении в атмосфере, чем железные метеоритообразующие тела или обыкновенные хондриты.

КОМЕТЫ, АСТЕРОИДЫ И МЕТЕОРИТЫ

Наиболее неожиданным из наших результатов было обнаружение в ряде метеорных роев с известными кометами — родоначальницами плотных каменных и железных метеороидов, которые, по мнению большинства исследователей, являются продуктами дробления астероидов. Это размывает границу между ядрами комет и астероидами, еще недавно казавшуюся столь четкой. Различие стирается также открытием ледяных астероидов и астероидоподобного объекта Фазтон на орбите известного метеорного потока Геминид: многие исследователи считают Фазтон остатком ядра кометы после

сублимации льда. Такое же происхождение могут иметь и другие астероиды с сильно вытянутыми орбитами «кометного типа».

ИЗ ЧЕГО СОСТОЯТ МЕТЕОРОИДЫ «ТИПА ДРАКОНИД»?

Метеоры «типа Драконид» появляются

на аномально больших высотах по сравнению с большинством других метеоров тех же яркостей и скоростей. Это впервые отметили Л. Яккья, З. Копал и П. Миллман в 1950 г. по фотоснимкам чрезвычайно интенсивного «метеорного дождя» Драконид в октябре 1946 г. Вскоре было открыто дробление метеороидов, которое объяснили их рыхлой структурой. В этой связи появилась гипотеза, что в рое Драконид метеороиды особенно рыхлы и поэтому дробятся на особенно больших высотах. Однако, вопреки мнению ее авторов, эта гипотеза не может объяснить необычные высоты метеоров «типа Драконид» (сколь бы высоко ни дробились порождающие их метеороиды), если по своему химическому составу они почти не отличаются от остальных метеороидов и метеоритов.

Дело в том, что существует предельная высота h_H появления метеоров, порождаемых метеороидами с данной температурой начала интенсивного испарения T_H . Энергия, сообщаемая метеороиду налетающими молекулами воздуха, расходуется на его нагревание, плавление, испарение и тепловое излучение с его поверхности. Максимальную оценку равновесной температуры метеороида и отделившихся от него на данной высоте мелких фрагментов можно получить, пренебрегая всеми потерями энергии, кроме теплового излучения. Для мелкого сферического фрагмента плотность атмосферы ρ_H на высоте h_H связана с T_H и скоростью v простой формулой: $\rho_H = 8\sigma T_H v^{-3}$ (σ — постоянная Стефана-Больцмана). Скорость Драконидов равна 20 км/с. Если основной состав метеороидов в рое Драконид такой же, как у каменных или железных метеоритов, то для них $T_H = 2300$ К (испарение воды и серы не может привести к появлению метеора) и $h_H = 94$ км. Между тем 125 из 170 (73 %) отснятых Яккья, Копалом и Миллманом метеоров Драконид появлялись на высоте больше 94 км, а 49 (29 %) исчезали даже на больших высотах.

По наибольшей из высот появления метеоров Драконид (111 км) мы нашли, что для метеороидов аномального химического состава «типа Драконид» верхний предел начала интенсивного испарения $T_H < 1000$ К. Это ниже температуры плавления любого из

известных типов метеоритов (1600—1800 К). По наблюдаемым параметрам торможения и высотам исчезновения метеоров мы оценили удельную энергию испарения вещества этих метеороидов $Q = 10^{10}$ эрг/г, что примерно на порядок меньше, чем для каменных и железных метеоритов.

Из чего же могут состоять метеороиды «типа Драконид»? Ответ на этот вопрос подсказывают результаты недавних масс-спектрометрических измерений состава пылинок в коме кометы Галлея, проделанных с помощью космических зондов «Вега» и «Джотто». Из 5 тыс. исследованных субмикронных пылинок 35 % оказались сходны по составу с углистыми хондритами C1, 30 % — состоят в основном из легких элементов — углерода, водорода, кислорода и азота (CHON-частицы), остальные 35 % — из смеси вещества углистых хондритов и CHON-частиц. Поскольку время жизни субмикронных льдинок в межпланетном вакууме чрезвычайно мало, CHON-частицы должны включать преимущественно высокомолекулярные органические соединения С, Н, О и N типа полимеров с небольшой примесью более тяжелых элементов. Под действием космического излучения в поверхностном слое ледяных ядер комет толщиной до 100 м происходит полимеризация присутствующих там в большом количестве простейших органических молекул и образуются высокомолекулярные соединения, устойчивые при температуре до 500—600 К.

В связи с открытием CHON-частиц в коме кометы Галлея можно предположить, что по химическому составу метеороиды «типа Драконид» сходны с CHON-частицами. Наши оценки T_H и Q хорошо согласуются с этой гипотезой.

ДОЛЯ ОРГАНИЧЕСКИХ МЕТЕОРОИДОВ В МЕЖПЛАНЕТНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

В спектрах метеоров обычно преобладают эмиссионные линии железа, несколько меньше вклад натрия, еще меньше — магния и кальция. Хотя в углистых хондритах C1 кислород, кремний, сера, углерод и водород составляют вместе около 80 % их массы, вклад этих элементов и их соединений (а также молекул N_2 и O_2 атмосферы) в свечение невелик. Если принять, что в CHON-частицах атомов металлов в 10—100 раз меньше, чем в углистых хондритах, то и коэффициент светимости для них также должен быть на 1—2 порядка ниже. Значит, метеоры одной и той же яркости порождаются как метеороидами, сходными по составу с угли-

стыми хондритами, так и в 10—100 раз более массивными метеороидами «типа Драконид». Численность же метеороидов очень быстро растёт с уменьшением их массы. Следовательно, исходя из этого факта и из того, что около 2/3 метеоров роя Драконид возникают на аномально больших высотах, можно заключить, что 90—99 % всех метеороидов в рое Драконид состоят в основном из органических соединений.

Проведенный нами анализ высот метеоров и болидов из ряда фотографических и фото-телевизионных каталогов показал, что на аномально больших высотах наблюдаются от 2 до 10 % этих объектов. Отсюда следует, что около половины всех метеороидов в межпланетном пространстве состоят в основном из высокомолекулярных органических соединений. Развивая эту мысль, можно предположить, что в ядре кометы Галлея относительное содержание хондритовой (силикатной) и органической пыли примерно такое же, как и в межпланетном пространстве. А вот у кометы Джакобини-Циннера (родоначальница метеорного роя Драконид), напротив, ядро относительно бедно силикатной и металлической пылью и богато органическими соединениями.

Как показывают лабораторные измерения, коэффициент ионизации метеоров слабо зависит от состава метеороидов. К сожалению, при обычных радиолокационных наблюдениях на волнах 4—12 м почти не замечаются метеоры на высотах более 100 км. Это обусловлено быстрым ростом с высотой начального радиуса ионизованных следов метеоров. Но в уникальных радионаблюдениях метеоров на волне 150 м Д. Олссона и В. Элфорда эта избирательность по высоте много меньше. Им удалось обнаружить около 40 % радиометеоров с аномально большими высотами, что подтверждает приведенную выше оценку доли органических метеороидов.

Почему же CHON-частицы не обнаружены среди микрометеоритов, собираемых в стратосфере? Видимо, это связано с низкой температурой их испарения. Расчеты показывают, что CHON-частицы надо искать среди самых мелких микрометеоритов, стараясь отличить их от земного загрязнения ловушек.

СОВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА ПРИТОКА МЕТЕОРНОГО ВЕЩЕСТВА

В 1981 г. автором были проанализированы сотни работ, в которых разными методами оценивался приток метеорного вещества, и в результате получена модель притока частиц разной массы. Сложная за-

висимость плотности потока от массы частиц объясняется различием механизмов их удаления из межпланетного пространства. В целом приток межпланетной пыли на Землю составляет около 100 т/сут. Однако эта оценка не включает основную массу органической пыли, которая плохо регистрируется пробойными датчиками при оптических и радиолокационных наблюдениях метеоров, а также при сборе микрометеоритов, изучении микрометеоритных кратеров на лунных полах и деталях космических аппаратов.

«МИНИ-КОМЕТЫ» И ПРИТОК ОРГАНИЧЕСКОЙ ПЫЛИ

В 1986 г. Л. Франк, Дж. Сигурт и Дж. Крвен сообщили о сенсационном открытии: ежеминутно в атмосферу Земли поступает около 20 снежных ядер «мини-комет» массой около 100 т каждое. Согласно их модели, эти ядра взрываются на высоте 2—3 тыс. км (при прохождении радиационных поясов Земли), создавая облака пара, которые на короткое время экранируют ультрафиолетовое излучение верхней атмосферы на волнах 0,12—0,14 мкм для наблюдателя из космоса. Такие наблюдения проводились с борта ИСЗ «Дайнемикс Эксплорер-1». Однако гипотеза о «мини-кометах» встретилась с так и не преодоленной ее авторами трудностью: осталось неясным, почему интенсивная сублимация снежных ядер не происходит в межпланетном пространстве (она обнаружилась бы по рассеянию парами воды мощного ультрафиолетового излучения Солнца в водородной линии L_α).

Поскольку поток «мини-комет» соответствует потоку метеоров, порождаемых метеороидами массой 1—10 г, по мнению Франка и его соавторов, в снежном ядре не может быть более 10 г пыли. Понятно, что 10 г пыли не может защитить 100-тонную глыбу снега от нагрева солнечными лучами и сублимации. В связи с этим мы выдвинули гипотезу, что снежные ядра «мини-комет» покрыты слоем не силикатной, а органической пыли. Масса такой пыли может быть на много порядков больше — просто мы ее не фиксируем. Во-первых, коэффициент светимости для органики очень мал и, во-вторых, после взрыва ядра пыль летит к Земле расширяющимся конусом и порождает в атмосфере на высотах 100—200 км не метеор, а слабо светящееся размытое пятно.

По оценкам многих исследователей, общее содержание органических молекул в ядрах комет не менее 5 %. И все они в принципе могут полимеризоваться, так как ядро «мини-кометы» пронизывается косми-

ческими лучами. «Мини-кометы» приносят в атмосферу около $3 \cdot 10^6$ т вещества в сутки, из которых 10^4 — 10^5 т может приходиться на высокомолекулярные органические соединения типа полимеров. Открытие «мини-комет» радикально меняет существовавшие представления о притоке в атмосферу паров воды из космоса, о происхождении земных океанов и атмосферы, о концентрации вещества в межпланетном пространстве и даже об общей массе Солнечной системы. Открытие огромного притока в атмосферу высокомолекулярных органических соединений представляет значительный интерес для проблемы зарождения жизни на Земле, а может быть, и происхождения органических полезных ископаемых в ее недрах.

ПЛОТНОЕ ПЫЛЕВОЕ ОБЛАКО ЗЕМЛИ СУЩЕСТВУЕТ...

Если «мини-кометы» приносят 10^4 — 10^5 т органической пыли в сутки, то на высотах 100—2000 км ее концентрация должна быть в 10^2 — 10^3 раз выше, чем в межпланетном пространстве. Но эта пыль почти полностью испаряется на высотах 100—200 км и плохо регистрируется пробойными датчиками. Зато акустическими датчиками она регистрируется почти так же хорошо, как и силикатная. В этой связи становится понятной обнаруженная В. Г. Фесенковым, Т. Г. Мегрелишвили и другими исследователями значительно более высокая относительная запыленность атмосферы на высотах более 100 км по сравнению с нижележащими слоями.

СУЩЕСТВУЮТ ЛИ РОИ «МИНИ-КОМЕТ»?

На основании тщательного сумеречного зондирования атмосферы с борта высотных аэростатов Ф. Линк обнаружил, что ежегодно 21 октября — во время максимума активности метеорного потока Орионид, связанного с кометой Галлея, — запыленность атмосферы на высотах 100—150 км временно повышается примерно в 10 раз. Это явление легко объяснить, предположив, что по орбите метеорного роя Орионид и кометы Галлея движется рой «мини-ко-

мет» с концентрацией на порядок выше, чем в межпланетном пространстве.

Если такой рой действительно существует, то не родились ли его «мини-кометы» вместе с большой кометой Галлея? Или же их снежные ядра отделялись от уже существовавшего ядра кометы Галлея? Не рождаются ли вообще кометы семействами из больших и малых комет? Нет ли таких же роев «мини-комет» на орбитах других больших комет и связанных с ними метеорных роев? Ведь кратковременный рост запыленности верхней атмосферы отмечался и во время максимума метеорного потока Персеид, связанного с большой кометой 1862 III. Может быть, и 15 мая 1958 г., когда акустическими датчиками, установленными на борту советского ИСЗ, зарегистрировано очень сильное кратковременное повышение частоты ударов, Земля прошла через такой рой «мини-комет»?

В заключение остается добавить, что каждый раз, когда для изучения метеоров, микрометеоритов, комет и кометной пыли применяли качественно новые методы исследований и технические средства, сложившиеся представления приходилось пересматривать. Сегодня мы вновь переживаем такой этап, и это еще раз указывает на бесконечную сложность объекта наших исследований — малых тел Солнечной системы: Если одного из видов этих малых тел — «мини-комет» — существенно больше, чем принималось ранее, то и общая масса Солнечной системы должна быть больше. В этом случае должны быть пересмотрены и представления о том, что многие наблюдавшиеся кометы навсегда улетают от Солнца по гиперболическим орбитам. При большей массе Солнечной системы их орбиты оказываются эллиптическими, т. е. замкнутыми, и эти кометы когда-то должны вернуться к Солнцу.

Что же касается нашей идеи об огромном количестве органической пыли, присутствующей в околоземном космическом пространстве «мини-кометами», окончательно доказать ее не просто. Но тот факт, что она позволяет объяснить целый ряд явлений, ранее казавшихся необъяснимыми, обнадеживает.

Почему мы не понимаем живую клетку, или Мифы молекулярной биологии

Л. Б. Марголис,

доктор биологических наук
Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

НИКТО не пророк в своем отечестве. Даже если это отечество США. Гюнтер Альбрехт-Бюлер (Gunter Albrecht-Buehler) — выдающийся биолог из Северо-Западного университета Чикаго известен не слишком многим специалистам по клеточной биологии. В свое время он выполнил ряд важных работ по движению клеток в культуре, роли цитоскелета в определении формы клеток, движению ядер. Пожалуй, широкий круг исследователей знаком лишь с его статьей о маркировании треков клеток с помощью частиц коллоидного золота.

В последнее время наряду с публикацией конкретных и по-прежнему очень интересных экспериментальных работ Альбрехт-Бюлера (кстати, физик по образованию) много размышляет об общих вопросах клеточной биологии. Его последнюю публикацию в защиту «немолекулярной» клеточной биологии (In defense of «nonmolecular» cell biology)¹ следует прочесть не только тем, кто так или иначе занимается изучением клетки — цитологам, биохимикам, биофизикам, молекулярным биологам, но и вообще всем, кто интересуется биологией. И хотя статья опубликована не в самом читаемом издании, я не сомневаюсь, что со временем она станет классической. Работа эта выросла из размышлений автора о том, сможем ли мы понять живую клетку на молекулярном уровне.

Многие из нас отдают себе отчет в том, насколько мало мы понимаем, как работает клетка. И это несмотря на многолетние усилия множества лабораторий! Можно привести немало примеров, когда талантливые люди, много успевшие в физике, химии, математике или даже в других разделах биологии, не добиваются существенных успехов, переключившись на проблемы биологии клетки. По-видимому, клеточная биология — наука следующего порядка сложности по сравнению с «элементарными» физикой, химией или математикой.

Последние годы мы все больше уповаем на успехи молекулярной биологии, объяснившей нам многое в функционировании клеточного генома. А может ли эта наука объяснить клетку в целом? Отрицательный ответ на этот вопрос содержится в заголовке статьи Альбрехт-Бюлера. Но в действительности она шире своего названия. В ней показаны не только бесперспективность «молекулярного» анализа общих клеточных процессов, но и неадекватность наших биохимических представлений. Причина — в особенностях биологических законов. Хотя эти законы не противоречат физическим, но они из них и не следуют.

Первое, что, по мысли Альбрехт-Бюлера, следует понять клеточным биологам — это отличие мира клетки от окружающего нас макроскопического мира. В какой-то степени его так же невозможно вообразить, как мир элементарных частиц. Начнем с того, что внут-

риклеточная среда не похожа на водные растворы реакционноспособных соединений, про которые и написаны все учебники биохимии.

В качестве популярной иллюстрации того, как мир клетки отличен от нашего, Альбрехт-Бюлер предлагает рассмотреть бутылку вина высотой 28 см с диаметром горлышка 2 см. Если ее размеры уменьшить всего в 10 раз, вино не будет выливаться даже из перевернутой бутылки: мениск почти не изменит своей формы. Вино будет вести себя, как гель. Причина этого проста: диаметр горлышка уменьшился в 10 раз, во столько же и поверхностное натяжение, а масса вина примерно в 10^3 раз. Такая масса уже не может преодолеть поверхностное натяжение на границе раздела жидкость — воздух.

В нормальной клетке, как и в вине, примерно 85 % воды, но размер средней клетки меньше бутылки в 28 тыс. раз. Другими словами, ее масса меньше массы бутылки вина примерно в $28\,000^3 \sim 2 \times 10^{13}$ раз, а поверхностное натяжение — всего в 28×10^4 , т. е. силы тяжести в клетках не играет заметной роли. Иерархия сил в клетках совсем иная, чем в нашем мире. Для клетки большее значение имеет вязкое трение, броуновское движение, электростатические силы. При столь значительных различиях между массой и поверхностным натяжением капля воды приобрела бы форму идеального шара. У большинства же клеток, напротив, поверхность сильно деформирована, имеются выпосты, ворсинки и т. п. Дело в том,

¹ Albrecht-Buehler G. // *int. Rev. of Cytology*. 1990. V. 120. P. 191—241.

что цитоплазма клетки не просто гелеобразна, но высоко структурирована. Она вся пронизана нитями цитоскелета, разделена мембранами. Инженерные задачи, которые решает клетка, не похожи на решаемые инженерами.

Со специфической внутриклеточной среды связаны и трудности молекулярного объяснения клеточных функций. Действительно, взаимодействующие молекулы в клетке не плавают свободно, как в пробирке с водным раствором, а в основном иммобилизованы на полимерных структурах цитоскелета или мембранах. Реакции проходят почти как в твердом теле. Из-за этого химия клетки весьма далека от излагаемой в университетских курсах. Скорее, внутриклеточные реакции более адекватно может описывать химия иммобилизованных ферментов. (Между прочим, сильная школа химиков этого направления существует у нас в стране.)

Кстати, из приведенных рассуждений понятно, почему сравнительно успешно развивается, например, наука о клеточных мембранах. С самого начала их изучения было ясно, что в силу свойств фосфолипидов, которые образуют слои и мицеллы, обычная «водная» химия к ним не применима, так что пришлось создавать другую — «гидрофобную». А в более старых разделах, скажем в проблеме внутриклеточного транспорта, прогресс крайне ограничен, возможно, именно потому, что мы все еще представляем этот процесс как перенос комплексов молекул через водную среду, которой на самом деле в клетке по существу нет.

Вообще, в своей работе Альбрехт-Бюлер много внимания уделяет структурированности цитоплазмы. Упор в основном делается на линейные структуры: хромосомы, микротрубочки, микрофиламенты. Автор предполагает, что вдоль таких структур могут передаваться сигналы за счет локальной ассоциации и диссоциации молекул вдоль структуры. Он считает, что вдоль ДНК движутся «плузыри» — либо расплетенные гиразой нити двухцепочечной ДНК, либо просто возникающие из-за температурных флук-

туаций. Вполне вероятно, что природа могла использовать такой механизм для передачи сигнала.

Почему-то Альбрехт-Бюлер совсем не рассматривает в том же аспекте мембраны. Ведь вдоль них тоже способны распространяться различные сигналы. Мембраны могут регулировать и тип химических превращений: благодаря им в цитоплазме, возможно, создаются структурированные и неструктурированные области. В последних все же может работать и более знакомая нам «водная» биохимия, тогда как в первых — только химия иммобилизованных молекул.

Трудно представимым для нашего воображения делает клетку и ее близость к квантово-механическому миру. Размер молекул в клетках как раз таков, что они находятся на границе между детерминистским миром классической механики и недетерминистским квантовой. Скажем, ДНК хромосом можно взвесить и одновременно определить ее положение и скорость при митозе. Но сама структура двойной спирали поддерживается водородными связями, подчиняющимися законам квантовой механики.

Еще одна специфика, связанная с микроскопическими размерами клетки, — небольшое число копий молекул каждого вида: 10—100 штук. Это слишком мало, чтобы применять такие понятия, как концентрация, величина pH, константа связывания, — понятия, выработанные для растворов в пробирках. Например, 1 мкг белка с молекулярным весом 30 тыс. (около 3 пкМ) содержит 2×10^{12} молекул. Сравним это с типичными величинами в клетке: копий генов обычно от 1 до 10, репресоров — сотни. В клетке в среднем менее 4 молекул гормона роста или хемоаттрактанта. Даже в обширной области вокруг клетки, например 10^{-3} см (в 26 раз больше клеточного объема), при обычной концентрации гормона (1 пкМ) окажется всего около 8 молекул. Вокруг же индивидуального рецептора большую часть времени вообще нет молекул гормона.

Уместно заметить, что уже 2 года назад Альбрехт-

Бюлер напечатал работу, в которой, используя сходные рассуждения, ставил вопрос, что же такое внутриклеточное значение pH, важное, как считается, для запуска многих внутриклеточных процессов. Можно подсчитать, что в объеме кишечной палочки всего 120 свободных протонов. Трудно себе представить, как они могут контролировать сотни или тысячи химических реакций, одновременно протекающих в клетке. Это становится еще менее понятным, если вспомнить, что эти 120 «контролирующих» протонов действуют на фоне примерно 1 млн. аналогичных ионов, появляющихся и исчезающих при ассоциации и диссоциации воды.

Так или иначе, химическое понятие концентрации, примененное к массам молекул и основанное на усреднении их свойств, неприменимо, когда счет идет на штуки. Поэтому же совершенно неадекватно использование констант Больцмана, равновесия, связывания. Не много оставляет нам Альбрехт-Бюлер из биохимического арсенала!

Но если биохимический подход к анализу клетки неадекватен, то замена его на молекулярный, по мнению автора, и вовсе бессмысленна. Альбрехт-Бюлер построил эту часть статьи, как серию простых вопросов, ответ на которые знает каждый биолог. Но после того, как читатель внутренне этот ответ дал, автор ехидно показывает, что ответ не просто неверен, но вообще бессмыслен.

Вообще, хочется отметить, что работа Альбрехт-Бюлера не только глубока по мысли, но и блестяща по форме. Это прекрасное чтение, в котором нет ни обычного наукообразия, ни суконного стиля научных публикаций. (Не зря автор потратил на эту сравнительно небольшую по объему работу целый год, проведя его вдалеке от обычной суеты своей лаборатории — в Свободном университете в Берлине.)

Вот образец рассуждений автора. Почему элементарными единицами для объяснения биохимических процессов выбраны именно молекулы? Почему, например, не куда более простые

протоны, мезоны, фотоны и нейтрино? Биолог на этот вопрос отвечает так: «Во-первых, описание биологических процессов через элементарные частицы было бы слишком громоздким, а во-вторых, при переходе к элементарным частицам мы упустим разницу между биологической («живой») и небιологической («неживой») системами». Но ведь вся идеология молекулярного анализа как раз и состоит в том, чтобы свести биологическое явление к физическому или химическому. Почему же тогда не проявить последовательность и не перейти к более фундаментальным физическим понятиям? Что же касается громоздкости, молекулярно-биологическое описание значительно более громоздко, чем клеточно-биологическое, которое оперирует органеллами, мембранами, нитями цитоскелета, т. е. надмолекулярными понятиями. Между тем такой анализ считается описательным, говорят, что это вчерашний день науки.

Кстати, в самой физике, не страдающей, как биология, комплексом неполноценности, никто не пытается заменить термодинамику или гидродинамику уравнениями квантовой механики, хотя, в принципе, можно описать работу мотора в терминах уравнений Шредингера. Может быть, и биологам нужно взять на вооружение принцип экономии мышления Маха и использовать все-таки надмолекулярные описания, в которых уже интегрированы взаимодействия многих макромолекул?

Вообще, в обличии молекулярной клеточной биологии, на которую в США дают значительно больше денег, чем на просто клеточную, автор достаточно язвителен. Шедвером в этом роде служит небольшая глава «Что клеточные биологи понимают под словом «молекулы»?». Если мы так уж настаиваем на необходимости молекулярного анализа, давайте сначала определим само понятие молекулы. Здесь, однако, даже физики или химики не имеют общего ответа.

Для специалиста по квантовой механике молекула — это решение уравнения Шредингера, для химика — скорее,

структура Кекуле, для кристаллографа — облака электронов разной плотности. Спектроскопист сделает упор на размеры и электрический дипольный момент, которые, как он точно знает, и определяют инфракрасный и рамановский спектры. Физик-ядерщик в первую очередь помнит о том, что линейные размеры атомных ядер в 1000 раз меньше, чем размеры атомов, так что молекула — это в общем-то пустота, заполненная сложными электромагнитными полями и разреженным электронным газом. Специалист по физике высоких энергий воображает на месте молекулы упаковки элементарных частиц; расстояния между упаковками порядка размеров атомного ядра, а силы столь слабы, что ими можно пренебречь.

Для биолога же молекула и вовсе не похожа ни на что реальное, перечисленное выше. Для него молекула белка — это либо рисунок субъединиц и функциональных групп с выделенными участками α -спирали, либо вообще цепочка символов типа «Туг» или «Ser», соединенных черточками, а то и просто полоска в геле. Но если это и есть наши молекулы, что же представляет собой молекулярный анализ, на котором мы так настаиваем?

Самые изощренные молекулярные биологи, конечно, скажут, что при необходимости эти символические молекулы можно наполнить реальным физическим содержанием. Но наполнить физическим содержанием можно и надмолекулярные понятия клеточной биологии — центриоли, микротрубочки или мембраны. Почему же, в отличие от молекул, их объявляют описательными?

Споря с таким негативным отношением к клеточной биологии, автор приводит два примера надмолекулярного описания — движение фибробласта по твердой поверхности и самоорганизацию колонии хламидомонад в структурно упорядоченную систему. Второй пример показывает, что хаотическое движение взаимодействующих элементов, преследующих собственные цели, приводит к упорядочению системы — одному из важнейших свойств систем,

которые мы называем живыми. По мысли автора, необходимо, чтобы взаимодействие между элементами было обязательно слабым. Это делает систему лабильной: добавление или изъятие некоторого числа элементов не отражается на остальных и позволяет им преследовать «эгоистические» цели.

Но похожими представлениями оперируют и молекулярные биологи, описывая работу хромосомы как конкуренцию между отдельными генами за собственные «эгоистические» цели. Аналогичные гипотезы были выдвинуты о функционировании мозга как конкуренции нейронов за проведение импульса. Автор полагает, что и 10^{13} молекул, из которых состоит клетка, организуются вместе благодаря сходным законам. По аналогии и взаимоотношения органелл в клетке тоже можно рассматривать таким образом.

Центральное утверждение Альбрехт-Бюлера, когда он переходит к определению предмета клеточной биологии, состоит в том, что, в отличие от физических и химических, биологические процессы определяются в значительной мере информацией. Физика же, как считает автор, описывает лишь системы, характеризующиеся энергией и краевыми условиями. Попытки объединить биологию и физику делались до сих пор в ущерб биологии.

Биохимия или молекулярная биология могут объяснить, как взаимодействуют друг с другом 2—3 молекулы. Клеточная же биология призвана объяснить, как 10^{13} неживых молекул объединяются в живую клетку и что их удерживает вместе. Альбрехт-Бюлер вслед за другими авторами считает, что это «что-то» — информация в клетке и вокруг нее. Такая информация может быть записана в виде структуры мембраны, расположения элементов цитоскелета, распределения ионов. Клеточная биология должна анализировать всю записанную в виде таких «текстов» информацию. Но для каждого текста есть предел дробления на элементы, за которым анализ теряет смысл. Разбив текст на буквы, мы утрачиваем его смысл. Для анализа текста важен и контекст. (Слово

«да» может иметь разные значения в разном контексте.) Альбрехт-Бюлер считает, что молекулярный анализ — это анализ букв, а не слов и тем более не предложений.

Из букв текст не сложится. Легко можно предсказать отрицательный результат мысленного эксперимента по смешиванию всех 10^{13} клеточных молекул, так как потребовалось бы по крайней мере еще знать положение всех молекул и их скорости, а это невозможно хотя бы из-за принципа неопределенности. Молекул слишком много для разумного молекулярного описания. Необходима общая теория, оперирующая надмолекулярными структурами.

Это утверждение несколько противоречит высказанному ранее: молекул слишком

мало для применения химических понятий. Можно, оправдываясь, сказать, что те рассуждения касались только некоторых типов молекул. Кроме того, как отмечалось, благодаря различным внутренним структурам в цитоплазме могут сосуществовать разные типы химических превращений.

Впрочем, оба утверждения — и что молекул слишком мало, чтобы пользоваться стандартными биохимическими понятиями, и что их слишком много, чтобы надеяться дать адекватное молекулярное описание клеточных процессов, — парадоксальны. А парадоксы убеждают. Поэтому примем еще один парадокс — заявление Альбрехт-Бюлера: «Задача клеточной биологии — исследование того, как интегрируются в одно

функциональное целое физические и химические реакции внутри одной клетки. Чем больше мы входим в молекулярные детали, тем дальше уходим от решения этой задачи. Вот так! И никаких молекулярных подходов!

Но, пожалуй, не стоит иронизировать по поводу крайностей этой блестящей работы, хотя ироничный тон предлагает сам автор. Я беру на себя смелость утверждать, что она по значимости сопоставима с таким классическим образцом, как «Что такое жизнь с точки зрения физика» Э. Шредингера.

Во всяком случае, после нее заниматься биологией клетки так, как мы занимались раньше, уже невозможно.

РЕКЛАМА, ОБЪЯВЛЕНИЯ

Ассоциация

«СОДЕЙСТВИЕ ЗАЩИТЕ НАСЕЛЕНИЯ»

ПРЕДСТАВЛЯЕТ

32 организации научно-исследовательского, проектного, конструкторского, медицинского и внедренческого профиля.

ВЫПОЛНЯЕТ

научно-исследовательские, проектные и конструкторские работы в области защиты населения;

разработку и реализацию программ для предприятий и регионов по комплексной защите населения;

оценку производств на предмет частоты возникновения аварий, размеров возможных площадей поражения, величины ущерба и стоимости восстановления;

подготовку необходимых материалов и исходных данных для страхования всех видов вредных производств;

проектные работы по реконструкции жилых, промышленных и общественных зданий с целью создания в них центров безопасности для населения от возможных аварий;

разработку экологических паспортов предприятий и учреждений; независимую экспертизу проектов вредных производств и защитных мероприятий.

ПРИГЛАШАЕТ

организации к сотрудничеству для совместного выполнения работ по защите населения.

Адрес: 119530, Москва, Аминьевское шоссе, 5.

Тел. 441-32-97, 442-96-44, 442-96-64.

Телекс 411700—001320.

Организация науки. Физика

Всесоюзный съезд физиков

18—19 декабря прошедшего года в актовом зале ЛГУ состоялся II (внеочередной) съезд Физического общества (ФО) СССР, возобновившего свою деятельность в 1989 г.¹ В его работе участвовали 203 делегата от 31 региональной и местной организации, в том числе 3 республиканских (Армения, Белоруссия, Молдова).

Съезд обсудил отчет правления, расширил его состав (в основном представителями ассоциаций и регионов), внес изменения в устав, утвердил планы текущей работы. Были заслушаны доклады: об основных результатах деятельности ФО (В. В. Михайлин), развитии международного сотрудничества (Ю. В. Новожилов), планах и перспективах работы ФО (С. П. Капица), состоянии физического образования в технических вузах страны (С. М. Козел), управлении наукой и повышении эффективности использования научного потенциала (Н. И. Куликов), фонде ФО (А. П. Сухо-руков), проекте изменений в уставе (М. М. Козодаева).

За прошедший год сформировалась структура ФО и развилась его деятельность в различных направлениях. В него вошли 33 региональные и местные общества, 7 коллективных членов, в том числе ассоциация преподавателей физики, Астрономическое общество СССР. Создан фонд ФО, 5 хозяйственных научно-технических организаций; рабочие комиссии и специализированные научные секции. Значительное развитие может получить международное сотрудничество ФО, в частности,

благодаря соглашению о взаимном членстве с Американским физическим обществом. Начало регулярное издание «Бюллетеня Физического общества СССР». По предложению Комитета по образованию Верховного Совета СССР проанализированы проблемы физического образования в технических вузах страны. Под эгидой Физического общества проведены специализированные конференции, в том числе в январе 1991 г. I Всесоюзная конференция «Физика и конверсия».

Участники съезда выразили серьезную озабоченность общим состоянием естественных наук, преподаванием физики, крайне низким финансированием фундаментальных исследований. Уже в ближайшие годы это может нанести серьезный ущерб не только интеллектуальному, но и производственному потенциалу страны. В связи с этим решено обратиться в Верховный Совет СССР с просьбой о безотлагательном принятии законодательных мер по защите науки и образования в условиях рыночной экономики.

Значительное внимание в решениях II съезда уделено созданию информационных сетей ФО, дальнейшему расширению его издательской деятельности (включая издание научного журнала, подготовку справочника «Кто есть кто» в области физики и т. д.), популяризации деятельности ФО среди научной общественности, всестороннему развитию международного сотрудничества. ФО должно оказывать значительную помощь в заключении взаимовыгодных соглашений между учеными-физиками и представителями промышленности СССР.

Съезд выразил надежду, что в условиях обострения международных и социальных конфликтов в стране ученые-физики консолидируют свои усилия для преодоления общей кризисной ситуации, будут активно вы-

ступать за приоритет общечеловеческих ценностей перед национальными, классовыми и любыми другими групповыми интересами».

Ю. П. Тимофеев,
доктор физико-математических наук
Москва

Космические исследования, организация науки

Бюджет и программа НАСА на 1991 г.

Согласительная комиссия конгресса США 17 октября 1990 г. решила выделить НАСА в 1991 финансовом году (начавшемся 1 октября 1990 г.) 13,9 млрд. долл. Из них 1,9 млрд. долл. ассигнуется на проект создания на околоземной орбите постоянно действующей космической станции «Фридом» (это на 863 млн. долл. меньше, чем запрашивал президент Дж. Буш).

На 1991 ф. г. президент запросил у конгресса на нужды НАСА свыше 15 млрд. долл., указав, что эта сумма — минимум, необходимый для продолжения исследований на нынешнем уровне. Однако конгресс настаивает на сокращении этой суммы, что приостановит ряд научных программ и затормозит разработку станции «Фридом». Так, сенат урезал финансирование некоторых проектов, выделив на научно-технические программы НАСА 5,6 млрд. долл. (почти на 1,5 млрд. долл. меньше требуемого).

Подобные сокращения заставят отказаться прежде всего от программ исследований дальнего космоса; придется также

¹ Подробнее об этом см.: Возрожденное Общество (Беседа с С. П. Капицей) // Природа. 1990. № 3. С. 71.

² Отчет о работе съезда будет опубликован в четвертом выпуске «Бюллетеня ФО СССР».

отложить намеченный на 1995 г. запуск станции «Фридом» или отказаться от намерения сделать ее постоянно действующей. Уменьшение ассигнований на проекты с участием европейских стран, Японии и Канады может вызвать протесты с их стороны. Кроме того, сенат обошел стороной вопрос о пилотируемых полетах на Луну и Марс, которые президент назвал «краеугольным камнем программы освоения космоса».

Объявлен предварительный график полетов «шаттлов» в 1991 г. (могут измениться даты запусков, но не их очередность): 7 марта — «Дискавери», экипажу которого предстоит серия несекретных экспериментов по программе ВВС США; 11 апреля — «Атлантис» с астрономической обсерваторией для исследования гамма-излучения; 16 мая — «Колумбия» с космической лабораторией «Спейслэб»; 11 июля — «Дискавери» со спутником связи НАСА; 15 августа — «Атлантис» с военным спутником; 14 ноября — «Дискавери» со спутником для атмосферных исследований; 12 декабря — «Атлантис» для работы с лабораторией «Спейслэб».

В планах НАСА на 1991 г. еще два важных события: 7 мая на космодроме на м. Канаверал доставят новый космический корабль многоцелевого использования «Эндивор», а 4 августа ветеран «шаттлов» — «Колумбия» — отправится на предприятие фирмы «Рокуэлл интернэйшнл» (Палмдейл, штат Калифорния) для модернизации, которая продлится около 5 мес.

Конгресс утвердил бюджет НАСА на 1991 г., предельно согласительной комиссией.

«Улисс»

6 октября 1990 г. через несколько часов после выхода на орбиту космического корабля многоцелевого использования «Дискавери» от него отделился аппарат «Улисс», созданный Европейским космическим агентством (ЕКА) и предназначенный для исследований Солнца.

В феврале 1992 г. «Улисс» достигнет окрестностей Юпитера, в июне — октябре 1994 г. пройдет над Южным полюсом Солнца (в 350 млн. км от плоскости эклиптики), в феврале 1995 г. пересечет плоскость эклиптики, а в июне — сентябре 1995 г. пройдет над Северным полюсом Солнца (минимальное расстояние при облете Солнца 200 млн. км).

Общая масса «Улисса» 370 кг, масса полезной нагрузки 55 кг, размеры 3,2×3,3×2,1 м. В космосе развертываются радиальная дипольная антенна длиной 72,5 м, осевая монополярная антенна (7,5 м) и штанга (5,6 м) с магнитометром на конце. Аппарат, стабилизируемый в полете вращением с угловой скоростью 5 об/м, обеспечивается электроэнергией от радиоизотопного термоэлектрического генератора (мощность 285 Вт в начале миссии и 255 Вт — в конце). На «Улиссе» установлены 2 передатчика (мощностью 20 Вт и 5 Вт), параболическая антенна диаметром 1,65 м и телеметрическая система для передачи на Землю информации со скоростью 1024 бит/с и записи в режиме запоминания (512 бит/с).

Проект «Улисс» осуществляется ЕКА и НАСА (США) на паритетных началах: аппарат и половина научных приборов созданы ЕКА, вклад НАСА — остальные приборы, термогенератор, использующий в качестве топлива плутоний, а также вывод аппарата на околоземную орбиту «шаттлом» и возможность пользоваться станциями слежения за объектами в дальнем космосе. Стоимость проекта (по некоторым источникам, только аппарата) 750 млн. долл.

В программе экспериментов — изучение солнечного ветра, магнитных полей, нейтрального межзвездного газа и состава заряженных частиц высоких энергий, регистрации электронов и ионов низких энергий, исследование космических лучей, солнечных рентгеновских лучей и космических гамма-всплесков, радио- и плазменных волн, космических пылевых частиц. Кроме того, по результатам радиослежения за «Улиссом» и траекторных измерений

планируются зондирование солнечной короны, регистрация гравитационных волн, исследование разрывов в солнечном ветре, состава его ионов и потери массы.

Продолжительность миссии «Улисса» 4,5—5 лет.

37-й полет по программе «Спейс шаттл»

16 ноября 1990 г. с космодрома на м. Канаверал (штат Флорида, США) осуществлен очередной запуск космической транспортной системы многоцелевого использования. На орбиту выведен корабль «Атлантис» с пятью астронавтами: Р. Коуи (командир), Ф. Калбертсон (пилот), Р. Спрингер, К. Мид и Ч. Гемар (специалисты по операциям на орбите).

Полет «Атлантиса» проводился по программе Министерства обороны США в обстановке секретности. По сведениям из неофициальных источников, просочившихся в американскую печать, на орбиту высотой около 740 км запущен разведывательный спутник массой около 11 т под кодовым названием «Проект ВВС № 658». Предполагается, что он будет вести фоторазведку иракских войск и военных объектов, а также обеспечивать радиоперехват переговоров, ведущихся с помощью различных средств связи.

Первоначально посадка «Атлантиса» планировалась 19 ноября на специально оборудованный для посадки «шаттлов» авиабаза Эдвардс (штат Калифорния). Однако из-за сильного ветра посадку задержали на сутки, а из-за дождя перенесли на м. Канаверал (это первая с апреля 1985 г. посадка «шаттла» там).

Нынешняя миссия «Атлантиса» — седьмой и последний полет «шаттла» по секретной программе Пентагона. В 1991 г. он планирует еще дважды использовать «шаттлы» для доставки в космос грузов, но полеты уже не будут секретными, так как секретность обходится Министерству обороны США весьма дорого. В дальнейшем запускать спутники военной ве-

домство планирует одноразовыми ракетами-носителями «Дельта-2» и «Титан-4».

С. А. Никитин
Москва

Космические исследования

Первый рентгеновский снимок Луны

С Земли фотографировать Луну в рентгеновском диапазоне невозможно, так как земная атмосфера не пропускает это излучение. Первые ее рентгеновские снимки удалось сделать со спутника «ROSAT» (Röntgen Satellite), запущенного в июне 1990 г. Европейским космическим агентством.

Спутник массой 2,5 т имеет на борту рентгеновский телескоп, созданный в Физическом институте им. М. Планка (Гаршинг, Германия), и широкоугольную камеру, изготовленную консорциумом британских организаций во главе с Лейстерским университетом. Это первый космический телескоп, принимающий сигнал в жестком ультрафиолетовом диапазоне спектра. На снимке видна тень на темной стороне Луны, что говорит о внеземном происхождении фонового рентгеновского излучения — Луна «обрезает» рентгеновские лучи от удаленных и пока не отождествленных источников.

New Scientist, 1990, V. 127, № 1732, P. 13 (Великобритания).

Планетология

«Белый глаз» Сатурна

На планете Сатурн недавно появилось Большое белое пятно (ББП). Видимо, это гигантский атмосферный ураган, вызванный перемещением облаков из низких слоев в более высокие. Его обнаружили 25 сентября 1990 г. в обсерватории Лас Крус (Нью-Мехико, США) на 12° с. ш. Сатурна. Затем астрономы-любители ряда стран



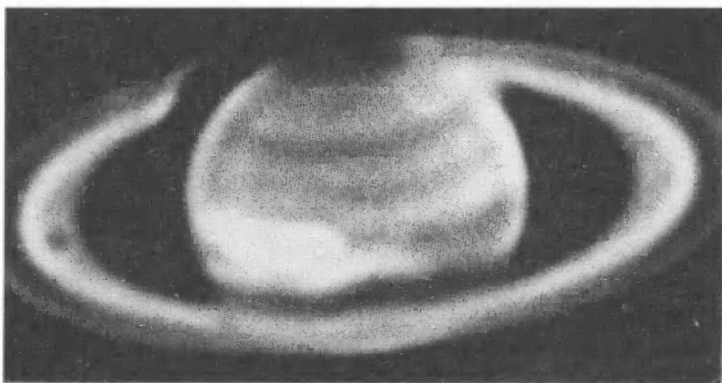
Процесс развития Большого белого пятна на Сатурне в течение двух недель; фотографии сделаны 8, 16 и 23 октября 1990 г.

следили за его ростом до размеров около 20 тыс. км (2 октября).

С октября 1990 г. на Южной европейской обсерватории (Ла Силла) О. Хейнаут (О. Haipaut; Институт астрофизики, Льеж, Бельгия) наблюдал за эволюцией ББП с помощью Нового

технологического и 2,2-метрового телескопов. Выяснилось, что пятно вращается с периодом 10 ч. 17 мин., т. е. медленнее остальной части атмосферы. 10 октября размер пятна достиг половины видимого диаметра Сатурна, а к 23 октября оно опоясало планету по экватору. Одновременно внутри него возникли яркие пятна, за которыми ведутся наблюдения.

Прежде за 200 лет на Сатурне отмечалось 24 пятна, из



Увеличенное с помощью компьютера изображение Большого белого пятна, полученное 16 октября 1990 г. на телескопе в Ла Силла.

них четыре — ББП (в 1876, 1903, 1933 и 1960 гг.), обычно наблюдаемые более двух недель, но еще не достигавшие столь больших размеров. Известно, что в атмосфере Юпитера гораздо больше полос и вихрей, чем у Сатурна. Объяснялось это тем, что в атмосфере Сатурна много аэрозолей и дымки, «скрывающих» вихревые течения и турбулентные движения. Пять ББП появлялись на Сатурне с поразительной регулярностью примерно раз в 30 лет, т. е. с тем же периодом, что планета обращается вокруг Солнца. Они всегда развивались в Северном полушарии примерно в середине лета, когда количество поступающей солнечной энергии там наибольшее. Поэтому возникновение пятен специалисты связывают с нагревом атмосферы планеты.

По мнению большинства планетологов, ББП представляет собой результат процесса апвеллинга воздушных масс из нижней атмосферы, когда большие облака поднимаются из низких слоев атмосферы и становятся видимыми. Это напоминает растущие грозовые облака в земной атмосфере. Однако механизм такого подъема не ясен. Пока вихри невелики, их трудно увидеть с Земли, различимы только крупные пятна. Судя по всему, они представляют собой центры гигантских ураганов наподобие гигантского Крас-

ного Пятна на Юпитере, наблюдаемого уже почти 400 лет.

Поскольку время жизни ББП всего несколько месяцев, было бы весьма интересно проследить за его развитием и последующим исчезновением.

ESO Press Release. 1990. № 10/90.

Астрофизика

Вибрации Солнца

Более 10 лет назад было обнаружено, что Солнце подвержено акустическим вибрациям, подобно гигантскому колоколу. Тогда же родилась гипотеза, согласно которой изменения в недрах Солнца за 11-летние циклы его активности должны влиять и на частоты этой вибрации. Однако до сих пор доказательства этого не было получено.

К. Дж. Либбрехт, М. Ф. Вудард (К. G. Libbrecht, M. F. Woodard; Калифорнийский технологический институт, Пасадина, штат Калифорния, США) сопоставили данные, описывающие колебания Солнца за 4 мес. 1986 г., когда его активность упала до минимума, с данными за такой же период 1988 г., когда близился максимум солнечной активности. Установлено, что частота вибраций Солнца в акустическом диапазоне систематически повышалась примерно на 0,0001. Структурные перемены, ответственные за такой сдвиг частот, сосредоточены в самых внешних слоях Солнца. Видимо, изменение акустических ча-

стот — результат изменений магнитной активности у поверхности Солнца, хотя происхождение последних остается неясным.

Итак, похоже, неслышимый «звон» гигантского космического «колокола» меняет свою тональность с 11-летней циклическостью.

Science News. 1990. V. 138. № 1. P. 7 (США).

Астрономия

Звезды не любят одиночества

Чем детальнее исследованы ближайшие звезды, тем очевиднее становится, что одиночные звезды, подобные Солнцу, чрезвычайно редки.

А. Дюкенуа и М. Майор (А. Duquennoy, M. Mayor; Женевская обсерватория, Швейцария), изучив спектры 166 желтых карликов (звезд типа Солнца), обнаружили, что 65 % из них имеют звезду-спутник массой не менее 10 % массы главного компаньона. А у оставшихся 35 % звезд не менее, чем у половины, есть спутник массой (0,01—0,1) M_{\odot} . По космическим меркам, это небольшие тела, но все же звезды, а не планеты. Итак, не более одной пятой звезд можно назвать одиночными.

А что же двойные системы — действительно ли всегда они состоят только из двух объектов? Канадские астрономы А. Бэттен и Дж. Флетчер (A. Batten, J. Fletcher) повторно исследовали около 1,5 тыс. наиболее полно изученных двойных звездных систем и установили, что не менее 20 % звезд, считавшихся двойными, при более тщательном анализе оказываются тройными и не менее 15 % тройных систем состоят по крайней мере из 4 тел. Но и это не предел — известны несколько систем из 5 звезд и одна система из 6 компонентов.

Кратные звездные системы весьма интересны, поскольку все звезды в них родились одновременно, так что массы

членов таких «семейств» и расстояния между ними способны многое рассказать о до сих пор загадочном процессе формирования звезд.

Publication le Observatoire de Genève. 1990. № 42; Journal of Royal Astronomical Society of Canada. 1990. V. 83. № 5. P. 289.

Физика атмосферы

Озон истощается у обоих полюсов

Специалисты Университета штата Вайоминг (Ларамы, США) южнополярной весной 1989 г. запустили 39 метеозондов в районе американской антарктической станции Мак-Мердо (78° ю. ш.). Анализ полученных данных показал, что к 20 октября 1989 г. на высотах между 15 и 20 км над ур. м. содержание атмосферного озона упало на 80—90 % по сравнению с нормой для конца августа.

За 1986—1989 гг. наибольшее истощение озоносферы над Антарктикой отмечалось в 1987 г.; за ним следуют 1989, 1986 и 1988 гг. В таком же порядке располагаются годы по степени продолжительности и жесткости зимних холодов.

Однако 1989 год, почти не отличавшийся по изменению концентрации озона от 1987 г., был заметно теплее. Это привело исследователей к мысли, что степень истощения определяется набором условий, которые выполнялись в 1989 и 1987 гг. за счет различных факторов.

Атмосфера над Арктикой никогда не охлаждается столь сильно, как в высоких широтах Южного полушария. Объясняется это тем, что зимой в район Северного полюса могут поступать воздушные потоки из средних широт. И тем не менее группа, во главе с Ф. Дж. Эвансом (F. J. Evans; Канадская служба изучения атмосферной среды) обнаружила неожиданное сходство между процессами разрушения озоносферы в Арктике и Антарктике. Полученные ими в феврале 1989 г. кривые содержания озона над полярной стан-

цией Алерт (Канадский арктический архипелаг, 82,6° с. ш.) близки к таким же кривым за сентябрь 1986 г. в районе Южного полюса (сентябрь в Южном полушарии — «аналог» февраля в Северном). Хотя в арктической стратосфере истощение озона не столь сильно, как в Антарктике, и составляет на высоте 20 км примерно 20 %, кривая в Северном полушарии падает почти так же круто, как в сентябре 1986 г. в Южном, когда концентрация озона снижалась на 0,7 % в сутки (подобное наблюдалось над Гренландией при поступлении туда масс воздуха, содержащего окись хлора).

Общее истощение озонового слоя составляет пока лишь около 8 % всей его толщи, но, по мнению специалистов, может возрасти с увеличением количества хлора, попадающего в стратосферу. Полагают, что содержание озона падает примерно пропорционально квадрату концентрации окиси хлора.

Geophysical Research Letters. 1990. V. 17. P. 167 (США).

Физика

Структура ударных волн в металлах

При ударном сжатии металлов возникает и вместе с фронтом волны распространяется слой, в котором исходная кристаллическая решетка теряет устойчивость, — таков вывод из численных экспериментов П. Тейлора и Б. Додсона (P. Taylor, B. Dodson; Лаборатория Сандиа, Альбукерке, штат Нью-Мексико, США).

Хотя высокоскоростное деформирование интенсивно используется в технологических и научных целях, пока нет удовлетворительной теории структуры ударных волн в металлах, а экспериментальные возможности весьма ограничены. При феноменологическом описании привлекаются различные дислокационные модели пластического течения, экстраполируемые с большой степенью произвола. В более последовательном микроскопическом подходе использовались уравнения движения

атомов с парным взаимодействием. Однако это не позволило воспроизвести установленный в многократных опытах факт: при достижении малых (менее 1 %) пороговых деформаций W_0 скорость стационарной волны D скачком снижается от продольной до объемной скорости звука c_0 , что традиционно связывают с переходом в текучее состояние.

Тэйлор и Додсон впервые учли многочастичный вид межатомного потенциала. В остальной схеме их расчетов отвечала принятой в молекулярной динамике: в начальный момент несколько тысяч атомов меди испытывали тепловые колебания вблизи узлов идеальной кристаллической решетки и двигались как целое навстречу абсолютно жесткой преграде из меди. Значение D оказалось близким к c_0 уже при деформациях $W_0 = 0,0025$, отвечающих давлению 0,3 ГПа.

Математическое моделирование свидетельствует, что при столь малых пороговых сжатиях не действуют обычные механизмы потери сдвиговых напряжений: полное разрушение решетки и восстановление ее кубической симметрии путем перескока атомов. Вместо этого в нескольких нанометрах за передним фронтом волны зарождается дефект типа плоскости двойникования. Первоначально параллельные направлению волны атомные ряды изгибаются симметрично к плоскости дефекта. С ростом амплитуды волны до 20 ГПа возникает область протяженностью 1—2 нм с более низкой кристаллической симметрией. В обоих случаях локальная структурная перестройка устраняет сдвиговые напряжения.

Описанная картина не может считаться окончательно установленной, во-первых, из-за ограничений вычислительного характера (относительно малое число атомов, модельный вид потенциала и т. д.) и, во-вторых, из-за того, что не объяснено отсутствие в расчетах часто наблюдаемой на практике нестационарной конфигурации с упругим предвестником основной волны.

Physical Review. 1990. V. 342. P. 1200—1204 (США).

«Плоские» линзы

Важнейшие параметры линз — кривизна поверхности и показатель преломления. У традиционных линз из однородного материала показатель преломления одинаков по всему объему. Однако несколько японских и американских фирм уже выпускают линзы с меняющимися по объему характеристиками.

Так, японская фирма NSG производит линзы в форме цилиндров (их называют «плоскими») диаметром около 1 мм и длиной несколько миллиметров. Показатель преломления такой линзы уменьшается от оси цилиндра к краям, и она фокусирует свет как обычная выпуклая собирающая линза. Однако новые линзы качественнее и дешевле. Их используют в фотокопировальных, лазерных печатающих и факсимильных устройствах, проигрывателях для компакт-дисков. Фокусное расстояние таких линз менее 1 мм (меньше, чем у обычных).

Американские фирмы разрабатывают линзы со сферическими поверхностями, но с плавным изменением показателя преломления по глубине (диаметр линз до 10 см, глубина — до 1 см). Это позволяет корректировать оптические аберрации линзы, не используя сложные сферические поверхности.

Такие линзы изготавливают в основном двумя способами. В первом при варке стекла добавляют определенные добавки. Во втором, называемом золь-гельным, сначала формируют густую пену, конденсируемую затем при нагреве (при этом один из компонентов стекла растворяется в жидкой массе так, что его плотность меняется с глубиной).

Американская фирма ISOTEC сплавляет стекла с разными показателями преломления, надеясь добиться у линз плавного изменения показателя преломления до 30 %, хотя конкуренты относятся к таким попыткам скептически.

New Scientist. 1990. V. 127. № 1735.
P. 32 (Великобритания).

Тройная спираль

Сотрудники Калифорнийского университета (Лос-Анджелес, США) показали, что в определенных условиях небольшие отрезки ДНК образуют не классическую двойную, а тройные внутримолекулярные спирали.

Моделью служил полинуклеотид из 28 оснований. Как следует из его ЯМР-спектров, при определенных значениях концентрации раствора (100 мМ NaCl, 5 мМ MgCl₂) и температуры (1 °C) и уменьшении значения pH структура ДНК меняется от двойной спирали (дуплекса) к тройной. Дуплекс содержит четыре пары нуклеотидов аденин-тимин (АТ), соединенных водородными связями и три пары гуанин — цитозин (GC). Тройная спираль, зарождение которой начинается при pH < 6,1, содержит тройки ТАТ и GCG.

Образование тройной спирали ДНК: **наверху** — последовательность оснований 28-членного отрезка ДНК; **в центре** — промежуточный внутримолекулярный дуплекс, **внизу** — внутримолекулярный триплекс [тройная спираль]: А — аденин, С — цитозин, G — гуанин, Т — тимин [точка означает систему водородных связей между основаниями ДНК]

Тройные внутримолекулярные комплексы ДНК, по предположению авторов, участвуют в ингибировании экспрессии и рекомбинации генов.

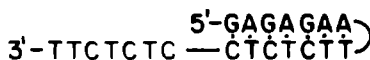
Nature. 1990. V. 345. N 6278.
P. 836—838 (Великобритания).

Медицина

С последствиями мерцательной аритмии можно бороться

Сердечной патологией — мерцательной аритмией — страдают миллионы людей. При этом предсердия не сокращаются, а вибрируют. Мерцательная аритмия часто вызывает образование кровяных сгустков, которые, попав в кровоток, могут закупорить артерии мозга и привести к инсульту. При мерцательной аритмии возможно также развитие стенокардии и инфаркта. Эти последствия у больных мерцательной аритмией наблюдаются в 5 раз чаще, чем у здоровых людей.

В Национальном институте изучения неврологических заболеваний и стенокардии (США) установлено, что аспирин и варфарин препятствуют возникновению инсультов и инфарктов у людей, страдающих мерцательной аритмией.



New Scientist. 1990. V. 127. № 1735.
P. 32 (Великобритания).

Было обследовано 1244 человека с этим заболеванием. После года наблюдений оказалось, что всего у 1,6 % больных, получавших указанные препараты, развились осложнения от мерцательной аритмии (в контрольной группе — у 8,3 %). Прием одного аспирина в два раза менее эффективен.

The New England Journal of Medicine. 1990. V. 322. N 12. P. 863—865 (Великобритания).

Биология

Внутривидовой паразитизм у ос

Удивительная сложность и целесообразность поведения одиночных ос-охотниц известна со времен классических работ Ж.-А. Фабра. Вся последовательность действий самки при заботе о потомстве считали жестко генетически предопределенной и единственно возможной, пока не накопились факты, свидетельствующие, что предписанный природой порядок может меняться соответственно ситуации. Один из наиболее ярких примеров — внутривидовой паразитизм.

Обычно роющая оса аммофила выкапывает норку, ходит и парализует добычу (одну крупную или несколько мелких гусениц), затаскивает их в гнездо, откладывает на одну из гусениц яичко и запечатывает вход, после чего строит новое гнездо, никогда больше не интересуясь старым. Однако такая схема может нарушаться. Дж. Филд из Кембриджского университета (Великобритания), изучив за два года 191 гнездо *Ammophila sabulosa*, обнаружил, что 54 из них — почти треть! — подверглись нападению ос-соседей¹. Эти осы-паразиты предпочитали не охотиться, а использовать готовые гнезда и провизию. При этом выявлены два варианта социального паразитизма.

В случаях, когда этот путь избирали особи, еще не имев-

шие собственной норки, они заменяли в чужом гнезде яйцо хозяина на свое: открыв гнездо, оса-паразит вытаскивала добычу (хотя бы еще раз ужалив парализованную гусеницу) и съедала яйцо предшественницы (паразит к тому же еще и каннибал), затем возвращала гусеницу на место, откладывала собственное яйцо и запечатывала вход песчаной пробкой. Хотя при захвате чужого гнезда оса оказывается на всем готовом, 26 % захватчиц все же начинали рыть (затем бросая) собственные норки, видимо, удовлетворяя инстинкт.

Когда социальными паразитами становились особи, уже вырвавшие норку, чужим жилищем они обычно не пользовались, а лишь воровали из него добычу, уничтожая яйцо хозяина. Если в гнезде гусениц было несколько, паразит уносил всегда лишь одну — остальных из открытого гнезда могли утащить другие осы-паразиты.

Казалось бы, выгоднее первый этап паразитизма, но выяснилось, что в чужом гнезде яйцо выживает в 13 % случаев, а в своем — в 60 %. Дело в том, что некоторые, чем-то особенно привлекательные гнезда подвергались нападением по нескольку раз. Было установлено также, что добыча перетаскивается из чужой норки в свою чаще к вечеру, при температуре песка не выше 38 °С, а в норме охота и рытье нор возможны и при 48 °С. На частоту захвата чужих гнезд ни время суток, ни температура не влияли. С размерами особой тип паразитизма тоже не связан. Таким образом, механизм возникновения социального паразитизма пока не ясен.

В. М. Карцев,
кандидат биологических наук
Москва

Биология

Сколько стоит быстрый бег!

Скорость передвижения по равнине пропорциональна затрачиваемому усилию. Одна-

ко энергия, расходуемая на единицу пути, не зависит от скорости. Кажущееся противоречие объясняется тем, что энергия тратится в основном не на преодоление сопротивления среды, а на поднятие тела и его ускорение. Значит, при прочих равных условиях быстрее и экономичнее бегают тот, у кого ноги длиннее. Как правило, они длиннее у того, кто крупнее и, следовательно, тяжелее. Энергия, затрачиваемая на перенос 1 кг на 1 м, убывает с увеличением общего веса. Так, для пони (140 кг) она равна 0,2 Дж, а для кенгуровой крысы (30 г) — в 10 раз больше.

П. Крэм и П. Тэйлор (P. Kram, P. Taylor; Гарвардский университет, Кембридж, штат Массачусетс, США) рассчитали, что расход энергии на единицу веса тела обратно пропорционален времени отталкивания от опоры при каждом шаге (коэффициент пропорциональности зависит от длины шага, но не от веса и размеров животного). Это простое соотношение одинаково справедливо для мухи и слона, поможет определить энергетические затраты на движение у разных животных.

Nature. 1990. V. 346. N 6281. P. 265—267 (Великобритания).

Биология

Межвидовая конкуренция и экологический прогноз

Возможности экологического прогноза, как известно, весьма ограничены. Определенные надежды возлагались на сложные математические модели, но, будучи в большинстве своем чисто феноменологическими, они, как правило, не обладали прогностическими свойствами. Заметный успех в прогнозировании некоторых экологических процессов в самое последнее время достигнут в рамках так называемого механистического подхода. В частности, Д. Тильман из Университета штата Миннесота (США) показал, что исход конкуренции между

¹ Field J. // Behaviour. 1989. V. 110. N 1—4. P. 23—46; 219—243.

двумя видами растений, ограниченными в своем развитии количеством какого-либо необходимого биогенного элемента, можно довольно надежно предсказать, зная его пороговые концентрации для обоих видов¹.

Пороговой называют минимальную концентрацию лимитирующего ресурса (в случае, изученном Тильманом,— это азот в минеральной форме), при которой биомасса еще не снижается. Если концентрация ниже пороговой — прирост меньше потерь и биомасса сокращается. Если концентрация выше пороговой — прирост превышает потери и биомасса возрастает. По мере развития растений концентрация лимитирующего ресурса обычно снижается, и виды, обладающие меньшей пороговой концентрацией, получают преимущество.

Экспериментируя с несколькими видами злаков, Тильман обнаружил: чем больше различие в пороговых концентрациях между видами, тем с большей вероятностью можно предсказать исход конкуренции между ними. Оказалось также, что на основе различий в пороговых концентрациях можно предсказать и некоторые свойства растений. При этом используется идея «расплаты» организма за совершенствование каких-либо функций. Например, растение может продуцировать много мелких семян или мало крупных. Развитие мощной корневой системы должно способствовать потреблению лимитирующего биогенного элемента в низкой концентрации, но при этом неизбежно меньше становится вклад в рост стеблей и листьев. С уменьшением пороговой концентрации у пяти изученных Тильманом злаков возрастала масса корней и одновременно снижалась максимальная скорость прироста общей биомассы (достижимая, конечно, при избытке биогенных элементов). В ходе сукцессии (последовательной смене одних биоценозов другими на определенном участке) среди травянистых растений на первых этапах преобладают виды, быстро распро-

страняющиеся и быстро растущие (хорошие колонисты), но впоследствии их вытесняют виды, медленно расселяющиеся, но с низкой пороговой концентрацией. При сукцессии лесных сообществ сначала доминируют виды, являющиеся более сильными конкурентами за биогены, но позднее решающей оказывается способность конкурировать за свет. Таким образом, предсказание хода сукцессии на основе знания индивидуальных реакций видов на лимитирующие факторы становится вполне реальным.

А. М. Гиляров,
доктор биологических наук
Москва

Зоология

Необычные пауки

Пауки - скакунчики (сем. Salticidae) — типичные активно подвижные хищники Северного полушария. Но в южных тропиках, а также в Австралии и Новой Зеландии обитает примитивное подсемейство скакунчиков (Spartaeinae), отличающихся необычным поведением. Биология этих пауков изучалась под руководством Р. Джексона (Кентерберийский университет, Крайстчерч, Новая Зеландия)¹.

Европейские и североамериканские скакунчики используют паутину только для постройки мелких трубчатых гнезд. Многие же представители их южных сородичей спартэин строят настоящую сеть либо сетевидную платформу, под или на которой линяют, откладывают яйца и отдыхают. Недавно изученные виды рода *Spartaeus*, обитающие в Таиланде и Сингапуре, строят на стволах деревьев плоские сети размером до 50—60 мм (при длине пауков 5—9 мм). Экспериментально показано, что пауки, предпочитая ночных бабочек и молей, чаще охотятся на своих сетях, чем вне их.

Изучение этого примитив-

ного подсемейства помогает раскрыть ход эволюции всего семейства скакунчиков, наиболее богатого видами по сравнению с другими семействами пауков — в 1989 г. насчитывалось 4273 вида скакунчиков (12,8 % мировой фауны).

К. Г. Михайлов
Москва

Зоология

Средство от колорадского жука!

Один из опаснейших вредителей пасленовых, и прежде всего картофеля,— колорадский жук, попал в Европу и нашу страну из Северной Америки. Во всем мире ведутся поиски средств борьбы с этим вредителем, приносящим колоссальный ущерб. Наиболее перспективными кажутся биологические методы.

Первые попытки их разработки в СССР предпринимались в 1958—63 гг., когда из США и Канады в южные районы страны завезли муху-тахину (*Doryphorophaga doryphora*), паразитирующую на насекомых. Однако теплолюбивая муха не перенесла нашей зимы. В 1960—79 гг. велись работы по интродукции двух видов хищных американских клопов, но они также потерпели неудачу.

В 1985 г. американский энтомолог Б. Паттлер, работая в Колумбии, выделил личинок зулафиды-эдовума (*Edovum puttleri*) из яиц одного из листоедов. Это оказался новый вид, паразитирующий на насекомых того же семейства, к которому принадлежит и колорадский жук. Затем этот паразит был обнаружен в личинках еще нескольких видов листоедов Колумбии и Мексики. Американский исследователь передал материал в СССР.

В 1986—87 гг. работы с зулафидой начали во Всесоюзном научно-исследовательском институте карантинных растений (Быково, Московской обл.). Первые результаты показали, что на юге страны новый паразит может стать простым и эффектив-

¹ Jackson R. // New Zealand J. of Zool. 1986. V. 13. P. 423—489, 491—520; J. of Zool. (London). 1990. V. 220. P. 561—567.

¹ Tilman D. // Oikos. 1990. V. 58. N 1. P. 3—15.

ным средством борьбы с опасным вредителем. Тем более, что оно, по-видимому, безвредно с точки зрения экологии. Проблема — в зимовке зулафиды, но, возможно, в более холодных высокогорных районах Колумбии и Мексики есть популяции и формы паразита, устойчивые к низким температурам.

Зоологический журнал. 1990. Т. 69. Вып. 10, С. 70—75.

Ботаника

Вредны ли полупаразиты для лугового сообщества?

Растения-паразиты, подобные заразихе (*Orobanche*) или пивилике (*Cuscuta*), полностью находят на иждивении растений-хозяев и поэтому лишены хлорофилла; полупаразиты же одновременно могут использовать ресурсы растения-хозяина и сами осуществлять фотосинтез. Поэтому один и тот же вид полупаразита может жить за счет десятков видов растений-хозяев, тогда как у каждого вида паразита обычно один хозяин.

Исследователь из ФРГ Д. Маттис (D. Matthies) изучал влияние на луговое сообщество полупаразита марьянника лугового (*Melampyrum arvense*). Работы велись на 100 площадках в форме круга диаметром 12 см, на половине из них в центре находился марьянник, а на другой — нет. Оказалось, что на площадках с марьянником произрастало больше видов растений, чем на площадках без него, различалось и их количественное соотношение. С марьянником чаще и обильнее росла люцерна, на которой он паразитировал охотнее, чем на других видах.

Как же это объяснить? Во-первых, полупаразит может ослаблять сильные виды и тем самым помогать слабым (рост видовой разнообразия за счет умеренного стресса известен). Во-вторых, возможно, полупаразит выбирает растения, растущие на более плодородных участках, где выживает большее число видов. Эти объяснения не противоречат друг другу,

но автор полагает, что роль среды, где развивается полупаразит, выше. Во всяком случае, марьянник не нарушает биологического равновесия в сообществе. Поэтому нельзя говорить о его вреде для сообщества, как, впрочем, и о пользе.

Tuexenia. 1990. V. 10. P. 269—274 (ФРГ).

Экология

Кислотные дожди и судьба жаб в Англии

Камышовая жаба (*Bufo calamita*) — охраняемый вид земноводных Великобритании, типичный для вересковых пустошей этой страны. Т. Биби с соавторами (Т. J. C. Beebee; Университет графства Сассекс, Великобритания) обнаружили, что численность этого вида в последнее время заметно сократилась. Анализ более старых данных и условий размножения жабы в некоторых водоемах позволил установить, что основная причина этого — кислотные дожди. Водоемы с высокой кислотностью воды, где размножаются (или размножались) жабы, можно разделить на две группы: мелкие пруды с преобладанием сфагнового мха и высокой концентрацией органических веществ в воде и более крупные, в которых много неорганических анионов (особенно SO_4^{2-}). Было выяснено, что некоторые большие пруды жабы не используют последние 50 лет, ибо они стали слишком «кислыми» для эмбрионов и личинок. Химический анализ воды и осадков на дне этих прудов показал, что кислотность растет в результате атмосферного загрязнения. Интересно, что кислотность дождевой воды сильно возрастает в сосняках, тогда как в березовых рощах этого не наблюдается. Кислотность воды в прудах значительно уменьшалась после изъятия донных отложений последних лет. Это может иметь важное значение для охраны жаб, хотя основной мерой, безусловно, должна быть защита окружающей среды.

Biological Conservation. 1990. V. 53. N 1. P. 1—20 (Великобритания).

Геология

«Ураганные» концентрации золота на дне морей

На V Тихоокеанской конференции по энергетическим и минеральным ресурсам, проходившей в Гонолулу (США)¹, ученые США, Японии, Германии, Франции, Австралии и Канады сообщили о новых результатах в изучении сульфидных руд на дне краевых морей в тихоокеанском сегменте Земли.

В котловине Окинава (Восточно-Китайское море) сульфидные руды образуют холмы (некоторые — до 10—30 м в длину и 10 м в высоту) и столбы, а также представлены корками и рудным гравием. Температура воды вблизи гидротерм колеблется от 320 до 150—200 °С. Руды исследованного поля Изена образованы сфалеритом, тетрагетитом, галенитом; они содержат Zn, Sn, Cu, Fe, Au, Ag. Причем концентрация золота и серебра составляет от 12 до 1000 г/т. Последняя величина относится к категории так называемых «ураганных» концентраций. Разработки золота на континентах ведутся и при содержании 1,5 г/т руды. В пределах другого исследованного здесь поля — Жад — преобладают сфалерит, галенит, халькопирит, пирит и марказит, а сопутствуют им энргит, антимонит, ковелит, аргентит, реалгар, англезит, барит, сера, малахит, а также железо- и марганцевые оксигидраты. Максимальные концентрации главных компонентов в разных образцах руды составляют: Zn — 40 %, Pb — 25 %, Fe — 28 %, Ba — 8,1 %, As — 9 %, Cu — 6 %, Ag — 1 %, а Au — до 14 г/т. Полагают, что гидротермальное поле Жад — современный аналог месторождений типа Куроко.

На Идзу-Бонинской и Марианской дугах (Филиппинское море) гидротермальные (преимущественно марганцевые) отложения связаны с активными и потухшими подводными вул-

¹ Abstracts of the Fifth-Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference. Honolulu, Hawaii, 1990.

канами. Рудные образования представлены корками толщиной в несколько сантиметров и конкрециями. Концентрации Co (1,1 %) и Ni (1 %) здесь выше, чем в корках на подводных горах Тихого океана.

В котловинах Западный Вудларк и Манус (Соломоново море) сульфидные столбы образуют так называемый «венский лес». Содержание Zn в них достигает 57 %, а Cu — 37 %.

В Северной Фиджийской котловине (море Фиджи) сочетаются признаки угасшей и сохраняющейся гидротермальной активности (температура — до 285 °С). Руды представлены здесь сульфидами и оксидами металлов.

Почти по всей протяженности котловины Лау прослежены три типа гидротерм: низкотемпературные (40 °С), связанные с андезитами и дацитами, а также представленные сульфидами и оксидами металлов; средние - высокотемпературные (150—300 °С) с барит-сульфидной минерализацией; высокотемпературные (342 °С), приуроченные к срединному хребту Валу Фа. Плюмы над этими гидротермами обогащены, наряду с другими металлами, Sr, Rb и Li.

Эти материалы дают основание выделить новый морской Западно-Тихоокеанский пояс полиметаллических руд с повышенной, а иногда и «ураганной» концентрацией благородных металлов, охватывающий котловины краевых морей — от Командорской на севере до Южной Фиджийской на юге.

Л. Э. Левин,
доктор
геолого-минералогических наук
Москва

Геология

131-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»

Бурение в 131-м рейсе велось у трого Нанкай, расположенного в Филиппинском море, к юго-востоку от Японских о-вов. Здесь была пробурена одна скважина — 808, которая вскрыла слой мощностью 1290 м

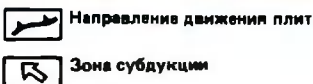
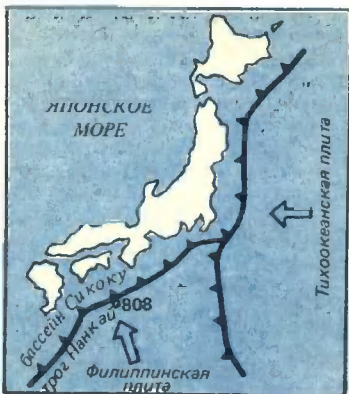


Схема района бурения в 131-м рейсе «ДЖОЙДЕС Резолюшн».

среднемиоценовых (15 млн. лет) и голоценовых (современных) осадков. Верхние 560 м представлены турбидитными осадками, привнесенными мощными течениями, которые могли возникнуть в зоне столкновения Идзу-Бонинской и Японской дуг. Ниже лежат отложения с чертами, характерными для открытого океана; они накапливались вдали от трого в бассейне Сикоку.

Бурение было предусмотрено на участке дна, где находится осадочная аккреционная призма (наращиваемая за счет осадков). Предполагают, что подобные структуры образуются в зонах субдукции, когда с погружающейся под континент океанической коры срезается осадочный чехол. В рассматриваемом районе океаническая кора бассейна Сикоку, возраст которой оценивается в 15 млн. лет, погружается под Японскую островную дугу. Сейсмические исследования показали наличие здесь хорошо выраженных фронтальных надвиговых разломов и поверхности срыва. Они образуют границу между аккреционной призмой и океанической плитой, погружающейся в земную мантию.

Под главным надвигом, расположенным на глубине 365 м ниже дна океана, находится зона интенсивной складчатости, называемая зоной срыва; она

лежит на глубине 960 м под дном океана, имеет 20 м в ширину и состоит из обломочных пород. Ниже породы практически не деформированы.

Измерив физические свойства вскрытых скважинной осадков с интервалом 1 м вдоль всей осадочной колонки, выяснили, что они изменяются вкрат простирания осадков. Залегающие в основании призмы недеформированные осадки обладают большей пористостью, нежели вышележащие. Видимо, заполняющая внутривпоровое пространство вода находится при более высоком гидростатическом давлении. Способ выхода поровых вод из аккреционных призм может влиять на структурную деформацию осадков.

Химический состав вод меняется в зависимости от литологии и структуры вмещающих пород. Почему в направлении зоны срыва уменьшается содержание соединений хлора, пока не ясно, ибо никаких признаков потока флюидов здесь не обнаружено, в отличие от Барбадосской аккреционной призмы, где получены неоспоримые доводы в пользу существования в недавнем прошлом мощного потока флюидов вдоль зоны срыва и других трещин.

Измеренный в скважине термальный градиент необычайно велик (120 °С/км), как и тепловой поток (130 мВт/м²). Анализ газообразных углеводородов показал, что в прошлом тепловой поток мог быть еще выше.

Выявленные изменения в структуре и физических свойствах осадочных пород в зависимости от их местоположения в аккреционной призме на фоне литологической однородности пород — важный результат 131-го рейса.

Nature. 1990. V. 347. N 6290. P. 228—229 (Великобритания).

Метеорология

Засуха в Англии

Лето 1990 г. отличалось в Англии крайней засушливостью, что, по данным метео-

службы Великобритании, привело к сильному иссушению почвы.

Наименьшее количество влаги сохранилось в почве центральной и восточной Англии; Шотландия и Уэльс пострадали значительно меньше; район Манчестера (северо-запад Англии) почти избежал этого бедствия (здесь в июле выпало 25 мм осадков, что считается «терпимым» — в 1981 и 1983 гг. было еще меньше).

За все время регистрации погоды в Гринвиче Большой Лондон знал лишь пять лет, когда в июле выпало меньше осадков, чем в 1990 г., — в 1864, 1878, 1911, 1921 и 1955 гг.

New Scientist. 1990. V. 127. N 1730. P. 17 (Великобритания).

Биогеохимия

Органический углерод донных осадков

Е. А. Романкевич и Н. В. Бобылева (Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР) рассчитали распределение и впервые построили карту абсолютных масс органического углерода ($C_{орг}$) в донных осадках Тихого, Атлантического и Индийского океанов.

Больше всего $C_{орг}$ (свыше 20 мг/см² за 1000 лет) отлагается в зонах выноса осадочного материала реками Южной и Юго-Восточной Азии и Западной Африки, а также в некоторых областях приконтинентального апвеллинга.

Зона высоких абсолютных масс $C_{орг}$ (5—20 мг/см² за 1000 лет) опоясывает широкой полосой практически все континенты, за исключением Антарктиды (где скорость его накопления составляет 1—5 мг/см² за 1000 лет).

Низкие значения абсолютных масс (0,1—0,5 мг/см² за 1000 лет) характерны для Африканско-Антарктической и Австрало-Антарктической котловин, а в виде отдельных пятен встречаются в Индийском (Центральная котловина, котловина Крезе) и Атлантическом (Бразильская, Аргентинская котловины) океанах.

Минимальные скорости

накопления (менее 0,1 мг/см² за 1000 лет) обнаружены в средних частях крупномасштабных круговоротов малоподвижных течений в Центральной, Северо-Западной и Северо-Восточной котловинах Тихого океана.

Резкие перепады абсолютных масс $C_{орг}$ наблюдаются в пределах срединно-океанических хребтов.

Геология океанов и морей. Тезисы докладов IX Всесоюзной школы по морской геологии. Т. 3. М., 1990. С. 152.

Сейсмология

Катастрофическое землетрясение в Иране

Землетрясение с магнитудой 7,7 по шкале Рихтера, всколыхнувшее в конце июня 1990 г. северо-запад Ирана, — самое сильное из известных в этой сейсмоактивной зоне (первые свидетельства о землетрясениях в этом регионе относятся к 700 г.). Оно привело к гибели десятки тысяч людей и огромным разрушениям. Бедствие усугублялось тем, что многие здания и сооружения возводились без должного соблюдения норм сейсмостойкого строительства.

Важнейшей причиной трагических последствий, по мнению Р. Кларка (R. Clark; Лидский университет, Великобритания), была необычайно малая для этого региона глубина залегания очага — всего 10 км. Эпицентр находился под дном Каспийского моря, у его побережья (к северу от Решта и востоку от Ардебилля).

Ежегодно на земном шаре толчки такого масштаба отмечаются 4—5 раз, причем 1—2 раза — в пределах Альпийско-Гималайского пояса. Лишь каждый четвертый из них происходит на незначительной глубине (в среднем — одно мелкозалегающее землетрясение в 3—4 года).

Высокая сейсмичность территории Ирана обусловлена тем, что она как бы зажата между Африканской и Аравийской литосферными плитами и перемещается к основному мас-

сиву Евразии со скоростью 16 мм/год.

По сообщению У. Персона (W. Person; Национальный центр сейсмической информации США в Голдене, штат Колорадо), за последние 12 лет на территории Ирана зарегистрировано 12 землетрясений с $M \geq 7$, но это — наиболее значительное. Помимо мелкого залегания очага, необычно и то, что эпицентр его располагался далеко на севере страны — сейсмичность преимущественно сосредоточена на южнее (в горах Загрос или в области Макрана, у границ с Пакистаном).

Последствия землетрясения могли быть усилены тем, что фактически, похоже, произошел не один, а два толчка с очень кратковременным разрывом. К сожалению, большинство сейсмических станций мира первоначальный толчок четко не зарегистрировали, так что некоторые специалисты говорят о его «двойной» или даже «множественной» природе.

New Scientist. 1990. V. 126. N 1723. P. 32 (Великобритания).



Охрана природы

Последствия ядерных испытаний на Муруроа

С 1975 г. Франция провела на атолле Муруроа в Тихом океане 130 подземных испытаний атомного оружия. В 1966—1974 гг. здесь же произведено 44 взрыва в атмосфере (в 1990 г., на начало сентября — 4). Французские власти неоднократно заявляли, что образующиеся при взрывах радиоактивные изотопы остаются в подземной камере на глубине более 700 м. В 1987 г. Министерство обороны Франции позволило Ж. Кусто на его исследовательском судне «Калипсо» взять пробы воды для анализа рядом с о. Муруроа и в его лагуне. Он установил, что взрывы приносят атоллу серьезные «механический» ущерб (наблюдаются трещины до 230 м глубиной), но атомной угрозы жизни в океане они пока не представляют. Радиоактивные изотопы, обнаруженные в некоторых образцах,

отнесены за счет взрывов в атмосфере.

К иным выводам пришли специалисты общественной экологической организации «Search Technical Services» (Довентри, штат Вашингтон, США) после анализа данных Ж. Кусто. Так, Н. Баск (N. Buske), исследовав образцы воды, содержащие ^{134}Cs , заключил, что единственный источник этого изотопа — утечка радиоактивных веществ в море во время подземного атомного испытания.

В природе ^{134}Cs нет, но при ядерном взрыве он образуется из стабильного ^{133}Cs , хотя в естественной среде на о. Муруроа он, по мнению Баска, должен встречаться довольно редко. Период полураспада ^{134}Cs — всего около двух лет, так что любое его количество, образовавшееся при взрывах до 1975 г., должно было бы к моменту, когда Ж. Кусто брал пробы, уже распастись. Из шести исследованных образцов лишь в двух содержался ^{134}Cs , а это указывает на его конкретные локальные источники, а не на «размазанный» атмосферный источник.

В образцах присутствует и другой радиоактивный изотоп ^{137}Cs , но он может быть связан с более ранними испытаниями, поскольку его период полураспада 30 лет.

Соотношение этих изотопов в образцах не соответствует тому, которое следовало ожидать в результате атмосферных

испытаний ядерного оружия. Более вероятно, что ^{134}Cs возник в ходе недавних подземных взрывов.

Баск полагает, что ^{134}Cs образовался из ^{133}Cs вблизи очага взрыва под землей. Очевидно, цементная пробка, перекрывавшая шахту, содержала этот изотоп. В ее состав входил Al, который часто находят с рудами, содержащими цезий.

Если утверждения Баска верны, в Тихий океан до самого последнего времени поступали радиоактивные вещества, и беспокойство, проявляемое общественностью и правительствами стран этого бассейна, оправдано. Природоохранные организации призывают французские власти допустить на Муруроа независимую комиссию для изучения на месте этой болезненной проблемы.

New Scientist. 1990. V. 127. N 1732. P. 12 (Великобритания).



Охрана природы

Коалы в опасности

Разрушение мест обитания и болезни убивают коалу с такой быстротой, что вскоре это животное окажется под угрозой исчезновения.

В начале XX в. эти забавные пушистые сумчатые медведи были столь многочисленны, что Австралия экспортировала



Коала — один из национальных символов Австралии.

их шкуры, однако за последние 50 лет их численность сократилась от нескольких миллионов до 400 тыс. особей.

Ныне самая большая опасность для будущего коал связана с уничтожением эвкалиптовых деревьев (единственный источник пищи и место обитания), особенно вдоль восточного побережья Австралии, где ведется бурное строительство. Много животных гибнет также под колесами машин. Кроме того, у коал часты заболевания генеративных органов, ведущие к бесплодию.

International Wildlife. 1990. March—April. P. 32 (США).

КОРОТКО

С сентября 1990 г. возобновлены полеты шаттлов, прекращенных из-за утечки жидкого водорода из внешнего топливного бака. По мнению специалистов, это не могло стать причиной катастрофы «Челленджера» 28 января 1986 г.

ТАСС.

В 1991—1992 гг. НАСА планирует спасти спутник связи «Интелсат-6», оказавшийся на нерасчетной орбите. Рассматриваются два варианта: подстыковать к спутнику новый разгонный блок взамен вышедшего из строя или снять спутник с орбиты с помощью шаттла и доставить на Землю для ре-

монта и нового запуска. Организация спутниковой связи «Интелсат» должна оплатить стоимость спасательной операции (130 млн долл.).

ТАСС.

По мнению вице-президента США Д. Куэйла, цель США при заключении любого дву-

стороннего соглашения с СССР в области исследования космоса — доступ на советскую станцию «Мир», аналоги которой нет у американских исследователей, так что сотрудничество для обеих сторон взаимовыгодно.

ТАСС.

Причина неполадок на космическом телескопе «Хаббл» — некачественное изготовление главного зеркала фирмой «Перкин Элмер». Дефект при шлифовке поверхности зеркала возник из-за ошибки техника. Однако вина ложится и на руководителей программы, не обеспечивших должного контроля за качеством работ. Так, шлифовка контролировалась прибором, который, как выяснилось, был неправильно смонтирован. Местные инспекторы не заметили ошибки, поскольку не имели опыта работы со сложной оптикой, а специалисты НАСА не поддерживали достаточно тесных контактов с непосредственными исполнителями производственных операций.

ТАСС

Американские астрономы намерены создать самую подробную карту наблюдаемой части Вселенной — в 100 раз более детальную, чем ныне существующие; на ней будут отмечены 1 млн. галактик, 100 тыс. квазаров и 30 тыс. облаков межгалактического газа. Данные предполагается получить с помощью специального телескопа, который построят в обсерватории Апачи-Пойнт (штат Нью-Мексико); он сможет регистрировать излучение 600 галактик, квазаров или звезд одновременно. Данные будут храниться в компьютере Национальной ускорительной лаборатории им. Э. Ферми. Работы начнутся в 1995 г.

ТАСС

Второй закон термодинамики в очередной раз устоял под действием «демонических сил»: применив методы ста-

тистической физики и теории информации, К. Кейвс (С. Caves; Университет в Лос-Анджелесе, США), В. Унру (W. Unruh, Университет в Ванкувере, Канада) и В. Зурек (W. Zurek, лаборатория в Лос-Аламосе, США) показали, что и в усложненном варианте машины Сциларда с N камерами, содержащими по одной молекуле, и «демоном», действующим избирательно¹, итоговый выигрыш в работе все равно в среднем недостаточен. Это связано с дополнительными данными, обновляемыми в каждом цикле работы «демона»: сведениями о том, в каком режиме ему функционировать — повторить наблюдения за молекулами или заставить их произвести работу.

Physical Review Letters. 1990. V. 65. P. 1387 (США).

¹ Подробнее об этом см.: Второе начало термодинамики, демон Максвелла — новый подход. // Природа. 1991. № 2. С. 108.

Научно-исследовательская лаборатория в Уолтэме (штат Массачусетс, США) разрабатывает галогидные лампы малой мощности для освещения жилых и служебных помещений с применением самых современных методов, включая компьютерную томографию, для оптимизации конструкции и технологии изготовления. С этой целью сканер вращается вокруг лампы, а счетчик подсчитывает число фотонов; мини-ЭВМ переводит полученные данные в трехмерную карту температур, используемую для компьютерного моделирования.

New Scientist. 1990. Vol. 126. № 1713. P. 31 (Великобритания).

Геофизический способ поиска газовых месторождений, экологически чистый, не требующий больших затрат и длительных наблюдений, опробован на месторождении «Амангельды» в пустыне Муюнкум группой И. Л. Нерсесова (Институт физики земли им. О. Ю. Шмидта

АН СССР). Он основан на измерении микросейсмического фона, его спектральном анализе. По увеличению отношения среднеквадратичных амплитуд для двух выбранных частот можно выделить примерный контур газового месторождения.

Доклады АН СССР. 1990. Т. 312. № 5. С. 1084—1086.

По новому закону Управление энергетики западных районов США (Western Area Power Administration) перед внедрением любой долгосрочной коммерческой программы обязано предусмотреть возможное ее воздействие на окружающую среду. В связи с этим придется пересмотреть работу системы плотин на р. Колорадо и ее притоках, которые наносят громадный ущерб экологии районов, расположенных по берегам этих рек.

International Wildlife. 1990. March—April. P. 31 (США).

За первые восемь лет осуществления федеральной программы США «Суперфонд» по очистке мест захоронения токсичных отходов Агентство по охране окружающей среды завершило работу лишь на 34 из 1200 свалок, истратив при этом 2,6 из 4,5 млрд. ассигнованных на это долларов. По закону организации-загрязнители должны сами полностью оплачивать очистку свалок, однако Агентство получило с них лишь 10 % стоимости работ.

International Wildlife. 1990. January—February. P. 25 (США).

Военные ряда стран проявляют большой интерес к морским млекопитающим, надеясь использовать их в своих целях. Во флоте США подготовили 11-летнего дельфина, который способен выполнять довольно сложные работы на значительной глубине.

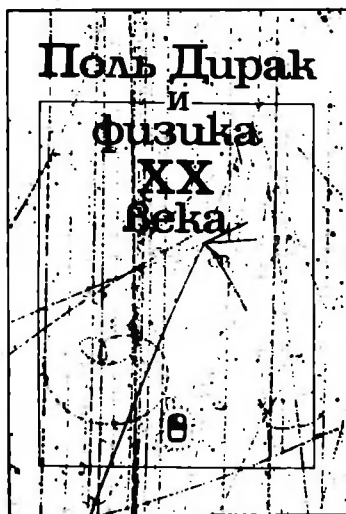
Nature. 1990. V. 348. N 6298. P. 189 (Великобритания).

Человек, открывший антимир

И. М. Зорич
Москва

ФИЗИКА XX столетия до предела насыщена знаменательными событиями и столь же богата именами ее замечательных творцов. Среди них, без сомнения, звездой первой величины сияет имя гениального английского ученого (так оценивал его академик И. Е. Тамм) Поля Адриена Мориса Дирака (1902—1984). Его не надо представлять ни специалистам, ни просто образованным людям, далеким от физики, ибо этому человеку, одному из создателей квантовой механики и квантовой теории поля, провозвестнику мира античастиц — «антимира», посвящено множество книг и статей — от глубоко научных до популярных, рассчитанных на широкого читателя. И вот перед нами новая книга, рассказывающая о творчестве Дирака, его вкладе в современную физику. Она существенно отличается от всех предыдущих и по структуре, и по содержанию.

Основу ее, первую, главную часть составляют доклады конференции, состоявшейся в октябре 1986 г. в Институте истории естествознания и техники АН СССР. Вторая часть включает переписку Поля Дирака с выдающимися советскими физиками П. Л. Капицей, И. Е. Таммом, В. А. Фоком, Я. И. Френкелем и на первый взгляд могла бы показаться чем-то вроде приложения. В действительности же письма органически связаны со статьями первой части, поскольку не просто дополняют, иллюстрируют высказанные там мысли и оценки, но позволяют проследить за логикой мышления Дирака и одновременно познакомиться с некоторыми чертами его личности. К тому же каждую подборку писем предваряет квалифицированное и содержательное, хотя и лаконичное, вступление, а сами письма снабжены полезными, что называется, к



ПОЛЬ ДИРАК И ФИЗИКА XX ВЕКА.
Сборник научных трудов. М.: Наука, 1990, 224 с.

месту, комментариями — это обеспечивает цельность данной части и всего сборника.

Для нас эти письма представляют особый интерес, демонстрируя тесную связь Дирака с советскими учеными. Многих из них он высоко ценил, в соавторстве с некоторыми (Капицей, Фоком, Б. Подольским) опубликовал важные исследования, что для Дирака, предпочитавшего работать в одиночку, было необычным, а с Капицей и Таммом его соединяли узы тесной, теплой дружбы, что при его замкнутости, уникальной молчаливости, о которой ходили анекдоты, также представлялось совершенно невероятным. В 30-е годы Дирак почти ежегодно бывал в Советском Союзе и трижды — в послевоенный период, участвуя в научных конференциях, посещая научные центры, встречаясь с коллегами или просто путешествуя по стра-

не. Уже в 1931 г. он был избран иностранным членом-корреспондентом АН СССР, причем наша академия оказалась второй, после Лондонского Королевского общества, удостоившей его такой чести.

Материалы сборника, естественно, разнятся по стилю и характеру. Одни, например, статьи И. Ю. Кобзарева «К истории позитрона» или И. В. Дорман «Теория Дирака и экспериментальное открытие позитрона», содержат хронологическое, по месяцам и числам, описание истории возникновения, развития и подтверждения революционной теории Дирака. Другие, среди которых наиболее характерна статья М. И. Монастырского «Монополь Дирака и расщепление Хопфа», — по существу, научные трактаты, посвященные анализу тех или иных фундаментальных концепций ученого. Наконец, в-третьих, предпринята попытка проникнуть во внутренний мир Дирака, психологию, лабораторию его творчества, понять, как он пришел к своим эпохальным открытиям и как оценивал их. Такими, в частности, два эссе: одно, открывающее первую часть сборника, принадлежит Я. А. Смородинскому, второе, завершающее ее, — английскому физика Рудольфу Пайерлсу.

«Внешне спокойная жизнь П. А. М. Дирака, — начинал Смородинский, — полна приключений, не менее интересных, чем те, которые выпадают на долю искателей сокровищ. Только эти приключения скрыты от непосвященных, и лишь люди, близкие к физике, знают, сколь драматичны бывают события и сколь труден бывает путь к триумфу... Не будет преувеличением сказать, что научно-технические революции, о которых так много говорят, зарождались почти всегда в тиши рабочих кабинетов и их первые резуль-

таты — протоколы опытов или страницы формул — могли волновать лишь немногих» (с. 5).

Именно так, только не в тиши кабинета, а во время воскресной прогулки по Кембриджу в сентябре 1925 г., Дирака осенила идея, как следует интерпретировать уравнения динамической теории атома, незадолго перед тем полученные В. Гейзенбергом. То, что Гейзенберг считал трудностью теории — некоммутативность переменных, Дирак счел ее достижением и нашел аналог этому факту в классической механике: скобки Пуассона. Так родилась работа Дирака «Основные уравнения квантовой механики», которая положила начало квантовой динамике, опирающейся на метод Гамильтона и естественным образом объединившей квантовую теорию В. Гейзенберга и волновую механику Э. Шрёдингера.

В последующие два года он опубликовал серию работ, углубляющих и совершенствующих аппарат квантовой динамики, ее приложения к исследованию структуры атома, спектров излучения и поглощения, комптоновского рассеяния, эффекта Зеемана. А в самом начале 1928 г. появилась статья «Квантовая теория электрона», сделавшая имя Дирака бессмертным. Из полученного им релятивистского уравнения для электрона, как свободного, так и находящегося во внешнем поле, следовал невероятный вывод: возможность существования частиц с отрицательной энергией. Дирак слишком доверял математике, чтобы отбросить соответствующее («отрицательное») решение, поэтому поначалу подумал, что это уравнение не является истинным уравнением электрона, а затем попытался дать физическую интерпретацию неустраиваемой «трудности». Так родилась гипотеза «моря Дирака» — мира отрицательных энергий, где все состояния заняты, кроме немногих «дырок», которые ведут себя как частицы с положительными зарядами и, видимо, являются протонами, поскольку иных частиц физики тогда не знали. И лишь спустя два с половиной года Дирак предлагает для «дырок» другую интерпрета-

цию: «“Дырка”, если бы такая существовала, была бы новой частицей, неизвестной экспериментальной физике, с той же массой, что электрон, и противоположным зарядом. Мы можем назвать такую частицу “антиэлектроном”». Он подчеркивает, что в природе они не должны встречаться из-за быстрой аннигиляции, но созданные искусственно, будут стабильны в вакууме. Им приведен пример одного из процессов ($\gamma + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$), в которых могут рождаться позитроны, и оценена его вероятность, которая, однако, пренебрежимо мала при существующих интенсивностях γ -пучков. В заключение он отмечает, что протоны независимы от электронов и должны существовать антипротоны: «Теория в настоящее время совершенно не в состоянии предложить причину, по которой должно было бы существовать какое-либо различие между электроном и протоном» (с. 31).

Идея Дирака казалась настолько «безумной», что почти никто из физиков — а среди них были генераторы столь же невероятных гипотез и выводов — не поверил в ее реальность, пока не был пойман первый выходец из антимира. 2 августа 1932 г. К. Андерсон получил с помощью камеры Вильсона фотографию, на которой был след положительной заряженной частицы массой, равной массе электрона. Андерсон окрестил новую частицу позитроном. Призрак материализовался! Хотя, по утверждению Андерсона, обнаружение позитрона произошло независимо от предсказания Дирака, оно тем не менее стало подлинным триумфом теории, знаменовавшей собой, как отмечал позднее Гейзенберг, открытие новой симметрии, сопряженности частиц — античастиц, а также предсказание превращения кинетической энергии сталкивающихся частиц в массу покоя новых частиц и обратно.

Однако открытие «на кончике пера» позитрона — далеко не единственное выдающееся достижение Дирака в теоретической физике. Не меньшее значение имеют его общий вклад в строительство фундамента квантовой электродинамики

(вторичное квантование и пр.); гипотеза о существовании магнитного монополя, называемого монополем Дирака, в реальности которого он твердо верил («Было бы удивительно, если б Природа не использовала такой возможности»), несмотря на многолетние безуспешные попытки обнаружить эту частицу; космологические построения, в частности гипотеза больших чисел; наконец, — последнее в перечне, но, несомненно, главное в методологии Дирака — создание нового математического аппарата современной физики (алгебра q -чисел, теория преобразований, спиноры и т. п.). Истинная теория, по убеждению Дирака, должна быть математически красивой, изящной, совершенной, и всю свою долгую творческую жизнь (первая его работа появилась в 1924 г., когда Дираку было неполных 22 года, последняя прижизненная публикация — в 1984 г., незадолго до кончины) он посвятил поиску этого совершенства. Ибо совершенна Природа. Сравнивая труд математика и физика-теоретика, Дирак говорил, что «математик играет в игру, правила которой он изобретает сам, в то время как физик играет в игру, правила которой определяются Природой, но постепенно становится все более очевидным, что правила, которые математик считает интересными, — те же самые, которые выбирает Природа» (с. 102—103). При этом он всегда опережал уровень «математического мышления» большинства физиков. Внеся неограниченный вклад в алгебраический арсенал теоретической физики, сам Дирак испытывал непреодолимое тяготение к геометрическим методам и конструкциям, в частности к проективной геометрии, которая дает, по его мнению, «лучший инструмент для исследования». Появление в 70-е годы твисторного исчисления и проективных пространств в теории поля подтвердило пророческий дар ученого.

Все творчество Дирака, как и развитый им математический аппарат, может служить образцом подлинного совершенства. В этом отношении весьма характерен эпизод, при-

веденный Р. Пайерлсом. Однажды Дирак писал под диктовку Н. Бора, разгуливающего по комнате, статью. В одном месте Бор остановился и сказал: «Я не знаю, как закончить эту фразу». Дирак, как рассказывают, положил ручку и бросил реплику: «Меня в школе учили, что нельзя начинать фразу, если не знаешь, как ее закончить». Кажется, заканчивает Пайерлс, сам Дирак всегда выполнял это предписание.

Книга, конечно, не лишена недостатков. Как и во всяком подобном сборнике, здесь нередки повторы, отдельные

статьи слишком схематичны, а, к примеру, статья Вл. П. Визгина «П. А. М. Дирак о взаимосвязи физики и математики» перенасыщена цитатами. Встречаются огрехи редактирования (например, по-разному транскрибируются фамилии одних и тех же ученых) и даже фактические ошибки. Так, рассказывая об экспериментах, позволивших обнаружить позитрон, И. В. Дорман пишет, что «Андерсоном была построена вертикальная камера Вильсона, в которой в отличие от ранее использовавшихся поршень двигался вверх и вниз, а не горизонтально» (с. 36).

На самом же деле Андерсон впервые расположил камеру Вильсона так, что поршень двигался горизонтально и траектории частиц искривлялись горизонтальным же магнитным полем¹.

Резюмируя обзор книги, можно утверждать, что она представляет ценный вклад в обширную «диракиаду» и заслуживает внимания всех интересующихся историей физики.

¹ См., например: Беккерман И. М. Невидимое оставляет след. М., 1970.

НОВЫЕ КНИГИ

Физика

М. П. Бронштейн. СОЛНЕЧНОЕ ВЕЩЕСТВО. Лучи икс. Изобретатели радиотелескопа. Сост. Г. Е. Горелик, С. Р. Филонович. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит. (Б-чка «Квант»). Вып. 80.) 1990. 176 с. Ц. 40 к.

Многообразное творческое наследие выдающегося физика-теоретика Матвея Петровича Бронштейна (1906—1938), казенного в сталинских застенках, постепенно возвращается в нашу жизнь. Специалисты зачастую с неожиданным для себя интересом читают его 50-летней давности труды по астрофизике, космологии, ядерной физике, полупроводникам и особенно главную работу 1935 г., в которой сделан важный шаг к квантовой теории гравитации.

Кроме научных трудов, М. П. Бронштейн оставил нам в наследство замечательные научно-популярные книги, которые начал писать по совету С. Я. Маршака. Л. Д. Ландау утверждал, что читать их равно интересно и школьнику, и физику-профессионалу. Основатель «Библиотечки «Квант» И. К. Кириков, желая пойти с козырной карты, выбрал для первого выпуска переиздание книги М. П. Бронштейна «Атомы и электроны».

Теперь читатель знакомится с тремя новыми для современника научно-художествен-

ными повестями. Первая из них — о том, как на Солнце был обнаружен гелий, вторая — об открытии Рентгена, третья — о первых шагах радио. Все они были впервые напечатаны в журнале «Костер», а потом одна за другой начали выходить отдельными изданиями. Однако последней книжке уже не суждено было появиться на свет. После ареста автора готовый набор был уничтожен. Повесть печатается по журнальному варианту.

Сборник подготовлен с большим тщанием. Кроме общего предисловия и заключительной статьи «О главных работах М. П. Бронштейна в физике», он снабжен послесловиями к каждой из частей, дающими представление о современном состоянии соответствующей области науки. Составители заканчивают книгу вполне пророческими словами М. П. Бронштейна, сказанными в 1930 г.:

«Будущая физика не удержит того странного и неудовлетворительного деления, которое сделало квантовую теорию «микрофизикой» и подчинило ей атомные явления, а релятивистскую теорию тяготения — «макрофизикой», управляющей не отдельными атомами, а лишь макроскопическими телами. Физика не будет делиться на микроскопическую и космическую: она должна стать и станет единой и нераздельной».

Экология

ЭХО. ЭКОЛОГИЯ, ХОЗЯЙСТВО, ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА. Вып. 1. М.: Прогресс, 1990. 360 с. Ц. 2 р. 50 к.

Эта книга, открывающая серию сборников об опыте охраны природы в зарубежных странах, включает статьи ученых и организаторов природоохранной деятельности восточноевропейских стран и Китая. В ней четыре раздела, которые объединяют работы по общеметодологическим и организационным проблемам охраны природы, рациональному использованию минерального сырья, лесных и земельных ресурсов, управлению процессами природопользования, а также оценке и прогнозированию состояния окружающей среды.

Основная идея большинства статей — это включение в число механизмов, уменьшающих вред хозяйственной деятельности человека, экономических рычагов, которые делают невыгодным нерациональное природопользование и заставляют организаторов производства искать пути уменьшения ядовитых выбросов в атмосферу или воду, экономить материальные ресурсы или следить за эрозией почв. При оценке экономического ущерба должны учитываться все последствия, как уже проявившиеся сегодня, так и те, которые скажутся завтра.

РАЗНЫЕ ГРАНИ С. И. ВАВИЛОВА

Глазами сотрудников ФИАН

Б. М. Болотовский,
доктор физико-математических наук
Москва

ПРИЗНАНИЕ своих научных заслуг, а также своих заслуг в деле организации науки Сергей Иванович Вавилов получил при жизни. Сорока лет избран членом-корреспондентом АН СССР, через год, в 1932 г., ее действительным членом, в 1945 г. избран (а точнее говоря, назначен — выбор определялся волей высшего начальства) президентом Академии наук СССР. Он был почетным членом многих национальных академий и научных обществ, почетным доктором многих университетов, лауреатом высших научных премий в нашей стране.

Если говорить о его деятельности как организатора науки, то нельзя не сказать, что он создал и возглавил один из лучших физических институтов мира — Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР, в стенах которого сделано немало открытий мирового класса. Шестеро его сотрудников удостоены Нобелевских премий. Обстановка высочайшего профессионализма, дружеских отношений между сотрудниками всех рангов, безусловной порядочности и свободы научных поисков — такая обстановка должна была, по замыслу Сергея Ивановича, царить в создаваемом им институте. Это определило его успехи.

Но жизнь Вавилова не была ни легкой, ни благополучной. Напряженная научная работа и многочисленные административные обязанности заставляли трудиться на пределе сил. Напряженно усиливала постоянно висящая над ним опасность.

Во-первых, Сергей Иванович был сыном купца первой гильдии, в 1918 г. уехавшего за границу. Во-вторых, он был научный работник высокой квалификации, или, как тогда говорили, «спец», т. е. относился к категории людей, которые вызывали недоверие властей. Наконец, ему пришлось пережить потрясение, вызванное травлей, арестом и гибелью любимого брата. Да и сам он, как все родственники репрессированных, попадал в положение повышенного риска.

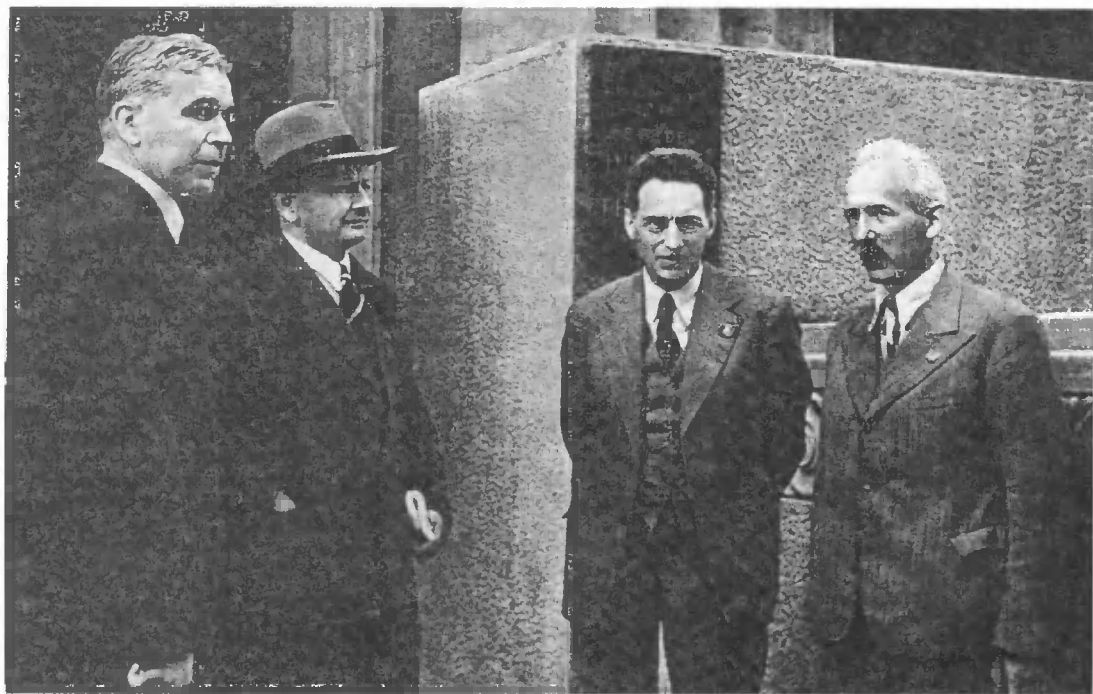
Но он продолжал работать в полную меру и оставался для своих сотрудников все тем же заботливым руководителем, готовым помочь в преодолении не только научных, но и бытовых затруднений. И те, кто с ним работал, любили его и старались, в свою очередь, чем могли, облегчить ему жизнь.

Л. В. Левшин рассказывает, что в старом здании ФИАНа (у Миусской площади) кабинет Вавилова располагался на самом верхнем, третьем этаже. Лифта не было. В последние годы жизни Сергею Ивановичу было трудно подниматься по лестнице: сказывалось больное сердце. Каждое утро, когда Вавилов приезжал в ФИАН, его встречал у дверей А. М. Роговцев, много лет проработавший с ним институтский механик, забирал у него тяжелый портфель и доносил до кабинета. «Часто же, — пишет Л. В. Левшин, — задолго до приезда Сергея Ивановича, кто-либо из его сотрудников (чаще всего это был М. Н. Аленцев) дежурил на лестничной площадке и приглашал его на минуту

зайти в лабораторию на промежуточном втором этапе по какому-либо, иногда специально придуманному делу. Неизвестно, разгадал ли Сергей Иванович эти маленькие хитрости, но в них очень ярко проявлялись искренняя любовь и забота о нем со стороны его сотрудников»¹.

О стиле научной работы С. И. Вавилова можно судить по воспоминаниям одного из его учеников, лауреата Нобелевской премии Ильи Михайловича Франка. Он писал: «В молодости мне посчастливилось в том отношении, что уже в студенческие годы я попал в среду, в которой истинное научное влияние воспринималось особенно интенсивно и разносторонне. Я имею в виду научную школу Л. И. Мандельштама, к которой принадлежали мои учителя и выдающиеся физики С. И. Вавилов, Г. С. Ландсберг и И. Е. Тамм — ученые, столь различные по своей индивидуальности. Была, однако, особенность, характерная для всей этой школы, — это непрерывное научное общение. Вопросы теории и результаты экспериментов неизменно и постоянно обсуждались, и эти разговоры (они происходили и вне научных семинаров), частые и длительные, никто не считал потерей времени. Первое время мне казалось удивительным, что столь выдающиеся люди часы своего драгоценного времени, в которых могли бы сделать нечто замечательное, тратят на разгово-

¹ Левшин Л. В. Сергей Иванович Вавилов. М., 1977. С. 18.



У входа в ФИАН на 3-й Мясуской улице в дни празднования 220-летия Академии наук СССР. С. И. Вавилов, С. Пеньковский, Г. С. Ландсберг, М. Борн. 19 июля 1945 г.

ры, в которых немалое внимание уделяется тому, что не получилось или оказалось ерундой. В то время я не понимал и того, что в этих беседах часто излагались новые идеи задолго до публикации и, разумеется, без опасения, что их опубликует кто-то другой. При этом никто не жалел усилий, чтобы помочь формированию нового в понимании, совершенно не думая о соавторстве. В той моральной атмосфере, которая была свойственна школе Л. И. Мандельштама, это было более чем естественно»².

Это высказывание И. М. Франка мне всегда вспоминается, когда речь заходит о причинах, по которым ФИАН стал одним из известнейших

научно-исследовательских институтов страны и мира. Но теперь хотелось бы обратить внимание вот на что. И. М. Франк упоминает четырех физиков, оказавших на него в годы молодости разностороннее и интенсивное научное влияние — Л. И. Мандельштама, С. И. Вавилова, Г. С. Ландсберга и И. Е. Тамма. Но ведь именно Вавилов свел их всех, как и ряд других выдающихся физиков, воедино, пригласив на работу в создаваемый им институт. У Сергея Ивановича было безошибочное чутье на сильных физиков, и он не жалел сил и времени для того, чтобы создать этим людям максимально благоприятные условия для плодотворной работы. Известно высказывание академика А. Н. Крылова, что С. И. Вавилов не боится принимать в свой институт людей, более сильных, чем он сам.

О Сергее Ивановиче как о директоре ФИАНа мне довелось слышать много. Приведу здесь рассказ Аленцева.

Утром, до того как заняться другими делами, Сергей Иванович шел в одну из лабораторий. Садился, завязывался

разговор, не обязательно сразу о делах. Говорили о здоровье, о погоде, о литературе. Но рано или поздно заходила речь и о делах лаборатории. Если какие-либо детали оставались для Сергея Ивановича неясны, если он не мог составить полное представление о положении дел, постановке задачи или методике исследования, он приходил на другой день, а бывало, что и на третий.

Такое обсуждение полезно было для всех — и для сотрудников, и для Сергея Ивановича. Бывало и так, что Сергей Иванович не только просил показать ему установку, на которой проводились измерения, но знакомился с ней в работе, заняв место экспериментатора. Выяснив все, что считал нужным, далее спрашивал, чем он, как директор института, может помочь, какие необходимы материалы, оборудование, ассигнования. И непременно делал все от него зависящее. Он был очень обязательным человеком. Для ФИАНа он был и научным руководителем и агентом по снабжению в ранге академика. Вторая обязанность была намного канительнее.

² Франк И. М. О когерентном излучении быстрого электрона в среде // Проблемы теоретической физики. Памяти Игоря Евгеньевича Тамма. М., 1972. С. 350.

На следующий день Сергей Иванович с утра приходил в другую лабораторию. Так он обходил весь институт примерно за месяц.

До войны ФИАН насчитывал всего несколько десятков научных сотрудников. В послевоенные годы, особенно в последние годы жизни Сергея Ивановича, он сильно разросся, и директору чем дальше, тем труднее было выдерживать свой образ руководства. После смерти Сергея Ивановича институт продолжал расти, число сотрудников достигло нескольких тысяч человек, и теперь, наверное, еще труднее или вообще невозможно было бы руководить им так, как это делал Вавилов. Но, с другой стороны, если директор не знает в лицо сотрудников, расположение лабораторий знает лишь приблизительно, а в некоторых за годы ни разу не появился, то это означает, что институт по существу стал неуправляемым.

Я помню, как лет пять назад в нашем теоретическом отделе праздновали 60-летие очень уважаемого сотрудника, теоретика с мировым именем. Позволила референт директора, сообщила, что он хочет прийти в отдел, лично поздравить юбиляра, и попросила прислать провожатого, чтобы директор не заблудился по дороге. Очевидно, что уже тогда институт был вблизи предела управляемости, а быть может, и по ту сторону предела. Но это все произошло уже через много лет после кончины Вавилова.

А вот как пишет о Сергее Ивановиче в своих «Воспоминаниях» Андрей Дмитриевич Сахаров. «Сергей Иванович был родным братом другого академика, еще более известного — Николая Ивановича Вавилова, биолога, арестованного и погибшего в заключении... Эта история была одной из самых ужасных страниц в многолетней трагедии советской биологии. Сергей Иванович вскоре (или уже тогда) стал президентом Академии наук. При этом он регулярно, минимум раз в неделю, встречался с Т. Д. Лысенко, членом президиума АН, который был одним из главных виновников гибели его брата. Представить,

как это происходило, мне трудно».

Эти строки были написаны во время горьковской ссылки. После возвращения, в 1987 г., А. Д. Сахаров написал дополнение к приведенному месту:

«Недавно Я. Л. Альперт, один из старейших сотрудников ФИАНа, рассказал мне (со слов Леонтовича, а тот якобы слышал от Вавилова) следующую историю. Вавилову, возможно, самим Сталиным или через кого-то из его приближенных, было сообщено: есть две кандидатуры на пост президента Академии — вы, а если вы не согласитесь, — Лысенко. Вавилов просидел, обдумывая ответ, всю ночь (выкурив при этом несколько пачек папирос) и согласился».

Позднее, в 1989 г., А. Д. Сахаров сделал еще одно добавление к этому месту:

«По версии, сообщенной Е. Л. Фейнбергом, альтернативным кандидатом в президенты был А. Я. Вышинский. Пожалуй, это правдоподобней — и еще страшней».

Сахаров пишет далее:

«Вавилов был доброжелательным человеком, в личном общении — мягким и добрым. Он в качестве депутата Верховного Совета СССР много общался с избирателями, приезжавшими к нему с жалобами и просьбами. Что это было такое — я легко могу себе представить по своему личному опыту «Комитета прав человека» в 70-х годах. У него в столе лежали заготовленные заранее конверты с деньгами (из его президентской зарплаты), и он, не имея в большинстве случаев реальной возможности помочь несчастным людям иначе, давал многим эти деньги. Это стало известно, и ему пытались это запретить. Вавилов был, кроме ФИАНа, директором еще одного института, ко всем своим обязанностям относился чрезвычайно рьяно, самоотверженно (тут я могу сравнить его только с еще одним, в некоторых отношениях совсем другим человеком — с Юлием Борисовичем Харитоновым, научным руководителем учреждения, где я потом проработал много лет). К личным делам сотрудников Сергей Иванович относился всег-

да с большой заботливостью, он глубоко и искренне любил науку и был прекрасным ученым-оптиком, а также хорошим популяризатором. В качестве президента ему приходилось много выступать с официальными речами. В одной из них он называл Сталина «корифеем науки», этот пущенный им в ход эпитет стал почти что частью официального титула (видимо, понравился).

Судьба двух братьев — умирающего от голода при чистке нечистот в Саратовской тюрьме и осыпанного всеми почестями президента — была парадоксом, крайностью даже в то время, но и было в этом что-то очень характерное.

Сергей Иванович, и раньше относившийся ко мне внимательно, хорошо запомнил мою жилищную проблему. Мне говорил потом Игорь Евгеньевич (Тамм, учитель А. Д. Сахарова. — Б. Б.), что это сыграло некоторую роль в моей дальнейшей судьбе³.

Вавилов был очень осторожен в своих публичных высказываниях. В. Я. Френкель рассказывал мне такую историю. В Ленинграде, в Государственном оптическом институте (ГОИ) работал член-корреспондент АН СССР Т. П. Кравец. Однажды при нем один сотрудник неодобрительно высказался о Вавилове, в том смысле, что Сергей Иванович будто бы боится на людях говорить то, что думает. Это было сказано в тесном кругу людей, которые друг друга не опасались. Кравец выступил в защиту Вавилова:

— Вы когда начали по-настоящему бояться за свою жизнь и жизнь своих родных и близких?

Спрошенный ответил:

— В тридцать седьмом году.

— А Сергей Иванович — в семнадцатом, — сказал Кравец. Еще одна история. Ее я слышал от Е. Л. Фейнберга. В 1947 г. проходили выборы в Академию наук. По Отделению физики был выдвинут в академики И. Е. Тамм. Однако вско-

³ Сахаров А. Д. Воспоминания// Нью-Йорк, 1990. С. 108, 109; «Знамя», 1990—1991.



Встреча с представителями республиканских академий. Сидят: Н. И. Мухелишвили, К. К. Круус, С. И. Вавилов, А. В. Палладин, П. Я. Лейнш. Стоят: В. А. Амбарцумян, Г. А. Сарымсаков и Ю. Ю. Матулис. Конец 1940-х годов.

миком, входивших в Отделение физических наук, и каждого просил голосовать против себя. Фейнберг был в кабинете Вавилова, когда туда пришел Леонтович со своей небывалой просьбой. Выслушав его, Сергей Иванович сказал:

— Михаил Александрович, я вас покорно прошу согласиться на избрание. Игоря Евгеньевича мы не можем избрать на этот раз, это — воля Божья, тут ничего не поделаешь. Так кого же нам избрать, если не вас? Вы уж, пожалуйста, соглашайтесь, мы вас в этот раз выберем, а на следующий раз, Бог даст, выберем и Игоря Евгеньевича.

И Вавилову удалось смягчить Леонтовича. Его избрали единогласно. А на следующий раз, как и предсказывал Сергей Иванович, в академики был избран Тамм, а также и его ученик Сахаров. Но Сергей Иванович не дождал до этого.

Приведенные здесь рассказы о Вавилове я слышал от людей, знавших его. Конечно, они не могут дать полного представления о нем, но отдельные привлекательные его черты выступают довольно ярко, и, кроме того, я надеюсь, видно, что все рассказчики относились к нему с любовью.

ре после выдвижения его кандидатура фактически была снята. По слухам, Тамма вычеркнул Жданов. Тогда была выдвинута кандидатура М. А. Леонтовича. Но Леонтович высоко почитал Игоря Евгеньевича и считал для себя невозможным избираться и быть избранным в академики до него. Он совершил беспрецедентный в Академии поступок — обошел по очереди всех акаде-

С. И. Вавилов и Московский университет

Л. В. Левшин,

доктор физико-математических наук
Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

ЕСЛИ начинать отсчет трудовой деятельности со студенчества, то научный стаж С. И. Вавилова насчитывает около 42 лет. При этом первые 19 лет, не считая, разумеется, времени, проведенного на фронтах первой мировой

войны (1914—1918 гг.), связаны с его учебой и работой на физико-математическом факультете Московского университета. Однако и все последующие годы, вплоть до кончины, Сергей Иванович не утрачивал связей со своей alma mater.

Он стал студентом университета осенью 1909 г., не оправдав, как и его старший брат, надежд их отца, купца первой гильдии, направить хотя бы одного из сыновей по коммерческой стезе.

Уже на втором курсе

Вавилов добился приема в состав первой в России школы физиков, которую возглавлял знаменитый П. Н. Лебедев. В этой школе были свои традиции. Ее участники получили разнообразные навыки в мастерских и все опыты проводили исключительно своими руками. Предусматривалось обстоятельное продумывание эксперимента, а затем уже создание соответствующих установок. Каждая работа подвергалась обсуждению на регулярных коллоквиумах. Причем во время заседаний и маститый ученый, и начинающий студент обладали одинаковыми правами. Все были в курсе исследований своих товарищей и помогали друг другу советами. Скороспелые публикации не поощрялись.

Вспоминая Лебедева, Вавилов писал: «П. Н. Лебедев

наряду с М. В. Ломоносовым — одна из самых замечательных фигур истории русской физики. Он был первым организатором коллективной научной работы в области физики и больших исследовательских лабораторий, ставших образцом для научных институтов в наши дни». Традиции лебедевской школы были глубоко восприняты Вавиловым, и в последующие годы, работая со своими многочисленными учениками и сотрудниками, он всегда использовал ее богатейший опыт.

Непосредственный руководитель Вавилова, ближайший друг и помощник Лебедева П. П. Лазарев предложил ему в качестве дипломной работы исследование природы теплового выцветания красителей. Работа была успешно завершена и в 1915 г. удостоена Золотой медали Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии.

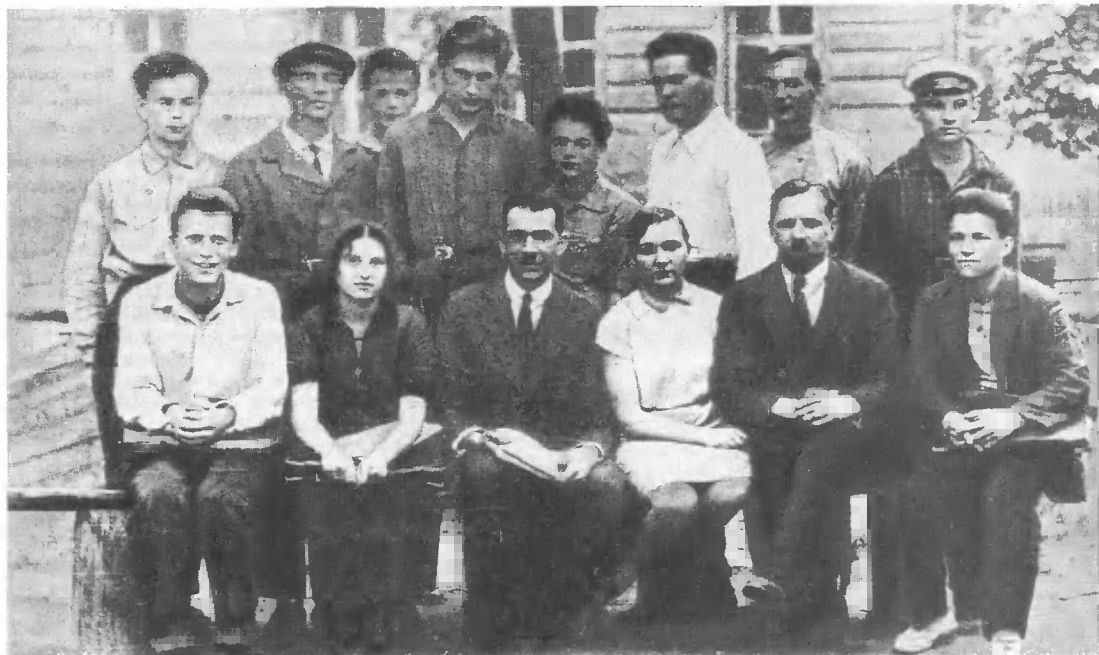
В 1914 г. Вавилов блестяще окончил Московский университет, получив диплом первой степени. Ему было предложено остаться в университете «для подготовки к профессорскому званию». Однако молодой ученый, пренебрегая интересами

своей карьеры, демонстративно отказался работать там, откуда в знак протеста против нарушения университетского устава ушли его учителя Лебедев и Лазарев, а также 130 других преподавателей университета. В результате Вавилова призвали в армию.

Через несколько месяцев разразилась первая мировая война. В течение четырех лет Сергей Иванович принимал непосредственное участие в боевых действиях русской армии. Лишь в феврале 1918 г. он демобилизовался и смог возвратиться в Москву.

Вавилов поступил в Институт физики и биофизики, который возглавлял Лазарев и одновременно начал преподавать в Московском высшем техническом училище, а затем и на физико-математическом факультете Московского университета. Первое время он был рядовым преподавателем, потом стал старшим ассистентом и вел физический практикум. В 1919 г. Сергей Иванович прочитал пробную лекцию, сдал три магистерских экзамена, получил должность приват-доцента и начал читать лекции сначала по фотохимии, а затем по абсорбции и дисперсии света. Курсы Вавило-

Профессора С. И. Вавилов и А. К. Тимирязев (сидит второй справа) со студентами физического факультета Московского университета. Среди них: В. В. Антонов-Романовский (сидит первый слева); стоят И. М. Франк (первый слева), Д. И. Блохинцев (второй слева), М. А. Марков (четвертый слева). 1930 г.



Проф. С. И. ВАВИЛОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВАНИЯ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

1 9 2 8

Книга, которую с энтузиазмом штудировали студенты-физики.

За рабочим столом в Президиуме АН СССР.



ва содержали новый материал, почерпнутый из журнальной литературы, и привлекали студентов собственным взглядом автора на предмет.

В 1929 г. на физико-математическом факультете МГУ создается кафедра общей физики. Сергея Ивановича пригласили на должность заведующего. Работу в Институте физики и биофизики он оставил.

В то время на физико-математическом факультете работало много молодежи, не имевшей достаточного педагогического опыта. Поэтому первоочередной задачей стала разработка единых программ лекционных курсов и составление заданий для лабораторных и семинарских занятий. Эта огромная методическая работа велась под руководством нового заведующего. Все виды занятий по общему курсу физики стали проводиться на факультете по единому плану. В начале 1931 г. разработанная Вавиловым программа общего курса физики была обсуждена и утверждена на факультетском ученом совете. В университете ею пользовались, внося некоторые дополнения и изменения, более 40 лет.

Вавилов реорганизовал и значительно обновил физический практикум, провел большую работу по описанию его задач, спроектировал ряд новых демонстрационных приборов для физического кабинета. В своих лекциях Сергей Иванович много внимания уделял методологическим вопросам, в частности, связанным с теорией относительности. Этому в значительной степени способствовала написанная им в 1928 г. книга «Экспериментальные основы теории относительности». Лекции Вавилова пользовались неизменным успехом. Студенты засыпали Сергея Ивановича вопросами. Он никогда не спешил покидать аудиторию и подолгу беседовал со слушателями.

В 1927 г. в МГУ, как и во многих других учебных заведениях страны, был введен бригадный метод обучения. Лекции отменили. Естественно, Вавилову это было не по душе, и он увеличивал время на так называемые вводные объяснения, по сути, придерживаясь старой лекционной системы.

Вместе с тем он ввел в практику написание рефератов. Студентам предлагалось на выбор десять тем по оптике. В специально выделенные часы профессор вызывал студента в свой кабинет и, стоя за конторкой, устраивал подробный разбор его работы, отмечая ее удачные и слабые стороны.

В 1930 г. в МГУ организовали группу так называемых «выходцев» — выходцев из рабочих и крестьян, которые должны были готовиться к будущей научной и педагогической деятельности. Вавилов уделял большое внимание работе с ними. А. А. Власов, попавший в эту группу, рассказывал автору, что каждому из них Сергей Иванович давал заранее тему лекции, а затем присутствовал на ней и по ее окончании устраивал доброжелательный, но часто нелюбимый разбор. Власову, ставшему впоследствии крупным физиком-теоретиком, на всю жизнь запомнился совет Сергея Ивановича: «Лектор должен быть заинтересован и воодушевлен темой. Этому может способствовать его собственный вклад в тему, пусть малый, относящийся только к методи-

ческой стороне дела. И в таком случае он может внести в лекцию свежую струю, скрасить ее».

Вавилов занимался в университете не только педагогической, но и научной деятельностью. Он поставил здесь ряд теоретических и экспериментальных исследований в области молекулярной люминесценции. Вместе с ним эти исследования проводили его ближайший сотрудник В. Л. Левшин и молодые аспиранты И. М. Франк, Б. Я. Свешников, А. А. Шишловский и другие, ставшие впоследствии видными учеными.

Старейший университетский преподаватель Е. С. Четверикова рассказывала автору, что студенты по собственной инициативе возбудили ходатайство о введении в ученый совет факультета трех лучших молодых преподавателей, которыми они считали С. И. Вавилова, А. С. Предводителева и С. Т. Кобеяевского. К. П. Белов вспоминал, что позднее группа, где он учился и занятия с которой проводил Вавилов, выдвинула его для представления к только что введенному почетному званию «профессор-ударник». В 1931 г. в университетской многотиражке был помещен его портрет и статья «Первый профессор-ударник», где, в частности, говорилось: «Премирован тов. Вавилов грамотой ударника, премией в 200 рублей и заграничной командировкой». Грамоту и

деньги Вавилов получил, а вот воспользоваться заграничной командировкой не смог.

Своим добросердечием Сергей Иванович привлекал к себе не только студентов, но и коллег. Четверикова рассказывала автору, что на кафедре его очень любили и, учитывая, что он часто болеет, берегли. Читая лекции, Сергей Иванович всегда сильно пачкался мелом. Сотрудники завели для него отдельную щетку. Он был прост со всеми. С особой теплотой к нему относилась старая уборщица факультета, которая, обращаясь к нему, звала его «милый».

Сергей Иванович удивительно быстро умел ликвидировать конфликты, поэтому его часто привлекали в качестве арбитра при решении различных споров. Сам он в шутку называл себя «главноуговаривающим».

В МГУ Вавилов в те годы сделал много важных дел. Был одним из инициаторов разделения физико-математического факультета на физический и механико-математический факультеты. По его предложению в 1925 г. на факультет пригласили Л. И. Мандельштама. Тем самым он способствовал созданию в МГУ его знаменитой оптической и радиофизической школы. Он привлекал для чтения лекций крупных специалистов с производства. Это обеспечивало студентам возможность проходить производственную практику в

заводских лабораториях и приближало их подготовку к потребностям практической жизни. По инициативе Вавилова на большинстве специальных кафедр были созданы практикумы для студентов старших курсов и т. д.

В 1931 г. С. И. Вавилова избрали членом-корреспондентом АН СССР, в 1932 г. — академиком, а вскоре он был назначен научным руководителем ленинградского Государственного оптического института. В связи с этим Вавилов был вынужден оставить работу в Московском университете.

Став президентом Академии наук, Сергей Иванович сумел убедить Сталина в целесообразности строительства архитектурного комплекса Московского университета на Ленинских горах.

Вавилов был горячим сторонником тесного сотрудничества между академической и университетской наукой. В 1948 г. он организовал ежемесячный объединенный коллоквиум физического факультета МГУ и Физического института АН СССР, бессменным руководителем которого был многие годы.

На физическом факультете МГУ на Ленинских горах рядом со скульптурными портретами крупнейших русских физиков А. Г. Столетова, П. Н. Лебедева и Н. А. Умова установлен большой мраморный бюст С. И. Вавилова — дань глубокого уважения и благодарности.

Он был мне близким человеком

Ю. Н. Вавилов
Москва

Дядю Сережу я впервые увидел в 1932 г., когда он приехал в Ленинград, став научным руководителем Государственного оптического института (ГОИ) и директором физического отдела Физико-математического института АН СССР. Некоторое время, до получения квартиры, он жил у нас в доме на углу Невского и улицы Гоголя, но я его видел редко.

Он, по-видимому, рано уходил на работу и поздно возвращался. В это время мне было всего четыре года. Помню, что подарил мне набор оловянных солдатиков.

Позднее, когда я стал ходить в школу, мы бывали в гостях у дяди Сережи и его супруги Ольги Михайловны в их квартире на Васильевском острове, на Биржевой линии, рядом с ГОИ.

Там мне довелось познакомиться с ближайшими соратниками и друзьями Сергея Ивановича по ГОИ: Ильей Васильевичем Гребенщиковым¹ и Георгием Геор-

¹ И. В. Гребенщиков был широко известным химиком-технологом, академиком АН СССР, одним из организаторов производства оптического стекла в СССР.



С братом и матерью во время приезда на побывку в Москву с фронта. Декабрь 1916 г.

гиевичем Слюсаревым², у которого была очень милая супруга Акилина Ильинична, а также их симпатичными сыновьями — Сергеем Гребенщиковым и Сергеем Слюсаревым. Сын дяди Сергея, мой двоюродный брат Виктор, был очень с ними дружен.

Я помню, как дядя Сережа весело смеялся, когда узнал, что мои друзья по школе имели смешные фамилии. Один из них был Неля Конфисахар, другой — Герман Яговдик.

Уже после войны, в один из краткосрочных приездов в Ленинград из Москвы, дядя Сережа пригласил маму и меня встретить Новый год у него дома. Гостей было мало, кроме нас — только И. В. Гребенщиков и Г. Г. Слюсарев с супругами, жившие в одном доме с Сергеем Ивановичем.

Дядя Сережа был весел и очень раскован, часто шутил. Помню, что минут через сорок после наступления нового года гости разошлись по домам. Мы с мамой, Гребенщиконы и Слюсаревы, зная, как был перегружен Сергей Иванович, старались не злоупотреблять его гостеприимством, дать ему возможность лучше отдохнуть за

ночь. Мы знали, что и в наступивший первый день нового года Сергей Иванович будет напряженно работать. Ушли домой мы с мамой в очень хорошем настроении.

Сталинский режим, виновный в гибели миллионов людей, принес трагедию и в нашу семью. 6 августа 1940 г. моего отца арестовали в Черновцах во время экспедиции в Западную Украину. В это трудное время Сергей Иванович вплоть до своей кончины в 1951 г. оказывал моей матери и мне огромную поддержку.

В конце сорокового года мама ездила хлопотать в Москву об освобождении отца. Она побывала и у Сергея Ивановича, который значительное время проводил в столице, будучи директором ФИАН. Он очень тяжело переживал арест брата.

Дядя Сережа ходил к президенту Академии наук В. Л. Комарову, и они вместе составили письмо Сталину с просьбой об освобождении Н. И. Вавилова, при этом, по рассказу бывшего помощника Комарова А. Г. Чернова, Сергей Иванович плакал. В письме Н. П. Дубинину в 1975 г. Чернов вспоминал, что ходатайство Комарова Сталин направил Берии, о чем ему (Чернову) сообщил помощник Сталина Поскребышев. Увы, в Архиве Академии наук ни этого письма, ни писем С. И. Вавилова нет. Они бесследно исчезли. Нет и ряда других писем в защиту арестованных ученых, о существовании которых мы знаем.

Из ныне опубликованного письма Н. И. Вавилова на имя Берии из Саратовской тюрьмы известно, что утром 15 октября 1941 г. к Николаю Ивановичу, находившемуся в Бутырской тюрьме в Москве, приходил представитель Берии и обещал, что ему будет предоставлена работа с использованием его как специалиста³. Однако ввиду форсирования немецкого наступления на Москву 16 октября 1941 г. Николай Иванович был этапирован в Саратов, где находился в тюрьме, в тяжелейших условиях, до своей кончины 26 января 1943 г. Возможность работать по специальности вопреки обещаниям ему так и не предоставили.

Недавно мне стало известно, что в реабилитационном деле Н. И. Вавилова имеется записка Виктора Александровича Веснина, написанная на бланке депутата Верховного Совета СССР, президента Академии архитектуры. Он просил Генерального прокурора СССР принять мою маму, хлопотавшую об освобождении отца. Жены В. А. Веснина и С. И. Вавилова, Ольга Михайловна и Наталья Михайловна, были сестрами. Ходатайство было написано по просьбе Сергея Ивановича.

Как мы знаем теперь, к сожалению, ходатайства многих лиц об освобождении Николая Ивановича, даже смелые действия академика Д. Н. Прянишникова, оказались безрезультатными.

Начало войны застало нас с мамой в Подмоскowie в поселке Ильинское по Казанской железной дороге, где мы жили у знакомых. Много раз я видел огненное зарево над Москвой, вызванное немецкими бомбежками и стрельбой наших зениток. Бесчисленное множество товарных составов, до отказа заполненных срочно призванными на фронт новобранцами, проносилось мимо станции...

Где-то в конце июля — начале августа брат мамы профессор К. И. Барулин, очень

² Профессор Г. Г. Слюсарев — один из ведущих специалистов по расчету оптических систем.

³ Как известно, 9 июля 1941 г. Н. И. Вавилов был приговорен Особым совещанием к высшей мере наказания — расстрелу. Однако приговор не был приведен в исполнение.

заботившийся о нас, организовал нашу эвакуацию в Саратов, куда мы благополучно доехали поездом. Мы не знали, что отец с конца октября 1941 г. находился в тюрьме буквально в километре от нашего дома.

О смерти Николая Ивановича мы с мамой и Сергей Иванович узнали осенью 1943 г. от моего старшего брата Олега Николаевича Вавилова. Он прислал телеграмму дяде Сереже в Йошкар-Олу. Она хранится в фонде С. И. Вавилова в Архиве АН в Москве. Там же есть несколько писем моей мамы и даже моя открытка, посланные из Саратова в Йошкар-Олу во время войны.

В Саратов мы приехали без теплых вещей, почти без денег, и маму не принимали на работу. В трудные военные годы нашей жизни в Саратове материальная и моральная помощь Сергея Ивановича была неоценимой. У меня хранятся копии упомянутых писем и моей открытки к С. И. Вавилону, а также несколько писем дяди Сережи к маме в период войны.

Сергей Иванович, зная, как тяжело было маме в Саратове, заботился о моем питании и одежде, приглашал меня приехать на лето 1942 г. в Йошкар-Олу. О себе мама не беспокоилась: все ее помыслы были о судьбе мужа и единственного сына.

В своей открытке от 20 июля 1942 г. я писал:

«Дорогой дядя Сережа! Большое спасибо тебе за приглашение приехать на лето к вам. Но я решил поехать с мамой в деревню, так как не хочется оставлять ее одну в Саратове. К тому же меня, наверное, возьмут (в конце лета) со школой работать в колхоз. В деревню мы едем вверх по Волге, в 150 километрах от Саратова, к маминим знакомым. Там, говорят, неплохо с продовольствием, во всяком случае лучше, чем тут, в Саратове...»

Приведу несколько строк из письма моей матери к Сергею Ивановичу из Саратова от 7 декабря 1943 г.:

«Деньги от Вас получаем регулярно. Не нахожу слов, чтобы выразить Вам свою глубокую благодарность. Без Вашей помо-

щи нам бы не просуществовать это время...».

Дальнейшая моя судьба сложилась удачно благодаря огромной поддержке Сергея Ивановича.

Кончилась война, и вот летом 1945 г. в наш дом на Первомайской улице в Саратове почтальон приносит телеграмму с грифом «Правительственная». В этой телеграмме было напечатано приблизительно следующее: «Научному сотруднику Академии наук СССР Ю. Н. Вавилону надлежит выехать в Ленинград вместе с матерью к месту работы». Подпись: вице-президент Академии наук СССР генерал-полковник Л. Орбели. Леон Абгарович Орбели, знаменитый физиолог, брат академика Иосифа Абгаровича Орбели, которого многие ленинградцы старшего поколения знали как директора Эрмитажа, прекрасно относился к моему отцу. Он знал, что отец ни в чем не виноват и понимал подлинные причины его гибели.

Эта телеграмма, конечно, организованная С. И. Вавиловым, была необходима для въезда в еще закрытый Ленинград. Когда мы ехали с мамой на поезде, то беспокоились, что при проверке документов может возникнуть трудная ситуация, так как мне было всего 17 лет и выглядел я юнцом, да и был еще школьником, явно не похожим на «научного сотрудника». Но в стране царила эйфория в связи с победой над Германией, и никаких проверок не было.

Приехали мы в Ленинград, а жить нам негде — наша квартира занята. И тут опять помог дядя Сережа. Он поговорил с Е. А. Толмачевой-Карпинской, дочерью первого советского президента Академии наук А. П. Карпинского, — и она любезно согласилась освободить нам с мамой временно (на целых пять лет!) две комнаты в своей квартире в знаменитом доме Академии наук, где 26 мемориальных досок.

В Ленинграде я окончил 10 классов с серебряной медалью и поступил на физический факультет ЛГУ. На третьем курсе в 1949 г. у нас проходило распределение по специальностям. У меня возникло желание поступить на кафедру



Редкие минуты отдыха.

Фото В. С. Вавилова

«Строение вещества» (ядерная физика) профессора В. С. Дзепелова. Ядерная физика заинтересовала меня еще в школе в Саратове, после прочтения книги А. К. Вальтера «Атака атомного ядра», оказавшейся в городской библиотеке.

Для зачисления на эту кафедру полагалось заполнить специальную анкету, где была графа, в которой мне пришлось написать, что «отец был под следствием, остальное мне неизвестно». То, что отец умер, мне стало известно от брата Олега, т. е. неофициально. Заранее можно было ожидать, что получится неудача с моей попыткой поступления на кафедру, которая требовала допуска к закрытым работам. Действительно, через некоторое время меня вызвал декан физического факультета Краев и заявил, что мне необходимо менять специализацию. На мой вопрос: «Почему?» — Краев резко ответил: «Не спрашивайте! Меняйте специальность!» Вскоре в Ленин-

град приехал дядя Сережа. Я ему рассказал о своей неудаче, но ни о чем не просил.

Через полтора-два месяца меня вызвали в ректорат и сказали, что я могу учиться на кафедре «Строение вещества». Этого, как потом выяснилось, добился Сергей Иванович. Летом 1950 г. после окончания 4-го курса я был направлен на студенческую практику на Памирскую высокогорную научную станцию ФИАНа, где принял участие в работах по исследованию широких атмосферных ливней космических лучей.

Работы эти проводились под общим руководством академика Д. В. Скобельцына и Г. Т. Зацепина. Непосредственным моим руководителем по работе на Памире был Г. Б. Христиансен, в то время аспирант Скобельцына.

Подготовка аппаратуры к экспедиции на Памир проводилась в Москве в старом здании ФИАНа на 3-й Миусской улице. Месяца полтора я жил на квартире дяди Сережи в доме возле бывшей Собачьей площадки на Арбате (угол улицы Вахтангова и Дурновского переулка, ныне Композиторская улица)⁴.

В это время особенно ощущались внимание, забота и теплота по отношению ко мне Сергея Ивановича. В субботу дядя Сережа брал меня с собой на дачу в Мозжинку под Звенигородом. Там он много рабо-

тал, заканчивая свою книгу «Микроструктура света», обобщавшую тридцатилетнюю работу в области микрооптики. Отдыхом для Сергея Ивановича было чтение художественной литературы на разных европейских языках. Любил он и детективы; рекомендовал мне читать Агату Кристи на английском. Книжки были привезены его сыном Виктором из США, куда он ездил в 1946 г. на полгода как секретарь Скобельцына, работавшего советским представителем в комиссии ООН по атомной энергии.

В Мозжинку к Сергею Ивановичу приезжали его ученики и соратники. Мне довелось там познакомиться с Ильей Михайловичем Франком и Эдуардом Владимировичем Шпольским.

Сергей Иванович иногда прогуливался по лесу, любил собирать грибы. Помню, как он был доволен, когда я нашел несколько белых.

Как-то на дороге из Мозжинки, в автомобиле, дядя Сережа сказал мне, что «должность президента Академии наук собачья» и он променял бы ее на работу водопроводчика. Быть президентом АН СССР в 1945—1951 гг., в период широких сталинских кампаний в науке, было ему чрезвычайно тяжело⁵.

⁵ Подтверждением может служить эпизод, рассказанный С. П. Капицей со слов его отца (см. предисловие к статье А. С. Сониной в «Природе», 1990, № 3. с. 97). За несколько дней до кончины Сергея Ивановича Петр Леонидович был у него в гостях в его доме на Арбате.

Вспоминается мне также поездка с Сергеем Ивановичем по книжным магазинам Москвы в одно из воскресений. Мы заезжали в несколько букинистических магазинов. Работники их хорошо знали Сергея Ивановича и очень приветливо его встречали, знакомя с новыми поступлениями.

Из бесед с С. И. Вавиловым и работниками ФИАНа мне было известно, что он очень интересовался работами лаборатории на Памирской станции и хорошо знал ее сотрудников. Наиболее способным он считал Г. Т. Зацепина.

Весь период своей учебы на физическом факультете ЛГУ я постоянно чувствовал заботу о себе Сергея Ивановича. Часто приходили ко мне бандероли с книгами по физике и математике, отправляемые из Москвы по его просьбе. После окончания ЛГУ я был рад поступить в аспирантуру ФИАНа в лабораторию космических лучей, возглавляемую профессором Н. А. Добротинным. Моим руководителем стал Г. Т. Зацепин. Это случилось, к сожалению, уже после неожиданной кончины Сергея Ивановича.

Фактически он после войны был самым близким мне человеком, не считая матери. Я очень любил Сергея Ивановича. Его преждевременная кончина, как и гибель отца, для меня и мамы была тяжелым горем. Сергей Иванович говорил о страшной ситуации, в которой оказались ученые. «Вавилов был настолько откровенен, что Петра Леонидовича это поразило до глубины души, тем более, что большой близости между ними никогда не было...».

О некоторых высказываниях С. И. Вавилова по поводу Галилея и Ньютона

В. А. Фабрикант,
доктор физико-математических наук
Москва

ИНТЕРЕС С. И. Вавилова к истории науки общеизвестен. Мне хотелось бы напомнить буквально несколько его высказываний, характеризующих своеобразие и глубину

его идей в области истории физики.

В январе 1942 г. исполнялось 300 лет со дня смерти Галилео Галилея. По решению Президиума Академии наук

СССР, несмотря на тяготы войны, был подготовлен сборник, посвященный Галилею, содержащий статью С. И. Вавилова «Галилей в истории оптики».

Она начинается с характере-

ристики особенностей научной деятельности Галилея. Это сделано с таким блеском, что трудно удержаться от цитаты: «В искусственно логизированной (разрядка моя.— В. Ф.) истории науки с Галилеем связывают этап большой важности, но по значению своему мало отличающийся от того, что отнесено к имени Кеплера, Декарта, Гюйгенса.

В схематической истории науки место Галилея даже в центральном пункте его деятельности, в развитии и укреплении гелиоцентризма, кажется меньшим, чем Коперника и Кеплера. Физические и астрономические доводы Галилея в пользу подвижности Земли либо не новы, либо ошибочны, либо мало существенны; законы Кеплера ускользнули от его внимания или остались не понятными им, галилеева теория приливов неверна, его представления о кометах кажутся сейчас архаическими. И вместе с тем в реальной истории науки очевидно огромное значение Галилея в победе гелиоцентрической системы мира, и его роль ни с кем не сравнима. Живая, полнокровная, художественная аргументация и пропаганда «Диалога», написанного на родном языке, трагическая борьба с иезуитами и инквизицией, письма-циркуляры, которыми зачитывалась Европа, и, наконец, новая картина галилеева безграничного неба с Солнцем, обращающимся вокруг оси, с гористой Луной, с медийскими лунами Юпитера, с фазами Венеры и с туманом Млечного Пути, распавшимся на отдельные звезды,— победили мир, заставили всех, несмотря на «очевидность», поверить в неподвижное Солнце и в сложное движение Земли»¹.

Обращает на себя внимание термин «логизированная» история науки. Известно, что Сергей Иванович очень щепетильно относился к использованию слов. Достаточно напомнить его темпераментную борьбу с таким «сорняком», как «является». И хотя слова «логизировать» нет в словарях, оно здесь более чем оправданно, так как

удачно характеризует не только операцию, часто проделываемую в истории науки, но и операцию, совершаемую при оформлении результатов законченного научного исследования. Об этом ярко написал известный биохимик А. Сент-Дьёрдьи². Эта, в общем необходимая, операция очень затрудняет выяснение истинного пути научного открытия, т. е. истинную сущность научного метода получения новых результатов, а не метода их изложения. В частности, выпадает совсем роль интуиции.

Целая серия работ Вавилова посвящена И. Ньютону. Они изучены историками науки и философами, но, может быть, имеет смысл подчеркнуть то, что особенно важно для физика.

Первая из этих работ «Принципы и гипотезы оптики Ньютона»³ была опубликована в 1927 г. в качестве своеобразного введения к двум оптическим мемуарам Ньютона, переведенным Сергеем Ивановичем на русский язык. Эпиграфом к статье взято замечание Ньютона из первого мемуара: «Я не буду смешивать домыслы с достоверностями». Сергей Иванович резонно противопоставляет это утверждение более позднему категорическому «гипотез не измышляю» и доказывает, что Ньютон в оптических исследованиях широко пользовался гипотезами, но действительно «старался не смешивать домыслы с достоверностями».

Сергею Ивановичу принадлежит четкая формулировка ньютоновского научного метода «принципов», лежащего в основе современного естествознания и не сводящегося к чистой индукции из данных эксперимента, хотя и опирающегося на эти данные. Анализ метода принципов фигурирует и в последующих работах Вавилова, посвященных Ньютону.

Обычно заслуги Ньютона как гениального теоретика несколько заслоняют его роль в становлении научного эксперимента. В статье 1927 г. Сергей Иванович показывает Ньютона

как гениального экспериментатора, основателя по существу научного экспериментального метода. Это же подчеркнуто и в биографии Ньютона, написанной Вавиловым, и в его комментариях к переводу на русский язык «Лекций по оптике» Ньютона, изданных в 1946 г.: «В отличие от всех своих предшественников (и даже таких, как Леонардо, Галилей, Джилиберт), Ньютон постигает искусство рационального опыта, отвечающего на определенные вопросы и, наоборот, выдвигающего новые вопросы. В его руках комбинация опытов становится таким же могучим и гибким средством научного мышления, как логика и математика»⁴.

Цель экспериментов, приведенных к открытию эффекта Вавилова — Черенкова, представляет прекрасный пример активного экспериментального метода, создателем которого следует считать Ньютона.

В статье 1927 г. он впервые выдвигает весьма интересную идею о позитивной роли несовершенства опыта в развитии науки. Излагая открытия Ньютоном принципа неизменности простого цвета (т. е. неизменности частоты), он пишет: «...монокроматор Ньютона оказался недостаточно совершенным, хотя он и пользовался коллиматорной установкой с узкой щелью; флуоресценция при однородном освещении Ньютон не заметил, и принцип был спасен. Перед нами нередкий пример того, как несовершенство опыта способствует развитию науки. Трудно представить себе путаницу оптических представлений, которая возникла бы, если бы смещение Стокса открыли в XVII в.»⁵ В более поздней биографии Ньютона Сергей Иванович возвращается к этой же идее, показывая тем самым, что он считает ее существенной для правильной трактовки истории развития экспериментальной науки.

В собственной научной работе Вавилова тягостел к простому, но глубококому эксперименту с использованием минимума технических средств. «Он все-

² Сент-Дьёрдьи А. Введение в субмолекулярную биологию. М., 1964. С. 114.

³ Вавилов С. И. Собр. соч. М., 1955. Т. 3. С. 107.

⁴ Там же. С. 3—5.

⁵ Там же. С. 111.

¹ Галилео Галилей. Сборник. М.—Л., 1943. С. 5—7.

гда приводил нам,— вспоминает В. И. Векслер,— молодым физикам, когда мы хотели создавать сложную аппаратуру для экспериментов, множество примеров из истории науки, показывая, что большие открытия достигались за счет напряженной работы мысли, а не за счет создания сложной аппаратуры. И только в послевоенные годы, когда физика приобрела индустриальный характер, С. И. сам принял горячее участие в развитии индустриальной базы физики в нашей стране». Далее Векслер замечает: «Мне кажется, что ему пришлось пережить при этом внутреннюю борьбу, и, может быть, он так и не преодолел до конца свой внутренний скептицизм. Всем известна его огромная роль в развитии послевоенной физики. Тем, что я сказал выше, я хочу подчеркнуть ту огромную пользу, которую всегда приносил его мягкий скепсис и всегдашнее подчеркивание того, что дело не в огромных дорогих аппаратах, а в том,

чтобы физики хорошо думали»⁶.

Несмотря на войну, Академия наук в 1943 г. должным образом отметила и 300-летие со дня рождения Ньютона. Были выпущены две весьма ценные книги: сборник статей о Ньютоне под редакцией Вавилова⁷ и уже упоминавшаяся биография великого ученого написанная Сергеем Ивановичем. Сборник представляет собой солидный, большого формата том со статьями С. И. Вавилова, А. Н. Крылова, Н. Н. Лузина и других. Военное время сказало только на качестве бумаги.

Статья Сергея Ивановича «Эфир, свет и вещество в физике Ньютона» продолжает и развивает глубокий анализ метода принципов Ньютона и очень выпукло показывает эволюцию его взглядов на эфир. Гипотезе о механическом эфире фактиче-

ски не нашлось места в строгой системе «Начал». Сергей Иванович выражает в связи с этим восхищение «беспримерной по своей безошибочности интуицией Ньютона».

Биографию «Исаак Ньютон», написанную Вавиловым, читал каждый, кто интересуется историей физики. Она привлекает к себе внимание и по сей день, хотя за истекшее время открыто множество новых, ранее неизвестных архивных материалов и написано несколько хороших книг. Примечательно, что работа по изучению наследия Ньютона позволила документально подтвердить или уточнить (но не опровергнуть!) то, о чем Вавилов писал на основании собственных предположений.

Наследие Вавилова в области истории науки интересно в разных планах, изучение его будет продолжаться и принесет много любопытных результатов.

⁶ Сергей Иванович Вавилов. Очерки, воспоминания. М., 1976. С. 176.

⁷ Исаак Ньютон. Сборник. М.— Л., 1943.

Над номером работали:
Заместитель ответственного секретаря
О. В. ВОЛОШИНА

Научные редакторы:
И. Н. АРУТЮНЯН
О. О. АСТАХОВА
Л. П. БЕЛЯНОВА
М. Ю. ЗУБРЕВА
Г. В. КОРОТКЕВИЧ
Л. Д. МАЙОРОВА
Н. Д. МОРОЗОВА
Е. М. ПУШКИНА
Н. В. УСПЕНСКАЯ

Литературный редактор
Г. В. ЧУБА

Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Заведующая редакцией
С. С. ПЕРЕПЕЛКИНА

Корректоры:
Р. С. ШАЙМАРДАНОВА,
Т. Д. МИРЛИС

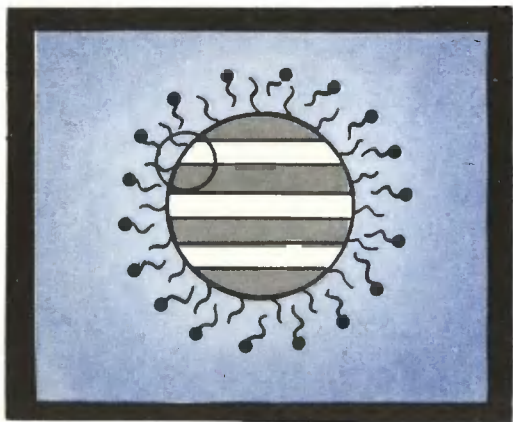
В художественном оформлении номера принимали участие
Ю. В. ТИМОФЕЕВ
Е. К. ТЕНЧУРИНА

Ордена Трудового Красного
Знамени издательство «Наука»

Адрес редакции:
117810, Москва, ГСП-1
Маро́новский пер., 26
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 3.01.91.
Подписано в печать 22.02.91.
Формат 70×100¹/₁₆.
Бумага офсетная, № 1
Офсетная печать
Усл. печ. л. 10,32.
Усл. кр.-отт. 1212,6 тыс.
Уч.-изд. л. 15,0.
Тираж 45 300 экз.
Зак. 2553.
Цена 1 р. 20 к.

Ордена Трудового
Красного Знамени
Чеховский полиграфический
комбинат
Государственного комитета СССР
по печати
142300, г. Чехов
Московской области



Не исключено, что переход от химической эволюции к биологической осуществлялся с помощью углистых хондритов. В их порах могли появиться доклеточные системы — протовирусы.

Нусинов М. Д., Марон В. И. ЭВОЛЮЦИЯ ВЕЩЕСТВА ВО ВСЕЛЕННОЙ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

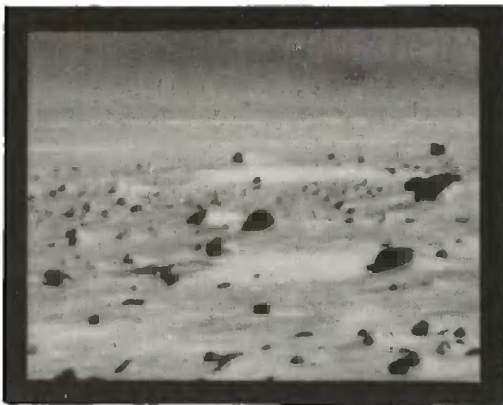


«Спицы», обнаруженные в кольце В Сатурна около 10 лет назад, возможно, представляют собой периодические сгущения и разрежения вещества, возникающие из-за возбуждения волн плотности в плоскости кольца.

Блюх П. В., Ярошенко В. В. «СПИЦЫ» В КОЛЬЦЕ САТУРНА

ПРИРОДА

1⁹¹



Появилась наконец возможность посылать экспедиции для поисков и сбора метеоритов в местах их наибольшего скопления.

Шульц Л., Шуколюков Ю. А. ЭКСПЕДИЦИИ ЗА МЕТЕОРИТАМИ

Идея нелинейности, широко входящая в научное сознание, рождает новый взгляд не только на эволюцию живой и неживой природы, но и на марксистскую схему истории человеческого общества.

Ахундов М. Д., Баженов Л. Б. ЭВОЛЮЦИЯ, НЕЛИНЕЙНОСТЬ И МАРКСИЗМ

За счет стран «третьего мира» население Земли растет быстрее, чем предусматривалось большинством прогнозов. Единственное радикальное средство стабилизации численности землян — сокращение рождаемости — в развивающихся странах «не работает» по целому ряду причин.

Алаев Э. Б. РЕШЕНИЕ ГЛОБАЛЬНОЙ ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ, ИЛИ БЕГ НА МЕСТЕ

1 а 20 к.
ИНДЕКС 70707



М.Н. 0130—801Х—Страница 1301. № 11—178