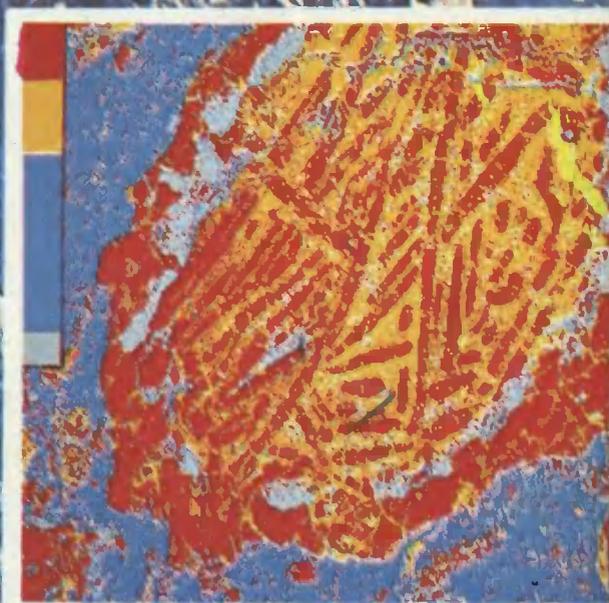


ISSN 0032-874X

ПРИРОДА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПОПУЛЯРНЫЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ АКАДЕМИИ НАУК СССР



30 лет
космической эры

СЕНТЯБРЬ

9

1987

сентябрь
1987

ПРИРОДА

Основан
в 1912 году

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПОПУЛЯРНЫЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ АКАДЕМИИ НАУК СССР

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- | | |
|---|--|
| Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ | Доктор философских наук
Н. В. МАРКОВ |
| Кандидат физико-математических наук
А. И. АНТИПОВ | Ответственный секретарь
В. М. ПОЛЫНИН |
| Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ | Доктор исторических наук
П. И. ПУЧКОВ |
| Член-корреспондент АН СССР
Р. Г. БУТЕНКО | Заместитель главного редактора
академик
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ |
| Доктор географических наук
А. А. ВЕЛИЧКО | Доктор философских наук
Ю. В. САЧКОВ |
| Академик
В. А. ГОВЫРИН | Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ |
| Член-корреспондент АН СССР
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ | Академик АН УССР
А. А. СОЗИНОВ |
| Заместитель главного редактора
Ю. Н. ЕЛДЫШЕВ | Академик
В. Е. СОКОЛОВ |
| Член-корреспондент АН СССР
Г. А. ЗАВАРЗИН | Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ |
| Член-корреспондент АН СССР
В. Т. ИВАНОВ | Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ |
| Доктор физико-математических наук
Н. П. КАЛАШНИКОВ | Заместитель главного редактора
член-корреспондент АН СССР
Л. П. ФЕОКТИСТОВ |
| Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА | Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН |
| Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ | Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАЩУК |
| Кандидат физико-математических наук
А. А. КОМАР | Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ |
| Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ | |
| Доктор геолого-минералогических наук
И. Н. КРЫЛОВ | |



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



НА ПЕРВОЙ И ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦАХ ОБЛОЖКИ. Вид на горы Каракорум из космоса. «Автографы» метеорита на экране дисплея растрового электронного микроскопа. См. в номере: 30 ЛЕТ КОСМИЧЕСКОЙ ЭРЫ.

В номере:

30 ЛЕТ КОСМИЧЕСКОЙ ЭРЫ

4 октября 1957 г. запуском первого искусственного спутника Земли начата эра освоения космоса. Развитие космических исследований в последующие 30 лет позволило по-новому, порой под совершенно неожиданным углом зрения увидеть многие проблемы фундаментальных наук и решить некоторые из них.

Жарков В. Н., Козенко А. В. СПУТНИКИ МАРСА (4)

Белов В. П. ФОБОС: ТРЕЩИНЫ ИЛИ БОРОЗДЫ? (12)

Авдюшин С. И., Данилов А. Д., Дликман Ф. Л. КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КИБЕРНЕТИКА (18)

Федоров К. Н. ОКЕАН ИЗ КОСМОСА И В ЛАБОРАТОРИИ (46)

Воронков Ю. С. НАКАНУНЕ ПЕРВОГО ПУСКА. (К 100-летию со дня рождения Ф. А. Цандера) (58)

28 ГОРИЗОНТЫ СОВРЕМЕННОЙ МЕТЕОРИТИКИ

Метеориты — единственные прямые «свидетели» тех событий, которые 4,6 млрд лет назад развернулись в одном из газово-пылевых облаков и привели к образованию Солнечной системы. Этим объясняется неослабный интерес к метеоритным исследованиям со стороны самых разных специалистов.

Левский Л. К. ПОИСКИ ПРОТОЗЕМНОГО ВЕЩЕСТВА (30)

Рузайкина Т. В. МЕТЕОРИТЫ — СВИДЕТЕЛИ ЭВОЛЮЦИИ ПРОТОПЛАНЕТНОГО ДИСКА (32)

Лебединец В. Н. МЕТЕОРЫ, МЕТЕОРИТЫ И КОСМИЧЕСКАЯ ПЫЛЬ (34)

Терентьева А. К. ЕДИНСТВО МАЛЫХ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ (36)

Алексеев В. А. О КОМЕТНОМ ПРОИСХОЖДЕНИИ ХОНДРИТОВ (39)

Николаева О. В. ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО МЕТЕОРИТОВ (41)

Масайтис В. Л. ЧТО ГЕОЛОГИ НАХОДЯТ В МЕТЕОРИТИКЕ (43)

68 Лем С. ПРИНЦИП РАЗРУШЕНИЯ КАК ТВОРЧЕСКИЙ ПРИНЦИП

«Связь между строением мироздания и строением жизни уже не ставится под сомнение. Но Вселенная — невероятно расточительный вкладчик, растрачивающий начальный капитал на рулетках галактик; а роль исполнителя, вносящего регулярность в эту игру, берет на себя закон больших чисел».

78 Панкратов С. Г. БИПОЛЯРНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

С помощью биполярнонов — пространственно разделенных тяжелых и малоподвижных частиц — сделана попытка объяснить высокие критические температуры сверхпроводящего перехода в металлооксидных керамиках.

80 Марков Г. П. ПАМЯТЬ МИНЕРАЛОВ

Словно добросовестный летописец, природа записала много интересной информации на минералах. Задача в том, чтобы грамотно прочесть эти древние летописи.

85 Баженов Л. Б. РЕДУКЦИОНИЗМ В НАУЧНОМ ПОЗНАНИИ

Редукционистский подход позволяет искать и устанавливать фундаментальные предпосылки естественных наук. Важно при этом различать диалектически понятий редукционизм и его односторонние подобию — холизм и механицизм.

92 Зюганов В. В., Лабас Ю. А., Хлебович В. В. ИОННЫЕ КАНАЛЫ, ГЕНЫ И ЭВОЛЮЦИЯ

Эксперименты по ионной проницаемости мембран показывают, что организмы могут быстро приспособиться к новой среде обитания за счет мутаций небольшого числа копий одного гена.

100 Ярошевский М. Г., Маркусова В. А. КОМПЬЮТЕР И ЭТИКА ЦИТИРОВАНИЯ

Успехи новой информационной технологии позволяют анализировать научные тексты и проследить развитие научных идей без традиционных междисциплинарных ограничений.

НОВОСТИ НАУКИ

108 Особая структура вод Северной Атлантики (57) • Запуски космических аппаратов в СССР (май — июнь 1987 г.) (108) • На станции «Мир» (апрель — май 1987 г.) (108) • «Вояджер-2» на пути к Нептуну (109) • Гигантские дуги в скоплениях галактик (109) • Океан под ледяной корой спутника Юпитера? (110) • Квазикристаллы размером в сантиметр (111) • Автоволны в неравновесных сверхпроводниках (111) • Обменный механизм диффузии атомов (112) • Радиоактивные элементы и гели (112) • Искусственная РНК против вируса (113) • Гипотеза «молекулярных часов» под вопросом (113) • Вторая система азотфиксации у бактерий (114) • Зрительное внимание у глухих (114) • Разрабатывается вакцина против СПИДа (115) • Опасное хобби (115) • Запись голосов полярных гагар (115) • Восстановление пустынных пастбищ (115) • Температура в центре Земли (116) • Глобальный геотраверс (116) • Гигантский кратер в Китае (118) • Мантийный источник иридиевой аномалии? (118) • Динозавр-рыбоед (119) • Динозавры вымирали постепенно (119) • Почему деформируются архитектурные памятники (120)

РЕЦЕНЗИИ

121 Климишин И. А. ЛИСТАЯ «ФИЗИКУ КОСМОСА» (на кн.: Физика космоса. Маленькая энциклопедия.)

НОВЫЕ КНИГИ

123 Лайонс Л., Уильямс Д. Физика магнитосферы (123) • Хаббард Уильям В. Внутреннее строение планет (123) • Франтов Г. С., Глебовский Ю. С. Занимательная геофизика (124) • Самсонов С. К. Невидимые земледельцы (124) • Абхазское долгожительство (124) • Вендров С. Л. Жизнь наших рек (124) • Елима Г. А. Многоликие болота (125) • Ерофеев П. Н. Рожденный вулканами (125) • Нахтигаль Г. Сахара и Судан. Результаты шестилетнего путешествия по Африке (125) • Бобров Р. В. Все о национальных парках (126) • Гарен Э. Проблемы итальянского Возрождения (126) • Новая технократическая волна на Западе (126)

ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

127 Лебедева М. И. АИСТЫ И РИСУНОК А. С. ПУШКИНА

Научные редакторы:

И. Н. АРУТЮНЯН,
О. О. АСТАХОВА,
Л. П. БЕЛЯНОВА,
А. В. ДЕГТЯРЕВ,
М. Ю. ЗУБРЕВА,
Г. В. КОРОТКЕВИЧ,
В. В. МАЙКОВ,
Л. Д. МАИОРОВА,
Н. Д. МОРОЗОВА,
Н. В. УСПЕНСКАЯ

Литературные редакторы:

Н. Б. ГОРЕЛОВА,
И. В. ДМИТРИЕВА,
Г. И. ПАНКОВА

Художник

С. И. МИРОНЕНКО

Художественные редакторы:

Л. М. БОЯРСКАЯ,
Д. И. СКЛЯР

Заведующая редакцией

О. В. ВОЛОШИНА

Корректоры:

О. Н. БОГАЧЕВА,
Т. Д. МИРЛИС

В номере использованы

фотографии:
Ю. БЕГУНА,
В. В. ФРИДЖЕСА,
Е. Г. ЛЮБИНСКОГО

В художественном оформлении номера принимали участие:

Н. Н. АБРАМОВ,
Т. В. БАРТЕНЕВА,
В. С. КРЫЛОВА,
Б. И. КУЗЬМИН,
Е. К. ТЕНЧУРИНА

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука»

Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП-1,
Мароновский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 07.07.87

Подписано в печать 11.08.87

T-17705

Формат 70×100 1/16

Офсетная печать

Усл. печ. л. 10,32

Усл. кр.-отт. 1472,4 тыс.

Уч.изд. л. 15,1

Бум. л. 4

Тираж 55 000 экз.

Зак. 1942

Ордена Трудового
Красного Знамени
Чеховский полиграфический
комбинат

ВО «Союзполиграфпром»
Государственного
комитета СССР

по делам издательства,

полиграфии и

книжной торговли.

142300, г. Чехов

Московской области

30 лет КОСМИЧЕСКОЙ ЭРЫ

ЮБИЛЕИ ВЕЛИКОГО ОКТЯБРЯ, отмечаемая в этом году, совпадает с другой датой — 30-летием запуска в СССР первого в мире искусственного спутника. В ночь с 4 на 5 октября 1957 г. началась новая, космическая эра человечества.

Современную эпоху уже невозможно представить без искусственных спутников и орбитальных аппаратов, автоматических межпланетных станций, космических систем связи и метеорологической службы. Многие задачи космической техники для решения многообразных практических задач с каждым годом приобретает все большее значение.

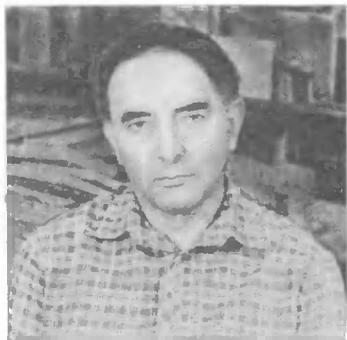
Прочно вошли в нашу жизнь спутники связи. Информация с метеорологических спутников и спутников дистанционной радиолокационной работы прогностических центров, что раньше не один прогноз погоды не мыслим без них. Более активно ведутся исследования по созданию систем прогноза будущей космической погоды.

С каждым годом увеличивается доля в издании исследований природных ресурсов Земли на космоса. Спутниковые методы оказали сильное положительное влияние на изучение Мирового океана.

Только с помощью искусственных аппаратов, изучая условия жизни на спутнике Земли, в том числе кометы, метеориды и метеороиды, можно будет окончательно решить проблему происхождения нашей Солнечной системы.

Задача изучения в наши дни космоса и спутника Земли, использование космоса для поиска энергии деятельности открыло перед человечеством неизведанные, невиданные ранее возможности познания мира. Отмечая эту дату, редакция «Прогноза» предлагает вниманию читателей ряд материалов, продолжая тем самым традицию наших публикаций.

СПУТНИКИ



Владимир Наумович Жарков, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией теоретической физики Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Область научных интересов — внутреннее строение и физика Земли и планет. Автор ряда монографий, в том числе: *Уравнения состояния твердых тел при высоких давлениях и температурах* (совместно с В. А. Калинин). М., 1968; *Физика планетных недр* (совместно с В. П. Трубицыным). М., 1980; *Внутреннее строение Земли и планет*. М., 1983. Лауреат премии им. О. Ю. Шмидта АН СССР.



Александр Васильевич Козенко, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник той же лаборатории. Специалист в области естественных спутников планет. Автор книг: *Фобос и Деймос — спутники Марса* (совместно с В. Н. Жарковым). М., 1985; *Джеймс Хопвуд Джинс (1877—1946)*. М., 1985. Член Королевского астрономического общества (Великобритания).

В НАСТОЯЩЕЕ время ведется работа по реализации предложенного Советским Союзом международного проекта «Фобос», в котором участвуют специалисты социалистических стран, а также Австрии, Финляндии, ФРГ, Швейцарии и Европейского космического агентства. Многоцелевая научная программа «Фобоса» предусматривает проведение исследований планеты Марс и его спутника Фобос, межпланетной среды и Солнца.

Новый этап в изучении спутников Марса начнется в июле 1988 г., когда с интервалом в несколько суток с космодрома Байконур возьмут старт два космических аппарата.

Спутники Марса — Фобос и Деймос — принадлежат к обширному классу малых тел Солнечной системы, широко представленных в поясе астероидов и среди малых спутников планет-гигантов. Исследования этих объектов весьма перспективны в целях изучения природы и состояния вещества на допланетной стадии. Дело в том, что в больших планетах (да и спутниках) произошла химическая дифференциация вещества, поэтому стерлись все свидетельства их происхождения. Малые тела — это реликтовые объекты, свидетели самых ранних стадий эволюции Солнечной системы, они образовались задолго до самых древних земных пород. На основе изучения метеоритов — осколков астероидов — уже сейчас многое можно сказать об этих телах и — что еще важнее — сформулировать проблемы, требующие проведения исследований как с помощью космических аппаратов, так и наземными средствами. Метеоритные данные свидетельствуют, что состав малых тел близок к солнечному (исключая летучие вещества), что говорит об их образовании при формировании Солнца и о том, что они впоследствии претерпели незначительные изменения. Поэтому исследования спутников Марса, с одной стороны, могут пролить свет как на общую проблему происхождения всей Солнечной системы, так и на происхождение и эволюцию Марса и его атмосферы, а с другой — выявить некоторые особенности происхождения и структуры пояса астероидов и формирования малых спутников.

ОТКРЫТИЕ И ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обнаружение спутников Марса не было случайным или неожиданным, как большинство астрономических открытий. Но именно это обстоятельство и вызывает удивление. По-видимому, первым еще И. Кеплер в 1610 г. высказал предположение о возможном существовании у Марса двух спутников. Это предположение было уже довольно широко распространено в начале XVIII в. В 1702 г. в английском переводе «Бесед о множественности миров» Б. Фонтенеля можно было найти утверждение, что Марс не должен испытывать недостатка в лунах; о двух спутниках у Марса писал и Вольтер в «Микромегасе». Но, пожалуй, самым загадочным было предска-

МАРСА

ние Дж. Свифта, сделанное в 1726 г. (за 150 лет до открытия спутников), в котором он указал периоды обращения спутников около планеты, которые оказались близки к наблюдаемым.

Понятно, что астрономы пытались обнаружить спутники у Марса. Например, В. Гершель старался их увидеть в 1783 г. В середине прошлого века подобные поиски усиленно проводил Г. Д'Аррэ на 25-сантиметровом рефракторе Копенгагенской обсерватории. Однако все эти попытки заканчивались неудачей.

Успех выпал на долю американского астронома А. Холла, впервые увидевшего спутники Марса в августе 1877 г. Это было время великого противостояния Марса, и новый мощный 66-сантиметровый рефрактор Морской обсерватории США дал возможность провести визуальные наблюдения спутников в пределах яркого ореола планеты. Ближайший к Марсу спутник был назван Фобосом, а внешний — Деймосом.

Большой вклад в исследование спутников Марса внесли русские астрономы: С. К. Костинский получил их первые фотографические изображения (в 1896 и 1909 гг.), а Г. В. Струве (сын основателя Пулковской обсерватории В. Я. Струве) в 1911 г. предложил теорию движения этих спутников.

В 1945 г. Б. Шарплесс обнаружил вековое ускорение движения Фобоса. Анализ данных рядов наблюдений позволил А. Синклеру в 1972 и 1978 гг. и В. А. Шору в 1975 г. существенно уточнить динамику изменения орбиты спутника. Оказалось, что со временем спутник ускоряется на орбите, причем ее радиус сокращается приблизительно на 4 см в год, так что Фобос по спирали приближается к планете и через 30—70 млн лет он должен упасть на Марс.

Новый этап в изучении спутников Марса наступил в 1969 г., когда были начаты их исследования с помощью космических аппаратов. По снимку с борта «Маринера-7», на котором было получено изображение тени Фобоса на фоне Марса, сделали вывод о неправильной вытянутой форме спутника. Основная информация была получена в результате работы «Маринера-9» в 1971—1972 гг. и особенно орбитальных аппаратов «Викинг-1 и -2» в 1976—

В. Н. Жарков,
А. В. Козенко

1977 гг., когда максимальное сближение с Фобосом и Деймосом достигало соответственно 88 и 28 км, а разрешение переданных на Землю изображений — 2—3 м.

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ

Фотометрические и поляриметрические характеристики свидетельствуют о наличии на поверхности обоих спутников реголита, что характерно и для Луны. Если судить по данным радиометрии, на Фобосе и Деймосе слой реголита должен иметь толщину не менее 1 см.

Поверхность Фобоса сильно испещрена кратерами, но, по-видимому, все же не достигает состояния «насыщения» — когда вновь образующиеся кратеры разрушают или перекрывают старые. Плотность кратеров на Фобосе оказалась близкой к соответствующей величине на континентальной поверхности Луны. Отсюда можно сделать оценку, что минимальный возраст спутника более 2 млрд лет (если, конечно, предположить, что поток тел, образовавших кратеры, был таким же, как и для Луны). На поверхности Фобоса нет участков с различными возрастными, поэтому можно утверждать, что по крайней мере за последний миллиард лет крупномасштабных дроблений спутника не происходило, но ранее могли иметь место разрушение и повторное формирование спутника. Наибольший кратер Фобоса — Стикни — имеет диаметр 10 км. Он назван девичьей фамилией жены А. Холла, роль которой первооткрыватель этого спутника охарактеризовал так: «Шансы обнаружить спутник представлялись очень малыми, так что я мог бы отказаться от поисков, если бы не моя жена, которая настойчиво вселяла в меня веру в успех». Наряду со Стикни выделяется кратер Холл диаметром 6 км и кратер Рош диаметром 5 км.

С образованием кратера Стикни связывают происхождение борозд — длинных линейных углублений в реголите; их ширина 100—200 м, глубина 10—20 м. Они простираются на расстояния до 30 км, что

¹ Цит. по: Спутники Марса / Пер. с англ. М., 1981. С. 15.



Асаф Холл [1829—1907].

больше диаметра Фобоса. Подсчет числа кратеров на бороздах показывает, что они не моложе остальной поверхности спутника.

Всю совокупность борозд можно подразделить на четыре группы: параллельные экваториальной плоскости, перпендикулярные наибольшей оси спутника и две, симметрично пересекающие экваториальную плоскость под углами около 25° . В области, диаметрально противоположной Стикни, борозды отсутствуют.

Предложены три механизма, объясняющие образование борозд: ударное разрушение, приливное воздействие и влияние сил сопротивления среды при гипотетическом захвате спутника Протомарсом. При этом старались объяснить сам факт существования борозд, но не их морфологию.

Гипотеза приливного происхождения борозд была поставлена под сомнение после того, как в 1980 г. были вновь определены масса и средняя плотность Фобоса. Новые данные свидетельствовали о том, что спутник находится гораздо ближе к планете, чем его предел Роша — расстояние, ближе которого спутник разрушается приливными силами. Фобос обращается вокруг Марса на расстоянии, меньше предела Роша, и должен

испытывать растягивающие напряжения. Из-за эволюции орбиты Фобос не всегда находился столь близко к планете, как в современную эпоху. Поэтому по крайней мере часть борозд должна была быть очень молодой. Но, как мы знаем, это не так.

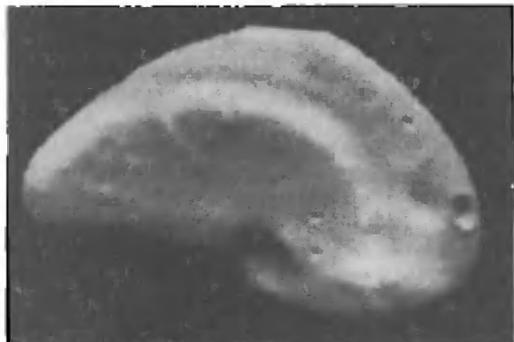
Видимо, образование борозд произошло во время ударного растрескивания спутника при возникновении кратера Стикни. Косвенным подтверждением этой гипотезы служит отсутствие борозд на Деймосе, где нет кратеров, сопоставимых по размерам со Стикни. Энергия удара, вызвавшего формирование Стикни, оценивается в $6,5 \cdot 10^{25}$ эрг, что при делении на объем спутника дает плотность энергии около $1,3 \cdot 10^7$ эрг/см³. А для полного разрушения Фобоса было бы достаточно примерно $3 \cdot 10^7$ эрг/см³, т. е. при энергии удара, всего в 2,5 раза большей, спутник бы полностью разрушился. Считается, что при столь мощном ударе могли образоваться трещины, превратившиеся со временем в борозды вследствие постепенного заполнения их реголитом.

Природа прямолинейных борозд на Фобосе может иметь и более сложное объяснение. Их образование могло быть связано, например, с внезапным высвобождением летучих веществ при столкновении Фобоса с телом, приведшим к появлению кратера Стикни. Действительно, анализ ультрафиолетового излучения Фобоса указывает на наличие там глиноземистых материалов, найденных и в углистых хондритах. Их вещество содержит около 10—20 массовых процентов связанной воды и нестабильно при температуре выше 400 К. Поскольку температура подповерхностных слоев Фобоса не менее 250 К, то при сильном ударе, локально поднявшем температуру хотя бы на 150 К, должно было начаться выделение газов. Выделение летучих веществ вдоль трещин может объяснить и наблюдающиеся на Фобосе цепочки небольших кратеров. Подобным же образом можно интерпретировать углубления в некоторых бороздах и появление их приподнятых краев. Это особенно важно, так как объяснить углубления в бороздах введением в них реголита трудно, поскольку малая сила тяжести делает неэффективным процесс оседания реголита.

При объяснении морфологии поверхности Деймоса возникают другие проблемы. Борозд на Деймосе нет, а сам спутник находится в иной динамической ситуации — он расположен далеко от своего



Фотография Фобоса, полученная с борта «Викинга».



Фотография Деймоса, полученная с борта «Викинга».

предела Роша. Его поверхность выглядит более гладкой, даже как бы в дымке — из-за мощного слоя пыли, перекрывающего кратеры диаметром менее 50 м. Привлекают внимание обширные светлые области, возникающие в результате того, что хорошо отражающее свет вещество концентрируется на вершинах гребней и валах кратеров и простирается вниз тонким слоем, образуя суживающиеся потоки. Наиболее реальным объяснением представляется скатывание вещества под действием гравитационной силы, так как направление переноса совпадает с наклоном поверхности. Темное вещество сконцентрировано преимущественно в низинах и на дне кратеров.

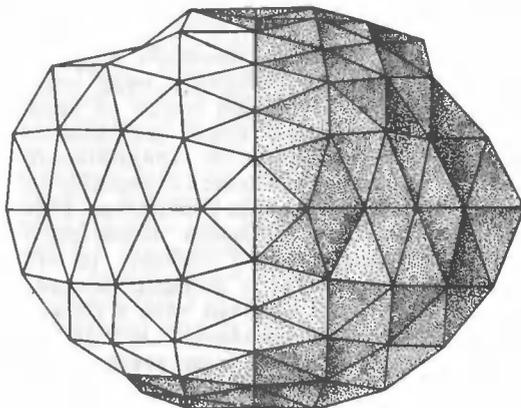
Блоки размером от 3—5 до 150 м встречаются на обоих спутниках. Реголитовое покрытие может быть значительным; по некоторым оценкам, его глубина доходит до нескольких сотен метров. Наличие столь мощного слоя реголита на марсианских спутниках может вызвать некоторое недоумение. Ведь при малой массе спутников у них незначительная скорость убегания (вторая космическая скорость),

и поэтому осколки и пыль, образующиеся при ударах метеоритов, должны легко покидать Фобос и Деймос. Однако в основном скорость выброса осколочного материала все же недостаточна для преодоления гравитационного притяжения Марса. Поэтому все эти частицы остаются на орбитах, близких к орбитам спутников, и через сравнительно небольшой промежуток времени (от 1000 до 10 000 лет) вновь захватываются спутниками Марса. Аккумуляция вещества, выбрасываемого на орбиту и возвращаемого обратно, повторяется многократно и создает на спутниках стационарный слой реголита весьма значительной глубины.

ГЛОБАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СТРУКТУРА

Уже первые фотографии показали, что фигуры спутников заметно отличаются от сферы. На основе данных «Викингов», Р. Тернер, используя 3460 реперных точек поверхности, построил модель Фобоса, аппроксимируя его фигуру многогранником с треугольными гранями. Это новый подход к описанию нерегулярных спутниковых фигур. Модель Тернера позволила составить более точные (по сравнению с трехосным эллипсоидом) топографические карты спутника.

При изучении небесных тел обычно за форму поверхности принимают наиболее простую фигуру. И для спутников Марса были выбраны трехосные эллипсоиды. Как заметил планетолог А. Добровольский, в настоящее время Фобос представ-



Модель Фобоса, предложенная Р. Тернером.

ляет собой интересное приложение «трехосной» геофизики.

Объемы спутников определены недостаточно уверенно, что сказывается на ошибках в их средних плотностях, которые для Фобоса и Деймоса различны и соответственно равны $2,2 \pm 0,5$ г/см³ и $1,7 \pm 0,5$ г/см³. И все же нельзя сделать вывод о различном составе спутников, поскольку низка точность оценок. Уточнить величину плотности спутников Марса — задача первостепенной важности, так как именно от этой характеристики зависит принадлежность спутников к тому или иному классу астероидов и, в конечном итоге, — заключение об их происхождении. Сейчас можно лишь утверждать, что плотности спутников почти в два раза меньше плотности Марса, и этот факт требует специального объяснения.

В силу малости размеров Фобоса и Деймоса давление в центре обоих тел меньше одной атмосферы, и можно было бы предполагать у них постоянную плотность (однородная модель). Однако в 1982 г. по данным наблюдений вынужденной либрации Фобоса был сделан вывод, что спутник неоднороден и состоит из сравнительно плотного ядра, окруженного глубоким слоем реголита низкой плотности. Следовательно, плотность недр Фобоса может быть значительно выше принимавшейся до сих пор и это обстоятельство должно учитываться при объяснении происхождения спутника. Для более уверенного суждения о внутреннем строении и вещественном составе марсианских спутников необходимы дальнейшие исследования, в частности, с помощью космических аппаратов, спускаемых на поверхность спутника и имеющих устройства для забора грунта, проведения сейсмического и теплового экспериментов, и т. п. Так, распределение скорости сейсмических волн по глубине укажет на структуру недр спутника, их состав. Тепловой поток из недр спутника также значительно различается для тел базальтового и хондритового состава, так как определяется содержанием радиоактивных элементов в веществе. Если бы поверхностный тепловой поток соответствовал базальтовому составу, то это свидетельствовало бы о дифференциации вещества спутника. Однако тела с размерами марсианских спутников, вследствие своей малости, должны были всегда оставаться холодными недифференцированными. Поэтому, если тепловой поток окажется согласующимся с предположением о базальтовом составе, это укажет на то, что

спутник или является фрагментом большого «родительского» тела (где и прошел процесс дифференциации первичного вещества), или имеет еще более сложную историю.

ПРОБЛЕМА ПРОИСХОЖДЕНИЯ

По современным представлениям, так называемые регулярные спутники (т. е. спутники с почти круговыми орбитами, лежащими в плоскости экватора планеты) сформировались из околопланетных роев прототел, которые образовались на стадии эволюции протосолнечной туманности, когда тела астероидных размеров в протопланетном облаке (планетезимали) стали объединяться в планеты. В ходе этого процесса часть материала выбрасывалась на орбиты вокруг растущих планет, объединение этого материала привело к образованию спутников. Можно предположить, что и спутники Марса сформировались на орбитах вокруг планеты из сталкивающихся осколков, которые собирались по мере того, как рос Марс. Так как это вещество никогда не входило в более крупные объекты, чем современные марсианские спутники, оно не дифференцировано. Более того, так как спутники никогда не были расплавлены, они сохраняют рыхлые агрегаты осколков, чем и объясняется их низкая плотность. Это не противоречит тому, что Фобос находится к Марсу ближе предела Роша. Ему нужно выдерживать напряжения не большие, чем лунный реголит, чтобы сохранять свою современную форму.

Подобная концепция имеет свои слабые места. Во-первых, значительное различие в средней плотности Фобоса и Марса ($2,2$ г/см³ и $3,9$ г/см³). Темная поверхность и низкая средняя плотность марсианских спутников наводит на мысль, что они состоят из углистых хондритов. Однако астероиды этого типа расположены во внешней части пояса астероидов, и непонятно, как могло произойти формирование подобных объектов в окрестности Марса, т. е. гораздо ближе к Солнцу. Тем не менее можно предположить, что этот процесс имел место не только в окрестности Марса, но и во внутренней части пояса астероидов, где первоначально образовались тела из первичного материала. Более же высокие альбедо у астероидов внутреннего пояса объясняются тем, что

эти тела подверглись дифференциации. Она произошла в крупных «родительских» телах, которые, как недавно было установлено, были разрушены вследствие случайных столкновений. Для тел диаметром меньше 50 км катастрофическое разрушение в результате столкновения происходит за время, меньшее возраста Солнечной системы. Поэтому современная система мелких астероидов — не первичная, и то, что астероиды вблизи Марса не относятся к типу углистых хондритов, еще не свидетельствует о том, что формирование Марса, по крайней мере на заключительной стадии, происходило из планетезималей не углистого состава.

Во-вторых, если исходить из современного значения эксцентриситета орбиты Фобоса и предположить, что эволюция орбиты определяется приливной диссипацией энергии, то получается большое значение эксцентриситета в прошлом. В наблюдениях это проявляется в наличии векового ускорения долготы спутника. По некоторым оценкам, эксцентриситет Фобоса миллиард лет назад составлял не менее 0,4—0,5. Поэтому был сделан вывод, что Фобос в прошлом имел очень вытянутую орбиту, т. е. был захвачен с параболической на эллиптическую орбиту с высоким эксцентриситетом.

В концепции происхождения спутников из околопланетного роя современное значение эксцентриситета орбиты непонятно. Объяснение этому факту было дано в 1982 г. американским астрономом К. Йодером. Он показал, что современный эксцентриситет Фобоса можно объяснить прохождением положения резонанса² с Деймосом во время приливной эволюции орбиты от почти круговой, но заметно большего радиуса, чем современное значение. Таким образом, современный эксцентриситет орбиты Фобоса возник в результате относительно недавних событий — вследствие прохождения резонансов при значениях радиусов орбит 2,9; 3,2 и 3,9 радиусов Марса. В момент резонансов эксцентриситет и наклонение орбиты испытывали скачки. Поэтому современные их значения гораздо больше первоначальных (в модели образования спутников из околопланетного роя).

С позиций гипотезы захвата (альтернативной концепции образования спутников Марса из протопланетного облака) также

трудно объяснить параметры орбиты Деймоса. Из-за большего расстояния от Марса его орбита почти не подвержена приливному влиянию и всегда оставалась почти круговой, да и к тому же близкой к синхронной³.

И еще одно обстоятельство, связанное с наклоном орбит марсианских спутников. В свое время удалось установить, что захват на орбиты с малыми наклонами к плоскости экватора планеты маловероятен. Поэтому естественно было ожидать, что орбиты захваченных спутников будут лежать в плоскости орбиты планеты. И действительно, было показано, что в далеком прошлом орбиты спутников располагались близко к плоскости орбиты Марса. Тем самым основное возражение против гипотезы захвата как бы снималось. Однако оказалось, что это не совсем так. Наблюдения, проведенные в последнее время, свидетельствуют о том, что астероиды, проходящие вблизи Марса, движутся по орбитам, не обязательно лежащим в плоскости орбиты планеты. Поэтому орбиты захваченных объектов должны были бы быть, скорее всего, ориентированы в начальный момент некоторым случайным образом. Кроме того, захват предполагает очень малую скорость сближения, и, следовательно, Марс и протоспутники должны были иметь почти одинаковые орбиты, что маловероятно.

Конечно, само существование Деймоса представляет предельное условие при рассмотрении эволюции орбиты Фобоса. Дело в том, что когда орбита Фобоса была сильно вытянутой, она пересекала орбиту Деймоса в течение довольно длительного времени, пока не приблизилась к Марсу. Подсчитано среднее число возможных столкновений Фобоса и Деймоса на пересекающихся орбитах (около 10^3), и тем самым показано, что столкновение было практически неизбежным. Поскольку орбита Деймоса регулярна (т. е. она круговая и лежит в плоскости экватора планеты), трудно предположить, что спутники были последовательно захвачены (Фобос вначале) или что они совместно образовались как фрагменты катастрофического столкновения.

Видно, таким образом, что концепция формирования спутников Марса из околопланетного роя имеет более веские основания.

² Подробнее об этом см., напр.: Арнольд В. И. 300-летие математического естествознания и небесной механики // Природа. 1987. № 8. С. 5—15.

³ Синхронной называется орбита спутника, период обращения по которой совпадает с периодом вращения планеты вокруг своей оси.

Модель внутреннего строения Фобоса.



Хотелось бы также указать на связь проблемы происхождения спутников Марса с параметрами и эволюцией самой планеты и ее атмосферы. В 1979 г. Д. Хантен предложил механизм захвата спутников протоатмосферой Марса. В его модели атмосфера была в 10^4 — 10^5 раз массивнее современной, и захват из-за торможения в ней осуществлялся довольно часто. Фобос и Деймос — последние из некогда многочисленных «забытых» спутников Марса. На возможность существования в прошлом таких спутников указали П. Шульц и Э. Лутц-Гэрихен в 1982 г., изучая структуры и распределение ударных кратеров на поверхности Марса. Эти спутники к настоящему времени уже прекратили свое существование и при падении на Марс образовали вблизи экватора планеты многочисленные кратеры специфической формы, свидетельствующей о косом угле падения. Наличие у Марса всего двух спутников при возможном существовании в прошлом гораздо большего их количества вполне объяснимо. Во-первых, само увеличение массы растущей планеты вызывало сокращение радиусов орбит спутников и в конечном итоге могло вызывать их падение на поверхность Марса. Во-вторых, сама околопланетная туманность была средой с большим аэродинамическим сопротивлением, которое снижало скорость спутников и также приводило к их падению на планету. Фобос и Деймос не успели упасть на Марс, так как газовая оболочка протопланеты или протоатмосфера почти скачком рассеялись из-за падения давления в солнечной туманности. Однако не надо забывать, что само существование столь массивной протоатмосферы Марса гипотетично.

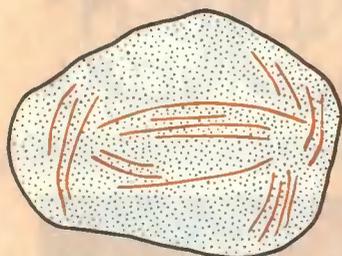
Скорость эволюции орбит спутников в значительной степени определяется пара-

метрами планеты. Фобос, например, обращается вокруг Марса за время, в три раза меньше, чем период обращения планеты вокруг оси. Поэтому возникающий на планете приливный выступ запаздывает из-за диссипации энергии в недрах Марса и отстает от быстро движущегося Фобоса. Приливное взаимодействие отбирает у Фобоса момент количества движения, и он приближается к Марсу. Деймос обращается вокруг Марса медленнее собственного вращения планеты, поэтому приливное трение приводит к увеличению диаметра его орбиты.

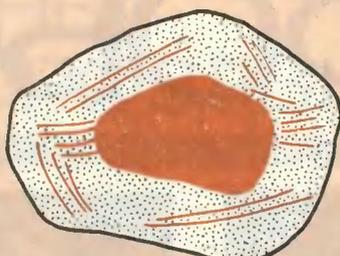
Для характеристики диссипации энергии в планете или спутнике вводят специальную величину θ — диссипативный фактор (механическая добротность системы). Вековое ускорение Фобоса соответствует твердотельным приливам на Марсе со значением θ от 50 до 150. Отсюда следует, что Фобос должен упасть на Марс примерно через $5 \cdot 10^7$ лет.

Мы видим, что направление эволюции спутников (приближение к планете или удаление от нее) определяется их расположением относительно синхронной орбиты. Из-за закона сохранения момента количества движения при дифференциации недр на ядро и мантию происходит изменение угловой скорости вращения Марса, а тем самым меняется и положение синхронной орбиты. В некоторых моделях тепловой эволюции Марса через миллиард лет после его образования угловая скорость вращения увеличилась примерно на 10 % из-за формирования ядра. Соответственно, в течение первого миллиарда лет синхронная орбита отстояла несколько дальше, что следует принимать во внимание, исследуя эволюцию орбит спутников.

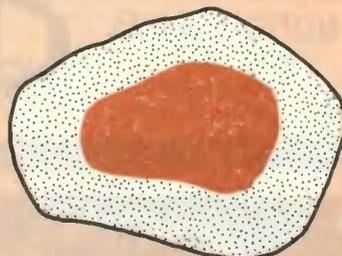
Ось вращения Марса наклонена к его орбитальной плоскости на $23^\circ 59'$, поэтому



груда мелких фрагментов с внутренними трещинами



груда мелких фрагментов с трещинами и центральным твердым ядром



твердое ядро, окруженное оболочкой из очень мелких фрагментов

Фобос и Деймос испытывают возмущения, обусловленные сжатием планеты, и влиянием Солнца, а оси орбит спутников совершают прецессионные колебания. Однако на их ориентацию относительно экватора планеты прецессия оси вращения самой планеты не влияет, так как происходит с очень большим периодом — 217 тыс. лет. В этих условиях экватор Марса как бы «ведет» за собой орбиты спутников, сохраняя их положение в экваториальной плоскости.

Такая ситуация имеет место, лишь когда спутники близки к планете, а именно: радиус их орбит меньше 13,1 радиуса Марса. Но, как мы знаем, в прошлом Фобос мог находиться гораздо дальше, где превалирует солнечное влияние. И тогда плоскость орбиты спутника должна быть близка к плоскости марсианской орбиты.

Однако важен учет приливов не только на планете, но и на спутнике. Правда, спутники обращены к Марсу всегда одной стороной (как Луна к Земле), поэтому радиальный прилив на спутнике (увеличение и уменьшение приливного выступа) вызывается только благодаря наличию эксцентриситета Фобоса, но в для спутника значительно ниже, чем для Марса, и диссипация энергии в нем может быть заметной, в результате темп эволюции орбиты Фобоса может увеличиться.

При более детальном рассмотрении эволюции орбит спутников Марса стали учитывать влияние на диссипацию энергии физической либрации, эксцентриситета орбит и физических характеристик Марса и спутников. Величина диссипации приливной энергии — критический параметр при выборе между двумя альтернативными сценариями происхождения спутников: захвата или образования из газово-пылевого

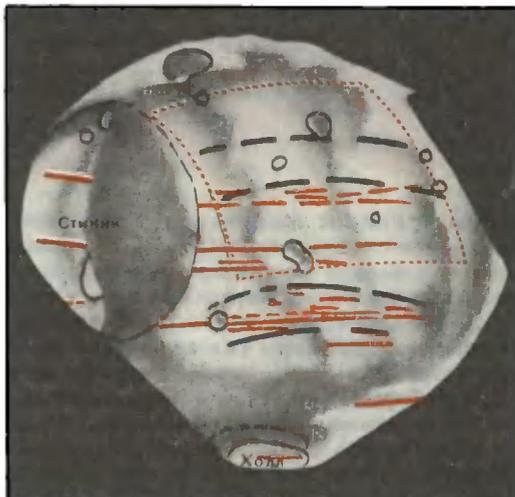
облака вокруг планеты. Сильная диссипация соответствует первому случаю, слабая — второму.

Существует также, в некотором роде, промежуточный вариант. Из-за возмущений, оказываемых на пояс астероидов допланетными гипотетическими телами массой, порядка земной, прилетающих из зоны зарождающегося Юпитера, весьма вероятно частый залет астероидных тел в окрестность Марса. В этом случае должны были происходить тысячи столкновений астероидных тел в «сфере влияния» Марса, которые приводили к разрушению и распаду этих тел на мелкие фрагменты. Поскольку энергия удара также переходит в тепло, то кинетическая энергия разлета фрагментов чаще всего недостаточна для их выброса из «сферы влияния» планеты, что делает возможной повторную аккумуляцию фрагментов. Ударные разрушения и повторная аккумуляция в истории спутников Марса могли иметь место неоднократно.

Описанные выше сценарии происхождения этих спутников приводят к различным пробным моделям внутреннего строения. Спутник может представлять собой твердое ядро, покрытое слоем реголита. В случае повторной аккумуляции более вероятно структура в виде груды слабо связанных между собой крупных фрагментов неправильной формы. Это может быть и система очень мелких фрагментов, столкновения которых определили топографию спутника в процессе повторной аккреции. В последней модели допустимо более плотное ядро и трещины, проявляющиеся на поверхности в виде борозд.

Успешное выполнение комплексной космической программы «Фобос» позволит приблизиться к выяснению реального строения этого спутника Марса.

ФОБОС:



Фобос. Различны борозды серии «С» (цветные линии на прорисовке), пересекающие поверхность спутника в плоскостях, параллельных экваториальной, и серии «В» (черные линии) в плоскостях, расположенных под углом 25° по отношению к ним. Слева на фотографии — кратер Стикки (диаметр 10 км); внизу — второй по величине кратер Холл (диаметр 6 км), на стенке которого борозда серии «С». Справа от кратера Стикки цветным пунктиром выделен интенсивно изобразженный участок Фобоса.



Интенсивно изобразженный участок поверхности Фобоса к востоку от кратера Стикки [край кратера слева вверху]. Наблюдаются борозды серии «А» [серые линии на прорисовке «С» (цветные линии)] и «В» [черные линии]. Борозды серии «С», следующие изгибам рельефа, имеют вид волнистых линий, так как плоскости, им соответствующие, перпендикулярны линии наблюдения.

ТРЕЩИНЫ ИЛИ БОРОЗДЫ ?

В. П. Белов

ВОПРОСЫ БЕЗ ОТВЕТОВ

Загадочные борозды на поверхности Фобоса стали сенсацией экспедиции «Викингов», передавших 10 лет назад нашумевшие на весь мир изображения спутников Марса. Невиданные ранее ни на Земле, ни на других хорошо изученных телах Солнечной системы глобальные линейные структуры покрывали обширные области на сфере Фобоса.

Было много попыток истолковать природу борозд (в англоязычной литературе принят термин groove — желоб), но правдоподобного объяснения так и не появилось. Как же они образовались?

Еще одна непонятная, но очевидно закономерная деталь — обширная округлая зона в экваториальном поясе спутника, совершенно лишенная борозд и потому названная мертвой зоной. Почему борозды отсутствуют только здесь?

Следующий «сфинкс», украшающий лик крохотной марсианской луны, — гигантский метеоритный кратер Стикни. По своим относительным размерам этот кратер — чемпион Солнечной системы. Его диаметр 10 км — лишь чуть меньше среднего радиуса спутника, едва достигающего 10,5 км. Как мог маленький спутник выдержать удар такой силы и каковы возможные последствия такого удара?

Наконец, чем объяснить разительный контраст поверхностей Фобоса и его меньшего собрата Деймоса? На последнем совершенно нет борозд, но зато в изобилии присутствуют крупные, размером до 70 м, глыбы и пылевые отложения, заполняющие пространство между ними. Парадокс! Как мог Деймос, гравитационное поле которого вдвое слабее, чем у Фобоса, притянуть или удержать эти обломки?

Однако вернемся к главному вопросу: что же представляют собой борозды, наблюдаемые на Фобосе, и как объяснить образование этих невиданных структур? Это узкие углубления планетарного масштаба шириной 100—200 м при глубине 10—20 м. Они простираются на многие километры, а некоторые огибают более половины сферы спутника. Профиль их поперечного сечения сглажен, склоны пологи. Большая часть борозд образует серии, каждая из которых связана со взаимно параллельными плоскостями — при взгляде вдоль них борозды представляются совершенно прямолинейными. Плоскости, соответствующие наиболее ранним бороздам серии «А», перпендикулярны длинной оси эллипсоида Фобоса, постоянно направленной в сторону Марса. Следующие по времени образования борозды «С» лежат в плоскостях, параллельных плоскости экватора, а плос-



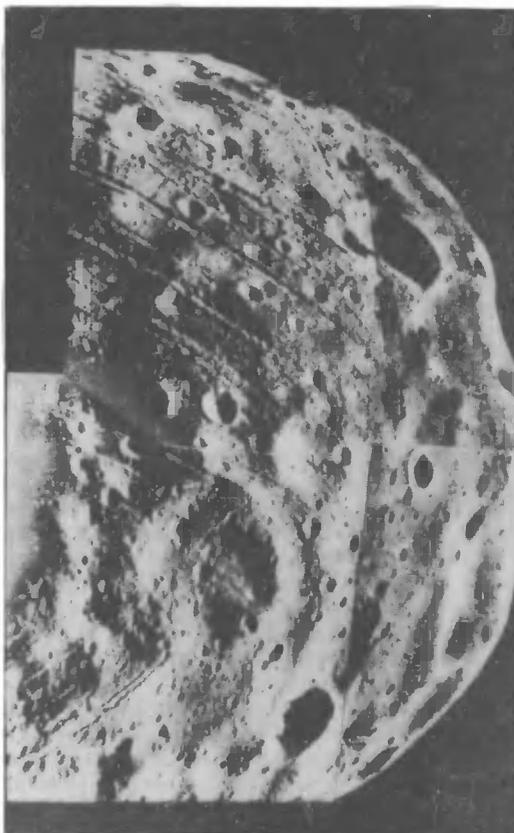
Валентин Павлович Белов, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории космической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Занимается проблемами сравнительной планетологии и геологии метеоритных кратеров.

кости борозд «В» параллельны средней оси эллипсоида и образуют угол в 25° с экваториальным сечением.

Вопрос о происхождении линейных структур на Фобосе вызвал оживленную дискуссию. В первой публикации, появившейся после получения снимков с их изображением, один из членов группы, обработавшей поступавшую с «Викинга» информацию, Дж. Веверка, высказал предположение, что эти структуры отражают неоднородность состава слагающих Фобос пород: слои более устойчивые образуют гребни, а над слоями более слабых пород расположены желобообразные углубления. Такая неоднородность могла возникнуть на поверхности более крупного космического тела, обломком которого, по всей видимости, является Фобос, при излиянии лав и отложении туфов¹. Однако вскоре выяснилось, что на некоторых участках наблюдаются сразу три взаимопересекающиеся серии борозд, что несовместимо с таким представлением.

Далее последовали догадки, что борозды — это разрывы, возникшие в момент предполагаемого захвата Фобоса гравитационным полем Марса или под действием приливных сил; что часть из них — трещины, образовавшиеся при ударе гигантского метеорита. Допускалось также, что борозды — это слившиеся цепочки кратеров, результат воздействия на поверхность выбросов продуктов взрыва гигантского метеорита (подобные борозды и цепочки вторичных кратеров наблюдаются на Луне).

Анализируя всю совокупность материалов, полученных «Викингами», рабочая группа пришла к заключению, что все эти предположения, в том виде, как их предлагали авторы, неприемлемы, поскольку морфология наблюдаемых структур не соответствует формам трещин. Была выдвинута гипотеза, что трещины находятся в коренных породах на глубине, под слоем реголита (рыхлого материала, покрывающего спутник), а линейные углубления над ними могли образоваться или в результате просыпания реголита в полости, приоткрывшиеся при ударе метеорита, или, наоборот, выдувания его парами, выделявшимися по трещинам из глубин. Был сделан вывод, что образование линейных структур на Фобосе непосредственно связано с кратером Стикни. Что же касается механизма обра-



Фотографии участков Деймоса (вверху) и Фобоса. Они демонстрируют разительный контраст между поверхностями этих спутников Марса. Лишенная борозд поверхность Деймоса покрыта глыбами высотой до нескольких десятков метров. На Фобосе же отчетливо видны борозды (представлена часть Северного полушария с бороздами серии «А»; в нижнем правом углу видна часть мертвой зоны, лишенной борозд).

¹ Veverka J. // *Scient. Amer.* 1977. № 2. P. 30—37.

зования самих трещин, то здесь предлагались два варианта. Первый — прямое образование трещин при ударе метеорита Стикни. Второй — образование трещин или ослабленных зон на раннем этапе геологической истории Фобоса, при захвате его Марсом, и их раскрытие в более позднее время при ударе метеорита Стикни².

Выполненные в последующие годы теоретические исследования, расчеты и эксперименты не подтвердили эти представления. Так, экспериментальное изучение образующихся при ударе трещин на эллипсoidalной модели, подобной Фобосу, позволило сделать вывод, что главные серии трещин спутника Марса не соответствуют результатам эксперимента. Детальные расчеты привели к заключению, что внутренние напряжения, возникающие под воздействием приливных сил, слишком малы для появления заметных деформаций. Кроме того было показано, что рисунок следов, которые могут прочертить выбросы из кратеров, не соответствует наблюдаемому на Фобосе.

Таким образом, на сегодняшний день удовлетворительного объяснения механизма образования борозд на Фобосе нет. Доминирующее в литературе «полуобъяснение», к которому пришли американские специалисты, связывающие желоба с трещинами «неизвестного происхождения», оправдано лишь необходимостью хоть как-нибудь заполнить вакуум в наших знаниях.

НОВАЯ ГИПОТЕЗА: ГЛЫБЫ В РОЛИ ПЛУГА

В сложной или запутанной ситуации поиска нового решения лучше всего начинать с нуля, отбросив предыдущие гипотезы. Поэтому откажемся прежде всего от бремени существующих представлений о «желобах-трещинах». О чем жалеть? Даже неискушенный читатель, рассматривая изображение северного приполярного района, где «желоба» плотной «штриховкой» покрывают обширные пространства, усомнится в том, что это следы скрытых трещин. Поверхность Фобоса скорее напоминает добросовестно вспаханное поле.

Далее, из того факта, что аналоги борозд на Земле и других крупных космических телах отсутствуют, сделаем вывод, что и процесс их образования необычен, а в земных условиях, вероятно, просто невозможен. На Фобосе же этот механизм смог проявиться только благодаря особым, резко отличным от земных динамическим условиям.

Например, сила тяжести на Фобосе в 2000 раз меньше, чем на Земле, а вторую космическую скорость (скорость убегания) приобретает камень, брошенный рукой.

Необычные условия Фобоса сильно усложняются близостью его к Марсу, влияние гравитационного поля которого здесь весьма ощутимо. Некоторые исследователи считают даже, что часть поверхности Фобоса является энергетически несвязанной.

Сделаем еще один логический шаг. События, породившие планетарных размеров борозды, очевидно, имели грандиозные масштабы и проявились не только в образовании борозд, но и в других специфических особенностях поверхности спутника. Иными словами, следует искать единую разгадку для целого «букета» труднообъяснимых деталей поверхности Фобоса, которые перечислены в предшествующем разделе.

И, наконец, последнее. Плотность расположения кратеров, наложенных на борозды и на кратер Стикни, одинакова. Кроме того, ширина борозд уменьшается по мере удаления от кратера. На этом основании американские исследователи пришли к довольно убедительному выводу о близости геологического возраста борозд и гигантского кратера Стикни. Усилим его, предположив, что борозды и кратер образовались геологически одновременно, что связь между ними не только временная, но и причинная, что здесь мы имеем дело с одним событием, продолжительность которого измеряется не миллионами лет, а часами и даже минутами.

Попробуем теперь внимательно проанализировать всю последовательность явлений, которые могли сопровождать удар гигантского метеорита, образовавшего кратер Стикни, а затем синтезировать картину драматических событий, происшедших после этого на Фобосе.

За ударом последовал почти мгновенный переход кинетической энергии метеорита в тепловую энергию, вызвавшую нагревание, плавление и испарение как вещества самого метеорита, так и определенного объема пород мишени (Фобоса). Этот процесс имел взрывной характер и

² Наиболее исчерпывающий обзор по бороздам на Фобосе, включая анализ различных гипотез относительно причин их образования, см.: Thomas P. et al. // J. Geoph. Research. 1979. Vol. 82. P. 8457—8477.

сопровождался мощной ударной волной, которая, как при катастрофическом землетрясении, встряхнула и нарушила и без того слабые связи с монолитом спутника рыхлых пород, покрывающих его поверхность. В считанные секунды раскаленными газами, образовавшимися при взрыве, были выброшены из кратера десятки кубических километров раздробленных и частично переплавленных пород. В это время он работал как гигантский реактивный двигатель. Естественно встает вопрос: а не возникает ли при таком ударе и последующем взрыве заметного, значимого для дальнейших событий толчка, т. е. резкого и существенного изменения скорости Фобоса? Зная массу Фобоса ($M=1,1 \cdot 10^{19}$ г) и энергию взрыва, образовавшего кратер ($E=6,5 \cdot 10^{25}$ эрг), можно провести грубую оценку изменения скорости спутника, учитывающую как прямую передачу импульса метеорита, так и реактивную отдачу при взрыве и выбросе материала из его кратера³. Оказалось, что при ударе скорость могла измениться на несколько метров в секунду, т. е. на величину, сопоставимую со скоростью убегания с Фобоса, которая, согласно подсчетам Д. Дэвиса, в зависимости от места и направления движения изменяется в пределах от 3,5 до 15 м/с. Совершенно очевидно, что такой толчок был не только «заметным», но и весьма значимым для всей дальнейшей судьбы спутника событием.

Что же могло произойти на поверхности спутника вслед за ударом метеорита? Предположим, что до удара ее характер был таким же, как сегодня на Деймосе: повсюду многочисленные обломки пород и глыбы величиной в десятки метров, погруженные в слой реголита. При ударе, когда монолитное ядро спутника получило ускорение и устремилось вперед, на свою новую орбиту, слабосвязанный материал, удерживаемый силами инерции, отделился от Фобоса и остался на старой орбите. Можно предположить, что в результате взаимодействия поверхности Фобоса с прокатившимся по ней потоком материала могли образоваться параллельные борозды, подобные тем, что наблюдаются в ложе снежных лавин.

Таким образом, связываются воедино образование гигантского кратера, загадочные борозды и отсутствие обломков на

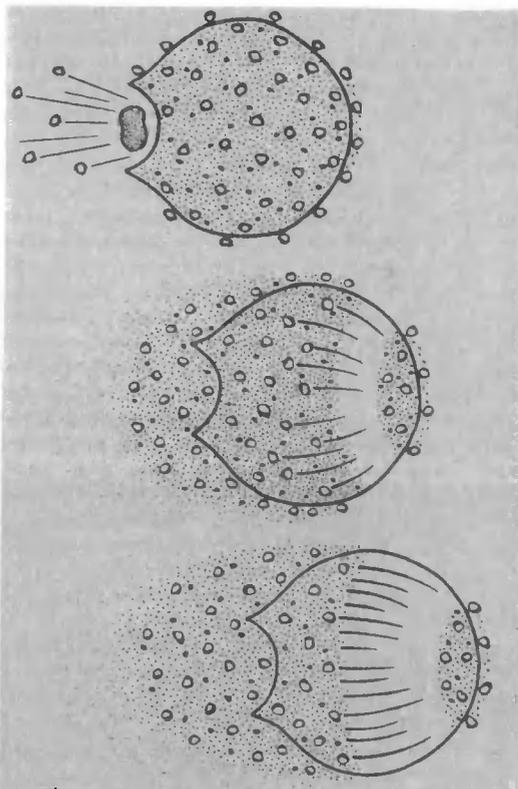


Схема образования борозд на малом космическом теле при ударе крупного метеорита (для простоты изображен случай центрального удара, ось которого проходит через центр масс тела-мишени). Получив при ударе метеорита значительное ускорение, космическое тело как бы выскальзывает из-под покрывающих его обломков. Те из них, которые не теряют при этом связи с поверхностью, называют инерционным потоком; обломки, которые сорвались в результате удара с поверхности, образуют так называемый инерционный рой. В мертвой зоне, расположенной на противоположной метеоритному кратеру стороне космического тела, сила инерции перпендикулярна поверхности и перемещения материала не происходит — здесь борозд нет.

Фобосе. Выше упоминалась еще и непонятно почему лишенная борозд зона. Но она находится как раз на противоположной кратеру стороне Фобоса и потому вектор сил инерции, действовавших на обломки, был направлен здесь перпендикулярно к поверхности, и перемещения материала в этой зоне не произошло. Движения зарождались лишь на ее периферии, откуда борозды веерообразно расходятся во все стороны. Еще одна разгадка и еще один аргумент в пользу борозд.

Итак, мы пришли к выводу, что загадочные структуры образовались на Фобо-

³ Белов В. П. // Вестник Моск. ун-та. Сер. «Геология». 1987. № 1. С. 36—44.

се, когда спутник, получив при ударе метеорита значительное ускорение, выскользнул из-под «плаща» покрывавших его обломков. Поскольку движение материала относительно поверхности спутника происходило под воздействием сил инерции, мы назвали его инерционным движением.

В простейшем случае, когда ось метеоритного удара проходит через центр масс космического тела, оно получает приращение скорости поступательного характера. Когда же ось удара проходит мимо центра масс тела-мишени, движение приобретает сложный, поступательно-вращательный характер. Именно так двигался Фобос, благодаря чему борозды на нем наиболее развиты в районе к востоку от кратера Стикни, где навстречу «инерционному потоку» (материалу, который не терял связи с поверхностью) надвигалась получившая дополнительную угловую скорость удлиненная часть эллипсоида спутника.

Часть материала, которая сорвалась с поверхности, составила, как мы ее назвали, инерционный рой. Если скорость отделившихся обломков достигала скорости убегания или превосходила ее, они могли уйти в космическое пространство. Те же из обломков, скорость которых была меньше, вернулись на поверхность Фобоса, образовав вторичные ударные кратеры (если траектория обломков была достаточно крутой по отношению к поверхности) или вторичные борозды (если она была пологой). По-видимому, примером вторичных борозд на Фобосе могут служить более поздние борозды серий «С» и «В».

Отметим, что среди вторичных борозд могут быть и такие, что образовались при столкновениях спутника с оставшимся на близких к нему орбитах материалом кратерных выбросов — продуктом метеоритной бомбардировки его поверхности — и даже с захваченным на околомарсианскую орбиту материалом из удаленных районов космоса.

ПРОГНОЗЫ

Имея в руках рабочую гипотезу об инерционном механизме образования борозд на малых космических телах, где есть гигантские кратеры — следы мощных ударов метеоритов, можно сделать ряд прогнозов относительно деталей их рельефа, распространения зон аккумуляции и эрозии. Приведем два таких предсказания,

которые уже в ближайшее время, в ходе исследований по программе «Фобос», смогут пройти проверку прямыми наблюдениями. Тогда гипотеза получит еще один шанс перейти в ранг утверждения.

1. Неравномерность в распределении борозд на поверхности Фобоса наиболее отчетливо должна быть выражена в экваториальной зоне. Наибольшая плотность борозд ожидается там, где удлиненная часть эллипсоида как бы набегала на инерционный поток. Такие участки располагаются между меридианами 320° и 20° в части Фобоса, обращенной к Марсу. Наименьшая плотность борозд должна быть в зонах, скрытых за крупными уступами рельефа, в частности за вытянутой по длинной оси частью Фобоса, — между меридианами $200^\circ - 240^\circ$ и $80^\circ - 110^\circ$.

2. Локальные разрывы борозд в местах, где они пересекают резкие углубления рельефа, должны наблюдаться, например, сразу за крутыми уступами на поверхности или при пересечении чаш кратеров с крутыми склонами.

Итак, термин «борозды», принятый в нашей литературе для обозначения линейных структур на Фобосе, не только хорошо отражает особенности их морфологии, но и указывает на способ образования. Они «пропаханы» на поверхности спутника материалом, сдвинутым или даже сорванным с него в результате мощного толчка от удара гигантского метеорита или при столкновении Фобоса с различными по происхождению обломками с околомарсианской орбиты. Все это позволяет считать борозды качественно новым проявлением хорошо известного процесса метеоритной бомбардировки, обычными формами которой являются ударные или взрывные кратеры. Такие необычные при соударениях образования, как борозды, возможны только в условиях слабой гравитации на малых космических телах. Здесь мы, по-видимому, сталкиваемся с ранее неизвестным типом геологического движения. Специфические процессы, его сопровождающие, — обломочно-пылевые потоки и рои, оползни, пересыпания материала и т. п. — порождают такие своеобразные формы рельефа, как первичные и вторичные борозды и кратеры, особые формы эрозии и аккумуляции.

КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА

В НАШЕ время запуском очередного искусственного спутника Земли или геофизической ракеты никого особенно не удивит. Это стало обычным, вошло в повседневную жизнь. Стало привычным и то, что с каждым годом расширяется сфера использования искусственных спутников в самых различных областях научной и хозяйственной деятельности. Среди множества задач, которые решают искусственные спутники, немаловажное место отводится получению метеорологической информации, необходимой для прогноза погоды. Однако далеко не все представляют себе, что сегодня для многих практических нужд необходимо знать не только погоду в самой нижней части атмосферы, но и состояние всех вышележащих атмосферных слоев (в первую очередь, стратосферы и ионосферы), а также магнитосферы, радиационных поясов, межпланетного магнитного поля. Всю совокупность этих факторов называют космической погодой.

Знание многих характеристик атмосферы Земли и околоземного космического пространства, входящих в понятие космической погоды, столь важно, что для их изучения в Госкомгидромете СССР созданы геофизические службы, которые мы в этой статье будем называть службой космической погоды.

Эта служба занимается диагностикой и прогнозом космической погоды и выдает заинтересованным организациям и ведомствам необходимую информацию, прежде всего уведомления о наиболее значительных явлениях в околоземном космосе, представляющих опасность для экипажей космических кораблей, вызывающих сильные нарушения радиосвязи и т. п. Для координации таких работ в Институте прикладной геофизики им. Е. К. Федорова создан и функционирует Главный прогностический центр (ГПЦ) — сердце всей системы сбора данных о космической погоде, ее диагностики и прогнозирования.

Казалось бы, атмосфера, ионосфера, космос — поле деятельности для физиков. Причем же здесь кибернетика?

Кибернетика обобщает результаты всех наук, изучающих объекты управления различных видов, и выявляет общие принципы управления на основе точного количественного определения информации. Такое абстрагирование позволяет применять методы точных наук и современный математический аппарат для описания и анализа разнообразных процессов. Оказалось, что подобный подход необходим и при диагностике и прогнозе космической погоды, поскольку дело приходится иметь с большими объемами разнородной информации, которую необходимо быстро собрать, обобщить, проанализировать и выдать потребителям.

Как это делается, мы поясним ниже, а пока кратко расскажем о самой космической погоде.

ЧТО ТАКОЕ КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА

Подробный рассказ обо всех явлениях, происходящих в ближнем космосе из-за изменений солнечной активности, занял бы слишком много места и потребовал бы описания довольно сложного строения верхней атмосферы Земли, а также ее плазменной и магнитной оболочек — плазмосферы и магнитосферы. Здесь мы лишь упомянем, не вдаваясь в детали, те основные гелио-геофизические эффекты, которые существенны для построения системы сбора и обработки данных о состоянии околоземного пространства и для прогнозирования космической погоды.

Если на Солнце произошла вспышка, то уже через 8 мин ее почувствует земная ионосфера¹. В самой нижней ее части, на высотах 60—90 км, резко возрастет ионизация из-за усиления рентгеновского излучения. Возрастание ионизации может быть столь сильным, что прекратится радиосвязь в коротковолновом (КВ) диапазоне

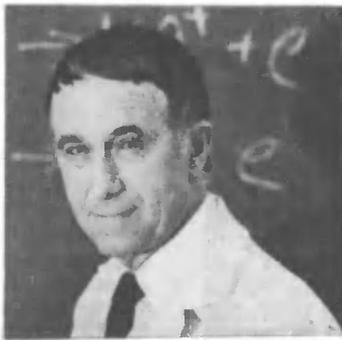
¹ Ионосферу принято разделять на области, или слои: D (50—90 км), E (100—150 км), F1 (150—200 км) и F2 (200—400 км).

И КИБЕРНЕТИКА

С. И. Авдюшин, А. Д. Данилов, Ф. Л. Дликман



Сергей Иванович Авдюшин, доктор технических наук, профессор, директор Института прикладной геофизики им. Е. К. Федорова Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, руководитель работ по созданию гелио-геофизических служб. Лауреат Государственной премии СССР.



Алексей Дмитриевич Данилов, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий ионосферным отделом того же института. Область научных интересов — физика ионосферы и верхней атмосферы. Автор монографий: Химия ионосферы. Л., 1967; Фотохимия ионизованных и возбужденных частиц в нижней ионосфере (совместно с М. Н. Власовым). Л., 1973.



Фишель Львович Дликман, кандидат технических наук, заведующий отделом оперативных данных и прогнозов того же института, специалист в области системотехники и информатики.

на всем освещенном полушарии Земли. Через 10—20 ч Земли достигнут протоны высоких энергий. Магнитное поле Земли не позволит им проникнуть в средние широты, а «сбросит» их в приполюсную зону. Здесь они вызовут сильнейшую ионизацию в нижней части ионосферы и почти полное поглощение волн КВ-диапазона на всех полярных радиотрассах.

Если энергия и поток таких протонов велики (что бывает при достаточно сильных солнечных вспышках), они могут представлять опасность и для экипажей космических кораблей. Предупреждение о возможной радиационной опасности становится одной из важных функций системы контроля околоземного пространства.

Окажет свое влияние и усиление ультрафиолетового излучения. При возрастании потока этого излучения повысится температура верхних слоев атмосферы — как раз там (выше 150—200 км), где летает большинство искусственных спутников. В результате на этих высотах изменится

плотность атмосферы. А плотность — как раз тот параметр, от которого зависит изменение со временем орбит спутников.

В космосе есть и свой ветер. Это испускаемый Солнцем поток заряженных частиц (в основном протонов и электронов). Солнечный ветер оказывает огромное влияние на магнитосферу Земли. При изменении солнечной активности меняются и характеристики солнечного ветра. Например, через несколько часов после вспышки сила солнечного ветра (интенсивность потока частиц) резко возрастает и он начинает сильнее «давить» на магнитосферу, сжимая ее с подсолнечной стороны и вызывая изменения, в совокупности называемые магнитной бурей. Магнитная буря сопровождается целым рядом явлений: меняются характеристики земной ионосферы, в верхнюю атмосферу высоких широт из магнитосферы «высыпаются» потоки электронов, вызывающих полярные сияния, изменяется магнитное поле у поверхности Земли, плотность верхних слоев атмосферы.

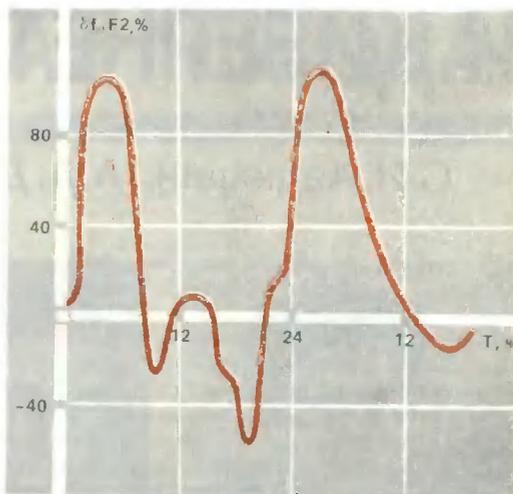
ры и т. д. Некоторые из практических последствий всех этих событий очевидны — влияние на связь, навигацию, орбиты искусственных спутников и т. д. Другие же — колебания урожайности, повторяемость засух, влияние на состояние здоровья людей — еще требуют тщательного изучения.

Не останавливаясь более на разнообразных проявлениях космической погоды, рассмотрим подробно лишь один пример — возникновение и развитие ионосферной бури.

Ионосферу часто называют «волшебным зеркалом планеты» за ее способность отражать радиоволны, что делает возможной дальнюю радиосвязь в КВ- и СВ-диапазонах. Важно, что существует естественная верхняя граница для частот тех радиоволн, которые отразятся назад на Землю. Эта граница определяется состоянием самой ионосферы (наибольшей концентрацией электронов в области F2 на высотах 250—300 км), называется «критической частотой» и обозначается f_0F2 . Физический смысл этого параметра предельно прост: радиоволны с частотой, меньшей f_0F2 , отразятся от ионосферы, а радиоволны с большей частотой пройдут сквозь нее в космическое пространство. Чем больше эта величина, тем шире диапазон частот, которые можно использовать для дальней радиосвязи.

Связистам все время приходится следить за тем, чтобы рабочая частота не превышала f_0F2 . В обычных условиях это не слишком трудно, поскольку регулярные изменения f_0F2 (например, со временем суток) известны довольно хорошо. Но вот разыгралась «космическая непогода», началась ионосферная буря и величина f_0F2 стала резко меняться. В отдельные моменты она может вдвое превышать значение, типичное для спокойного дня (10 МГц), в другие — быть в 2—3 раза меньше, чем обычно, сводя возможности дальней радиосвязи к минимуму (ниже 1—2 МГц появляются ограничения другого рода, связанные с поглощением радиоволн). Вряд ли нужно пояснять, насколько всем использующим КВ-радиосвязь важно знать текущее значение и прогноз изменения величины f_0F2 .

Из этого короткого рассказа о космической погоде видно, что для ее диагностики необходимо контролировать и совместно анализировать большое количество различных физических параметров — от интенсивности солнечного излучения в различных диапазонах до частот отражения радиоволн. Перейдем теперь к описанию



Изменение критической частоты f_0F2 [по отношению к средним спокойным условиям] со временем суток T в течение ионосферной бури 28—30 декабря 1979 г. по наблюдениям на ионосферной станции в Ленинграде.

того, как это делается или планируется делать в ближайшем будущем.

КАК НАБЛЮДАТЬ ЗА КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДОЙ

Поскольку космическая погода включает набор явлений, происходящих в разных областях околоземного космоса, для контроля ее состояния нужна достаточно сложная система наблюдений².

Наблюдательный комплекс должен, конечно, включать наземные средства. Хотя нас интересует обстановка в ближнем космосе, значительную информацию о ней можно получить непосредственно с поверхности Земли (во-первых — об изменениях магнитного поля, которые, как отмечалось, отражают бурные события, происходящие в солнечном ветре и магнитосфере; во-вторых — о состоянии ионосферы). Классическое радиозондирование (вертикальное и наклонное) ионосферы с поверхности Земли позволяет контролировать основные характеристики ионосферного «зеркала», важные для распространения радиоволн.

Наземные наблюдения могут дать (и дают в течение уже нескольких столетий)

² Более подробное описание и научное обоснование системы см.: Авдюшин С. И. // Метеорология и гидрология. 1981. № 6. С. 63—76.

ценную информацию о состоянии Солнца. К оптическому контролю за солнечной активностью в последние десятилетия добавилось исследование с помощью радиотелескопов. Последнее очень важно, поскольку, как выяснилось, радиоизлучение теснее, чем излучение в оптическом диапазоне, связано с активными областями Солнца, представляющими первоочередной интерес с точки зрения космической погоды.

Чего же не хватает нам в наземных наблюдениях для целостного описания гелиогеофизической обстановки, почему необходимы измерения на спутниках?

Прежде всего — информации о протонах и электронах высоких энергий, затем — данных об интенсивности коротковолнового излучения Солнца (ультрафиолетового и рентгеновского). И, наконец, — сведений о состоянии в данный момент межпланетного магнитного поля. Ни частицы высоких энергий, ни коротковолновое излучение не могут проникнуть в атмосферу ниже 70—100 км. А именно они ответственны за большинство событий, происходящих в околоземном пространстве. Без их контроля диагностика и прогноз космической погоды невозможны, значит, вести наблюдения необходимо с помощью космических аппаратов.

С Земли можно получить информацию о состоянии ионосферы — но не всей и не отовсюду. На больших территориях земного шара (например, занятых океанами) нет ионосферных станций. А для нужд радиосвязи часто важна информация об ионосфере в глобальном масштабе. Методами зондирования с Земли нельзя определить свойства ионосферы выше 250—300 км. А для некоторых задач (в частности, радиосвязи между космическими кораблями) нужно знать состояние ионосферы на высотах 300—500 км.

Все указанные проблемы решает ИСЗ с ионозондом на борту. Он может выполнять три функции: зондировать ионосферу сверху, определяя ее состояние выше 300 км; просвечивать ионосферу радиоволнами, принимаемыми наземными станциями (трансионосферное зондирование); измерять параметры ионосферы непосредственно на высоте своей орбиты (скажем, 1000 км).

Контроль за коротковолновым излучением Солнца можно проводить на любом ИСЗ, поскольку ни рентгеновское излучение, ни ультрафиолетовое не испытывают заметного поглощения в атмосфере выше 200—250 км. Для геофизических

служб эту работу выполняют спутники «Метеор», уже давно используемые для наблюдения за обычной погодой. Эти же спутники (высота полета 900—1000 км) контролируют интенсивность частиц высоких энергий. Пересекая различные части ионосферы и магнитосферы, «Метеор» измеряет потоки частиц, приходящих извне (от Солнца) и накапливающихся в радиационных поясах. Это позволяет оценить геофизическую обстановку и возможную радиационную опасность для космических кораблей.

Достаточно ли всего описанного для контроля и прогноза космической погоды? Для контроля — да, для прогноза — нет. Ибо для прогноза необходимо выйти за пределы земной магнитосферы, измеряя характеристики межпланетного магнитного поля и приходящих от Солнца частиц (в том числе, солнечного ветра), так сказать, «в чистом виде» — до того, как они провазаимодействуют с геомагнитным полем. И, кроме того, постараться заглянуть на невидимую с Земли сторону Солнца. Ведь те активные области, которые завтра, послезавтра, через неделю могут, появившись на «нашей» стороне Солнца, вызвать изменения космической погоды, рождаются и развиваются сегодня на невидимой нам стороне светила. И если мы хотим заблаговременно знать об этих изменениях, информация оттуда нам необходима.

Первая задача решается с помощью спутников типа «Прогноз», которые в апогее своей орбиты удаляются от Земли на несколько земных радиусов, вторая — с помощью космических аппаратов, запускаемых на орбиту вокруг Солнца (гелиоцентрических спутников). Таким образом, для успешного функционирования службы космической погоды нужна четырехъярусная система наблюдений, включающая наземную сеть, ИСЗ нижнего и верхнего яруса и гелиоцентрический спутник.

ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Наблюдения на разных ярусах околоземного пространства — еще далеко не все. Нужно оперативно собрать все результаты наблюдений, сопоставить их и выдать необходимую информацию потребителям.

Сделать это не легко, поскольку получаемая с сети наблюдений информация очень разнородна по содержанию и фор-

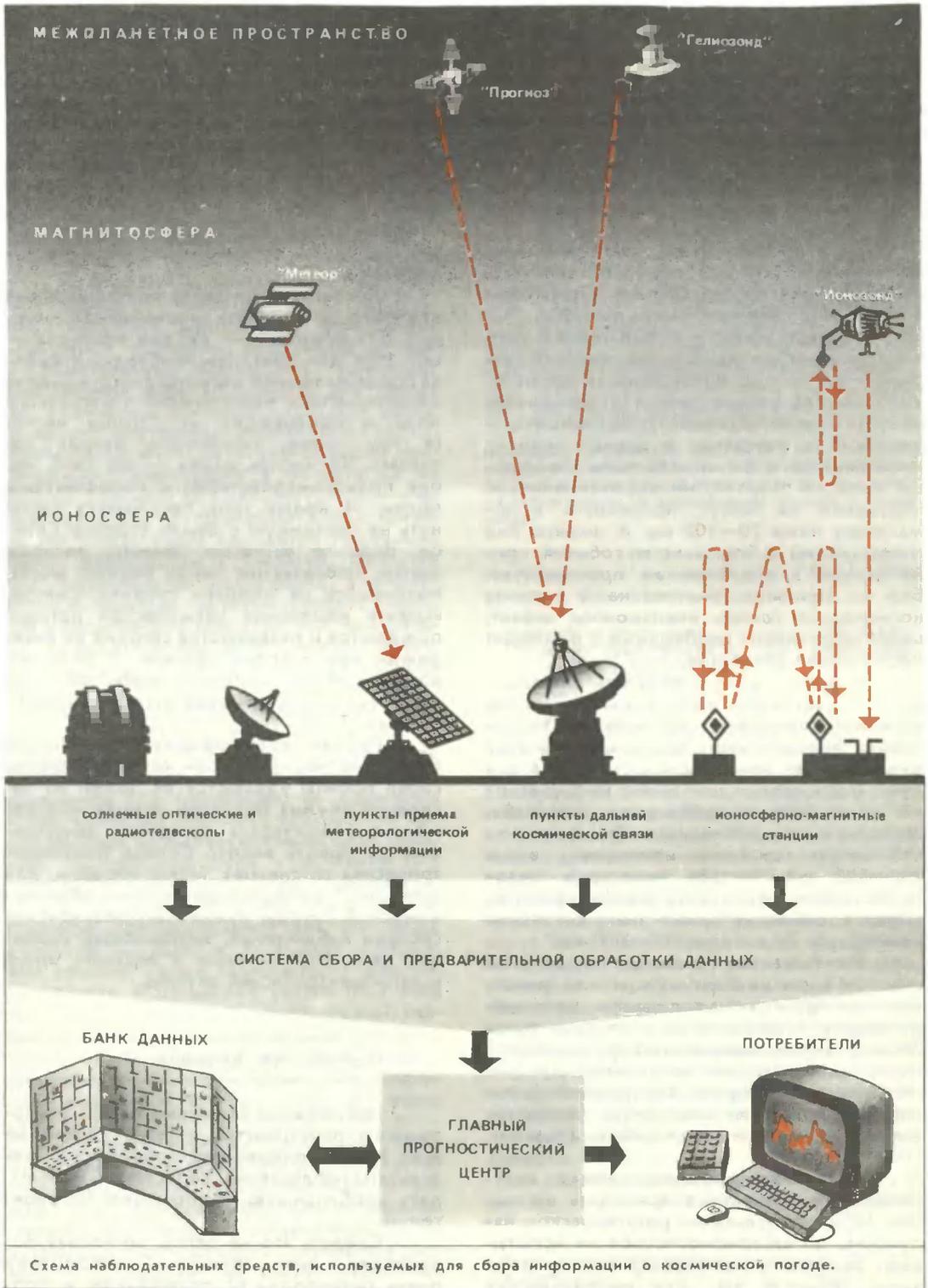


Схема наблюдательных средств, используемых для сбора информации о космической погоде.

ме представления, а также по частоте поступления. Например, от радиотелескопа, следящего за радиоизлучением Солнца, может (если нет особых явлений — радиовсплесков) приходиться всего одно значение в день — величина потока излучения на фиксированной частоте. А спутник «Ионозонд» сбрасывает на приемные пункты информацию, накопленную примерно за час наблюдений и состоящую из многих десятков так называемых ионограмм. Ионограмма описывает распределение частот отражения радиоволн по высоте примерно в сотне точек. При этом точки не лежат на гладкой кривой, а за счет различных шумов и внешних помех часто создают весьма расплывчатую картину, из которой не просто получить нужный график.

В разнородности обрабатываемой информации, пожалуй, основное отличие системы контроля и прогноза космической погоды от большинства АСУ, как правило, имеющих дело с достаточно однородной по смыслу и форме представлением информацией. Именно поэтому она, как и другие сложные системы, строится по частям с использованием модульного подхода.

После получения данных в системе производятся следующие операции: передача гелио-геофизических данных по каналам связи в ГПЦ и региональные центры службы космической погоды; прием и комплексная обработка поступающей информации; накопление и хранение получаемой информации; представление информации в требуемом виде; прогнозирование отдельных характеристик гелио-геофизической обстановки; выдача текущей прогностической информации потребителям.

Простой перечень этих операций, конечно, не отражает всей сложности выполняемых процедур и их взаимосвязей. Прежде всего следует иметь в виду, что система должна обеспечивать сбор, обработку и выдачу большей части гелио-геофизических данных с минимальной задержкой по времени — практически в реальном масштабе времени. Оперативная передача данных обеспечивается единой автоматической системой передачи данных (АСПД) «Погода», созданной для оперативного сбора метеорологической информации. Если поблизости от станции гелио-геофизических наблюдений нет пункта АСПД «Погода», данные передаются по абонентскому телеграфу.

Сотрудники станции сами проводят первичную обработку результатов наземных наблюдений, затем, пользуясь между-

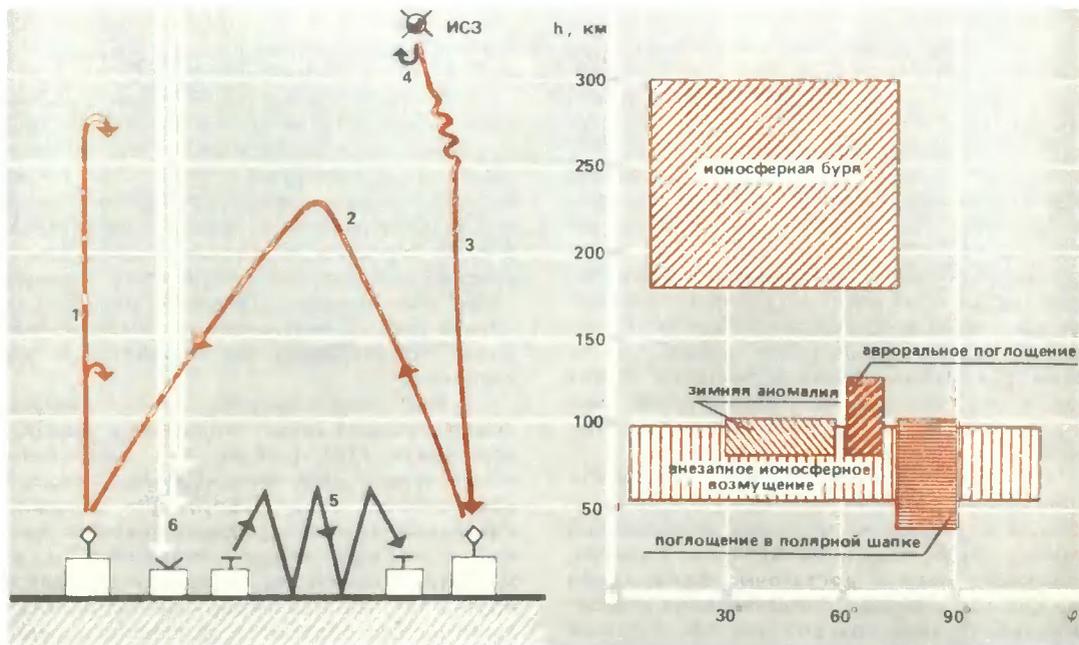
народными кодами для передачи гелио-геофизической информации, составляют телеграмму и направляют ее в ГПЦ и соответствующий региональный центр.

При наблюдениях со спутников возникает новая проблема. Как мы уже упоминали, пролетая над станцией приема, спутник за короткий срок сбрасывает большой объем информации, накопленной его аппаратурой при полете по орбите. Быстро передать эти сведения при существующей пропускной способности каналов связи невозможно. Поэтому на станции полученная со спутника информация проходит предварительную обработку и уплотнение.

Все гелио-геофизические данные, пройдя каналы связи, попадают в процессор связи ГПЦ (сейчас для этой цели используется ЭВМ типа «СМ-2»), который обеспечивает ввод информации в вычислительный комплекс, идентификацию данных и промежуточное накопление их на магнитных носителях, проверку достоверности поступающей информации и ее предварительную обработку. Дальнейшая судьба этих данных зависит от того, необходима ли дальнейшая обработка или они нужны потребителям «в чистом виде», будут ли они использованы для прогноза космической погоды и т. д.

Для систематизации и хранения текущей гелио-геофизической информации предназначен банк оперативных данных, который обеспечивает их организацию и использование в формализованных методах контроля и прогноза космической погоды. При этом планируются следующие способы использования данных потребителями: получение срочной информации непосредственно из процессора связи; извлечение данных из банка регулярно или по запросу; формирование специальных файлов (массивов информации, подобранных по определенному признаку); введение информации из банка в качестве исходных данных в программы пользователей.

Так, результаты наземного ионосферного зондирования (в основном это критические частоты слоев E и F) непосредственно используются большим потребителями. Программа, заложённая в ЭВМ «СМ-2», группирует эти данные в несколько типов телеграмм (разные потребители заинтересованы, естественно, в данных с ионосферных станций разных географических районов) и отправляет телеграммы с ионосферной информацией в несколько десятков адресов. То же самое делается и с рядом других данных на-



Основные виды наблюдений, дающие информацию о состоянии ионосферы на различных высотах h (справа): 1, 2 — вертикальное и наклонное наземное зондирование; 3 — трансionoсферное зондирование; 4 — зондирование с использованием отраженных сигналов; 5 — наблюдения в диапазоне средних и длинных волн; 6 — поглощение космического радиоизлучения (радиометры).

Локализация основных ионосферных возмущений по высоте h и широте φ (справа). Ионосферная буря обусловлена возмущениями в магнитосфере и проявляется в резких колебаниях концентрации электронов. Внезапное ионосферное возмущение вызывается рентгеновским излучением солнечной вспышки и представляет собой резкое (в 100 и более раз) увеличение концентрации электронов. Авроральное поглощение порождается потоками электронов с энергиями 1—10 кэВ, «высыпаящихся» из радиационных поясов во время возмущений в магнитосфере, и выражается в увеличении в несколько раз концентрации электронов в авроральной зоне. Поглощение в полярной шапке вызывается протонами с энергиями 10 МэВ и выше после сильной солнечной вспышки и заключается в сильном (100—1000 раз) росте концентрации электронов, иногда приводящем к ионизации нижележащих слоев (вплоть до стратосферы). Земная аномалия зависит от метеорологических процессов в нижележащих атмосферных слоях и проявляется в среднем превышении средних значений концентрации электронов над пеллими и в резком (в 10—100 раз) ее увеличении в отдельные зимние дни.

земных наблюдений (индексы магнитной и солнечной активности), не требующих дополнительной обработки и непосредственно используемых потребителями.

Некоторые данные (скажем, отдельные характеристики солнечного излучения, детали солнечной «топографии» — распределения активных образований по диску Солнца) непосредственно потребителями не используются, но они необходимы для прогноза и диагностики солнечной активности и, следовательно, космической погоды. Эти данные записываются в банк оперативных данных, накапливаются там, хранятся в течение 5—10 сут и могут в любой момент выводиться на дисплей в комнате дежурных прогнозистов.

Данные спутниковых измерений из процессора связи поступают для обработки в центральный процессор. Это — мощная ЭВМ типа ЕС-1060 с быстродействием порядка 10^6 операций в секунду, значительным объемом оперативной памяти (6 дисководов для магнитных дисков емкостью по 29 мегабайт каждый), памятью на магнитных носителях и развитой операционной системой. Относительно простые по смыслу и формату спутниковые данные (в основном о потоках частиц, определяющих радиационную обстановку в околоземном пространстве) обрабатываются непосредственно в этом процессоре, после чего поступают в банк. Для обработки более сложных данных (монограмм со

спутника «Ионозонд») предусмотрен диалоговый режим. Каждая ионограмма в виде набора точек на графиках зависимости частоты радиоволны от высоты отражения поступает на экран дисплея. Оператор подвижным индикатором фиксирует характерные места на этой ионограмме, соответствующие основным параметрам (прежде всего — критическим частотам ионосферных слоев E и F), и полученные таким образом величины передаются в банк.

Многим потребителям ионосферной информации нужна картина глобального состояния ионосферы на данный период времени. Чтобы удовлетворить подобные запросы, в ГПЦ используется глобальная модель ионосферы.

Ионосфера представляет собой очень сложную многопараметрическую систему. Ее характеристики меняются в зависимости от широты и долготы, высоты над поверхностью Земли, местного времени, сезона, солнечной и геомагнитной активности и т. д. На сегодня уже разработаны математические модели ионосферы, основанные на гидродинамическом описании происходящих в ней процессов, а также эмпирические модели, представляющие собой обобщение экспериментальных данных в виде формул или таблиц.

Поскольку происходящие в ионосфере изменения весьма многообразны и в разных частях земного шара различны, их невозможно выявить чистым перебором, как бы мы ни раздували сеть ионосферных наблюдений. К тому же все эти изменения взаимосвязаны через физические процессы в самой ионосфере и околоземном пространстве. Поэтому мы считаем, что использование ионосферных моделей становится сегодня и останется в обозримом будущем наиболее перспективным путем решения проблемы диагностики и прогнозирования глобального состояния ионосферы.

В настоящее время многое на этом пути уже сделано. В центральном процессоре ГПЦ реализована полумпирическая модель глобального состояния ионосферы. Эта модель сочетает математическое описание основных закономерностей поведения ионосферных параметров, опирающееся на теорию ионосферной плазмы, с аналитической аппроксимацией некоторых закономерностей, полученных эмпирически. Аппроксимация упрощает модель и ускоряет расчет глобальной картины на вычислительных средствах ГПЦ.

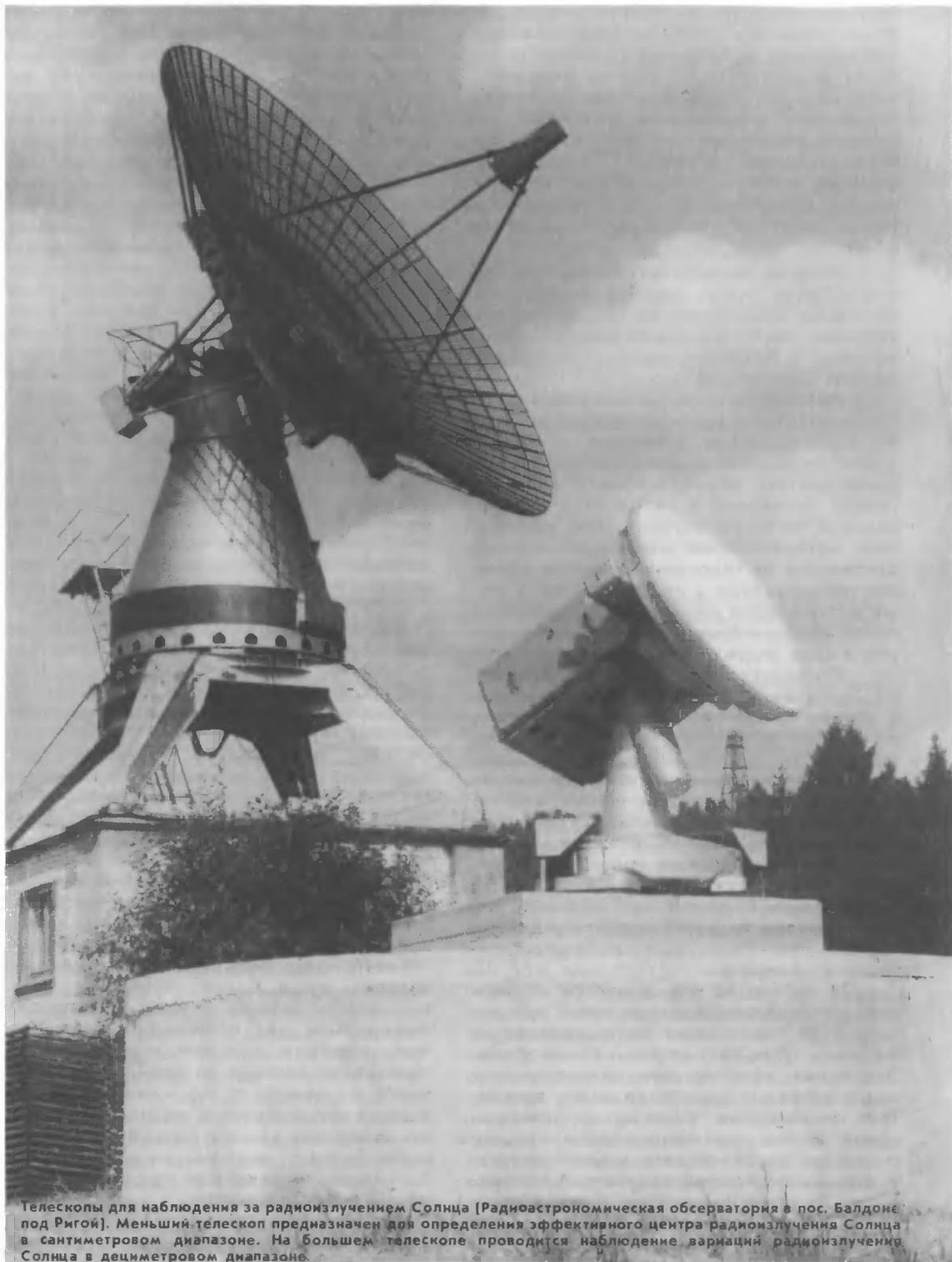
В ионосферной модели, реализован-

ной в ГПЦ в настоящее время, наиболее важна непрерывная адаптация к текущей гелио-геофизической обстановке. Стекающие в ГПЦ данные наблюдений непрерывно поступают в эту модель в виде либо входных (солнечные и геомагнитные данные), либо корректирующих параметров (непосредственно ионосферные данные). В результате модель все время «дышит», отражая реальные изменения, происходящие в ионосфере. С соответствующих узлов модели также непрерывно считываются необходимые параметры, характеризующие текущее состояние ионосферы и условия распространения в ней радиоволн различных диапазонов. Эта информация передается затем в процессор связи и включается в сводки, направляемые потребителям.

Учитывая постоянное совершенствование старых, а также создание новых методов прогноза и моделей ионосферы, верхней атмосферы и других объектов контроля, предусмотрена возможность замены программ и моделей в отдельном блоке «Прогностические программы и математические модели» без существенной перестройки всей системы в целом.

В существующих методах обработки гелио-геофизической информации (например, вертикального и наклонного зондирования) некоторые операции не поддаются алгоритмизации и, следовательно, не могут быть реализованы на ЭВМ. Поэтому в состав системы входит подсистема графического взаимодействия, оперативно обеспечивающая потребителя (в том числе — и дежурных прогнозистов ГПЦ) информацией на всех стадиях ее обработки. Будучи реализована на базе малой ЭВМ, связанной с центральным процессором и набором дисплеев, эта подсистема позволяет: провести анализ поступающих данных и отбраковку ошибочной информации; если нужно, подредактировать полученное изображение для приведения его к более наглядному виду; сопоставить различные виды поступившей информации для получения общей картины развития того или иного события; сравнить изменение во времени того или иного параметра с его изменением для аналогичных событий в прошлом; построить изменение данного параметра за достаточно большой промежуток времени, чтобы выявить тенденции долгосрочных изменений, и многое другое.

Таково положение дел с первой задачей — диагностикой космической погоды на основании данных, получаемых с мно-



Телескопы для наблюдения за радиоизлучением Солнца [Радиоастрономическая обсерватория в пос. Балдоне под Ригой]. Меньший телескоп предназначен для определения эффективного центра радиоизлучения Солнца в сантиметровом диапазоне. На большем телескопе проводится наблюдение вариаций радиоизлучения Солнца в дециметровом диапазоне.

гоярской сети наблюдений. Вторая задача — прогноз обстановки в околоземном космическом пространстве.

РОЛЬ ЭВМ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

Как следует из сказанного выше, прогнозировать космическую погоду и очень важно, и очень трудно. В целом эта проблема выходит за рамки данной статьи и достойна отдельного рассказа. Здесь мы отметим, что, в принципе, желательно как можно более полно автоматизировать процесс прогнозирования космической погоды. Сегодня, однако, полная автоматизация еще невозможна, поскольку основу большинства действующих методик составляет эвристическое прогнозирование.

Правда, уже достигнуты некоторые успехи (особенно при прогнозировании солнечных вспышек) с использованием таких легко формализуемых методов, как распознавание образов. Возможна и уже частично проводится автоматизация ряда прогностических методик, построенных на чистой экстраполяции текущих данных или на выборе аналогичной ситуации в прошлом. Так, расчеты на ЭВМ оптимальных рабочих частот радиосвязи на различных трассах по заявке заказчиков выполняются в ГПЦ уже сейчас. Автоматически составляется и прогноз состояния ионосферы на 6 и 12 ч, построенный на экстраполяции текущих данных. В числе других методик для такого прогнозирования используется (а в будущем будет использоваться еще активнее) описание глобального состояния ионосферы с помощью ионосферных моделей.

В наиболее простом подходе в модель в качестве входных параметров вводятся индексы солнечной и геомагнитной активности, относящиеся к тому периоду, для которого дается ионосферный прогноз. При этом величины либо рассчитываются службой космической погоды, либо поступают со стороны (например, из Главной астрономической обсерватории АН СССР в Пулковке).

Возможности такого подхода, однако, ограничены пока низкими и средними широтами. Модельное описание ионосферы высоких широт весьма затруднено почти непрерывно возникающими там возмущениями. Эти возмущения весьма различны по захватываемой ими области, длительности, высоте максимального эффекта

и т. д., поэтому описать их, меняя лишь индексы солнечной и геомагнитной активности, невозможно. Вот почему сейчас активно создаются прогностические модели именно для ионосферы высоких широт. Такие модели должны иметь в качестве входных параметров гораздо больше характеристик космической погоды (поток и энергия частиц солнечного ветра, знак межпланетного магнитного поля и т. д.), чем модели для ионосферы средних широт.

Еще раз подчеркивая сильную изменчивость характеристик ионосферы, мы считаем, что только с помощью ионосферного моделирования и использования все более мощных вычислительных средств можно решать проблемы глобальной диагностики и прогноза состояния ионосферы и распространения радиоволн. А эти проблемы составляют львиную долю забот геофизических служб в целом.

Подведем краткий итог сказанному. Комплекс явлений, происходящих в верхней атмосфере и околоземном космическом пространстве и определяющих космическую погоду, весьма сложен, и для его контроля нужны многочисленные и разнообразные наблюдения. Такие наблюдения организованы в рамках системы контроля и прогноза гелио-геофизической обстановки. Система также обеспечивает сбор и оперативную передачу информации, ее обработку и выдачу потребителям. Возможно дальнейшее развитие системы как в функциональном, так и в техническом плане благодаря модульному принципу ее формирования. Правда, это развитие требует решения широкого круга задач, связанных не только с техническим совершенствованием средств наблюдения, но и с получением, обработкой и представлением информации.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Данилов А. Д. ПОПУЛЯРНАЯ АЭРОНОМИЯ. Л.: Гидрометеониздат, 1978.

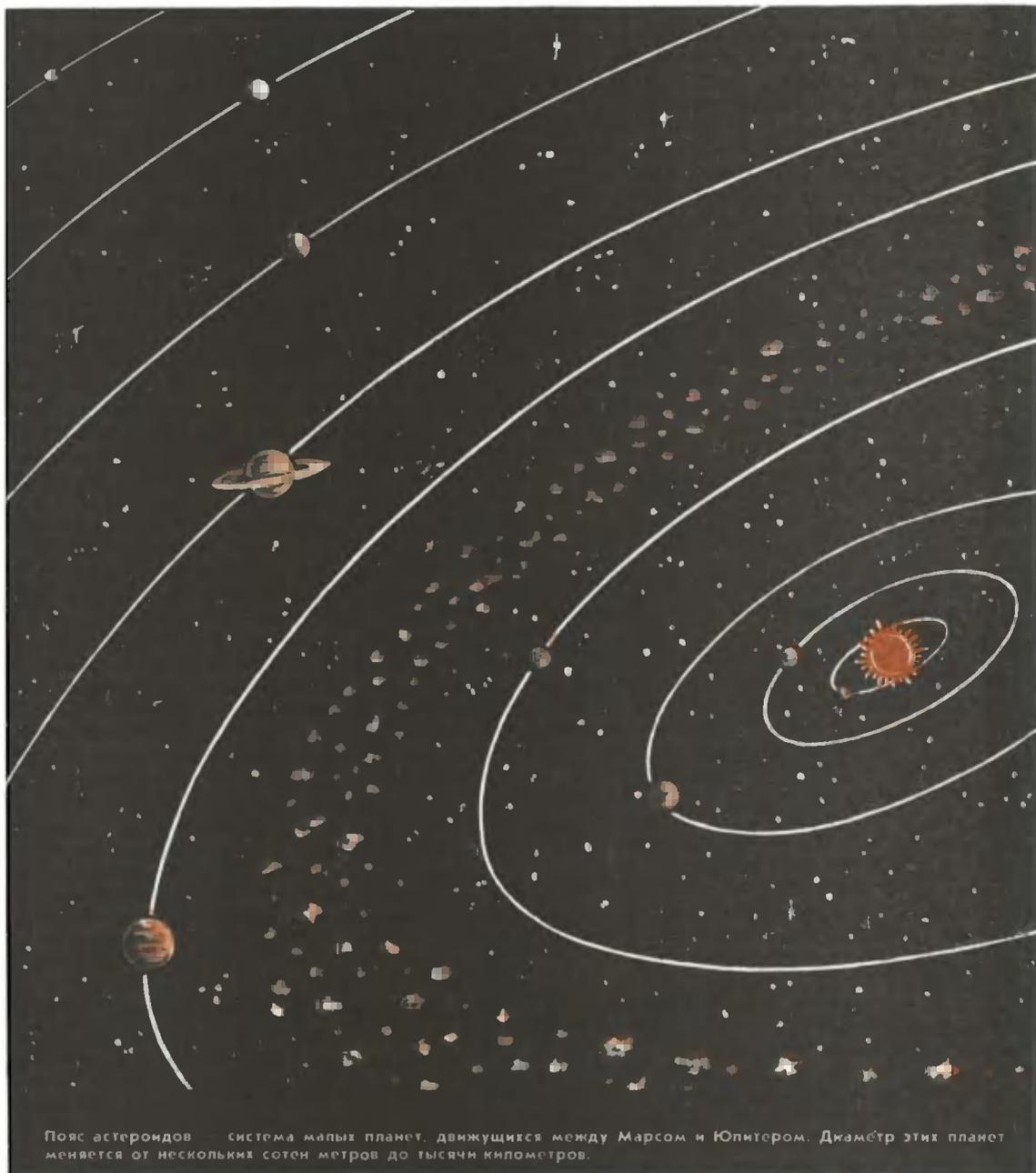
Красовский В. И. ШТИЛИ И ШТОРМЫ В ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЕ. М.: Наука, 1975.

Казимировский Э. С. ВОЛШЕБНОЕ ЗЕРКАЛО ПЛАНЕТЫ. Иркутск, 1978.

Казимировский Э. С. МЫ ЖИВЕМ В КОРОНЕ СОЛНЦА. М.: Наука, 1983.

Авдюшин С. И., Данилов А. Д. ПОГОДА В КОСМОСЕ — ЕЕ НАБЛЮДЕНИЕ И ПРОГНОЗ // Наука в СССР. 1985. № 5.

ГОРИЗОНТЫ СОВРЕМЕН



Пояс астероидов — система малых планет, движущихся между Марсом и Юпитером. Диаметр этих планет меняется от нескольких сотен метров до тысячи километров.

НОЙ МЕТЕОРИТИКИ

С НЕЗАПАМЯТНЫХ времен у людей было желание понять, как устроен и как возник этот мир: планеты с их спутниками, Солнце с планетной системой, звезды, наша Галактика, скопления галактик...

Конечно, оптическая астрономия, радиоастрономия, исследование разных видов космических излучений позволили многое узнать об истории и современном состоянии Вселенной. Тем не менее, они не дают ответа на очень важный вопрос: каким было вещество Солнечной системы в момент ее возникновения и как оно эволюционировало.

Но сохранились «свидетели» тех событий, которые развернулись 4,6 млрд лет назад в одном из газо-пылевых облаков в бесконечных просторах Вселенной и закончились образованием Солнца с планетной системой, включающей и нашу Землю. Эти «свидетели» — метеориты. В их химическом и изотопном составе, траекториях и следах, оставленных метеоритами на поверхности планет, заключены сведения о первичном веществе Солнечной системы, о времени и длительности космических событий, об условиях их протекания.

Вот почему в метеоритике — науке с долгой историей и «классическими» традициями — сегодня сконцентрировались интересы многих новейших отраслей знания: астрофизики и сравнительной планетологии, физики космических лучей и космохимии, геохимии и геологии.

Стремительный рост интереса к метеоритным исследованиям у столь широкого круга специалистов связан, прежде всего, с низвержением догмы об однородности (точнее, изотопной однородности) вещества Солнечной системы. Оно повлекло за собой пересмотр многих прежних представлений. Выяснилось, например, что наша планетная система образована из «смеси» среднего межзвездного вещества с добавкой от сверхновых звезд и звезд-гигантов. Оказалось также, что, хотя протопланетное облако и было очень сильно перемешано еще до образования планет, тем не менее, полной гомогенизации не произошло.

Кроме того, за последние годы удалось развить космохронологию Солнечной системы, включая и ее допланетную стадию, изучить процессы дробления родительских тел метеоритов, оценить периодичность падения метеоритов на Землю, по-новому взглянуть на возможность связи метеоритов с кометами.

Не теряет значения и давняя задача метеоритики — сбор и коллекционирование метеоритов. Только за последние 3 года метеоритная коллекция АН СССР пополнилась 133 образцами 65 различных метеоритов. На территории нашей страны за это время обнаружено 5 каменных и 2 железных метеорита.

Характерно, что сегодня сбор метеоритов перестает быть просто деятельностью по укомплектованию коллекций случайно найденным внеземным материалом. Открытие в Антарктиде полей льда, транспортирующих подобно гигантскому конвейеру метеориты к подножию прибрежных гор, позволяет зарубежным исследователям снаряжать целенаправленные экспедиции для сбора метеоритов в специально выбранном районе. Если за предыдущие 200 лет в мировые коллекции поступило 2600 метеоритов, то за 15 последних лет «охотники за метеоритами» привезли из Антарктиды более 7500 метеоритных осколков, принадлежащих, вероятно, не менее чем 3 тысячам отдельных тел. Среди них есть и уникальные образцы — метеориты с Луны и Марса.

В последнее время активизируются «добычка» метеоритов и изучение их вещества прямо в космосе: на высотные самолеты и обитаемые орбитальные станции все чаще ставятся метеоритные ловушки. Конечно, в них попадают лишь микрометеориты — мельчайшие частицы межпланетной пыли. Однако и эти объекты дают нам интереснейшую информацию.

Что касается крупных метеоритов, то теперь на повестке дня — полеты к ним. В 1988 г. советская межпланетная автоматическая станция исследует состав поверхности спутника Марса — Фобоса, относящегося, видимо, к тому же типу внеземного вещества, что и углистые хондриты. В 90-е годы ученые предполагают направить автоматический аппарат в главный пояс астероидов для встречи с космическим телом совсем иного типа — акондритовым. Возможно, аппарат будет посажен на поверхность Весты — астероида диаметром около 550 км с необычайно светлой поверхностью. «По дороге» автоматическая станция пройдет мимо еще двух или трех астероидов, исследует их и, может быть, приблизится к одной из комет.

Все эти достижения метеоритики были бы немислимы без применения самой современной техники. И будущее науки о метеоритах, ее перспективы, несомненно, связаны с новыми, все более совершенными методами анализа вещества.

Наряду с традиционными качественными методами (оптическая и электронная микроскопия) уже сейчас широко применяются такие количественные и прецизионные методы, как электронный микроанализ, нейтронно-активационный анализ, а также методы, основанные на использовании синхротронного излучения и ускорителей заряженных частиц, масс-спектрометров вторичных ионов... Все это дало возможность изучать не усредненное метеоритное вещество, а отдельные его минералы, частицы, зерна — вплоть до мельчайших пылинки. Именно благодаря применению этих тончайших приборных методов и стали возможны успехи метеоритики, достигнутые за последние годы.

Многие острые проблемы современной метеоритики обсуждались на XX Всесоюзной метеоритной конференции, проходившей в феврале этого года в Таллине. Разумеется, на страницах популярного журнала невозможно полностью представить все интересные сообщения, однако даже краткое изложение некоторых из них, подготовленное специально для читателей «Природы», позволит почувствовать «горячие точки» метеоритики. Вместе с тем читатели наверняка обратят внимание на дискуссионность, расхождение некоторых положений, высказываемых разными авторами. Это хорошо демонстрирует, как много еще нужно сделать для создания стройной, единой и непротиворечивой концепции происхождения и эволюции Солнечной системы.

Ю. А. Шуклюков,
доктор химических наук
председатель Комитета по метеоритам АН СССР

ПОИСКИ ПРОТОЗЕМНОГО ВЕЩЕСТВА

Л. К. Левский,
доктор химических наук

Институт геологии и геохронологии докембрия АН СССР
Ленинград

ОДНА из важнейших, на мой взгляд, задач метеоритики состоит в развитии наших представлений о химическом и изотопном составе протоземного, а еще шире — протопланетного вещества, во всяком случае того вещества, которое пошло на образование планет земной группы: Венеры, Земли, Марса, Меркурия.

До недавнего времени было принято считать, что Земля образовалась главным образом из хондритов — каменных метеоритов, состоящих из капелек силикатного вещества, застывшего в виде шариков (хондр). В частности предполагалось, что именно дегазация хондритов, особенно богатых летучими компонентами углистых хондритов, привела к образованию атмосферы Земли, а возможно, и других планет.

После множества прове- рок это предположение выгля-

дит совершенно неубедительным. Так, изотопный состав ксенона в углистых хондритах и на Земле существенно различен. Более того, в углистых хондритах соотношение криптона и ксенона близко к 1, а для Земли это же соотношение равно 10. Эта проблема десятикратного дефицита ксенона обсуждается уже около 20 лет. Сейчас она, по-видимому, близка к разрешению. И связано это прежде всего с изучением состава благородных газов в найденных в разных точках земного шара, в том числе в Антарктиде, SNC-метеоритах — шерготитах, наклитах и шассиньитах.

В вопросе о происхождении этих интереснейших объектов имеются принципиальные расхождения. Некоторые американские исследователи, исходя из соотношения благородных газов в SNC-метеоритах, решили, что они попали на Землю с по-

верхности Марса, откуда были выбиты в результате ударных процессов¹. Действительно, относительное содержание и изотопный состав благородных газов и азота в SNC-метеоритах совпадают с тем, который был зафиксирован межпланетными станциями на Марсе. Но в земных образцах ударного происхождения — тектитах, жаманшинитах и др. — должны были бы наблюдаться захваченные газы земной атмосферы в значительно больших концентрациях, чем на Марсе, с учетом плотности атмосферы Земли. Однако измеренная концентрация благородных газов и азота в земных образцах оказалась в 1000—10 000 раз меньше ожидаемой. Поэтому мы полагаем, что предложенный американскими специалистами механизм образования данного типа метеоритов неверен.

Но рациональное зерно в изучении благородных газов в SNC-метеоритах, безусловно, есть! Рассмотрение корреляционной зависимости между аргоном, ксеноном, криптоном в разных планетах земной группы и в SNC-метеоритах показывает, что мы имеем определенную ветвь эволюции протопланетных и планетных тел. И, вероятно, если не сами SNC-метеориты, то их ближайшие родственники являются объектами,

¹ Природа. 1984. № 7. С. 104.

которые пошли на строительство планет земной группы (во всяком случае, внутренних). Хондриты же, безусловно, не играли большой роли в их образовании.

Если пойти дальше и встать на путь гипотез, то мне представляется, что SNC-метеориты и родственные им тела, которые непосредственно предшествовали образованию планет земной группы, явились продуктами переработки какого-то хондритоподобного вещества. Этот процесс, скорее всего, связан с потерей летучих компонентов, и его следовало бы называть ахондритизацией. Но так или иначе, предшественниками SNC-метеоритов в процессе развития Солнечной системы были все-таки не углистые или какие-то иные хондриты — они являются боковой ветвью эволюции протоземного вещества. И самая большая трудность состоит в том, что, возможно, основная часть протопланетного и протоземного вещества была «вычерпана» при образовании планет и теперь недоступна для исследователей. В таком случае мы можем вообще не встретиться в наших коллекциях с образцами подобного первичного вещества или же встретить его в очень малых количествах. Например, образцов SNC-метеоритов найдено всего около десятка. Тем более пристального внимания заслуживают такие находки — это, видимо, именно то вещество, из которого родилась в свое время Земля и другие планеты земной группы.

Процесс образования метеоритов подразделяется на несколько этапов. Мы рассмотрели возможную судьбу протоземного вещества и уходим в глубь времен, отступая от событий, происшедших 4,5 млрд лет назад, когда сформировалась Земля. Один из этапов образования метеоритов, предшествовавших этим событиям, представляет собой распад так называемых родительских тел — планетезималей. Объекты эти весьма важны. Они были исходными телами, из которых образовались метеориты. Они же были обязательными элементами, из которых строились планеты земной группы. Ведь планеты не просто «слипались» из какой-то

первичной пыли: сначала возникли маленькие объекты, прожившие свою жизнь, а из них уже формировались планеты. Неудивительно, что эти промежуточные «планетки» отличались по химическому и изотопному составу даже друг от друга. Часть их объединилась, образовав большие планеты, а часть распалась, породив метеориты.

Продвигаясь еще дальше, попытаемся выяснить, как образовались планетезимали? Но этот вопрос связан с другим: как образовалась Солнечная система? До недавнего времени господствовала конденсационная теория ее образования. Представления о состоянии Солнечной системы, лежащие в основе этой теории, можно выразить следующими словами: образование атомизированного облака — его конденсация и образование пыли — эволюция более крупных объектов (аккреция, образование планетезималей и т. д.). Сейчас, располагая новыми изотопными данными, приходится решительно отказаться от такой классической конденсационной схемы. На основании абсолютно точных данных о неоднородности изотопного состава вещества Солнечной системы мы обязаны сейчас рассматривать существование по крайней мере двух газо-пылевых облаков, имеющих различное термоядерное происхождение и образовавшихся, по всей видимости, за счет выбросов сверхновой, новой или, скажем, красного гиганта. С падением температуры часть этого вещества перешла из газообразного состояния в твердое — пыль. Так образовалась смесь, состоящая из газа с небольшой (доли процента) добавкой пылевой компоненты.

В настоящее время стало совершенно ясно, что те процессы, которыми мы раньше объясняли изменение изотопного состава (скажем, радиоактивный распад, воздействие космического излучения на вещество метеоритов, деление трансуроновых элементов), уже не могут нам обеспечить такие изотопные различия, которые мы наблюдаем. Мы явно имеем дело с различными термоядерными процессами, которые и привели к различному изотопному составу кислорода, магния, ксе-

нона, неона, водорода, азота и многих других элементов. Сегодня идут споры, как возникла эта изотопная гетерогенность. С моей точки зрения, она является результатом смешения двух газо-пылевых облаков. Их столкновение и дало начало эволюции Солнечной системы — того протосолнечного газо-пылевого облака, которое возникло на ранней ее стадии. Никаких метеоритов на этой стадии, разумеется, не существовало.

Неудивительно, что метеориты привлекают внимание самых разных специалистов: и астрономов, и космогонистов, и геохимиков, и геологов. Мне, конечно, трудно судить с позиции астрономов и космогонистов, но я думаю, что наибольший интерес для них представляют результаты серьезного, поставленного на самом современном уровне, изучения химического состава метеоритов и изотопного состава их элементов. Кроме того, до последнего времени, точнее до посадки на Луну, метеориты были единственными доступными нам объектами внеземного происхождения. Естественно, если мы пытаемся изучать проблему происхождения Солнечной системы, мы не должны ограничиваться земными объектами.

Сначала изучали метеориты, как они есть, их минераологию, петрографию. Затем принялись за химический состав — это неизбежный этап. И вот это-то интенсивное изучение химического, а главное изотопного состава метеоритов, и привело к революции в наших представлениях, равной, на мой взгляд, по значению коперниковской. Именно неоднородность изотопного состава элементов Солнечной системы подтолкнула нас, что в момент ее образования произошло слияние по крайней мере двух газо-пылевых облаков. Это новое понимание, этот переход от монистических моделей к дуалистическим обусловлен изучением изотопного состава элементов в метеоритах. Не будь его, наши представления о Солнечной системе были бы существенно иными.

МЕТЕОРИТЫ — СВИДЕТЕЛИ ЭВОЛЮЦИИ ПРОТОПЛАНЕТНОГО ДИСКА

Т. В. Рузмайкина,
доктор физико-математических наук

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР
Москва

В АЖНЕЙШАЯ цель всех исследований Солнечной системы состоит в том, чтобы выяснить, как эта система образовалась. Той же цели в конечном итоге служит и изучение метеоритов. Объекты эти уникальны по своей информативности; их возраст достигает 4,6 млрд лет, т. е. возраста Солнечной системы, а вещество претерпело значительно меньшие изменения, чем вещество Земли и других планет. Есть все основания считать, что метеориты (по крайней мере, их наиболее распространенный класс — хондриты) образовались из газа солнечного состава в протопланетном диске и сохранили интересную информацию о ранних стадиях формирования диска. Иными словами, изучая изотопный и минеральный состав метеоритов, мы приближаемся к пониманию процессов, сопровождавших образование Солнечной системы.

Из-за сложности и многообразия процессов, происходивших в протопланетном облаке, трудно однозначно истолковать историю Солнечной системы, ограничиваясь изучением метеоритов или другими космохимическими данными. Но возможен и другой подход. Будем искать механизм образования протопланетного диска без привлечения сведений о метеоритах. Затем, сопоставляя космохимические следствия процесса формирования протопланетного ди-

ска с метеоритными данными, проверим правильность этого механизма. Такая постановка задачи позволяет привлечь для построения теории происхождения Солнечной системы те результаты наблюдательного и теоретического исследования процессов образования звезд, подобных Солнцу, которые были накоплены за последние годы.

Методами радио- и инфракрасной астрономии установлено, что звезды, близкие по массе к Солнцу, образуются в межзвездных облаках, состоящих из газа и пыли. Вокруг некоторых звезд этого типа обнаружены газо-пылевые диски, эволюция которых может привести к образованию планетных систем. Наблюдения инфракрасного астрономического спутника IRAS показали, что в настоящее время такой процесс идет у одной из ближайших к Солнцу звезд — Веги, которая примерно в 15 раз моложе Солнца.

Как известно, звезды образуются в результате сжатия межзвездных облаков, точнее их плотной части. Теоретические исследования позволили сделать вывод, что судьба сжимающегося облака в значительной степени определяется тем, какую роль в нем играет вращение, точнее эволюция облака зависит от его момента количества движения J :

$$J \sim MQR^2,$$

где M и R — масса и радиус



Последовательные стадии формирования протопланетного диска и Солнца при сжатии солнечной туманности с угловым моментом 10^{52} г · см²/с. Сначала в центре холодной сжимающейся туманности возникает ядро — зародыш Солнца. Затем вблизи его экватора появляется компактный диск, который постепенно разрастается. Остальное вещество солнечной туманности продолжает аккретировать — выпадать на ядро и диск, увеличивая их массу. К концу аккреции масса ядра становится близкой к массе Солнца, а размер диска — к современному размеру Солнечной системы.

облака, Ω — угловая скорость его вращения. Облако с большим значением J превращается в двойную звезду, а невращающееся — становится одиночной невращающейся звездой. Но имеется и промежуточный интервал значений J ($3 \cdot 10^{51} \div 2 \cdot 10^{52}$ г · см²/с), в котором из протопланетного облака, близкого по массе к Солнцу, образуются звезды с протопланетными дисками.

В 1980 г. на сессии Комитета по космическим исследованиям (COSPAR) автором была предложена модель образования Солнца и протопланетного диска при сжатии такого облака. Вслед за тем подобную модель начал разрабатывать американский космогонист П. Кассен с соавторами.

В основе этой модели лежат два существенных обстоятельства. Во-первых, в процессе сжатия облака плотность в его центре растет быстрее, чем на краю, и в результате выделяется ядро (зародыш Солнца) массой около 1% массы облака. На него в течение 10^5 лет выпадает остальное вещество облака, и за это время масса ядра достигает солнечной. Во-вторых, в ядре (а затем и в протопланетном диске) угловая скорость падает с увеличением расстояния от оси вращения. Кроме того, сказывается наличие в ядре и протопланетном диске магнитного поля и турбулентности, обеспечивающих перенос J из внутренних частей системы в наружные. Вблизи ядра и в нем самом главную роль играет магнитное поле, а на больших расстояниях — так называемая турбулентная вязкость ν_T , пропорциональная произведению характерного размера турбулентных ячеек на скорость течения в них.

После возникновения ядра из его наружных слоев начинает формироваться диск. Первоначальный его радиус составляет $10^{-2} \div 10^{-1}$ а. е. Но вследствие переноса момента в наружные части диска его радиус R_D увеличивается со временем t (т. е. с ростом массы ядра M) и происходит это под действием турбулентной вязкости:

$$R_D \sim \sqrt{\nu_T t} \sim \sqrt{t} M.$$

Турбулентность в диске может создаваться за счет аккреции вещества. В этом случае, вероятно, $\nu_T \sim (10^{15} \div 10^{16}) \times M/M_{\odot}^{1/2} R^{1/2} \text{ см}^2/\text{с}$,

где M_{\odot} — масса Солнца (2×10^{33} г), R — расстояние от центра диска в астрономических единицах ($1,5 \cdot 10^{13}$ см). При такой вязкости за 10^5 лет диск

вырастет до $30 \div 100$ а. е., иными словами, достигнет современных размеров Солнечной системы.

Следует отметить, что не будь переноса углового момента, солнечная туманность сжалась бы до размера $R_K \leq 0,5$ а. е., при котором центробежная сила уравновешивает сжатие в направлении, перпендикулярном оси вращения.

При формировании Солнца и протопланетного диска вещество еще не выпавшей части солнечной туманности присоединяется к диску главным образом в центральной области радиусом R_K и вблизи его края. Здесь на поверхности диска образуется ударная волна, поскольку скорость падения вещества оказывается больше скорости звука. В промежуточной области, где вещество падает под малым углом к поверхности диска, ударная волна не возникает совсем или очень слаба.

В процессе образования диска в нем происходит значительное перемещение вещества по радиусу. Температура в диске также определяется расстоянием от центра (падает к периферии). Следовательно, перемещение приводит к тому, что на конечном этапе формирования протопланетного диска многие его участки состоят из вещества, пришедшего из областей с более высокой или более низкой температурой. Помимо этого, при аккреции вещество подвергается кратковременному нагреву в ударной волне. Вся эта эволюция вещества протопланетного диска находит отражение в химическом, минеральном и изотопном составе твердых тел, образующихся в диске.

По расчетам С. В. Маевой и автора, перемещение вещества в диске носит довольно сложный характер. В области $R \leq R_K$ на протяжении большей части процесса аккреции вещество течет к Солнцу. В области $R_K < R \leq 0,6 R_D$ течение вещества направлено наружу. Далее, в области $0,6 R_D < R < 0,9 R_D$ вещество вновь оттекает от края диска внутрь. И наконец, на самой периферии вещество удаляется от Солнца — эта краевая область и обуславливает разрастание диска.

В той части диска, где формируются планеты земной группы и пояс астероидов, вещество на протяжении значительного времени движется к периферии. Так же направлено течение вещества и во внешнем участке той зоны, где температура превышает 1500 К и где испаряются минеральные пылевые частицы (радиус этой зоны составляет $0,5 \div 1$ а. е.). Следует отметить, что в ударной волне, возникающей на поверхности диска, минеральные пылевые частицы также испаряются или плавятся только вблизи Солнца, т. е. при $R \leq 0,5$ а. е. По мере удаления от центра диска вещество уходит из области испарения и конденсируется вновь.

За время формирования Солнца и протопланетного диска вещество, прошедшее через зону испарения, распротраивается в окрестности Солнца радиусом 3—10 а. е. Следовательно, твердое вещество, подвергшееся испарению и последующей конденсации, должно присутствовать в более обширной области, чем та, где температура когда-либо повышалась до 1500 К. В частности, оно должно доминировать в поясе астероидов или, по крайней мере, его внутренней части.

Эти выводы согласуются с результатами изучения химического и изотопного состава метеоритов (хондритов), а также с данными о составе астероидов. В частности, минералогия так называемых тугоплавких включений в углистых хондритах свидетельствует, что они конденсировались в протопланетном диске. Наряду с этим в метеоритах обнаружены включения, содержащие изотопные аномалии, которые интерпретируются как сохранившиеся межзвездные частицы. Эти частицы могли проникнуть из внешних частей протопланетного диска в результате турбулентного перемешивания вещества.

В пределах астероидного пояса наблюдается изменение среднего состава астероидов от внутреннего края к внешнему. Астероиды типа S, обладающие альбедо 0,07—0,23 и содержащие на поверхности металл в силикатной решетке, тяготеют к внутреннему краю пояса астероидов, находящемуся в 2 а. е. от

Солнца. Астероиды типа С, на поверхности которых присутствует углерод, сосредоточены у внешнего края, на расстоянии 3—4 а. е. от Солнца.

Заманчивой представляется идея объяснить установленную зависимость состава астероидных тел от их удаленности от Солнца тем, что внутренняя часть пояса астероидов в большей степени обогащена веществом, пришедшим из зоны испарения, чем внешняя его часть. Иными словами, граница раздела между веществом, подвергавшимся и не подвергавшимся испарению, могла проходить где-то на расстоянии 2—4 а. е. от Солнца.

В области внешних планет, куда вещество пришло от края протопланетного диска, температура никогда не превышала 100—400 К. В таких условиях должны были сохраниться межзвездные пылевые частицы, причем они могли включать не только минеральные, но и органические соединения.

Сейчас имеются веские доказательства возможности образования в межзвездной среде частиц с оболочками из органических соединений. Так, изучение пылевой компоненты кометы Галлея космическими аппаратами «Вега-1 и -2» и «Джотто» показало, что более 50 % частиц содержат органические соединения, которые могли образоваться вне Солнечной системы и сохраниться при формировании диска.

Таким образом, космохимические следствия, вытекающие из предложенного нами механизма образования протопланетного диска, не противоречат данным, полученным при изучении метеоритов и кометы Галлея. Разумеется, сам механизм образования диска требует дальнейшей разработки и уточнения. И в этом может помочь космохимия, в частности метеоритика.



Минеральный состав хондры из метеорита Ефремовка. Основная часть хондры (центральная область снимка) представлена аморфитом и оливином, периферийная — сульфидами. Это и другие изображения получены в пучке отраженных электронов с последующим кодированием условными цветами. Снимки сделаны с растрового дисплея электронного микроскопа лаборатории электронной микроскопии и микроанализа геологического факультета МГУ.

МЕТЕОРЫ, МЕТЕОРИТЫ И КОСМИЧЕСКАЯ ПЫЛЬ

В. Н. Лебединец,
доктор физико-математических наук

Институт экспериментальной метеорологии Госкомгидромета СССР
Обнинск

В ПРОСТРАНСТВЕ между планетами, астероидами и кометами движется бесчисленное множество более мелких твердых тел — от мельчайших пылинок массой 10^{-18} г до тысячетонных глыб. Влетая в атмосферу Земли со скоростями в десятки километров в секунду, они нагреваются и тормозятся. При этом самые мелкие частицы массой менее 10^{-8} г успевают затормозиться на больших высотах и, не испытав сильного нагревания, оседают на поверхность Земли в виде микрометеоритов. За год на Землю выпадают тысячи тонн таких частиц, именуемых также космической пылью.

Самые крупные тела массой в килограммы и даже тон-

ны, хотя и сильно нагреваются при подлете к Земле, могут все же, потеряв часть испарившейся при торможении массы, пробить атмосферу и упасть на поверхность Земли в виде метеоритов. Если же масса частиц составляет от 10^{-7} г до 1 кг, то законы аэродинамики обрекают их на полное испарение при движении сквозь земную атмосферу. Они-то и проносятся по ночному небу в виде «сгорающих» метеоров и еще более ярких болидов.

Химический состав, физические свойства и минералогические характеристики крупных тел можно узнать, исследуя метеориты, найденные на поверхности Земли. Особенности состава и строения частиц космической пыли изучают, собрав такие частицы на дне центральных зон океана, где они меньше перемешаны с донными осадками, или же на дне ледниковых озер, куда они переносятся тающими льдами.

Но что представляют собой метеоры и болиды, на долю которых приходится существенная часть межпланетного вещества? Где они образовались? И каково вообще происхождение твердого вещества межпланетной среды?

Путем визуальных наблюдений метеоров уже давно было замечено, что наряду с одиночными телами существуют метеорные потоки, частицы которых движутся по близким орбитам в виде роя. Отмечалась также близость орбит некоторых метеорных роев и комет. Отсюда естественно следовали предположения о кометной природе отдельных метеоров. Но в целом вопрос о происхождении метеорных тел оставался открытым.

Так было до середины 50-х годов нашего века, когда один из выдающихся исследователей метеорных тел Э. Элик опубликовал результаты специальных визуальных наблюдений метеоров. Он подсчитал, что 19 % метеорных тел движутся по параболическим орбитам, близким к орбитам долгопериодических комет, менее 20 % — по орбитам, сходным с орбитами короткопериодических комет, 38 % — по орбитам астероидного типа и более 23 %

метеоров движутся по гиперболическим орбитам, т. е. приходят из межзвездного пространства.

Однако в это же время американский астрофизик Ф. Уиппл по данным фотографических наблюдений выпустил первый каталог, включающий орбиты 144 метеорных тел массой от 1 до 100 г. Из каталога следовало, что ни один из метеоров не двигался по гиперболической орбите. Основным же источником метеорного вещества являются распавшиеся ядра короткопериодических комет.

Спустя годы, после серии фотографических и радиолокационных наблюдений метеоров и анализа ряда опубликованных к тому времени каталогов, мы пришли к заключению, что короткопериодические и долгопериодические кометы поставляют примерно равное количество метеорного вещества. Тем не менее, основной вывод Ф. Уиппла о преимущественно кометном происхождении метеоров полностью сохранился и был распростран на тела массой от 10^{-6} г до 1 кг. Выяснилось также, что около 40 % таких метеоров относятся к роям, т. е. их образование обусловлено процессами дробления более крупных небесных тел.

Под действием давления солнечного излучения, радиационного торможения (эффект Пойнтинга-Робертсона) и гравитационных возмущений орбит со стороны планет метеорные тела довольно быстро выпадают на Солнце, захватываются планетами или выбрасываются из Солнечной системы. В результате каждые 100 тыс. лет почти все метеорное вещество во внутренних областях Солнечной системы должно обновляться. Но время жизни всех известных нам короткопериодических комет (с периодами обращения меньше 200 лет) также не превышает 100 тыс. лет. Таким образом, должен существовать постоянно действующий источник не только метеорного вещества, но и самих короткопериодических комет.

В настоящее время большинство исследователей полагают, что таким источником служит гигантское облако Оорта, состоящее из ледяных ядер ко-

мет. Это облако, расположенное на окраине Солнечной системы, на расстоянии в десятки тысяч астрономических единиц от Солнца, представляет собой остаток протопланетного газопылевого облака, существовавшего около 4,6 млрд лет назад.

Под действием гравитационных возмущений со стороны ближайших звезд (или в силу каких-то иных причин) отдельные кометы облака Оорта переходят на близкие к параболическим орбиты с перигелиями внутри орбит планет-гигантов. Так возникают долгопериодические кометы. Затем гравитационные возмущения со стороны планет-гигантов могут перевести такие кометы на короткопериодические орбиты или выбрасывать их из Солнечной системы. На короткопериодических орбитах за время от нескольких лет до десятков тысяч лет ледяные ядра комет полностью испаряются, оставляя на орбитах рой твердых тел, входивших в ледяные ядра в качестве примеси.

Согласно этой доминирующей ныне модели, метеорное вещество в течение последних 4,6 млрд лет сохранилось практически неизменным в ледяных ядрах комет облака Оорта. Его состав и структура должны быть близки к составу и структуре пылевой части первичного протопланетного облака, из которого образовались Солнце, планеты, кометы и все остальные тела Солнечной системы. По этой причине метеорные тела кометного происхождения особенно интересны для космогонии.

Обсудив вопрос, откуда берутся метеоры, попытаемся разобраться в их составе. До середины 50-х годов мало кто из исследователей метеоров сомневался в том, что метеорные тела, испаряющиеся в атмосфере, являются такими же плотными каменными или железными образованиями, как и метеориты, достигающие поверхности Земли. Однако как раз в эти годы возникли сомнения в правильности подобных представлений.

Анализируя фотографические изображения небольших метеоров, исследователи пришли к выводу о дроблении метеорных тел в атмосфере.

Поскольку такое дробление, как было принято считать, может происходить только под действием аэродинамического давления (а оно на высотах реальных метеоров очень мало), возникло мнение об очень низкой плотности и чрезвычайно рыхлой структуре метеорных тел. Получалось, что почти все метеорные тела — это «комочки пыли» со средней плотностью $0,26 \text{ г/см}^3$. Так как незадолго перед этим Ф. Уиппл выдвинул гипотезу о том, что ядра комет состоят из «запыленного» льда, естественно было ожидать, что при сублимации ядер комет от них отделяются комочки чрезвычайно рыхлой пылевой матрицы, образующейся на поверхности льда. Так возникла физическая модель образования и взаимодействия с атмосферой Земли метеорных тел кометного происхождения типа «комочков пыли».

Эти представления, казалось бы, были подтверждены и экспериментами, проводившимися в конце 50-х — начале 60-х годов на орбитальных космических аппаратах. На них для регистрации метеорных частиц были установлены датчики двух типов: пьезоакустические подчитывали «по звуку» число ударов таких частиц, а пробойные регистрировали частицы, проходящие сквозь преграду. Оказалось, что пьезоакустические датчики зарегистрировали в 100 тыс. раз больше событий, чем пробойные. Это расхождение тут же объяснили чрезвычайно низкой пробивной способностью рыхлых «комочков пыли».

Получалось, что выпадающие на поверхность Земли метеориты — это один тип вещества, а метеорные частички, сгорающие в атмосфере, — совсем другой...

Однако эту идею пришлось оставить. Сначала обнаружилось, что пьезоакустические датчики регистрировали не удары микрометеоритов, а различные «потрескивания» обшивки космических аппаратов, внутренние шумы в пьезокристаллах и т. д. Затем теоретические исследования и лабораторные эксперименты по быстрому нагреванию в вакууме вещества метеоритов, железа и горных пород показали, что при

полете в атмосфере должны дробиться не только «комочки пыли», но и все плотные каменные и железные метеорные тела массой более $0,001 \text{ г}$. Причина дробления заключается не в аэродинамическом давлении, а в чрезвычайно быстром нагревании лобовой поверхности метеорных тел в атмосфере и вызванном им квазинепрерывном отделении от этой поверхности очень мелких осколков.

Автору совместно с В. В. Калениченко удалось создать теорию квазинепрерывного дробления метеорных тел в атмосфере, а затем с помощью этой теории проанализировать все накопленные данные о торможении метеоров и оценить их плотность и эффективную удельную энергию дробления. Выяснилось, что среди сотен метеорных тел, испарившихся в атмосфере Земли, представлены все основные типы метеоритов.

В метеорных роях, связанных с известными кометами 1862 III (рой Персеид) и Энке (рой Таурид), обнаружены плотные тела, сходные с железными и железо-каменными метеоритами и обыкновенными хондритами. В метеорных роях Гаминид и δ -Акварид встречены только такие частицы, плотность которых выше $2,5 \text{ г/см}^3$. Чаще всего среди метеорных тел встречаются углистые хондриты C1,

обыкновенные хондриты и углистые хондриты C2. Есть среди метеорных тел и «комочки пыли», и частицы, содержащие до 50 % летучих соединений, и еще какие-то очень легко испаряющиеся тела, зафиксированные только в метеорном рое Драконид.

Конечно, непросто объяснить присутствие в роях кометного происхождения плотных тел типа железных, железо-каменных метеоритов и обыкновенных хондритов. Ведь раньше считалось общепринятым, что их минералы могли сформироваться только в «раскаленных» недрах планет и крупных астероидов. Однако не исключено, что вещество, вошедшее в состав ядер комет, ранее в течение какого-то времени находилось вблизи Солнца и сильно нагревалось.

Если же говорить об общих закономерностях, то чем дальше от Солнца находилась комета, давшая тот или иной метеорный рой, тем больше в нем «рыхлых» метеоров. Тем не менее, принципиальное единство вещества выпадающих на Землю метеоритов и космической пыли, а также испаряющихся в атмосфере метеорных тел, порождающих метеоры и болиды, теперь уже не вызывает сомнений.

ЕДИНСТВО МАЛЫХ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

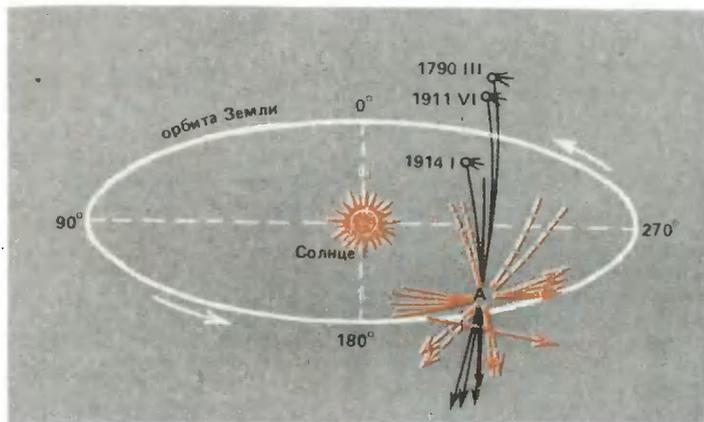
А. К. Терентьева,

кандидат физико-математических наук

Астрономический совет АН СССР
Москва

ЕЩЕ в 1938 г. один из основоположников метеорной астрономии И. С. Астапович обратил внимание на удивительный факт. Через одну точку пространства с координатами $\lambda = 216^\circ$ и $\beta = +2^\circ$, расположенную вблизи орбиты Земли

на расстоянии 1 а. е. от Солнца, проходят орбиты десяти метеоритов (пять из них давали обильные каменные дожди), кометы К. Гершель 1790 III и ее семейства, а также более 20 потоков метеорных тел, которым принадлежат 27 крупных боли-



Совокупность орбит семейства кометы К. Гершель 1790 III и семи метеоритов, пересекающихся вблизи точки А с координатами $\lambda=216^\circ$, $\beta=+2^\circ$ на расстоянии 1 а. е. от Солнца. В окрестности точки А проходят орбиты еще 22 метеорных роев (изображены лишь 4 из них). По И. С. Астаповичу, 1939.

дов. Причем все обнаруженные метеориты оказались одинакового состава: они относятся к типу серных бронзито-гиперстеновых хондритов. И. С. Астапович писал по этому поводу: «Падения метеоритов, болидов и наибольшая активность потоков приходились на XIX в. и ныне, по-видимому, прекращаются. Приходится считать, что не позже конца XVIII в. в вышеупомянутой точке произошло внезапное разрушение крупного метеорита или кометы, породившее семейство комет и системы малых тел...».

Прошло около полувека, но это уникальное явление до сих пор не объяснено. Дело в том, что на пути к решению подобных вопросов стоит очень сложная проблема взаимосвязи малых тел Солнечной системы — астероидов, комет, мелких и крупных метеорных тел. Эта проблема, являющаяся одной из фундаментальных в космогонии малых тел, и сейчас остается нерешенной, несмотря на многочисленные попытки, предпринимавшиеся разными исследователями. Здесь существует целый ряд специфических трудностей. Во-первых, мы имеем дело с совокупностью малых

тел, двигающихся по самым разнообразным орбитам в Солнечной системе, притом совокупность короткоживущей и очень подверженной возмущающему действию планет. Исключение составляют астероиды кольца, именуемого также поясом астероидов. Во-вторых, теория не дает пока четких критериев, которые позволили бы с полной уверенностью отнести то или иное тело к определенному классу.

Далее, известно, что большинство метеорных роев образуется в результате распада ядер комет. Но связь метеорных роев с кометами оказывается гораздо сложнее, чем она представлялась ранее. Возможны целые семейства роев с различными орбитами, связанные с одной кометой, которая, в свою очередь, является членом кометного семейства, возникшего из кометы-родоначальницы, т. е. существуют сложные кометно-метеорные системы.

К сожалению, метеорные орбиты определяются с гораздо меньшей точностью, чем кометные, и это не позволяет строго решить задачу о связи какого-либо роя с той или иной кометой. Например, около 50 лет назад было высказано предположение о возможной связи метеорных роев η -Аквеврид и Орионид с кометой Галлея.

До настоящего времени исследователи расходятся во взглядах на этот вопрос. Кроме того, до сих пор не ясно, что происходит с кометным ядром при испарении входящего в его состав льда: рассеивается оно полностью в межпланетном пространстве или оставляет после себя каменные глыбы?

В связи с этим стоит напомнить о весьма интересной группе астероидов, относящихся к типам Атона, Аполлона и Амура. Орбиты их выходят за пределы пояса астероидов и приближаются к орбите Земли. По поводу этих тел никак не могут «договориться», являются ли они истинными астероидами или «потухшими» кометными ядрами. В одной из своих работ известный американский исследователь малых тел Ф. Уиппл писал, что уже более 30 лет его постоянно занимает мысль, превращаются ли кометы в астероиды, и что по сей день он не знает точного ответа на этот вопрос².

Дополнительные сведения о взаимосвязи малых тел могли бы дать метеориты, изучение которых давно уже стало фундаментом для самых разных космогонических гипотез. Но, к сожалению, мы слишком мало знаем об орбитах этих тел. Сильное отставание этой области исследований по сравнению с изучением метеоритного вещества не позволяет эффективно продвигаться в вопросах происхождения метеоритов и их связи с другими малыми телами.

Это может показаться парадоксальным, но до недавнего времени было известно всего лишь три орбиты метеоритов, полученных по базисным фотографическим наблюдениям. Поэтому все астрономические сведения о метеоритах основывались на различных гипотетических орбитах, вычисленных при тех или иных допущениях о радиантах и скоростях метеоритообразующих тел. В последние годы В. И. Цветковым были также определены вероятные орбиты 14 метеоритных дождей. Его определения основаны на ана-

¹ Астапович И. С. // Астроном. журн. 1939. Т. XVI. Вып. 6. С. 36—37.

² Уиппл Ф. Природа комет. // Кометы и происхождение жизни / Пер. с англ. под ред. С. Поннаперумы. М.: Мир, 1984. С. 9—28.

Пример расчета минерального состава хондры. На гистограмме (внизу справа) синим цветом показан оливин, красным — анортит.

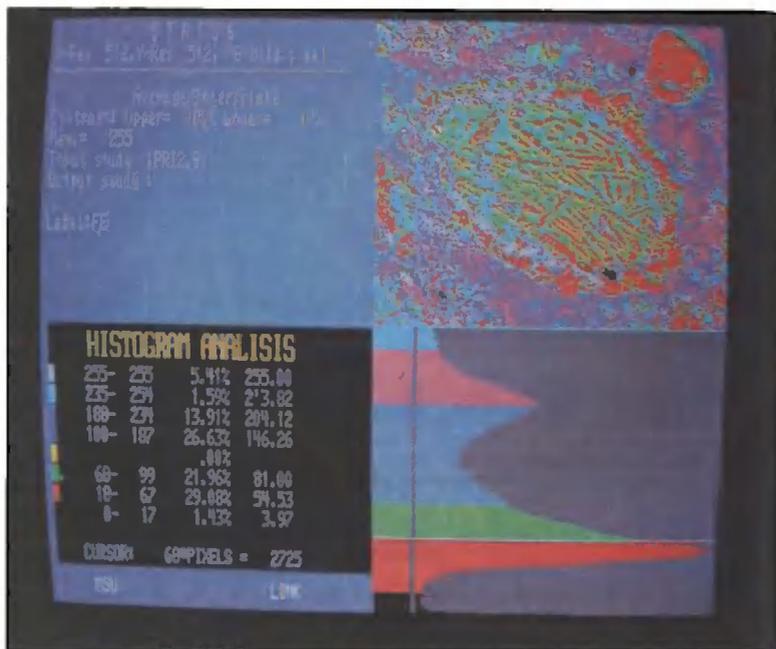
лизе поверхностного рассеяния фрагментов метеоритов.

Столкнувшись с существующей ситуацией, мы предприняли попытку расширить наши знания о метеоритных орбитах за счет накопленного за многие годы материала по фотографическим наблюдениям ярких болидов. Проанализировав около 400 болидов, мы выявили 69 крупных космических тел, которые влетели в земную атмосферу, имея массу от нескольких килограммов до десятков тонн. Из них 34 объекта, не успевшие полностью испариться в атмосфере, выпали на Землю в виде метеоритов с остаточной массой свыше 250 г. Хотя эти мелкие тела пока еще не найдены, тем не менее в арсенале астрономических сведений о метеоритах появилось еще более трех десятков орбит.

Каков же общий характер этих орбит? Почти все они мало наклонены к плоскости эклиптики (до 20°) и целиком расположены внутри орбиты Юпитера, причем у половины из них афелии находятся между внешней границей кольца астероидов и орбитой Юпитера. Кроме того, выявился класс уникальных орбит чрезвычайно короткого периода, целиком расположенных внутри орбиты Земли.

Чтобы понять, какое место данная популяция малых тел занимает в Солнечной системе и какова вообще связь между различными классами малых тел, мы обратились к одному из известных соотношений в небесной механике — постоянной Тиссерана. Эта величина, представляющая собой комбинацию элементов орбиты, характеризует ту начальную энергию, которую тело получило в момент образования и которая сохраняется

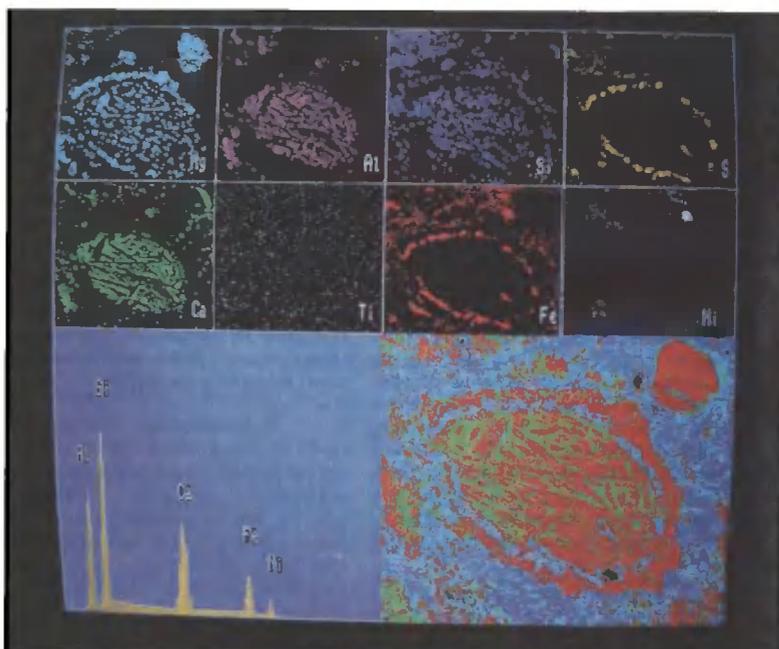
Распределение концентраций химических элементов (вверху), рентгеновский спектр (внизу слева) и минеральный состав (внизу справа) хондры из метеорита Ефремовка.



почти неизменной в процессе эволюции его орбиты под действием возмущений со стороны самой крупной в Солнечной системе планеты — Юпитера. Благодаря этому с помощью данно-

го инварианта можно выявить «родственные» связи внутри комплекса малых тел.

Зависимость числа тел того или иного класса от величины постоянной Тиссерана



была установлена нами для всей совокупности малых тел: долгопериодических и короткопериодических комет, астероидов кольца и астероидов группы Атона, Аполлона и Амура, крупных метеорных тел (в том числе метеоритообразующих), обычных болидов, малых метеорных роев и спорадических метеорных тел.

Оказалось, что короткопериодические кометы семейства Юпитера (с периодом обращения около 5 лет) в большинстве своем имеют иное происхождение, нежели долгопериодические кометы, которые, согласно современным представлениям, приходят во внутренние области Солнечной системы из так называемого облака Оорта, расположенного на ее периферии.

Более 80 % метеоритообразующих тел могут быть связаны с астероидами группы Атона, Аполлона и Амура, а около 10 % метеоритов могут иметь кометное происхождение. В той части популяции крупных метеорных тел, которая не смогла «пробить» земную атмосферу и долететь до поверхности Земли, кометного вещества содержится еще больше — до 35 %. В этой связи напомним, что еще в 1939 г. И. С. Астапович, вычисляя гипотетические орбиты 66 метеоритов, нашел, что кометные метеориты среди них составляют 18 %. А пятью годами раньше он же и, независимо, канадский исследователь П. Миллман пришли к выводу, что ядра комет должны быть близки по составу к кометным метеоритам. В настоящее время необходимо развернуть исследование спектров свечения газов, входящих в состав метеоритов, и сравнение их с кометными и метеорными спектрами. Это позволит полнее понять взаимосвязь всех этих объектов и проникнуть в истинную природу кометных ядер.

Возможно, не случайным окажется и то обстоятельство, что среди всей совокупности каменных метеоритов L-хондриты имеют большую распространенность в распределении малых тел по величине постоянной Тиссерана (они присутствуют как бы всюду в малых телах), чем H-хондриты, тяготеющие к основ-

ным структурным группам астероидов типа Атона, Аполлона и Амура в узком диапазоне постоянной Тиссерана.

Большинство метеорных роев (около 75 %) является продуктом распада кометных ядер и только 25 % — результатом дробления астероидов. Из наблюдаемых болидов одна половина имеет кометное, а другая — астероидное происхождение.

Обнаруживается также очень интересная закономерность в распределении малых тел по постоянной Тиссерана: мелкие частицы (метеорные рои) и крупные метеорные тела, дополняя друг друга, образуют зеркально симметричную

картину. Интересно, что аналогичная симметрия свойственна и двум главным популяциям малых тел — короткопериодическим кометам и астероидам. Данное явление, а также достаточная близость значений постоянной Тиссерана для большинства короткопериодических комет и астероидов говорят, по всей вероятности, об образовании этих популяций тел в каком-то едином процессе или, по крайней мере, в довольно близких условиях. Иными словами, возможна единая природа короткопериодических комет и астероидов — родительских тел метеоритов и метеорного вещества.

О КОМЕТНОМ ПРОИСХОЖДЕНИИ ХОНДРИТОВ

В. А. Алексеев,

кандидат физико-математических наук

Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР
Москва

ХОНДРИТЫ — каменные метеориты, содержащие мелкие (от долей миллиметра до нескольких миллиметров) силикатные шарики — хондры. Это самый распространенный класс метеоритов: из каждых 10 упавших на Землю метеоритов 8 относятся к хондритам.

Откуда метеориты попадают на Землю? В каких местах космического пространства проводят последние миллионы лет своей жизни? Из каких родительских тел выделяются? Все эти вопросы обсуждаются не одно десятилетие и до сих пор не получили окончательного ответа.

Долгое время считалось, что все метеориты, в том числе и хондриты, происходят из главного пояса астероидов —

планетоподобных тел, диаметром от 1 до 1000 км, которые движутся по орбитам, расположенным между орбитами Марса и Юпитера. Однако в настоящее время имеется множество данных, свидетельствующих о возможном происхождении хондритов, в особенности H-хондритов¹, из комет или кометоподобных объектов.

Во-первых, наблюдаются большие различия в космическом возрасте железных метео-

¹ H-хондриты — одна из основных групп хондритов, отличающаяся высоким содержанием железа. Кроме того, выделяются L-хондриты с более низким содержанием железа и ряд менее распространенных групп: углистые хондриты и т. д.

ритов и хондритов. Космический возраст — это время накопления в метеорите продуктов ядерных реакций под действием космических лучей. Для большинства железных метеоритов он превышает сотни миллионов, а в некоторых случаях достигает нескольких миллиардов лет. Космический же возраст основной части каменных метеоритов ниже 30 млн лет. И если за несколько сотен миллионов лет, как показывают расчеты, тело может перейти из главного пояса астероидов на орбиту, пересекающую земную, то за несколько десятков миллионов лет сделать это весьма сложно.

Во-вторых, большие железные метеориты обнаруживают эффект многократного облучения галактическими космическими лучами, что свидетельствует о «выбивании» их при кратерообразующих ударах о поверхность их родительских тел — астероидов. Для каменных же метеоритов число таких многократнооблученных объектов составляет всего лишь около 1 % вместо 50—80 %, вытекающих из теоретических расчетов.

Кроме того, в настоящее время известно около 80 астероидов, проникающих глубоко внутрь орбиты Марса. Эти астероиды по характеристикам их орбит были разделены на три группы: Аполлона, Амура и Атона. Именно эти тела, не входящие в главный пояс астероидов, с начала 60-х годов считаются наиболее вероятными претендентами на роль родительских тел хондритов. В частности, было обнаружено, что альбедо и спектральные характеристики отраженного света этих астероидов близки к аналогичным характеристикам хондритов.

Однако время существования астероидов в группах Аполлона, Амура и Атона невелико — всего лишь несколько десятков миллионов лет (что, кстати, хорошо согласуется с величиной космического возраста хондритов). Столь малое по сравнению с возрастом Солнечной системы (около 4,6 млрд лет) время жизни этих астероидов обусловлено эффективным «вычерпыванием» Землей, Венерой и Меркурием тех

из них, перигелий орбит которых оказывался близок к одной из этих планет. Отсюда следует, что должен существовать некий источник, постоянно поставляющий астероиды в эти группы.

Считать основным источником таких тел главный пояс астероидов нельзя, так как орбиты астероидов, сближающиеся с орбитами планет земной группы, формируются, как уже отмечалось, за сотни миллионов и миллиарды лет, а это во много раз больше времени существования астероидов в рассматриваемых группах. Чтобы обойти это противоречие, английский астрофизик Э. Эпик выдвинул гипотезу о кометном происхождении большинства тел группы Аполлона. Группы Амура и Атона также могут пополняться за счет остатков «умерших» комет. При этом предполагается, что ледяное ядро кометы может содержать каменные глыбы, которые сформировались еще во внутренних частях Солнечной системы и после потери кометой всех летучих компонентов могут пополнять указанные выше группы астероидов.

В последнее время гипотеза Эпика подтвердилась при исследовании как комет, так и метеоритов. В частности, о возможном образовании некоторой части Н-хондритов из комет свидетельствует закономерность, обнаруженная известным американским специалистом в области метеоритики Дж. Вудом. Он установил, что количество выпадавших на Землю Н-хондритов менялось с периодом около 31 года. Этот промежуток времени соответствует орбитальному периоду, типичному для короткопериодических комет.

Недавно обнаруженный астероид 1983 ТВ из группы Аполлона имеет те же параметры орбиты, что и оставшийся после «умершей» кометы метеоритный поток Геминиды. На этом основании был сделан вывод, что данный астероид представляет собой остаток ядра бывшей кометы. Есть и другие орбитальные свидетельства того, что астероиды группы Аполлона связаны с короткопериодическими кометами.

Интересную информацию об условиях образования метеоритов можно получить, ана-

лизируя содержание в них долгоживущих космогенных радионуклидов (т. е. изотопов, порожденных космическим излучением). Например, концентрации ^{53}Mn и ^{26}Al позволяют оценить, какими были радиационные условия в районе метеоритных орбит в течение последних 10 и 2 млн лет соответственно. В нашей лаборатории под руководством А. К. Лаврухиной было изучено распределение содержаний ^{53}Mn и ^{26}Al более чем в 300 метеоритах разных классов. Кроме того, на основе новых данных о скоростях образования стабильных космогенных изотопов были рассчитаны космические возрасты более 200 хондритов, для которых известны содержания ^{53}Mn и ^{26}Al , и исследована зависимость равновесных концентраций этих изотопов в хондритах от их радиационного возраста. Оказалось, что Н-хондриты с малым космическим возрастом (8 млн лет и меньше) содержат примерно на 30 % больше ^{53}Mn , чем тот же тип метеоритов с более высоким возрастом. Для L-хондритов подобно различия не найдено. Содержание ^{26}Al в Н-хондритах с малым космическим возрастом тоже выше, чем в хондритах с высоким космическим возрастом, но здесь различие не столь существенно.

Модельные расчеты показали, что обнаруженный эффект лучше всего объясняется, если исходить из предположения об облучении Н-хондритов с малым космическим возрастом более интенсивным (примерно на 30 %) потоком космических лучей. А это возможно только при большой протяженности орбит этих метеоритов или при более высоком их наклонении к плоскости эклиптики. Отсюда следует мысль о происхождении этой части метеоритов из комет или кометоподобных объектов.

Возможен и другой подход к проблеме происхождения метеоритов, основанный на статистическом анализе данных о времени их падения. Проанализировав все сведения о метеоритах, упавших после 1800 г., мы обнаружили периодичность этих событий. Число падений всех хондритов в целом, как показали расчеты, изменяется с перио-

дами 65 ± 10 и 230 ± 20 лет. Кроме того, частота падения Н-хондритов меняется с периодами $10,5 \pm 0,5$ и 85 ± 10 лет. Эти значения удивительно близки к 11-летнему и 80—90-летнему циклам солнечной активности.

Пока трудно найти удовлетворительное объяснение этому совпадению. Возможно, существуют процессы, сказывающиеся на всей Солнечной системе, включая и само Солнце. Но периодичность в частоте падений метеоритов на Землю вполне объяснима.

Она может возникнуть, если Н-хондриты происходят из комет и если кометы обладают множественной структурой ядер, т. е. состоят из многих тел. Такая структура могла возникнуть на стадии образования планет-гигантов. В результате в облаке Оорта на окраине Солнечной системы накапливались кометы с такими сложными ядрами. При возвращении кометы из облака Оорта к Солнцу от «множественного» кометного ядра под действием солнечной

приливной силы отрывались одно за другим составляющие его тела или группы тел. На больших расстояниях от Солнца они выстраивались в цепочку, постепенно отставая одно от другого.

Такое представление подтверждается и астрономическими наблюдениями: существуют цепочки комет с очень похожими параметрами квазипараболических орбит. Эти кометы одна за другой проходят через перигелий с интервалом от нескольких лет до нескольких десятков лет. В процессе эволюции подобных цепочечных ассоциаций возможно образование родительских тел метеоритов, которые могли бы обусловить периодичность частоты падений метеоритов на Землю.

Итак, накапливается все больше сведений о том, что значительное количество метеоритных тел распределено в межпланетном пространстве не случайно, а в виде дискретных групп, образовавшихся вероятнее всего из «умерших» комет.

ний (примерно до 1 % веса метеорита) извлекается из углистых хондритов органическими растворителями. В этом растворимом органическом веществе, или битумоиде, содержатся те же компоненты (масла, смолы, асфальтены), что и в битумоиде земных осадочных пород, которые сформировались в биосфере. После извлечения из углистого хондрита растворимых органических соединений, в нем, как и в осадочных породах Земли, сохраняется основная масса органического вещества — кероген. Следует отметить, что земной кероген настолько тесно связан с неорганическими компонентами, что степень его преобразования от биогенных остатков к графиту служит мерой метаморфизма осадочных пород.

Означает ли все это, что взезимное органическое вещество углистых хондритов похоже на заведомо биогенное земное органическое вещество? Да, в чем-то похоже. Однако из этого вовсе не следует, что и органическое вещество метеоритов тоже биогенное и что проблемы появления земной биосферы уже не существует. Следы земного загрязнения метеоритов биогенной органикой действительно обнаруживаются, но собственное органическое вещество углистых хондритов имеет отчетливо абиогенную природу. Вот несколько примеров.

Известно, что в аминокислотах живого вещества так называемые левые стереоизомеры резко преобладают над правыми, в метеоритных же аминокислотах левых и правых молекул примерно поровну. Из 55 аминокислот, идентифицированных в углистом хондрите Murchison, 36 в природных образованиях вообще не были известны. Водород метеоритных аминокислот резко отличается от земного по составу изотопов: в нем содержится так много тяжелого изотопа (дейтерия), что это весьма сложно объяснить не только обычным биогенным разделением изотопов, но и вообще какими-либо процессами разделения изотопов, известными в Солнечной системе. По содержанию дейтерия этот водород близок к водороду межзвездной среды.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО МЕТЕОРИТОВ

О. В. Николаева,
кандидат геолого-минералогических наук

Институт геохимии и аналитической химии
им. В. И. Вернадского АН СССР
Москва

УЖЕ более 100 лет известно, что в некоторых метеоритах — углистых хондритах — есть органическое вещество. Углерод в них представлен не графитом или алмазом, не карбидами и не карбонатами, а настоящим органическим веществом, тем самым, с которым имеют дело химики-органики и нефтяники. Содержание такого органического углерода в углистых хондритах разных типов колеблется

от десятых долей процента до нескольких процентов.

Как и во многих земных горных породах, органическое вещество в метеоритах присутствует в разных химических формах. Ничтожная часть его обнаруживается уже в водной вытяжке углистых хондритов. Здесь в концентрации менее 10^{-7} моль/г содержится аминокислоты — структурные единицы всего живого. Существенно больше органических соедине-

В битумоиде углистых хондритов набор углеводородов не совсем такой, как в земном. Например, среди легких углеводородов преобладают не алканы, а ароматические углеводороды, не обнаруживаются (если не считать земных загрязнений) и такие классические биологические метки, как пристан и фитан. Если в земных осадочных породах битумоид и кероген изотопно родственны друг другу, то в углистых хондритах они, скорее всего, возникли из изотопно различных источников, или же из одного, но за счет каких-то совершенно специфических путей разделения изотопов.

Кероген, в котором связано 80—90, а иногда и 100 % всего органического углерода углистых хондритов, к сожалению, изучен гораздо хуже, чем битумоид. Известно, что кероген — это высокомолекулярное вещество, структуру которого определяет наличие конденсированного ароматического каркаса, но степень его графитизации настолько низка, что вещество оказывается рентгено-аморфным и потому непросто для изучения *in situ*. Единственный способ извлечения керогена из породы — химическое растворение всего неорганического вещества метеорита кислотами. При этом и сам кероген, увы, не остается неизменным. И все же даже в таком виде кероген углистых хондритов сохраняет абиогенные признаки. Прежде всего это относится к аномальному изотопному составу керогена. В веществе, состоящем главным образом из углерода, водорода и азота, изотопный состав углерода и азота в общем близок к земному, изотопный же состав водорода совершенно экзотичен: дейтерия в нем еще больше, чем в метеоритных аминокислотах. По мнению специалистов, вещество с таким парадоксальным изотопным составом элементов могло образоваться за счет ионно-молекулярных реакций в межзвездных облаках.

Итак, несомненно, что органическое вещество углистых хондритов — это продукт небиологических процессов органического синтеза в космосе. В земных лабораториях друго-

го такого вещества пока нет. Огромный интерес к нему вызван не только тем, что оно является вероятным предшественником биосферы Земли (об этом следует говорить особо), но и тем, что оно несет информацию о протопланетном облаке, из которого возникли все планеты, включая Землю. Углистые хондриты (единственные метеориты, содержащие органическое вещество) в этом отношении наиболее интересны, еще и потому, что из всех метеоритов они наименее изменены в последующих процессах.

Но и здесь все не так просто. Большинство исследователей неорганической части углистых хондритов полагают, что эти метеориты не являются представителями совершенно неизменного вещества протопланетного облака, поскольку в сформировавшихся из этого облака родительских телах углистых хондритов их вещество испытало воздействие таких характерных для планетных тел процессов, как термальный метаморфизм и гидратация.

Картина усложняется еще и тем, что углистые хондриты представляют собой брекчии — агрегаты фаз, образовавшихся при разных температурах. По содержанию в них летучих элементов выделяются три типа углистых хондритов, обозначаемые как C1, C2 и C3. В самых богатых летучими элементами хондритах C1 резко преобладают минералы, образовавшиеся при низких температурах (главным образом, гидросиликаты), а в самых бедных летучими хондритах C3 — высокотемпературные фазы (оливин, пироксен и т. п.). Вещество хондритов C1 рассматривается как наиболее преобразованное в процессах гидратации, а вещество хондритов C3 — как наиболее затронутое процессами метаморфизма.

При петрографическом исследовании углистых хондритов под микроскопом было отмечено, что гидросиликаты образовались позднее высокотемпературных минералов. Обратного же соотношения, т. е. признаков образования высокотемпературных фаз из гидросиликатов, никогда не наблюдалось. Однако из-за обилия ле-

тучих элементов именно богатые гидросиликатами углистые хондриты C1 оказываются самыми близкими по составу к протопланетному облаку, или, как говорят, самыми примитивными в химическом отношении. Но тогда выходит, что гидросиликаты не могут быть вторичными (более поздними) образованиями родительских тел. Какому же свидетельству отдать предпочтение — химическому или петрографическому?

Органическое вещество в этом контексте не рассматривалось, хотя оно теснейшим образом (на субмикронном уровне) связано с различными минералами углистых хондритов. В частности, до сих пор как-то не акцентировалось внимание на том, что в ряду C1 — C2 — C3 параллельно с изменением неорганических составляющих закономерно меняется и органическое вещество: падает суммарное содержание органического углерода (примерно от 5 % до 0,1 %) и содержание битумоида (примерно от 1 % до 0,01 % веса метеорита), графитизируется кероген¹, переходя от керитов к высшим антраксолитам, «облегчается» изотопный состав углерода, водорода и азота в керогене.

С позиций органической геохимии подобный характер изменения органического вещества в ряду хондритов C1 — C2 — C3 можно было бы назвать термальным метаморфизмом, и это вполне согласовывалось бы с представлениями о метаморфизме неорганической части родительских тел углистых хондритов. Тем не менее, характер изотопных изменений (преимущественная потеря тяжелых изотопов углерода, водорода и азота) прямо противоположен тем метаморфозам, которые свойственны обычному термальному преобразованию такого органического вещества.

Кроме того, судя по петрографическим данным, кероген хондритов C1 образовался одновременно с гидросиликатами, а кероген хондритов C3

¹ Его межплоскостные расстояния d_{002} меняются примерно от 3,8 до 3,5 Å.

ассоциирует с высокотемпературными минералами. Поэтому, если гидросиликаты действительно являются продуктом гидратации высокотемпературных минералов, то сформировавшийся вместе с гидросиликатами кероген хондритов C1 должен быть результатом преобразования керогена хондритов C3. Но это означало бы, что в родительских телах углистых хондритов с органическим веществом произошло что-то совсем уж невероятное: небольшое количество графитизированного органического вещества должно было каким-то образом превратиться в значительное количество неграфитизированного и битуминозного вещества, преобразуясь из высшего антраксолита в керит и накапливая при этом преимущественно тяжелые изотопы.

Наконец, имеются данные о том, что в гидросиликатах углистых хондритов содержится тем больше дейтерия, чем больше его в керогене данного метеорита. В качестве одного из объяснений выдвигается версия, что сам процесс гидратации мог быть вызван частичным окислением органического вещества — переходом водорода керогена в H_2O гидросиликатов. Однако дейтерия в керогене, в свою очередь, тем больше, чем менее он графитизирован. Следовательно, в углистых хондритах C1, где количество гидросиликатов максимально, кероген должен был израсходовать на окисление наибольшее количество водорода и стать самым графитизированным. В действительности, все наоборот: степень графитизации керогена этих хондритов минимальна.

Получается, что результаты совместного рассмотрения органического и неорганического вещества углистых хондритов никак не складываются в цельную непротиворечивую картину. Однако следует напомнить, что в нашем рассмотрении наряду с фактами фигурировало и традиционное допущение, состоящее в том, что вещество углистых хондритов подвергалось процессам термального метаморфизма и гидратации уже в родительских телах. Между тем, эта гипотеза никогда не привлекается исследователями соб-

ственно органического вещества метеоритов, поскольку все его особенности непротиворечиво объясняются процессами, протекающими на ранней стадии существования протопланетного облака и в межзвездной среде.

Не так ли обстоит дело и с неорганическим веществом углистых хондритов? Тем более, что их родительские тела известны. Это многочисленные астероиды, относимые к спектральному типу C, — небольшие тела неправильной формы, для

которых сама возможность протекания в них процессов планетарного типа весьма проблематична. Может быть, все вещество углистых хондритов следует рассматривать как комплекс разнообразных первичных образований протопланетного облака, а те процессы, которые обычно принимают за термальный метаморфизм и гидратацию в родительских телах следует относить непосредственно к протопланетному облаку.

ЧТО ГЕОЛОГИ НАХОДЯТ В МЕТЕОРИТИКЕ

В. Л. Масайтис,
доктор геолого-минералогических наук

Всесоюзный геологический научно-исследовательский институт им. А. П. Карпинского Министерства геологии СССР
Ленинград

МОЖЕТ показаться, что метеоритика, в широком смысле слова, весьма далека от проблемы изучения недр нашей планеты и поисков минерального сырья. Действительно, метеориты лишь в редких случаях близки по составу к некоторым породам Земли. В частности, такая разнородность каменных метеоритов, как базальтовые ахондриты, обладает известной близостью к богатым магнием магматическим породам. Это сходство давало повод некоторым исследователям рассматривать большинство метеоритов как различные продукты неких магматических процессов, подобных тем, что происходили в глубинах Земли. И если это в какой-то мере оправдано по отношению к ахондритам, данные о других типах метеоритов (в частности, их изотопный состав) однозначно свидетельствуют, что они возникли в результате совершенно различных по своей природе процессов — аккреции, конденсации, ударных преобразований — в далеко отстоящих

друг от друга частях протопланетного диска.

Геологам метеориты интересны не только тем, что они являются свидетелями рождения нашей планетной системы и могут рассказать о процессах, в результате которых сформировалась Земля. Приток космического вещества с окраин Солнечной системы продолжается и поныне, и, хотя обусловлен он, прежде всего, выпадением пылевых частиц, метеориты вносят в него определенный вклад.

Понятно, что незначительный по сравнению с массой земной коры приток космического вещества, даже если он продолжался сотни миллионов лет, не мог существенно повлиять на процессы осадконакопления на поверхности Земли. Гораздо более значительный геологический эффект вызывают относительно редкие, но грандиозные столкновения с Землей крупных метеоритов, небольших астероидов или комет. В результате таких событий возникают огромные, достигающие десят-

ков километров в диаметре кратеры, заполненные породами, которые были раздроблены и частично переплавлены при взрыве.

Такие возникшие в геологическом прошлом и частью уже разрушенные круговые морфоструктуры — астроблемы — обнаружены во многих районах земного шара. Преобразованные при взрыве горные породы несут петрографические признаки колоссальных давлений, измеряемых десятками гигапаскалей. Именно благодаря этим признакам оказалась возможной уверенная диагностика астроблем. В настоящее время на суше выявлено свыше 100 таких структур и возможность обнаружить новые далеко не исчерпаны¹.

Возникшая в результате удара круговая впадина, окруженная валом выбросов (она обычно четко выделяется магнитной и гравитационной аномалиями), может оказать влияние на течение последующих геологических процессов. Кратер надолго становится изолированным бассейном, где накапливаются толщи осадочных пород. Если кратер возник на мелководье, кольцевой вал выбросов может стать своего рода атоллom, окруженным органическими известковыми наростами — биогермами. По данным эстонских геологов В. А. Пуура и К. А. Сууроя, подобный атолл образовался около 470 млн лет назад в районе кратера Кярдла на о-ве Сааремаа. Зачастую зоны трещиноватости под дном впадины и заполняющие ее породы становятся путями циркуляции подземных вод, которые могут переносить и отлагать те или иные компоненты, в том числе рудные.

Несколько особняком стоит вопрос о малых (десятики и сотни метров в диаметре) метеоритных кратерах. За последние годы в ряде районов нашей страны обнаружены небольшие округлые впадины, обычно окруженные валом. В

них не найдены остатки метеоритов, не обнаружены какие-либо признаки ударного метаморфизма, поскольку энергия ударной волны была слишком мала для преобразования пород. Чтобы такие впадины отнести к метеоритным кратерам, требуются специальные обоснования. В частности, должны быть выявлены определенные типы перемещения пластов и глыб пород на бортах впадин, найдены выброшенные обломки более древних пород, залегающих на более мелких горизонтах. Количество малых метеоритных кратеров может оказаться очень значительным. Но последнее слово в споре о происхождении той или иной конкретной впадины, конечно, за геологами.

Изучение довольно крупных (диаметром несколько десятков километров) круговых структур, происхождение которых дискутировалось на протяжении десятилетий, позволило найти ответ на несколько геологических загадок. Такой загадкой было, в частности, происхождение Городецко-Ковернинской зоны дислокаций (иначе, деформаций), осадочного чехла и Воротиловского выступа кристаллического фундамента, расположенных в районе города Горького. За столетнюю историю исследования этого района было высказано более двадцати гипотез, объясняющих происхождение дислокаций и выступа по движениями блоков земной коры, по выжиманием масс каменной соли, якобы находящейся на глубине, до вулканическими и ледниковыми явлениями. В середине 60-х годов Л. В. Фирсов, проанализировав все опубликованные материалы, пришел к заключению, что наиболее правдоподобной причиной образования зоны дислокаций, названной им Пучеж-Катунской впадиной, и выступа в ее центре мог быть взрыв при ударе крупного метеорита. Последующие петрографические исследования образцов из этого района, проведенные нами, выявили признаки интенсивного ударного преобразования пород. Это дало возможность обосновать космическое происхождение Пучеж-Катунской впадины, диаметр которой составляет около 80 км.

Еще один яркий пример решения геологического спора — признание ударного образования некоторых типов алмазов. Уже давно в речных наносах были обнаружены мелкие необычные алмазы. Одни из них имели пластинчатую форму и темно-серую или зеленовато-желтую окраску, другие представляли собой белые сахаровидные агрегаты. Такие алмазы никогда не встречаются в обычных коренных источниках — кимберлитовых трубках, и происхождение их объясняется поразному. Например, Ю. А. Полкановым и другими исследователями в свое время высказывались предположения, что часть этих алмазов когда-то входила в состав метеоритов, выпавших на земную поверхность.

В начале 70-х годов геологами и минералогами Всесоюзного научно-исследовательского геологического института Министерства геологии СССР и других организаций в импактатах, т. е. породах заведомо ударного происхождения, были обнаружены точно такие же пластинчатые алмазы, что и в россыпях. Удалось выяснить, что они возникли из графита кристаллических пород, расплавленных при прохождении ударной волны. При этом пластинчатые алмазы сохранили форму исходных кристаллов графита и ряд других его особенностей, например изотопный состав углерода².

Недавно было также установлено, что алмазы могут образоваться в результате интенсивного ударного преобразования песчаников, содержащих прослойки угля. Алмазы эти уже не пластинчатые, а совершенно иного облика: в одних случаях они напоминают кусочки янтаря и окрашены в коричневый или черный цвет, в других — образуют белые сахаровидные агрегаты. Но независимо от облика они наследуют некоторые особенности состава углей, из которых образованы. Например, соотношения изотопов углерода в них такие же, как и в углях. Такие возникшие из угля алма-

¹ Иванов Б. А., Базилевский А. Т. Метеоритные кратеры // Природа. 1985. № 10. С. 23—35.

² Бурмин Ю. А. Алмазы, которые есть везде // Природа. 1983. № 11. С. 46—51.

зы найдены в импактитах, образовавшихся при ударном плавлении песчаника.

Интересно, что и пластинчатые, и сахаровидные алмазы, помимо кубической, часто содержат еще и гексагональную структурную модификацию алмаза — лонсдейлит. Это очень важный момент: находка содержащих лонсдейлит алмазов в породах земных ударных кратеров позволила более обоснованно судить о происхождении подобных алмазов, встречающихся в каменных метеоритах — уреилитах. Кроме того, оказался решенным вопрос о первоисточнике таких минералов в россыпях ряда районов.

А вот еще один пример — решение старого геологического спора о происхождении знаменитого никеленосного интрузивного массива Садбери на Канадском щите. Уже давно установлено, что образовавший его магматический расплав еще в раннем протерозое (около 1900 млн лет назад) внедрился в придонную часть крупного ударного кратера, диаметр которого доходил до 140 км. Среди его раздробленных пород были известны и импактиты. Оставалось, правда, непонятным, как соотносились между собой метеоритный взрыв и внедрение глубинного расплава, кристаллизация которого привела к образованию в интрузивном теле отдельных слоев, близких к базальту и граниту. Кроме того, было неясно, почему в интрузивном массиве Садбери, в отличие от других никеленосных массивов, отсутствуют магнетитовые породы и столь значительна доля гранитов.

Все эти парадоксы разъяснились, когда Б. Фэггарт и другие исследователи определили соотношения изотопов самария и неодима в разных группах пород: в импактитах этой астроблемы, в заполняющих ее брекчиях, в породах никеленосного магматического тела, а также в окружающих кратер кристаллических породах. Оказалось, что эти соотношения не различаются между собой и типичны для вещества земной коры, отделившегося от мантии еще около 2,5 млрд лет назад. Это означает, что расплав, образовавший никеленосный мас-

сив, возник за счет плавления древних кристаллических пород коры, а не в результате дифференциации мантийного вещества. Образование такого расплава под дном кратера, вероятно, явилось результатом дополнительного нагрева уже горячих пород коры (находившихся в зоне повышенного температурного градиента) за счет удара метеоритного тела. Перемещение расплава вверх, в основание кратера, было вызвано мощными возвратными движениями его дна, характерными для всех метеоритных кратеров, диаметр которых превышает 2—3 км. Необычный состав и строение массива Садбери объясняются тем, что он возник за счет переплавления кристаллических пород земной коры, содержащих в рассеянном состоянии никель и другие металлы.

Геологическое исследование астроблем, особенно крупных, может быть интересным и для выяснения глубинного строения района, в котором возник тот или иной кратер. Поскольку при ударе метеорита о поверхность материал иногда выбрасывается с глубины нескольких километров, в нем могут быть найдены обломки глубинных пород. В то же время среди массы обломков, заполняющих кратер, встречаются такие породы, которые в отдельные эпохи залегали на поверхности, а в настоящее время полностью уничтожены эрозией. Все это дает возможность восстановить недостающие страницы геологической летописи.

В отдельных случаях выпадение больших масс космического вещества приводит к региональным и даже глобальным последствиям, именуемым геологический, геохимический и биологический аспекты. Возможно, одно из таких событий происходило на рубеже мела и палеогена (около 65 млн лет назад), о чем уже рассказывалось в журнале³. Интересно, что соответствующие этому событию тонкие слои осадочных пород, содержащие мелкие обломки ударно-метаморфизованных ми-

нералов, найдены за сотни и тысячи километров от района предполагаемой космической катастрофы.

Как выяснилось в последние годы, с древними ударными кратерами связаны отдельные виды минерального сырья. Помимо уже упоминавшегося массива Садбери, следует отметить свинцово-цинковые руды астроблемы Сильян на Балтийском щите, а также уголь, горючие сланцы, бентонит, гипс, ангидрит, фосфориты и другие полезные ископаемые, отлагавшиеся в некоторых других кратерных озерах. В отдельных погретенных астроблемах заключены скопления нефти и минерализованных вод, что обусловлено наличием хороших структурных ловушек в виде раздробленных пород, перекрытых глинами. Таким образом, крупные астроблемы играют определенную минерагеническую роль.

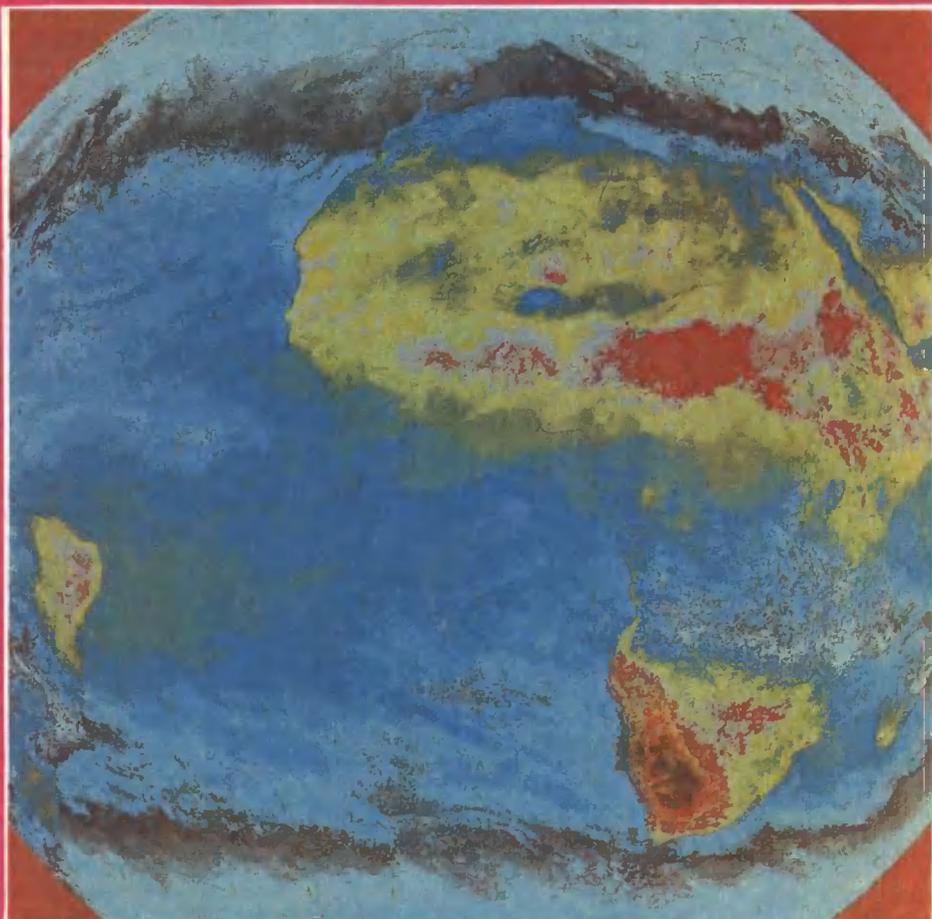
Из сказанного вытекает, что падение на Землю крупных метеоритов и других космических тел уже после формирования ее твердой коры имеет серьезные геологические следствия. По этой причине более пристальное внимание геологов к структурам, порожденным такими событиями, изучение многих пока еще неясных вопросов, связанных с их строением и составом заполняющих их пород, позволят существенно углубить наши знания о строении земной коры. Несомненно также, что это приведет к прогрессу в изучении природы самих космических тел и в конечном счете тех процессов, которые ответственны за образование Солнечной системы.

Публикацию подготовила
Л. Д. Майорова.

³ «Редкие события в геологии» // Природа. 1986. № 1. С. 53—66.

ОКЕАН ИЗ КОСМОСА И В ЛАБОРАТОРИИ

К. Н. Федоров



Распределение температуры на поверхности земного полушария, включающего Африку и Атлантический океан. Изображение получено путем обработки данных, переданных в декабре 1984 г. с геостационарного метеорологического спутника Европейского космического агентства «Meteosat-2». Цвета (от серо-фиолетового до красного) соответствуют температурам от 11 до 38° С. [Из: Veille climatique satellitaire. 1985. № 5.]

НЕОБЪЯТНЫЙ, бескрайний океан и маленький человек! С высоты человеческого роста, с мостика корабля и даже с борта самолета, летящего на высоте 10 км, весь океан не окинуть взором. Лишь геостационарный искусственный спутник Земли, круговая орбита которого находится на высоте около 36 тыс. км над уровнем моря, позволяет обозреть полушарие Земли разом или сфотографировать целиком такой, например, как Атлантический. До недавнего времени, если можно так сказать — в доспутниковую эру, закончившуюся ровно 30 лет назад, океанологи, изучавшие океан по частям со сравнительно небольших кораблей, уподоблялись тем самым семи мудрецам, которых попросили описать слона наощупь, с завязанными глазами. И нужно отдать должное настойчивости и координации действий океанологов мира, которые со своей задачей справились гораздо лучше пресловутых мудрецов. В этом можно лишний раз убедиться, познакомившись с классическим трудом Ю. М. Шокальского «Океанография» (1917), с плодотворной концепцией гидросферы В. И. Вернадского, изложенной в книге «Живое вещество в химии моря» (1923), или с известной монографией американских ученых Х. У. Свездрупа, М. Джонсона и Р. Флемминга «Океаны: их физика, химия и общая биология» (1942).

Позже наступила пора естественной специализации знаний, исследования пошли вглубь, и целостное научное видение океана, достигнутое к середине нынешнего столетия, стало утрачиваться, уступая место детальному изучению и описанию отдельных процессов, протекающих в океане, выявлению локальных особенностей его структуры, созданию частных теоретических концепций, объясняющих (часто независимо друг от друга) различные стороны многогранной природы Мирового океана. Иногда эти концепции вступали в противоречие между собой точно так же, как не соответствовали друг другу описания слона, сделанные незрячими мудрецами. Хорошо понимая как необходимость, так и опасность узкой специализации исследований, наиболее дальновидные ученые неоднократно предпринимали шаги для предотвращения ее вредных последствий. Международный геофизический год (1957—1958), например, был, помимо всего прочего, одной из таких важных попыток. Появление искусственных спутников Земли было поэтому чрезвычайно своевременным. Спутники постепенно вернули нам возможность глобального видения океана.

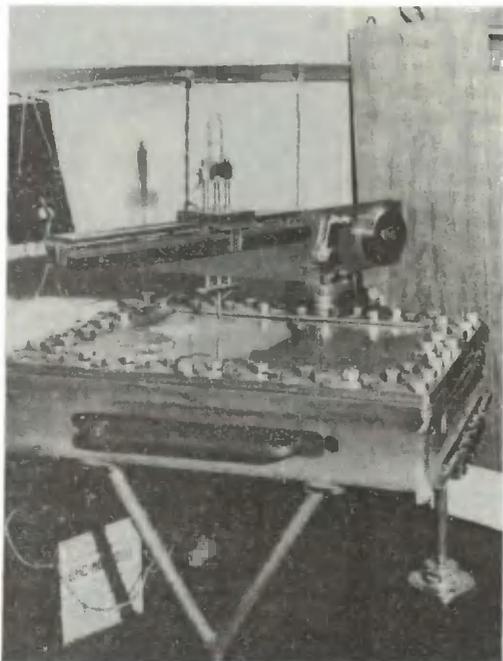
Однако то, что удалось зарегистрировать и увидеть со спутников на поверхности океана, не вписывалось в рамки традиционных представлений о движении вод. Оно оказалось значительно более изменчивым, чем считали ранее. Столь быстротечную изменчивость нужно было как-то объяснить и связать с медленными процессами, происходящими в толще вод. И здесь на помощь пришел лабораторный эксперимент.

МОЖНО ЛИ ЭКСПЕРИМЕНТИРОВАТЬ С ОКЕАНОМ?

Чтобы объяснить естественную изменчивость какого-либо физического процесса, необходимо системати-



Константин Николаевич Федоров, доктор физико-математических наук, заведующий отделом экспериментальной и космической океанологии Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР. Участник многих экспедиций на научно-исследовательских судах АН СССР. Специалист в области океанических течений, фронтов, тонкой структуры океана. Автор книг: *Тонкая термохалинная структура океана*. Л., 1976; *Физическая природа и структура океанических фронтов*. Л., 1983. Неоднократно печатался в «Природе».



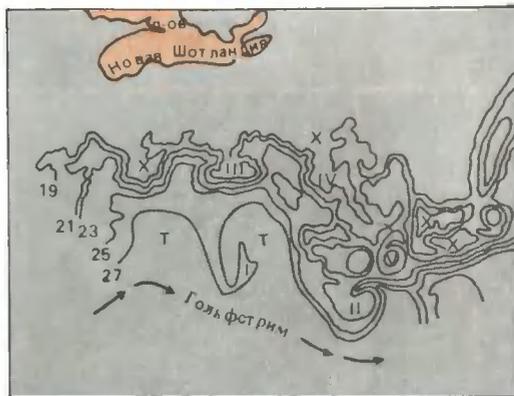
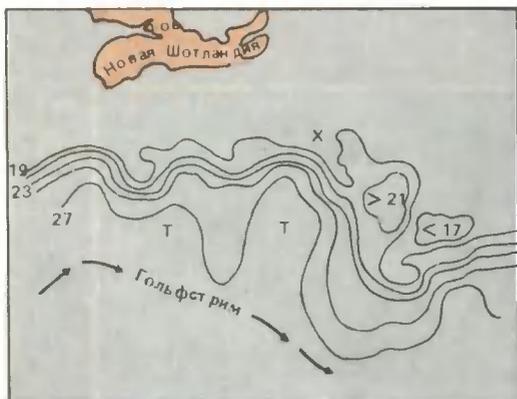
«Безводная» лабораторная модель для изучения циркуляции вод Берингова моря, созданная в 1954 г. в ИОАНе В. Б. Штокманом.

чески наблюдать за его ходом в целенаправленно изменяемых условиях. Но ведь не заставишь же океанические течения повернуть вспять, не уговоришь океан перемешиваться по приказу. Чтобы изменить естественный ход физических процессов в океане, нужны колоссальные затраты энергии, которые нам недоступны. Многие, конечно, можно сделать, подкараулив в океане подходящий момент и направив корабль именно туда, где происходят или произошли ожидаемые изменения. Именно так изучались следы энергичных воздействий тропических ураганов и тайфунов на океан или никогда ранее не наблюдавшиеся изменения в направлении пассатов и течения Кромвелла в Тихом океане во время явления Эль-Ниньо 1982—1983 гг¹. Но до подлинно контролируемого эксперимента в океане от таких целенаправленных наблюдений все-таки еще далеко.

А нельзя ли «поместить» океан или хотя бы какую-нибудь его часть в уменьшенном виде в лабораторию? Нельзя ли в лабораторных бассейнах воспроизводить хотя бы некоторые из тех сложных и взаимосвязанных процессов, которые характеризуют многогранную и изменчивую природу океана? Меня, например, этот вопрос волновал с самой студенческой скамьи. Основные трудности в этой области всегда были связаны с необходимостью соблюдения физических законов подобия, которые во многих случаях при существенном уменьшении размеров модели по сравнению с реальными океанскими масштабами упорно не хотели выполняться. Отдельным ученым, однако, еще в 50-е годы нынешнего столетия удалось найти некоторые удобные физические аналоги, позволившие избежать трудностей, связанных с непосредственным моделированием течений в жидкости, в частности в воде. Так, выдающийся советский гидрофизик В. Б. Штокман обнаружил аналогию между математическими уравнениями, описывающими изгиб упругой пластины под распределенной нагрузкой, и уравнениями для осредненной по глубине циркуляции воды в море или океане, возбуждаемой полем напряжений ветра, приложенных к морской поверхности. На этой основе в Институте океанологии АН СССР (ИОАН) была построена уникальная модель Берингова моря, первые эксперименты с которой в 1953—1954 гг. проводил автор этой статьи. В этой модели не было ни капли воды. Металлическая пластина, зажата по контуру, подобному контуру Берингова моря в соответствующей картографической проекции, нагружалась внизу подвесными гирьками, вес которых был пропорционален ветровым напряжениям. Величины прогибов пластины измерялись микрометром, передвигавшимся по консоли над пластиной, а затем пересчитывались в значения интегральных потоков воды. Приблизно в то же время в Англии в Национальном институте океанографии в Уормли интересные модели течений Северного моря были построены изобретательным японским специалистом С. Ишигуро. В этих моделях вместо воды циркулировал электрический ток, а различные гидродинамические эффекты создавались сопротивлениями и емкостями. На похожих моделях до сих пор практикуются студенты Ленинградского гидрометеорологического института.

А в Гренобле (Франция) еще в 60-х годах в университетской лаборатории была

¹ Федоров К. Н. Долгая память океана // Природа. 1980. № 1. С. 71—77; Он же. Этот капризный младенец — Эль-Ниньо // Природа. 1984. № 8. С. 65—74.



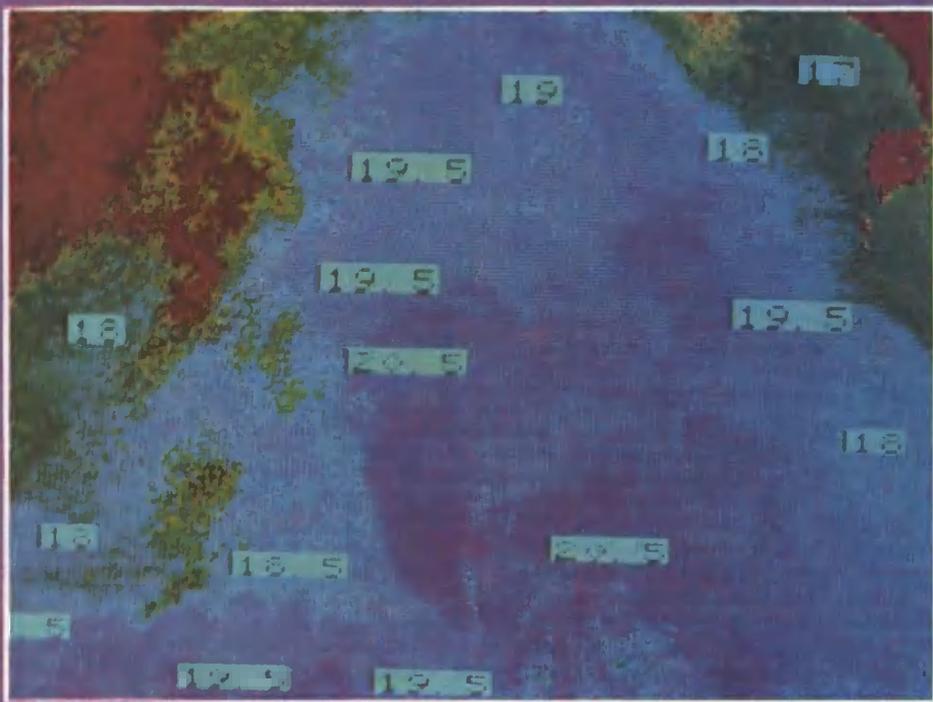
Распределение температуры (числа у изотерм — значения в градусах Цельсия) на поверхности океана во фронтальной зоне Гольфстрима, разделяющей теплые (Т) и холодные (Х) воды. Слева — изотермии, проведенные на основе одновременных измерений с нескольких кораблей; справа — на основе измерений установленным на спутнике ИК-радиометром с широкой полосой сканирования. На рисунке справа хорошо видны вихревые структуры различной формы, напоминающие гриб, молоток и т. п. (I—V).

построена большая вращающаяся платформа диаметром 14 м, позволившая воссоздать эффекты вращения Земли при изучении жидких течений. На этой платформе, например, проводились эксперименты по моделированию приливных течений в устье р. Ранс, где строилась первая в мире крупная приливная гидроэлектростанция. На платформе можно было видеть целый участок побережья Бретани в масштабе и во всех деталях конфигурации берега и рельефа дна. Рабочей жидкостью была вода. Позже на этой платформе исследовалось влияние вращений Земли на поведение внутренних колебаний в стратифицированной жидкости.

Эти и другие более сложные и разнообразные экспериментальные работы стали осуществляться потому, что наконец были поняты широкие потенциальные возможности лабораторного эксперимента как инструмента или метода исследований. Если требовалось, можно было увеличить угловую скорость вращения установки до нужного предела. Оказалось, что для увеличения вязкости рабочей жидкости можно использовать водные растворы глицерина различной концентрации. А комбинацию термической и солевой стратификаций можно, как оказалось, с успехом заменять комбинацией солевой и сахарной, тем самым предотвращая неконтролируемые утечки тепла через стенки бассейнов. Выяснилось также, что лабораторный эксперимент удобен еще и тем, что в нем можно выделить один какой-либо процесс и изучать его изолиро-

ванно, тогда как в природе любой процесс протекает в тесном взаимодействии с десятком других. Поэтому в океане наблюдаемое явление практически никогда не бывает следствием одного какого-нибудь процесса.

В 70-е годы лабораторный гидрофизический эксперимент стал полноправным методом исследования в руках океанологов наряду с аналитическими и численными методами теоретической геофизической гидродинамики. За сравнительно короткий десятилетний отрезок времени в нашем институте были проведены интереснейшие эксперименты, в которых изучалась конвекция и влияние вращения на ее упорядочивание, перемешивание и растекание перемешанных объемов в стратифицированной жидкости под действием возникающих градиентов давления (без вращения и под влиянием вращения), устойчивость плотностных фронтов во вращающихся жидких системах, упорядочивание турбулентных движений в жидкости за счет стратификации и вращения. Наш экспериментальный опыт существенно дополнял зарубежные экспериментальные работы, а в отдельных случаях существенно их опережал. Проведенные эксперименты показали, что движение жидкости под влиянием тех сил, которые действуют в природе, намного сложнее, чем нам казалось раньше. Наши представления о процессах, происходящих в толще вод океана, значительно обогатились за счет новых знаний о поведении стратифицированной жидкости, полученных в лабораторных экспериментах. Так, например, эффек-



Распределение температур для участка Тихого океана. Изображение получено на основе обработки переданных в феврале 1986 г. данных со спутника «Космос-1689», оснащенного сканирующим устройством с дополнительным инфракрасным каналом. [Обработка проведена сотрудниками «Главкосмоса» под руководством А. С. Селиванова.]

ты, связанные с растеканием перемешанных объемов, подсказали нам, что энергия, освобождающаяся в океане при неустойчивости внутренних волн, совершает основную работу по перемешиванию вод не поперек, а вдоль поверхностей равной плотности. Другие же эксперименты, проведенные в основном в Кембридже английскими и австралийскими учеными, привели к выводу, что перемешивание поперек поверхностей равной плотности производит главным образом медленная конвекция, связанная с большим различием в скоростях молекулярного переноса тепла и соли. По нашим оценкам, условия стратификации, благоприятные для развития такой конвекции, встречаются примерно в 50 % объема Мирового океана. Благодаря проведенным экспериментам, мы смогли многое узнать о разнообразных источниках кинетической энергии (внутренние волны, конвективная неустойчивость, градиенты скорости и т. д.), порождающих турбулентность и осуществляя-

ющих перемешивание в толще вод океана, и нашли подходы к количественной оценке их эффективности. Выполнить такие исследования непосредственно в океане или путем абстрактных теоретических построений было бы просто невозможно.

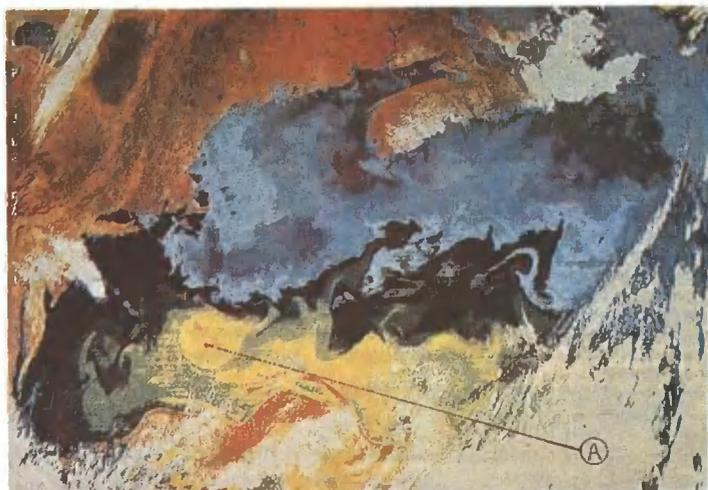
ОКЕАН В МАСШТАБАХ ЛАБОРАТОРИИ И С ОРБИТЫ СПУТНИКА

Этот прогресс в экспериментальных исследованиях произошел практически одновременно с освоением океанологами новой информации об океане, получаемой с искусственных спутников Земли. И на спутниковых изображениях океанических течений, и на фотографиях некоторых лабораторных экспериментов удалось увидеть много сходных явлений, возникли интересные параллели между двумя, казалось бы, совершенно различными по масштабам и методологии путями исследования.

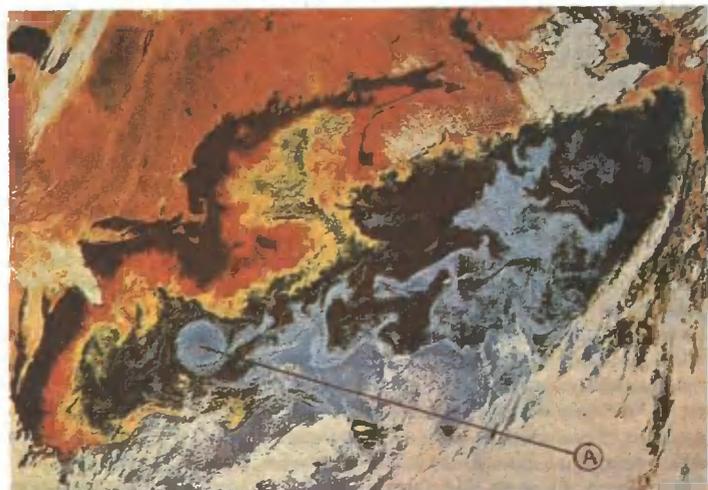
Впрочем, между этими двумя подходами можно при желании усмотреть и сходство. Автор научно-фантастического романа наверняка мог бы легко представить себе гиганта-экспериментатора из числа внеземных пришельцев, для которого наш земной шар, покрытый водной и воздушной оболочками, вместе с его материковыми барьерами представлял бы собой экспериментальную установку для изучения движения жидкости на вращающейся сфере. Что увидел бы этот гигант, наблюдая за перераспределением льда, планктона, неорганических взвесей или же теплых и холодных вод под влиянием океанических течений? То же самое, что видим и мы на различного рода изображениях, получаемых с помощью искусственных спутников Земли! Если бы при

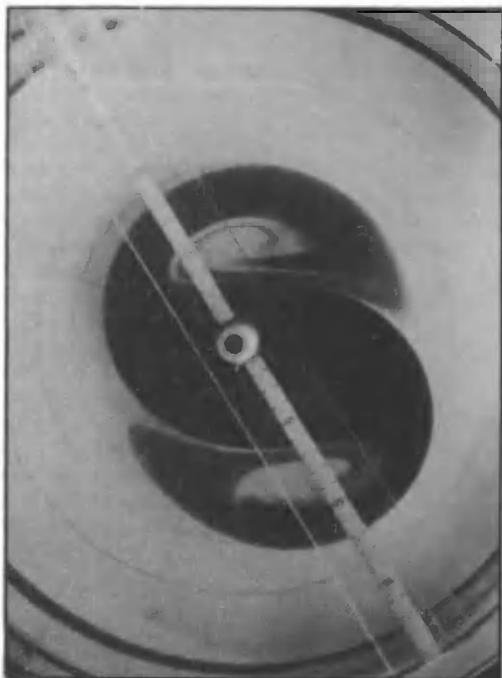
этом наш воображаемый гигант-экспериментатор умел по желанию изменять угловую скорость вращения Земли, менять местами полюса, изменять вязкость морской воды и положение материковых границ, а также задавать по своей воле различные динамические возмущения движения жидких оболочек нашей планеты, он ничем бы не отличался от обыкновенного экспериментатора в лаборатории. Фотографии или кинокадры, которые он мог бы получать, фиксируя результаты своего космического по масштабам эксперимента, были бы, наверное, очень похожи на фотографии и кинокадры некоторых наших лабораторных экспериментов.

Быть может, эта фантастическая аналогия способна более наглядно, нежели что-то другое, объяснить тот активный ин-

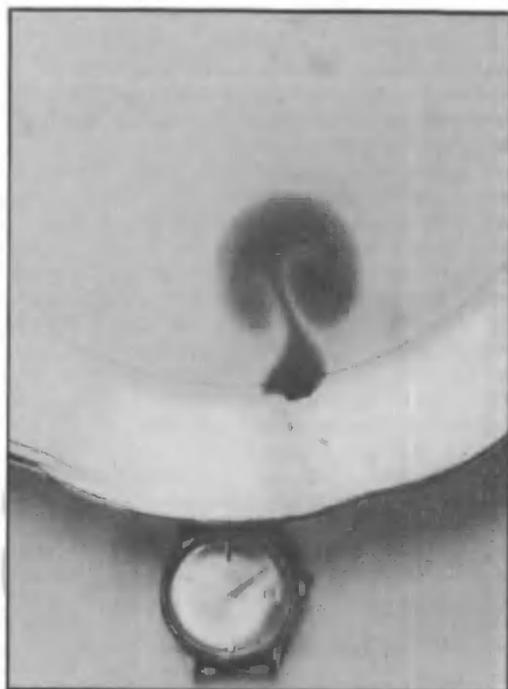


Изображения фронтальной зоны Гольфстрима, полученные одновременно с помощью многозонального оптического сканера и сканирующего ИК-радиометра со спутника «Nimbus» (США). Вверху — распределение хлорофилла (синий цвет соответствует наиболее низким значениям его концентрации); внизу — распределение температуры на поверхности океана (красные и желтые тона соответствуют наиболее высоким значениям температуры). На обоих изображениях стрелкой и буквой А показан антициклонический фронтальный вихрь (ринг), отличающийся низкими значениями концентрации хлорофилла и высокими значениями температуры. (Из: Impact of science on society, Unesco. 1983. № 3/4)





Неустойчивость фронта линзы на границе раздела двухслойной жидкости, вращающейся по часовой стрелке с угловой скоростью $2\pi/9$ с⁻¹. Хорошо видны два циклонических вихря, между которыми «зажат» деформированный остаток антициклонически вращающейся начальной линзы. Зафиксированная ситуация наблюдалась через 6 мин после начала эксперимента. (Эксперимент А. Г. Костяного, ИОАН)



Грибовидное течение в тарелке.

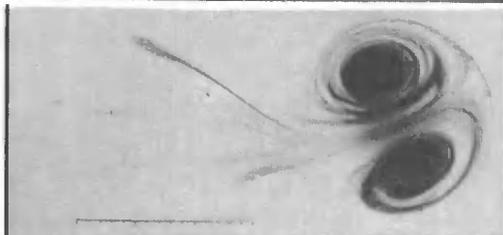
интерес к спутниковым изображениям океана, который стали в последнее время проявлять специалисты в области гидродинамики, как экспериментаторы, так и теоретики, и, особенно, специалисты по численному моделированию океанических течений. Этот интерес необыкновенно возрос, как только появилась реальная возможность систематического получения серий последовательных спутниковых изображений океана и соответствующих им цифровых данных.

Стоит только взглянуть на карты температуры поверхности океана, являющиеся результатом измерений, выполненных различными методами, как преимущества съемок со спутников становятся очевидными. Традиционные измерения с кораблей, даже если их несколько, дают исследователю сильно сглаженную картину распределения температуры, лишенную каких-либо деталей. Подробности пропадают из-за сравни-

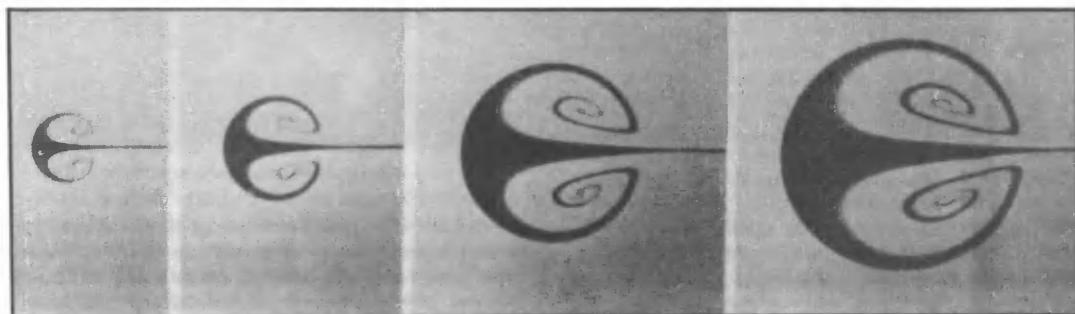
тельно редких точек измерения, между которыми приходится проводить интерполяцию. Да и разновременность выполнения измерений в разных точках пространства сильно искажает общую картину. Съемки с помощью кораблей на больших акваториях (скажем, длиной и шириной 1000 км) обычно занимают не менее недели. Сканирующие инфракрасные радиометры, с помощью которых измеряют интенсивность теплового излучения, устанавливаемые сегодня на искусственных спутниках Земли, способны выполнить такую же съемку температуры поверхности океана за считанные минуты. При высокой разрешающей способности (около 1 км в подспутниковой точке) современные инфракрасные радиометры в безоблачную погоду позволяют исследователям получать детальнейшие температурные карты, которые после обработки и анализа могут о многом рассказывать вдумчивому интерпретатору.



Пара вихревых диполей, сформировавшихся во вращающемся однородном слое жидкости толщиной 4 см из турбулентного облака, образованного локальным антициклоническим закручиванием в течение 6 секунд с помощью лопасти. [Эксперимент А. И. Гинзбург, А. Г. Костяного, А. М. Павлова, К. Н. Федорова, ИОАН.]



Последовательные стадии формирования плоского вихревого (вид сверху) диполя из турбулентного пятна с горизонтальным импульсом в стратифицированной жидкости при начальном значении числа Рейнольдса 1500. [Вид сверху; шкала в сантиметрах. Эксперимент Я. Д. Афанасьева, С. И. Воропаева, И. А. Филлипова, ИОАН.]

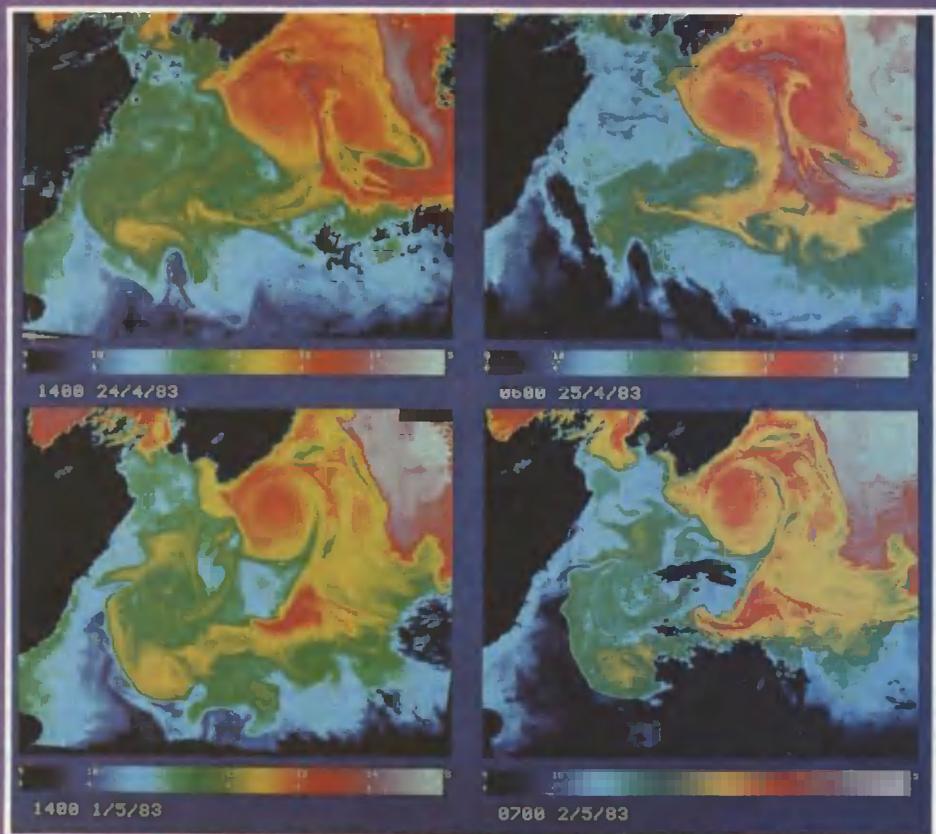


Плоский вихревой диполь, образуемый ламинарной струей в стратифицированной среде (вид сверху). Снимки сделаны через 12, 26, 61 и 120 секунд с момента начала выпуска струи. [Эксперимент С. И. Воропаева и И. А. Филлипова, ИОАН.]

С помощью спутниковых изображений, полученных в тепловом диапазоне спектра, удалось установить, что так называемые фронты — границы сильных течений, возникающих на стыке теплых и холодных вод, вовсе не являются плавными переходными зонами². Они характеризуются

резкими пространственными скачками температуры, чрезвычайно изменчивы и имеют в своей структуре множество не менее изменчивых неоднородностей глав-

² Федоров К. Н. Видимые и невидимые границы в океане // Природа, 1979. № 2. С. 28—35.



Инфракрасные изображения поверхности Тихого океана в районе Новой Зеландии, полученные с американских спутников «NOAA-7», «NOAA-8». На снимках указаны местное время и даты. Желтые и красные тона соответствуют более высоким значениям температуры. На всех снимках хорошо видны два грибовидных течения. Одно из них, направленное на север, развивалось с 24 апреля по 2 мая, его левый теплый антициклонический вихрь приобрел правильную округлую форму к 1 мая. Второе, направленное на юг, хорошо видно лишь днем 1 мая, когда прогрелся приповерхностный слой воды. (Из: New Zealand J. of Mar. and Freshwater Res. 1985, № 3.)

ным образом вихревой природы. Здесь можно увидеть крупные циклонические и антициклонические фронтальные вихри («ринги»)³, вихри средних масштабов, небольшие завихрения на самих фронтальных разделах и вихревые диполи — течения, имеющие грибовидную форму и похожие в плане на разрезанный пополам шампиньон⁴. В последнем случае два вихря, вра-

щающихся в противоположных направлениях, завершают сравнительно короткое струйное течение, ответвляющееся в виде отростка от основного потока. Если рассматривать спутниковые изображения одного и того же океанического фронта, сделанные в разное время, можно увидеть, как все эти структурные элементы возникают, развиваются, распадаются и отмирают. Сам фронт при этом извивается (меандрирует), дышит! Особенно хорошо видно, как от крупных фронтов (например, Гольфстрима) отделяются крупные ринги — вихри с теплым или холодным ядром, которые затем живут самостоятельно по нескольку лет, перемещаются в западном направлении,

³ В циклонических вихрях вода вращается по часовой стрелке в Северном полушарии, против — в Южном, в антициклонических — против часовой стрелки в Северном полушарии, по — в Южном.

⁴ Гинзбург А. И., Федоров К. Н. // Исследования Земли из космоса. 1984. № 6. С. 3—13.

снова сливаются с основным течением или распадаются на материковых или островных склонах. Все эти структурные образования, так хорошо видимые на спутниковых изображениях,— наглядные проявления неустойчивости фронтов. Эти проявления до недавнего времени изучались главным образом теоретически и лишь иногда — путем лабораторного эксперимента. Стало ясно, что явления, о которых мы раньше не могли иметь даже зрительного представления, спутники дают возможность пронаблюдать в ходе развития в масштабах целых океанических бассейнов!

Внимательный анализ спутниковых изображений основных фронтальных зон Мирового океана показал, что, хотя в их сложной кинематической структуре и можно выделить характерные долгоживущие элементы, их сильное взаимодействие между собой затрудняет изучение эволюции отдельных элементов, если можно так сказать, «в чистом виде». Оказалось, что гораздо легче воссоздать эти элементы в лаборатории, где можно изучать изолированно как специфические условия их взаимодействия, так и эволюцию их самих до полного разрушения.

Так, при моделировании во вращающемся бассейне кругового плотностного фронта, возникающего на границе линзы более легкой воды, плавающей на поверхности более тяжелой жидкости, наблюдаются те же самые элементарные формы неустойчивости фронтального раздела, что и в реальном океане. При одной комбинации условий линза, сама представляющая собой антициклонический вихрь, разбивается на два или более циклонических вихря, между которыми продолжает вращаться в антициклоническом направлении сильно деформированный остаток первоначальной линзы. Число периферийных циклонических вихрей, возникающих из-за неустойчивости границы линзы, зависит от конкретных числовых значений некоторых комбинаций физических параметров. В каждом типе опыта такие комбинации (критерии) должны быть заранее определены и заданы экспериментатором. Совершенно иные критерии, например, могут понадобиться, когда из-за слишком большого горизонтального градиента скорости на границе линзы фронт разбивается на большое число маленьких циклонических «вихорьков». Эксперименты, проведенные в нашем институте А. Г. Зацепиным, показали, что придонное трение также может влиять на процессы неустойчивости вихрей и фронтов.



Грибовидная структура, образованная плавающим льдом в заливе Камчатский. Снимок со спутника «Метеор», апрель 1983 г.

В ходе экспериментов выяснилось, что вихри, возникающие на фронтальной границе, могут легко превращаться в вихревые диполи (грибовидные течения). Они оказались универсальной формой реакции жидкости, вращающейся с постоянной во всех точках угловой скоростью (подобно твердому телу), на любое локальное кратковременное возмущение, переданное жидкости практически любым способом⁵. Для получения вихревой пары или нескольких вихревых пар вращающуюся таким образом жидкость достаточно «толкнуть» в какой-либо точке поверхности концом стеклянной палочки или подуть на ее поверхность из трубки, или пустить в ее толще горизонтальную струю из пипетки и т. д. Для того чтобы результат был нагляден, необходимо только поместить каплю концентрированного красителя в точку «возмущения». Наиболее красивые дипольные вихревые структуры, например, получились в одном из наших экспериментов случай-

⁵ Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Павлов А. М., Федоров К. Н. // Известия АН СССР. Сер. «Физика атм. и океана». 1987. Т. 23. № 2. С. 170—178.

но, когда во вращающийся бассейн с водой упали очки экспериментатора.

Изучение атмосферных и океанских условий в тех районах, где спутниками были зафиксированы грибовидные течения, показало, что для этих районов было характерно расслоение приповерхностных вод за счет прогрета или уменьшения солености, наличие резкого фронта, разрушение апвеллинга (прибрежного подъема глубинных вод). Это сопоставление лишь подсказало нам физическую природу причин возникновения вихревых диполей. Проверку этих догадок мы начали с примитивнейших опытов локального возбуждения нестационарных ламинарных (безвихревых) течений в стратифицированной среде. Каждый любознательный читатель может теперь по нашим следам получить красивый вихревой диполь, осторожно пустив из глазной пипетки каплю подкрашенной пресной воды по наклонному бортику суповой тарелки на поверхность соленой воды, налитой в тарелку до уровня бортика. Более аккуратные контролируемые лабораторные эксперименты во вращающихся и стратифицированных жидкостях уточнили и углубили наши догадки и подвели нас к возможностям решения проблемы не только на качественном, но и на количественном уровне.

ПРИРОДА ПРЕДПОЧИТАЕТ ПОРЯДОК

Эксперименты показали также, что ламинарный режим начального течения во все не обязателен. Вихревые диполи, как мы быстро поняли, оказались неизбежным продуктом упорядочения турбулентности под действием одного из двух (или обоих вместе) всегда присутствующих в океане и легко воссоздаваемых в лаборатории факторов: вращения и вертикальной стратификации.

Если выпустить из пипетки в толще стратифицированной жидкости сильную и короткую подкрашенную струю, которая при числе Рейнольдса (характеризующем гидродинамические свойства потока) порядка 1500—2000 возбуждает турбулентность окружающей жидкости, то стратификация через немногие секунды или минуты подавит все вихри с горизонтальной осью, выделит преобладающий по направлению продольный импульс, переданный воде струей, и построит элегантный плоский вихревой диполь. Он будет продол-

жать двигаться в направлении начального импульса, а все первоначально возникшие мелкие турбулентные вихри, двигаясь в разных направлениях, сконцентрируются в двух вихрях: циклоническом и антициклоническом. Число Рейнольдса при этом упадет и в сформировавшемся диполе уменьшится до 10—100. Возникшие в таких условиях вихревые диполи теоретически и экспериментально исследовали в нашем институте Г. И. Баренблатт, С. И. Воропаев и И. А. Филиппов.

В описанных выше опытах вращение было излишним. Эффекта стратификации оказалось вполне достаточно. Но выяснилось, что и вращение воздействует на возбужденное в жидкости турбулентное облако весьма сходным образом. Особенно наглядным оказался наш эксперимент, в котором турбулентное облако, возбужденное быстрым антициклоническим вращением сантиметровой лопасти в жидкости, вращающейся с постоянной во всех точках угловой скоростью, после удаления лопасти из воды упорядочивалось и превращалось в два вихревых диполя, разбежавшихся в противоположные стороны. При этом всегда неуловимо точно срабатывал принцип Праудмена—Тэйлора: движение, первоначально возбужденное лишь в тонком приповерхностном слое воды (лопасть погружалась в воду не более чем на 3—5 мм), распространялось затем на весь слой налитой в бассейн воды толщиной 5—10 см.

Эти результаты экспериментов еще настолько новы, что пока экспериментаторы даже не успели количественно изучить эффекты упорядочения. А это очень важно, так как вполне очевидно, что описываемые эффекты должны быть весьма чувствительны к соотношению масштабов возбуждаемой турбулентности с масштабами вращения и стратификации. Ясно лишь одно: как показали многочисленные измерения в океане, регулярные наблюдения с околоземных орбит и тщательный теоретический анализ закономерностей движения вод на вращающейся Земле (например, работы В. Д. Ларичева и Г. И. Резника), «самоорганизация» беспорядочных турбулентных движений в реальном океане при определенных условиях действительно имеет место. Не исключено, что спектр этих условий, которые еще далеко не изучены, на самом деле необычайно широк.

Еще один интересный эффект, выявленный на основе сопоставления судовых, спутниковых и лабораторных наблюдений и измерений, заключается в необыкновенном

долгожительстве интенсивных одиночных вихрей, часто встречающихся в океане. Оказалось, что очень долго (до нескольких лет!) живут и путешествуют в океане и крупные фронтальные (развивающиеся на фронтах) вихри — ринги, о которых уже говорилось ранее, и менее заметные с поверхности вихри, развивающиеся в толще вод океана на крупных линзах инородных вод, которые образуются при водообмене через фронты и проливы. Эти крупные чечевицеобразные линзы «плывут» на уровне своей плотности, вращаясь вокруг вертикальной оси симметрии. Вращение центральной части линзы — ядра — происходит с большими скоростями и вовлекает в вихревое движение выше- и нижележащие слои воды. Именно это интенсивное вращение оказывает на такие вихри и ринги стабилизирующий эффект, противодействующий дестабилизирующему эффекту неравномерной по широте скорости вращения Земли. По этой же самой причине долго живут и далеко перемещаются тропические циклоны и тайфуны в атмосфере. Теоретические исследования Г. Г. Сутырина и Г. И. Шапиро, которые дали объяснение этому важному и интересному эффекту

долгожительств интенсивных вихрей, были в значительной мере стимулированы анализом спутниковых изображений и изучением результатов лабораторных экспериментов.

Цель этого рассказа не только в том, чтобы продемонстрировать новые свойства сложной физической природы движений вод океана, которые удалось обнаружить, научившись наблюдать за ними с околоземных орбит. Не менее важно, на мой взгляд, прочувствовать и понять, какое подчас неожиданное стимулирующее влияние оказывают находки и открытия, сделанные на основе новых методов исследований, на человеческое воображение, на направление развития теоретической мысли, на способность человека к обобщению разрозненных и различными методами добытых знаний. Спутниковые методы, которым в этом году исполняется 30 лет, оказались именно таким активным стимулятором как в исследованиях Мирового океана, так и во многих других областях наук о Земле.

НОВОСТИ НАУКИ

Океанология

Особая структура вод Северной Атлантики

В последние годы в Северной Атлантике обнаружены районы с водами повышенной солености и плотности (эти воды получили специальное название — промежуточные воды средиземноморского происхождения). Проникнув через Гибралтарский пролив в Атлантику, более соленая и тяжелая средиземноморская вода «сползает» по материковому склону и смешивается с атлантической. Согласно расчетам, ежегодно в океан поступает около

$3,8 \cdot 10^{13} \text{ м}^3$ средиземноморской воды, что составляет примерно 0,01 % всего объема Атлантики.

Этот поток, казалось бы, относительно мал, но область его распространения весьма обширна: сам поток направляется на запад, а к югу и северу от него отходят ветви, образующие иногда отдельные линзы. Одна из таких линз была обнаружена в 1985 г. во время 42-го рейса научно-исследовательского судна «Академик Курчатов» примерно в 670 км от выхода из Гибралтарского пролива. Линза представляла собой особенно яркий контраст с окружающими водами на глубине от 450 до 1400 м; соленость в ее центральной ча-

сти достигала более 36,5‰, температура — более 13,4 °С.

Рельеф дна в этом месте образует как бы естественную чашу, ограниченную изобатой 4000 м между подводными горами Геттисберг, Ормонд, Жозефин, Лайон, Юникорн, Ампер и Корал-Патч. Средиземноморская вода, частично растекаясь по узким проливам между горами, наполняет ложбину. Поскольку через Гибралтарский пролив поступают все новые и новые порции воды, линза регулярно подпитывается. Подобная структура океанских вод — новое явление в океанологии.

НАКАНУНЕ



ФРИДРИХ АРТУРОВИЧ ЦАНДЕР
14 (23).VIII 1887—28.III 1933
Фото 1922 г.

К 100-летию со дня рождения Ф. А. Цандера

ПЕРВОГО ПУСКА

Ю. С. Воронков,
кандидат технических наук

Институт истории естествознания и техники АН СССР
Москва

В ЭТОМ ГОДУ на юбилейных чтениях (в мае — в Риге, а в сентябре — в Москве) широко отмечено 100-летие со дня рождения одного из пионеров космонавтики — Фридриха Артуровича Цандера. Крупные ученые и конструкторы страны, летчики-космонавты СССР всесторонне обсуждали наследие этого замечательного человека, выдающегося исследователя и инженера.

Работы Цандера — и это не просто дань уважения его памяти — до сих пор вызывают большой интерес специалистов: многие его идеи значительно опередили свое время и воплощаются только сегодня, когда ход развития космонавтики, ее возможности, с одной стороны, и практические потребности в ней — с другой, ставят эти идеи в плоскость практической реализации.

Единство замысла просматривается в проекте межпланетного корабля Цандера и современных крылатых воздушно-космических кораблях. Правда, в существующих конструкциях реализован несколько иной принцип — старт ракетный и лишь посадка самолетная. Но в проектах кораблей следующего поколения предусматривается и самолетный старт, и воздушно-реактивные двигатели первой ступени. Далеко продвинулись разработки и задуманного Цандером самолета с гиперзвуковым воздушно-реактивным двигателем, способного совершать орбитальные полеты.

Конечно, расчетные методики Цандера к настоящему времени устарели и не используются, но успешно развиваются его принципиальные идеи: широкое распространение получили жидкие водород и кислород в качестве топлива жидкостных ракетных двигателей; с середины 60-х годов начаты испытания ракетных двигателей, топливо которых содержит добавки различных металлов — работы ведутся достаточно широко, и, несмотря на технические трудности, есть основания оценивать их оптимистически.

Опыт эксплуатации космических аппаратов неоднократно подтверждал также практическую возможность использования «солнечного паруса», в частности, для корректировки траектории полета. Выполнены подробные теоретические и конструктивные разработки такого паруса в качестве маршевого двигателя малой тяги.

Весьма плодотворными оказались и пионерские идеи Цандера из области аэродинамики. Гравитационный маневр — использование энергии гравитационного поля «попутных» планет — впервые был осуществлен в 1959 г. при полете советской автоматической станции «Луна-3» и с тех пор получил широкое распространение: в советском проекте «Вега», американском — «Вояджер» и др. Реализована также идея Цандера «о приложении рабочего импульса» двигателя космического аппарата в непосредственной близости от огибаемого небесного тела при облете Луны советскими и американскими автоматическими станциями. Внимательно изучаются и другие идеи Цандера.

Академик В. П. Мишин,
председатель Комиссии АН СССР
по разработке научного наследия Ф. А. Цандера

ФРИДРИХУ АРТУРОВИЧУ ЦАНДЕРУ выпала недолгая жизнь: неполных 46 лет — до обидного мало! И как коварна была судьба — смерть накануне первого воплощения мечты всей жизни, накануне первого пуска первой его ракеты.

В биографии Цандера немало и романтических, и, может быть, даже роковых совпадений и случайностей. Но, конечно, не они определили его жизнь — жизнь ученого, инженера, изобретателя, организатора, жизнь, полностью отданную одной идее — осуществлению космического полета. Идею воплотили другие люди: соратники, ученики, последователи Цандера — первый искусственный спутник Земли был советским, первым космонавтом планеты был гражданин СССР Юрий Алексеевич Гагарин.

Но без самоотверженного труда Цандера, как знать, быть может, мы бы чуть опоздали и не были бы первыми?

Его научное наследие постоянно привлекало внимание исследователей. Последние двадцать лет оно разрабатывается специальной Комиссией АН СССР, которой собран, обобщен и во многом проанализирован огромный документальный материал из архива ученого, но, что, пожалуй, самое главное — к тщательному изучению наследия Цандера, к оценке его роли в развитии советской и мировой ракетно-космической науки и техники привлечены сотни специалистов.

Что притягивало Цандера к космосу? Возможно, кому-то мечта найти другие космические цивилизации, встретиться с более высоким разумом, покажется навивной. Для Цандера эта мечта была не только началом; она была ведущей, формирующей силой всего его творчества.

НАЧАЛО ПУТИ

Родившись в Риге, в семье врача, Цандер с детства был вовлечен в круг естественнонаучных интересов отца, увлекался астрономией, воздухоплаванием, зарождавшейся тогда авиацией. Отец всячески способствовал стремлению Фридриха к самостоятельности, постоянно поощрял проведение химических опытов, метеорологических наблюдений, выполнение различных расчетов и т. д.

Способности Цандера к точным наукам получили развитие в Рижском городском реальном училище, где такие предметы, как физика, математика, космогра-

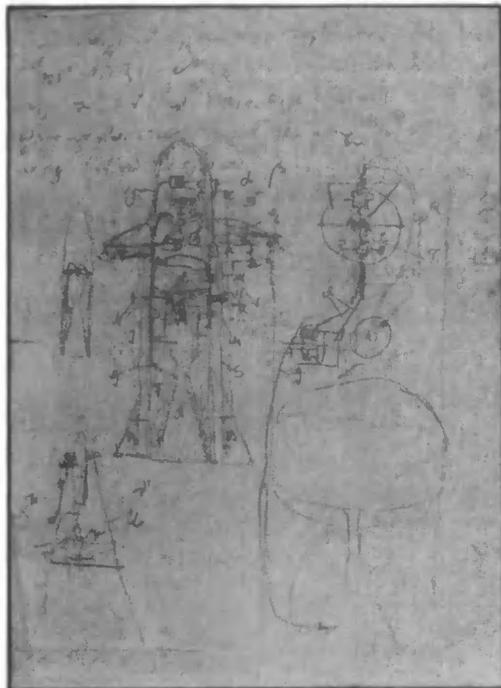


Схема крылатой ракеты Ф. А. Цандера из стенографической рукописи 1924 г.

фия, преподавали талантливые педагоги В. Э. Купфер и Ф. Ф. Весберг. Последний, помимо проведения практических занятий с использованием телескопа, знакомил своих учеников и со всеми новостями из области астрономии. Так, в конце 1904 г. он рассказал ученикам о недавно опубликованной статье К. Э. Циолковского «Исследование мировых пространств реактивными приборами».

Развитию таланта Цандера способствовала его учеба в Рижском политехническом институте (с 1907 по 1914 г.) — одном из наиболее крупных передовых центров инженерно-технического образования России. Немалое влияние на его становление, как исследователя и человека оказала и атмосфера Риги начала века — научные, промышленные, демократические традиции этого города.

В архиве Цандера сохранилось много тетрадей с различными расчетами, заметками, описанием опытов. Пожалуй, впервые свои оригинальные идеи о межпланетных полетах он начинает излагать в специальной тетради «Космические (эфирные) корабли, которые обеспечат сообщение между звездами. Движение в мировом

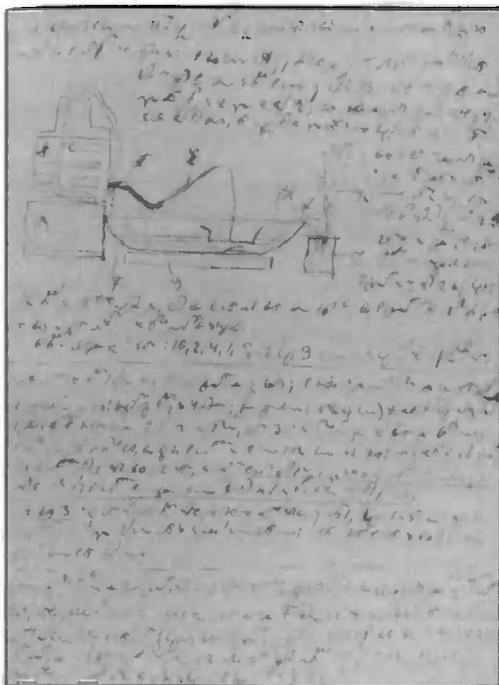


Рисунок установки по выращиванию овощей. 1930 г.

пространстве» (1908—1912 г.). Эта тетрадь интересна во многих отношениях и позволяет проследить возникновение и развитие идей молодого Цандера в период его формирования как глубокого исследователя. Содержание тетради стало известно сравнительно недавно, после ее расшифровки. Дело в том, что во время обучения (1905—1907 гг.) в Высшем техническом училище в Данциге (ныне Гданьск), Цандер освоил немецкую стенографию по ныне почти неизвестной системе Ф. К. Габельсбергера, а около 9000 страниц рукописей в его архиве заполнены стенографическими знаками. Это обстоятельство существенно осложнило всю разработку научного наследия, пока не был подготовлен специалист по ракетной технике, хорошо знавший немецкий язык и изучивший стенографию, которой пользовался Цандер. Теперь эта тетрадь и другие работы ученого становятся доступными для исследования¹.

18 сентября (1 ноября) 1908 г. появляется запись о возможном использовании авиационного двигателя на одном из этапов космического полета. В этой же тетради Цандер рассматривал и рассчитывал различные условия полета на другие планеты при минимальной затрате работы и в кратчайшее время, некоторые проблемы жизнеобеспечения экипажа, впервые высказал мысль о применении металлического горючего, в качестве которого могут быть использованы элементы конструкции летательного аппарата и двигателя. Не отвергал Цандер и, казалось бы, совершенно фантастические предположения — так, в 1910 г. он рассмотрел идею о соединении Земли и Луны тросом, выполнил расчет такого троса; тогда же у него возникла идея использовать для движения космических кораблей магнитное поле Земли — снова следовали расчет и проверка.

Разработки этих лет свидетельствуют о широком кругозоре, об умении Цандера выявить главные, первоочередные вопросы, стоящие на пути полета в космос; в них проявилась его склонность к широкому использованию количественных методов анализа и глубокому проникновению в физический смысл исследуемых явлений. Понимая первостепенную значимость энергетических проблем в осуществлении космического полета, Цандер сформулировал возможные пути их решения — поиски способов увеличения энергоресурсов и уменьшения затрат энергии. В любом расчете, конструкторской разработке, в каждой его идее принцип «экономичности» (а она для Цандера — главное условие и средство скорейшей реализации исходной цели) становится определяющим.

В 1914 г. Цандер с отличием оканчивает институт и в 1915 г. переезжает в Москву, с которой была связана вся его последующая жизнь. Примерно в это же время он начинает первые свои экспериментальные исследования: и в силу важности, и в силу, наверное, доступности это были эксперименты по обоснованию системы жизнеобеспечения космического корабля. Идею о структуре и функции такой системы Цандер высказал еще в 1907 г., тогда же разделив системы жизнеобеспечения на физико-химические и биологические².

Цепь экспериментов над «оранжереей авиационной легкости», продолжавших-

¹ Цандер Ф. А. Космические корабли (эфирные корабли), которые обеспечат сообщение между звездами. Движение в мировом пространстве. (Расшифровка и перевод с немецкого Ю. В. Клычкова) // Собр. тр. Рига, 1977. С. 395—422.

² Архив АН СССР. Ф. 573. Оп. 2. Д. 4. Л. 79.

ся около 15 лет, лучше всего определяет название специальной тетради «О возможности жить неограниченное время герметически закрыто, получая извне лишь энергию». Цандер, как и Циолковский, считал, что только замкнутый цикл круговорота веществ может явиться эффективным средством снижения веса космического корабля. Для облегчения веса оранжереи Цандер предложил использовать при культивировании растений метод «воздушной культуры», т. е. выращивать растения в «пустом помещении», в котором производятся «простое обрызгивание корней растений питательной жидкостью»³. В экспериментах Цандер сначала выращивал горох и капусту на древесных углях, затем перешел на растворы и уже потом — на метод «воздушной культуры».

Современные разработки, в том числе, аэропонного метода культивирования растений подтвердили правильность такого подхода.

«САМОЕ ГЛАВНОЕ» ИЗОБРЕТЕНИЕ

Особое место в творчестве, да и во всей жизни Цандера занимает проект его космического корабля-аэроплана. Это был первый технический проект конкретного летательного аппарата, предназначенного для вылета за пределы земной атмосферы, — глубоко разработанный теоретически и конструктивно⁴.

Первый вариант проекта был выполнен в 1920 г. В июне 1924 г. Цандер подал патентную заявку на свой проект, который был сочтен фантастическим. В выданном заявочного свидетельства на межпланетный корабль Цандеру было отказано.

Такое непонимание не остановило Цандера, в последующем он остался верен ключевым принципам выбранной конструкции, совершенствовал ее компоновку, улучшал отдельные части, экспериментировал с важными системами, прежде всего с силовой установкой и двигателем.

Не имевший аналогов проект удивительно гармонично соединял в себе мно-

гие из важнейших предложений Цандера, являясь инженернопроработанным вариантом целостной технической системы. Его главной отличительной особенностью был принцип минимизации энергетических затрат для скорейшей реализации межпланетного полета.

Не будет большим преувеличением утверждение, что все существующие описания корабля Цандера (а их немало), выполненные исследователями его творчества, в том числе и специалистами-разработчиками современных систем, не совсем полны, все они бледнее оригинала. Дело, вероятно, в том, что идею этого корабля трудно объяснить без учета других работ Цандера. «Первый инженер космонавтики» обладал редким даром видения проблемы в целом и одновременно каждой отдельной ее части.

Анализируя межпланетный полет, Цандер выделяет его главные этапы и их принципиальные отличия: полет в атмосфере Земли; в межпланетном пространстве (в поле тяготения различных небесных тел); в атмосфере другой планеты; и снова в атмосфере Земли уже при возвращении.

К принципу ступенчатости — для разных этапов полета — почти одновременно с Цандером подошли основоположник теоретической космонавтики Циолковский, американский пионер ракетной техники Р. Годдард, немецкий исследователь Г. Оберт, но они остановились на самой простой, самой явной его форме: отбросе отработанных ступеней ракеты. Цандер же впервые рассматривает специальные комплексные технические системы, наиболее адекватные по энергетическим критериям специфике каждого из этапов.

Первый этап наиболее сложный и ответственный. Цандер, понимая неэкономичность жидкостного ракетного двигателя при сравнительно малых скоростях полета в атмосфере, ищет другой вариант. Он находит его в комбинации самолета и ракеты. При этом выигрыш видится двойным: во-первых, применение крыльев (аэродинамический полет) — это и значительно меньше энергетические потребности, а значит, и вес, и большая безопасность, и меньшая стоимость; во-вторых, использование кислорода воздуха в специальном двигателе дает те же преимущества, но и немалые дополнительные возможности, например неоднократный запуск.

Какой конструкции должен быть кос-

³ Цандер Ф. А. Проблемы сверхавиации и очережные задачи по подготовке к межпланетным путешествиям // Цандер Ф. А. Проблема полета при помощи реактивных аппаратов. М., 1961. С. 436—441.

⁴ Цандер Ф. А. Перелеты на другие планеты // Техника и жизнь. 1924. № 13. С. 15—16. Сам Цандер в одном из докладов в 1924 г. подчеркивал, что разработка конструкции межпланетного корабля («комбинация аэроплана с ракетой») была выполнена в 1915—1917 гг.

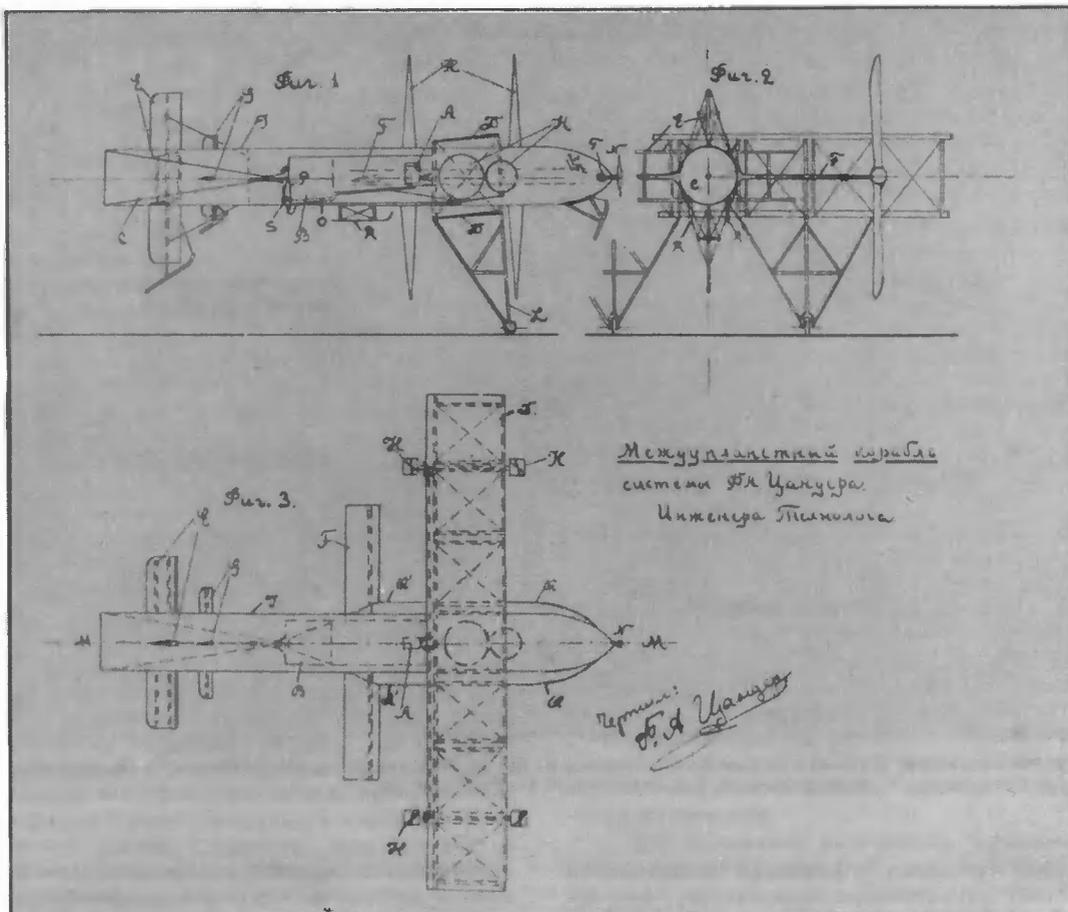


Схема «корабля-аэроплана» Ф. А. Цандера. 1921 г.

мический самолет? Это можно уточнить позже, когда дело дойдет непосредственно до конструирования. В начале же 20-х годов «...биплан был взят как пример разбираемого аэроплана», хотя отмечалось, что «возможно применение аэропланов разных систем, а также использование корпуса ракеты в качестве поддерживающей поверхности»⁵.

Более существенен вопрос о двигателе. Обычный авиационный поршневой двигатель для этих целей непригоден — с его помощью не разогнать и не поднять самолет с ракетой до такой скорости и высоты, когда включение ракетного двигателя было бы экономически целесообразно. Поэтому Цандер много сил и времени посвятил поискам таких схем и циклов, при которых можно было бы получить

большую удельную мощность, большой КПД и меньший вес двигателей. Тщательные сопоставления различных вариантов приводят его к самому перспективному решению: на атмосферном участке полета использовать воздушно-реактивные двигатели.

После прохождения атмосферы первая часть составной космической системы — большой самолет — становится ненужной. Ее можно просто отбросить, но Цандер не хочет допустить такого «расточительства» и обосновывает одну из своих фундаментальных идей о применении металлического горючего. Возможно добавлять металл к обычному горючему, либо возможно сжигать целиком отдельные, ставшие ненужными для полета, части корабля.

Первый вариант реализован в некоторых видах современного ракетного топ-

⁵ Архив АН СССР. Ф. 573. Оп. 2. Д. 42.



Группа гидровцев. Слева направо: Ф. А. Цандер, Ю. А. Победоносцев, [?], Заборин, С. П. Королев, Н. Е. Сумарокова, И. П. Фортиков, А. [?], Левитский, Б. [?], Черановский.

лева, например с добавкой алюминия, и имеет значительную перспективу, так как такие добавки заметно повышают удельную тягу ракетного двигателя. Второй же до сих пор не осуществлен и вызывает споры. Главный довод против заключается в том, что целесообразнее и экономически выгоднее использовать самолет многократно, к тому же сжигать его части технически нереально.

Идее металлического горючего Цандер оставался верен до конца, упорно шел к ее реализации. Была выполнена большая теоретическая и экспериментальная программа, в том числе уже коллективными усилиями в первой бригаде Группы изучения реактивного движения (ГИРД). При этом исследователи столкнулись с неразрешимой тогда проблемой подачи металлического горючего в камеру сгорания жидкостного ракетного двигателя. Жидкое горючее оставалось еще вне конкуренции.

Для внеатмосферного полета Цандер первым подробно разработал научную концепцию использования малой тяги «солнечного паруса». И опять проявляется

удивительная способность Цандера использовать любую конструкцию с максимальной отдачей — солнечное зеркало должно было выполнять двойную функцию: создавать тягу и одновременно концентрировать энергию солнечных лучей для расплавления ненужных частей конструкции.

В процессе работы над проектом космического корабля Цандером был выполнен большой объем баллистических расчетов, результаты которых использовались им в качестве исходных данных при техническом проектировании и выборе программ управления полетом. Вопросам проектирования траекторий Цандер всегда придавал огромное значение, поскольку при их решении открывались новые возможности минимизации энергетических затрат, необходимых для осуществления дальнего ракетного полета. Поиски энергетической оптимальности космических траекторий позволили Цандеру, в частности, обосновать перспективную идею гравитационного маневра — использования в космическом полете гравитационного поля «попутных» планет.

Для посадки на другой планете,

обладающей атмосферой, для возвращения на Землю, по замыслу Цандера, используется маленький самолет. Он впервые предложил осуществлять торможение корабля при возвращении из космоса без расхода топлива, только за счет сопротивления атмосферы, осуществляя как бы обычный управляемый планирующий полет со свободным выбором места приземления.

Выдающийся инженер, Цандер отлично понимал необходимость экспериментальной проверки своего проекта и, не имея возможности полномасштабной постройки, начинает оценку проекта «в металле» на модели. Работать над ней он начал, вероятно, в 1922 г. Главной целью эксперимента на модели он считал отработку складывания и втягивания в корпус частей ее конструкции и летные испытания. Этой цели Цандер не достиг, работа шла медленно, и в 1925 г. модель была готова лишь наполовину. Но по сохранившимся расчетам можно предполагать, что работа над ней была чрезвычайно важна, и прежде всего с точки зрения выделения первоочередных задач из громадного круга возникших при моделировании проблем. И самая первая, самая главная задача — создание двигателя. В 1926 г. Цандер выполняет расчеты водородно-кислородных ракет, используя термодинамический метод с учетом диссоциации и термодинамических потенциалов. Теоретическое исследование важнейших процессов и параметров жидкостного ракетного двигателя было выполнено Цандером на самом высоком научном уровне.

«Главное изобретение» Цандера в полном виде не было осуществлено. В 30-е годы и потом развитие ракетной техники (космонавтика надолго была отодвинута на второй план) пошло несколько иными путями, однако уже в ГИРД начала получать воплощение идея постановки небольшого жидкостного ракетного двигателя на планер — ракетоплан РП-1, работами по доводке которого руководил С. П. Королев.

Изучение проекта «аэроплана, снабженного ракетой» показало, что Цандер совершил кардинальное и даже революционное преобразование представлений о методах осуществления космических полетов, им было получено принципиально новое решение, которое, с одной стороны, устраняло противоречия, связанные с колоссальным стартовым весом ракеты, перегрузками при взлете и применением парашюта при спуске, а с другой стороны,

давало возможность использования для межпланетных путешествий огромного материала, накопленного авиацией.

ПЕРВЫЕ КОНСТРУКЦИИ

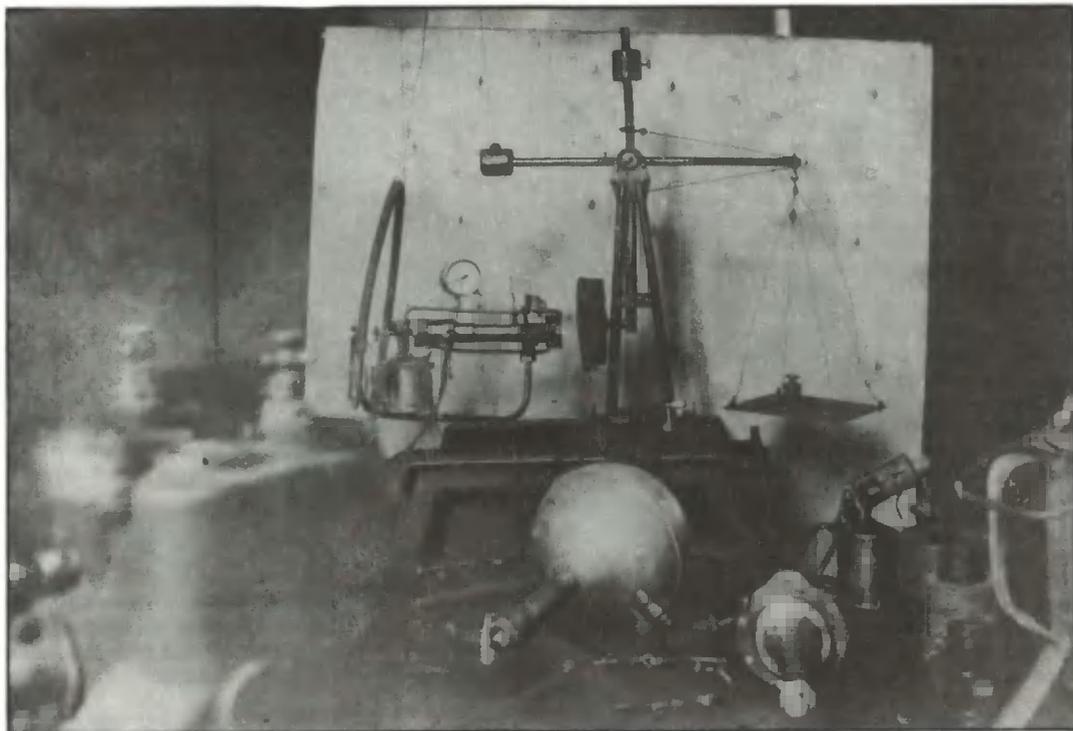
Цандер прекрасно понимал необходимость коллективных усилий для дальнейшего продвижения вперед. Без них трудно было создать материальную базу развития космонавтики. Необходима была пропаганда целей, идей и средств космонавтики, ракетной техники.

С 1923—1924 гг. Цандер выступает с лекциями на московских заводах, в Московском обществе любителей астрономии, в Ленинграде, Харькове, других местах.

Среди выступлений особую известность получил диспут в Московском университете 1 октября 1924 г. Желающих принять в нем участие оказалось так много, что его пришлось повторить еще дважды — 4 и 5 октября. Со свойственной Цандеру четкостью и логикой было взаимосвязано рассмотрены все основные проблемы создания ракетной техники и развития космонавтики. На каждой лекции он получил около сорока записок с разными вопросами.

Объединению энтузиастов космических полетов в немалой мере способствовала наглядность, логическая стройность и научная убедительность проекта межпланетного корабля Цандера. Его вера в возможность скорой реализации инженерно обоснованного проекта сыграла решающую роль в создании 20 июня 1924 г. первого в мире общества по космонавтике — Общества изучения межпланетных сообщений. Руководителем одной из основных секций — научно-исследовательской — стал Цандер.

Энтузиазм мог стать действенной силой лишь на базе систематического образования. Исходя из этого, уже в середине 20-х годов наряду с подготовкой научно-популярных изданий Цандер начал заниматься организацией специального курса по ракетной технике и космонавтике в высших учебных заведениях, тщательно к нему готовился, составил подробный план лекций с прекрасной композицией всего излагаемого материала. Преподовательская деятельность, однако, началась лишь осенью 1930 г., когда Цандер стал инициатором создания ракетной секции в Московском авиационном институте.



Двигатель ОР-1 на испытательном стенде.

То был первый вузовский курс в стране (и, возможно, в мире) по этой тематике. Автор разработал оригинальную методику преподавания, направленную на развитие самостоятельной работы студентов с использованием всей имевшейся в то время литературы, придерживался исторического принципа изложения материала.

В конце 1930 г. под руководством Цандера была создана первая общественная группа энтузиастов-разработчиков ракетной техники. 18 июля 1931 г. состоялось первое заседание организации при Осоавиахиме, названной Бюро изучения реактивного движения, председателем которого был избран Цандер. В 1932 г. Президиум Центрального Совета Осоавиахима принял решение об организации экспериментальной научно-исследовательской базы ГИРД (ее возглавил Королев), на которую было возложено проектирование, постройка и испытание двигателей и ракет различного назначения.

С 1928 г. Цандер приступает к практическому осуществлению своих замыслов в области ракетной техники. Он начал с проектирования своего первого опытного

реактивного двигателя ОР-1, сконструированного на основе паяльной лампы, который был построен и испытывался — около 60 раз — в 1929—1932 гг. В качестве горючего в ОР-1 использовался жидкий бензин, а в качестве окислителя — воздух.

Инженерные работы по созданию ракетной техники в ГИРД (прежде всего двигательной установки ОР-2 для пилотируемого летательного аппарата РП-1) выявили еще одно ценное качество Цандера уже как руководителя разработок — начальника 1-й бригады: умение разбить и организовать весь процесс создания установки на отдельные логично завершенные этапы — от эскизного проектирования до отработки в полете. Еще в конструктивной схеме установки предусматривались многие новаторские элементы: использование бензино-кислородного топлива, комбинированное регенеративно-автономное охлаждение камеры сгорания и сопла, регулирование тяги двигателя по изменению расхода топлива или соотношения его компонентов, возможность многократного запуска двигателя и т. д.

Поэтому понятен осторожный подход Цандера к созданию установки: предварительная автономная поузловая отработка; холодные испытания; горячие испытания на упрощенных конструкциях и на пониженных режимах — все то, что можно назвать доводкой — важнейшим процессом при создании любой новой техники.

1-я бригада ГИРД вела сразу несколько разработок; одна из них — конструирование ракеты «ГИРД-Х».

Работы по созданию ракеты начались в январе 1933 г. и велись очень напряженно. В соответствии с техническими условиями ракета должна была подниматься на высоту 5,5 км с полезной нагрузкой 2 кг. Разрабатывалось несколько вариантов ракеты и двигателя. В самый разгар работ силы Цандера, никогда не жалевшего себя, оказались на исходе. Королев, другие гирдовцы уговорили его поехать на лечение в Кисловодск. В дороге он тяжело заболел тифом, и 28 марта 1933 г. его не стало.

После ряда доводочных испытаний и доработок, выполненных учениками и соратниками Цандера, 25 ноября 1933 г. состоялся запуск ракеты «ГИРД-Х». Ракета со стартовой массой 29,5 кг имела пять отсеков. В головном размещался парашют с выбрасывающим устройством, во втором и четвертом — баки с горючим

и окислителем, в третьем — баллон со сжатым воздухом — для наддува баков с топливом, в пятом — двигатель.

Запуск «ГИРД-Х» явился важной победой отечественного ракетостроения — впервые в нашей стране был осуществлен запуск ракеты с жидкостным ракетным двигателем.

Даже краткий и далеко не полный обзор жизни и деятельности Цандера показывает, что он являлся талантливым ученым, выдающимся инженером, изобретателем, вдохновенным пропагандистом и преподавателем, одним из организаторов первых советских коллективов, занимавшихся ракетно-космической наукой и техникой. Велико значение того, что он успел за свою короткую жизнь. В период начала экспериментальной проверки идей ракетно-космической науки и техники Цандер наиболее полно как ученый, инженер и человек соответствовал требованиям времени. Личность Цандера, его жизнь и труд как бы связали воедино теоретические предвидения Циолковского и будущую деятельность Королева, увлечения энтузиастов межпланетных полетов и точный расчет. С его именем навсегда останется связан вывод космонавтики на новый уровень — уровень научнообоснованного эксперимента.

К ЧИТАТЕЛЯМ «ПРИРОДЫ»

Подписаться на естественнонаучный популярный журнал «Природа» можно в любом отделении связи. Подписка не ограничена.

Подписная цена:
на год — 9 р. 60 к.
на полугодие — 4 р. 80 к.
на квартал — 2 р. 40 к.
Цена одного номера — 80 к.

Индекс 70707

По желанию Вы можете подписаться на один или несколько номеров.

Обо всех случаях отказа в подписке просим сообщать в редакцию журнала по адресу: 117049, ГСП-1, Москва, Маро-новский пер., 26.

ПРИНЦИП РАЗРУШЕНИЯ

ПОЛЬСКОГО писателя-фантаста Станислава Лема излишне представлять читателям. Его книги выпускаются у нас многотысячными тиражами, фильм «Солярис», созданный в 1972 г. Андреем Тарковским по одноименному роману Лема, до сих пор не сходит с экрана. Менее широко представлен у нас Лем как автор научно-философских трактатов; в СССР опубликован пока лишь один из них — «Сумма технологий» (М., 1968).

Сколько-нибудь точно определить область научно-философских интересов Лема затруднительно. Еще в 40-е годы, когда он участвовал в работе семинара по науковедению в Кракове, руководитель семинара М. Хойновский заметил за своим молодым учеником склонность к созданию «Общих Теорий Всего На Свете». Действительно, трактаты Лема затрагивают как нельзя более далекие друг от друга области знания — от литературоведения до космологии. И все же в центре его внимания находится, безусловно, теория эволюции — эволюции, понимаемой в самом широком смысле, как развитие Вселенной, жизни, разума и человеческой культуры. «Я всегда был приверженцем широко понимаемого естествознания,— говорит Лем в одном из своих последних интервью.— ...Эволюция — главный объект моих занятий, увлечений, удивлений и потрясений».

Именно этой теме посвящено публикуемое ниже эссе из сборника «Библиотека XXI века» (Lem S. Biblioteka XXI wieku. Krakow, 1986). Оно написано в излюбленном жанре «позднего» Лема — как пересказ несуществующих книг. Советский читатель уже мог познакомиться с такими эссе Лема — «Новая Космогония» и «Культура как ошибка» (в книге: Лем С. Избранное. М., 1976), а также «Голем XIV» (Сборник научной



фантастики. М., 1980, вып. 23). Но из всех лемовских произведений подобного рода «Принцип разрушения» как творческий принцип, пожалуй, дальше всего отстоит от «литературной игры».

Творческая роль случайности в эволюции, как природной, так и культурной, давно служит предметом размышлений Лема (что нашло выражение даже в названии одного из его основных трудов — двухтомной монографии «Философия случайности»). В этой связи в сферу его внимания попала напечатанная журналом «Природа» (1982, № 6) статья Л. С. Марочника «Исклю-

чительно ли положение Солнечной системы в Галактике?», на которую Лем ссылается в публикуемом ниже тексте. Астрономические идеи этой статьи и последовавшей за ней статьи Л. С. Марочника и Л. М. Мухина «Галактический «пояс жизни»» («Природа», 1983, № 11) становятся популярными. О них, например, сообщал английский «New Scientist» (Vol. 97, 1983, № 1350). Их развивает Лем в послесловии к последнему (польскому) изданию «Суммы технологий» (1984). Они же в значительной мере легли в основу той мировоззренческой концепции Лема, с которой сейчас предстоит познакомиться нашему читателю.

КАК ТВОРЧЕСКИЙ ПРИНЦИП

С. Лем

«Das Kreative Vernichtungsprinzip», «The World as Holocaust»¹, — книги с такими или подобными им названиями начнут появляться в конце XX в. Но нарисованная в них картина мира получит всеобщее признание лишь в следующем столетии, когда открытия, совершаемые в далеких друг от друга областях науки, сольются в единое целое. Это целое — скажу сразу — опрокинет нынешние представления о месте, занимаемом нами во Вселенной.

Докоперниканская астрономия поместила Землю в центре мироздания; Коперник низверг ее с этой исключительной позиции, открыв, что Земля — одна из многих планет, обращающихся вокруг Солнца. Развитие астрономии на протяжении следующих столетий упрочило коперниканский принцип: было признано, что Земля не только не находится в центре Солнечной системы, но и сама эта система расположена на периферии Галактики. Оказалось, что мы живем во Вселенной «где попало», в каком-то звездном предместье. Из новых открытий галактической астрономии, из новых моделей плането- и астрогенеза, как из разбросанных частей головоломки, начинает складываться новая картина истории Солнечной системы и зарождения жизни на Земле, картина столь же захватывающая, сколь и противоречащая прежним представлениям.

В этой новой картине мира центральное место занимает творение посредством разрушения и вызванной им перестройки системы. Коротко это можно выразить так: Земля возникла потому, что Прасолнце вошло в зону уничтожения; жизнь возникла потому, что Земля покинула эту зону; а человек возник потому, что миллиард лет спустя стихия уничтожения обрушилась на Землю снова.

Эйнштейн, упорно не желавший мириться с индетерминизмом квантовой механики, как-то заметил: «Господь не играет с мирозданием в кости». Он хотел этим сказать, что явлениями на внутриатомном уровне не может управлять случай. Ока-

залось, однако, что Всевышний играет с мирозданием в кости не только в масштабе атомов, но и там, где речь идет о галактиках, звездах, планетах, о зарождении жизни и разумных существ. Что своим существованием мы обязаны катастрофам, случившимся «в нужном месте и в нужное время», а также катастрофам, которые тогда-то и там-то не произошли. Мы возникли, пройдя (если вспомнить об истории нашей звезды, нашей планеты, нашего биогенеза и эволюции) через множество игольных ушек; и поэтому 10 млрд лет, отделяющих зарождение протосолнечного облака газов от возникновения Человека Разумного, можно сравнить с гигантским слаломом, в котором не были задеты ни одни ворота. Уже известно, что ворот на трассе этого слалома было много и любое отклонение от трассы сделало бы возникновение человека невозможным; неизвестно однако, как широка была эта трасса со всеми своими изгибами и воротами; иначе говоря, какова была вероятность безошибочного спуска, финишем которого стал антропогенез.

А значит, мир, каким его увидит наука будущего столетия, окажется множеством случайных катастроф, созидательных и разрушительных одновременно; причем случайным было именно это множество, а каждая из катастроф в отдельности подчинялась строгим законам физики.

Правило рулетки есть правило проигрыша огромного большинства игроков. Игрок, встающий из-за стола с выигрышем, — исключение из правила. Игрок, который выигрывает достаточно часто, — редкое исключение; а игрок, приобретающий целое состояние благодаря тому, что чуть ли не каждый раз угадывает, на каком номере остановится шарик, — редчайшее исключение, невероятный счастливец, о котором пишут в газетах.

Галактика, рассматриваемая в качестве рулетки, на которой «можно выиграть жизнь», не является «честной рулеткой». Честная рулетка точно подчиняется единст-

¹ «Принцип разрушения как творческий принцип» (нем.), «Мир как всеуничтожение» (англ.)

венному распределению вероятностей (1:36 в каждой игре). Но для рулеток, которые сотрясаются или меняют свою форму в ходе игры или в которых применяются всякий раз разные шарик, — для таких рулеток подобной статистической закономерности не существует. Правда, все рулетки и все спиральные галактики сходны между собой, однако же не тождественны. Галактика может вести себя, как рулетка возле печи: когда печь топится, нагретый диск рулетки искривляется и распределение выигрышающих номеров меняется. Опытный физик может учесть влияние температуры на рулетку; но если на нее воздействуют еще и сотрясения пола от проезжающих по улице грузовиков, его подсчеты окажутся недостаточными.

Поэтому о ходе галактической «игры, ставкой в которой служит жизнь», можно судить лишь задним числом, когда выигрыш уже выпал. Можно воспроизвести приведший к этому ход событий, хотя предвидеть его заранее было бы нельзя. Можно реконструировать ход игры, хотя и не вполне точно, подобно воссозданию истории первобытных племен, от которых не осталось ни летописей, ни документов, а лишь творения человеческих рук, вырытые из земли археологом. Так галактическая астрономия превращается в «звездно-планетарную археологию», занятую воссозданием хода игры особого рода, главный выигрыш в которой — мы сами.

II

Добрых три четверти галактик имеют форму спирального диска с ядром, из которого выходят два рукава, как в нашем Млечном Пути. Галактическая туманность, состоящая из газово-пылевых облаков, а также из звезд (которые постепенно зарождаются в ней и гибнут), вращается, причем рукава вращаются с меньшей угловой скоростью², чем ядро, и, не поспевая за ним, скручиваются; как раз поэтому целое приобретает форму спирали. Но рукава перемещаются со скоростью, отличной от скорости звезд.

Тем, что галактика все же сохраняет форму спирали, она обязана волнам плотности, в которых звезды играют такую же

роль, какую играют молекулы в обычном газе.

Вращаясь с неодинаковой скоростью, звезды, значительно удаленные от ядра, остаются за рукавом, зато вблизи ядра они догоняют спиральный рукав и пересекают его. Скорость, равную скорости рукавов, имеют лишь звезды, расположенные на полпути³ между ядром и периферией галактики, т. е. на так называемой коротационной окружности. Газовое облако, из которого должно было возникнуть Солнце с планетами, 5 млрд лет назад находилось у внутренней кромки спирального рукава. Оно догнало рукав с небольшой скоростью — порядка 1 км/с. Оказавшись за фронтом волны плотности, газовое облако было «загрязнено» продуктами радиоактивного распада сверхновой звезды (изотопами иода и плутония). Эти изотопы распадались до тех пор, пока из них не возник новый элемент — ксенон. Между тем облако обжималось волной уплотнения, в которой оно оказалось; это стимулировало его конденсацию, пока не родилась, наконец, молодая звезда — Солнце. В конце этой фазы, примерно 4,5 млрд лет назад, поблизости вспыхнула другая сверхновая; она «загрязнила» околосолнечную туманность (ибо не весь протосолнечный газ успел сконденсироваться в Солнце) радиоактивным алюминием, что ускорило — а может быть, вызвало — формирование планет. Как показало математическое моделирование, для того чтобы газовая оболочка, вращающаяся вокруг молодой звезды, подверглась фрагментации и начала конденсироваться в планеты, необходимо «вмешательство извне» в виде мощного толчка; таким толчком стал удар от сверхновой, вспыхнувшей неподалеку от Солнца.

Итак, самый ранний период своей жизни Солнце провело в зоне сильной радиации и резких ударов, стимулирующих планетогенез, а потом, с отвердевающими и застывающими уже планетами, вышло в сильно разреженное пространство, огражденное от звездных катастроф; поэтому жизнь на Земле могла развиваться без убийственных для нее помех.

Как следует из этой картины Вселенной, коперниканский принцип, согласно которому Земля вместе с Солнцем находится не в особо выделенном месте, а «где попало», оказывается под серьезным сомнением.

² Если в центре Галактики имеется бароподобное образование (перемычка), то, скорее всего, рукава вращаются со скоростью этой перемычки, т. е. ядра. (Прим. ред.)

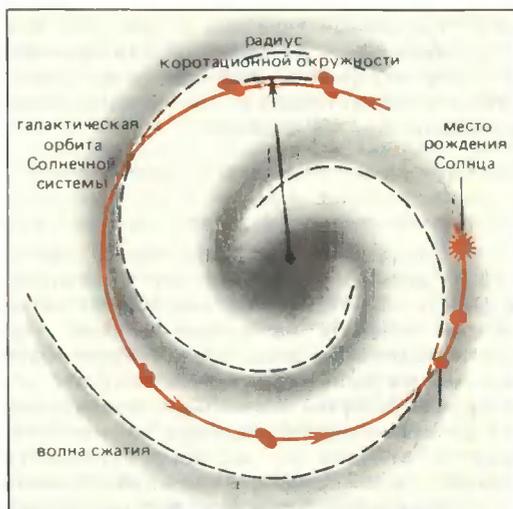
³ Не обязательно на полпути. Коротационная окружность, как правило, располагается ближе к периферии системы. (Прим. ред.)

Следует помнить еще, что слишком близкий взрыв сверхновой вместо того, чтобы «обжечь» протосолнечное облако и тем самым ускорить конденсацию планет, развеял бы это облако целиком, как порыв ветра пух одуванчика. Взрыв чересчур отдаленный мог бы оказаться недостаточным, чтобы стать импульсом для планетогенеза. А следовательно, взрывы сверхновых, соседствующих с Солнцем, должны были быть «как следует» синхронизированы с основными этапами его развития, точнее, его развития как звезды, как Солнечной системы и, наконец, как системы, в которой возникла жизнь.

Протосолнечное облако оказалось, как видим, тем игроком, который сел за рулетку с необходимым начальным капиталом, потом, выигрывая раз за разом, увеличил свой капитал и покинул казино в самую пору, не подвергая опасности проигрыша все то, что принесла ему «полоса удач». Похоже, что «биогенные» планеты, способные породить цивилизации, следует искать прежде всего вблизи коротационной окружности Галактики.

На рисунке, согласно Л. С. Марочнику («Природа». 1982. № 6), изображена наша Галактика, радиус коротационной окружности, а также орбита, по которой Солнечная система обращается вокруг центра Галактики. Скорость, с которой Солнце вместе с планетами движется относительно спиральных рукавов, остается предметом споров. Судя по рисунку, наша система уже прошла через оба рукава. Если так было в действительности, то первое прохождение она совершила, будучи еще газопылевым облаком, которое по-настоящему стало конденсироваться лишь при пересечении второго спирального рукава.

О том, как начало конденсироваться облако, из которого возникли и мы, ничего не известно; воссоздать можно лишь судьбу той его небольшой части, где возникло Солнце с планетами. Рисунок соответствует сценарию, согласно которому газовое облако в первый раз прошло через спиральный рукав 10,5 млрд лет назад. Его плотность была тогда ниже критической, поэтому фрагментация не началась. Это случилось лишь после вхождения в следующий спиральный рукав, 4,6 млрд лет назад. Условия на периферии фрагментов благоприятствовали возникновению сверхновых,



Эволюция газопылевого протосолнечного облака в спиральной структуре Галактики, обусловленной волнами плотности. Орбита облака (цветная линия) пересекает спиральный рукав только один раз. При вхождении в волну сжатия (показана пунктиром) облако может подвергнуться воздействию вспыхнувшей рядом сверхновой. В процессе движения внутри рукава, в течение приблизительно 300 млн лет, облако эволюционирует. Выйдя из рукава, оно движется в галактическом пространстве между спиральными рукавами 4,6 млрд лет; при этом спиральная структура не оказывает влияния на эволюцию облака, приводящую к возникновению Солнечной системы (см.: Природа, 1982, № 6, с. 30).

а в центре — рождению менее ярких звезд типа Солнца. Под влиянием сжатия и взрывов сверхновых протосолнечное облако превратилось в молодое Солнце вместе с планетами, кометами и метеоритами. Этот космогонический сценарий не свободен от упрощений. Фрагментация газовых облаков происходит случайным образом; через огромные пространства рукавов движутся ударные фронты, вызванные различными катаклизмами; возникновению подобных фронтов могут способствовать взрывы сверхновых.

Занимаясь космогоническими проблемами, астрофизика напоминает следствие по делу, в котором все улики лишь косвенные. Все, что можно собрать, — это некоторое число «следов и вещественных доказательств»; а из них, как из рассыпанной головоломки (многие части которой к тому же утеряны), надо сложить непротиворечивое целое. И все же то, что удастся узнать о космогоническом сотворении Млечного Пути, все больше приближается к действительности. Акт обвине-

⁴ По уточненным данным, оно, по-видимому, пересекло спиральный рукав лишь один раз. См.: Марочник Л. С., Мухин Л. М. Поиск жизни во Вселенной. М., 1986. С. 41. (Прим. ред.).

ния Спиральных Галактик в том, что они Родительницы и Детоубийцы одновременно, уже поступил в трибунал астрономии; процесс продолжается, но окончательный приговор еще не вынесен.

III

Специалист по космогонии, как и судья, должен установить, что произошло в данном конкретном случае, однако он не обязан отвечать на вопрос о том, как часто подобного рода случаи происходят или какова была вероятность того, что исследуемый случай произойдет, прежде чем он действительно произошел. Но космогония, в отличие от юстиции, стремится узнать о своем предмете как можно больше.

Если выбросить в окно бутылку из-под шампанского (из толстого стекла и с характерным углублением в основании) и бутылка разобьется, то, повторяя подобные опыты, мы убедимся, что горлышко и основание остаются обычно целыми, тогда как остальная часть бутылки разлетается на множество различных по форме осколков. Может случиться, что один из осколков окажется стеклянной занозой длиной в шесть и шириной в полсантиметра.

На вопрос, как часто, разбивая бутылки, мы получим в точности такие же осколки, определенно ответить нельзя. Можно лишь установить, на сколько частей бутылки разлетаются чаще всего. Такую статистику составить несложно, повторяя эксперимент раз за разом в тех же самых условиях (высота, с которой падает бутылка; на бетон она падает или на дерево и т. д.). Но может случиться и так, что при падении бутылка столкнется с мячом, по которому только что ударил кто-то из играющих во дворе мальчишек, и в результате бутылка отскочит, влетит через открытое окно первого этажа в комнату некоей старушки, что разводит золотых рыбок, плюхнется в аквариум, наполнится водой и утонет, не разбившись.

Каждый признает, что такой случай, хотя и маловероятен, все же возможен; поэтому никто не сочтет его явлением сверхъестественным, чудом, а лишь исключительным стечением обстоятельств. Так вот: статистику подобных случаев составить уже нельзя. Кроме законов механики Ньютона, кроме удароустойчивости стекла следовало бы учесть еще, как часто мальчишки играют в этом дворе в футбол, как часто мяч во время игры оказывается там, где падают бутылки из-под шампан-

ского, как часто старушка оставляет окно открытым, как часто аквариум стоит у окна. А если бы нам понадобилась «общая теория бутылок из-под шампанского, падающих в результате столкновения с мячом в аквариум и наполняющихся водой без каких-либо повреждений», и мы решили бы учесть все бутылки, дома, дворы, окна, аквариумы, всех мальчишек и золотых рыбок, то такую статистическую теорию мы не создали бы никогда.

Ключевой вопрос, на который надо ответить, чтобы воссоздать историю Солнечной системы и жизни на Земле, таков: произошло ли тогда в Галактике нечто подобное простому падению бутылки на мостовую (вероятность чего можно выразить статистически) или же нечто подобное случаю с мячом и аквариумом?

Обычно считают, что там, где нельзя ничего рассчитать, а следовательно, предвидеть, царит хаос. Однако «хаос» в точных науках вовсе не означает, будто ничего ни о чем не известно, будто бы мы имеем дело с какой-то «абсолютной неупорядоченностью». Абсолютной неупорядоченности не существует вообще; и уж подавно мы не видим какого-либо хаоса в случае с мячом и бутылкой; каждое из составляющих его событий, взятое в отдельности, в принципе можно рассчитать, исходя из законов физики; но **серия**, состоящая из множества подобных событий, расчету не поддается.

Дело в том, что все теории «широкого охвата», которыми оперирует физика, неполны, поскольку ничего не говорят о начальных условиях. Начальные условия вводятся в теорию особым путем, как бы извне. Но, как мы только что видели, когда одни начальные условия должны случайным образом привести к созданию других начальных условий, совершенно необходимых как отправная точка следующего этапа, и так далее, достоверность, пройдя через зону вероятностей, становится неизвестной величиной, о которой уже нельзя сказать ничего, кроме того, что «произошло нечто совершенно исключительное».

Поэтому-то я и заметил вначале, что мир — это совокупность случайных катастроф; каждая из которых подчиняется точным законам. На вопрос: как часто случается во Вселенной то, что случилось с Солнцем и Землей, пока ответить нельзя, ибо неизвестно, к какой категории событий следует отнести этот казус. По мере успехов астрофизики и космогонии дело постепенно будет проясняться. Тем самым вероятность возникновения жизни во Вселенной

можно будет приблизительно выразить численно. Быть может, эта вероятность окажется значительной и мы будем вправе признать вероятным существование жизни в бесчисленных, разнообразнейших формах на множестве планет того триллиона галактик, которые нас окружают. Но даже и в этом случае начнут выходить книги с предсказанными мною названиями.

Теперь мне предстоит объяснить, почему я в этом уверен. Забегая вперед, выражу это в семи зловещих словах: без глобальной биологической катастрофы невозможно появление Человека.

IV

В конце 70-х годов стало модно включать в космогонические гипотезы так называемый «антропный принцип». Принцип этот сводит загадку начальных условий Вселенной к аргументу *ad hominem*⁵: если бы начальные условия были совершенно иными, то никакого вопроса бы не возникло, ибо некому было бы спрашивать.

Нетрудно увидеть, что «антропный принцип», понимаемый буквально (*Homo sapiens* возник потому, что эта возможность содержалась уже в Большом взрыве, т. е. в начальных условиях Универсума), в качестве космогонического критерия стоит не больше, чем «принцип ликера шартрез». Правда, производство шартреза стало возможно благодаря свойствам материи этого Универсума, но можно прекрасно представить себе историю этого Универсума, этого Солнца, этой Земли и этого человечества без появления на свет шартреза. Шартрез появился потому, что люди долго занимались изготовлением различных напитков, в том числе содержащих алкоголь, сахар и вытяжки трав. Это, возможно, слишком общий ответ, однако осмысленный. Но если на вопрос, откуда взялся шартрез, мы ответим, что **таковы** были начальные условия Универсума, — то наш ответ будет недостаточен до смешного. С тем же успехом можно утверждать, что «фольксвагены» или почтовые марки своим возникновением обязаны начальным условиям Вселенной. Такой ответ объясняет *ignotum per ignotum*⁶. В то же время это *circulus in explicando*⁷: возникло то, что **могло** возникнуть.

Такой ответ обходит самую любопытную особенность Прауниверсума. Согласно общепринятой теории Большого взрыва, возникновение Универсума было мгновенными родами, когда на свет одновременно появились материя, пространство и время. Следы мощного излучения взрыва, породившего нашу Вселенную, можно наблюдать и поныне в виде пронизывающего весь космос реликтового фонового излучения. На протяжении примерно 20 млрд лет существования Универсума его начальное излучение успело остыть до нескольких градусов выше абсолютного нуля. Однако интенсивность этого реликтового излучения должна быть неоднородной по разным направлениям звездного неба. Универсум возник из бесконечно плотной точки и в течение 10^{-35} с распух до размеров мяча⁸. Уже в этот момент он был слишком велик и расширялся слишком быстро, чтобы оставаться совершенно однородным⁹. Область действия причинно-следственных связей ограничена максимальной скоростью взаимодействия, т. е. скоростью света. Такие связи могли существовать лишь в зоне размером 10^{-25} см. В Универсуме размером с мяч уместилось бы 10^{76} таких зон, и то, что происходило в одной из них, никак не влияло на события в остальных. Поэтому Вселенная должна была расширяться неравномерно и не могла сохранить те одинаковые повсюду характеристики, которые мы в ней наблюдаем.

Теорию Большого взрыва спасает гипотеза, согласно которой в момент взрыва возникло сразу огромное множество Вселенных. Наша была лишь одной из них. Теория, согласующая однородность существующего Универсума с невозможностью его однородного расширения, была предложена в 1982 г. По этой теории, Пра-

⁸ На первый взгляд, такая скорость расширения Универсума противоречит частной теории относительности; действительно, скорость расширения получается порядка 10^{36} см/с, в то время как скорость света $3 \cdot 10^{10}$ см/с. Противоречия однако нет. Разные части Вселенной движутся независимо, и скорость, с которой увеличивается расстояние между ее точками, не есть скорость движения тела или сигнала, а только для тел и сигналов невозможны сверхсветовые скорости. Сверхсветовое увеличение расстояний, скажем, между зайчиками от двух прожекторов или в других случаях такого типа хорошо известны. (Прим. ред.)

⁹ Согласно популярной сейчас так называемой инфляционной теории ранних стадий эволюции Вселенной, скорость расширения гораздо больше, и этим, собственно, объясняют наблюдаемую однородность и изотропию нашего мира. См.: Зельдович Я. Б. Современная космология // Природа. 1983. № 9. С. 11. (Прим. ред.)

⁵ Применительно к человеку (лат.).

⁶ Незвестное через неизвестное (лат.).

⁷ Порочный круг в объяснении (лат.).

универсум был не Универсумом, но Поливерсумом. Гипотезу Поливерсума можно найти в книжке «Мнимая величина», написанной мною в 1972 г. Совпадение моих догадок с позднейшими теориями придает мне смелости для дальнейших догадок.

Вспомним о бутылке, которая, отскочив от мяча, через открытое окно попадает в аквариум. Хотя статистическая вероятность этого события расчёту не поддается, мы понимаем, что такой случай был бы возможен (т. е. не противоречил законам Природы и не был чудом); мы понимаем также, что если бы бутылка упала в аквариум с протухшей водой и мертвыми рыбками, выплеснула воду из аквариума так, чтобы несколько икринок попали в стоящее рядом ведро с чистой водой, а потом бы из них вывелись живые рыбки,— это было бы событием еще более редким, еще более исключительным, чем то, о котором речь шла раньше.

Допустим, что дети играют в мяч; кто-то по-прежнему время от времени выбрасывает бутылку из высоко расположенного окна; еще одна из этих бутылок, отскочив от мяча (который опять столкнется с ней на лету), падает теперь в ведро так, что рыбки, выведшиеся из икры, выплескиваются вместе с водой и попадают на сковородку с кипящим маслом, а хозяйка квартиры, которая возвращается на кухню с намерением приготовить картофель фри, находит на сковородке жареную рыбу.

Будет ли это уже «абсолютно невозможным»? Наверное утверждать нельзя. Можно признать лишь, что это был бы случай особого рода, случай, который в точности так же, в той же последовательности событий (начиная с первой выброшенной в окно бутылки) уже не повторится. Вводя «антропный принцип» в космогонию, мы предполагаем, что эволюция жизни на Земле увенчалась возникновением человека и Разума потому, что появление разумных существ тем вероятнее, чем дольше продолжается эволюция. Покидая область суждений, признаваемых ныне достоверными или почти достоверными, я скажу, как решит этот вопрос наука будущего столетия.

V

Сперва будет собран следственный материал, показывающий, что ветвь эволюционного древа, на которой появились млекопитающие, не разрослась бы и не обеспечила им главенства среди животных, если

бы на рубеже мелового и третичного периодов, примерно 65 млн лет назад, Земля не пережила катастрофу, вызванную падением огромного, весом в 3,5—4 триллиона тонн метеорита.

До этого времени в мире животных первенствовали пресмыкающиеся. Они господствовали на суше, в воде и в воздухе на протяжении 200 млн лет. Пытаясь объяснить их внезапное вымирание в конце мезозойской эры, эволюционисты приписывали ископаемым рептилиям свойства современных пресмыкающихся: холоднокровность, примитивное строение органов, голое тело, покрытое лишь чешуей или роговым панцирем. А реконструируя внешний облик и образ жизни древних рептилий на основании фрагментов скелета, эти ученые шли на поводу у собственных предубеждений (которые можно было бы назвать «шовинизмом млекопитающих», ведь именно к этому классу относится человек).

Палеонтологи утверждали, будто крупные четвероногие пресмыкающиеся — например, бронтозавры — вообще не в состоянии были передвигаться на суше и обитали в мелководных бассейнах, питаясь водной растительностью. А пресмыкающиеся, стоящие на двух ногах, хотя и обитали на суше, передвигались с трудом, волоча по земле длинные, тяжелые хвосты, и т. д.

Лишь во второй половине XX в. пришлось признать, что рептилии мезозоя были такими же теплокровными, как и млекопитающие; что многочисленные их разновидности — особенно летающие — были покрыты шерстью; что двуногие пресмыкающиеся отнюдь не плелись еле-еле, волоча за собой хвост, но в скорости бега не уступали страусам, хотя были тяжелее страусов в сто или двести раз: а хвост, поддерживаемый вертикально благодаря особым сухожилиям, при беге служил противовесом наклоненному вперед туловищу.

Когда обвинение в «примитивизме» как причине вымирания пресмыкающихся оказалось несостоятельным, на смену ему пришло обвинение противоположного рода: в чрезмерной специализации. Пресмыкающиеся вымерли будто бы потому, что слишком хорошо приспособились к тогдашним условиям и погибли они из-за изменения климата. Действительно, их вымиранию на рубеже мелового и третичного периодов предшествовало похолодание. Но оно не стало началом очередного ледникового периода. Еще важнее иное: другие изменения климата никогда не вызывали столь массовой гибели множества видов флоры

и фауны, как на этот раз. Их ископаемые останки внезапно исчезают в геологических слоях следующей эпохи. По некоторым подсчетам, не уцелело ни одно животное весом более 20 кг. То было нечто вроде библейских «египетских казней»: день превратился в ночь, и тьма продолжалась около двух лет. Солнце не только перестало быть видимым на всей территории Земли, но доходящие до нее солнечные лучи давали освещение более слабое, чем полная Луна. Все крупные животные, ведущие дневной образ жизни, погибли, зато уцелели небольшие крысоподобные млекопитающие, адаптировавшиеся к ночному добыванию корма. Как раз из этих спасшихся от грандиозного зооцида остатков фауны и возникли в третичном периоде новые отряды животных, включая и тот, что увенчался антропогенезом.

Если бы огромные инвестиции, которые эволюция вложила в пресмыкающихся мезозоя, не пропали бы даром 65 млн лет назад, млекопитающие не овладели бы нашей планетой. Мы возникли и размножились до миллиардов потому, что истреблению подверглись миллиарды других существ. Именно это и означает слово: «The World as Holocaust». Однако следствие, ведущееся наукой по делу, в котором прямых улики нет, позволило установить лишь случайного виновника нашего появления на свет — и к тому же виновника косвенного, хотя и необходимого. Ведь не метеорит же нас создал: он лишь открыл нам путь, опустошив Землю и тем самым освободив место для новых эволюционных экспериментов. Остается открытым вопрос, смог бы разум появиться на Земле без этой катастрофы, появиться в иной, чем наша, — негоминидной форме.

VI

Там, где нет Никого, а значит, каких бы то ни было чувств, дружественных или враждебных, нет никаких намерений; не будучи Личностью или творением какой-либо Личности, Универсум не может быть обвинен в преднамеренном умысле. Он попросту таков, каков есть, и действует так, как действует: акты творения он совершает посредством деструкции. Одни звезды «должны» взрываться и распадаться после взрыва, чтобы образовавшиеся в их ядерных «тигелях» тяжелые элементы могли рассеяться и спустя миллиарды лет положить начало планетам, а при случае — и

органической жизни. Другие сверхновые «должны» подвергаться катастрофическому разрушению, чтобы сжатые этими взрывами скопления галактического водорода конденсировались в солнцеподобные, долгоживущие звезды, спокойно и ровно обогревающие свою планетарную семью, которая своим возникновением тоже обязана катастрофам. Но **должен** ли также и разум порождаться разрушительным катаклизмом?

XXI век не ответит на этот вопрос окончательно. Он будет собирать все новые вещественные доказательства, создавая новую картину мира как совокупности случайных катастроф, подчиненных точным законам, — но по интересующему нас здесь ключевому вопросу окончательного решения не вынесет.

Так что же, в грядущем столетии будет воскрешена теория, созданная около 1830 г. французским палеонтологом и анатомом Кювье и получившая название катастрофизма? В середине XIX в. эту теорию развил ученик Кювье, д'Орбиньи; согласно д'Орбиньи, органический мир Земли многократно погибал и возрождался опять во все новых актах творения. Теория Дарвина похоронила это сочетание катастрофизма с креационизмом. Но похороны оказались преждевременными. Катастрофы самого большого, космического масштаба — необходимое условие эволюции звезд и эволюции жизни. Альтернативу «либо разрушение, либо творение» породил человеческий ум — и навязал ее мирозданию уже на заре нашей истории.

Столь безусловное противопоставление уничтожения и творения человек, пожалуй, признал аксиомой тогда, когда он понял, что смертен, и своей брэнности противопоставил волю к жизни. Это противопоставление — общий фундамент всех уходящих корнями в прошлое культур; мы находим его в древнейших мифах, легендах о сотворении мира и религиозных верованиях, но также в возникшей десятилетиями тысяч лет спустя науке. И религия, и наука наделяли видимый мир такими свойствами, которые устранили бы из него слепую, не поддающуюся расчету случайность как виновника каких бы то ни было событий. Общая для всех религий борьба добра со злом не всегда кончается триумфом добра; но во всех религиях она устанавливает отчетливо видимый — хотя бы в облике фатума — **порядок** экзистенции. Как **священное**, так и **мирское** покоятся на порядке мироздания. Вот почему ни в каких верованиях прошлого не было **случайности** как

верховой инстанции¹⁶; и вот почему наука так долго не желала признать роль случайности в формировании действительности — роль столь же творческую, сколь и не поддающуюся расчету.

Людские верования можно грубо разделить на «утешительные» по преимуществу и на те, которые, скорее, лишь упорядочивают существующий мир. Первые обещают Вознаграждение, Спасение, строгий учет грехов и заслуг, увенчанный потусторонним, окончательным правым судом, и тем самым «дополняют» наш крайне несовершенный мир совершенным продолжением в мире ином. Эти верования удовлетворяют наши претензии к миру; должно быть, именно здесь таится разгадка их многовекового существования в виде догматов, передаваемых из поколения в поколение.

Зато отошедшие в далекое прошлое мифы не обещали утешения и Всеблаготворительности в превосходно организованной Вечности (что ни говорить о Рае и о Спасении, там нет ни крупинки случайности: никто не отправится в ад из-за ошибки Всевышнего; и никто не окажется после смерти в затруднительном положении из-за того, что случайно споткнется на пути в Nirvanу); эти мифы возвещали Порядок — нередко жестокий, однако Необходимый, а значит, тоже не похожий на лотерею.

Любая культура существовала и существует для того, чтобы какую бы то ни было случайность изобразить в ореоле Благожелательности к человеку или хотя бы Необходимости. Таков общий знаменатель всех культур, предпосылка «нормализации» поведения посредством ритуалов, заповедей и табу: все и везде положено мерить одной единственной мерой. Культуры принимали случайность внутрь крохотными, гомеопатическими дозами — как нечто игровое и развлекательное. Случайность освоенная, прирученная (например, в игре или в лотерее) перестала быть чем-то ошеломляющим и грозным. Мы играем в лотерею, потому что хотим играть. Никто нас к этому не принуждает. Верующий человек считает случайностью, если он разобьет стакан или его ужалит оса; но уже не считает случайностью смерть. Он неявно предполагает, что Божественное Всесилие и Всеведение отводят случайности подчиненную роль. А наука, пока это было

еще возможно, трактовала случайность как следствие нашего пока еще недостаточного знания, как наше неведение, которое мы изживем с появлением новых открытий. Это не шутка: Эйнштейн отнюдь не шутил, утверждая, что «господь не играет в кости», что «всевышний хитер, но не злонамерен». Это значило: порядок мироздания познать трудно, однако возможно, ибо разуму он доступен.

Конец XX в. ознаменовался фронтальным отходом от позиций, которые человечество отчаянно и упорно защищало целые тысячелетия. Альтернатива «разрушение или созидание» должна быть, наконец, отброшена. Огромные облака темных, холодных газов, кружащих в спиральных Галактики, распадаются постепенно на части таким же случайным образом, как разлетающееся вдребезги стекло. Законы Природы осуществляются не вопреки случайностям, но через случайности. Статистическое безумие звезд, делающих миллиарды выкидышей, чтобы один-единственный раз породить жизнь — не исключение, а правило во Вселенной. Солнца возникают в результате гибели других звезд; и точно так же остатки протозвездного облака конденсируются в планеты. В этой лотерее жизнь — один из редчайших выигрышей, а разум (в следующих ее тиражах) — выигрыш еще более редкий. В своем возникновении он обязан естественному отбору, т. е. смерти, которая совершенствует уцелевших, а также катастрофам, которые могут скачкообразно увеличить вероятность появления разума.

Связь между строением мироздания и строением жизни уже не ставится под сомнение. Но Вселенная — невероятно расточительный вкладчик, растрачивающий начальный капитал на рулетках галактик; а роль исполнителя, вносящего регулярность в эту игру, берет на себя закон больших чисел.

VII

Я набросал картину действительности, которую сделают всеобщим достоянием ученые XXI в. — ибо ее контуры проступают в науке уже сегодня. Картина эта возникает и будет засвидетельствована в качестве подлинной лучшими экспертами. Но я хочу пойти дальше, туда, куда даже мысленно добраться нельзя, и задать вопрос об устойчивости этой картины, а именно: будет ли она окончательной?

История науки учит нас, что каждая

¹⁶ Слова «случайность» нет в священных книгах ни одной из религий. (Прим. авт.)

нарисованная ею картина мироздания считалась окончательной, затем подвергалась пересмотру и в конце концов рассыпалась, как узор разбитой мозаики; а ее собиранием на новой основе занимались следующие поколения ученых. Религиозные верования покоятся на догматах, отказ от которых неизменно означал сначала ужасную ересь, а потом зарождение новой религии. Живая вера для ее приверженцев есть Истина Окончательная и обжалованию не подлежащая. В науке ничего столь же безусловного и окончательного нет. Ее «аксиомы» «неодинаково аксиоматичны», и ничто не указывает на то, что близок Финиш Познания, т. е. окончательное смыкание Бесспорных Истин с Неустранимым Неведением.

Неисчерпаемость познания делает сомнительной любую «окончательную кар-

тину действительности». Быть может, Принцип Творения Через Разрушение тоже окажется промежуточным этапом нашего познания мира, познания, прикладывающего мерку человеческого мышления к такому надчеловеческому объекту, как Универсум. Быть может, эту надчеловеческую (т. е. непосильную для наших бедных биологических мозгов) задачу когда-нибудь возьмет на себя Deus ex Machina¹¹ — рожденный нами и отчужденный от нас Разум машин или, что более вероятно, «немашинных» плодов эволюции искусственного интеллекта. Но, говоря это, я выхожу за пределы XXI в., в темноту, которую уже никакая гипотеза осветить не в силах.

Сокращенный перевод с польского К. В. Душенко

¹¹ Бог из машины (лат.).

НЕСКОЛЬКО СЛОВ ЧИТАТЕЛЯМ «ПРИРОДЫ»

Идея писать критические разборы **несуществующих книг** принадлежит не мне. По правде говоря, я даже не знаю, кто первым напал на эту мысль. В свое время «Иностранная литература» опубликовала несколько моих «рецензий» подобного рода из книги «Абсолютная пустота», целиком в СССР не изданной. К этому приему я прибегал не однажды. Прежде я рецензировал несуществующие беллетристические книги, например романы. Лишь в 1981 г. я начал «рецензировать» труды в большей степени «научного» характера.

В опубликованной здесь «рецензии» излагается содержание выдуманной мною книги «The World as Holocaust» об исключительности жизни как космического явления, в особенности — жизни, наделенной разумом. Для всех, кто ищет «братьев по разуму», это крайне пессимистическая гипотеза, коль скоро Земля оказывается единственным обитаемым небесным телом. Иначе говоря, это гипотеза, которую кто-нибудь может признать истинной, но в которую сам я не верю.

Для чего же в таком случае я написал «рецензию» на «The World as Holocaust»? Отвечу: ко множеству объяснений «мол-

чания Вселенной» (ведь уже 25 лет астрофизики всего мира, и СССР в том числе, **безуспешно** напрягают уши радиотелескопов и зрачки рефракторов) я хотел добавить еще одно гипотетическое объяснение. Я воспользовался для этого статьей советского ученого Л. С. Марочника, опубликованной в «Природе». Известно, впрочем, что незабвенный Иосиф Шкловский, один из выдающихся основателей СЕТИ, к концу жизни коренным образом изменил свои взгляды и встал на ту точку зрения, что «нигде никого нет». С другой стороны, большая часть исследователей не сдастся. Право голоса должны иметь обе стороны, и как раз потому я написал эту рецензию.

На целую книгу материала бы не хватило; к тому же я не мог выступать с этой «негативной гипотезой» о распространенности разумной жизни во Вселенной от своего имени, то есть просто как ее автор, — ведь я, как уже говорилось, не до такой степени пессимист. Тем не менее следует рассмотреть все, что представляется реально возможным; таково, собственно последнее оправдание этого текста.

С. Лем
Вена, май 1987 г.

БИПОЛЯРОННАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

С. Г. Панкратов,
кандидат
физико-математических наук
Москва

В КОНЦЕ 60-х годов в США группа ведущих специалистов по физике твердого тела выпустила двухтомную монографию, которая, как представлялось ее авторам, должна была подвести итог развитию всей теории сверхпроводимости¹. Эта теория выглядела настолько завершенной, что в предисловии авторы заявили, будто своей книгой они «вбивают последний гвоздь в гроб сверхпроводимости», имея в виду, что в теории не осталось больше белых пятен.

Однако сенсационные события минувшей весны наказали теоретиков за самоуверенность. Во-первых, высокотемпературная сверхпроводимость была обнаружена совсем не в том классе соединений, который рекомендовала теория, основанная на представлении о куперовских парах². Во-вторых, объяснить большую величину температуры сверхпроводящего перехода в оксидных керамиках ($T_c \gg 100$ K) с помощью стандартного формализма Бардина — Купера — Шриффера (БКШ) можно лишь с некоторой натяжкой. Да и сама критическая температура для каждого конкретного материала имеет вполне определенное значение, и чтобы ее определить достаточно точно, а не только делать оценки, необходима количественная теория, свободная от модельных допущений.

К сожалению, такой теории пока нет, и поэтому вопрос, каков истинный механизм высокотемпературной сверхпроводимости в иттриевых (и других) оксидных керамиках, остается

весьма трудным. Одно из возможных объяснений, почему температура сверхпроводящего перехода в новых редкоземельных керамиках столь высока, основано на представлении о так называемых биполяронах малого радиуса. Модель биполяронной сверхпроводимости была совместно предложена советским физиком А. С. Александровым (Московский инженерно-физический институт) и французским физиком Ж. Раннингером³.

Но прежде чем рассказать об этой модели, выясним, что препятствует повышению T_c до комнатной температуры в рамках модели БКШ. Как известно, в ней сверхпроводимость объясняется с помощью «двухступенчатого» механизма, т. е. образования электронных (куперовских) пар и их конденсации в единое квантовое состояние. Согласно БКШ, электроны «спариваются» потому, что один из них смещает из положений равновесия ионы кристаллической решетки, а другой взаимодействует с возникающей поляризацией, и, следовательно, электроны «чувствуют» друг друга через решетку. Чем сильнее электрон «тянет» на себя ионы, тем крепче куперовская пара и тем упорнее она не диссоциирует на независимые частицы с повышением температуры. Поэтому T_c выше у тех материалов, в которых больше энергия взаимодействия электронов с колеблющимися ионами решетки или, точнее, велика константа электрон-фононного взаимодействия.

Может показаться, что усиление связи электронов с колебаниями решетки должно приводить к неограниченному росту критической температуры. Однако, исследовав поведение

электронов, сильно взаимодействующих с фононами, А. С. Александров и Ж. Раннингер установили, что размер куперовских пар при этом становится очень малым (меньше расстояния между ними) и отдельные пары начинают вести себя независимо друг от друга. Поэтому в пределе сильного взаимодействия электрона с решеткой ослабевает квантовая когерентность (коллективизм), которая удерживает пары в едином потоке, движущемся через кристалл без трения, а значит, резко уменьшается T_c .

Оказалось, однако, что и в этом случае (теория БКШ здесь уже неприменима) может существовать когерентное сверхпроводящее состояние, очень напоминающее сверхтекучее в жидком ⁴He. Сильное взаимодействие электронов с ионами настолько поляризует решетку вблизи электрона, что вероятность его перескока на соседний узел резко уменьшается — электрон «вырывает» себе потенциальную яму, глубина которой может превышать его кинетическую энергию. Это приводит к резкому (в 100—1000 раз) уменьшению ширины зоны — поляронному коллапсу. Иными словами, электрон, сильно взаимодействующий с решеткой, становится очень тяжелым — он вынужден «тащить» за собой всю поляризованную область.

Такое состояние электронов в решетке впервые было рассмотрено Л. Д. Ландау и С. И. Пекаром и получило название полярона⁴. Если два поларона объединяются в пару, возникает биполярон — бозоноподобное связанное состояние, для которого характерно коллективное поведение входящих в него частиц. При сильном

¹ Superconductivity. 1969. Vol. 1, 2. N. Y.

² Подробнее об этом см.: Гинзбург В. Л. Высокотемпературная сверхпроводимость (мечта становится реальностью) // Природа. 1987. № 7. С. 3—16.

³ Alexandrov A. S., Ranniger J. // Phys. Rev. B. 1981. Vol. 24. № 3. P. 1164—1169.

⁴ Ландау Л. Д., Пекар С. И. // ЖЭТФ. 1948. Т. 18. С. 419.

электрон-фононном взаимодействии полярные пары связываются настолько прочно, что, в отличие от куперовских, не диссоциируют даже в нормальной (несверхпроводящей) фазе. В такой фазе биполярны ведут себя подобно газу независимых частиц, а при температуре конденсации переходят в когерентное сверхпроводящее состояние, подобно тому как переходит в сверхтекучее состояние жидкий гелий.

Еще одно отличие биполярнов от куперовских пар состоит в том, что электроны в них связаны не только в импульсном пространстве, но и в реальном, координатном. Поэтому, в противоположность теории БКШ, где длина корреляции (характерный размер пары) на несколько порядков превышает расстояние между парами и, следовательно, все они объединены, биполяронная модель представляет собой теорию с локальными парами.

Понять, чем биполяронный механизм сверхпроводимости отличается от модели БКШ, помогает простой механический образ. Представим себе два шарика на эластичной мембране; один из них продавливает ямку, а другой в нее скатывается. Даже если шарик заряжен одноименно, так что должны отталкиваться, в случае, когда ямка, «вырытая» одним из них, окажется достаточно глубокой (а заряд не слишком большим), скатывание в ямку пересилит электростатическое отталкивание и шарик окажется рядом.

Это, конечно, весьма грубый аналог того, как частицы «слипаются» в пары; на самом деле спариванию электронов соответствует не статическая, а динамическая, быстро меняющаяся картина.

Допустим теперь, что шариков на пленке не два, а много больше и все они способны продавливать углубления. Модели БКШ в рамках такой механической аналогии соответствуют неглубокие ямки, которые перекрываются между собой и таким образом создают единое — коллективное — состояние на всей поверхности пленки, играющей для шариков роль среды. Биполяронной мо-

дели соответствуют редкие, неперекрывающиеся, но глубокие ямки; два шарика в такой ямке — аналог тяжелого мало подвижного биполярона. Чем больше на поверхности углублений, тем больше шансов у пущенной по пленке дополнительной «пробной» частицы свалиться в одно из них. Это падение в ямку может грубо воспроизводить (имитировать) бозе-конденсацию частиц в самом низком энергетическом состоянии.

Интересно, что теории типа биполяронной (по-видимому, как интуитивно более понятные) рассматривались задолго до появления модели БКШ⁵, а в конце 70-х годов французский физик Б. Шахраверти на основе локального подхода построил фазовую диаграмму, показывающую, как в зависимости от температуры и силы электрон-фононного взаимодействия переходят из одного в другое металлическое, диэлектрическое и сверхпроводящее состояния одного и того же вещества⁶. Именно эта работа стимулировала целенаправленный синтез оксидных соединений:

$$\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_{4-y},$$

$$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_{4-y},$$

в которых впоследствии впервые была обнаружена высокотемпературная сверхпроводимость.

Сама физическая ситуация, описываемая биполяронной моделью, довольно красива и необычна: стартуя от обычной ферми-газа (электронов проводимости) и «включая» сильное электрон-фононное взаимодействие, авторы приходят к весьма экзотической системе — заряженному бозе-газу сверхтяжелых частиц, биполяронов, который обладает сверхтяжелостью.

В отличие от модели БКШ, где куперовские пары имеют большие размеры, все они перекрываются и их конденсация происходит во всем объеме сверхпроводника, в биполяронной модели конденсация проис-

ходит, скорее, в энергетическом пространстве, чем в обычном, координатном. Вместо «зацепляющихся» куперовских пар с большим радиусом в бозе-конденсат «выпадают» преимущественно разделенные тяжелые и малоподвижные частицы. С этим фактом связано то важное обстоятельство, что в биполяронной модели нет сверхпроводящей щели в обычном смысле теории БКШ, имеется только ее имитация.

Биполяронная теория хорошо объясняет некоторые свойства новых сверхпроводников, в частности высокую критическую температуру, которая определяется уже не константой электрон-фононного взаимодействия, как в модели БКШ, а эффективной массой биполярона⁷.

Однако пока в целом природа высокотемпературной сверхпроводимости в недавно синтезированных металлооксидных керамиках остается неясной, и теоретики набирают сейчас коллекцию разных правдоподобных механизмов, которые могли бы объяснить все экспериментальные результаты, полученные при исследовании новых высокотемпературных сверхпроводников. Какой из предложенных механизмов «выживет», покажет будущее.

⁷ Alexandrov A. S., Ranninger J., Robaszkiewicz S. // Phys. Rev. B. 1986. Vol. 33. P. 4526—4542; Александров А. С., Гребнев В. Н., Мазур Е. А. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 45. № 7. С. 357—360.

⁵ См. напр.: Schafroth M. R. // Phys. Rev. 1955. Vol. 100. № 2. P. 463—475.

⁶ Chakraverty B. K. // J. Phys. Lett. 1979. Vol. 40. L. 99; J. Phys. 1981. Vol. 42. P. 1351.

Г. П. Марков

ПАМЯТЬ

П О ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ инструментальных наблюдений природных явлений человечество все еще находится на младенческой стадии накопления фактов. Первые наблюдения такого рода, относящиеся к изучению нашей планеты, — измерения земного магнетизма — начали проводить чуть более 150 лет назад. Срок действительно ничтожный в сравнении с миллиардами лет истории Земли и отнюдь не достаточный для установления каких-либо долговременных закономерностей. Однако природа поистине щедра и в который раз приходит на помощь естествоиспытателям. Она предусмотрительно, словно добросовестный летописец, записала много интересного о различных процессах и явлениях далекого прошлого на естественных носителях информации — минералах. Исследователь должен лишь грамотно прочесть эти древние летописи.

В связи с этим естественно возникает ряд принципиальных вопросов.

Способен ли вообще минерал «запоминать» свою предысторию?

Как долго он хранит достоверную и доступную для чтения информацию?

На каком языке записана эта информация?

Что именно помнит минерал?

Все эти вопросы в совокупности составляют интереснейшую проблему памяти минералов, до конца еще не решенную, но вполне разрешимую.

МАГНИТНАЯ ПАМЯТЬ

С точки зрения термодинамики для возникновения эффекта «памяти» в любой термодинамической системе, к которой относится и минерал, необходимо, чтобы в этой системе в результате какого-либо внешнего воздействия протекал полностью или частично необратимый процесс. После этого система, стремясь к равновесию, оказывается в стабильном (устойчивом) или же метастабильном (относительно устойчивом) состоянии с характерным временем жизни τ . Чтобы мы могли судить об этом состоянии, оно должно сохраниться до наших дней, иными словами — время τ должно быть достаточно велико.

Такие необратимые процессы происходят в природе довольно часто, поэтому на первый вопрос, поставленный выше, можно ответить утвердительно.

Чтобы ответить на остальные вопросы, обратимся к определенному виду памяти кристаллов — магнитной, изучаемой двумя разделами современной геофизики — палеомагнитологией и петромагнитологией. Магнитная память основана на явлении палеомагнетизма — свойстве горных пород намагничиваться в процессе своего формирования под действием магнитного поля Земли и сохранять приобретенную намагниченность в последующие геологические эпохи.

Читатель, интересующийся историей нашей планеты, знает о таких проблемах, как движение континентов и расширение дна океанов, дрейф магнитных полюсов и инверсия магнитного поля Земли, исследование которых немыслимо без использования палеомагнитных данных.

Магнитная память минералов проявляется в их магнитных свойствах, иными словами, информация о прошлом минерала может быть записана на магнитном «языке».

Что же именно помнит минерал? Оказывается он может запоминать любое внешнее воздействие, приводящее к устойчивым необратимым изменениям. В частности, говоря о магнитной памяти, следует иметь в виду, что ферромагнитные минералы в своих магнитных характеристиках хранят информацию о таких природных факторах, как:

величина и направление магнитного поля Земли H , действовавшего на минерал во время его рождения (этот эффект назовем H -памятью);

температура кристаллизации или последующих нагревов (T -память);

давление, которому подвергался минерал во время и после образования (P -память).

Скорее всего, этот перечень далеко не полон. Здесь приведены лишь те «вспоминания», о которых можно говорить с известной долей определенности. Ниже кратко обсудим каждый из трех упомянутых типов магнитной памяти.

МИНЕРАЛОВ

Н-ПАМЯТЬ — ПРЕДМЕТ ПАЛЕОМАГНИТОЛОГИИ

Чтобы узнать величину и направление древнего геомагнитного поля \vec{H} , палеомагнитологи обычно определяли вектор естественной остаточной намагниченности \vec{J} образца горной породы. Этот вектор, как выяснили эмпирически, пропорционален по величине и, как правило, параллелен полю \vec{H} , действовавшему в момент кристаллизации минерала. Оказалось, что этого эмпирического правила

$$\vec{J} = k\vec{H}$$

(k — постоянный коэффициент) почти достаточно для разработки различных методов нахождения \vec{H} и утверждения палеомагнитологии как науки. Правда, при этом подразумевается, что приобретенная минералом намагниченность \vec{J} сохраняется неизменной до момента ее измерения в лаборатории. Но это самостоятельная проблема, одна из самых острых в палеомагнитологии. И, конечно же, как из всякого правила, из основного положения палеомагнитологии тоже бывают исключения, что также требует отдельного изучения.

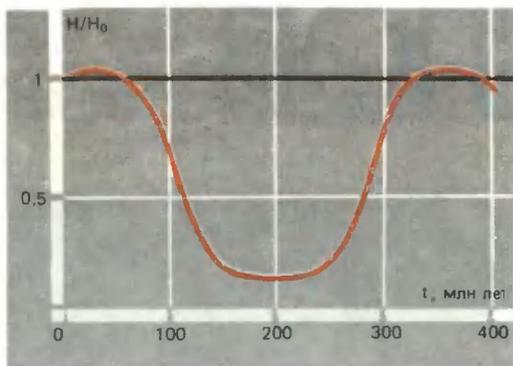
Остаточная намагниченность \vec{J} — это проявление гистерезисных свойств ферромагнетика. Казалось бы, для возникновения \vec{H} -памяти минералу достаточно подвергнуться действию внешнего магнитного поля \vec{H} , в результате чего из-за магнитного гистерезиса он приобретает устойчивую остаточную намагниченность \vec{J} , пропорциональную величине напряженности поля \vec{H} . Однако палеомагнитные исследования показали, что в магнитном поле Земли сам по себе гистерезис обычно не приводит к появлению в горных породах намагниченности, доступной измерениям современными магнитометрами, а если заметная намагниченность и появляется, то она оказывается весьма недолговременной и слабо устойчивой по отношению к различным внешним воздействиям. Однако и здесь природа нашла выход, сопровождая действие магнитного поля во время образования минерала различными дополнительными факторами (высокой температу-



Геннадий Петрович Марков, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физико-технических проблем. Область научных интересов — палеомагнитология и исследование магнетизма горных пород.

рой, большим давлением, химическими реакциями и т. п.). Вызываемые дополнительными факторами физико-химические процессы в геомагнитном поле и приводят к возникновению в минералах естественной остаточной намагниченности, сохраняющейся в земных условиях миллионы лет. Теоретические оценки времени t , в течение которого в кристалле магнита размером 0,03 мкм при температуре 0 °С сохраняется намагниченность, дают значение $\sim 10^{20}$ с (10^{12} — 10^{13} лет). Эти оценки позволяют ответить на последний, четвертый, вопрос, поставленный в предыдущем разделе, но отнюдь не претендуют на решение проблемы памяти минералов.

В последние годы для извлечения палеомагнитной информации специалисты стали оперировать не с намагниченностью J , а с некоторой совокупностью свойств образца горной породы, называемой магнитным состоянием. В общем случае магнитное состояние определяется характером энергетического распределения магнитных частиц или доменов. Можно полагать, что с точки зрения магнитной памяти для формирования магнитного состояния кроме геомагнитного поля при образовании минерала необходимы также дополнительные внешние воздействия. Тогда естественное магнитное состояние, включающее в



Изменение относительной величины геомагнитного поля N/N_0 (в эпохи устойчивой полярности) со временем t за последние 400 млн лет (цветная кривая — по результатам А. С. Большакова и Г. М. Солодовникова, прямая — по результатам Г. П. Борисовой и Л. Е. Шолпо).

себя остаточную намагниченность \vec{J} как составную часть, представимо функцией поля \vec{H} и дополнительных параметров, среди которых, кроме уже упомянутых температуры T и давления P , фигурируют еще химические реакции R и время жизни минерала t . Все эти параметры тоже должны отражаться в магнитной памяти. Сегодня представления о R -памяти и t -памяти в палеомагнитологии еще недостаточно хорошо разработаны, поэтому эти виды магнитной памяти минералов обсуждать в популярной статье пока преждевременно. Отметим только, что в науках о Земле о протекании в прошлом тех или иных химических реакций судят по современному химическому составу минералов, а абсолютный возраст горных пород определяют, основываясь на явлении радиоактивного распада некоторых из содержащихся в них изотопов.

Таким образом, изучая естественное магнитное состояние природных ферромагнитных минералов, палеомагнитологи получают информацию о геомагнитном поле \vec{H} в эпоху образования породы. Проводя такие исследования для пород разного возраста, можно собрать данные об изменениях вектора \vec{H} со временем в прошлые эпохи. Сейчас мы знаем, что магнитное поле нашей планеты в прошлом не оставалось постоянным, магнитные полюса постоянно дрейфовали и даже менялись местами. Таких перемен — инверсий — в истории Земли было несколько сотен.

Определить величину древнего геомагнитного поля \vec{H} гораздо сложнее, чем направление, поэтому зависимость $\vec{H}(t)$

изучена еще недостаточно детально. В настоящее время для оценки величины \vec{H} используют более 10 методов, каждый из которых имеет свои определенные недостатки. Однако имеется и общий, независимый от метода недостаток, связанный с вероятностным характером получаемых результатов. Так что роль субъективного фактора в оценке \vec{H} , особенно по древним породам, оказалась слишком велика. Это ярко иллюстрируют временные изменения величины $\vec{H}(t)$ за последние 400 млн лет, полученные разными авторами¹.

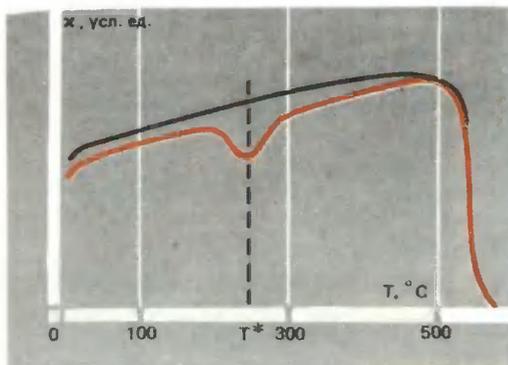
T-ПАМЯТЬ

Знание температурной предыстории горных пород важно для решения целого ряда геологических и геофизических задач, скажем, исследования регионального метаморфизма (изменения структуры и состава горных пород), гранитизации, геотермии и т. п. Температура представляет собой мощнейшее возмущение, она изменяет состояние ферромагнетика и, как и магнитное поле, способна вызывать явления гистерезиса (известны явления температурного гистерезиса намагниченности, доменной структуры и т. д.). Следовательно, принципиальная возможность T -памяти существует. Не останавливаясь здесь подробно на геологических и магнитных термометрах, которым посвящено немало оригинальных работ, расскажем лишь о принципиально отличном от известных в настоящее время магнитном геотермометре. Его действие основано на недавно обнаруженном в Институте физики Земли АН СССР явлении T -памяти у природных кристаллов магнетита².

В палео- и петромагнитологии часто используется понятие абсолютного нулевого состояния — размагниченного, т. е. с нулевой остаточной намагниченностью, состояния ферромагнетика, полученного в результате охлаждения от точки Кюри T_c , в которой намагниченность исчезает, до некоторой температуры T_0 (чаще всего комнатной) в отсутствие внешнего магнитного поля. Если ферромагнитный кристалл, находящийся при температуре T_0 в таком состоянии, нагреть до некоторой температу-

¹ Большаков А. С., Солодовников Г. М. // Доклады АН СССР. 1981. Т. 260. № 6. С. 1340—1343; Борисова Г. П., Шолпо Л. Е. // Известия АН СССР. Сер. «Физика Земли». 1985. № 7. С. 71—79.

² Марков Г. П. // Доклады АН СССР. 1986. Т. 289. № 1. С. 65—67.



Термомагнитные кривые — зависимости магнитной восприимчивости χ от температуры T — для образца природного магнетита в абсолютном нулевом состоянии (черная кривая) и парциальном нулевом состоянии (цветная кривая), находящегося в геомагнитном поле. Во втором состоянии, полученном из первого в результате нагрева образца до $T^* = 250^\circ\text{C}$ и последующего охлаждения до $T = 0^\circ\text{C}$ при нулевом значении напряженности магнитного поля, четко проявляется эффект магнитной Т-памяти (локальный минимум на кривой при $T = T^*$).

ры T^* ($T_0 < T^* < T_c$) и затем снова охладить до исходной температуры T_0 в отсутствие поля, то кристалл перейдет в новое, относительно устойчивое состояние, которое должно обладать Т-памятью. Это новое состояние, несмотря на то что оно, на первый взгляд, ничем не отличается от абсолютного нулевого состояния, выделили в отдельный тип и назвали парциальным абсолютно нулевым состоянием. И оказалось — не случайно, поскольку при более тщательном исследовании выяснилось, что это состояние действительно отличается от своего «родителя» по целому ряду магнитных характеристик (коэрцитивные спектры, восприимчивость, время релаксации и т. д.). Но самое интересное (с точки зрения рассматриваемых в данной статье явлений памяти) обнаружили при сравнении термомагнитных кривых (температурных зависимостей магнитной восприимчивости χ) магнетита для того и другого состояния. Кривая зависимости магнитной восприимчивости от температуры для парциального состояния отличается от такой же кривой для абсолютного состояния и имеет минимум в окрестности температуры T^* . Наличие на термомагнитной кривой локальной аномалии, точно соответствующей температуре предшествующего нагрева T^* , служит наглядной иллюстрацией проявления Т-памяти в кристаллах магнетита. Такой магнитный термометр выгодно отличается от уже известных тем, что для

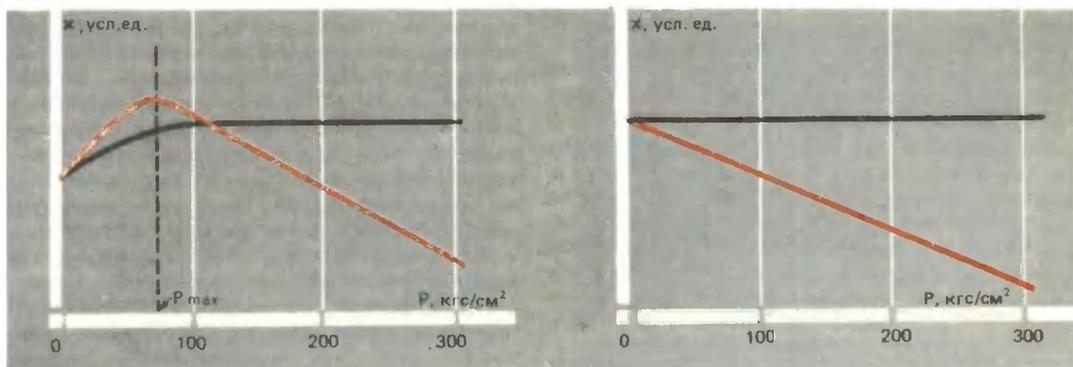
извлечения информации о температуре предыдущего нагрева достаточно лишь зарегистрировать температурную зависимость какого-либо магнитного параметра и идентифицировать температуру наблюдаемой на этой зависимости аномалии с температурой прогрева, которому подвергался минерал в прошлом. При этом находится абсолютное значение температуры нагрева, а не относительное, как в большинстве используемых сейчас магнитных термометров. Вопрос об устойчивости такой Т-памяти к различным возмущающим факторам еще не исследован до конца; можно сказать лишь, что она сохраняется в лабораторном эксперименте по меньшей мере 10^7 с (около 120 дней) после создания парциального состояния. Есть надежды и на более долговременную Т-память.

Р-ПАМЯТЬ

Магнитная Р-память изучена наиболее слабо. Она связана с дефектной структурой реального кристалла и ее перестройками (обязательно необратимыми) под действием механических напряжений. Структура реального кристалла очень сложна, что, по видимому, серьезно ограничивает возможности ее изучения. Тем не менее известно, что дефекты кристаллической решетки, например дислокации, сильно влияют на магнитные характеристики кристаллов, такие как восприимчивость и коэрцитивная сила. Необратимые изменения дислокационной структуры под действием механических напряжений приводят к необратимым изменениям этих чувствительных к дислокациям параметров. Это отчетливо прослеживается при сопоставлении зависимостей магнитной восприимчивости χ от внешнего давления P для двух одинаковых природных кристаллов магнетита, один из которых перед испытанием оставался в исходном состоянии, а другой подвергался действию давления $P_0 = 120 \text{ кг/см}^2$ ($1,2 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$). По изменению характера зависимости восприимчивости χ от приложенного давления можно судить об относительной величине давления, действовавшего на образец до исследования.

Об абсолютной величине и направлении действовавшей нагрузки P_0 дают информацию так называемые эмиссионные эффекты «памяти», наблюдавшиеся на различных образцах горных пород³. Эти ис-

³ Ржевский В. В. и др. // Доклады АН СССР. 1983. Т. 273. № 5. С. 1094—1097.



Зависимость магнитной восприимчивости χ от приложенного давления P (цветные кривые) для монокристаллов природного магнетита без предварительной нагрузки до испытания (слева) и после предварительной нагрузки $P_0 = 120 \text{ кг/см}^2$ (справа). Черные кривые построены по значениям восприимчивости, измеренным после устранения соответствующего давления. Характер зависимости $\chi(P)$ меняется в том случае, если значение P_0 превышает величину давления P_{max} , при которой на кривой $\chi(P)$ без предварительной нагрузки наблюдается максимум. В данном случае $P_{\text{max}} \approx 80 \text{ кг/см}^2 < P_0$.

следования показали, что характер акустической и электромагнитной эмиссии из образца при повторном нагружении зависит от величины и направления предшествовавшей нагрузки. Скажем, если нагрузка достигает предыдущего значения P_0 , скачкообразно возрастают интенсивности акустического и электромагнитного излучений нагружаемого образца. Этот скачок информирует о той нагрузке, которую испытывал образец в прошлом. Правда, как долго может сохраняться этот вид памяти, пока неизвестно. Зато не вызывает сомнений, что P -память имеет замечательные перспективы использования при решении столь важных проблем, как прогноз землетрясений и напряженных состояний горных пород, изучение динамических процессов в горных массивах и т. д.

Даже краткий анализ рассмотренных явлений позволяет говорить о существовании эффекта памяти минералов, заявленного в заголовке этой статьи. Однако здесь представлена лишь надводная часть айсберга, символизирующего глубину явления и масштабность этого подарка природы. Кроме приведенных в статье проявлений магнитной памяти и отчасти эмиссионной (P -память), следовало бы также упомянуть о разнообразных геологических термометрах и барометрах, которые дают возможность по химическому составу и структуре минералов судить о температуре и давлении во время их образования.

Все эти проблемы исследуются сегодня одним из наиболее активно развивающихся направлений геологии — генетико-информационной минералогией.

Но мир кристаллов не ограничивается только минералами, так что способностью к запоминанию различных воздействий могут обладать и кристаллы искусственного происхождения. Один из примеров этого — эффект памяти формы в металлах и сплавах⁴.

Основная трудность при изучении памяти природных кристаллов — превратить их из пассивных носителей в активные широкополосные передатчики этой бесценной информации о прошлом. Пока мы пытаемся извлекать ее лишь в узкой «полосе», содержащей какие-то свойства интегральной информации, но и «усеченная» подобным образом, она зачастую доходит до нас в искаженном виде. По-видимому, расширить эту полосу и повысить достоверность получаемой в таком подходе информации в ближайшем будущем заметно на удасться из-за чрезвычайной сложности исследуемых объектов. Однако немаловажную роль в этом играет и отсутствие у «чистых» физиков настоящего интереса к проблеме памяти минералов. И если хотя бы один из физиков, прочитавших статью, обратит внимание на эту проблему, автор сочтет, что писал ее не напрасно.

⁴ См., напр.: Хачин В. Н. Память формы. М., 1984.

РЕДУКЦИОНИЗМ В НАУЧНОМ ПОЗНАНИИ

Л. Б. Баженов



Лев Борисович Баженов, доктор философских наук, ведущий научный сотрудник Института философии АН СССР. Специалист в области философских вопросов естествознания и методологии науки. Автор книг: *Философия естествознания* (в соавторстве с К. Е. Морозовым и М. С. Слуцким). М., 1966; *Строение и функции естественно-научной теории*. М. 1978.

ДО СРАВНИТЕЛЬНО недавнего времени редукционизм понимался в отечественной научной литературе исключительно в негативном смысле (эта тенденция ныне успешно преодолевается) и противопоставлялся концепции форм движения материи. На мой взгляд, как раз наоборот: диалектико-материалистическая концепция форм движения материи и может быть иначе названа диалектически понятым редукционизмом. Как известно, суть диалектического решения проблемы соотношения низших и высших форм движения заключается в признании единства противоположных моментов: качественной специфичности высшей формы и наличия неразрывной связи высшей и низшей форм. Диалектическая концепция форм движения выступает против метафизически односторонних тенденций, абсолютизирующих один из противоположных моментов. Этими метафизическими тенденциями являются:

1. Отрицание качественного своеобразия высшей формы движения, «сведение» высшей формы движения к низшей.

2. Абсолютизация качественного своеобразия высшей формы движения, отрыв ее от соответствующих низших форм движения.

Первая тенденция обычно именовалась редукционизмом, или механицизмом (без проведения какого-либо различия между ними), вторая — антиредукционизмом. Я предлагаю различать редукционизм и механицизм, именно и лишь под последним понимая отрицание качественной специфики более сложных материальных образований, «сведение» более сложного к простым элементам (при фактическом отрицании специфичности более сложного), «сведение» целого к сумме его частей и т. д. От такого рода «сведения» следует отличать использование фундаментальных законов более простых уровней с целью теоретического выведения (объяснения) качественной специфичности сложных образований.

РЕДУКЦИОНИЗМ И МЕХАНИЦИЗМ

Основной вопрос, который встает перед так (диалектически) понятым редукционизмом — это не вопрос о существовании качественной специфичности более сложных материальных образований (ее признание — исходная посылка и редукционизма, и антиредукционизма), а вопрос о характере этой специфичности. Либо она есть нечто первичное, изначальное, ниоткуда не выводимое (антиредукционизм), либо она должна быть сама

объяснена, «сведена» к нижележащим и более фундаментальным уровням, причем таким образом, чтобы было возможно теоретическое «выведение» более сложных уровней. Редукционизм и утверждает, что качественную специфичность сложных материальных образований надо не постулировать, не произвольно вводить на основе поверхностной констатации отличий одной предметной области от другой, а уметь понять как результат закономерного усложнения более простых материальных образований, как результат диалектического процесса перехода количественных изменений в качественные.

Различие механицизма и редукционизма делает необходимым более дифференцированный подход к критике механицизма. В нашей философской литературе довольно часто можно встретить с упрощенной характеристикой механицизма как всякой попытки объяснить специфические закономерности более сложных форм движения на основе более простых. Такое объяснение «с порога» принимается за «сведение», за отрицание качественной специфики соответствующей высшей формы. Но подобная точка зрения оказывается близкой ко второй метафизической тенденции — антиредукционизму, абсолютизирующему специфику сложных форм и закрывающему пути для ее объяснения.

Диалектически понятый редукционизм (в отличие от редукционизма механистического) не отрицает качественного своеобразия той предметной области, теория которой редуцируется к некоторой более фундаментальной теории (например, термодинамика к статистической механике или химия к квантовой механике). Наоборот, именно в результате редукции это качественное своеобразие и получает глубокое теоретическое объяснение, а не просто описывается как изначально данное.

Здесь имеет смысл сделать одно замечание, касающееся иногда проявляемого непомерного ригоризма в отношении фактически имевших место в истории науки успешных редукций. Такова, например, позиция философа М. Бунге, оспаривающего корректность редукции механики твердого тела к механике материальной точки и ряда других редукций на том основании, что они не удовлетворяют строгим логическим требованиям.

Требование выдерживать конкретные редуктивные построения логически строго в большей степени относится к проблеме логической реконструкции уже имеющейся редукции, чем к задаче ученого, впервые

эту редукцию осуществляющего. Это не означает, что логические требования не важны или несущественны, но лишь требует правильного понимания статуса логики в научном познании. Он, на мой взгляд, хорошо передается афоризмом Ю. А. Шрейдера: «логика — это этика науки».

Люди, как известно, в своей жизни сплошь и рядом нарушают нравственные нормы, что, однако, не дает оснований ставить эти нормы под сомнение. Роль, аналогичную этическим нормам в нравственном поведении, в познавательной деятельности играют логические каноны. Отсюда можно понять и действительный смысл известной шутки, говорящей о том, что логика состоит из двух частей. В первой части — дедуктивной логике — подробно описываются все возможные логические ошибки. Во второй — индуктивной — как эти ошибки делать.

РЕДУКЦИОНИЗМ И ФИЗИКАЛИЗМ

Обычно считается, что два вынесенных в подзаголовок понятия, разделенные союзом «и», обладают разным содержанием. Но диалектически понятый редукционизм в общем совпадает с физикализмом. Понятие физикализма требует комментариев. Этот термин широко использовался неопозитивизмом и до сих пор иногда сохраняет некий неопозитивистский привкус. Неопозитивистский физикализм выступал прежде всего как лингвистическая программа, стремящаяся осмыслить единство науки не на путях ее реального развития, а на путях логико-лингвистической реконструкции ее языка.

Здесь под физикализмом будет пониматься концепция монофундаментальности науки. В свое время автор предложил различать в естественнонаучной области три уровня фундаментальности, которые были обозначены как глобальная, дисциплинарная и внутридисциплинарная фундаментальность¹.

Глобальная фундаментальность состоит в невыводимости основных положений той или иной научной дисциплины ни из каких других научных дисциплин. Наука называется фундаментальной (в смысле глобальной фундаментальности), если и толь-

¹ Баженов Л. Б., Евстихиев Н. Н., Капранов Р. М., Лысманкин Е. Н. // *Вопр. философии*. 1980. № 8. С. 97—106.

ко если ее основные положения не могут быть теоретически выведены из каких-либо других наук, а могут быть лишь обоснованы ссылкой на всю совокупность соответствующих опытных данных (и в этом смысле «берутся» из опыта).

Так понятая, фундаментальность характеризует место каждой научной дисциплины в системе естественных наук. В зависимости от того, одна или несколько наук претендуют на глобальную фундаментальность, можно говорить о концепциях монофундаментальности и полифундаментальности науки². Физикализм и есть концепция монофундаментальности науки, утверждающая, что только физика обладает глобальной фундаментальностью.

Как известно, реально на статус фундаментальных наук в истории естествознания претендовали три дисциплины — физика, химия и биология. В результате развития физики и создания квантовой механики проблема фундаментального статуса химии получила отрицательное решение. Это означает не утрату химией своей важности, самостоятельности, значения (все это остается при ней), а лишь то обстоятельство, что ее основные понятия и законы получили физическое объяснение.

Проблема отношения физики и биологии не имеет сегодня строгого естественнонаучного решения. Ее методологическое обсуждение можно провести, взяв в качестве модели уже решенную проблему — проблему соотношения физики и химии. Этот прием в свое время использовал Н. Н. Семенов.

ОТНОШЕНИЕ БИОЛОГИИ И ФИЗИКИ

Накануне создания квантовой теории в химии сложилась ситуация, напоминающая нынешнюю ситуацию в биологии. Было понятно, что электроны входят в состав атомов и ответственные за их химические свойства. Однако попытки объяснить химические свойства атомов, исходя из известных тогда физических законов движения электронов, оказались неудачными. Это привело к тому, что многие химики стали вообще отрицать правомерность и возможность вторжения физики в специфическую сферу химии.

Создание квантовой теории радикаль-

но изменило ситуацию. Открытие новых физических законов, управляющих движением электронов, позволило именно с точки зрения физики понять и объяснить химические свойства атомов. Специфические закономерности химии (к примеру, закон Менделеева) не только не были отброшены, а наоборот, были подняты на новую ступень, ибо был раскрыт их внутренний механизм.

Эта «химическая» модель позволяет сделать важный методологический вывод. В обсуждении проблем редукции надо учитывать, что теория, не редуцируемая сегодня, может оказаться редуцируемой завтра в связи с изменениями, произошедшими в ней самой и (или) в некоторой фундаментальной теории. Ярким примером такого рода изменения оценки как раз и является проблема редукции химии к физике. Эта редукция была невозможна в рамках классической физики, и она стала фактом в рамках квантовой физики.

Пользуясь «химической» моделью как аналогией, можно выделить два возможных отношения физики и биологии:

1. В явлениях жизни мы встретимся с новыми физико-химическими свойствами, для объяснения которых недостаточно известных законов физики и химии.

2. Для объяснения основных особенностей жизни достаточно известных законов физики и химии.

Какая же из этих возможностей предпочтительнее? Н. Н. Семенов полагает, что первая. Нынешняя ситуация в биологии, по его мнению, аналогична ситуации в химии начала века. «Мы находимся в фазе, — писал он, — аналогичной той, которая в области физики и химии была накануне 1913 г.; точка зрения ряда биологов аналогична точке зрения некоторых химиков того времени (отрицавших возможность физического объяснения химических закономерностей. — Л. Б.). Точка зрения биохимиков аналогична точке зрения тех физиков того времени, которые пытались построить теорию атома, исходя из известных тогда положений физики электронов. Моя точка зрения заключается в том, что решение вопроса о роли химии в биологии будет аналогичным тому, которое имело место после 1913 г. в вопросе об электронном строении атома и молекулы»³.

Иной является позиция ряда видных советских биофизиков. «Либо в биологии

² Бирюков Б. В., Новик И. Б. // *Вопр. кибернетики*. 1977. Вып. 32. С. 4—7.

³ Семенов Н. Н. // *Вопр. философии*. 1959. № 10. С. 96.

содержится нечто принципиально чуждое физике и химии, — пишет М. В. Волькенштейн, — либо жизнь есть особое проявление физических и химических процессов, протекающих в сложных открытых системах, *tertium non datur*,⁴ либо биология противостоит физике, либо противоречия между биологией и физикой кажущиеся, и витализм в любой его форме несостоятелен⁵. «Для полного описания и понимания строения и функционирования всех существующих биологических систем, — считает Л. А. Блюменфельд, — в принципе, вполне достаточно известных нам основных законов физики»⁶. Что же касается имеющихся здесь трудностей, то, по его мнению, «вряд ли преодоление этих трудностей будет связано с необходимостью создания принципиально новой, специально биологической физики. Просто мы еще слишком плохо знаем биологию»⁷.

Радикальные изменения физики в будущем никак не исключены, но на сегодня нет достаточных оснований ожидать, что они будут вызваны биологическими данными. Чтобы это произошло, существующая физика должна была, как минимум, натолкнуться в биологии на границы своей применимости. Вторая возможность (в отличие от первой) выражает активистскую позицию — она призывает работать известным инструментом в известной (хотя и недостаточной) области. И не беда, если в ходе такой работы современная физика натолкнется на границы своей применимости — это приведет к рождению новой физики.

Создание в последние годы неравновесной термодинамики, разработка теории диссипативных структур и синергетики делают вторую возможность еще убедительнее.

МЕСТО ФИЗИКИ В СИСТЕМЕ НАУК

Сегодня вполне определенно говорят о новом понимании единства естествознания и роли физики в системе естественных

наук. Выражение «новое понимание», впрочем, не вполне корректно. Еще в 1935 г. С. И. Вавилов, обсуждая эти вопросы, писал: «Абстрактность и всеобщность положений и законов физики соединяются с ... стремлением к принципиальному объяснению на этой основе других конкретных фактов естествознания. Без этой тенденции нельзя понять отношение физики к другим наукам и ее места в системе наук. Исторически многие естественные науки развивались почти независимо от физики, строя свои внутренние системы на основе специфических, не физических понятий, например, валентности в химии, живой клетки в биологии и т. д.; и стремление физики было и остается очень далеким от реализации. Более того, сложность природы и неисчерпаемость ее разнообразия позволяют утверждать, что эта цель физики никогда не может быть достигнута, хотя на пути к ней каждый день регистрирует новые положительные результаты. Вместе с тем именно эта тенденция физики наряду с ее универсальностью и абстрактностью определяет положение физики в системе наук»⁸.

Основная мысль этого высказывания полувекковой давности может быть еще более определенно повторена сегодня: первая, фундаментальная характеристика физики связана с универсальностью ее законов и тенденций объяснения на их основе всего круга естественных явлений.

Можно зафиксировать своеобразный цикл отрицания в развитии физики от древнейших времен до наших дней. В свою младенческую (в строгом смысле — донаучную) пору физика понималась как учение о природе вообще; само название «физика» происходит от древнегреческого «φυσική» — природа. В XVI—XVIII вв. формируется научная физика (прежде всего в лице механики) как частная, специальная дисциплина, наряду с которой возникают другие частные дисциплины: химия, геология, биология и т. д. Это — первое отрицание.

Правда, тогда же на базе успехов механики складывается и механистическое мировоззрение, стремящееся осмыслить все явления, а не только естественнонаучные, по образу и подобию механики. Но это были не конкретные научные результаты, а скорее общая методологическая установка.

XX столетие дает нам второе отрицание (отрицание отрицания), в ходе которого восстанавливается всеобщий естественно-

⁴ Третьего не дано (лат.)

⁵ Волькенштейн М. В. Молекулярная биофизика. М., 1975. С. 13. Правда, автор возражает против слова «редукционизм», понимая под ним отрицание самостоятельности редуцируемой дисциплины (качественной специфики ее объекта). Я старался показать выше, что это не присуще диалектически понятию редукционизму.

⁶ Блюменфельд Л. А. Проблемы биологической физики. М., 1974. С. 9.

⁷ Там же. С. 303.

⁸ Вавилов С. И. Собр. соч.: В 3-х т. М., 1956. Т. III. С. 150—151.

научный статут физики. Физика не на словах, а на деле становится той дисциплиной, на основе фундаментальных законов которой должны найти (и все в большей степени находят) конкретное научное объяснение все другие явления природы. Причем физикализация других естественных наук не только не наносит ущерба их престижу, их самостоятельности, их значению, а, наоборот, поднимает их с уровня во многом описательных дисциплин на действительно теоретический уровень. Физика не поглощает, не ассимилирует другие науки, а образует их объяснительный базис

ПРОБЛЕМА РЕДУКЦИИ БИОЛОГИИ

Выше автор стремился обосновать плодотворность позиции редукционизма, разделяемой большим числом ученых и философов. Но, видимо, не меньше сторонников и у антиредукционистской установки. Это обстоятельство может и не очень-то беспокоить ученого. Но такой ответ не может удовлетворить философа, который должен объяснить отмеченную оппозицию, раскрыть ее закономерность или, наоборот, случайность.

Дело заведомо не в том, что физик по профессии будет отстаивать физикалистскую установку, а биолог — ее оспаривать. В рамках рассматриваемой оппозиции физики тоже не всегда согласны друг с другом (как, впрочем, и биологи). Вот что пишет на этот счет Р. Фейнман: «Ни одна наука, ни одна отрасль знания не движутся так бурно по всем направлениям вперед, как биология. Но если бы мы должны были назвать то самое главное, что ведет нас сейчас все вперед и вперед в наших попытках понять явление жизни, мы обязаны были бы сказать: «все тела состоят из атомов», все, что происходит в живых существах, может быть понято на языке движений... атомов»⁹. А другой крупный физик Е. Вигнер занимает диаметрально противоположную позицию: «Описание этого явления (жизни — Л. Б.), очевидно, потребует включения в наши законы природы понятий, чуждых имеющимся в настоящее время законам физики»¹⁰.

Так что дело не в профессиональной ориентации (во всяком случае, не в ней

в первую очередь). И редукционизм, и антиредукционизм находят для себя основания в предметной области биологии. Так, антиредукционистские основания обсуждаются в интересной и обстоятельной работе В. Г. Борзенкова и А. С. Северцова.

Авторы стремятся сбалансированно подойти к оценке оппозиции редукционизма-антиредукционизма. Они выделяют три основных аспекта жизнедеятельности: физико-химический, исторический и системный, которые, по их словам, «столь неотделимы от самых первых живых организмов, известных нам, что трудно представить возможность элиминации какого-либо из них в системе теоретических представлений, претендующих на полноту»¹¹. Наличие системности (целостности) и историзма образует питательную среду антиредукционизма.

Однако неверно представлять дело таким образом, будто редукционизм или физикализм (по отношению к вопросу о фундаментальности биологии это одно и то же) отрицают аспекты системности и историчности. Редукционизм не отрицает их, напротив он предлагает вполне определенный путь их исследования.

Сначала о системности. Обычное возражение против редукционизма состоит в утверждении, что свойства целого не выводимы из свойств составляющих его частей. Но это очень нечеткий тезис. Все дело в том, на каком уровне изученности целого выделены соответствующие части, насколько адекватно их выделение задаче познания соответствующей целостности. Свойства целого не выводимы из свойств частей на описательном уровне, когда отсутствует достаточно «хорошая» теория, позволяющая такое выведение осуществить. Доктрина редукционизма и утверждает принципиальную возможность построения такой «хорошей» теории.

Сказанное можно проиллюстрировать на примере, в котором обсуждается выводимость свойств целого (воды) из свойств частей (водорода и кислорода). Я позволю себе привести достаточно длинную выдержку, отчетливо выражающую антиредукционистскую точку зрения: «Кислород обладает определенными свойствами, и водород — некоторыми другими. Они соединяются в воду, и соотношения,

⁹ Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. // Фейнмановские лекции по физике. Т. 1. М., 1965. С. 64.

¹⁰ Вигнер Е. Этюды о симметрии. М., 1971. С. 162.

¹¹ Борзенков В. Г., Северцов А. С. Теоретическая биология: размышления о предмете. М., 1980. С. 31.

в которых они это делают, фиксированы ... Большинство физических или химических свойств воды не имеют никаких известных связей, ни количественных, ни качественных, со свойствами кислорода и водорода. Здесь мы имеем ясный пример того, как свойства целого, составленного из двух элементов, не могут быть предсказаны на основе знания свойств этих элементов, взятых в отдельности, или на основе этого знания, соединенного с знанием других целых, которые содержат эти элементы»¹².

Основная ошибка этого рассуждения состоит в рассмотрении свойств в некоем абсолютном смысле, безотносительно к той или иной конкретной теории. Но такое рассмотрение вообще не имеет ясного смысла. Химические и физические свойства воды, действительно, не могли быть предсказаны в рамках сравнительно примитивных химических представлений (свойства целого были здесь невыводимы из свойств частей). Но это на уровне современной химической теории, как раз и объясняющей свойства целого (воды) на основе свойств ее составляющих (кислорода и водорода). Вообще в результате редукции отнюдь не ликвидируются и не превращаются в нечто «кажущееся» различия, ранее установленные на другом структурном уровне. Например, когда будут установлены детальные физические, химические и т. п. причины головной боли, сама боль, естественно, не станет чем-то иллюзорным.

Теперь об историзме. Это, действительно, фундаментальный аспект (а, возможно, сама суть) жизни. Только теория эволюции, — пишет биофизик С. Э. Шноль, — является собственно биологической теорией»¹³. Фундамент научного эволюционизма заложен теорией Ч. Дарвина. Нелишне напомнить, что витализм (как воинствующий антиредукционизм) всегда относил дарвинизм к редукционизму. Однако физикалистской доктриной теория Дарвина, конечно, не была. Более того, классическая физика противоречила дарвинизму. Термодинамика знала эволюцию лишь в направлении упрощения. Принцип отбора был чужд физике.

Ситуация, однако, радикально изменилась в наши дни. Развитие неравновесной

термодинамики позволило подойти к эволюции физически. Дарвиновский отбор находится на пути включения в систему физических понятий, на пути превращения в физический принцип. Разумеется, при этом он не утрачивает своей фундаментальной роли в биологии. Таким образом, ни системность, ни эволюция не отвергаются редукционизмом и не опровергают его.

Очень часто основанием для возражения против редукционизма служит предубеждение, будто он покушается на самостоятельность биологии, отрицает наличие специфических биологических законов. Причиной такого отношения является некорректная постановка вопроса о характере биологических законов, как это имеет место, например, у видного современного философа и методолога науки Дж. Смарт, занимающего последовательно редукционистскую позицию. Смарт отрицает наличие в биологии таких законов, сравнивая ее в этом отношении с электротехникой. Однако это сравнение не корректно. В электротехнике нет специфических для нее законов, но и объекты электротехники не возникли в ходе естественного развития; они созданы разумной волей использовавшего законы физики человека. Биологические же объекты не созданы разумной волей, они возникли в ходе естественной эволюции. Законы развития и движения этих новых объектов, конечно, являются специфическими, их не было на нижележащих уровнях. Другой вопрос, как эту специфичность понимать. Редукционизм отрицает специфичность биологических законов в смысле утверждения их антифизичности, их принципиальной невыводимости из физических законов, их необъяснимости на базе законов физики. Но он признает их специфичность как законов качественно нового уровня материальной организации, которые вместе с этим уровнем появляются и на нижележащих уровнях отсутствуют.

Редукция всегда предполагает заранее данное существование двух теорий, относящихся к разным уровням материальной организации (в традиционной для диалектического материализма терминологии — к разным формам движения материи): первичной (фундаментальной, объясняющей) и вторичной (производной, объясняемой). Вторичная дисциплина в нередуцированной форме сохраняет свое значение феноменологической, описательной дисциплины (например, феноменологическая термодинамика или менделевская генетика), а в редуцированной форме (соответственно: статистическая термодинамика

¹² Nagel E. The Structure of Science. N. Y., 1961. P. 368.

¹³ Шноль С. Э. Физико-химические механизмы и биологическая специфичность // Биология и современное научное познание. (Материалы к конференции). М., 1975. Ч. 1. С. 16.

или молекулярная генетика) становится научной более высокого теоретического уровня и не только не утрачивает своей важности, самостоятельности, значимости, а напротив, значительно расширяя свой познавательный инструментарий, ведет к более глубокому постижению своей предметной области.

Но не следует ли из всего этого, что редукционизм — единственно верная установка, антиредукционизм (или, иначе, холизм) — просто прискорбное заблуждение? На мой взгляд, нет.

Оппозиция редукционизма и холизма представляет собой постоянную и неустранимую черту человеческого познания, выражение его диалектической природы. И это относится не только к рассматриваемой оппозиции, но и ко всем фундаментальным методологическим установкам. Автор уже развивал подобный взгляд в отношении оппозиции эмпиризма и рационализма как дополнительных методологических установок, которые, исключая друг друга, только вместе способны дать полную картину человеческого познания¹⁴. Это же справедливо и в отношении холизма и редукционизма.

Холистские концепции фиксируют слабые стороны тех или иных конкретных редукционистских построений, дают первоначальное описание недостаточно изученных предметных областей, ставят задачи для последующего более глубокого изучения. Они всегда этап и никогда не итог. В завершеном знании холизм не имел бы места; в бесконечно развивающемся знании он неустраним.

Проведенное обсуждение позволяет обозначить место, занимаемое редукцией в научном познании.

Поскольку редукция есть некоторый тип отношения между теориями, надо постараться отграничить этот тип от других отношений теорий и прежде всего от отношения включения одной теории в другую.

Стандартный тип отношения включения — это отношение общей и частной теории. Скажем, по отношению к механике гидродинамика, аэродинамика или небесная механика представляют собой частные теории. Создание этих теорий не было результатом редукции, а явилось приме-

нением общей схемы механики к конкретным механическим системам.

Точно так же вряд ли стоит относить к «ведомству» редукции работы по созданию теории «Великого объединения», так как здесь речь идет не о редукции одной теории к другой, допустим, теории электромагнитного взаимодействия к теории электрослабых взаимодействий, а о создании новой фундаментальной теории.

Не следует смешивать с редукцией и отношение теорий, удовлетворяющих принципу соответствия, хотя можно сказать, что, например, классическая механика выводится из релятивистской или релятивистская сводится к классической при $v \ll c$. Однако здесь также нет отношения редукции. Здесь есть (при движении от классической механики к релятивистской) создание новой, ранее отсутствующей теории, а при обратном движении — отношение предельного перехода.

Редукция является чрезвычайно важным, хотя, разумеется, не единственным фактором развития знания. Достаточно часто возникающие попытки расширительного истолкования редукции характерны и в отношении других познавательных процедур. Нередко, например, возникает искушение чуть ли не всю познавательную деятельность связать прежде всего с гипотезой или, скажем, объявить моделированием. Определенные основания для таких искушений, разумеется, есть, поскольку различные познавательные процедуры не существуют изолированно, а каждая, в той или иной мере, включает в своей практической реализации моменты многих других процедур. Редукция может выступать моментом обоснования, а процедура обоснования входить как момент в ту или иную конкретную редукцию. В каждом случае важно различать эти процедуры, выполняемые ими теоретико-методологические функции.

¹⁴ Баженков Л. Б. Структура и функции естественной научной теории. М., 1978. С. 57.

ИОННЫЕ КАНАЛЫ, ГЕНЫ И ЭВОЛЮЦИЯ

В. В. Зюганов, Ю. А. Лабас, В. В. Хлебович



Валерий Валериевич Зюганов, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории постнатального онтогенеза Института биологии развития им. Н. К. Кольцова АН СССР. Занимается генетикой, экологией, систематикой и эволюцией рыб.



Юлий Александрович Лабас, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории поведения низших позвоночных Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР. Область научных интересов — биолюминесценция, физиология, онтогенез клетки.



Владислав Вильгельмович Хлебович, доктор биологических наук, профессор, специалист по зоологии беспозвоночных, главный научный сотрудник Зоологического института АН СССР. Основные научные труды посвящены физиологии, механизмам адаптации и эволюции животных, биологии эстуариев, систематике и экологии кольчатых червей. Автор монографий: Критическая соленость биологических процессов. Л., 1974; Аклиматизация животных организмов. Л., 1981.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ последствия научно-технической революции привлекают внимание не только практиков, технологов и специалистов по охране природы. Эти последствия заставляют повернуться к себе лицом таких, казалось бы, чистых теоретиков, как специалисты по теории естественного отбора.

Десятилетиями идут споры о его действительности в быстро меняющихся условиях внешней среды. Противники дарвиновской теории эволюции утверждают, что в короткие сроки неопределенная изменчивость (мутации) как материал для естественного отбора не может привести к приспособлению видов к новой среде обитания,

договариваются до невозможности происхождения человека от примитивной клетки за историю жизни на Земле.

Однако прямые эксперименты представляют доказательства для подтверждения дарвиновских идей, позволяют уже не дедуктивно, а индуктивно подойти к решению острейшей проблемы дарвинизма, делают пресловутую «непрактичность» теорий действенным орудием практичности. Изменение важнейшего экологического свойства — смена пресных вод на соленые — оказывается следствием мутаций нескольких копий одного лишь гена. Для таких мутаций не нужен длительный эволюционный период, они позволяют орга-

низму быстро приспособиться к жизни в совершенно непривычной среде. Об экспериментально добытых фактах эволюционного значения, касающихся изменения ионной проницаемости клеточных мембран, и пойдет речь.

ПУТЕШЕСТВИЕ ИОНОВ

Любая клетка, живет ли она свободно или входит в состав многоклеточного организма, контактирует со сложными растворами различных неорганических ионов. Чаще всего это вода, пресная или морская, а для клеток многоклеточного организма — различные внутренние среды, в том числе плазма крови. Сама же клетка, отделенная от окружающей ее среды клеточной (плазматической) мембраной, имеет свой собственный набор ионов в цитоплазме. Непременное условие сохранения жизнеспособности клетки — асимметричное распределение ионов по обе стороны ее мембраны, постоянный обмен ионами между вне- и внутриклеточной средами.

Клеточная мембрана, как известно, — это двойной слой липидных молекул, в который встроены различные белки. Перенос ионов непосредственно сквозь липидные слои невозможен, он осуществляется только с участием мембранных белков. В настоящее время различают три способа переноса ионов через клеточную мембрану: движение по каналам, обмен одних ионов на другие посредством особых переносчиков и активный транспорт.

Движение ионов по каналам и с переносчиками, в отличие от активного транспорта, происходит пассивно, т. е. по направлению концентрационного и электрохимического градиентов — от большего к меньшему. Для каждого из основных ионов естественной среды — натрия, калия, кальция, хлора и, по-видимому, магния — существуют специализированные каналы. Кроме того, ионные каналы подразделяются на невозбудимые (постоянно открытые) и возбудимые, которые активируются (открываются) только временно, в ответ на тот или иной, специфичный для данного типа каналов, внешний стимул — механическое раздражение, химическое соединение, электрическое поле.

Роль обмена ионами с внешней средой в жизни клеток и организмов огромна. Обмен необходим нервным, мышечным и другим возбудимым клеткам, чтобы в них генерировались электрические импульсы,

или так называемые потенциалы действия. Для этого в клетках раскрываются электро-возбудимые каналы, через которые катионы натрия или кальция проникают из среды в цитоплазму, где их намного меньше, чем в среде, а затем раскрываются калиевые каналы, но через них катион калия выходит из цитоплазмы, где его больше, чем во внешней среде. Такое путешествие ионов приводит сначала к быстрому падению электроотрицательного потенциала, нередко он переходит через ноль и изменяет знак, а затем снова восстанавливается до исходного значения. Так в клетке возникают электрические импульсы.

Посредством переносчиков ионы движутся через клеточную мембрану опять-таки пассивно, но в обмен на другие ионы, например натрий часто обменивается на кальций или ион водорода (протон).

Активно транспортируются ионы через плазматическую мембрану против их концентрационного и электрохимического градиентов, т. е. отсюда, где этих ионов сравнительно мало, туда, где их больше. На такую работу расходуется энергия, которая освобождается при ферментативном гидролизе молекул аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). В частности, в плазматической мембране фактически всех клеток присутствует Na^+-K^+ -АТФаза, фермент, который гидролизует АТФ и при этом откачивает ионы натрия из цитоплазмы в окружающую среду в обмен на ионы калия, переносимые в цитоплазму.

Повышенная концентрация ионов калия в цитоплазме в сочетании со сравнительно высокой его проницаемостью через плазматическую мембрану в покое — обычно основная причина электроотрицательного трансмембранного потенциала, достигающего у большинства клеток от —60 до —80 мв. И ионные каналы, и ферменты, ответственные за активный транспорт ионов, и, по-видимому, переносчики представляют собой белковые молекулы или же небольшие их комплексы, встроены в липидный слой мембраны, т. е. образования, по сути, относительно простые. Так, уже упомянутый механизм встречного активного транспорта ионов натрия и калия, «натриевый насос», создается деятельностью всего одного фермента, или, иными словами, одного белка — Na^+-K^+ -АТФазы. По новейшим данным, и электровозбудимый натриевый канал позвоночных животных тоже образован только одной молекулой гликопротеина с молекулярной массой около 260 кД. Правомерно полагать, что невозбудимые натриевые каналы орга-

низованы, по крайней мере, не сложнее возбудимых и представляют собой тоже отдельные молекулы белка, встроенные в липидный матрикс мембраны. Это же предположение может быть высказано относительно других ионных каналов, переносчиков и ферментов, которые осуществляют активный транспорт ионов через мембрану.

Есть данные, что для плазматической мембраны клеток любого типа характерна своя врожденная специфика качественного состава, свойств и количества ионных каналов, переносчиков и ферментов, перекачивающих ионы. Подобно любому другому наследственному признаку, гены, ответственные за синтез этих трех типов белков, по-видимому, могут подвергаться скачкообразным наследственным изменениям — мутациям. Но если каждый из типов переноса ионов обеспечивается только одним белком, достаточно всего одной мутации — мутации того единственного гена, в котором закодирован данный белок (канал, переносчик или транспортирующая АТФаза), чтобы ощутимо изменилась и наследственно закрепилась способность плазматической мембраны пропускать сквозь себя или же активно перекачивать тот или иной ион. Считается, что такие мутации могут служить предпосылкой для относительно быстрых эволюционных перестроек, поскольку функционально важный признак контролируется всего одним геном, а не сложным их комплексом. Вместе с тем имеются веские основания полагать, что мутации, обеспечивающие измененную ионную проницаемость клеточной мембраны, чреватые последствиями в целом ряде аспектов жизнедеятельности организмов, в том числе в их поведении и выживании в средах разной солености, в переселении из пресных вод в морские, в освоении засоленных почв, в приспособлении к недостатку влаги в пустынях и т. д.

Нам известны две группы фактов, непосредственно подтверждающих эти предположения.

«ПЕШКИ», «ПАРАНОИКИ» И ДРУГИЕ

Хорошо знакомая всем со школьных времен инфузория парамеция, или туфелька, характеризуется быстрым маневренным движением. Оно создается ритмическим биением ресничек, покрывающих поверхность этого одноклеточного животного. Оказалось, что с помощью хими-

ческих мутагенов можно изменить обычную манеру парамеции двигаться.

Американский исследователь А. С. Кунг с сотрудниками посредством одного из таких мутагенов (N-метил-N-нитро-N-нитрозогуанидина) получил более 15 типов мутантов парамеций с явно выраженными аномалиями их движений. В электрофизиологических экспериментах и в опытах по реактивации ресничного движения после разрушения клеточных мембран мылоподобными веществами (детергентами) он доказал, что причина большинства этих аномалий — отклонения от нормы свойств возбудимых кальциевых или калиевых каналов или их количества. Заметим, что возбудимые натриевые каналы, чувствительные к специальному блокирующему веществу — тетродотоксину, обнаружены пока только в мембранах нервных и других клеток высших беспозвоночных и позвоночных животных. В генетических опытах со скрещиванием выяснилось, что многие варианты аномального движения парамеций определяются мутацией всего одного аллельного гена. Некоторые мутанты Кунга теряли весьма типичную для ресничных инфузорий способность двигаться «задом наперед», поскольку направление, в котором бьются реснички, изменилось на 180°. У нормальных особей эти изменения возникают при столкновении переднего конца клетки с механическим препятствием (от которого парамеция стремится уйти) или в присутствии химических соединений, которых она избегает (например, хлористого натрия). Мутанты, неспособные двигаться задним ходом, при любых обстоятельствах вынуждены двигаться только вперед, подобно шахматным пешкам, за что и получили прозвище «пешки».

С помощью электрофизиологических методов Кунг показал, что причина необычного движения «пешек» кроется в отсутствии в их плазматической мембране электровозбудимых кальциевых каналов. Посредством скрещивания Кунгу удалось выяснить, что эти каналы исчезли из-за рецессивной мутации в каком-то одном из пяти несцепленных между собой генов. У нормальных инфузорий обратное биение ресничек вызывается активацией (приоткрыванием) механочувствительных или хемочувствительных кальциевых каналов. Такие каналы, однако, сами по себе вызывают лишь ту минимальную деполяризацию клетки, которая требуется для последующей активации гораздо более многочисленных электровозбудимых кальциевых каналов.

При их отсутствии у «пешек» в цитоплазму инфузорий из окружающей пресной воды быстро проникает по концентрационному и электрохимическому градиентам весьма значительное количество ионов кальция (в покое его внутриклеточная концентрация обычно не более 10^{-7} М, т. е. приблизительно в 10^1 раз ниже концентрации Ca^{2+} в пресной воде и в 10^6 раз — в морской; при возбуждении клетки эта концентрация может быстро возрасти в 10—100 раз). В клетке кальций соединяется с находящимся в основании ресничек особым кальций-связывающим белком — кальмодулином, что приводит к их переориентации и обратному биению. Почему кальмодулин, связанный с ионами кальция, оказывает такое действие — пока неясно.

У другого мутанта парамеции, прозванного «параноиком», движение задним ходом, обусловленное обратным биением ресничек, гипертрофировано. Оно не только затягивается каждый раз, когда инфузория натывается на механическое препятствие или ощущает неприятное для нее вещество, но и часто возникает без видимых внешних воздействий на клетку. Причин, по-видимому, две: одна — замедленное закрывание электровозбудимых кальциевых каналов, вторая — намного превышающая норму чувствительность к присутствующим в воде ионам натрия, которые вызывают у парамеции реакцию избегания. Эти «параноики» — следствие единственной доминантной мутации опять-таки в одном из пяти несцепленных генов.

Еще два мутантных варианта, названных Кунгом «быстрые-1» и «быстрые-2», — это парамеции, очень быстро плавающие за счет аномально частого биения ресничек. Быстрые тувельки могли появиться из-за увеличенного против нормы количества калиевых каналов в плазматической мембране, приводящего к ее сверхполяризации — аномально высокому трансмембранному потенциалу. Высокий потенциал, в свою очередь, может вызывать усиленный поток ионов кальция, поступающих через невозбудимые каналы в цитоплазму по электрохимическому градиенту. Такое усиление, в отличие от аналогичного, но большего, связанного с активацией электровозбудимых каналов, не изменяет направление ресничных биений, но ускоряет их.

Кунгом описаны также мутанты парамеции, которые превращаются в «пешек» каждый раз, когда температура воды превышает 30°C , а при более низкой они ведут себя нормально.

Мутации, выявленные Кунгом, прояв-

ляются прежде всего в аномальном движении клеток. Самое главное в его экспериментах — доказательство того, что из-за значительных изменений ионной проницаемости клеточной мембраны, обусловленных мутацией всего одного гена, могут меняться жизненно важные функции организма. По-видимому, не имеет решающего значения, происходит это в одно- или многоклеточном организме. Вполне вероятно, что аналогичные наследственные изменения ионной проницаемости клеточных мембран способны возникать в разных органах и тканях и у многоклеточных организмов, делаясь причиной генетических аномалий нервной деятельности, функций выделительных органов и т. д. Не исключено, что некоторые из таких или подобных им мутаций имеют и экологическое значение, поскольку изменяют отношение клеток к солености внешней среды. В частности, у водных организмов подобного рода изменения могут содействовать или, наоборот, препятствовать их прорыву через экологический барьер море — пресная вода.

ЗАГАДКИ ТРЕХИГЛОЙ КОЛЮШКИ

Вторая группа фактов, действительно подтверждающих связь мутаций ионной проницаемости клеточных мембран с экологическими возможностями организма, выявлена авторами этой статьи.

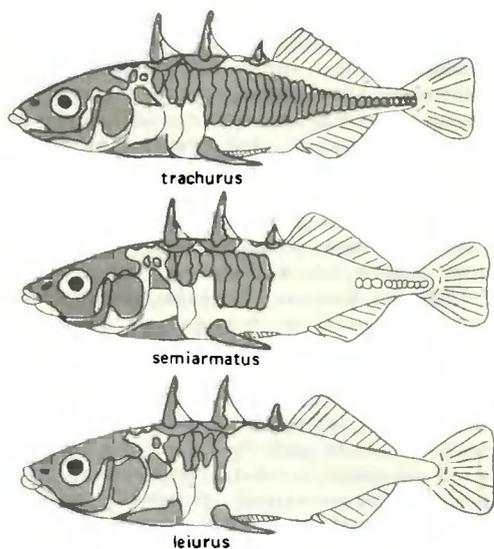
У трехиглой колюшки (*Gasterosteus aculeatus*) описано три формы наследственной внутривидовой изменчивости: форма *trachurus*, форма *leirus* и форма *semiarmatus*. Все они свободно скрещиваются между собой, но заметно различаются как внешне (по характеру покрытия тела типичными для колюшек костными щитками), так и экологически — отношением к солености среды. У формы *trachurus* костные щитки тянутся вдоль всего тела сплошной полосой от головы до основания хвоста; колюшка этой формы может жить и размножаться в пресной, и в морской воде. В бассейне Белого моря она образует и морские, и проходные, и пресноводные оседлые популяции, но на Дальнем Востоке, в США, Канаде ведет себя только как проходная рыба: живет в море, а размножается в пресных водах. Интересно, что сперматозоиды формы *trachurus* приобретают способность двигаться в пресной воде только после нескольких часов пребывания в ней самца.

У формы *leirus* костные щитки покрывают только переднюю часть тела до уровня грудных плавников. Эта форма обитает исключительно в пресных водоемах, хотя во взрослом состоянии может неограниченно долго жить и в морской воде, если ее температура превышает 4 °С. Оплодотворение яйцеклетки и дальнейшее развитие икры у формы *leirus* тоже вполне возможны в морской воде, тех же успехов можно добиться и в экспериментах, если 2 раза в сутки менять пресную воду на морскую, т. е. имитировать приливно-отливный ритм, обычный в наших северных морях — Белом и Баренцевом. В то же время сперматозоиды формы *leirus*, в отличие от сперматозоидов формы *trachurus*, неподвижны в морской воде, что и служит, по видимому, главным препятствием переселения *leirus* из пресной воды в морскую.

Форма *semiarmatus* — гибрид двух упомянутых форм. Она занимает промежуточное положение между ними и по характеру покрытия тела щитками, и отношением к солености воды.

Сперматозоиды рыб, как и подавляющего большинства других организмов, в состоянии оплодотворить яйцеклетку, только если они активно движутся к ней, привлекаемые специально испускаемым этой клеткой веществом. Их движение создается биением жгутиков, образований очень близких к ресничкам инфузории парамеции. Благодаря тем или иным особенностям концентрации или ионного состава семенной жидкости, сперматозоиды в ней, как правило, неподвижны. Этим, очевидно, предотвращается бессмысленная растрата ими энергии до ситуации, ведущей к оплодотворению. Попад в среду, в которой нормально происходит оплодотворение (у организмов с наружным оплодотворением — в воду), сперматозоиды сперва активно плавают, отыскивая яйцеклетку, а затем, если оплодотворение не произошло, еще некоторое время «дрожат» на месте и погибают. Устойчивость сперматозоидов к факторам среды обычно оценивают по длительности их активного плавания — поступательного движения. Воспользовавшись этим показателем, мы сравнили солевую устойчивость сперматозоидов трех форм трехиглой колюшки из бассейна Белого моря.

Выяснилось, что мужские половые клетки пресноводной формы *leirus* теряют способность двигаться при солености среды 18 ‰ (соленость вод Белого моря около 25 ‰). Сперматозоиды морской формы *trachurus* становятся неподвижными



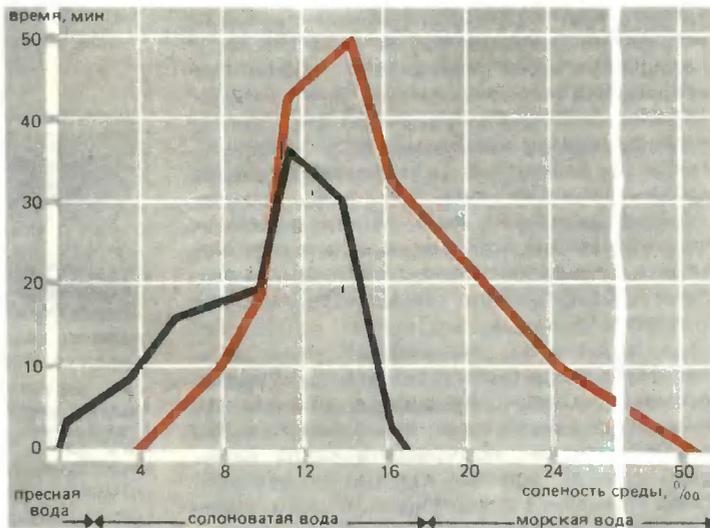
Формы трехиглой колюшки.

только при 52 ‰. Что же мешает сперматозоидам пресноводной формы активироваться при высокой солености воды?

Мы проверили, не связано ли обездвиживающее действие морской воды на сперматозоиды формы *leirus* с каким-то одним из основных, входящих в состав воды катионов (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} и Mg^{2+}) или анионов (Cl^- , SO_4^{2-}). Для этого мы сравнили движение сперматозоидов в растворах чистых солей — хлоридов (NaCl , KCl , CaCl_2 и MgCl_2), а также сульфатов натрия и калия (Na_2SO_4 и K_2SO_4), приготовив эти растворы той же концентрации, в которой соли содержатся в морской воде. Кроме того, мы проверили, как влияет на движение тех же клеток в морской воде блокатор хлорных каналов плазматических мембран (возбудимых и невозбудимых) — флуросемид. Выяснилось, что специфическое обездвиживающее действие на сперматозоиды пресноводной формы колюшки оказывают только катионы натрия (в растворах NaCl и Na_2SO_4), независимо от того, хлорид или сульфат был анионом. Кстати, флуросемид видимых эффектов не вызывал.

Далее мы попытались проверить, не различаются ли пресноводная и морская формы колюшки активностью фермента $\text{Na}^+-\text{K}^+-\text{ATPазы}$. Напомним, что этот фермент работает как насос при активном переносе через мембрану ионов натрия и калия против градиента концентрации. Оказалось, что и строфантин К, яд,

Продолжительность движения сперматозоидов пресноводной (черная кривая) и морской форм колюшки в воде разной солености.



угнетающий этот фермент, не оказывает специфического влияния на какой-то один из сравниваемых генотипов, в высокой концентрации он только тормозит движение сперматозоидов любой формы колюшки. Естественно, не стимулировал движение сперматозоидов пресноводной колюшки и субстрат АТФазы — аденозинтрифосфорная кислота (если бы различия в подвижности сперматозоидов были связаны с недостатком субстрата, его добавление в среду вызывало бы активацию половых клеток).

Нам оставалось предположить, что инактивация сперматозоидов пресноводной формы колюшки в морской воде связана с пассивной диффузией ионов натрия внутрь клетки через каналы или переносчики мембран. Для проверки этого предположения в экспериментах мы располагали амилоридом, соединением, которое блокирует (затыкает) невозбудимые натриевые каналы клеточной мембраны.

Результат превзошел все наши ожидания. Добавленный в морскую воду в концентрации $10^{-5}M$ амилорид активировал движение сперматозоидов пресноводных форм колюшки. Блокатор натриевых каналов сделал эти сперматозоиды почти столь же выносливыми к высокой солености среды, как и половые клетки морской формы!

Остается предположить, что плазматическая мембрана сперматозоидов прес-

новодной и морской форм различается всего лишь количеством невозбудимых натриевых каналов на единицу площади — у пресноводной формы их должно быть больше. Может быть и другая причина: каналы почему-то начинают лучше пропускать ионы натрия. Результат действия и той и другой причины одинаков: избыток проникающих в сперматозоид катионов натрия угнетает движение жгутика. Скорее всего, в этом сказывается не прямое действие избытка катионов натрия, а связанное с ним последующее понижение цитоплазматической концентрации катионов кальция.

Известно, что из всех катионов морской воды только кальций и магний необходимы для активации жгутиков мужских половых клеток, но цитоплазматическая концентрация ионов магния, хотя и относительно велика, мало меняется. Ионы кальция действуют через упомянутый уже кальций-связывающий белок (кальмодулин), который активирует фермент аденилатциклазу, что ведет к образованию циклического аденозинмонофосфата (цАМФ), вещества-посредника, активирующего еще один фермент — протеинкиназу. В результате цепочки этих реакций к особому белку «15К» (аксокинину) в структуре жгутика присоединяется неорганический фосфат и жгутик начинает активно двигаться. В то же время в плазматической мембране многих клеток (можно полагать, и сперматозоидов пресноводных форм колюшки тоже)

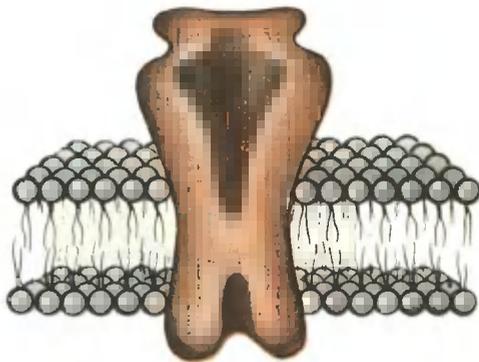
присутствует натрий-кальциевый переносчик, благодаря которому из клетки в воду поступают ионы кальция в обмен на входящие в нее ионы натрия. При их высокой концентрации в среде клеткам с таким переносчиком в мембране угрожает значительное понижение цитоплазматической концентрации кальция. Возможно, что наличие в мембране еще одного переносчика — натрий-протонного — может приводить к защелачиванию цитоплазмы, а это тоже неблагоприятно сказывается на сперматозоидах.

Косвенным подтверждением того, что ионы натрия обездвигивают мужские половые клетки пресноводной формы колюшки, способствуя понижению цитоплазматического содержания ионов кальция, служит эффект среды, в которой была повышена его концентрация и концентрация верапамила — вещества, блокирующего кальциевые каналы мембран. Морская вода с повышенным в 5 раз содержанием кальция продлевала движение сперматозоидов, а верапамил не только обездвигивал их, но и снимал защитное действие на них амилорида у формы *leirus* в морской воде.

Следует отметить, что обездвигивающее действие ионов натрия на сперматозоиды пресноводной колюшки напоминает аналогичное действие калиевых ионов на сперматозоиды лососевых рыб. Японский исследователь М. Морисава установил, что у этих рыб семенная жидкость характеризуется более высоким, в сравнении с пресной водой, содержанием ионов калия, который, по-видимому, деполаризует мембрану мужских половых клеток и тем самым замедляет вход в них ионов кальция через невозбудимые каналы по электрохимическому градиенту (сравним причины учащенного биения ресничек у «быстрых» мутантов парамеции). Морисава показал также, что сперматозоиды некоторых других пресноводных и морских костистых рыб обездвигивают отнюдь не ионы калия, а высокое (у пресноводных форм) или низкое (у морских) осмотическое давление семенной жидкости, безотносительно к ее собственному солевому составу.

Сравнительный анализ причин неподвижности сперматозоидов в семенной жидкости морской и пресноводной форм колюшки пока не проведен. Весьма вероятно, что у пресноводной формы тормозящую функцию выполняет именно ион натрия.

Таким образом, существенные экологические различия по столь важному для водных организмов признаку, как отноше-



Модель трехмерной структуры натриевого канала в двуслойной мембране клетки. (По: Овчинников Ю. А. и др. // Биол. мембраны. 1985. Т. 2. № 10. С.960.)

ние к солености, у сперматозоидов морской и пресноводной форм колюшки определяются различиями в количестве или устройстве натриевых каналов клеточной мембраны. Каждый такой канал сформирован, скорее всего, одной молекулой белка. Поэтому соответствующие отличия должны, по-видимому, определяться мутациями одного гена, хотя бы и представленного несколькими копиями, как у парамеций.

Чтобы установить, сколько копий гена обеспечивают различия в солеустойчивости сперматозоидов разных форм колюшки, мы провели опыты по скрещиванию форм *trachurus* и *leirus*. Получив 8 поколений потомства, мы проанализировали распределение признака солеустойчивости сперматозоидов 103 самцов и сравнили полученные результаты с теоретически ожидаемым расщеплением (полагая, что признак солеустойчивости определяется пятью копиями двухаллельного гена, именно для этого случая и был произведен расчет). Оказалось, что доля солеустойчивых спермиев в потомстве различается у разных самцов, но всегда кратна $1/8$, или $12,5\%$, такой же она должна быть и по теоретическим расчетам. Совпадало и число фенотипических классов: и по теории, и у реальных потомков их было 9.

Следовательно, солеустойчивость сперматозоидов колюшки обеспечивается пятью идентичными генами, по два аллеля в каждом. Любое другое количество копий дает высокодостоверные различия между наблюдаемыми и ожидаемыми частотами встречаемости признака в поколениях. Устойчивость к солям, по-видимому, возникает только в тех случаях, когда

мутантными оказываются 3 и более из этих 5 генов, т. е. признак ведет себя как количественный.

ОТ ПРОНИЦАЕМОСТИ МЕМБРАН К ЭВОЛЮЦИОННЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯМ

Итак, есть все основания полагать, что и у парамеции, и у трехиглой колюшки — организмов, принадлежащих к разным типам животного мира, важнейшие экологические параметры и характеристики поведения могут изменяться в результате мутации всего лишь одного гена, пусть даже и представленного несколькими копиями в разных хромосомах. У парамеций большое количество различных мутаций удалось получить искусственно за короткий срок. Попыток вызвать мутации, которые изменяли бы отношение организма к таким факторам внешней среды, как соленость, действуя на животных химическими мутагенами, пока сделано не было. Но перспективность таких работ нам кажется несомненной.

Индукция мутаций солевой устойчивости половых клеток или клеток раннего зародыша пресноводных и в особенности проходных рыб (к ним относятся самые ценные промысловые рыбы — осетровые и лососевые), могло бы иметь важное хозяйственное значение, поскольку соленость многих пресных водоемов СССР неуклонно повышается. В таких условиях инкубация развивающейся икры ценных видов в солоноватой или морской воде была бы вполне перспективной.

В начале статьи мы говорили, что данные о мутациях ионной проницаемости мембран позволяют не только понять, за счет чего могут радикально изменяться экологические характеристики организма. Результаты наших экспериментов прямо подтверждают идеи дарвинизма. Ведь один из основных аргументов противников дарвиновской теории эволюции часто сводится к тому, что реальная эволюция протекает слишком быстро в сравнении с таким, якобы, невероятно медленным процессом, как возникновение неопределенной изменчивости в качестве материала для естественного отбора. Мутанты Кинга и выявленные нами причины, изменяющие ионную проницаемость мембран, могут служить наглядными примерами для иллюстрации несостоятельности этого аргумента. Складывается впечатление, что его

сторонники исходят из представлений только о полигенном характере большинства адаптивных признаков, обеспечивающих организм возможность внедряться в новую для них среду (экологическую нишу).

Что это представление ошибочно, свидетельствуют не только частные случаи с парамецией и трехиглой колюшкой, но и удивительно быстрое приспособление некоторых организмов к экологическим последствиям научно-технической революции — урбанизации, разнообразным загрязнениям среды (пестицидам, антибиотикам и т. д.). Это приспособление, несомненно, основывалось на дарвиновском принципе неопределенной изменчивости и отбора, несмотря на свой сверхбыстрый темп. Однако оно, как мы полагаем, осуществлялось в основном за счет мутаций минимального числа генов, возможно — единственного гена.

Неудивительно поэтому большие экологические различия, иногда присущие близкородственным видам, относящимся к одному роду. Так, например, среди инфузорий рода *Euplotes* и раков-бокoplавов рода *Gammarus* описаны виды и морские, и пресноводные. Едва ли такая экологическая специфика определялась большим числом генов, а не каким-то одним геном или же малым их числом. Ведь мутация всего одного регуляторного гена может повлечь за собой переход из функционального состояния в неактивное («спящее») или, наоборот, привести к экспрессии (при определенных ситуациях: стадиях развития, изменениях среды и т. п.) сразу большого комплекса структурных генов, а значит, и к проявлению нового свойства в фенотипе.

Нам пока неизвестны тонкости генетических превращений, которые изменяют солевую устойчивость трехиглой колюшки. Несомненно, однако, что частный случай — изменение проницаемости клеточных мембран — связан с далеко идущими последствиями в размножении и экологии организмов, а значит, и с их эволюцией.

КОМПЬЮТЕР И ЭТИКА ЦИТИРОВАНИЯ

М. Г. Ярошевский, В. А. Маркусова



Михаил Григорьевич Ярошевский, доктор психологических наук, заведующий сектором проблем научного творчества Института истории естествознания и техники АН СССР. Занимается проблемами теории, истории и социальной психологии науки. Автор многих книг, в том числе: Проблема детерминизма в психологии XIX в. Душанбе, 1961; Психология в XX столетии. Изд. 2-е. М., 1974; Сеченов и мировая психологическая мысль. М., 1981; История психологии. Изд. 3-е. М., 1985. Неоднократно печатался в «Природе».



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

СЕГОДНЯ воздействие на жизнь человечества компьютерной технологии нам так же невозможно предвидеть, как людям эпохи Возрождения вообразить эффект, который произведет в последующие века изобретение книгопечатания. Теперь повсюду говорят о компьютерной грамотности. Количество грамотных издавна принимается за показатель уровня культуры в данном сообществе. Недалек день, когда таким показателем станет количество владеющих компьютером. Но что такое «компьютерная грамотность»? Каков реальный смысл этого ставшего популярным оборота? Что нового она приносит в мир человека?

Взаимодействие с компьютером предполагает перестройку психики, приобретение человеком новых умений и мотивов. Изобретение письменности, возникновение из устной речи письменной привело к формированию особых нейропсихических функциональных систем. Попросту говоря, мозг человека стал работать по-другому. Аналогичную ситуацию создает овладение компьютерной грамотностью. В психическом строе людей происходят изменения, изучение которых становится отныне для психологии одной из самых заманчивых и важных научных проблем.

На наших глазах рождаются новые формы и способы работы, новые структуры и функции человеческого сознания. Но подобно тому как появление письменной речи не означало упадок и утрату роли устной, с превращением компьютера в важнейшее орудие интеллектуальных действий не теряют своей неотъемлемой роли в развитии культуры прежние способы общения людей.

Применительно к людям науки компьютерная грамотность имеет особое значение. Нет никаких оснований сомневаться в том, что вызванные компьютером преобразования научной деятельности уже в ближайшее время будут нарастать в непредсказуемых масштабах и направлениях. Но так же нет оснований сомневаться и в другом: сколь невообразимыми бы ни оказались эти преобразования, их характер и впрямь будет определяться природой и особенностями науки.

Наука — это производство нового знания, правда, не всякого, а соответствующего исторически принятым критериям. Это производство, как и любое другое, имеет свой субъект и требует организационных структур. Обычно под субъектом имеют в виду конкретного индивида. Однако каждый индивид, работающий в науке, каким бы уникальным и оригинальным по своим идеям он ни был, является членом сообщества, группы, школы,

научного микросоциума и научного макросоциума. Каждое его личное достижение (новое знание) находится под их контролем и судом. Это создает одну из главных психологических коллизий научного творчества. Индивидуальное, личное достижение ученого не имеет значения, если оно не получит социальную апробацию. Научное сообщество должно согласиться с его притязанием на то, что именно он первым добыл знание, достойное быть оцененным как научная истина — хотя бы и самая малая. Научное сообщество оповещает об этом ученого в форме ссылок на его публикации. В свою очередь, ученый определяет новизну собственной работы, сопоставляя ее с работами других ученых. Поэтому, публикуя результаты исследования, он не просто излагает установленные им самим факты и теоретические данные, но и включает в свой текст сведения о том, что сделано другими, отсылает к их работам, прилагает список использованной литературы. Одних авторов он представляет как своих предшественников, других — как сподвижников, с третьими вступает в спор. В научном тексте имеется, наряду с информацией об исследованных объектах, информация о людях, в общении с которыми формировалось и уточнялось видение проблемы. Ученый ведет себя определенным образом как по отношению к изучаемым вещам (наблюдая, экспериментируя, вычисляя и т. д.), так и по отношению к другим индивидам, занятым сходной деятельностью. Зафиксированным выражением отношения к этим другим является его деятельность по использованию в своих публикациях научных ссылок, которая может быть условно названа цитат-поведением. Мысли и тексты любого ученого предельно насыщены цитатами, безотнositельно к тому, взяты они в кавычки, соединены ли чьим-либо именем или нет. Но к определенным авторам отдельный ученый считает нужным официально выразить свое отношение в виде ссылок.

Научная информация о вещах слита с информацией о мнениях других по поводу этих вещей. В широком смысле и добывание сведений о вещах, и добывание сведений о мнениях других по поводу этих вещей может быть названо информационной деятельностью. Она столь же древняя, как сама наука. Чтобы успешно выполнить свою главную социальную роль, которая заключается в производстве нового знания, ученый непременно должен быть информирован о том, что было известно до него. В противном случае он может оказаться

в положении открывателя уже установленных истин.

По образному выражению Д. Прайса, ученые во все времена качались на информационных волнах в море научной литературы.

Отмечая стремительный рост фондов знаменитой Александрийской библиотеки, известный швейцарский эллинист А. Боннар писал: «Библиотека росла не только за счет времени... Нам известны имена более тысячи ста эллинистических писателей, включая ученых и философов. Просто наводнение. Литературная катастрофа!»¹. Это книжное наводнение произошло во II в. до н. э. Добавим, что во времена Цезаря, по свидетельству историков, Александрийская библиотека хранила 700 тыс. томов.

И все-таки нынешняя информационная ситуация не идет ни в какие сравнения не только с теми «ужасами», о которых писал Боннар, но и с положением в начале нашего века. Наблюдается резкое увеличение объемов научной информации и количества ее потребителей, т. е. ученых, испытывающих особую потребность, которую принято называть информационной.

Эта потребность привела к созданию принципиально новых средств информационного поиска, что стало возможным благодаря новой информационной технологии с главным героем — компьютером. Пионером ее разработки стал американец Ю. Гарфилд. Он был химиком и, работая в лаборатории, поставил несколько неудачных опытов, приведших к взрывам. Гарфилд решил, что сможет сохранить здоровье и жизнь, лишь основательно изучив литературу. Ее было необъятно много, и он заинтересовался машинными методами поиска и обработки информации. На собственные средства он начал выпускать первое в мире сигнальное издание о только что вышедших научных публикациях в самых различных областях знания. Почему в самых различных? Еще в XVIII в. Г. К. Лихтенберг говорил: кто ничего не знает, кроме химии, не знает самой химии. Тем более это верно для эпохи, когда наука стала в значительной степени междисциплинарной.

В короткий срок небольшая фирма Гарфилда превратилась в огромный Институт научной информации (ИНИ), где компьютеры непрерывно обрабатывают свыше 6 тыс. журналов по естественным, техни-

¹ Боннар А. Древнегреческая цивилизация. Т. 3. М., 1962. С. 241.

ческим и общественным наукам (в их число входит 150 советских). Фирма, которой в самом начале ее существования предрекали скорый финансовый крах, процветает, давая доходы в десятки миллионов долларов. Дело Гарфилда стало отраслью научной индустрии наподобие научного приборостроения. Впрочем, коммерческие успехи фирмы не интересуют научный мир. Важно, что для науки компьютер открыл новые возможности интенсификации информационно-деятельности.

Целью использования ЭВМ в этой деятельности является введение в оборот всего, что достигнуто в мировой науке, независимо от формы, места хранения, языка и т. д. Результаты любого опубликованного исследования должны быть доступны потребителям информации, хотя, конечно, есть ограничения временного, финансового и другого характера.

Одно из главных направлений деятельности ИНИ основано на использовании относительно новой и необычной техники индексирования библиографических ссылок, которая позволяет потребителям проследить применение и развитие научных идей, не соблюдая дисциплинарных границ и снимая семантические ограничения традиционных предметных указателей. Заметим, что сам Гарфилд напал на идею машинной обработки публикаций под впечатлением дискуссии о том, как сделать более эффективным их поиск в условиях, когда значимая для потребителя информация рассеяна по различным дисциплинам. Читая обзорные статьи, он обратил внимание на то, что каждое положение обзора подтверждается ссылкой на первичную литературу. В ссылках (цитатах) он увидел знаки, по которым можно ориентироваться в потоках междисциплинарной информации. Поскольку за каждой ссылкой скрыт ее автор, она оказалась знаком не только научного результата, в поисках которого ученый обращается к тексту, но и конкретного лица, с которым автор текста пожелал соотнести свой результат.

За связью идей компьютерный анализ обнажил связи людей. А там, где замешаны люди, неизбежно вступают в действие социально-психологические факторы. Новая информационная технология, изобретенная для решения информационных задач, решаемых прежде библиографическими средствами, позволила новыми глазами взглянуть на социальную жизнь науки, вторгнуться в глубины психологии ее людей. Компьютер совершил то, что никогда не могли бы сделать библиотечные ка-

талого. Он начал производить работу, которая не под силу ни одному библиографу, какой бы могучей памятью он ни обладал. Прежде всего, он ответил на вопрос: кто, кого и с какой частотой цитирует в сотнях тысяч научных публикаций. Его подсчеты позволили получить новое знание, выраженное в количественных величинах. Это уже само по себе было интересно для исследователей такого сложнейшего объекта, как наука. Ведь до вмешательства компьютера знание о ней ограничивалось качественными, неизбежно субъективными характеристиками. Правда, изредка предпринимались единичные попытки взглянуть на науку под углом зрения числа.

Известно, в частности, что Ф. Гальтон применял статистический метод в своей книге «Английские люди науки» (1874). Он использовал данные о семьях, из которых происходят ученые, с целью доказать, что любые способности, в том числе и к научной деятельности, предопределены генетически. И. М. Сеченов в условиях, когда готовилась реакционная реформа университетов в царской России, собрал большую группу профессоров, совместно с которой подсчитал количество публикаций русских ученых по различным дисциплинам. Из этих подсчетов явствовало, что русская наука не только не отстает от мировой, но по ряду направлений, прежде всего в химии и биологии, занимает приоритетные позиции. Русский химик П. И. Вальден установил, что большинство крупнейших открытий в физике и химии конца XIX — начала XX в. сделано учеными в возрасте 25—30 лет. Эти отдельные выкладки «вручную» не оказали влияния ни на научное творчество, ни на организацию науки.

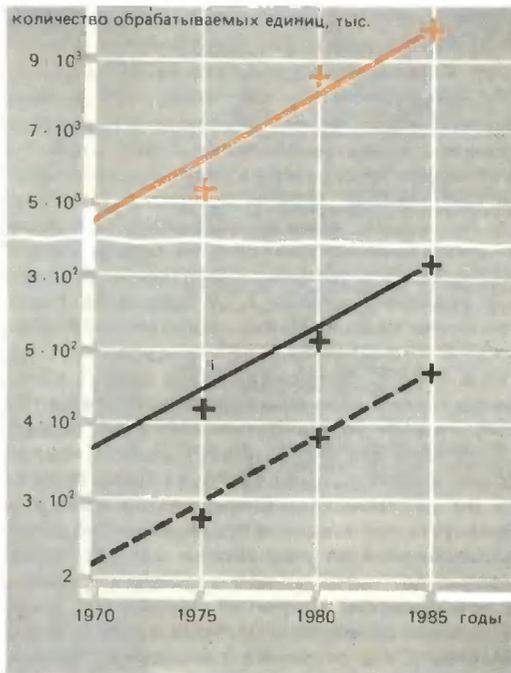
Счетная работа компьютера радикально изменила ситуацию. Бесстрастно и безразлично к чьим-либо интересам ЭВМ выдавала числа, которые фиксировали не только количество журналов, публикаций и т. д. (притом по разным странам), но также и частоту, с которой упоминаются ученые по всему отобранному фронту исследований. В сетях цитирования сразу же обнаружались «звезды-ученые», получающие сравнительно с другими наибольшее количество ссылок. По данным Института научной информации, мировой массив статей, попадающих в сети цитирования, распределяется следующим образом: около 70 % статей цитируется 1 раз в год, 24 % статей — 2—4 раза, около 5 % статей от 5 до 9 раз, менее 2 % статей — свыше 10 раз.

В прежние времена весомость вклада ученого оценивалась научным сообще-

ством по содержательным качественным критериям. Механизм оценки был неизвестен, но все признавали, что вклад, скажем, Дарвина или Павлова превышает вклад многих других. Теперь бесстрастные числа выделялись вниманием, которое уделили цитируемому исследователю его коллеги. Удостоить внимания — значит признать данную публикацию и ее автора причастными к собственному труду и в этом смысле оказавшими на него влияние. Исходя из предположения, что чем большее число лиц испытывает это влияние, тем крупнее роль цитируемого автора в науке как форме коллективного творчества, показания компьютера стали принимать за свободные от субъективных пристрастий свидетельства «веса» ученого в научном мире. Компьютеру задали вопрос: кого чаще цитируют? А выданный им ответ прочитали: кто есть кто в науке. Тут неизбежно оказались затронутыми люди, их притязания и интересы.

В современной большой науке в условиях прямой зависимости труда отдельных ученых от отнюдь не безграничных финансовых и кадровых ресурсов, выделяемых обществом на занятия наукой, и при отсутствии объективных критериев потенциала исследователя и результата его творчества, которые дали бы ему право претендовать на часть этих ресурсов, вокруг индекса цитирования разгорелись страсти. Конечно, любому исследователю лестно найти себя в списке обильно цитируемых ученых, к тому же в престижных изданиях. Но следует, прежде всего, уточнить, что хотя бы выявить подсчетом ссылок? Вклад ученого или воздействие конкретной работы на ход исследований, актуальность тематики или научный уровень работы, авторитет и влияние конкретного ученого и научной школы, которую он представляет, активность и коммуникабельность автора или его организаторские способности?

Особую осторожность следует проявлять, применяя показатель частоты цитирования для оценки труда ученого. Уже тот факт, что ряд ученых цитируется чаще, чем Нобелевские лауреаты — авторы выдающихся открытий, свидетельствует, что сама по себе частота цитирования не может быть принята за решающий критерий величины научного вклада. Нецитируемость вовсе не служит индикатором бесплодности труда и бесталанности ученого, если принять во внимание такие аспекты этого труда, как внедрение новых идей в практику, организация исследований, умение обучать



Динамика роста публикаций, обрабатываемых в «Указателе цитированной литературы» с 1970 по 1985 гг. Пунктирная линия — число журналов, сплошная — число статей, цветная — число ссылок.

и другие особенности деятельности и личности ученого, о которых по указателю ссылок никакой информации получить невозможно.

В то же время компьютерная обработка публикаций открыла широкие возможности для решения самых разнообразных задач, связанных с процессами распространения новых идей. Поскольку компьютер позволил быстро обрабатывать периодические издания (в настоящее время для подготовки указателя научных ссылок используется 3,3 тыс. журналов, где ежегодно публикуется около 600 тыс. статей и около 8,7 млн научных ссылок), он принял на себя не только библиографическую, но и историографическую работу, став своеобразным летописцем современного периода бурного развития науки.

Изменяются год от года и списки наиболее цитируемых авторов, и чаще всего цитируемых статей. Новая информационная технология позволяет дать количественную оценку рассеяния и старения информации, оперативно следить за изменениями фронта исследований, выявлять наи-

более быстро развивающиеся области науки, ростки новых направлений.

Гарфилд обратил внимание научной общественности на тот факт, что анализ цитируемости может привлечь внимание к статьям, которые внезапно были открыты или переоткрыты через несколько лет после публикации. Можно привести множество примеров важных открытий, которые имели малое воздействие на современные исследования. Широко известно, например, что значение работы Г. Менделя не было замечено свыше 30 лет. Нобелевская премия по медицине была присуждена Ф. П. Роусу в 1966 г. за исследование вируса рака, получившего название саркомы Роуса, который открыл этот вирус в 1909 г. И только после того как вирус лейкемии был изолирован в 1951 г., работа Роуса была оценена по достоинству. В настоящее время в Институте научной информации проводятся исследования по разработке метода, с помощью которого можно определить преждевременность открытия. Известный американский социолог и историк науки С. Коул полагает, что отсрочка признания связана с присущим науке консерватизмом, поскольку, по его мнению, ученые имеют тенденцию цепко держаться за существующую парадигму и сопротивляться идеям, которые не соответствуют их моделям. Историки и социологи могут изучать научное сопротивление на примерах отсроченного признания статей, выявленных анализом сетей цитирования.

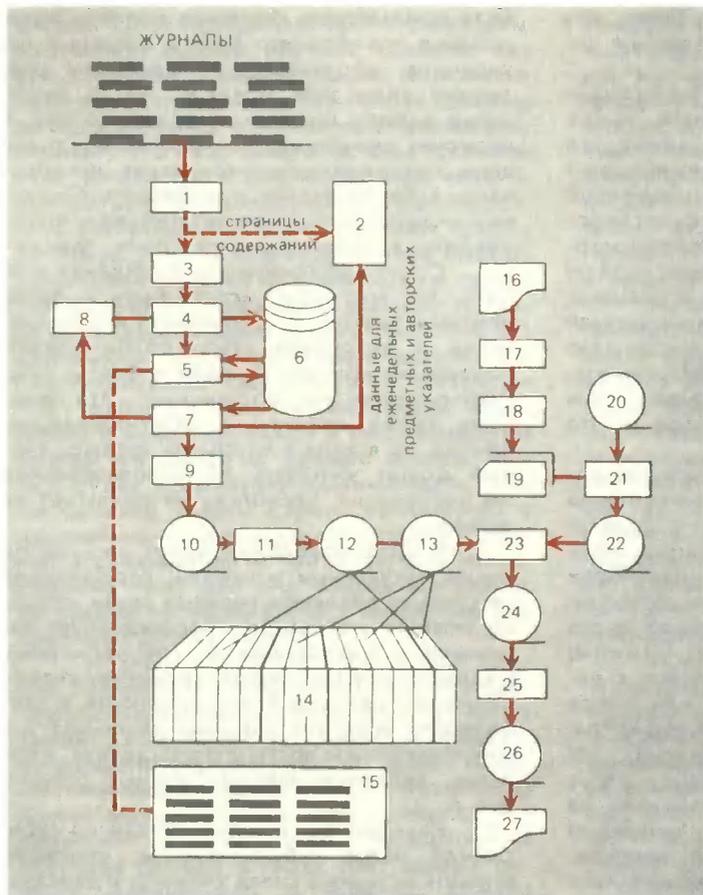
Вместе с тем перед историками открывается широкое поле для объективного, а не «на глазок», изучения на большом историческом отрезке той роли, которую играют в современной динамике знаний научные традиции и идеи, в том числе традиции, сложившиеся на определенной социокультурной почве. Приведем в качестве примера ответ на вопрос о «весе» вклада русской физиологической школы в мировую науку, который нельзя получить иначе, как посредством компьютера. Для этого можно использовать такой показатель, как частота ссылок на работу создателей этой школы — И. М. Сеченова и И. П. Павлова — в публикациях современных западных исследователей. По данным Гарфилда, в среднем одна современная работа цитируется 1,8 раза в год. Цитируемость современных Нобелевских лауреатов в среднем около 150 раз. В опубликованном Гарфилдом списке наиболее цитируемых статей по близкой в нашем случае тематике физиологической психологии и поведения животных цитируемость работ достигает 300—

350 за 12 лет (1961—1973). На работы Павлова за период 1970—1979 гг. было сделано 1362 ссылки, на работы Сеченова — свыше 1200 ссылок. Иначе говоря, цитируемость их работ в публикациях, отражающих исследования, ведущиеся в современных лабораториях и центрах, находится приблизительно на уровне цитирования современных лауреатов Нобелевской премии.

Дальнейшее развитие информационной технологии позволило составлять карты науки, выделять группы высокоцитируемых, взаимосвязанных статей, образующих так называемые кластеры. Методика их создания была разработана одновременно в СССР и США.

Первый этап отбора материала для включения в кластер основан на допущении, что в высокоцитируемых статьях вводятся или обсуждаются важные понятия или методы. На основе данных указателя научных ссылок отбираются статьи, цитируемые определенное число раз, например не менее 15 раз. Это дает возможность ежегодно выявлять группу статей (свыше 25 тыс.), которые рассматриваются как наиболее важные для ученых всего мира. На следующем этапе определяется, какие из этих статей связаны социтированием, т. е. цитируются совместно в разных статьях. Считается, что статьи, которые часто цитируются совместно, должны обсуждать близкие или сходные понятия или методы. Если мы соединим все высокоцитируемые статьи связями социтирования, а затем соотрем слабые связи, не достигающие некоторого порога, мы и получим группу, «пучок», «гроздь» наиболее связанных статей, или кластер. Специалисты присваивают кластеру название на основе заглавий текущей литературы, цитирующей кластер.

В режиме непосредственного диалога человека с машиной действует, в частности, информационная система по биомедицинским наукам — «Биомед». Она состоит из статей, опубликованных в 1,3 тыс. биомедицинских журналов с 1979 г. по настоящее время. Вся совокупность научных публикаций разбита на 4,6 тыс. областей исследования, имеющих определенный номер. Допустим, что потребителя интересуют хроматиновые и нехроматиновые белки в ядрах клеток. В печатном руководстве к «Биомеду» он находит рубрику под названием «хроматин». Хроматин входит в 18 кластеров. Один из них озаглавлен «Хроматиновые и нехроматиновые белки в ядерных комплексах». Номер рядом с этим названием является кодом для входа в ЭВМ. Набрав его, потребитель получает



Технологическая схема обработки литературы в «Указателе цитируемой литературы». 1. Получение журналов; 2. Издание Current Contents; 3. Разметка журналов; 4. Ввод данных; 5. Верификация данных; 6. Данные; 7. Редактирование данных; 8. Исправление ошибок; 9. Пополнение базы данных; 10. Данные о журналах; 11. Разделение данных; 12. Ссылки; 13. Сведения об источниках; 14. «Указатель цитируемой литературы»; 15. Служба Genuine Articles — изготовление копий по заказам потребителей; 16. Ввод профилей подписчиков; 17. Редактирование профилей; 18. Перфорация профилей; 19. Перфокарты профилей; 20. Ленты с профилями абонентов; 21. Сравнение перфокарт с записями профилей; 22. Массив профилей; 23. Отбор данных из массива; 24. Отобранные данные; 25. Сортировка по подписчикам; 26. Упорядоченные данные; 27. Ежедневные уведомления подписчикам.

сведения о статьях по этой специальности. Каждый кластер и те статьи, в которых цитируются его составляющие, представляет современную информацию в данной области исследований².

Очевидно, что появление компьютерных «карт науки» — важное событие в условиях перехода науки на интенсивный путь развития. Ведь от быстрой и адекватной ориентации в картине движения идей в мировой науке зависит направленность локальных исследовательских усилий.

Поскольку советская научная литература составляет 3 % от общего мирового потока информации, обрабатываемой институтом Гарфилда, логично было бы предположить, что это найдет свое отражение в кластерах по различным областям зна-

ния. Однако, как показал анализ, существует ряд фронтов специальностей, где эта литература составляет 6 % и более, что свидетельствует о сильном влиянии советских научных школ. В то же время обращает на себя внимание тот факт, что некоторые кластеры полностью состоят из советской литературы. О чем это говорит? Либо о том, что работы советских коллег неизвестны западным, либо о том, что у нас существуют области, над которыми не работают за рубежом. По каким причинам? Возможно, что советскими учеными разрабатывается новая проблема, к которой еще не привлечено внимание зарубежных ученых. Либо этими исследованиями в других странах не занимаются по причине неэффективности или недостаточного понимания их значимости.

Как выяснилось, аналогична ситуация с немецкоязычной научной литературой. Быть может, здесь сказывается языковой барьер, а быть может, эта картина отража-

² Маркусова В. А. Совместный семинар Института научной информации США и Библиотеки по естественным наукам АН СССР // Научно-техн. информация. Сер. 1. 1982. № 4.

ет национальные традиции, которые, как известно, также играют важную роль в цитат-поведении.

Кластеры могут изменяться очень быстро. Так, например, развитие химии идет такими стремительными темпами, что приходится создавать кластеры еженедельно. Данные этой новой информационной технологии уже теперь требуют от исследователей, в особенности же от организаторов науки, психологической перестройки, освоения непривычных понятий и навыков. Это тем более важно, что компьютерный анализ цитирования — только инструмент и, подобно любому другому инструменту, может быть различно использован. Нож в руках столяра, бандита и повара — это не одно и то же орудие.

Частота цитирования — далеко не однозначный показатель как применительно к научному направлению, так и к отдельному ученому. Используя «Указатель научных ссылок», автор статьи в «Нью-Йорк Таймс» интерпретировал данные, основанные на анализе 5-летних массивов этого указателя следующим образом. Отметив, что только 36 % статей цитируются в последующих исследованиях два или более раза, он предложил урезать финансирование биомедицинских исследований, поскольку 2/3 опубликованных работ могут оказать лишь незначительное влияние на развитие науки. Гарфилд был вынужден протестовать против подобной интерпретации данных его института и указать на многие ограничения, которые следует принять во внимание при использовании метода цитирования. В связи с этим он затронул вопрос о мотивации цитат-поведения. «Нужно выяснить, — подчеркнул он, — не только как часто, но и почему кто-то был процитирован»³. Действительно, в вопрос «почему?» упирается вся проблема надежности метода. Ведь он — будь то его первоначальный вариант (вычисление частоты цитирования) или кластерный анализ — строится на таких единицах, как ссылки. По справедливому замечанию Б. Кронина, цитирование — это индивидуальный процесс, а результат этого процесса имеет огромное значение в сфере науки. Будучи индивидуальным решением, указание на научный результат (публикацию) другого ученого выражает особенности мотивации того, кто на него ссылается. **Психология мотивации, поэтому, изначально заложена в ра-**

боту компьютера. Изучение мотивов цитирования предпринято рядом западных науковедов, обративших внимание на различные виды этих мотивов. Автор знает, какие работы престижны среди коллег, и цитирует именно их. Важнейшей, как показали социально-психологические исследования Т. Брука, является мотивация убеждения — автор «шарит по литературе», чтобы убедить в правоте своей точки зрения⁴.

Ссылка фиксирует круг общения ученого. Но этот круг может быть и **оппонентным кругом**, т. е. включать исследователей, с которыми автор полемизирует, подвергает критике их идеи и факты, противопоставляя им собственные⁵. Эта полемика также влияет на цитат-поведение, притом не всегда в открытой форме. Ученый может умолчать об использованной им публикации, поскольку не приемлет ее автора.

В цитат-поведении могут возникнуть некие ритуальные моменты, отражающие не столько реальные научные связи, сколько особую мотивацию, порожденную ситуацией в микросоциуме, где «поклоны» в адрес отдельных персон выражают стремление заслужить их благосклонность, в особенности если эти персоны занимают административные посты в учреждениях, журналах, являются членами ученых советов и т. п.

Казалось бы, компьютер сам по себе, снимая налет субъективности, способен оценить истинный вклад ученого. В действительности же, выявляя связи, ускользающие от отдельных экспертов, компьютер дает им материал для более адекватной оценки вклада⁶. Сама же оценка предполагает построение субъектом соответствующего образа открытия, раскрытие его предметно-смыслового значения, работу эксперта, который обогащается данными компьютера, но не может быть заменен им в принципе.

Говоря о компьютерной грамотности, заметив, что она, подобно обычной грамотности, требует умения не только читать, в частности вычитывать по компьютерным картам науки состояние и динамику исследований, но и писать — составлять научный текст таким образом, чтобы он обогащал, а не засорял память науки. О риту-

⁴ Brook T. // J. of the Amer. Soc. for Information Science. 1985. V. 36. № 4. P. 223—229.

⁵ Ярошевский М. Г. // Вопр. философии. 1983. № 10. С. 49—61.

⁶ Шрейдер Ю. А. ЭВМ как средство представления знаний // Природа. 1986. № 10. С. 14—22.

³ Garfield E. // Current Contents. 1985. № 43. P. 3—9.

альном цитат-поведении, препятствующем адекватной оценке научных вкладов, мы уже говорили. Каждый ученый, включая в текст своей публикации чье-то имя, должен иметь в виду, что компьютер будет индексировать это имя, ничего не зная о симпатиях, антипатиях и других скрытых ненаучных мотивах автора источника. При каждом акте цитирования ученый, учитывая приобретенную отныне благодаря новой информационной технологии и неведомую прежним временам социальную значимость этого акта, должен действовать столь же ответственно, как и при представлении на суд сообщества своих научных результатов. **Требуется высоко нравственное отношение к любой вносимой в текст ссылке на другой источник, на другого автора**, ибо она будет подсчитана компьютером при составлении «карты науки», на которую в дальнейшем смогут ориентироваться другие исследователи и организаторы науки, подобно тому как они опираются сейчас на данные экспериментов и теоретические выкладки других ученых.

Недавно американский ученый Р. Бродус, подвергнув специальному анализу адекватность цитирования, установил, что автор одной из престижных работ некорректно процитировал публикацию своего предшественника. Он удивился тому, что многие другие авторы использовали эту ссылку без проверки первоисточника, неумышленно повторяя ошибку в своих собственных работах. Адекватность цитирования должна подлежать столь же жесткому контролю со стороны научного сообщества, как и все другие феномены исследовательской практики.

Выработка навыков высоко нравственного и адекватного цитат-поведения — только один момент в общей компьютерной грамотности ученого, осуществляющего информационную деятельность. Не менее важными являются навыки построения научных текстов под углом зрения доступности их формализации средствами информатики. Выработка этих навыков, как и любых других, требует специального психологического анализа с целью подготовки практических конкретных рекомендаций, подобных тем, которые созданы психологией применительно к обучению обычной грамоте.

Как известно, информационная технология развивается стремительно. В 70-е годы появился микропроцессор: центральный блок вычислительной машины был размещен на одном кристалле кремния размером в несколько миллиметров. Такой

микропроцессор имеет производительность порядка 30—40 тыс. операций в секунду, что сравнимо с производительностью крупногабаритных ЭВМ 60-х годов, а цена его на мировом рынке составляет всего лишь несколько рублей. Современный микропроцессор размером с пуговицу и стоимостью в 25 долл. превосходит по своим возможностям американскую ЭВМ первого поколения, которая весила 30 т и занимала пространство в 85 м³.

На основе микропроцессора построены персональные компьютеры. По сообщениям зарубежной печати, первокурсники любого университета США обязаны явиться на занятия с собственными персональными компьютерами. Университеты оказывают студентам помощь в их покупке, причем цена этих компьютеров колеблется от 300 до 4 тыс. долл. За период учебы студенты не менее трех раз меняют компьютеры и, окончивая университет, не мыслят своей деятельности без использования достаточно мощного персонального компьютера.

Прогресс информационной технологии открывает новые перспективы компьютерного анализа научных текстов. Предсказывается, что в ближайшее десятилетие объектом такого анализа станет не только ссылочный аппарат, но и полные тексты, что позволит составлять публикации по их содержанию и тем самым проследить динамику понятий.

В начале 80-х годов в ИНИ были разработаны и внедрены новые специальные виды информационного обслуживания. Они основаны на упоминавшемся выше кластерном анализе и позволяют потребителям работать с базами данных в режиме прямого диалога. Кластеры строит ЭВМ, но понять и использовать их способен только специалист с его когнитивно-мотивационным аппаратом. Научное знание об этом аппарате можно почерпнуть только в психологии. От ее способности освоить в своих собственных категориях закономерности и механизмы поведения человека в информационной среде зависит эффективное использование новой технологии.

Информационная технология развивается несравненно быстрее, чем психологическое знание о научной деятельности, использующей ее орудия. Поэтому важнейшей задачей в плане эффективного использования этой технологии является разработка теоретических схем и конкретных методов, позволяющих придать продуктивность диалогу между психологией и информатикой.

Космические исследования

Запуски космических аппаратов в СССР (май — июнь 1987 г.)

В мае — июне 1987 г. в Советском Союзе был запущен 21 космический аппарат, в том числе 19 спутников серии «Космос».

На спутнике «Космос-1846» установлена научная аппаратура для продолжения исследований природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества. Информация с этого спутника передается в Государственный научно-исследовательский и производственный центр «Природа» для обработки и использования.

Спутник «Космос-1861» предназначен для работы в составе космической навигационной системы, созданной в целях определения местонахождения судов морского и рыболовного флотов Советского Союза в любой точке Мирового океана. На спутнике установлена также аппаратура, разработанная радиолюбителями-конструкторами ДОСААФ СССР для обеспечения любительской радиосвязи и проведения экспериментов в научных и учебных целях.

Автоматический грузовой корабль «Прогресс-30» доставил на орбитальную научную станцию «Мир» расходимые материалы и различные грузы.

Очередной спутник связи «Горизонт» выведен на близкую к стационарной круговую орбиту в соответствии с программой дальнейшего развития систем спутниковой связи и телевизионного вещания.

Успешным запуском 15 мая 1987 г. в нашей стране начаты летно-конструкторские испытания новой мощной уни-

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		пери-гей, км	апо-гей, км	накло-не-ние, град	пе-риод обра-щения, мин
«Космос-1843»	5.V	214	312	70,4	89,5
«Горизонт»	11.V	35174	35174	0,52	1401
«Космос-1844»	13.V	861	879	71	102
«Космос-1845»	13.V	217	400	70	90,4
«Прогресс-30»	19.V	192	265	51,6	88,8
«Космос-1846»	21.V	196	314	82,4	89,2
«Космос-1847»	26.V	177	373	67,2	89,7
«Космос-1848»	28.V	208	400	72,9	90,2
«Космос-1849»	4.VI	613	39342	62,9	709
«Космос-1850»	9.VI	785	825	74	100,8
«Космос-1851»	12.VI	592	39402	62,8	710
«Космос-1852—1859»*	16.VI	1440	1507	74	115
«Космос-1860»	19.VI	255	283	65	89,7
«Космос-1861»	23.VI	995	1014	83	105

* Восемь спутников, «Космос-1852—1859», запущены одной ракетой-носителем.

версальной ракеты-носителя «Энергия». Она предназначена для выведения на околоземные орбиты как многоразовых орбитальных кораблей, так и крупногабаритных космических аппаратов научного и народнохозяйственного назначения. Ракета-носитель «Энергия» — двухступенчатая. Ее первая ступень состоит из четырех боковых блоков-ускорителей, каждый имеет по одному двигателю на кислородно-керосиновом топливе тягой 800 т; вторая ступень — центральный блок длиной 60 м и диаметром 8 м — имеет четыре двигателя на кислородно-водородном топливе тягой по 200 т каждый. Мощность ракеты-носителя 170 млн л. с., стартовый вес свыше 2000 т, она способна вывести на орбиту более 100 т полезного груза.

Ракета-носитель «Энергия» является основным эле-

ментом создаваемой в СССР многоразовой транспортной космической системы.

Космические исследования

На станции «Мир» (апрель—май 1987 г.)

В апреле—мае 1987 г. космонавты Ю. В. Романенко и А. И. Лавейкин продолжили работу на орбите, начатую 8 февраля 1987 г. Экипаж выполнил погрузочно-разгрузочные работы с автоматическим грузовым кораблем «Прогресс-29», а также приступил к разгрузке корабля «Прогресс-30».

«Прогресс-29» был запущен 21 апреля и состыковался с пилотируемым комплексом «Мир» 23 апреля со стороны астрофизического модуля

«Квант». Впервые в околоземном пространстве методом последовательной сборки был создан сложный научно-исследовательский комплекс из четырех космических аппаратов: базового блока, астрофизического модуля, пилотируемого и автоматического кораблей. Общая длина комплекса около 35 м, масса 50 т, объем герметичных отсеков приблизительно 150 м³.

После разгрузки «Прогресса-29» 11 мая 1987 г. корабль был отделен от орбитального комплекса «Мир» и переведен на траекторию снижения; затем он вошел в плотные слои атмосферы и прекратил существование.

19 мая был запущен автоматический грузовой корабль «Прогресс-30», который 21 мая состыковался с орбитальным комплексом «Мир». Корабль доставил на орбиту расходуемые материалы, оборудование и аппаратуру, почту.

Много времени у экипажа в этот период ушло на перевод астрофизического модуля «Квант» в режим пилотируемого полета и подготовку оборудования и аппаратуры модуля к научным исследованиям.

По программе космического материаловедения Ю. В. Романенко и А. И. Лавейкин выполнили ряд экспериментов, в которых продолжали отрабатывать технологию нанесения металлических покрытий в условиях космического вакуума и невесомости методом электронно-лучевого испарения и последующей конденсации; было выполнено напыление нескольких слоев меди на полимерную пленку. В эксперименте по испарению двухкомпонентного сплава «медь-серебро» изучались особенности испарения в невесомости многокомпонентных материалов.

По программе геофизических исследований с целью изучения природных ресурсов Земли и окружающей среды космонавты регулярно вели наблюдения и съемку ручными фотокамерами отдельных районов земной поверхности. В частности, изучалось сезонное развитие лесной растительности и сельскохозяйственных культур,

выявлялись лесные пожары, наблюдались метеорологические процессы, происходящие в атмосфере.

Систематически велись комплексные медицинские обследования экипажа: измерялась масса тела, оценивалось состояние мышц, мало нагруженных в невесомости, обследовалась сердечно-сосудистая система как в условиях покоя, так и с дозированной физической нагрузкой на велоэргометре. Космонавты выполнили также серию медико-биологических экспериментов: исследовали кислородный режим тканей человека в невесомости, оценивали состояние зрительного аппарата, определяли параметры газовой среды в жилых помещениях.

С. А. НИКИТИН
Москва

Космические исследования

«Вояджер-2» на пути к Нептуну

В августе 1989 г. автоматическая межпланетная станция «Вояджер-2» сблизится с планетой Нептун. Станция подойдет к планете со стороны ее Южного полюса, проследует через экваториальную плоскость Нептуна и затем направится к его гигантскому спутнику Тритону, который, судя по наземным наблюдениям, имеет значительную атмосферу, а на его поверхности могут быть «озера» жидкого азота.

Учитывается, что атмосфера Тритона, особенно ее наиболее разогретая часть — термосфера, может повлиять на правильность ориентации космического аппарата и его радиосвязь с Землей.

По-видимому, кольца Нептуна не являются сплошными образованиями, а представляют собой разорванные дуги или полосы, между которыми плотность и размеры частиц недостаточны, чтобы их можно было наблюдать с Земли. Ширина дуг также невелика — от 8 до 20 км. Однако в значительных количествах даже мельчайшие частицы

космической пыли могут отрицательно воздействовать на оборудование «Вояджера-2». Поэтому планируется провести аппарат примерно в 45 800 км от поверхности Нептуна, т. е. вне самой внешней из дуг кольца с запасом около 4 тыс. км — с учетом неопределенности ее точного положения. Тем самым «Вояджер» окажется всего в 4300 км от Северного полюса планеты и в 38 тыс. км от Тритона. Это позволит исследовать атмосферу Тритона, наблюдая ее в проходящих лучах Солнца, а также — по характеру прохождения через нее радиоволн, посылаемых с борта аппарата на Землю.

Главной помехой экспериментам могут оказаться заряженные частицы, захваченные магнитным полем планеты. До сих пор на Нептуне не наблюдались полярные сияния, которые позволили бы судить о его магнитном поле. Без этого затруднительно определить степень опасности, угрожающей «Вояджеру-2». У Урана, например, признаки магнитного поля были обнаружены всего за 5 суток до сближения аппарата с планетой. Теоретические же вычисления неоднозначны: согласно одним — поле очень слабое, согласно другим — его интенсивность превышает ту, что присуща Юпитеру, в зоне которого некоторые приборы «Вояджера-2» отказали.

Science News. 1986. Vol. 130. № 22.
P. 342 (США).

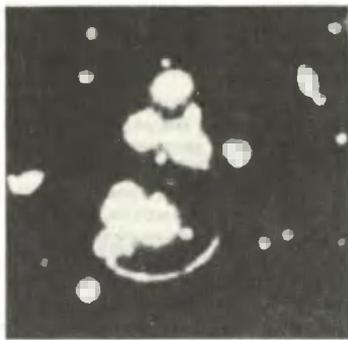
Астрофизика

Гигантские дуги в скоплениях галактик

Р. Линдс (R. Linds; Обсерватория Кит-Пик, США) и В. Петросян (W. Petrosjan; Станфордский университет, США) сообщили об обнаружении ранее не наблюдавшегося структурного образования в скоплениях галактик. Они исследовали 57 скоплений, и в двух из них отчетливо видны светящиеся дугообразные детали. Если предположить, что эти образования связаны со скоплениями (случайная



Скопление галактик Abel 370 (слева) и 2242-02 (справа). Фотографии получены в Национальной оптической астрономической обсерватории, Туксон, штат Аризона, США.



проекция близкого объекта маловероятна), то, исходя из существующих оценок расстояний до скоплений, линейный размер дуг превышает 100 кпк.

Столь необычные объекты сразу привлекли к себе внимание астрономов. Предложен ряд объяснений обнаруженного феномена. Возможно, например, что дуги представляют собой результат мощного взрыва (аналогия с остатками взрывов сверхновых, но в гораздо большем энергетическом масштабе). Свечение дуг может создаваться молодыми звездами, массовое рождение которых инициируется ударной волной, проходящей через межгалактическую среду. Некоторые астрономы допускают возможность того, что наблюдается явление «галактического каннибализма» (т. е. поглощение одной галактики другой) и дуги формируются в результате приливного разрушения «поглощаемой» галактики.

Для объяснения привлекаются и гравитационные линзы. В частности, делается попытка использовать хорошо известный в теории результат, относящийся к «линзированию» точечного объекта, расположенного непосредственно на оси симметрии системы «линза — наблюдатель». В этом случае наблюдатель увидит кольцо, диаметр которого связан с распределением массы в линзе. Тот факт, что зарегистрированы не полные

кольца, а лишь дуги, можно пытаться объяснить неполной круговой симметрией линзы¹. Сильным доводом в пользу гипотезы гравитационной линзы был бы факт значительного превышения красного смещения дуги над красным смещением соответствующего скопления галактик, которое проявляет себя как линза (напомним, что чем больше красное смещение, тем дальше от наблюдателя находится объект). Если окажется, что красное смещение дуги примерно равно красному смещению скопления галактик, тогда причину наблюдаемого феномена следует искать в процессах, происходящих в самом скоплении.

К сожалению, пока красное смещение дуг измерить не удалось — их излучение слишком слабо для спектротрических наблюдений. Однако необычность обнаруженного явления позволяет с уверенностью утверждать, что астрономы не пожалеют усилий для его дальнейшего исследования.

Nature. 1987. Vol. 325. P. 572—573 (Великобритания).

Планетология

Океан под ледяной корой спутника Юпитера!

Речь идет об одном из четырех крупных спутниках

¹ Подробнее об этом см., напр.: Блюх П. В., Минakov А. А. Гравитационные линзы // Природа. 1982. № 11. С. 59—69.

Юпитера — Европе. Как известно, ее поверхность покрыта водяным льдом. Но какова толщина этого ледяного панциря и что под ним? М. Росс и Г. Шуберт (M. N. Ross, G. Schubert; Калифорнийский университет, США) считают, что под сравнительно тонкой ледяной корой, толщина которой не превышает 30 км, находится 100-километровый слой воды. Источником тепла, разогревающим нижнюю часть водяной оболочки Европы, служат приливы.

Напомним, что спутники Юпитера под действием взаимного притяжения движутся по близким к круговым эллиптическим орбитам, то приближаясь к планете, то чуть удаляясь от нее. Эти колебания приводят к изменению гравитационных приливных сил, действующих со стороны Юпитера на спутники. В итоге спутники испытывают переменные деформации; так, поверхность Европы за время ее орбитального периода (3,6 земных суток) поднимается и опускается на 20—30 м. У ближайшего к Юпитеру крупного спутника Ио эти деформации достигают сотен метров. В результате работы, совершаемой приливными силами, в недрах Ио выделяется столько тепла, что на ее поверхности действуют гигантские вулканы, а все летучие вещества, наподобие воды, уже давно испарились из коры.

Европа расположена от Юпитера дальше, чем Ио, поэтому «приливный» разогрев ее не так велик. Но, как показали расчеты Росса и Шуберта, этого тепла достаточно, чтобы уберечь от замерзания гигантский внутренний океан. Оценка толщины ледяной коры (около 30 км) получена из условия, что потеря тепла недрами сквозь эту кору будет компенсироваться работой приливных сил и, в меньшей степени, теплом от распада радиоактивных элементов в ядре спутника. Уверенность в том, что ледяная кора покоится на слое жидкости, а не на твердом ядре, основана на внешнем виде самой Европы: ее поверхность лишена крупных кратеров, а если бы под 30-километровым слоем льда было твердое тело спутника, крупные кратеры на нем обязательно сохранились бы. В этом

смысле Европа похожа на спутник Сатурна — Энцелад и спутник Урана — Миранда: их поверхность также лишена крупных кратеров. Но при современных орбитах этих спутников их «приливный» нагрев невелик. Возможно, впрочем, что в недалеком прошлом их орбиты были иными.

Любопытно, что физические условия во внутреннем океане Европы не так уж сильно отличаются от условий в океанах земных. А жизнь на Земле, как известно, зародилась в океане...

Nature. 1987. Vol. 325. № 7000. P. 133—134 (Великобритания).

Физика

Квазикристаллы размером в сантиметр

Квазикристаллы, открытые два года назад, в настоящее время являются предметом пристального изучения. Это новая категория твердого вещества, не имеющая ни периодически повторяющейся атомной структуры кристалла, ни случайной атомной структуры аморфного материала¹. Первые образцы квазикристаллов состояли из очень мелких зерен — сечением в несколько микрон — и были неудобны для экспериментального изучения.

Недавно в Исследовательском центре Пичини (Франция) были получены квазикристаллы диаметром около 1 см. Эти крупные одиночные кристаллы, состоящие из смеси алюминия, меди и лития, имеют характерную форму 30-гранника с одинаковыми ромбовидными гранями. В каждой вершине соединяются по 5 граней, т. е. наблюдается симметрия пятого порядка, которая является признаком квазикристаллического ма-

териала. Такая 30-гранная форма ранее не наблюдалась.

Получены квазикристаллы по следующей технологии: в предварительно нагретую графитовую форму добавляли жидкий расплав смеси алюминия, меди и лития, который затем медленно охлаждали от 620 °С до комнатной температуры. Образовавшийся слиток разбивался для выделения квазикристаллов. Сейчас исследователи пытаются более точно определить микроскопические и геометрические характеристики этой структуры, расположение атомов в элементарной ячейке. Для этого используются рентгено-структурный анализ и нейтронография.

Исследователям из Пенсильванского университета (США) также удалось получить крупные одиночные квазикристаллы с зерном, имеющим сечение 0,2 мм. Их технология отличается от французской тем, что сплав, находящийся в танталовом тигле, не подвергается медленному охлаждению, а погружается в воду со льдом. Затем слиток проходит тепловую обработку.

Science News. 1986. Vol. 130. № 20. P. 309—310 (США).

Физика

Автоволны в неравновесных сверхпроводниках

Группа американских физиков из Рочестерского университета сообщила об исследовании нестационарного промежуточного состояния в неравновесных сверхпроводниках — пленках из свинца или олова толщиной около 250 Å, облучаемых лазерными импульсами длительностью несколько десятков пикосекунд.

В начале 70-х годов в ряде экспериментальных и теоретических работ было показано, что величина энергетической щели в спектре возбуждений сверхпроводника (один из основных параметров теории Бардина—Купера—Шриффера) обладает особой чувствительностью к ма-

лым отклонениям распределения квазичастиц по энергиям от его равновесного вида. Неравновесное распределение может быть создано инжекцией квазичастиц внешним источником — оптическим или СВЧ-излучением, туннельной инжекцией и др. Эффекты неравномерности наиболее сильно проявляются в сверхпроводящих пленках толщиной 1000 Å и меньше, насыщенных на подложку с высокой теплопроводностью, например сапфировую.

В начале 80-х годов был создан экспериментальный образец переключающего элемента — квитирана (транзистора), в котором использовались неравновесные свойства сверхпроводящих туннельных переходов¹. Квитиран представляет собой комбинацию двух туннельных контактов (трех сверхпроводящих пленок, разделенных слоями окислов толщиной 10—20 Å), один из которых является управляющим и контролирует состояние (нормальное или сверхпроводящее) средней пленки — базы; от него, в свою очередь, зависит ток через второй контакт. Время переключения квитирана составляло 10—20 пс и, как полагали его создатели, слабо зависело от размеров прибора.

Такое мнение опиралось на физическую картину пространственно однородного фазового перехода сверхпроводник — нормальный металл в базе квитирана при увеличении тока через управляющий туннельный переход. Между тем еще в 70-х годах В. Ф. Елесин (Московский инженерно-физический институт) предложил модель нестационарного промежуточного состояния сверхпроводника, согласно которой переход сверхпроводящей пленки, возбуждаемой внешним источником, в нормальное состояние происходит путем распространения своеобразной автоволны, пробегающей от одной границы образца до другой². Модель

¹ Подробнее об этом см.: Квазикристаллы — структуры с симметрией 5-го порядка // Природа. 1985. № 8. С. 108.

¹ Подробнее об этом см., напр.: Физика за рубежом. М., 1984. С. 210.

² Елесин В. Ф. // ЖЭТФ. 1977. Т. 73. С. 355—365.

Елесина позволяла объяснить результаты экспериментов на пленках, облучаемых светом лазера, выполненных различными группами, в том числе в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР в 1975—1980 гг., а также рассмотреть явление шунрования тока в туннельных переходах, обнаруженное в ряде лабораторий. В этих работах, однако, использовались довольно толстые пленки сверхпроводников (в несколько тысяч ангстрем), в которых неравновесные явления протекают на фоне сильного общего нагрева образца.

По мнению исследователей из Рочестерского университета, им удалось в значительной мере ослабить влияние нагрева, во-первых, используя тонкие пленки и, во-вторых, уменьшив длительность импульса света до 30 пс (использовался лазер на неодиме с модулированной добротностью). Поэтому удалось наблюдать импульсы напряжения на пленках, вызванные отдельными импульсами света, а также цугами импульсов. По мнению авторов, все обнаруженные закономерности хорошо объясняются моделью Елесина.

Результаты физиков из Рочестерского университета позволяют по-новому поставить вопрос о предельном быстродействии переключателей на основе сверхпроводящих туннельных структур. Поскольку в модели Елесина скорость распространения автоволн в пленках может достигать 10^6 — 10^7 см/с, при уменьшении размеров элементов до нескольких сот ангстрем можно ожидать уменьшение времени переключения до долей пикосекунды.

Physical Review. 1986. Vol. 33B. № 7. P. 4604—4620 (США).

Физика

Обменный механизм диффузии атомов

К. Панди (K. Pandey; Исследовательский центр фирмы IBM, Нью-Йорк, США) предположил, что диффузия в полупро-

водниках IV группы со структурой типа алмаза протекает по новому, обменному механизму, и, исходя из этого, объяснил наблюдаемые в них диффузионные аномалии.

Наиболее известны два механизма диффузии атомов в кристаллах: вакансионный и межузельный. Согласно первому, по соседству с атомом оказывается пустой узел кристаллической решетки — вакансия. Совершая диффузионный скачок, атом заполняет пустой узел, а на месте атома возникает вакансия. Последовательность скачков и приводит к перемещению атома по решетке. По второму механизму, атом, раздвигая соседей, смещается в промежутке между узлами решетки и далее перескакивает из одного межузлия в другое. Почти все экспериментальные данные для металлов удается объяснить вакансионным механизмом и лишь в некоторых случаях — межузельным.

Считалось, что и в полупроводниках диффузия протекает аналогичным образом. Однако в последние годы были обнаружены аномалии диффузии, которые не удалось объяснить в рамках упомянутых механизмов. Так, «чужие» (примесные) атомы III и V групп диффундируют в кремнии гораздо быстрее, чем сами атомы кремния или же примеси своей (IV) группы.

Панди предположил, что в полупроводниках IV группы действует механизм диффузии, названный им согласованным обменом (concerted exchange), в котором два атома, меняющиеся местами, согласованно разворачиваются по отношению к своим соседям, образуя жесткую гантель. Гантель поворачивается вокруг двух осей так, что в промежуточных положениях количество разорванных связей минимально. При некоторых критических углах поворота возникает атомная конфигурация (активированный комплекс) с максимальной избыточной энергией (энергия активации). При дальнейшем повороте избыточная энергия вновь снижается и достигает нуля, когда атомы гантели оказываются в новых равновесных положениях. Квантово-

механический расчет, проведенный Панди, показал, что предложенный им путь атомного обмена энергетически наиболее выгоден, а энергия активации процесса не больше, чем в вакансионном и межузельном механизмах.

С помощью этого механизма Панди качественно объяснил наблюдаемые аномалии в кремнии. Так, он обратил внимание, что в активированном комплексе меняющиеся местами атомы имеют не четырех соседей, как в идеальной решетке, а только трех. Следовательно, если один из атомов — элемент III или V группы, то наличие трех соседей энергетически более выгодно и энергия активации будет меньше, а это означает, что при данной температуре коэффициент диффузии возрастает.

Physical Review Letters. 1986. Vol. 57. № 18. P. 2287—2290 (США).

Химическая физика

Радиоактивные элементы и гели

А. А. Веденов, Е. Б. Левченко, Г. Д. Мыльников и Ю. М. Сенаторов (Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова) исследовали поглощение радиоактивных стронция и цезия из воды при образовании и уплотнении гелей, возникающих в системе глина—вода. При добавлении в воду, содержащую ионы Cs^+ , Ca^{++} , Ba^{++} , Sr^{++} , суспензии глины (монтмориллонита) в натриевой форме, в сосуде образовывался упругий гель, трехмерный каркас которого состоял из алюмосиликатных пластин глины. Природная форма глины, содержащая кальций в качестве обменного катиона, переводилась в натриевую форму многократными промывками в растворе хлористого натрия. С увеличением концентрации катионов цезия, кальция, бария и стронция число плотных контактов между отдельными пластинами, а с ним — и величина модуля упругости геля росли. Через несколь-

ко часов после образования геля уплотнялся, избыток воды, обедненный двухвалентными ионами и цезием, отслаивался в виде отдельной фазы. По мнению авторов, процесс отслаивания очищенной воды происходит по типу коллективной диффузии.

Механизмы связывания катионов в глинах близки к аналогичным процессам в различных структурах живых организмов, которые при определенных условиях также образуют гелеподобные системы. Хорошо известны, например, казеиновый гель, составляющий основу творога, а также актомиозиновый гель, входящий в состав сократительного аппарата клеток, включая мышечные. Как и в глинах, структура этих гелей стабилизирована катионами. Кроме ионов натрия это обычно ионы калия и кальция, которые, однако, легко замещаются на цезий, стронций и барий, что представляет опасность для организма, если эти ионы радиоактивны. Указанные катионы можно извлечь из геля с помощью реакции ионного обмена, подобной приготовлению натриевой формы монтмориллонита. В недавней работе западногерманских ученых сообщается о дезактивации от цезия мышечной ткани оленя путем многократной отмычки ее раствором хлористого натрия в течение нескольких дней¹. Активность ткани понизилась при этом примерно в 20 раз. Известно также об извлечении радиоактивного стронция из молока в реакциях ионного обмена².

Все это позволяет заключить, что баланс водорастворимых ионов цезия и стронция в биосфере в значительной мере определяется конкуренцией избирательного поглощения их в глинах (наиболее широко распространенном природном ионообмене) и в биологических тканях. По-видимому, образование гелеподобных осадков глины при поглощении катионов — один из основных механизмов

удаления радиоактивных элементов из трофических цепей живых организмов.

Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 45. Вып. 3. С. 146—149.

Молекулярная биология

Искусственная РНК против вируса

Бороться с вирусными частицами, проникшими внутрь клеток, очень сложно, так как оболочка клеток мало проницаема для моноклональных антител или других биологически активных соединений. Поэтому сейчас широко исследуется возможность поразить вирус непосредственно внутри клеток.

Закодированная в ДНК или РНК вируса генетическая информация «переписывается» в ядре клетки на информационную РНК (иРНК), которая доставляет ее в рибосомы, где происходит трансляция — синтез белков (в том числе и вирусных) по программе иРНК. Если к цепочке иРНК, несущей информацию для синтеза белков определенного вируса, подобрать по принципу комплементарности другую цепочку (анти-иРНК) и ввести ее в клетку, то образующаяся двухцепочечная иРНК не сможет быть декодирована в рибосомах, и синтез белков вируса прекратится.

Американские биологи и медики, возглавляемые К. Смитом (С. С. Smith; Отделение фармакологии и микробиологии Балтиморского университета и Отделение биофизики Медицинского института им. Дж. Голкинса), использовали этот подход для избирательного торможения экспрессии вирусных генов при трансляции. Для этого они синтезировали специфические последовательности нуклеотидов, представляющие собой анти-иРНК вируса простого герпеса. Важно, что эти вещества способны свободно проникать внутрь клеток.

Эксперименты показали, что введение анти-иРНК до или во время заражения клеток вирусом простого герпеса I типа тормозило его размножение.

Содержание вирусных частиц в клетках снижалось при этом на 50—90 % в зависимости от концентрации анти-иРНК. Синтез вирусных белков сократился на 90 %. В незараженных же клетках добавление анти-иРНК лишь незначительно тормозило синтез белков.

Использованный метод может стать весьма эффективным в лечении не только вирусных заболеваний, но и новообразований, хотя переход от экспериментов на клеточной культуре к воздействию на целый организм потребует, конечно, значительной исследовательской работы.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 1986. Vol. 83. № 9. P. 2787—2791 (США).

Генетика

Гипотеза «молекулярных часов» под вопросом

Результаты исследований, проводимых в Межфакультетской проблемной лаборатории им. А. Н. Белозерского МГУ им. М. В. Ломоносова под руководством А. С. Антонова, ставят под сомнение гипотезу «молекулярных часов», согласно которой скорость накопления изменений в нуклеотидных (или же в аминокислотных) последовательностях постоянна¹. Ранее было показано, что таксоны животных и растений, возникновение которых палеонтологически относятся к одному времени, могут существенно различаться по степени сходства ДНК у входящих в них видов. Это означает, что скорость дивергенции в этих одновозрастных группах была разной. Новые данные убедительно опровергают гипотезу «молекулярных часов», поскольку опираются на тот же материал, что и выводы авторов гипотезы.

Палеонтологические данные о распространении печеноч-

¹ Wahl R., Kellee E. // Nature. 1986. Vol. 323. P. 208.

² Подробнее об этом см., напр.: Nature. 1963. Vol. 198. P. 780.

¹ Антонов А. С. Эволюция генов растений: вызов теории «молекулярных часов» // Природа. 1986. № 7. С. 68—77.

ных мхов, листостебельных мхов и покрытосеменных растений говорят о том, что однодольные и двудольные возникли приблизительно 150 млн лет назад, а мохообразные — гораздо раньше, 400—300 млн лет назад. В то же время нуклеотидные последовательности 4,5 S рРНК у мха *Mnium* и печеночника *Marsiphantha* различаются всего на 5%, а те же РНК у покрытосеменных — на 13%. Отсюда следует, что средние темпы накопления нуклеотидных замен в генах 4,5 S рРНК у покрытосеменных были в несколько раз выше, чем у мохообразных. Анатомо-морфологическая эволюция мохообразных также шла медленно. Древнейшие ископаемые печеночники относятся к тем же порядкам и даже семействам и родам, что и ныне существующие виды. А покрытосеменные эволюционировали ускоренно как морфологически, так и на уровне ДНК.

А. С. Антонов и А. В. Троицкий предполагают, что среди причин различной скорости эволюции генов рРНК главное значение имеют различия в длительности жизненных циклов, влияние отдельных факторов отбора и множественные изменения в первичной структуре генов по мере их эволюции в составе различных «геоценозов». Сам же факт неравномерности темпов эволюции рРНК в разных филогенетических линиях растений заставляет весьма критически отнестись к гипотезе «молекулярных часов».

Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 1986. Т. XXII. № 4. С. 343—349.

Биохимия

Вторая система азотфиксации у бактерий

Известно, что способностью фиксировать молекулярный азот атмосферы обладают лишь прокариотные организмы. Эта способность обусловлена присутствием в клетках особого фермента — нитрогеназы, катализирующей реакцию восстановления молекулярного

азота до аммиака. Специалистами выделены гены, ответственные за этот процесс, а также установлено, что в состав фермента входит динитрогеназа — белок, содержащий молибден. Присутствие этого металла абсолютно необходимо для фиксации азота, а внесение его в почву с дефицитом молибдена повышает азотфиксирующую активность бактерий.

Недавно группа П. Бишоп (P. Bishop; Университет штата Северная Каролина, США) обнаружила, что некоторые мутантные штаммы бактерии *Azotobacter vinelandii*, неспособные фиксировать азот, неожиданно приобретают эту способность в среде с недостатком молибдена. Специалисты предположили, что эти бактерии обладают альтернативной системой фиксации азота, включающейся именно при недостатке молибдена.

Для проверки гипотезы в серии экспериментов специально изучались отобранные штаммы, неспособные ни при каких условиях синтезировать динитрогеназу. Однако при недостатке молибдена эти штаммы начинали фиксировать азот. Так подтвердилось предположение о наличии у бактерий не одной, а двух систем фиксации атмосферного азота. Но что из себя представляет вторая система, как она функционирует — еще предстоит изучить.

Trends in biochemical sciences. 1986. Vol. 11. P. 225—227 (Великобритания).

Психфизиология

Зрительное внимание у глухих

Известно, что у людей с грубыми нарушениями функций одного из органов чувств часто обострена чувствительность других. Еще в XVIII в. Дидро высказал мысль, что повышение остроты слуха у слепых обусловлено их возросшим вниманием к звукам. Однако исследование механизмов внимания стало возможным только с открытием метода вызванных потенциа-

лов — электрических ответов мозга на его стимуляцию¹.

Американские психофизиологи Х. Невиль и Д. Лоусон (H. Neville, D. Lawson; Институт биологических исследований Солка) изучали ситуацию, обратную той, о которой говорил Дидро: они исследовали внимание к зрительным стимулам у лиц с врожденной глухотой. Стимулы (в виде белого квадрата) появлялись либо в центре поля зрения (где острота зрения наиболее высока), либо на периферии (справа или слева). Привлечение внимания к центральным квадратам вызывало у глухих такие же изменения вызванных потенциалов, как и у здоровых: примерно через 0,15 с увеличивалась отрицательная волна. Если же внимание фиксировалось на периферийных квадратах, реакции глухих и здоровых существенно различались. Во-первых, прирост амплитуды этой волны (по сравнению с ситуацией до появления зрительного стимула) у глухих был в 4—5 раз больше; у здоровых этот прирост отмечался главным образом в теменной области, у глухих — по всей поверхности головы. Во-вторых, в восприятии периферийных квадратов у здоровых основную роль играет правое полушарие мозга, у глухих — левое.

Невиль и Лоусон обследовали также 20 здоровых молодых людей, у которых оба родителя глухонемые. Язык глухонемых был их «родным» языком. У них, как и у глухих, при восприятии периферийных зрительных стимулов отчетливо преобладало левое полушарие. Однако по характеристикам отрицательной волны со скрытым периодом 0,15 с они не отличались от других здоровых лиц.

Таким образом, исследование периферийного зрительного восприятия у глухих позволило выявить две существенные особенности, имеющие разное происхождение. Если более ин-

¹ Подробнее см.: Отражение процесса внимания на энцефалограмме // Природа. 1980. № 3. С. 114; Вызванные потенциалы — ценный диагностический признак // Природа. 1982. № 8. С. 110.

тенсивное, чем у здоровых, про- звольное внимание связано, по- видимо, с самим фактом врожденной глухоты, то особая роль левого полушария мозга, его активное участие в обработ- ке зрительной информации обу- словлены тренирующим влияни- ем сложного зрительного языка, которым глухонемые овладают в детстве.

Brain Research. 1987. Vol. 405. № 2. P. 253—294 (США).

Медицина

Разрабатывается вакци- на против СПИДа

По мнению французских исследователей, возглавляемых Д. Загури (D. Zagury; Парижский университет им. П. и М. Кюри), предварительные испытания разработанной ими вакцины против СПИДа дали обнадежи- вающие результаты. Испытания на добровольцах проводились в клинике национального универ- ситета в Киншасе (Заир).

Вакцину создавали путем встраивания гена, кодирующего белки оболочки вируса HTLV-III_B, который вызывает СПИД, в геном вируса коровьей оспы, служащего основой проти- вооспенной вакцины. Загури на- чала испробовал действие моди- фицированной вакцины на себе. После введения вакцины его им- мунная система выработала ан- титела против HTLV-III_B. Однако эти антитела «не узнавали» дру- гие разновидности вируса СПИДа.

Тогда исследователи про- верили способность препарата стимулировать клеточный им- мунный ответ. Выяснилось, что под действием вакцины особые иммунные клетки — Т-килле- ры — начинают узнавать и атако- вать клетки, содержащие вирусы группы HTLV-III.

Авторы пришли к выводу о необходимости повысить эф- фективность действия вакцины, приготавливая ее из поверхност- ных белков различных штаммов вирусов группы HTLV-III. Это поможет организму образовать

различные виды антител для борьбы с разными видами виру- са, вызывающего СПИД.

Nature. 1987. Vol. 326. № 6110. P. 249—250 (Великобритания).

Биология

Опасное хобби

Ядовитые животные все еще остаются причиной многих несчастных случаев: согласно оценкам, ежегодно в мире региструется около 20 тыс. слу- чаев, связанных с 200 видами ядовитых рыб, 50 тыс.— с 50 ви- дами кишечнополостных, 500 тыс.— с 50 видами паукообраз- ных (пауков и скорпионов), 5 млн несчастных случаев вызваны уку- сами 150 видов насекомых, а 2 млн случаев — укусами 120 видов змей. В последние годы в число пострадавших все чаще попадают лица, которые содер- жат ядовитых животных в аква- риумах и террариумах. Несмот- ря на риск, это увлечение ста- новится все более популярным.

В связи с этим в пери- одических изданиях террариу- мистов и аквариумистов регу- лярно появляются предупреж- дения и призывы к строгому соблюдению правил безопасно- сти. В ряде стран меры защи- ты людей от ядовитых живот- ных отражены в законодатель- ных актах. Принимают меры предосторожности и сами люби- тели: в Западном Берлине, на- пример, существует объедине- ние лиц, содержащих ядовитых животных, в распоряжении кото- рого всегда наготове сыворотки против различных ядов, а теле- фон этого объединения известен всем приверженцам опасного хобби.

Aquaria. 1986. Vol. 33. № 10. P. 154— 157 (Швейцария)

Биология

Запись голосов поляр- ных гагар

Все более популярным способом изучения жизни по-

лярных гагар становится запись их голосов. По мнению Дж. Фа- ра (G. Fair; Комитет по защи- те полярных гагар в штате Нью-Гэмпшир, США), такой традиционный метод слежения за перелетными птицами, как коль- цевание, для полярных гагар неприемлем: их очень трудно ловить и к тому же при поим- ке легко нанести повреждения. Используя обычные кассетные магнитофоны с параболически- ми микрофонами, позволяющи- ми усиливать звук, члены Ко- митета и их добровольные по- мощники уже записали голоса 25 особей.

Этот метод используют и другие группы исследователей, занимающиеся изучением по- лярных гагар в США. Орнитоло- ги надеются, что запись голо- сов поможет определить, воз- вращаются ли гагары каждый год в одни и те же места, как долго они там живут, в те- чение какого времени пара оста- ется репродуктивной, другие особенности их биологии.

National Wildlife. 1986. August-Sep- tember. P. 28. (США).



Экология

Восстановление пу- стынных пастбищ

Уже в начале века было известно, что чрезмерный вы- пас приводит к деградации паст- бищных экосистем. Но и полное отсутствие выпаса ведет к изме- нению водно-физических свойств почвы и обеднению флоры. Так, в пустынях Средней Азии и Казахстана отсутствие вы- паса вызвало сильное уплотне- ние песков, обогащение верхних горизонтов почвы солями и ча- стицами пыли. На такой корке хорошо растет пустынный мох (Tortula desertorum), который оказывает отрицательное воз- действие на пастбищные экоси- стемы, резко снижая их продук- тивность. Например, до органи- зации Репетекского заповедника в Восточных Караумах мох на этой территории почти не встре- чался, а за последние 40 лет он занял 1/4 его площади.

П. Д. Гунин и В. П. Дедков на протяжении 11 лет изучали на Репетекской песчано-пустынной станции процесс зарастания почвы мхом и реакцию ранее преобладавших видов на изменение экологических условий. Они установили, что на пылевой корке, образовавшейся в отсутствие выпаса, развиваются водоросли, благоприятствующие росту мха. Мохово-корковый горизонт выполняет роль тепло- и влагоизолятора, одновременно снижая кислотность почвы. В итоге исчезают основные кормовые растения пустыни, в частности илак (*Carex physodes*) и белый саксаул (*Haloxylon persicum*).

Однако нашлось растение, способное противостоять отрицательному воздействию мха. Это мятлик луковичный (*Poa bulbosa*); он ценен в кормовом отношении, устойчив к низким и высоким температурам, быстро размножается семенами, выводковыми и дерновинными луковичками. Экспериментаторы искусственно внедряли мятлик в моховые ценозы на опытных участках. Уже через 3—4 года после появления первых клонов мятлика его площадь за счет самосева увеличилась в 10 раз. Моховая дернина начала разрушаться, а продуктивность травяного яруса возросла. Спустя 10 лет опытные участки заросли мятликом на 30—60%.

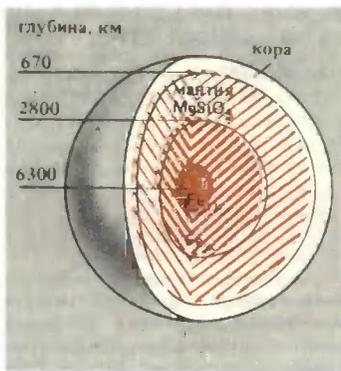
Предложенный способ восстановления пустынных пастбищ позволяет без больших материальных затрат и существенного изменения песчано-пустынных ландшафтов повысить продуктивность пастбищ.

Доклады АН СССР. 1986. Т. 286. № 1. С. 242—246.

Геофизика

Температура в центре Земли

В ядре Земли, занимающем ее центральную область с радиусом 3470 км, можно выделить внутреннюю (радиус ~1250 км) и внешнюю зоны. Сравнительно тонкая переход-



Строение Земли и состав ее внутренних зон.

ная зона между ними имеет толщину около 40 км. Сейсмические наблюдения не обнаруживают поперечных волн, прошедших через внешнее ядро. На этом основании оно считается жидким. Существование магнитного поля Земли и ряд других геофизических факторов также указывают на жидкое состояние внешнего ядра. Внутреннее ядро считается твердым. Этими данными, в сущности, и ограничиваются наши знания о центральной области Земли.

Распределение температуры внутри ядра и его состав до сих пор остаются предметом многочисленных дискуссий. В XIX в. после открытия железных метеоритов было высказано предположение о железном (или, точнее, железоникелевом) составе ядра. В настоящее время большинство геофизиков и геохимиков полагают, что внешнее ядро состоит из расплавленного железа с примесью некоторых легких элементов (S, Si, O), понижающих его плотность и температуру плавления. Внутреннее ядро можно считать состоящим практически из чистого железа. Об изменении температуры в ядре неизвестно; существующие оценки колеблются от 2500 К на границе ядро — мантия до 10 000 К в центре Земли. Поиск зависимости температуры плавления железа $T_{пл}$ (Fe) от давления уже давно вызывает повышенный интерес у экспериментаторов и теоретиков, поскольку кривая плавления железа опре-

деляет верхний предел изменения температуры в ядре.

Американские исследователи К. Уильямс, Р. Джинлоз (C. Williams, R. Jeanloz, Калифорнийский университет), Дж. Басс (J. Bass; Университет штата Иллинойс), Б. Свенсен и Т. Аренс (B. Svendsen, T. J. Ahrens; Калифорнийский технологический институт) провели эксперименты двух типов (статические и динамические — с применением ударных волн) по определению $T_{пл}$ (Fe) при давлениях вплоть до 2,5 Мбар (~2,5 млн атм.). По их данным, $T_{пл}$ (Fe) при давлениях, соответствующих границе между ядром и мантией (1,36 Мбар), равна (4800 ± 200) К. Учитывая поправку, связанную с присутствием в ядре легких элементов и понижающую $T_{пл}$ чистого железа, можно оценить температуру на границе ядро — мантия в 3 800 К.

Экстраполяция экспериментальных данных до давления на границе между внешним и внутренним ядром (3,3 Мбар) приводит к $T_{пл}$ (Fe) = (7600 ± 500) К. С учетом поправки реальную температуру здесь можно оценить в (6600 ± 1000) К. Вследствие изотермичности внутреннего ядра эта величина не зависит от давления. Тогда и температура в центре Земли (давление 3,6 Мбар) оказывается равной (6600 ± 1000) К.

Science. 1987. Vol. 236. P. 181 (США).

Геология

Глобальный геотраверс

В рамках международной программы «Литосфера» разрабатывается новое крупное научное мероприятие — проект «Глобальный геотраверс» («Global Transects Project»). Его цель — изучение континентальной коры, а где возможно — и нижней литосферы, с тем чтобы построить более полную картину геологической эволюции земного шара. Для этого привлекаются все доступные геологические, геофизические и геохимические данные. На всех конти-

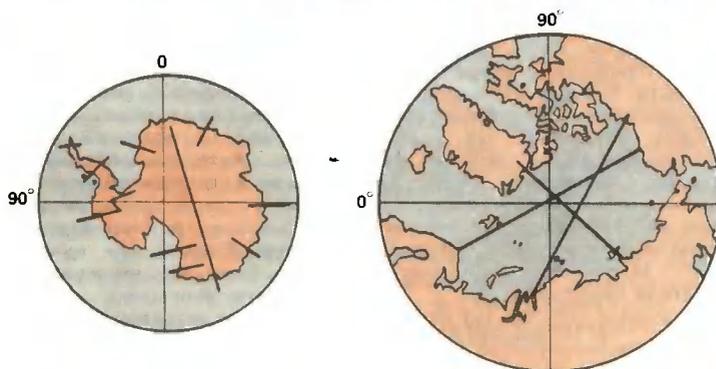


Схема разрезов земной коры, которые были предложены национальными организациями, участвующими в проекте «Глобальный геотранверс».

нентах, включая Антарктиду, а также в Северном Ледовитом, Индийском и отдельных районах Тихого океана предусматривается проложить разрезы вдоль полос шириной около 100 км и протяженностью несколько тысяч километров. Эти полосы должны пересечь все главные характерные районы земной коры. Важное значение придается однородности получаемых данных, допускающей прямое их сопоставление и анализ.

В проекте используются материалы уже проведенных, главным образом в геолого-

разведочных целях, исследований, в том числе получаемые при бурении, проходке туннелей, геофизических работах и т. п. В качестве образца уже осуществленных в рамках национальных проектов называются разрезы на глубину до 10 км, выполненные в Швейцарских Альпах, в Кордильерах на территории Канады и США и позволяющие судить о ходе эволюции ключевых для геодинамики регионов.

Проект предусматривает осуществление 26 разрезов; результаты 12 из них уже

опубликованы. В окончательном виде они должны содержать: геологические карты масштаба 1:500 000 или 1:1 000 000, охватывающие полосы в 100 км и показывающие залегание пород; геологические разрезы с указанием возраста пород, гравиметрическими и магнитными профилями, результатами сейсмического зондирования, кривыми изменения скорости прохождения волн, данными о тепловом потоке, гипоцентрах и эпицентрах землетрясений, выборочными данными по изотопной геохимии и т. д.; схемы, показывающие стратиграфические, структурные, интрузивные и метаморфические отношения пород; собственно разрезы с описанием и интерпретацией всех данных о происхождении и расположении компонентов коры в конкретном регионе.

Работы по проекту уже идут в Австралии, где получены

крупные профили орогенных поясов; в Западной Европе, где разрез протягивается на 4 тыс. км от докембрийского щита Фенноскандии до Альпийско-Средиземноморского региона. Участвует в проекте и Советский Союз, на территории которого весьма протяженные геотраверсы пересекают юг и восток Европейской части, Урал, Кавказ, Западную и Восточную Сибирь, многие области Средней Азии, Забайкалья, Дальнего Востока, Камчатки, Чукотки. Данные этих геотраверсов будут сопоставляться с информацией, извлекаемой при бурении сверхглубоких скважин.

Координатором проекта назначен Дж. Монгер (J. W. H. Monger; Управление геологической службы Канады в Ванкувере).

Episodes. 1986. Vol. 9. № 4. P. 217—222 (Канада).

Геология

Гигантский кратер в Китае

Группа китайских геологов во главе с преподавателем Геологического института в Пекине У Сыбэнем (Wu Siben) обнаружила в пограничной области между провинцией Хэбэй и автономным районом Внутренняя Монголия (КНР) гигантский кратер. По наименованию ближайшего к нему города Долунь кратер назван Долуньским.

Диаметр кратера около 70 км, что ставит его в один ряд с известными науке крупнейшими на Земле структурами подобного рода. Как и примерно равный ему кратер Маникуган в провинции Квебек (Канада), он имеет метеоритное происхождение. Возраст Долуньского кратера около 136 млн лет; иначе говоря, время столкновения небесного тела, образовавшего на поверхности Земли эту огромную депрессию, относится к концу юрского — началу мелового периодов. Как известно, ряд специалистов считают, что именно такие катастрофы астрономического происхождения приводили в истории Земли к



Местонахождение Долуньского кратера.

глобальным изменениям в ее биосфере¹. Дальнейшие геохимические исследования должны показать, характерны ли для пород Долуньского кратера и окружающей его местности повышенные концентрации иридия и других металлов платиновой группы — редкие в земных условиях, они могут привноситься метеоритами. (Впрочем, в области кратера Маникуган их концентрации не превышают норму; возможно, что в данном случае образовавшееся при падении метеорита облако с повышенным содержанием редких металлов было быстро унесено ветром от места события.)

Изучение Долуньского кратера продолжается.

New Scientist. 1987. Vol. 113. № 1543. P. 19 (Великобритания).

Геохимия

Мантийный источник иридиевой аномалии!

На границе мелового и палеогенового периодов вымерли, как известно, многие группы морских и наземных организ-

мов, процветавших в мезозойскую эру. В слоях, соответствующих этому переломному моменту в истории биосферы, обнаружено повышенное содержание иридия, что рассматривается как свидетельство падения крупного космического тела, вызвавшего вымирание¹. Однако при обсуждении этой гипотезы обычно не учитывается тот факт, что земная кора обеднена элементами платиновой группы (в том числе, иридием) по сравнению не только с космическим материалом, но и с земной мантией.

Породы мантийного происхождения содержат платиноиды (образующие промышленные месторождения) преимущественно в оливине и хромшпинелидах. При серпентинизации (замещении безводных железомagneзиальных силикатов — оливина, пироксена — водным силикатом магнезия — серпентином) эти минералы приобретают способность мигрировать в водном потоке. В иридиевом слое Караваки (Испания) недавно обнаружены минералы группы шпинели². Примечательно, что иридий чаще встречается в дунит-гарцбургитах, легче подающихся серпентинизации, чем дунит-клинопироксениты и другие породы из платиной. Этим можно объяснить обогащение осадочных отложений именно иридием, тогда как в хондритовых метеоритах платины почти в 4 раза больше, чем иридия, и они дали бы в основном платиновую аномалию.

Таким образом, мантийный источник более вероятен, чем космический. Следует также отметить, что неполнота геологических разрезов на рубеже мела и палеогена делает обнаружение событий продолжительностью менее 10 лет крайне маловероятной. Поэтому чем больше выявляется разрезов с

¹ См. также: Еще одно редкое событие в истории Земли! // Природа. 1987. № 7. С. 115; Редкие события в геологии // Там же. 1986. № 1. С. 53—66.

¹ См., напр.: Чуханов В. А. Следы космической катастрофы? // Природа. 1982. № 3. С. 31; Бадюков Д. Д. Подтверждение гипотезы космической катастрофы // Природа. 1986. № 1. С. 114—115.
² Bohor B. et al. // Earth Planetary Sci. Lett. 1986. Vol. 81. № 1. P. 57—66.

иридиевой аномалией, тем менее правдоподобна ее связь с единичным ударным событием. Кроме того, вымирание, хотя и быстротечное в масштабах геологического времени, не было мгновенным. Остатки динозавров недавно обнаружены выше слоев, обогащенных иридием³. На Малой Курильской гряде в пограничных слоях мела и палеогена одним из авторов найдена ископаемая флора переходного характера, заселившая вновь возникшие вулканические острова в течение нескольких десятков тысяч лет. Малая Курильская гряда — небольшой сегмент обширной островной дуги, в которой на рубеже мела и палеогена произошло поднятие к поверхности Земли больших масс вещества мантии. К этому же времени относится исключительно мощная вспышка магматизма. Все эти явления, вероятно, связаны с рассогласованием скорости вращения литосферы и мантии, вызвавшим кризисные ситуации в земной коре и биосфере. Вещество мантии, поднимаясь по разломам литосферы, перенесло момент количества движения от нижних оболочек к верхним, восстанавливая равновесие. Активное поступление мантийного материала в различных его формах могло стать причиной глобальных геохимических аномалий.

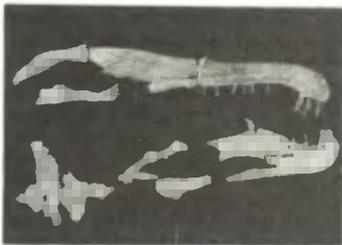
В. А. Красилов,
доктор геолого-минералогических наук

А. Г. Грановский,
кандидат геолого-минералогических наук
Владивосток

Палеонтология

Динозавр-рыбод

Английский палеонтолог-любитель У. Уокер (W. Walker) обнаружил в 1983 г. в глиняном



Кости черепа бароники и его когти.

карьере возле кирпичного завода в Доркинге (графство Суррей) остатки неизвестного науке животного. Последующие раскопки, проведенные под руководством сотрудников Музея естественной истории в Лондоне А. Чарига и А. Милнера (A. Charig, A. Milner), позволили частично реконструировать его скелет. Выяснилось, что это динозавр, принадлежащий к хищникам отряда зауришиевых. Обитал он около 124 млн лет назад.

Динозавра назвали *Baronyx walkeri*, что означает «массивно-когтистый Уокера»: главное, что бросилось в глаза еще его первооткрывателю, — очень большие размеры когтей (на передних лапах длина внешней кривой когтя достигает 31 см). Животное относится к группе тероподов, однако существенно отличается от более или менее близких ему аллозавров и других родственных видов не только размерами когтей, но и строением костей черепа. Эти различия настолько разительны, что пришлось ввести новое семейство барионихидов (*Baronychiidae*). Наиболее характерная их особенность — чрезвычайно вытянутые челюстные кости. Череп достигал 1 м в длину и заканчивался рылом, слегка загнутым вниз. Нижняя челюсть — облегченная, хрупкая,

с многочисленными зубами. Если у других тероподов насчитывалось по 14—17 зубов с каждой стороны нижней челюсти, то у барионикса их вдвое больше. Однако зазубрины на зубах, столь крупные у большинства тероподов, здесь можно разглядеть лишь в микроскоп.

У самого могучего среди ископаемых хищных ящеров — тираннозавра — передние конечности были «крошечными», раз в 10 уступая по размеру задним лапам. У барионикса, напротив, передние конечности достигают 2/3 длины задних. Это позволяет предполагать, что, в отличие от других гигантских тероподов, он временами мог передвигаться на всех четырех лапах.

Мощная развитая плечевая кость, крупные когти на передних конечностях, мелкие зубы — все это привело специализацию к выходу, что перед ними рыбацкое животное. Барионикс мог охотиться на рыбу подобно медведям, выбрасывая ее на берег сильными ударами лап. Вместе с тем узкая и хрупкая морда не позволяла, вероятно, динозавру откусывать крупные куски добычи, как это обычно присуще хищникам.

New Scientist. 1986. Vol. 113. № 1536. P. 25 (Великобритания).

Палеонтология

Динозавры вымирали постепенно

Группа палеонтологов во главе с Р. Слоаном (R. E. Sloan; Университет штата Миннесота, США) исследовала ископаемые остатки животных, обнаруженные на северо-западе США, в штатах Монтана и Вайоминг, и на юго-западе Канады, в провинции Альберта. Этот регион — один из немногих на суше, где осадочные породы четко охватывают интервал времени между концом мела и началом палеогена. В этих породах найдены семь зубов, принадлежавших различным видам ископаемых ящеров, в том числе динозавру, обитавшему, по мнению

³ Sloan R. E. et. al. // Science, 1986. Vol. 232. № 4750. P. 59—63; см. также в этом номере: Динозавры вымирали постепенно. С.

⁴ Красилов В. А. и др. // ДАН СССР. 1986. Т. 291. № 1. С. 177—180.

группы Слоана, спустя 40 тыс. лет после того, как, согласно широко распространенной гипотезе, произошло столкновение Земли с астероидом, якобы приведшее к массовому и быстрому вымиранию видов.¹

В связи с этой находкой Слоан и его коллеги утверждают, что исчезновение динозавров и других животных мелового периода было весьма растянутым во времени и вызывалось отнюдь не одним каким-либо явлением. Важно, что во всех случаях зубы найдены в речных отложениях мощностью до 1,3 м, залегавших непосредственно на слое каменного угля, относящемся к концу мелового периода. Существенно, что зубы динозавров имеют заостренные поверхности, т. е. не окатаны, а значит, не были вымыты из меловых отложений; они несут лишь следы естественной изношенности.

В тех же отложениях обнаружены ископаемые остатки древних млекопитающих и пыльца растений, датируемые эпохой раннего палеоцена.

Утверждение группы Слоана, что динозавры встречались на Земле еще в течение миллиона лет после предполагаемо-

го столкновения ее с астероидом, вызвало оживленную дискуссию среди палеонтологов.

Science. 1986. Vol. 232. № 4750. P. 59—63 (США).

Геология. Охрана природы

Почему деформируются архитектурные памятники

Губительным образом на сохранность архитектурных памятников влияет изменение геологической среды. Уже в течение нескольких лет идет, например, эрозийный размыв моренных суглинков, слагающих правый берег р. Сухоны в Великом Устюге. Подмываемый берег на 7—8 м приблизился к Дмитровской церкви (XVIII в.) — над памятником нависла угроза разрушения. На озерных отложениях построен Успенский собор в Рязани (1702 г.). В результате неравномерной осадки в нем стали появляться трещины; даже вновь подведенный фундамент не смог приостановить этот процесс. Заметно деформируются сооружения одного из ценнейших памятников русского зодчества — Кирилло-Белозерского монастыря; он тоже стоит на озерных отложениях, глинистые грунты которых сильно изменились со времени его постройки.

С инженерно-геологической точки зрения памятники архитектуры в Европейской части нашей страны хорошо сохраняются на песчаных грунтах высоких террас, где уровни грунтовых вод колеблются незначительно. Это, например, церковь Троицы (XVI в.) в с. Хорошево, церкви XVII в. в селах Троице-Лыково и Уборов, церковь Покрова (XVII в.) в Филях, Ново-спасский, Донской, Новодевичий монастыри в Москве. Естественная структура песчаных грунтов обеспечивает длительную устойчивость этим постройкам, если, конечно, не нарушаются геологические условия, а это все чаще происходит в связи с хозяйственной деятельностью. Например, Воскресенский монастырь в Уг-

личе оказался в сфере влияния инфильтрации воды из Углинского водохранилища; уникальный Ипатьевский монастырь в Костроме попал в зону подтопления водохранилища Горьковской ГЭС; после подъема воды в водохранилище Чебоксарской ГЭС подтопление сказывается на Макарьевском монастыре и т. д.

В последнее время в практике реставрации памятников архитектуры преобладает комплексный подход; оценивается не только их архитектурно-градостроительное и историческое значение, но и состояние их во взаимосвязи с окружающей средой. Объект реставрации считается элементом сложной природно-технической системы «памятник — среда». Поэтому, прежде чем начинать широкое строительство в городах-памятниках (Ростов, Новгород, Переславль-Залесский и др.), совершенно необходимо детально проанализировать возможные изменения инженерно-геологических условий; эти изменения не всегда сразу сказываются на сохранности сооружений, они могут незаметно накапливаться в геологической среде, а потом неожиданно и резко изменить облик построек.

По мнению Е. М. Пашкина и В. О. Подборской (Московский геолого-разведочный институт), для сохранения ценных памятников архитектуры необходимо создавать под ними и вокруг них глубинные охранные зоны. В пределах этих зон нужно стабилизировать уровни и состав грунтовых вод, исключить нагрузку на грунты от новых сооружений, а также вибрацию от работы механизмов. Только так можно гарантировать долговременное равновесие природно-технической системы «памятник — среда».

Инженерная геология. 1987. № 1. С. 106—112.

¹ Многие советские палеонтологи не разделяют мнения о массовом и быстром вымирании организмов в связи с падением астероида. Сотрудниками Палеонтологического института АН СССР был проведен детальный анализ смены фауны на границе мезозоя и кайнозоя. Результаты этих фундаментальных исследований свидетельствуют, что вымирание представителей органического мира происходило постепенно и для разных групп разновременно, а динозавры начали вымирать еще до появления в разрезе иридиевого прослоя. По мнению директора Палеонтологического института Л. П. Татарникова, «ни в одном случае гипотеза о глобальной катастрофе как основной причине смены биоты в истории Земли не получила подтверждения на достаточно достоверном материале» (цит. по: Лапо А. В. Следы былых биосфер или Рассказ о том, как устроена биосфера и что осталось от биосфер геологического прошлого. М.: Знание, 1987. С. 19). — Прим. ред.

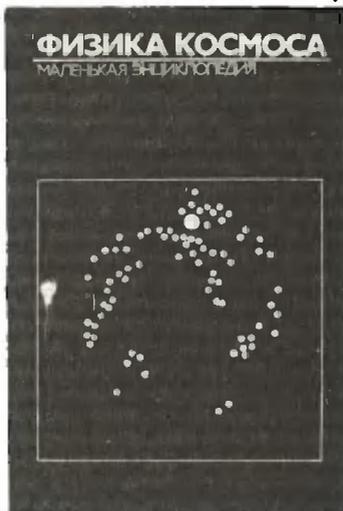
ЛИСТАЯ «ФИЗИКУ КОСМОСА»

И. А. Климишин,
доктор физико-математических наук
Ивано-Франковск

В 1986 г. вышло в свет второе издание малой энциклопедии «Физика космоса», содержащей почти 350 статей, написанных нашими ведущими астрономами и астрофизиками. Книга делится на две неравные части. В первую, занимающую около 100 страниц, включены обзорные статьи, которые дают читателям представление об основных задачах и направлениях работ в современной астрофизике. Вторая часть (более 650 страниц) — это развернутое определение терминов, перечисленных по алфавиту.

В энциклопедии мы находим описание различных объектов Вселенной — от планет Солнечной системы и их спутников, Солнца и других звезд нашей галактики до далеких квазаров и квазаров. Она раскрывает перед нами физику процессов, во всей их сложности, происходящих сейчас и происходивших миллиарды лет назад как вблизи нашей Земли, так и в самых отдаленных уголках Вселенной.

Выделить и изложить содержание какого-то числа статей «Физики космоса» трудно да, очевидно, в этом и нет необходимости. Тем более, что журнал «Природа», со своей стороны, регулярно публикует статьи о важнейших проблемах совре-



ФИЗИКА КОСМОСА. Маленькая энциклопедия / Гл. ред. Р. А. Сюняев. Ред. колл.: Ю. Н. Дрожжин-Лабинский, Я. Б. Зельдович, В. Г. Курт, Р. З. Сагдеев. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Советская энциклопедия, 1986. 783 с.

менной астрономии. Кстати, их перепечатка отдельными сборниками (см., например, «Прошлое и будущее Вселенной», М.: Наука, 1986; «Семь путешествий в микромир», М.: Наука, 1986) — это важный вклад в популяризацию современных достижений науки.

Среди статей «Физики космоса» особо привлекают внимание те, в которых описывается сценарий развития нашей

Вселенной, как его сегодня преподносит нам релятивистская космология в тесном содружестве с физикой элементарных частиц.

Нельзя не отметить при этом, что из алфавитного словаря терминов изгнано понятие сингулярности (в космологии — бесконечной плотности «в начале расширения» Вселенной), еще так недавно создававшее немало трудностей для космологов и физиков. Оно осталось в книге лишь в качестве свойства решения уравнений Эйнштейна при «выполнении некоторых дополнительных предположений о свойствах материи» (с. 99). Сейчас, как известно, вместо фазы «выхода из сингулярности» космология, совместно с физикой элементарных частиц и квантовой теорией поля, предлагает модель инфляционной Вселенной (с. 412).

Правда, вряд ли от этого ситуация становится более простой: нет сингулярности, но существует «достаточно большое» отрицательное давление, при котором, «согласно общей теории относительности, гравитационная сила имеет знак, противоположный обычному. В этом случае гравитация вызывает взаимное отталкивание частиц» (с. 414), «родившихся» из виртуального состояния.

Инфляционная модель открывает почти необъятное пространство для обсуждения наиболее сложных космологических проблем. Так, мы узнаем, что «весь охваченный наблюдениями объем Вселенной оказывается результатом расширения единственной причинно-связанной области доинфляционной эпохи» (с. 414) и тем самым как бы заглядываем, хотя и краешком глаза, «по ту сторону» нашего пространства-времени и начинаем догадываться, что в мире возможно существование бесчисленного множества вселенных, в которых реализуются самые разнообразные соотно-

шения между фундаментальными физическими параметрами. А в одной из них — нашей Вселенной — эти соотношения таковы, что становятся возможными ядерные процессы, приводящие к синтезу химических элементов (этих процессов насчитывается более десяти, с. 751), и, как следствие, существование по меньшей мере одной планеты, заселенной разумными существами.

Не претендуя даже на перечисление основных кардинальных проблем современной науки, получивших отражение в книге, ограничимся замечанием, что в «Физике космоса» читатель находит обстоятельно написанные статьи и о далеких квазарах, о спокойных и активных галактиках, о звездах и об «итогах» их эволюции в зависимости от начальной массы звезд — белых карликах, нейтронных звездах, наблюдающихся в виде пульсаров, о черных дырах, о вспышках сверхновых звезд и об отдельных экзотических объектах, например типа SS 433.

Учитывая высокий уровень статей «Физики космоса» в целом, как-то даже неловко предьявлять к этой книге какие бы то ни было претензии. И все же несколько замечаний, видимо, уместно сделать. Прежде всего, в некоторых местах авторы не всегда использовали «самую что ни есть последнюю» информацию. Так, столь важные данные о регистрации идущих от Солнца нейтрино (с. 422) приведены на 1981 г., когда теория «требовала», чтобы число поглощенных нейтрино было в 4,2 раза больше, чем давал эксперимент. Между тем к моменту сдачи рукописи в набор это расхождение уже было уменьшено до 2,6 раза.

Не везде указаны данные о количестве тех или других конкретных объектов, скажем белых карликов (с. 141), цефеид (с. 710), лирид (с. 477) и др.

А ведь такие статистические данные иногда бывают весьма полезны читателю, например преподавателям — для конкретного сопоставления на уроке или лекции.

В целом «Физика космоса» безусловно достигает своей цели — «ознакомить широкий круг читателей, не имеющих специальной подготовки, с современным уровнем научных знаний о космосе» (с. 5). Более того, издатели напрасно извиняются за то, что она «не может служить справочником для специалистов в области астрономии и астрофизики» (с. 5). Благодаря высокому качеству статей книга успешно выполняет и эту функцию. Вне всякого сомнения, и любители астрономии и специалисты по отдельным отраслям науки о небе в равной мере глубоко удручены, если они не успели приобрести ее.

Отдав должное авторам «Физики космоса» и издательству «Советская энциклопедия», подарившему читателю эту очередную жемчужину из серии «Маленькие энциклопедии», посмотрим хотя бы вскользь, каковы возможности вообще у читателя утолить свой информационный голод, в частности по той же астрономии. Ведь общеизвестно, что в наш век стремительного прогресса объем научной продукции удваивается примерно в каждые десять лет, а число научных журналов и периодических изданий в мире вскоре достигнет миллиона...

Выход из этой удручающей ситуации был найден. С 1953 г. в нашей стране ежемесячно издаются «Реферативные журналы» (РЖ); в том числе «РЖ Астрономия». Их издатель — Всесоюзный институт научной и технической информации (ВИНИТИ). В РЖ и публикуется короткое содержание недавно появившихся статей, однако без их критического переосмысления и анализа. К сча-

стью, тот же ВИНИТИ публикует еще «Итоги науки и техники», включающие с 1965 г. серию «Астрономия». В последние годы этот (подготавливаемый, скажем прямо, со всей ответственностью) сборник обзоров по отдельным темам науки о небе параллельно издается на английском языке в серии «Астрофизика и космическая физика» так называемых «Советских научных обзоров». Но если на РЖ можно подписаться в любом почтовом отделении и «РЖ Астрономия» выходит сейчас тиражом около 1000 экз., то астрономическая серия «Итоги науки» высылается исключительно по заказу, сделанному непосредственно ВИНИТИ. К сожалению оказывается, что об этих ценнейших изданиях широкая общественность практически ничего не знает.

Не менее полезны ежегодники «Будущее науки», «Наука и человечество», а также брошюры серии «Новое в жизни, науке и технике» издательства «Знание». Здесь уместно упомянуть серию «Биографических справочников» («Астрономы», «Физики», «Математики. Механики», «Биологи», «Химики», «Геологи. Географы») издательства «Наукова думка» (Киев), в которых мы находим конкретные сведения о людях, чьи работы оказали (и оказывают) существенное влияние на развитие той или иной отрасли науки.

Но едва ли не самым важным каналом информации «почти обо всем» и, как правило, «из первых рук» являются энциклопедические словари (физический, химический, биологический и др.). В перспективе следует иметь в виду их регулярную переработку и переиздание. Именно так произошло с «Физикой космоса». По сравнению с первым изданием объем книги вырос на одну треть, большое число статей написано заново. На титульном листе

стоят новые имена. Это естественно, ведь между первым и вторым изданием лежат десять лет. И здесь уместно вспомнить тех, кто выносил замысел и продумал структуру этой энцикло-

педии — С. Б. Пикельнера (1921—1975) и Д. А. Франк-Каменецкого (1910—1970), а также активных авторов книги — С. А. Каплана (1921—1978) и Э. А. Дибя (1931—1983). Книга

и теперь, как было изначально задумано, несет читателю точную информацию о различных аспектах науки, развитию которой они посвятили свою жизнь.

НОВЫЕ КНИГИ

Космические исследования

Л. Лайонс, Д. Уильямс. ФИЗИКА МАГНИТОСФЕРЫ. Количественный подход / Пер. с англ. В. Д. Новикова. Под ред. Ю. И. Гальперина. М.: Мир, 1987. 312 с. Ц. 3 р. 20 к.

В 1957 г., когда были открыты радиационные пояса Земли, возникла новая область науки, получившая название физики магнитосферы. За открытием последовал этап интенсивных исследований, в результате которых стало возможно количественное описание динамики «замагниченной» (находящейся в сильном магнитном поле) плазмы в природных условиях — вблизи Солнца, планет, пульсаров и в некоторых радиогалактиках. Подобные плазменные образования широко распространены во Вселенной и в разной степени изучены.

Сравнительно небольшая по объему книга Л. Лайонса и Д. Уильямса вместила в себя итоги исследований горячей плазмы в магнитосфере Земли за последние 25 лет. В ней показано, как сочетание теории и экспериментальных данных становится отправной точкой для количественных исследований магнитосферы. Авторы книги — сами активные участники этих исследований; им принадлежит

ряд важных научных результатов во многих направлениях, связанных с частицами высоких энергий, полями и волнами в околоземной плазме. Книга дает солидную основу для изучения физики магнитосферы и полярных сияний и в то же время ее можно рассматривать как справочное пособие с обширной сводкой важнейших формул и основных физических представлений о сложных и многообразных процессах взаимодействия частиц высоких энергий, волн и равновесной плазмы, формирования полярных сияний, поясов радиации и низкочастотных излучений в околоземном пространстве.

Планетология

Уильям В. Хаббард. ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ПЛАНЕТ Пер. с англ. С. В. Воронцова под ред. В. Н. Жаркова. М.: Мир, 1987. 328 с. Ц. 3 р. 50 к.

Новые возможности изучения ближнего космоса, открывшиеся благодаря полетам космических аппаратов, привели к значительному углублению представлений о строении планет Солнечной системы и их спутников. Сравнительная планетология — молодая наука,

многие важные результаты в ней получены совсем недавно, и поэтому не ослабевает потребность в книгах, которые бы систематически излагали все, что известно в данный момент о планетных недрах. Хорошим пополнением уже имеющейся литературы по этим вопросам стала книга известного американского планетолога У. Хаббарда, переведенная на русский язык.

Монография рассчитана на читателя, только приступившего к изучению физики планет, но знакомого с науками, на которые она опирается — астрономией, физикой, химией, геологией и др. В книге кратко охарактеризованы современное состояние и перспективы теории строения планет, изложены современные представления о предполагаемом первичном составе Солнечной системы и его значении для сравнительной планетологии. Автор рассматривает основные термодинамические соотношения, определяющие математические модели внутреннего строения планет, описывает методы диагностики планетных недр — изучения теплового потока, гравитационных и магнитных полей, а затем рассказывает о внутреннем строении Земли. В последней главе книги, занимающей почти половину ее объема, собраны

сведения о недрах восьми остальных планет Солнечной системы и их многочисленных спутников. Читателя, по-видимому, может особенно привлечь изложение физики планет-гигантов, поскольку У. Хаббард — ведущий специалист в этой области.

Книга написана простым и понятным языком. Автору удалось отразить различные точки зрения на те проблемы, которые пока далеки от решения, и в его монографии чувствуется живое дыхание развивающейся науки.

Геофизика

Г. С. Франтов, Ю. С. Глебовский. **ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ГЕОФИЗИКА.** М.: Недра, 1987. 128 с. Ц. 35 к.

В двадцати небольших главах авторы рассказывают о сегодняшней геофизике и ее завтрашних заботах, о будоражащих воображение идеях и новых открытиях, о романтике и будничном труде геофизиков. Читатель познакомится с различными способами обнаружения и оценки полезных ископаемых (магнито-, электро- и сейсморазведкой), узнает, что такое гравиметрическая съемка территории, какие задачи решает ядерная геофизика, что дает науке и практике сверхглубокое бурение.

Область применения геофизики отнюдь не ограничивается поисками полезных ископаемых. Она проникла и в археологию — в книге можно найти интересные сведения о раскопках крымского Херсонеса, древнеримского поселения на Северном Кавказе и других археологических памятников, когда применялись геофизические методы; геофизика помогает в обнаружении подземных вод и строительстве — в книге содержится, например, подробное описание радиозлектромагнитного профилирования, которое применяют в гидрогеологии.

В последних главах книги речь идет о различных специальностях, связанных с гео-

физикой, о своеобразии жизни «бродячего племени» — геологов, топографов и, конечно, геофизиков. Свою книгу авторы адресуют в первую очередь молодежи.

Биология

С. К. Самсонов. **НЕВИДИМЫЕ ЗЕМЛЕДЕЛЬЦЫ.** М.: Мысль, 1987. 172 с. Ц. 45 к.

В почвенном слое, где развиваются корни растений, существует весьма разнообразный животный мир. Но господствуют здесь микроорганизмы, и самые полезные из них — те, что аккумулируют атмосферный азот и превращают его в белковые соединения, доступные для усвоения корневой системой. Естественная растительность способна обеспечить себя минеральным питанием именно благодаря неустанной деятельности этих невидимых земледельцев. В книге рассказывается о закономерностях географического распространения микроорганизмов, фиксирующих азот, об их свойствах, характерных для каждой природной зоны.

Издавна известны людям микробные формы, живущие в симбиозе с представителями семейства бобовых — горохом, фасолью, бобами, люцерной. Образую клубеньки на их корнях, они обогащают почву белками. Это, так сказать, классический симбиоз. Но бывает симбиоз и без клубеньков. Читатель познакомится с водным папоротником азоллой — тропическим и субтропическим растением, которое содержит активную, усваивающую азот микрофлору на своих листьях. На рисовых полях Вьетнама, Китая, Лаоса азолла способствует урожайности посевов.

Автор рассказывает еще об одном биологическом методе повышения плодородия почвы — рекультивации нарушенных почв при помощи специальных штаммов бактерий. Описываются эксперименты, подтвер-

ждающие, что полезную деятельность мириад невидимых земледельцев можно усилить и при этом сократить расход минеральных удобрений.

Биология. Демография

АБХАЗСКОЕ ДОЛГОЖИТЕЛЬСТВО / Отв. ред. В. И. Козлов. М.: Наука, 1987. 294 с. Ц. 1 р. 60 к.

В изучении феномена абхазского долгожительства участвовали сотрудники целого ряда отечественных институтов при общем руководстве Института этнографии АН СССР. В отличие от прежних работ подобного рода, исследования охватывали не отдельных долгожителей, а целые популяции абхазов, носили комплексный характер.

Изучались природно-экологические, демографические, жилищно-бытовые условия, велись общемедицинские, генетические и цитологические исследования, выяснялись антропологические характеристики, вплоть до характеристики зубной системы, традиционная система питания, особенности характера долгожителей, их семейное и общественное положение, а также другие медико-биологические и социально-этнографические аспекты.

Такая многоплановость обследования позволила авторам проанализировать феномен долгожительства с самых различных сторон, что может послужить еще одним шагом к пониманию этого явления.

Содержащиеся в монографии данные представляют интерес не только для специалистов-геронтологов, но и для широкого круга читателей.

География

С. Л. Вендров. **ЖИЗНЬ НАШИХ РЕК.** Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 112 с. Ц. 30 к.

Доктор географических наук С. Л. Вендров, один из ведущих специалистов в вопросах

комплексного использования и охраны поверхностных и подземных вод, делится многолетними раздумьями о судьбах наших рек. Написана книга в форме очерков, живых и не бесстрастных: автор выносит на обсуждение трудные вопросы водообеспечения страны. Он показывает, как реки в современную эпоху все больше переходят из чисто природной категории в категорию природно-техническую, становятся своего рода сырьем, влияющим на территориальное размещение промышленного и сельскохозяйственного производства, на экономическое и социальное развитие районов.

Разговор об убывающих ресурсах воды и ее качестве идет сейчас во всем мире. Но когда говорят, что мелеют большие реки, далеко не все понимают, что корень зла подчас лежит на берегах маленьких, даже безымянных рек и ручейков. Автор предлагает ряд мероприятий, которые, с его точки зрения, могут оказаться весьма эффективными в охране и рациональном использовании водных ресурсов.

География

Г. А. Елина. МНОГОЛИКИЕ БОЛОТА / Отв. ред. В. Д. Лопатин. Л.: Наука, 1987. 191 с. Ц. 70 к.

Известная как специалист-болотовед и палинолог не только в нашей стране, но и за рубежом, Г. А. Елина больше 30 лет отдала изучению своеобразного мира карельских болот, занимающих около 30 % территории республики и играющих немалую роль в ее экономике. В легкой и доступной форме автор описывает сложные болотные экосистемы. Болота — это богатейшая кладовая торфа, содержащая органику, биологически активные вещества и различные химические соединения. Это огромный резервуар чистой воды и великолепнейшие естественные фильтры: впитывая, словно гигантская губка, атмосферную влагу, загрязненную

промышленными отходами, болота выпускают ее чистой.

На огромном фактическом материале автор показывает, как, листая страницы «торфяной книги», можно получить разнообразные сведения о послеледниковой истории растительности лесов и болот, реконструировать климат прошлого, узнать многое об условиях жизни древних людей. Флора болот, кроме того, — неповторимый генофонд, требующий бережного отношения, особенно сейчас, когда человек активно наступает на болота и преобразует их в новые искусственные ландшафты.

В Советском Союзе осуществляется гигантский план мелиорации земель, в том числе и осушения болот. Но, как подчеркивает автор, делать это надо разумно, не забывая, что болота — такие же ценные природные образования, как леса, реки, озера, луга. Освещая различные аспекты охраны болот, автор предлагает пути создания новых болотных заказников и заповедников.

География

П. Н. Ерофеев. РОЖДЕННЫЙ ВУЛКАНАМИ. М.: Знание, 1986. 176 с. Ц. 35 к.

«Вода стоит особняком в истории нашей планеты. Нет природного тела, которое могло бы сравниться с ней по влиянию на ход самых основных геологических процессов. Нет земного вещества — минерала, горной породы, живого тела, которое ее бы не заключало. Все земное вещество... ею проникнуто и охвачено». Этой цитатой из В. И. Вернадского определяется основная тема книги: Мировой океан, его изучение и освоение.

Первые две главы посвящены рельефу дна и вулканическим процессам, происходящим в океане. Далее говорится о ледовом материке Антарктиде и загадках Арктики. Автор предлагает читателю свою гипотезу о возникновении и исчезновении

легендарной «Земли Санникова». Заключительные главы знакомят читателя с механизмом возникновения океанических течений, гигантских волн — цунами, химическим составом воды и перспективами промышленного освоения Мирового океана.

Книга отражает современные достижения океанологии, а по форме — это насыщенные лирикой и романтизмом очерки, базирующиеся на личных наблюдениях и впечатлениях автора. Павел Николаевич Ерофеев участвовал во многих океанологических экспедициях, работавших в разных районах Мирового океана — от полярных до тропических широт, и был убежденным сторонником гипотезы, «что если не единственным, то во всяком случае главным создателем Мирового океана является вулканизм, в процессе которого возникла, всю геологическую историю накапливалась и продолжает накапливаться толща соленой океанской воды». К сожалению, автор не дождался выхода этой книги в свет.

География

Г. Нахтигаль. САХАРА И СУДАН. Результаты шестилетнего путешествия по Африке / Пер. с нем. Г. А. Матвеевой. Отв. ред. и авт. предисл. Л. Е. Куббель. М.: Наука, Гл. ред. вост. лит., 1987. 306 с. Ц. 1 р. 50 к.

Немецкий путешественник Густав Нахтигаль совершил в 70—80-х годах прошлого века несколько путешествий в район оз. Чад. Начав свой маршрут в Триполи (обычном для того времени исходном пункте экспедиций в Судан), он завершил путешествие в Эль-Обейде на берегу Нила. Первым из европейцев он обследовал обширные области к северо-востоку и востоку от Чада, ликвидировав белое пятно на карте Африки. Нахтигаль стал первым европейцем, посетившим нагорье Тибести; достигнув высоты 3000 м, он составил первую, еще схематическую карту на-

горя. С научной точки зрения особый интерес представляли его наблюдения за огромными перепадами температур в исключительно суровых природных условиях нагорья. Здесь же состоялась и первое знакомство с теда — частью народа тубу, населяющей это нагорье.

Предлагаемая книга — сокращенный перевод его путевых заметок. Наблюдения Нахтигала отличались большой точностью, и он тщательно их фиксировал. Для публикации были отобраны те разделы заметок, которые относятся к областям Центрального Судана и Сахары, наименее освещенным в отечественной литературе.

Охрана природы

Р. В. Бобров. ВСЕ О НАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРКАХ. М.: Молодая гвардия, сер. «Эврика», 1987. 222 с. Ц. 60 к.

Одно из первых документальных свидетельств о введении ограничений на пользование природой в нашей стране относится, по-видимому, к XI в., ко времени правления киевского князя Всеволода Ярославича. В ту пору под Киевом находился «зверинец» — пространство, где князя «деяли ловы» на зверей, водившихся по оврагам и чащам леса, а за «зверинцем» располагалось заповедное урочище Соколиный Рог.

Сейчас, по данным ООН, число различных по своему статусу охраняемых территорий превысило во всем мире 20 тыс. Только заповедников и национальных парков насчитывается около полутора тысяч. Первый же в мире национальный парк — Иосемитский, расположенный в одном из интересных уголков Калифорнии, — был открыт 100 с небольшим лет назад.

Из книги читатель узнает, в чем именно состоит отличие национальных парков от всех других охраняемых природных объектов, как их используют для отдыха, какие вообще про-

блемы стоят перед современным обществом по сохранению различных природных территорий.

История науки

Э. Гарен. ПРОБЛЕМЫ ИТАЛЬЯНСКОГО ВОЗРОЖДЕНИЯ / Пер. с итал. Вступ. ст. и ред. Л. М. Брагиной. М.: Прогресс, 1986. 394 с. Ц. 2 р.

Читателям этой книги предстоит познакомиться с циклом работ одного из крупнейших современных исследователей культуры Возрождения. Превосходный знаток архивохранилищ и библиотек многих стран, Э. Гарен внес крупный вклад в изучение рукописного наследия и уникальных печатных изданий Ренессанса.

Среди составивших книгу тринадцати статей — такие, как «Платонизм и достоинство человека», «Леонардо да Винчи и "идеальный город"», «"Изящные искусства": архитектура, скульптура, живопись», «Образ мышления Микеланджело», «Магия и астрология в культуре Возрождения». Ядро книги составляют работы по итальянскому гуманизму. В противовес средневековому подчинению индивида корпоративным или сословным интересам, гуманисты — в их числе Ф. Петрарка, Дж. Боккаччо, Л. Бруни, Дж. Пико della Мирандола, М. Фичино, Л. Б. Альберти и др. — утверждали возможность гармонического сочетания личного и общественного. Итальянский гуманизм, таким образом, был исторически новым мировоззрением, сознанием предназначения человека: он — «узел», средоточие мира, творец своего земного бытия.

Гарен-ученый обладает даром художественной окраски научной прозы. Ему равно доступны, например, и мастерское портретирование сложных противоречивых по взглядам великих творческих личностей, и филигранно отточенные характеристики мыслителей, ученых, художников, подчас, может быть, не сыгравших выдающейся

роли, но внесших свою лепту в развитие гуманистической культуры.

Можно не сомневаться в том, что знакомство с синтетической картиной ренессансной культуры и науки, воссозданной Э. Гареном, обогатит и углубит представление о ней не только специалистов, но и довольно широких кругов читателей, неизменно проявляющих большой интерес к этой эпохе.

Философия естествознания. Социология науки

НОВАЯ ТЕХНОКРАТИЧЕСКАЯ ВОЛНА НА ЗАПАДЕ / Пер. с разн. яз. Сост. и вст. ст. П. С. Гуревича. М.: Прогресс, 1986. 452 с. Ц. 2 р. 30 к.

Книга знакомит русскоязычного читателя с философией и идеологией технократизма. Она состоит из трех разделов. В первом — «Техника как социальный феномен» — представлены основополагающие труды классиков западной философии М. Хайдеггера, К. Ясперса, а также видного социолога Ж. Эллюэля. Они очерчивают круг тех идей, которые получили развитие в современной философии техники на Западе. Вместе с тем, как показывает содержание второго раздела — «Современная философия техники на Западе», исходные тезисы западной философской классики получили сегодня основательную переработку и новую аранжировку. В этом разделе помещены труды тех исследователей, которые выступили как теоретики новой «технократической волны» на Западе.

Наконец, в третьем разделе — «Информационное общество — компьютерная революция» — читатель найдет прогностические размышления, попытки описания будущего «информационного общества», экономическим костяком которого станут электроника и ЭВМ, космическое производство, использование глубин океана и биоиндустрия.

АИСТЫ И РИСУНОК А. С. ПУШКИНА

М. И. Лебедева,
кандидат биологических наук
Москва

В НАЧАЛЕ июля 1981 г., во время экскурсии в музей-заповедник А. С. Пушкина, в с. Михайловском мое внимание привлекла старая ель, на верхушке которой аисты свили большое гнездо. Гнездились они и в с. Тригорском около пруда, на большой засыхающей сосне, и на верхушке старого, но еще зеленого дуба. Из гнезд выглядывали подросшие птенцы. А видел ли аистов Пушкин? Подумалось, что нет, иначе он не мог бы не обратиться на них внимания.

Прошло несколько лет. В 1984 г. мне (как ученому секретарю Национальной секции СССР Международного совета по охране птиц) довелось участвовать в организации очередной всесоюзной переписи белого аиста. Она проводилась и в ряде областей РСФСР силами областных государственных охотничьих инспекций. Тогда же я решила написать С. С. Гейченко, директору музея-заповедника А. С. Пушкина, и попросила организовать учет белых аистов на территории заповедника и в его окрестностях. И вот ответ, датированный 9 июля 1984 г.: «Согласно Вашей просьбе,— пишет С. С. Гейченко,— сообщая, что сегодня на территории музея-заповедника А. С. Пушкина проживает одна семья аистов в Тригорском. Михайловское аист покинул два года тому назад. Ис-

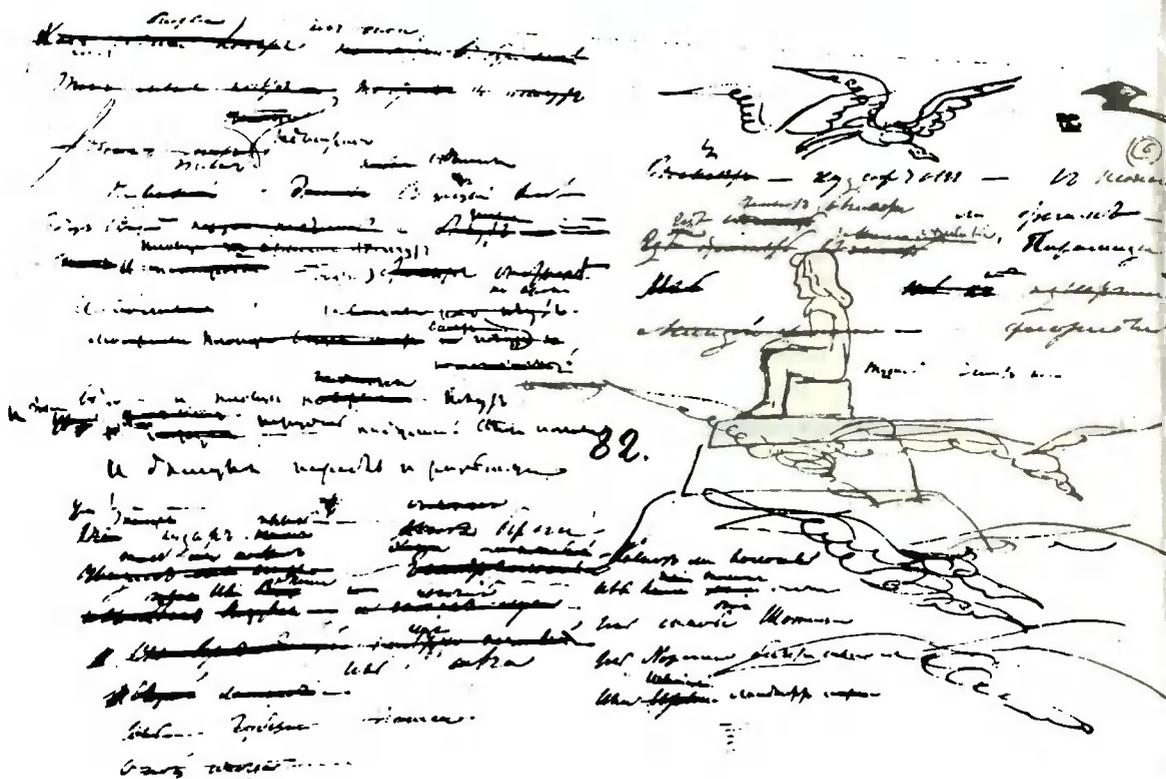
покон веков аисты гнездятся в разных местах заповедника, в одни годы — в Петровском, в другие — в Михайловском, Тригорском, Савкино и их округе. Осенью прошлого года, перед отлетом птиц, на поле около Тригорского можно было видеть большую стаю белых аистов (свыше десяти). Кроме заповедника их гнезда можно видеть в деревнях, расположенных около районного центра пос. Пушкинские горы (по моему личному подсчету, 7 гнезд). Если судить по воспоминаниям местных старожил, аисты прилетали в Пушкиногорье еще в дедовские времена. Лично я видел их в Михайловском в 1939 г., когда впервые побывал здесь. Если судить по рисунку А. С. Пушкина, на котором он изобразил аиста, надо полагать, что аисты жили на Псковщине издревле. Наблюдая за жизнью аистов в Пушкинском заповеднике в течение многих лет, я пришел к выводу, что они перелетают толпами людей, которые часто останавливаются возле мест, где находятся гнезда аистов, кричат, шумят, стучат по стволам деревьев. Это пугает птиц, и они ищут для гнездования более тихие места, так как по своей природе аист — птица тихая, полудомашняя и вьет свое гнездо там, где живет человек и все живое, близкое к нему».

Ответ обстоятельный,

можно сказать, исчерпывающий, но фраза: «Если судить по рисунку А. С. Пушкина... аисты жили на Псковщине издревле...»? Я обратилась к исследованиям специалистов. Нашла работу Т. Цявловской «Рисунки Пушкина» (1970), просмотрела Л. Керцелли «Мир Пушкина в рисунках» (1983), но аистов не нашла. Обнаружились они в книге А. Эфроса «Рисунки поэта» (1933), в разделе «Египетский колосс; летящие аисты; секира...» Рисунки, по словам этого автора, находятся в третьем варианте последних строк черновика известного стихотворения «Осень». Там изображены статуя египетского фараона на ступенчатой пирамиде и над ней летящая стая аистов. В черновике трижды упоминается Египет: «Египет колоссальный», далее — «где дремлет вечность... Пирамиды» и опять — «Египет». Как раз на этом слове, указывает Эфрос, черновик был брошен.

Эти рисунки, включая наброски аистов, поражают оригинальностью и изяществом. У птиц, на наш взгляд, несколько укорочен клюв, но если учесть, что поэт рисовал пролетающих аистов, эта деталь становится понятной. Аисты, изображенные рукой поэта, наводят на размышления. Что хотел он сказать, связав аистов с Египтом? Через Египет действительно идет мощный пролет аистов, населяющих Восточную Европу. Покидая родные пределы, аисты мигрируют на юг и юго-запад через страны Балканского п-ова и Юго-Западной Азии, вдоль восточного побережья Средиземного моря и заканчивают свой путь в Африке. Продвигаясь вверх по Нилу и далее по цепи Восточно-Африканских озер, они достигают мест своих зимовок на юге континента.

Эфрос считает, что, приступая к стихам, Пушкин уже знал, как пойдет развитие тем: от картин русской природы, вместе с улетающим караваном



Черновики стихотворения «Осень.»

осенних птиц, к образам чужих краев.

Но где же Пушкин видел улетающие стаи аистов? Быть может, действительно в окрестностях Михайловского или других ближайших селений? Тогда почему этот мотив не нашел отражения в его поэтическом творчестве, а только в рисунке? Вряд ли, мне думается, поэт обошел бы вниманием этих прекрасных птиц, будь они на гнездовье рядом.

Изучая расселение аистов, мы пришли к выводу, что в Михайловский период жизни поэта белые аисты в Псковской области еще не гнездились. Да и по литературным данным, в частности известной монографии М. А. Мензбира «Птицы России» (1895, 1918), в 80-е годы прошлого столетия белый аист в Псковской области встречался лишь изредка, как залетная птица, а гнездиться регулярно стал

несколько позже, не ранее самого конца XIX в. Он проник сюда с запада.

Рисунок Пушкина из чернового автографа стихотворения «Осень» датируется 1830 или 1833 г. и сделан в Болдине. Но в Болдине, как и вообще в Горьковской области, белых аистов никогда не бывало. Нет их и

теперь. Значит, поэт рисовал их по памяти. Но где же он видел аистов? Надо полагать, что во время своей южной ссылки в Молдавию или где-нибудь на Украине. Но вернемся к неоконченному стихотворению «Осень» и вспомним его последние строки:

Так дремлет недвижим корабль в недвижной влаге,
Но чу! — матросы вдруг кидаются, ползут
Вверх, вниз — и паруса надулись, ветра полны;
Громада двинулась и рассекает волны.

Плывет. Куда ж нам плыть?

Продолжением одного из вариантов стихотворения остался рисунок: «Египетский колосс; летящие аисты...»

Мы полагаем, что в рисунке ту же нагрузку, что и корабль в стихотворении, несут аисты, которых поэт изобразил

в движении, на осеннем пролете. И можно только гадать, известно ли было Пушкину, что аисты осенью летят вдоль долины Нила к верховью Голубого Нила, т. е. в Эфиопию, на родину его предков.



**К 100-летию со дня рождения
НИКОЛАЯ ИВАНОВИЧА ВАВИЛОВА**
13(25).XI 1887 — 26.I 1943

Действительный член Академии наук СССР, организатор и первый президент Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. В. И. Ленина, создатель и первый директор Всесоюзного института растениеводства (ныне имени Н. И. Вавилова) и Института генетики АН СССР (ныне Институт общей генетики им. Н. И. Вавилова АН СССР), президент Географического общества СССР, один из первых лауреатов премии им. В. И. Ленина, член многих иностранных академий, научных обществ, президент и вице-президент ряда международных конгрессов, член ВЦИК и ЦИК СССР, Николай Иванович Вавилов — одна из наиболее ярких фигур в истории отечественной и мировой науки. Решением Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО) 100-летие со дня рождения Н. И. Вавилова отмечается во всем мире.

В течение 15 лет Н. И. Вавилов был активным сотрудником нашего журнала, а с 1936 г. по 1940 г. — членом редакционной коллегии.

В этом номере читатели познакомятся с подборкой «Неизвестный Н. И. Вавилов», составленной из не публиковавшихся ранее материалов, а также с выступлениями академиков **В. Е. Соколова**, **Д. С. Лихачева**, **А. Л. Тахтаджяна**, члена-корреспондента АН СССР **Ю. И. Полянского**, академиков АН УССР **С. М. Гершензона** и **А. А. Созинова** и др., в которых с разных сторон освещается образ и научное наследие этого выдающегося ученого и гражданина.



Индекс