

4¹⁹⁷⁴ **ЗЕМЛЯ**
И
ВСЕЛЕННАЯ

АСТРОНОМИЯ · ГЕОФИЗИКА
ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

*«... Нет ничего в мире
сильнее свободной
научной мысли»*
В. И. Вернадский



В. И. Вернадский

(К подборке материалов о
В. И. Вернадском, стр. 52—72.)

Научно-популярный

журнал

Академии наук СССР

Основан в 1965 году

Выходит 6 раз в год

Издательство «Наука»

Москва

4 ИЮЛЬ
АВГУСТ
1974

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

В номере:

С. Б. Пикельнер — Хромосферные вспышки	3
Н. В. Пушков — Вспышки на Солнце и геофизические последствия	8
В. Ф. Чистяков — Необычные явления на Солнце	14
Б. А. Иошпа — Солнечные протуберанцы	19
М. А. Лившиц — Рентгеновское излучение солнечной короны	26
И. С. Шкловский — Проблемы нейтринного излучения Солнца	31
Б. М. Владимирский — Экспериментальная гелиобиология	38
С. К. Всехсвятский — Комета века: прогнозы и реальность	44
Г. М. Никольский, А. А. Сазанов — Наблюдения кометы Когоутека	49

ЛЮДИ НАУКИ

В. С. Неаполитанская, Н. Ф. Овчинников — Академик В. И. Вернадский	52
В. И. Вернадский — Научная мысль как планетное явление	54
А. Г. Назаров — Биосфера — оболочка нашей планеты	56
В. В. Щербина — Интересы В. И. Вернадского в изучении космоса	63
Из воспоминаний	
о академике В. И. Вернадском	
Е. Л. Кринов — Мои встречи с Вернадским	65
Б. А. Петрушевский — В «Узком» летом 1940 года	70

Памяти Михаила Галактионовича Крошкина	72
--	----

ЭКСПЕДИЦИИ

Е. М. Сузюмов — Четверть века на научной вахте	73
--	----

АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

И. Д. Ильевский — Совещание преподавателей астрономии Украины	80
---	----

НОВОСТИ НАУКИ И ДРУГАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Новый искусственный спутник Луны [2]; На орбите «Салют-3» [2]; Рентгеновские снимки солнечной короны с борта «Скайлэба» [16]; Советско-французские исследования солнечной короны [17]; Дейтерий и тритий на Солнце [25]; Комментарий гляциолога [37]; Телевизионные наблюдения искусственного полярного сияния [43].



Новый искусственный спутник Луны

29 мая 1974 года в Советском Союзе был произведен запуск автоматической станции «Луна-22».

Во время полета по космической трассе Земля — Луна со станцией было проведено 23 сеанса радиосвязи, в которых выполнялись измерения параметров траектории движения, проверялась работа бортовых систем и проводились научные исследования космического пространства.

С целью обеспечения вывода станции в определенную область окололунного пространства 30 мая была осуществлена коррекция траектории ее движения.

При подлете к Луне было проведено торможение станции «Луна-22», в результате чего 2 июня 1974 года она вышла на селеноцентрическую орбиту.

Первоначальные параметры орбиты нового ИСЛ:
высота над поверхностью Луны — 220 километров;

наклонение орбиты к плоскости лунного экватора — 19 градусов 35 минут;

период обращения станции вокруг Луны — 2 часа 10 минут.

9 июня для проведения детальной телевизионной съемки выбранных районов лунной поверхности была осуществлена коррекция траектории станции. После завершения съемки в результате второй коррекции станцию перевели на эллиптическую орбиту, обеспечивающую условия для продолжения исследований гравитационного поля Луны. Эти исследования были начаты автоматической станцией «Луна-19» в 1971 году.

Поступающая информация принимается и обрабатывается средствами командно-измерительного комплекса, координационно-вычислительным центром и институтами Академии наук СССР.

На орбите «Салют-3»

25 июня 1974 года в Советском Союзе произведен запуск орбитальной научной станции «Салют-3».

Цель запуска — дальнейшая обработка усовершенствованной конструкции станции, а также бортовых систем, аппаратуры и проведение научно-технических исследований и экспериментов в космическом полете.

Станция «Салют-3» выведена на околоземную орбиту с параметрами:

максимальное удаление от поверхности Земли (в апогее) 270 километров;

минимальное удаление от поверхности Земли (в перигее) 219 километров;

период обращения 89,1 минуты;

наклонение орбиты 51,6 градуса.

Слежение за полетом, прием телеметрической информации и управление станцией производятся измерительными пунктами, расположенными на территории Советского Союза, и судами Академии наук СССР «Космонавт Юрий Гагарин», «Космонавт Владимир Комаров», находящимися в различных районах акватории Мирового океана.

5 июля 1974 года была успешно осуществлена стыковка станции «Салют-3» с космическим кораблем «Союз-14», запущенным 3 июля 1974 года. После стыковки экипаж «Союза-14» в составе командира корабля, Героя Советского Союза летчика-космонавта СССР Павла Романовича Поповича и бортинженера, подполковника-инженера Юрия Петровича Артюхина перешел в помещение станции и приступил к выполнению обширной программы научно-технических исследований и экспериментов. Программа включала исследование геолого-морфологических объектов земной поверхности, атмосферных образований; физических характеристик космического пространства; разнообразные медико-биологические исследования; испытание усовершенствованной конструкции станции, а также бортовых систем и аппаратуры. 19 июля после успешного выполнения пятнадцатисуточной программы космонавты благополучно возвратились на Землю.

О ходе и результатах полета будет рассказано в следующих выпусках «Земли и Вселенной».



Профессор
С. Б. ПИКЕЛЬНЕР

Хромосферные вспышки

Хромосферные вспышки — самый бурный процесс на Солнце. За несколько минут или несколько десятков минут, пока длится вспышка, выделяется энергия 10^{14} — 10^{18} квт·час ($3 \cdot 10^{28}$ — $3 \cdot 10^{32}$ эрг). Все запасы горючих ископаемых на Земле могли бы при полном сгорании обеспечить лишь одну солнечную вспышку большой мощности. Энергия вспышки порождает целый ряд явлений: свечение газа хромосферы в линиях водорода и других элементов, рентгеновское излучение, радиовсплески в различных диапазонах, иногда гамма-лучи. После вспышек обычно происходит выброс плотных облаков газа, подъем протуберанцев со скоростью несколько сот километров в секунду. Приборы, установленные на космических аппаратах, часто обнаруживают после вспышек электроны и протоны, скорость которых близка к скорости света.

ОПТИЧЕСКОЕ И РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

Вспышки, как правило, появляются в активных областях, окружающих большие группы пятен, особенно в период их быстрого изменения и развития. Иногда в таких областях происходит несколько вспышек в день. Однако мощные вспышки сравнительно редки, а самые мощные наблюдаются лишь несколько раз на протяжении 11-летнего цикла солнечной активности.

Наиболее подробно поведение вспышек можно исследовать через светофильтр, пропускающий красную линию водорода H_{α} . Эту линию во вспышках излучает ионизованный газ,

Каков источник энергии солнечных вспышек? Как эта энергия превращается в излучение самых разных длин волн, в кинетическую энергию солнечных выбросов, в энергию быстрых частиц?



концентрация которого 10^{12} — 10^{13} частиц в 1 см^3 , а температура от 15 до 30 тыс. градусов.

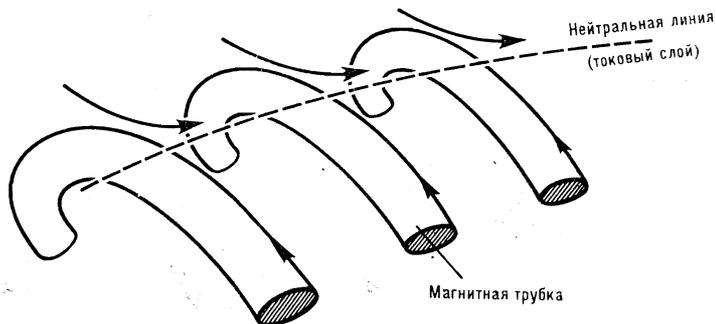
Обычно вспышка начинается с увеличения яркости одного-двух «узелков» активной области. Через 30—60 секунд они бывают в несколько раз ярче, чем до вспышки. У слабых вспышек яркие узелки медленно затухают и процесс прекращается. Во вре-

мя сильных вспышек появляются второй, третий очаги эмиссии, они разрастаются, часто сливаются, образуя две длинные параллельные ленты. Достигнув максимальной яркости, ленты постепенно гаснут и одновременно несколько расходятся. Иногда возникают не ленты, а компактные очень яркие области, которые слабеют в течение нескольких минут.

Несмотря на многолетние наблюдения вспышек в линии H_{α} , их природа до последнего времени оставалась загадочной. Ведь такие наблюдения не охватывают всего комплекса явлений, связанных со вспышками. Только с развитием космической техники, которой доступны рентгеновское и ультрафиолетовое излучения, не проходящие к поверхности Земли, был достигнут прогресс в понимании природы вспышек.

Рентгеновские кванты порождаются чаще всего при соударениях быстрых электронов с ядрами атомов. Горячий газ солнечной короны излучает в рентгеновском диапазоне. Поскольку температура короны (1,5—2 млн. градусов) соответствует энергии частиц около 0,2 кэВ и только в отдельных областях несколько выше, спектр ее обрывается при энергии квантов около 1 кэВ. Во время вспышек рентгеновское излучение усиливается и, главное, энергия его квантов возрастает до 5—10 кэВ. Спектр остается тепловым, таким как у газа, нагретого до 20—40 млн. градусов. Температура короны значительно ниже. Но даже если нагреть корону над вспышкой до столь высокой температуры, рентгеновское излучение будет слабее, чем наблюдается. Лишь горячий газ, концентрация которого не менее

■
Фотография вспышки в линии H_{α} . Видна ленточная структура вспышки. Снимок получен 5 ноября 1970 года В. Г. Банин (Сибирский институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР)



10^{10} частиц в 1 см^3 , что почти в 100 раз превышает концентрацию короны, может дать наблюдаемое излучение. Поэтому приходится допустить, что вспышка нагревает не только корону, но и верхние слои хромосферы.

В начале вспышек средней и большой мощности наблюдаются всплески жесткого рентгеновского излучения. Длятся они 1—2 минуты, причем рост интенсивности продолжается менее 20 секунд. Во время всплесков рентгеновское излучение заметно усиливается и энергия квантов становится еще больше — от 15 до 100 кэв и выше. Всплеск жесткого рентгеновского излучения как бы накладывается на фон мягкого рентгеновского излучения горячего газа. Сам всплеск не имеет тепловой природы. Интенсивность его спектра убывает с уменьшением длины волны (λ) по степенному закону (например, как λ^3). Такой спектр называется степенным. Его создает не горячий газ, а частицы высокой энергии. Энергетический спектр этих частиц похож на спектры космических лучей и релятивистских электронов, дающих нетепловое радиоизлучение Галактики, остатков Сверхновых звезд и других радиоисточников. Правда, космические лучи и релятивистские электроны имеют гораздо более высокую энергию, чем электроны, дающие жесткое рентгеновское излучение вспышек. Но сходный характер спектра все равно не может быть случайностью. По-видимому, и те и другие частицы ускоряются одним механизмом, но в разной степени.

Где же находится область ускорения? Частицы не могут прийти из-под фотосферы, так как по дороге они

затормозились бы в плотном газе. Они образуются либо в верхней части хромосферы, либо в короне. Решить этот вопрос помогли наблюдения поляризации рентгеновского излучения всплесков, проведенные профессором С. Л. Мандельштамом с сотрудниками. Известно, что если электроны движутся направленным пучком, то их излучение поляризовано. Измерения показали, что излучение всплеска поляризовано так, будто пучок входит в хромосферу сверху.

Одновременно со всплеском жесткого рентгеновского излучения появляется одно или два особенно ярких в линии H_α небольших пятнышка размером 3—6 тыс. км. Они затухают вскоре после окончания всплеска. Очевидно, что энергию в линии H_α дают в конечном счете те же частицы, которые в более высоких слоях излучают в рентгеновском диапазоне. Яркие пятнышки, или зерна, как их называют, соответствуют местам входа магнитных трубок, по которым движутся частицы. Когда зерна встречаются парами, они расположены в областях разной полярности приблизительно симметрично относительно линии раздела, где вертикальная компонента поля равна нулю. Магнитное поле в таких местах обычно имеет вид арок, а пара пятен — два основания одной арки. Ускорение частиц происходит вблизи вершины арки. Анфилада арок дает яркие ленты. Впрочем, более мощные вспышки возникают

Структура магнитного поля в области вспышки. Направление поля показано стрелками. Над анфиладой магнитных арок — поле другого направления

иногда в непосредственной близости к пятнам.

После окончания всплеска излучение в мягком рентгеновском диапазоне постепенно достигает максимума, а затем через несколько минут или несколько десятков минут затухает. Согласно детальным измерениям, мягкое рентгеновское излучение состоит из отдельных всплесков, длящихся до 5 минут и частично перекрывающихся. Это согласуется с тем, что свечение вспышки в линии H_α тоже неравномерно.

Таким образом, ускорение частиц происходит в виде всплесков то в одном, то в другом участке сравнительно обширной области. Как правило, эти всплески имеют небольшую мощность, и частицы ускоряются до энергии порядка 5 кэв. Их энергетический спектр близок к тепловому. Иногда выделение энергии резко усиливается, причем частицы ускоряются до более высокой энергии и тогда они имеют степенной энергетический спектр. Ускоренные частицы движутся по силовым линиям магнитного поля и входят в верхнюю часть хромосферы, нагревая ее до 20—40 млн. градусов. Нагретая область дает мягкое рентгеновское излучение. Если же входящие частицы обладают степенным спектром, то появляется жесткое рентгеновское излучение.

РАДИОВСПЛЕСКИ И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

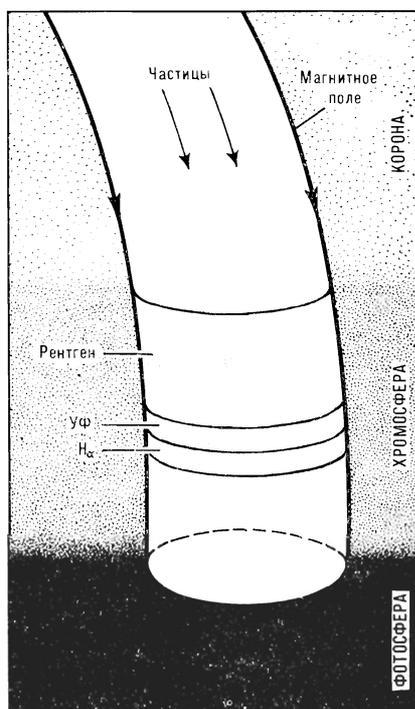
Во время вспышек существенно усиливается радиоизлучение Солнца на сантиметровых и дециметровых волнах. Как и рентгеновское, радиоизлучение можно разделить на им-

пульсную (всплески) и плавную компоненты. Ход радиовсплеска практически совпадает с ходом рентгеновского всплеска. Более детальное сопоставление показало, что радиовсплески сопутствуют особенно жестким рентгеновским всплескам, создаваемым электронами с энергией больше 100 кэв. Такие электроны, двигаясь в магнитном поле, действительно могут излучать радиоволны. Как это происходит?

Поток частиц высокой энергии вырывается из области ускорения и движется вдоль магнитных силовых линий, имеющих арочную структуру. С приближением к хромосфере поле усиливается, и, если энергия частиц достаточно высока, появляется радиоизлучение. Далее частицы проникают в более плотные слои, тормозятся там и одновременно дают жесткое рентгеновское излучение. Через несколько десятков секунд ускорение в источнике частиц прекращается, и излучение у основания арки быстро затухает.

Плавная компонента радиоизлучения ассоциируется с тепловым рентгеновским излучением. Радиоволны испускает тот же горячий ионизованный газ, который создает мягкое рентгеновское излучение. Электроны плазмы крутятся вокруг силовых линий и излучают на радиочастотах.

Итак, вторжение потока частиц нагревает верхние слои хромосферы до 20—40 млн. градусов. О том, что происходит в глубине хромосферы, рассказывают наблюдения в далекой ультрафиолетовой области спектра (100—1300 Å). Это излучение не проникает сквозь атмосферу и наблюдается с ракет и спутников. Однако о нем зна-



ли и до космической эры, так как кванты такой энергии дополнительно ионизуют верхние слои атмосферы, вызывая аномальное поглощение радиоволн.

Спектральные наблюдения показали, что ультрафиолетовое излучение состоит из множества линий ионов самой различной степени ионизации — от нейтрального водорода и ионизованного гелия до Si XII и Fe XVI. Каждой степени ионизации соответствует своя температура. Таким образом, ультрафиолетовое излучение возникает не в одном слое, а в нескольких с различными температурами. Нужно заметить, что такая многослойная зона есть и у спокойного Солнца. Она расположена между хромосферой и короной и называется переходным слоем. Энергия в переходном слое передается вниз электронной теплопроводностью, и температура меняется от корональной до хромо-

■
Строение атмосферы в области, куда сверху вдоль силовых линий вторгается пучок частиц. Указаны слои, где образуются рентгеновское, ультрафиолетовое (УФ) излучения и излучение в линии H α

сферной (от 1 млн. до 10 тыс. градусов) в сравнительно тонком слое.

Нечто похожее происходит и во вспышках. Нагретый потоком частиц газ верхней хромосферы подогревает нижние слои. Температура меняется от 10 млн. до 10 тыс. градусов в довольно тонком слое, структура которого рассчитана советскими астрофизиками С. И. Сыроватским и О. П. Шмелевой. Поскольку механизм теплопередачи такой же, как и в обычном переходном слое, структура обоих слоев подобна, а спектр, излучаемый ими, отличается только интенсивностью. Относительные интенсивности различных линий одинаковы, имеется как бы стандартный спектр различной яркости.

В основании переходного слоя — там, где температура уменьшается до 30—15 тыс. градусов, образуется излучение в линии H α . Часть энергии сюда приносит тепловой поток, а часть — особенно быстрые частицы, проникающие на большую глубину.

БЫСТРЫЕ ЧАСТИЦЫ В КОСМОСЕ И ГАММА-ЛУЧИ

Иногда космические ракеты обнаруживают в межпланетном пространстве электроны с энергией более 40 кэв. Эти частицы появляются, как правило, после вспышек и представляют собой те же электроны, которые порождают рентгеновские всплески. Отдельным электронам в короне удается попасть на открытые силовые линии, которые не возвращаются к поверхности Солнца, а идут в межпланетное пространство, куда их выносит ударной волной или солнечным ветром. Быстрые электроны в



космосе можно разделить на две группы. К первой относятся прямые электроны. Они летят вдоль изогнутых вращением Солнца силовых линий и приходят к наблюдателю примерно через час после вспышки. Ко второй — задержавшиеся электроны. Они достигают наблюдателя примерно через сутки, а случается и позднее. Эти электроны задерживаются около Солнца в магнитной ловушке, которая уносится вместе с частицами потоком газа, выброшенного во время вспышки.

После мощных вспышек наблюдаются иногда и протоны, движущиеся со скоростью 10—100 тыс. км/сек. Энергия этих протонов от 0,5 до 10—100 Мэв и выше. Такие протоны представляют опасность для космонавтов, так как при столкновении со стенками корабля они дают гамма-лучи, проходящие сквозь корпус. Поэтому очень важно уметь предсказывать протонные вспышки. Гамма-лучи, рожденные быстрыми протонами, могут возникать и при столкновениях этих протонов с ядрами атомов, которые находятся в атмосфере Солнца. Поскольку гамма-кванты поглощаются в земной атмосфере, их наблюдения проводятся из космоса или с воздушных шаров. Изучая спектр гамма-лучей, можно рассчитать начальный энергетический спектр быстрых протонов.

Подводя итог, можно сказать, что во время вспышек образуются быстрые частицы. Иногда энергия этих частиц — несколько килоэлектрон-вольт, иногда десятки и даже сотни килоэлектрон-вольт. В самых мощных вспышках ускоряются и протоны, достигая энергии сотен мегаэлектрон-

вольт. Проникая в хромосферу, эти частицы вызывают многочисленные явления, которые наблюдаются во время вспышек и после них. Теория вспышек должна объяснить источник энергии и механизм ускорения частиц.

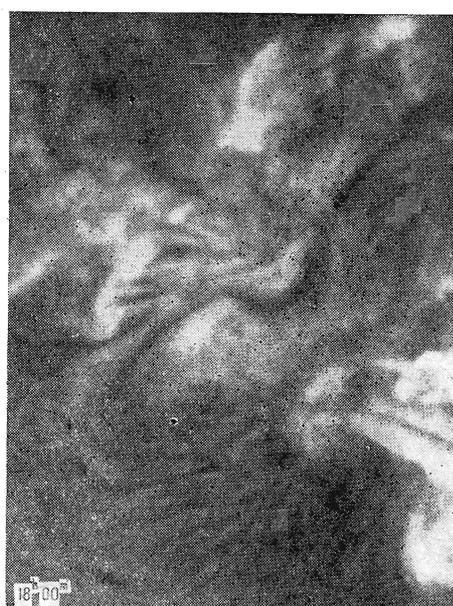
ТЕОРИЯ ВСПЫШЕК

Уже давно известно, что источником энергии вспышек является магнитное поле. В 1 см³ поля, напряженностью Н, содержится энергия, равная Н²/8л. При напряженности поля 100 э в кубе со стороной 10 тыс. км заключена энергия 4·10²⁹ эрг, что сравнимо с энергией вспышки средней силы. Проблема только в том, как высвободить эту энергию и превратить ее в другие формы.

Наиболее эффективным способом освобождения магнитной энергии считается аннигиляция — взаимное уничтожение полей противоположного направления. Представим себе в плазме два противоположных поля, разделенных нейтральным слоем, где напряженность равна нулю. Поля давят на плазму, прижимают ее к нейтральному слою. Равновесие устанавливается, когда давление сжатой плазмы уравновешивает давление поля. По законам электродинамики, в нейтральном слое течет ток, плотность которого зависит только от напряженности полей и толщины слоя. Ток греет плазму, выделяет тепло и тратит на это энергию. Энергия тока берется от магнитного поля, которое аннигилирует как раз с такой скоростью, чтобы поддерживать ток, компенсировать его затухание. Чем меньше проводимость плазмы и чем тоньше слой, тем больше выделяется тепла и тем быстрее вытекает поле в нейтральный слой.

При обычных условиях проводимость плазмы довольно высока и нагрев мал. Это обусловлено тем, что диссипация тока происходит при столкновениях электронов с ионами, а такие столкновения действуют сравнительно медленно. Диссипация может существенно увеличиться, если слой будет очень тонким, например 1 см. Но такому сжатию мешает газ. Он может вытекать из краев слоя при сжатии, но медленно, и так же медленно растет скорость аннигиляции, нагрев. Правда, С. И. Сыроватский показал, что при определенных условиях плазма будет прижиматься к нейтральному слою не прямо, а по траекториям, которые еще издали отклоняются к краям слоя. Это уменьшает количество приносимого к слою газа и несколько облегчает вытекание. Можно попытаться так объяснить самую начальную стадию вспышки, ее медленное разгорание. Но для понимания собственно вспышки, яркости которой заметно увеличивается за минуту, и, особенно, отдельных всплесков такой механизм явно недостаточен. Нужно объяснить внезапность всплесков, найти спусковой механизм, переключющий скачком процесс аннигиляции на гораздо большую скорость.

Скорость аннигиляции зависит от толщины слоя и его электропроводности. Оказалось, что в реальных вспышках проводимость газа скачком уменьшается. Как это происходит? В плазме может существовать несколько типов волн. Наиболее важны для образования вспышек ионно-звуковые и плазменные, или ленгмюровские. Ионно-звуковые волны похожи на обычный звук: это — распространяющиеся сгущения и разрежения



плазмы. Они могут существовать только в такой плазме, где температура электронного газа в несколько раз выше температуры ионного. Второй тип волн — ленгмюровские, представляют собой высокочастотные колебания электронного газа в поле неподвижных ионов, которые из-за большой инерции не могут колебаться с такой же частотой. Скорость распространения этих колебаний превышает тепловую скорость электронов.

Волны могут образовываться, если в плазме имеется пучок частиц (например, ток), скорость которых больше скорости волн. Это похоже на разгон морских волн ветром: пучок давит на волну и усиливает ее. Взаимодействие волн между собой приводит к тому, что возникающие колебания размываются в спектр со всевозможными длинами волн. Таким образом, сильный ток порождает

плазменную турбулентность — множество волн, идущих во всех направлениях. Ток может создать ионно-звуковую турбулентность, только если скорость электронов больше скорости ионного звука и, кроме того, если электронная температура существенно выше ионной. Для развития ленгмюровской турбулентности скорость электронов должна значительно превышать тепловую скорость электронов.

Рассмотрим теперь, что происходит в слое между двумя медленно сжимающимися, приблизительно противоположными полями. Слой становится все тоньше, и токовая скорость растет. Растет и выделение джоулевого тепла. Это тепло сообщается электронам и только потом постепенно передается через столкновения ионам. Поэтому электронная температура несколько выше ионной, и по мере усиления нагрева различие температур растет. Наступает момент, когда и токовая скорость превышает скорость ионного звука, и электронная температура в несколько раз выше ионной. Начинается генерация ионного звука. Возникают ионно-звуковая турбулентность, хаотические электрические поля. Поля рассеивают поток электронов, быстро превращают направленное движение их в хаотическое. Они

делают это гораздо эффективнее, чем столкновения электронов с ионами. Таким образом, турбулентность резко увеличивает электрическое сопротивление, уменьшает проводимость. А это, соответственно, резко усиливает джоулеву диссипацию и ускоряет втекание поля. Итак, спусковым механизмом служит внезапное возникновение ионно-звуковой турбулентности. Однако нужно еще объяснить ускорение частиц до высоких энергий, образование степенного спектра. Здесь существует несколько возможностей.

Наиболее вероятный механизм, рассматривавшийся советскими теоретиками В. Н. Цытовичем, В. М. Томозовым и др., связан с появлением ленгмюровской турбулентности. Дело в том, что ионно-звуковая турбулентность создает сопротивление, задерживая только сравнительно медленные частицы. Если же скорость электрона значительно больше тепловой, то он испытывает незначительное торможение. Такие электроны будут ускоряться слабым электрическим полем, поддерживающим ток. Возникает быстрый пучок. Он генерирует ленгмюровскую турбулентность. А ленгмюровские волны, подгоняя частицы, которые имеют почти такую же скорость, как и скорость волны, производят ускорение.

■ ■ ■
Развитие большой солнечной вспышки 14 июня 1970 года. Вспышка началась в 16 часов 20 минут, максимума яркости она достигла в 16 часов 26 минут и закончилась примерно в 18 часов. Фотографии вспышки в линии H_{α} сделал А. Н. Бабин (Крымская астрофизическая обсерватория АН СССР)

Доктор физико-математических наук
Н. В. ПУШКОВ

Вспышки на Солнце и геофизические последствия

Чем больше темп ускорения, тем меньше потери энергии у частиц из-за столкновений в процессе ускорения и тем выше энергия, которую успевают набрать частицы до того, как выйдут из турбулентной области. А темп ускорения зависит от величины втекающей энергии, то есть от скорости втекания и напряженности поля. Самые мощные вспышки, например протонные, возникают в поле пятен, недалеко от фотосферы, где напряженность велика. При этом происходит частичная перестройка поля, упрощение его структуры из-за аннигиляции. Такая перестройка и упрощение магнитного поля наблюдались академиком А. Б. Северным. Если же аннигиляция происходит в более высоких слоях, где напряженность меньше, то перестройки поля в фотосфере не наблюдается.

Энергия вспышки создает различные динамические явления в солнечной атмосфере. Образуется ударная волна. Проходя через корону, она порождает всплески радиоизлучения, а дойдя до магнитосферы Земли, вызывает магнитную бурю и другие геофизические явления. Перестройка структуры магнитного поля в процессе аннигиляции создает магнитные силы, которые выбрасывают газ хромосферы вверх со скоростью несколько сот километров в секунду. Сходные явления — выброс газа в нижней хромосфере со скоростью до 500 км/сек — наблюдались как во вспышках, так и вне их, в точечных источниках, которые по характерному профилю спектральных линий были названы «усами». Очевидно, эти процессы связаны с аннигиляцией поля, но с меньшим выделением энергии.

О событиях на Солнце в августе 1972 года, за которыми следили астрономы, и об аномальных явлениях в земной атмосфере, зафиксированных геофизиками, уже написаны целые научные тома. В публикуемой статье рассказывается об основных геофизических последствиях трех наиболее сильных солнечных вспышек.

СОБЫТИЯ НА СОЛНЦЕ

Начало августа 1972 года было отмечено необычайно высокой активностью Солнца, вызванной прохождением по солнечному диску активной области. С 1 по 11 августа в этой области зарегистрировано 12 хромосферных вспышек. Среди них три, наблюдавшиеся 2, 4 и 7 августа, были очень большими. Они сопровождались интенсивными полярными сияниями, геомагнитными и ионосферными возмущениями, изменением интенсивности космических лучей и другими геофизическими явлениями. Августовские события стали темой многочисленных научных сообщений. Им был посвящен специальный международный симпозиум в сентябре 1973 года в Киото.

Вспышки в начале августа 1972 года и сопутствовавшие им геофизические явления оказались самыми значительными за последние два десятилетия. Они произошли в период спада текущего 20 цикла солнечной деятельности, на четвертом году после максимума. Активная область, где происходили солнечные вспышки, возникла 9—10 июня 1972 года в западной части северного полушария Солнца, на

широте около 11° и долготе около 10° . Вначале здесь образовалась небольшая область отрицательной (южной) магнитной полярности. 11 июля на этом месте была уже компактная bipolarная группа солнечных пятен с нормальным для текущего цикла распределением полярностей: южной — в головном пятне и северной — в хвостовом. День за днем размеры области увеличивались, в ней появлялись дополнительные пятна, но до захода ее за западный край диска Солнца (15 июля) каких-либо геофизических эффектов не замечалось. Однако в самой группе произошло за это время примечательное событие: распределение полярностей в группе сменилось на противоположное, что потом сохранилось в течение всей последующей жизни группы на протяжении двух оборотов Солнца. Группа появилась вновь на видимом диске Солнца 28—29 июля и прошла через центральный меридиан 4 августа. При появлении группы из-за восточного края диска Солнца в ней было уже около десятка пятен различных размеров и разной полярности.

Максимальная суммарная площадь пятен в группе достигала 1300 миллионов долей полусферы Солнца. (Напомним, что одна миллионная доля полусферы равна $3,04 \cdot 10^6$ км².) Все пятна группы находились в пределах одной полутени. Группу окружало мощное флоккулярное поле, площадь которого достигала 6000 миллионов долей полусферы, а максимальная яркость — 3,5 балла (по пятибалльной системе).

Магнитное поле группы было очень сложным, так как в ней образовались пятна различной полярности, располо-



женные без какой-либо определенной закономерности. Пятна противоположных полярностей оказались так близко друг к другу, что возникли большие градиенты магнитного поля. Максимальные градиенты 2, 3 и 4 августа доходили, соответственно, до 0,4; 0,9 и 1,5 э на километр. Изолиния нулевых значений продольного магнитного поля была очень извилистой. Все это насторожило астрономов: теперь они уже ждали больших солнечных вспышек.

Крупные вспышки произошли 2 августа 1972 года после 20 часов, 4 августа с 6 часов 20 минут до 10 часов и 7 августа с 14 часов 43 минут до 17 часов 30 минут Всемирного времени. Две последние вспышки были чрезвычайно мощными. Самой интересной по своим геофизическим эффектам была вспышка 4 августа. Она началась с рождения отдельных ярких точек и волокон, превратившихся вскоре в две параллельные S-образные четкие ленты. Одна из них про-

ходила через центр группы пятен, вторая — через восточный ее край. Размеры и яркость лент вначале очень быстро увеличивались, и ленты иногда сливались друг с другом. Затем свечение постепенно стало размываться и ослабевать.

В период вспышки 4 августа наблюдались мощное рентгеновское и гамма-излучения Солнца. Вспышка рентгеновского излучения привела к очень сильным внезапным ионосферным возмущениям. Возмущение было вызвано усилением ионизации в нижнем, поглощающем короткие волны D-слое ионосферы. По наблюдениям ионосферных станций СССР, 4 августа с 06 часов 05 минут до 11 часов 58 минут Всемирного времени полностью прекратилось отражение радиоволн в ионосфере. Одновременно нарушилась коротковолновая радиосвязь на всей освещенной Солнцем стороне Земли.

Все большие хромосферные вспышки сопровождались интенсивными вспышками радиоизлучения Солнца. Это радиоизлучение регистрировалось на Земле на многих частотах. Максимальные плотности потока радиоизлучения на частоте 10 000 Мгц (длина волны 3 см) у трех августовских вспышек более чем в 5 раз превышали обычную для этой длины волны плотность потока от Солнца.

Некоторые особенности радиоизлучения во время вспышек указывали на то, что вспышки могли быть протонными. Суммарная энергия, излученная при вспышке 4 августа в диапазоне длин волн 600—35000 Мгц, по оценкам некоторых ученых равнялась $1,2 \cdot 10^{26}$ эрг.

4 августа наблюдались также силь-

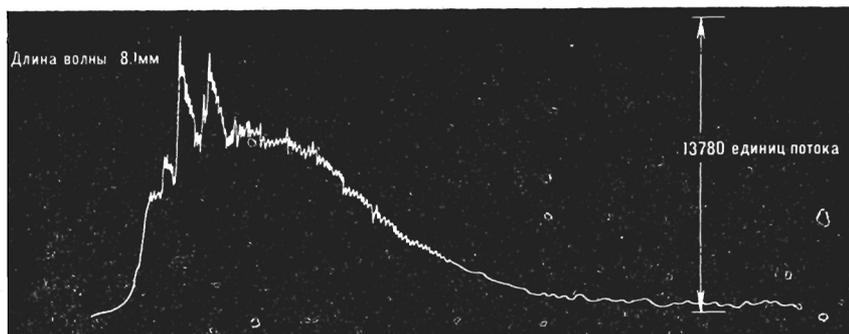
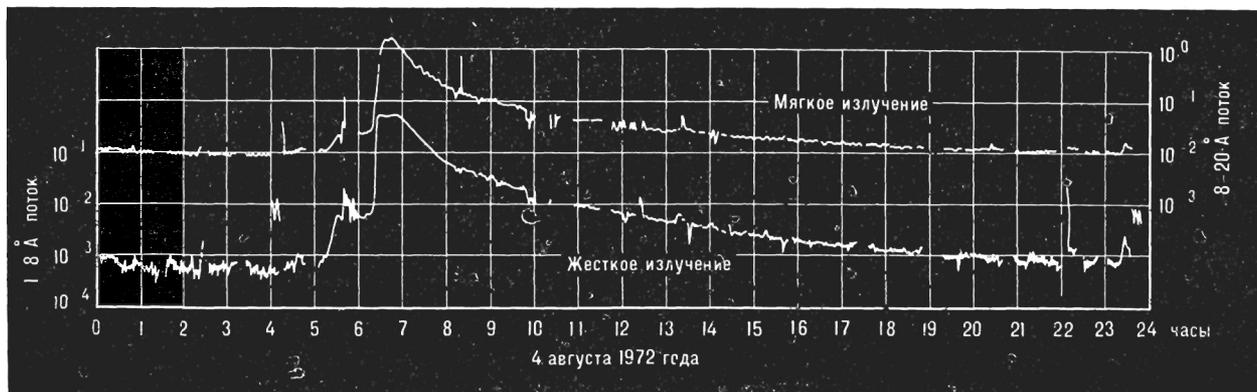
ные радиовсплески в одной или нескольких частотах и очень редко во всем диапазоне от миллиметровых до декаметровых радиоволн. Всплеск такого рода может быть следствием протонной вспышки и часто предшествует большим магнитным бурям.

Прохождение активной области по диску Солнца сопровождалось увеличением скорости потоков солнечной плазмы в межпланетном пространстве (солнечный ветер) и скорости уносимых этими потоками солнечного (межпланетного) магнитного поля. По данным измерений спутника «Пионер-9», на уровне орбиты Земли скорость солнечного ветра доходила в это время до 1130 км/сек, а напряженность межпланетного магнитного поля — до 38 γ. (Средние значения этих величин 300 км/сек и 10 γ.)

КОСМИЧЕСКАЯ БУРЯ

Во время больших августовских вспышек были зарегистрированы на спутниках, риометрах, а также наземными станциями интенсивные потоки протонов, альфа-частиц и электронов высоких энергий. Солнечные вспышки вызвали настоящую бурю в космических лучах. Она была наибольшей из всех зафиксированных до настоящего времени. Со 2 по 12 августа наблюдались два случая увеличения интенсивности космических лучей (4 и 7 августа), связанных с приходом солнечных космических лучей. Кроме того, 4, 5 и 9 августа Земля оказалась погруженной в плотный корпускулярный поток. Галактические космические лучи сильно рассеивались на неоднородностях магнитного поля этого потока, и их интенсивность, измеряемая на поверхности Земли, сильно уменьша-

Мощная солнечная вспышка 4 августа 1972 года. Снимок получен доктором физико-математических наук Э. И. Могилевским в 06 часов 16 минут 30 секунд Всемирного времени (Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР)



лась. Такие понижения интенсивности назвали Форбуш-эффектом, или Форбуш-понижением, по имени исследовавшего их американского ученого С. Е. Форбуша. Форбуш-понижения часто наблюдаются после мощных процессов на Солнце.

Увеличение интенсивности космических лучей 7 августа началось примерно через 45 минут после хромосферной вспышки того же дня. Что касает-

Вспышка мягкого (длина волны 8—20 Å) и жесткого (1—8 Å) рентгеновского излучения 4 августа 1972 года. Средняя температура вспышки в начале спада ее могла быть порядка 20 млн. градусов

Вспышка радиоизлучения Солнца 4 августа 1972 года, зарегистрированная на станции Слоу в Англии. Радиовспышка была сравнительно короткой (38 минут), а максимальная плотность потока — порядка 13 780 единиц (за единицу принимается плотность, равная $1 \cdot 10^{-22}$ вт/м² гц)

ся первого возрастания интенсивности космических лучей, то определить точно его начало трудно, поскольку оно пришлось на время длительного уменьшения интенсивности.

Интенсивность космических лучей возвращалась к нормальным значениям в течение нескольких дней. Это свидетельствует о том, что межпланетное пространство освобождается от рассеивающих космические лучи неоднородностей межпланетного (солнечного) магнитного поля очень медленно. Интересно, что наблюдавшееся сразу же за вторым Форбуш-понижением увеличение интенсивности космических лучей не связано с приходом нового потока солнечных космических лучей. Подобного рода случаи встречаются довольно часто. Они подтверждают возможность разрывов в поле неоднородностей межпланетного магнитного поля, рассеивающих галактические космические лучи.

Протоны солнечных вспышек с энергиями 50—100 Мэв обычно отклоняются геомагнитным полем в полярные

шапки северного и южного полушарий. Они внедряются здесь в атмосферу Земли до высот порядка 30 км и могут быть отмечены счетчиками протонов на высотных аэростатах. При прохождении через атмосферу протоны, сталкиваясь с частицами воздуха, создают дополнительную ионизацию в нижних слоях ионосферы, что приводит к поглощению коротких радиоволн и нарушениям коротковолновой радиосвязи в высоких широтах. В отличие от внезапных ионосферных возмущений, эффекты, связанные с поглощением радиоволн в полярных шапках, могут наблюдаться здесь и на ночной стороне.

Поглощение радиоволн, вызванное приходом в атмосферу Земли солнечных протонов и электронов, определяется по ослаблению галактических радишумов. Изменение поглощения космических радишумов во время вспышки было зарегистрировано ридометрами на частоте 30 Мгц на станциях Бухта Шеферд (Арктика) и Мак-Мердо (Антарктика). Эти станции магнитносопряженные, так как находятся на концах одной и той же силовой линии и лежат внутри овалов полярных сияний. Географические координаты Мак-Мердо: 77°,8 ю. ш., 166°7 в. д.; Бухты Шеферд: 68°,8 с. ш., 266°,6 в. д.; геомагнитные широты станций $\pm 80^\circ$.

Периоды усиленного поглощения на обеих станциях совпадают по времени с максимальными интенсивностями потоков протонов, зафиксированных на спутниках. Таким образом, подтверждается возможность непосредственного внедрения нерелятивистских протонов с энергиями, меньшими



500 Мэв, в атмосферу полярных шапок.

После захода Солнца возникшие при внедрении протонов электроны взаимодействуют с молекулами воздуха, что приводит к уменьшению электронной плотности и, следовательно, к уменьшению поглощения. С восходом Солнца начинается процесс отделения электронов от образовавшихся в течение ночи ионов, и поглощение увеличивается. Различие в изменении поглощения в течение суток на станциях Бухта Шеферд и Мак-Мердо объясняется тем, что на первой станции атмосфера долго освещена Солнцем, на второй же станции солнечный свет проникает в атмосферу до высот порядка 30 км только в короткие промежутки времени. Сильное поглощение в северной полярной шапке не давало возможности расположенным здесь ионосферным станциям получать отражения от регулярных слоев ионосферы с 3 до 10 августа. По этой же причине условия радиосвязи между Европой, США и Канадой были в это время исключительно плохими.

МАГНИТНЫЕ БУРИ

Действие потоков солнечной плазмы, выброшенных при вспышках, на магнитосферу Земли порождает магнитные возмущения и бури. Столкновение межпланетной ударной волны, сопровождающей облако солнечной плазмы, с магнитосферой обычно отмечается на магнитограммах — записях изменений магнитного поля — небольшими кратковременными выбросами, получившими название внезапных начал магнитных бурь. Вслед за этим начинается первая фаза магнит-

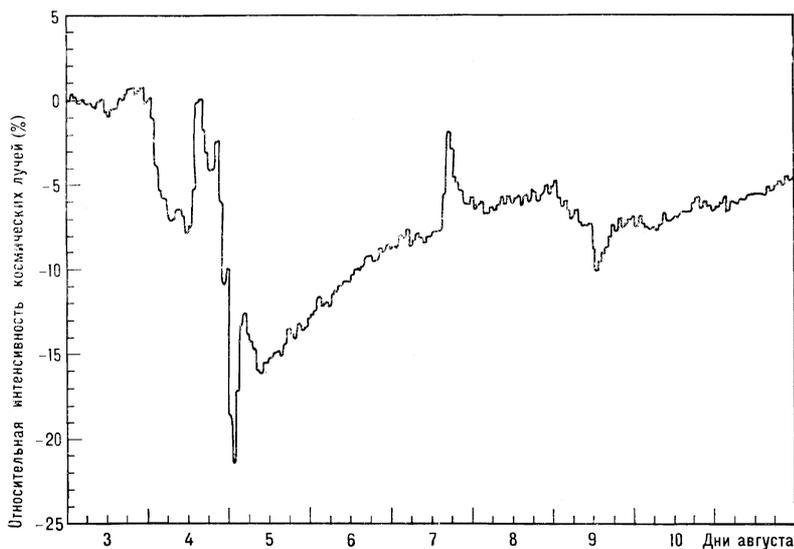
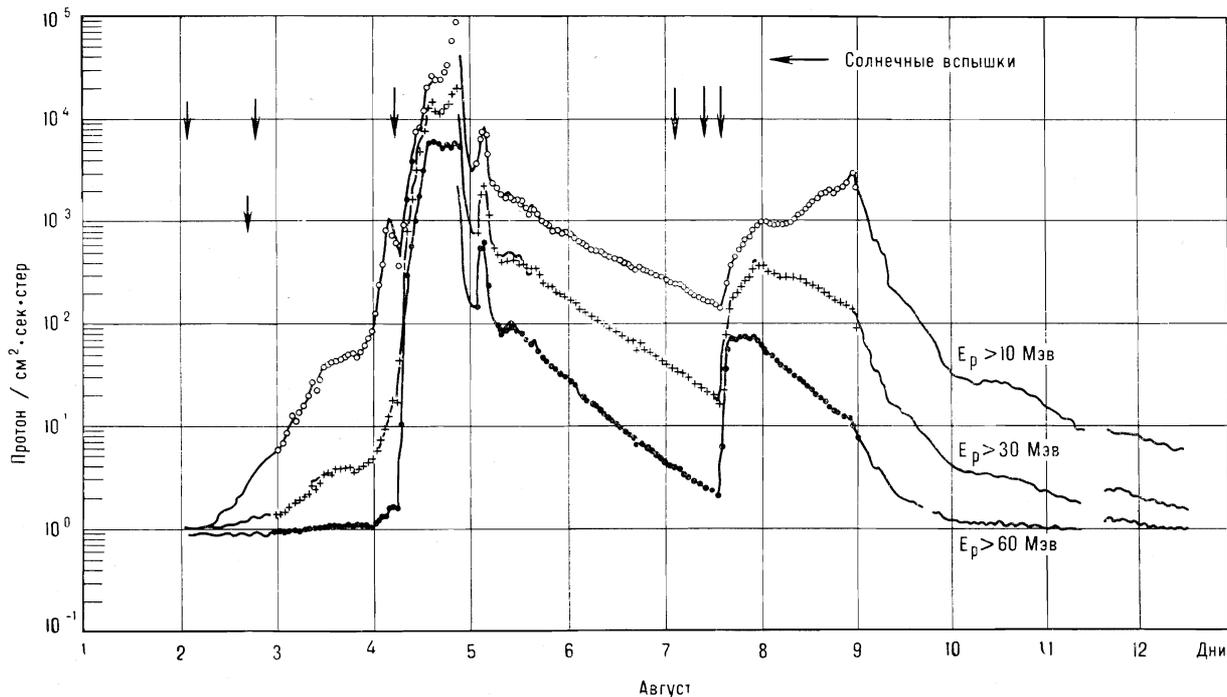
ной бури, во время которой в течение нескольких часов наблюдается небольшое усиление поля, обусловленное сжатием магнитных силовых линий геомагнитного поля плазменным облаком на дневной стороне магнитосферы. Далее идет более продолжительная, главная фаза бури. Для нее характерны значительное уменьшение горизонтальной составляющей геомагнитного поля и большие колебания величины поля, вызванные усилением электрических токов в магнитосфере и ионосфере. Главная фаза сменяется фазой восстановления, когда поле постепенно успокаивается и медленно, в течение многих часов, возвращается к своим прежним значениям.

Все три большие августовские вспышки сопровождались большими магнитными бурями. Первая буря началась внезапно 4 августа двойным скачком — в 01 час 19 минут и 02 часа 20 минут Всемирного времени, примерно через 30 часов после вспышки 2 августа. Максимальная величина скачков горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля была порядка 50 γ . Первая фаза бури, сопровождавшаяся незначительным увеличением напряженности, продолжалась около двух часов, после чего началась главная фаза бури с постепенным уменьшением напряженности, вызванным усилением кольцевого тока в магнитосфере. Оно было небольшим, порядка 300 γ , и сменилось около 06 часов фазой возвращения поля к невозмущенным значениям. Резкие выбросы, прерывающие постепенное уменьшение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля в главной фа-

зе, связаны по времени с полярными магнитными суббурями. Отклонения в горизонтальной и вертикальной составляющих магнитного поля во время этих суббурь достигали на станциях вблизи зоны полярных сияний тысячи и более гамм. Самый активный период возмущения был в промежутке от 03 часов до 06 часов Всемирного времени.

Третья буря примерно такой же величины, как первая, началась тоже двойным скачком: 8 августа в 23 часа 54 минуты и 9 августа в 00 часов 37 минут Всемирного времени. Между началом вспышки 7 августа и началом бури прошло около 33 часов, то есть запаздывание было того же порядка, что и 4 августа. Главная фаза бури началась в 04 часа, а фаза восстановления — около 11 часов 9 августа и закончилась примерно 12 августа. Третья буря также относится к категории сильных, но ничего особенного в ее поведении, по сравнению с обычными большими бурями, не наблюдалось.

В отличие от первой и третьей бурь, вторая была совершенно уникальной. Она возникла, когда еще бушевала первая буря, примерно через 14 часов после начала солнечной вспышки 4 августа. Наблюдались стремительные изменения поля, особенно в первые три часа. В обсерватории Коледж Фербенкс, на Аляске, 4 августа около 22 часов горизонтальная составляющая сначала быстро уменьшилась примерно на 2500 γ , а затем скачком увеличилась по отношению к нормальным значениям примерно на ту же величину. Амплитуда изменений вертикальной составляющей доходила в это время до 3000 γ . Другой осо-



Потоки протонов, приходящих от Солнца (по данным американских спутников «Эксплорер-41 и -43»). Показаны кривые, соответствующие энергиям протонов, превосходящим 10, 30 и 60 Мэв. На рисунке отмечены моменты солнечных вспышек: мощные вспышки — длинные стрелки, небольшие вспышки — короткие стрелки. Хорошо видно увеличение интенсивности потока (более чем в 1000 раз относительно фона) после

бурных событий на Солнце 4 и 7 августа. Сравнительно медленное ослабление интенсивности потока протонов связано с рассеянием их на неоднородностях межпланетного магнитного поля

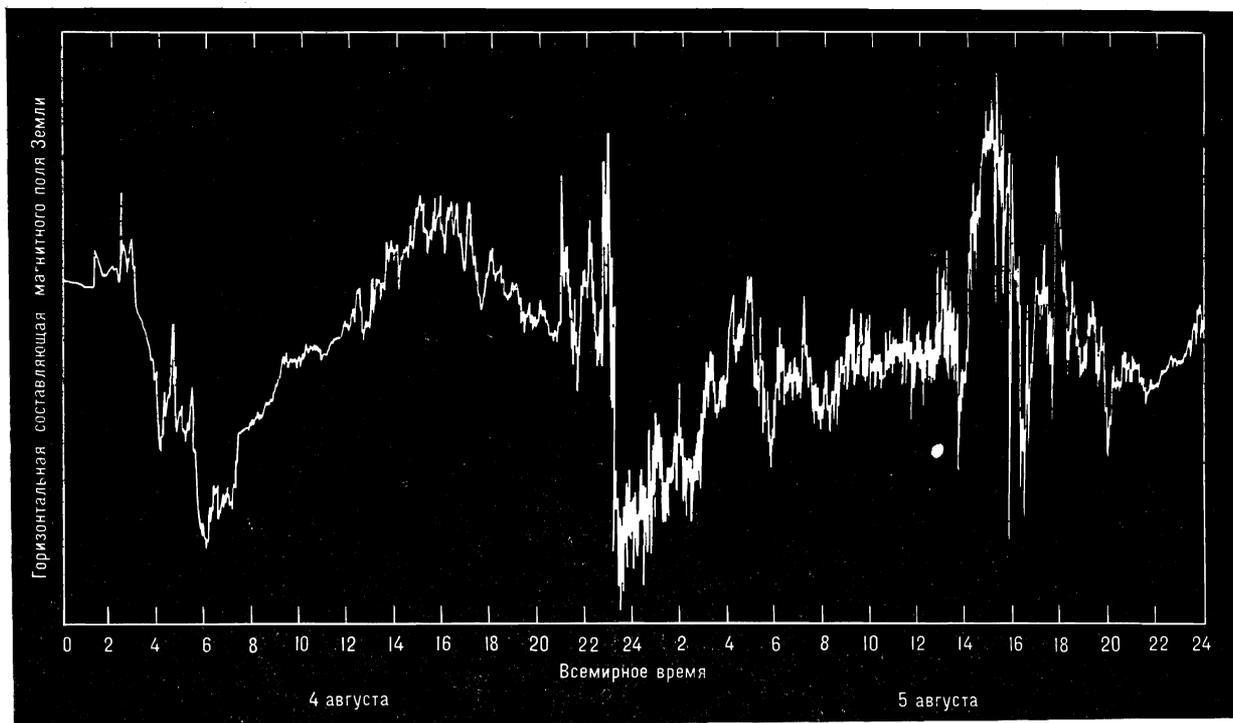
Изменение интенсивности космических лучей (в процентах от нормальных значений), зарегистрированное нейтронным монитором в Туле (Гренландия) со 2 по 12 августа

бенностью этого геофизического эффекта были гигантские пульсации магнитного поля с периодами около 5—10 минут. Амплитуда их в горизонтальной составляющей на Аляске доходила до 1000 γ , а на экваториальных станциях была порядка нескольких десятков гамм. Буря продолжалась около двух с половиной суток. Магнитные характеристики ее необычно велики, поэтому вторую бурю можно отнести к категории очень сильных.

ВОЗМУЩЕННАЯ ИОНОСФЕРА

Большие протонные солнечные вспышки всегда сопровождаются не только внезапными ионосферными возмущениями и усилением поглощения в полярных шапках, но также изменениями критических частот и высот регулярных слоев ионосферы. О первых двух эффектах, сопутствовавших августовским вспышкам, было уже сказано. Теперь, используя наблюдения ионосферной обсерватории Красная Пахра под Москвой, приведем данные об изменениях критических частот и высот наиболее подверженного возмущениям верхнего F_2 слоя ионосферы.

Большие уменьшения критических частот совпадали по времени с силь-



ными магнитными возмущениями. Возмущение в ионосфере 5 августа усиливалось вплоть до 20 часов, когда частоты слоя F_2 понизились на 75%. На изменения частот, вызванные возмущением, накладывались регулярные увеличения частоты от ночи к полудню примерно от 3 до 7 Мгц. Высота слоя F_2 во время этого возмущения возросла в 1,5—2 раза. Аналогичная картина наблюдалась и при возмущении с 9 по 13 августа, но критические частоты были в среднем меньше на 15—20%, и только в ночь с 9 на 10 августа в течение нескольких часов они стали ниже средних значений на 50%. Подобные изменения критических частот и высот слоя также сопровождалось нарушениями связи на коротких волнах.

Интересно, что периоды наибольшего уменьшения критических частот совпадают по времени с увеличением высоты слоя F_2 и ростом температуры, а также плотности верхних слоев атмосферы из-за магнитного возмущения. Все эти выводы получены из наблюдений заторможенного движения спутников во время августовских событий.

Буря 4—7 августа должна была сопровождаться интенсивными полярными сияниями, которые предполагалось наблюдать в зените в темное время суток на геомагнитных широтах около $\pm 50^\circ$. Однако условия для наблюдений оказались неблагоприятными. На крайнем севере в это время царил полярный день, а в субавроральной зоне — белые ночи. Кроме того, самые резкие уменьшения горизонтальной составляющей магнитного поля 4 и 5 августа, когда можно было ожидать наибольшего развития сияний в восточном полушарии Земли, пришлись на светлое время суток. Поэтому сведений о полярных сияниях в эти дни оказались немного: они получены с территории США и немногих мест Западной Европы. Около 04 часов Всемирного времени 4 августа красные сияния наблюдались в зените в Колорадо, а между 23 и 24 часами того же дня — над южной Англией.

■ *Колебания горизонтальной составляющей магнитного поля Земли за 4 и 5 августа 1972 года, записанные в магнитной обсерватории Гуанькой (Перу)*

В это же время они были видны у горизонта в Чехословакии и Швейцарии.

К последствиям августовских вспышек относятся и помехи в радиосвязи на ультракоротких волнах, которые были вызваны радиоизлучением Солнца, и помехи в работе радионавигационных систем, и колебания напряжения на высоковольтных и телеграфно-телефонных линиях.

Какую опасность могли создать вспышки 4 и 7 августа для космонавтов, если бы они находились в это время в открытом космосе? Опасность, безусловно, была бы серьезной. Суммарная доза радиации за все время вспышек внутри космического корабля могла бы составить 100 рад, а это грозит сильным лучевым поражением. Поэтому задача ученых в настоящее время — научиться предсказывать на много дней и недель вперед солнечные вспышки.



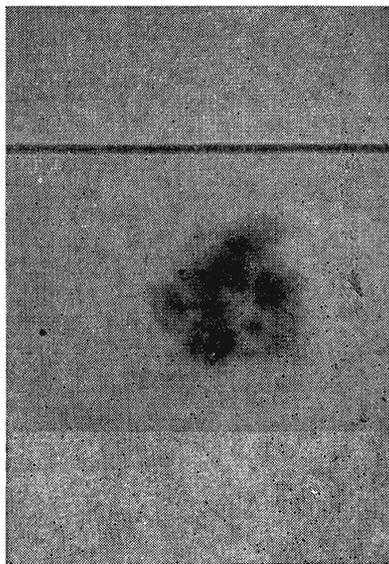
Кандидат физико-математических наук
В. Ф. ЧИСТЯКОВ

Необычные явления на Солнце

1 сентября 1859 года Кэррингтон в Англии и Ходжсон в Индии, наблюдая Солнце в обычный телескоп, заметили в крупной группе пятен две светящиеся дужки, напоминавшие по форме лунный серпик. Они быстро двигались в восточном направлении. Скорость смещения составляла примерно 200 км/сек, что, как теперь известно, в 1000 раз превышает обычно наблюдаемые скорости движения в фотосфере. Светящиеся детали в пятнах были видны на протяжении пяти минут и прошли путь около 58 000 км. В начале их яркость превосходила яркость соседней с пятнами фотосферы. Затем детали быстро ослабели и постепенно потускнели. Это явление, названное по имени одного из наблюдателей явлением Кэррингтона, было замечено во время крупной магнитной бури на Земле. В период с 28 августа по 4 сентября 1859 года на всей планете наблюдались полярные сияния. Природа явления Кэррингтона не понята до сих пор, хотя оно, вероятно, связано с хромосферной вспышкой.

По рисунку, сделанному Кэррингтоном, можно судить, что крупная группа пятен в сентябре 1859 года относилась к разновидности групп с аномальной структурой. В них нарушается часто встречаемая биполярная структура, когда пятна северной и южной магнитной полярности разделены относительно спокойным участком фотосферы. В аномальных группах ядра с разной магнитной полярностью охвачены общей полутьной, а сами магнитные полюса иногда довольно хаотично меняются местами. Крупные группы пятен с аномальным строением характеризуются повышенной

Иногда в крупных группах солнечных пятен наблюдаются явления, природа которых до сих пор не понята.



вспышечной активностью.

Одна из аномальных групп пятен проходила по диску Солнца в первой декаде августа 1972 года. Она располагалась в северном полушарии Солнца (широта $+13^{\circ},5$; долгота $9^{\circ},5$). Группа была видна невооруженным глазом. Площадь ее составляла около 1300 миллионных долей солнечной полусферы.

Большая группа солнечных пятен, которая проходила по диску Солнца в августе 1972 года. В этой группе наблюдались мощные хромосферные вспышки. Снимок получен на Уссурийской солнечной станции

В самой группе пятен и ее окрестностях наблюдались многочисленные хромосферные вспышки, среди которых вспышки 2, 4 и 7 августа были очень мощными. Активные процессы в этой группе сопровождалась сильной и продолжительной магнитной бурей на Земле. (Обстоятельства развития активных процессов в группе и связанные с ними последствия на Земле изложены в статье Н. В. Пушкова, опубликованной в этом номере журнала.— Ред.)

В августовской группе 1972 года наблюдались и два необычных явления. Первое было замечено на Уссурийской солнечной станции 2—3 августа. На частоте 208 МГц радиоастрономы зарегистрировали мощный всплеск с тремя пиками. Максимальный поток радиоизлучения превысил уровень спокойного Солнца более чем в 10 раз. Радиовсплеск породила крупная хромосферная вспышка, которую удалось сфотографировать в разрыве между облаками, когда радиовсплеск уже пошел на убыль. И даже в это время ее мощность оказалась довольно высокой.

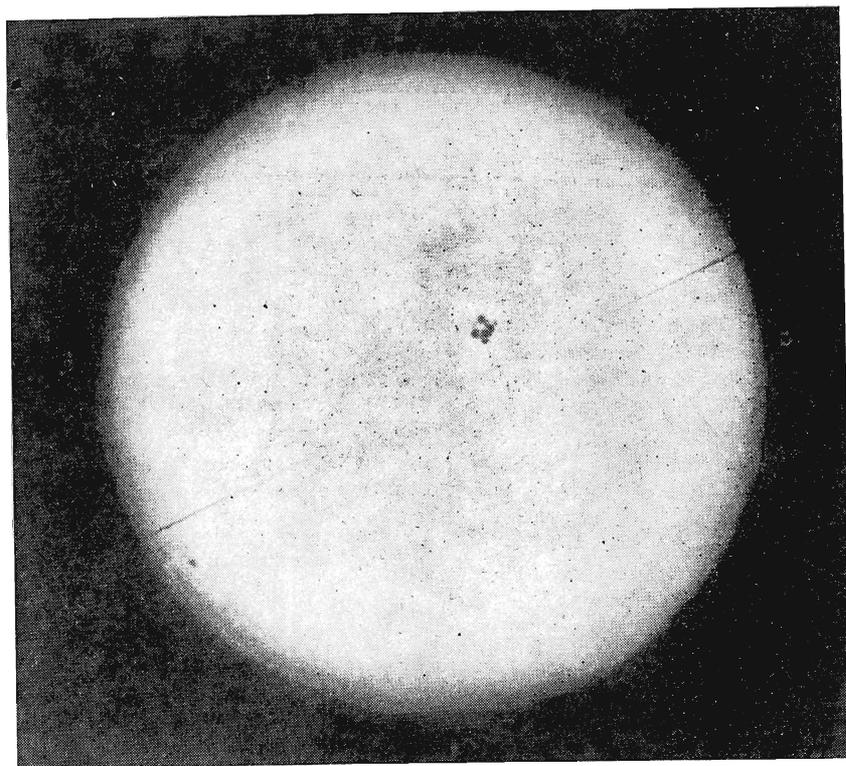
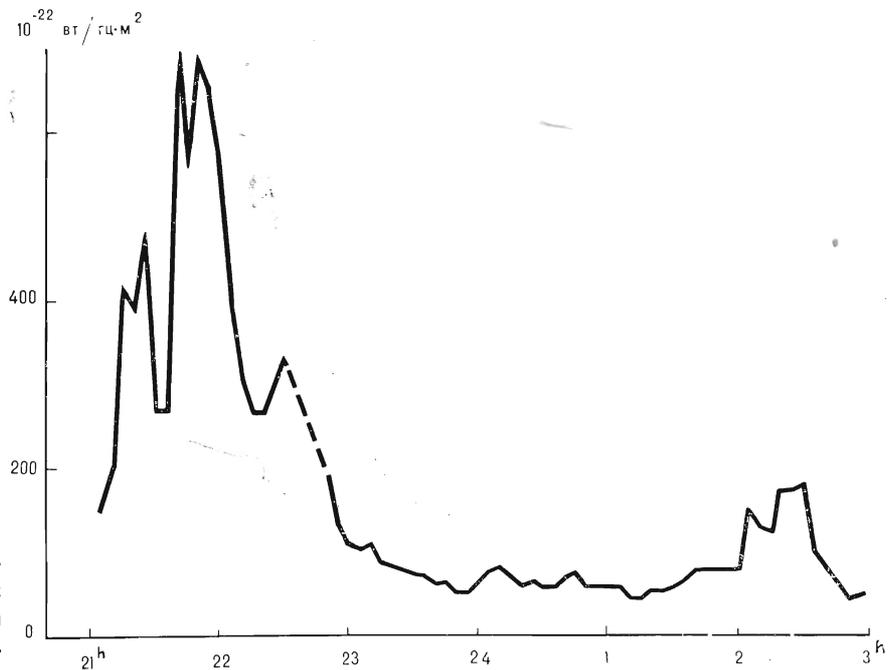
Очень интересные явления, связанные с группой пятен и вспышкой, астрономы обнаружили на фотографиях Солнца, которые были сделаны в сине-фиолетовой части непрерывного спектра. На снимках видна светлая область фотосферы, примыкающая к пятну. Вначале она располагалась юго-западнее пятна. Ее площадь была примерно в 2 раза меньше площади пятна, а превышение яркости над фотосферой составляло 22%. Такому превышению яркости над фоном соответствует дополнительный разогрев фотосферы на 400° . Любопытно, что в

этот же момент времени хромосферная вспышка находилась на северо-восточной окраине пятна, то есть вспышка и светлая область наблюдались в различных участках солнечной поверхности. Поэтому светлую область нельзя квалифицировать как «вспышку в белом свете». Светлая область фотосферы сохранилась и после окончания вспышки.

На снимках, полученных позднее, можно проследить последовательное перемещение светлой области через пятно к востоку. Скорость ее смещения составила 3 км/сек.

Светлая область фотосферы около пятна скорее всего относится к разновидности внешних светлых колец, которые часто окружают пятна. Обычно их яркость на 3—5% выше яркости фотосферы. Создается впечатление, будто сильная вспышечная активность в августовской группе вызвала колебательные движения светлого кольца, которое выродилось в светлую область рядом с пятном. Подобные факты могут оказаться весьма полезными для истолкования природы пятен.

Другое необычное явление наблюдали любители астрономии А. Мельников и В. Лапин в городе Дубне Московской области 4 августа 1972 года. С 13 часов 30 минут до 14 часов Всемирного времени они отметили в крупной группе пятен темную красноватую окраску. По словам одного из наблюдателей, краснота появилась в северо-восточной части пятен, потом перекинулась на юго-западную часть. Образование было неправильной формы с овальными выступами. Краснота, продержавшись на северо-восточной стороне пятен минуты три, потускнела, вслед за ней стала прини-



Всплеск радиои兹лучения, зарегистрированный уссурийскими радиоастрономами на частоте 208 Мгц 2—3 августа 1972 года. Радиовсплеск был связан с мощной хромосферной вспышкой

Солнце 4 августа 1972 года. Почти в центре диска видна группа пятен, в которой любители астрономии А. Мельников и В. Лапин заметили красноватую окраску



мать прежнюю окраску и юго-восточная часть пятен. Однако через минуту это явление повторилось, но менее тусклое, и, продержавшись минут 15—20, исчезло.

На основе такого словесного описания очень трудно представить, что в действительности наблюдали авторы. Согласно данным наблюдений международной сети Службы Солнца, с 13 до 14 часов Всемирного времени в группе были замечены две хромосферные вспышки. Вторая из них, по наблюдениям в Цюрихе, с 13 часов 24 минуты до 13 часов 42 минуты достигла площади 3,8 кв. градуса. Яркость отдельных узлов вспышки превышала яркость непрерывного спектра в 2 раза. Если брать данные только одной обсерватории (Цюриха или Арчетри), то можно заметить, что именно вторая вспышка развивалась западнее первой. Подобные совпадения дают основания предполагать, что А. Мельников и В. Лапин наблюдали явление хромосферной вспышки в «красном свете». Такие наблюдения — большая редкость. Не исключено, что причиной покраснения могли быть и плотные облака протуберанцев, выброшенные вверх из области вспышки.

Аномальные явления, описанные в данной статье, вероятно, привлекут внимание и специалистов, и любителей астрономии. Ведь все новое и необычное позволяет исследователю рассмотреть изучаемый объект с другой стороны, выявить какие-то важные его специфические особенности.

РЕНТГЕНОВСКИЕ СНИМКИ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ С БОРТА «СКАЙЛЭБ»

До недавнего времени астрономы очень мало знали об интенсивности рентгеновского излучения Солнца и его распределении по диску светила. Немногие рентгеновские снимки Солнца, полученные со спутников и ракет в течение последних четырех-пяти лет, не обладали ни достаточной чувствительностью, ни достаточно хорошим разрешением для того, чтобы судить о строении короны и процессах, происходящих в ней.

В мае 1973 года на околоземную орбиту была выведена американская орбитальная станция «Скайлэб». На ее борту находился рентгеновский телескоп. Его зеркало из плавленного кварца площадью 42 см² и фокусным расстоянием 213 см позволило достичь на лучших снимках пространственного разрешения 2 секунды дуги.

Американские космонавты многократно фотографировали солнечную корону в шести узких участках спектра от 3 до 60 А. Первое, что привлекает внимание, когда рассматриваешь эти снимки, — полное отсутствие «спокойной, однородной» короны. Яркие источники и крупномасштабные волокнистые образования покрывают значительную часть солнечной поверхности, причем не только над активными областями, но и в местах, ранее считавшихся спокойными. Сравнение геометрии корональных структур и лежащего ниже фотосферного магнитного поля показало,

что во всех случаях источники коронального излучения хорошо следуют картине распределения фотосферного магнитного поля, а наиболее ярким источникам и волокнам соответствуют аналогичные образования в фотосфере и хромосфере.

Вторым не менее важным результатом является вывод о том, что большинство корональных структур имеет явно выраженную замкнутую конфигурацию в виде замкнутых петель. Значит, почти все горячее вещество короны заключено в трубки магнитного поля, основанием которых служат области, где магнитное поле в фотосфере усиливается. Согласно современным представлениям, корональный газ в этих трубках нагрет до температуры 2—4 млн. градусов, а над активными областями — до 8 млн. градусов. В тех же местах, где магнитные поля имеют открытую структуру (например, вблизи полюсов), на снимках наблюдаются темные области, получившие название черных корональных полостей, или «дыр». В центре этих «дыр» в фотосфере существует слабое радиальное магнитное поле, а на границах — расходящееся поле. Температура коронального вещества в «дырах» 1,3—1,5 млн. градусов.

На диске Солнца впервые обнаружены яркие компактные точки. В некоторых случаях их удалось отождествить с небольшими биполярными магнитными областями. Появление ярких точек, вероятно, связано с зарождающимися активными областями.

«Solar Physics», 32, 1, 1973.



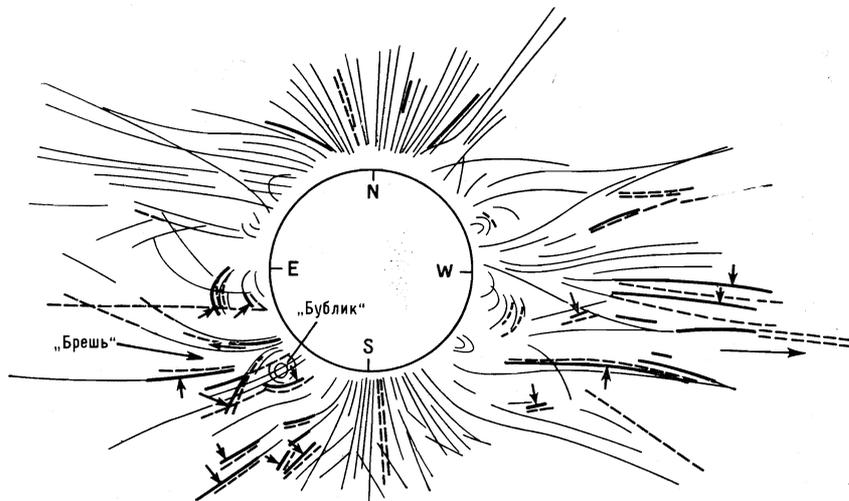
Снимок Солнца в рентгеновских лучах, полученный на станции «Скайлэб» 28 мая 1973 года. На диске Солнца и за его краем видны яркие активные области и другие структурные образования короны. Выделяются светлые дуги, соединяющие отдельные активные области в комплексы активности. Под снимком дана расшифровка наиболее важных деталей

СОВЕТСКО-ФРАНЦУЗСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ

В начале века русский астроном А. П. Ганский предложил исследовать движения в солнечной короне по снимкам, сделанным на однотипных инструментах, которые устанавливались вдоль полосы полной фазы затмения. Наиболее успешно идея Ганского была реализована советскими астрономами 19 июня 1936 года. С. К. Всехсвятский и Е. Я. Бугославская с интервалом 2 часа сфотографировали корону на 5-метровых стандартных коронографах. Изучив снимки, они впервые обнаружили, что корона вращается так же, как лежащая ниже фотосфера (кватервердотельное вращение).

В настоящее время интерес к динамике солнечной короны значительно возрос. Общепризнано, что корона — источник солнечного ветра в межпланетном пространстве. Однако какие процессы выносят солнечную плазму со сверхзвуковой скоростью и какие области короны самые геоэффективные, еще предстоит выяснить.

В 1971 году постоянно действующая Советско-французская комиссия по научно-техническому и экономическому сотрудничеству включила тему «Динамика солнечной короны» в планы совместных исследований. Выполнение этой работы было возложено на Астрономический совет АН СССР, Киевский универ-



ситет (руководители — профессор С. К. Всехсвятский и профессор Г. М. Никольский) и на Парижский астрофизический институт (руководитель доктор С. Кучмий). Советские и французские ученые разработали и построили три однотипных 3-метровых коронографа. Инструменты снабжены радиальными нейтральными светофильтрами, компенсирующими высокую яркость внутренней короны. Такие фильтры располагаются перед фотопластинкой.

Первые совместные наблюдения были проведены во время полного солнечного затмения 10 июля 1972 года. Кафедра астрономии Киевского университета направила экспедиции на Камчатку и Чукотку, Парижский астрофизический институт — в Канаду. Успех сопутствовал только наблюдателям на Чукотке, в других местах сплошная облачность помешала выполнить намеченную программу.

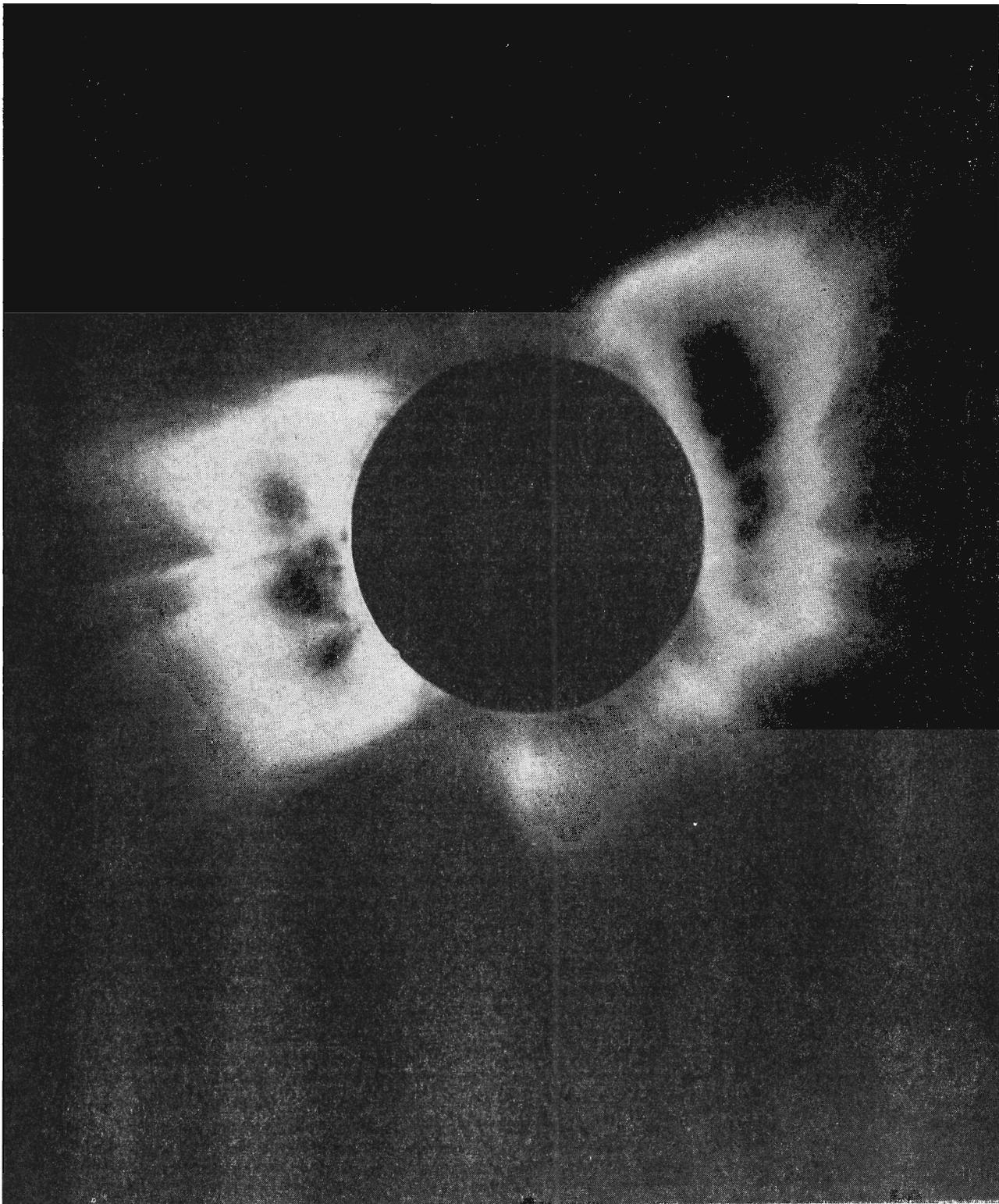
Более успешно прошел совместный эксперимент во время затмения 30 июня 1973 года. Советские астрономы сфотографировали корону в Атаре (Мавритания), французские — в Моссоро (Республика Чад). Сделано две серии снимков короны

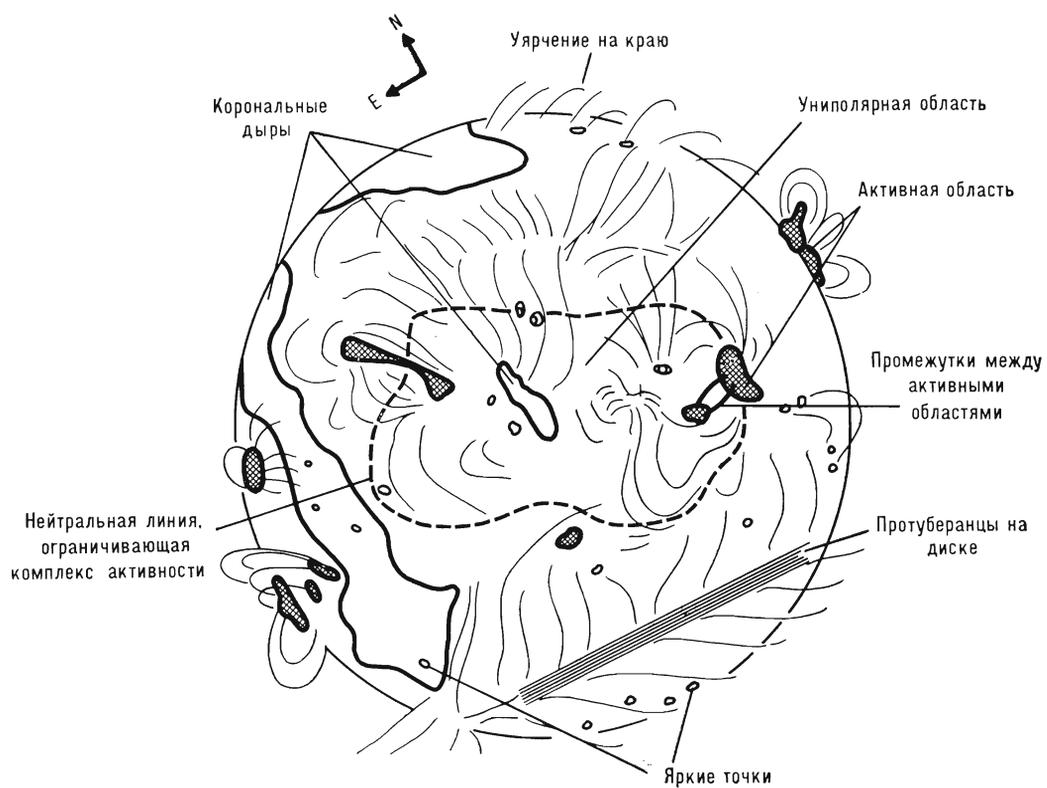
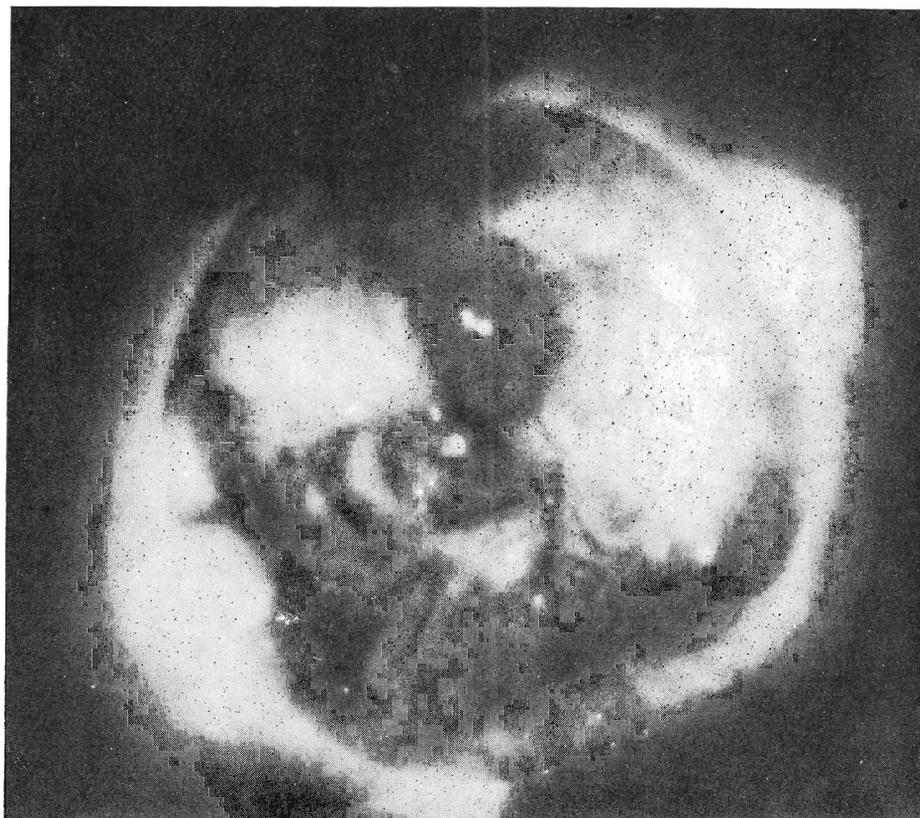
с интервалом 80—90 минут. Радиальные светофильтры позволили запечатлеть на фотографии корону от лимба до расстояния в четыре солнечных радиуса. На оригинальных негативах удалось выявить многочисленные тонкие структурные детали. Такого качества снимки и со столь большим временным интервалом получены впервые.

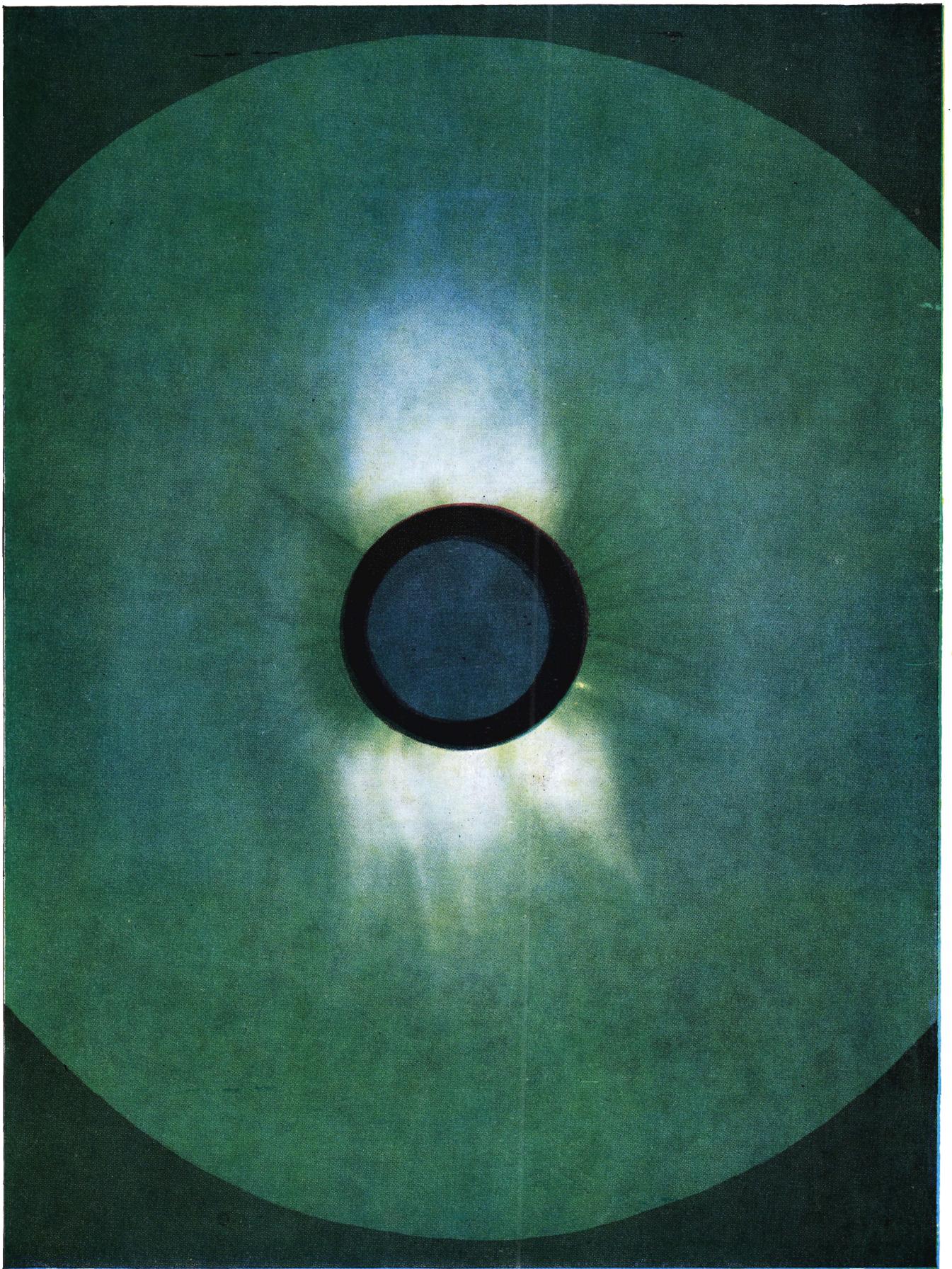
Детальное сравнение снимков показывает многочисленные изменения в короне. Наиболее существенные из них произошли в юго-восточной и западной частях средней и внешней короны. В западной области изменялось направление и

Солнечная корона 30 июня 1973 года. Корону сфотографировали на 3-метровом коронографе с радиальным фильтром французские астрономы С. Кучмий и Г. Фаго. Через отверстие в центре фильтра видна Луна. Некоторая асимметричность Луны относительно солнечного диска объясняется тем, что снимок сделан в 88 км южнее центральной линии полосы полной фазы затмения, в Моссоро (Республика Чад)

Схематический рисунок короны 30 июня 1973 года. Он сделан по негативам, полученным советскими и французскими астрономами в Атаре и Моссоро. Тонкими линиями изображены детали, которые не изменились за полтора часа наблюдений. Широкими линиями выделены корональные образования, наблюдавшиеся только в Атаре, пунктиром — только в Моссоро. Стрелками указано направление движений деталей







Солнечные протуберанцы

кривизна корональных струй, замечено исчезновение лучей и быстрое движение (скорость 90—140 км/сек) отдельных корональных сгустков. Возможно, эти детали короны просто унес солнечный ветер.

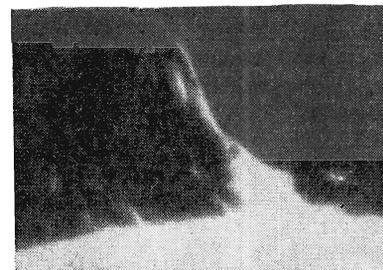
Повышенная динамическая активность юго-восточной области, очевидно, связана с глубокой «брешью» в короне и образованием замкнутой структуры, похожей по форме на бублик. Подобная замкнутая структура встречается впервые. Обычно все корональные детали исходят из хромосферы. Почти все детали в этой области движутся прочь от «бреши» со скоростью 3—9 км/сек. Здесь также наблюдалось появление и исчезновение лучей, образование резких границ между отдельными деталями. Некоторая перестройка структуры зарегистрирована и в полярных областях Солнца: появлялись и исчезали полярные лучи, менялась яркость деталей.

Всего за полтора часа в короне формировались и распадались полярные лучи и корональные струи; изменялось направление и кривизна корональных структур, и они существенно смещались; отделялись сгустки корональной плазмы, которые двигались от Солнца. В то же время глобальные характеристики короны оставались прежними. Самые бурные динамические процессы присущи тем областям средней и внешней короны, где «открытая» структура магнитного поля и пониженная яркость. Такие области, называемые теперь корональными дырами,— наиболее активные генераторы солнечного ветра.

Кандидат физико-математических наук
Н. И. ДЗЮБЕНКО
Доцент А. Т. НЕСМЯНОВИЧ

Корона 10 июля 1972 года. Снимок сделан через радиальный фильтр на 3-метровом коронографе. А. Т. Несмянович и Н. Н. Близнюк наблюдали затмение на косе Русская Кошка, вблизи города Анадырь

Более ста лет исследуют астрономы протуберанцы. Но лишь в последние годы стала проявляться природа этих необычайно массивных и холодных образований в разреженной и горячей короне.

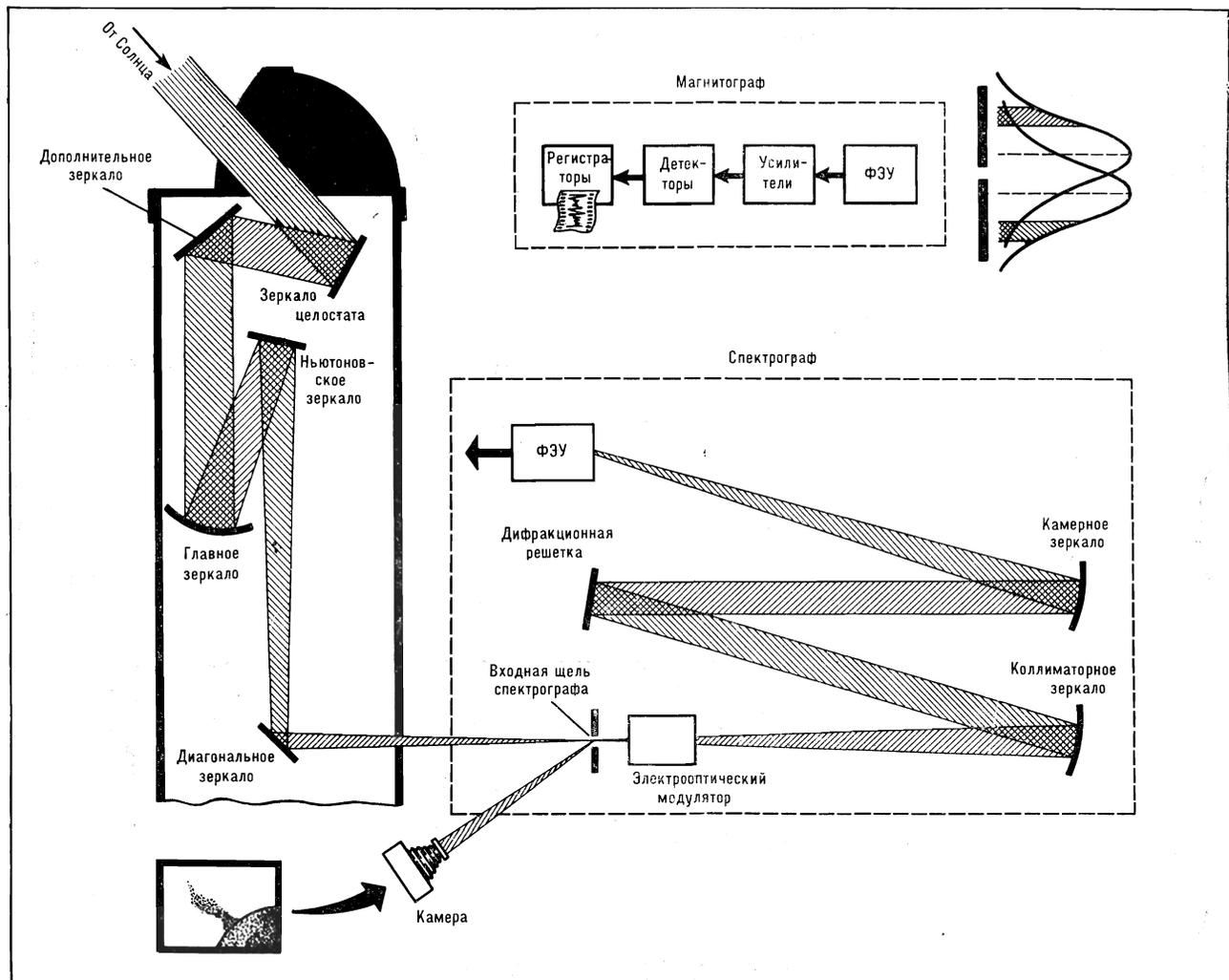


КАК ИЗУЧАЮТ ПРОТУБЕРАНЦЫ

Протуберанцы, пожалуй, одно из самых красивых явлений на Солнце. Впервые «красные языки» пламени на краю Солнца увидели во время полных солнечных затмений в средние века. Вновь протуберанцы были открыты только во время полного солнечного затмения 1842 года к удивлению таких известных астрономов, как О. Струве и Ф. Араго. Основываясь на их описаниях, астрономы еще почти 20 лет считали протуберанцы горами на Солнце. И лишь в 60-х годах прошлого столетия, после того как были получены фотографии и спектры протуберанцев, стало ясно, что они представляют собой облака газа, висящие в солнечной атмосфере.

В настоящее время астрономы уже много знают о физической природе протуберанцев. Большие солнечные телескопы и коронографы позволяют «видеть» на Солнце детали размером в несколько сот километров. В комбинации с телескопами часто используются спектрографы, на которых исследуется спектр протуберанцев, состоящий из водородных и металлических линий. По спектрам определяют температуру, давление, скорости. Очень эффективным средством изучения движений протуберанцев оказалась замедленная киносъемка. Впервые она была применена в 1920 году

Фотографии активного протуберанца, полученные 16 августа 1968 года М. Вальдмайером в различных участках линии H_{α} . Детали протуберанца, видимые на верхнем снимке и невидимые на нижнем, движутся от наблюдателя



французским ученым Е. Петитом. Кинофильмы снимаются со скоростью несколько кадров в минуту, а проматриваются со скоростью 16 кадров в секунду. Это дает возможность в течение нескольких минут проследить за изменениями протуберанца, которые в действительности происходили на протяжении нескольких часов.

Всего сильнее протуберанцы светятся в красной водородной линии H_{α} . Поэтому на большинстве обсерваторий наблюдают протуберанцы через монохроматические фильтры, пропускающие эту линию. Идею монохроматического фильтра предложил в 1933 году талантливый французский

астрофизик Б. Лيو. Кстати, тот же Лео ранее, в 1920 году, изобрел внезатменный коронограф, который дал возможность наблюдать протуберанцы не только во время затмений

■ *Ход лучей в башенном телескопе и блок-схема магнитографа Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР (упрощенный вариант). Оптика телескопа строит изображение Солнца на входной щели спектрографа. В спектрографе свет разлагается в спектр, и линия, по которой измеряется магнитное поле протуберанца, подается на магнитограф. Его входная щель вырезает свет попеременно от обоих крыльев линии*

Солнца, но и в любое время при ясном небе.

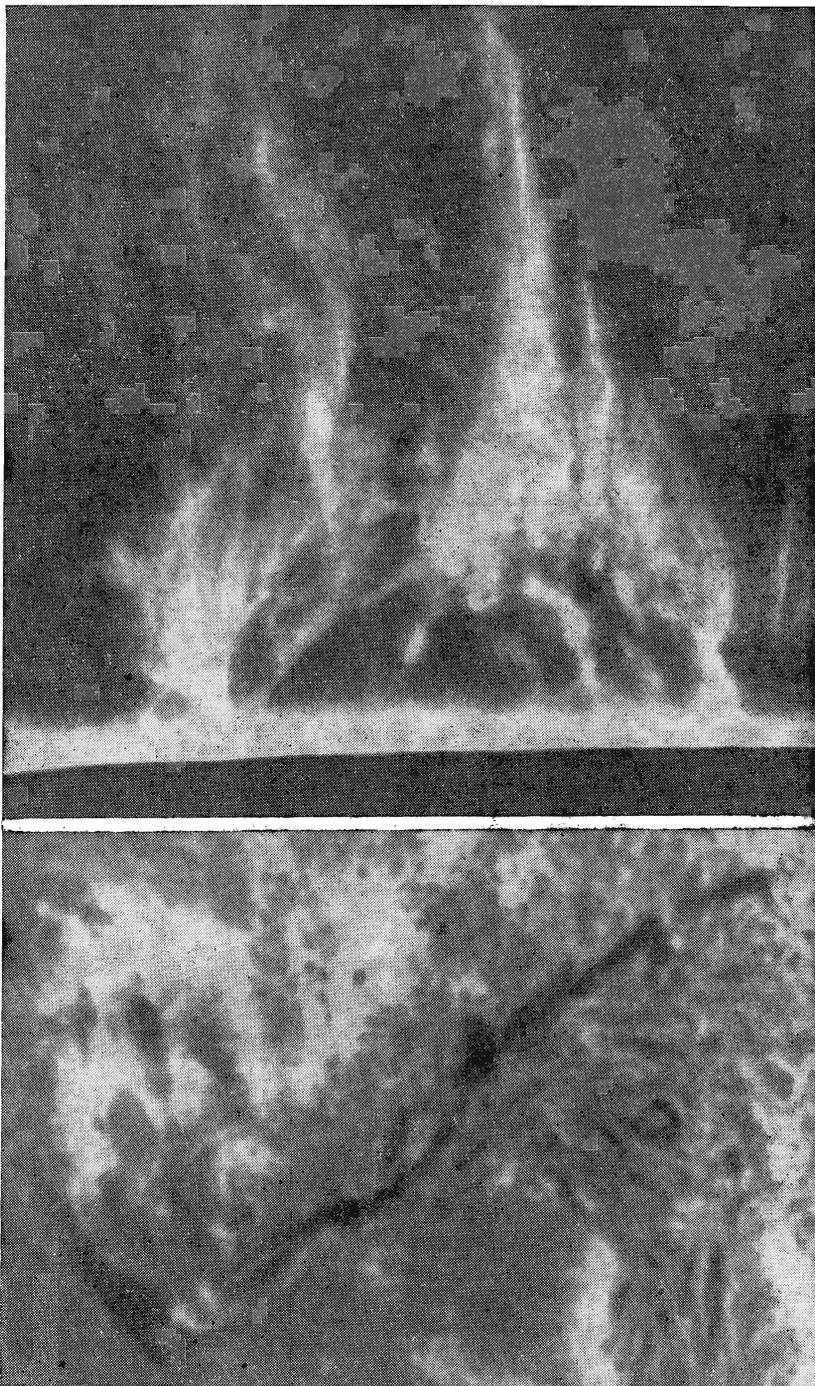
Первые светофильтры имели полосу пропускания примерно в 20 раз шире самой линии H_{α} — около 20 Å. У лучших современных светофильтров она в несколько раз уже линии. Наблюдатель может перемещать полосу вдоль контура линии. Из-за эффекта Доплера те детали протуберанца, которые движутся относительно наблюдателя, обладают различной яркостью в разных крыльях линии. Поэтому, сравнивая снимки, полученные в красном и синем крыльях линии H_{α} , астрономы определяют скорости отдельных деталей.

Развитие протуберанца тесно связано с магнитными полями. Измерение магнитных полей в протуберанцах началось только в начале 60-х годов, хотя магнитограф — фотоэлектрический прибор для измерения магнитных полей — был изобретен в конце 40-х годов. Такая задержка объясняется сложностью самого эксперимента.

Как известно, в магнитном поле спектральные линии расщепляются на отдельные поляризованные составляющие (эффект Зеемана). Расщепление прямо пропорционально величине поля. При больших полях (около 1000 э) эти составляющие на фотографии видны раздельно. При малых полях они накладываются друг на друга, и тогда расщепление можно обнаружить лишь чувствительным фотоэлектрическим способом, воспользовавшись различной поляризацией составляющих линий. Проще всего это сделать для продольного поля, когда спектральная линия расщепляется на две составляющие. Специальное устройство пропускает на щель магнитографа свет попеременно то одной, то другой составляющей. Поскольку их яркость в крыле из-за магнитного расщепления различна, возникает амплитудная модуляция светового потока, величина которой пропорциональна величине поля. Переменный электрический сигнал после фотоумножителя усиливается и регистрируется. В линиях, по которым измеряется магнитное поле протуберанцев, расщепление носит более сложный характер, однако принцип измерения остается тем же.

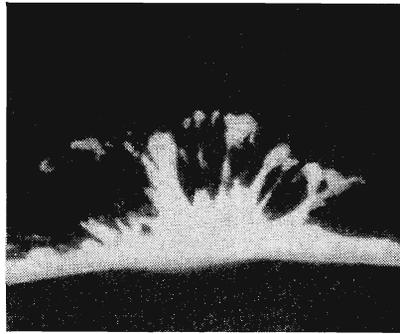
ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ПРОТУБЕРАНЦАХ

Протуберанец — это сравнительно холодный плотный газ (температура



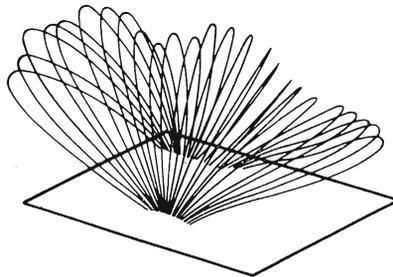
■ Спокойный протуберанец. Колонны соединяют протуберанец с хромосферой. Снимок сделан на американской обсерватории Сакраменто. Пик

■ Темное спокойное волокно в линии H_{α} , сфотографированное на обсерватории Локхид (США)



5000—10 000°K, плотность частиц 10^{10} — 10^{12} в 1 см^3 , окруженный короной, примерно в 100 раз более горячей и менее плотной. На краю солнечного диска протуберанцы выглядят в лучах H_α как светлые облака, на диске — как темные волокна из-за того, что диск ярче (протуберанцы больше поглощают, чем излучают). Грубо можно разделить протуберанцы на спокойные, активные и эруптивные.

Спокойные протуберанцы лежат обычно либо на границах активных областей, либо внутри активной области — там, где изменяется полярность магнитного поля фотосферы. Они могут существовать несколько месяцев, почти не меняя своей формы. На краю диска Солнца спокойные протуберанцы похожи на вертикальный занавес толщиной 3000—5000 км, высотой 10 000—50 000 км, длиной до 200 000 км. Иногда они напоминают частокол или воронку. Спокойные протуберанцы медленно растут в длину, перемещаясь к полюсам. Ближайший к экватору конец вращается быстрее, поскольку скорость вращения Солнца увеличивается к экватору. Поэтому с течением времени спокойный протуберанец вытягивается почти параллельно экватору. С хромосферой протуберанец соединен несколькими колоннами, в которых газ течет вниз. Бывает, что такие спокойные протуберанцы активизируются, форма их меняется, в хромосферу опускаются потоки газа. При этом часто наблюдаются колебания волокон (горизонтальные и вертикальные) с периодом в несколько минут. В ряде случаев такое поведение волокна может означать, что вскоре возникнет хромосферная вспышка.



Активные протуберанцы обычно видны внутри или вблизи активных областей с пятнами и яркими флоккулами, они меньше спокойных протуберанцев. Форма их очень разнообразна (они напоминают деревья, облака, петли, смерчи) и может быстро, буквально за несколько минут, измениться. Время жизни активных протуберанцев не больше нескольких суток. Активные протуберанцы горячее спокойных, хотя все еще намного холоднее окружающей короны. В их внешних слоях, переходных к короне, температура быстро увеличивается до корональной. Подобные горячие оболочки существуют также и вокруг спокойных протуберанцев. Эти оболочки дают ультрафиолетовое излучение, обнаруженное в последние годы искусственными спутниками. Активные

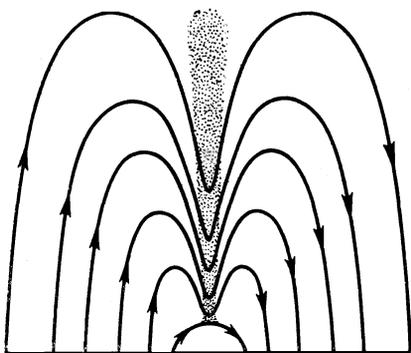
■ *Протуберанец, наблюдавшийся вблизи солнечных пятен. Фотография получена на американской высокогорной обсерватории Сакраменто Пик*

■ *Структура магнитных силовых линий того же протуберанца, рассчитанная на основании измерений магнитного поля в фотосфере*

протуберанцы состоят из холодных и горячих элементов. Холодные элементы имеют температуру 5000—10 000°K, горячие — 20 000—40 000°K. Плотность частиц в активных протуберанцах в несколько раз выше, чем в спокойных. Вообще говоря, физическая природа спокойных и активных протуберанцев, по-видимому, различна.

Иногда и спокойные, и активные протуберанцы могут внезапно взлетать вверх в виде огромной арки, поднимаясь на высоту до одного радиуса Солнца и выше. Такие протуберанцы называются эруптивными. Почти половина всех спокойных протуберанцев испытывает хотя бы однажды такой взрыв. В начале взрыва середина волокон поднимается с возрастающей скоростью, в то время как один или оба конца могут оставаться закрепленными в хромосфере. Когда большая часть протуберанца уже вылетела, оставшийся газ начинает стекать вниз вблизи колонн протуберанца. Примерно в 70% случаев через день-два протуберанец восстанавливается. Скорости подъема достигают нескольких сот километров в секунду, а бывает, что превышают и параболические, то есть 618 км/сек. Тогда вещество уходит от Солнца совсем.

Рассмотрение траекторий петель, движения отдельных узлов активных протуберанцев показывает, что они следуют магнитным силовым линиям короны. В последнее время это чисто интуитивное предположение получило достаточно веское подтверждение. Под протуберанцами, на уровне фотосферы были измерены магнитные поля, по которым удалось рассчитать (в предположении, что токи в короне отсутствуют) ход магнитных силовых



линий в короне. Полученная конфигурация магнитных силовых линий оказалась очень похожей на наблюдаемые системы петель в петлеобразном протуберанце. Однако магнитное поле не только «наводит порядок» в движении материи активных протуберанцев, оно важно и для самого существования как активных, так и спокойных протуберанцев.

Что известно сейчас о магнитных полях протуберанцев? Первые наблюдения магнитных полей в фотосфере показали, что спокойные волокна лежат над линией изменения полярности поля — там, где вертикальная составляющая магнитного поля равна нулю, — почти точно следуя изгибам этой линии. По обе стороны от волокна расположены области с противоположными полярностями магнитного поля. В самих же протуберанцах поля такие: в спокойных — около 6 э, в активных — раз в 10 больше. Ориентация поля в протуберанце изучена недостаточно, однако установлено, что поле имеет составляющие, направленные и вдоль, и поперек протуберанца. Данные о магнитных полях еще немногочисленны, но они все же помогают ответить хотя бы качественно на основные вопросы, связанные с образованием и устойчивостью протуберанцев.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПРОТУБЕРАНЦЕВ

Откуда берется вещество протуберанца и каким образом это вещество приобретает относительно низкую по сравнению с короной температуру? Вещество может поставляться короной или хромосферой, охлаждаться в

результате излучения и теплопроводности. Гипотезы коронального происхождения протуберанцев наталкиваются на ряд пока неустранимых трудностей. Недавно профессор С. Б. Пикельнер разработал гипотезу хромосферного происхождения протуберанцев. («Земля и Вселенная», № 5, 1971 г., стр. 13—19.— Ред.) Однако прежде чем рассказать о ней, напомним, что спокойные волокна расположены на границе раздела полярности фотосферных полей. Это означает, что с одной стороны протуберанца силовые линии поднимаются из фотосферы, где они закреплены, а с другой — опускаются вниз, в фотосферу. По-видимому, поле вблизи протуберанца имеет вид примятых арок с ямой наверху, в которой и лежит протуберанец. Рассмотрим, как влияет это поле на нагрев коронального газа.

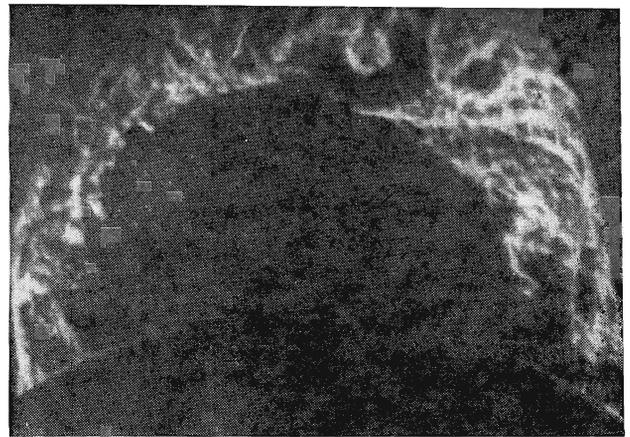
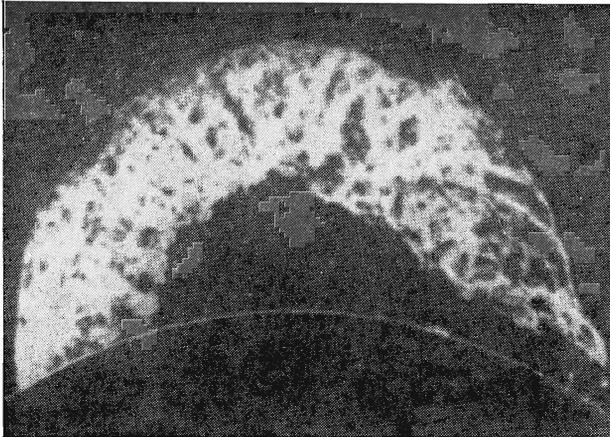
Корона нагревается волнами, идущими снизу, из фотосферы. Без магнитного поля в газе могут распространяться только звуковые, или акустические, волны, которые, поднимаясь вверх, усиливаются и переходят в ударные. В магнитном поле распространяются уже три типа волн: одна чисто поперечная — магнитогидродинамическая, похожая на колебания натянутого резинового шнура, и две продольные, в которых происходит одновременное сжатие газа и поля. Поперечная и одна из продольных волн затухают, не доходя до вершины арки, а вторая продольная волна отражается вниз, в фотосферу. Поэтому



Магнитное поле вблизи протуберанца. (модель Киппенхана — Шлютера). Протуберанец лежит в центре примятых арок

магнитная «яма» нагревается только потоком тепла, идущим вдоль магнитных силовых линий. Следовательно, в яме температура ниже, чем в остальной короне на такой же высоте, поэтому плотность с уменьшением высоты растет быстрее и на дне ямы газ становится более плотным. Если плотность возрастает, то излучение увеличивается, газ сильно охлаждается, а плотность еще возрастает. Кроме того, с понижением температуры сильно уменьшается приток тепла, ибо теплопроводность существенно ослабляется.

Если арка достаточно велика, температура в яме упадет до 5000—7000° К. При столь малой температуре плотность газа будет в сотни раз больше плотности короны, газ в яме конденсируется и примет малый объем. На место сжавшегося газа в яму под действием собственного давления приходит газ короны, который тоже будет остывать. Таким образом, возникает непрерывный поток газа из хромосферы в яму, где он конденсируется. Избыток массы стекает вниз из-за различных неустойчивостей. Этот процесс напоминает работу поршневого куба. Вода (хромосфера) нагревается, превращается в пар (корону) и поднимается вверх по трубам (силовым линиям). В колене устроен холодильник, где газ охлаждается и, стекая вниз, конденсируется. Такой процесс должен возникать всякий раз, когда в короне появляется арка с углублением наверху. Газ поступает из хромосферы у основания арки. Когда газ течет через корону, он невидим в лучах $H\alpha$ и становится заметным только после конденсации. Поэтому при наблюдениях может создаваться



впечатление, будто протуберанец конденсируется из короны, а сконденсированный газ стекает в хромосферу.

УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОТУБЕРАНЦЕВ

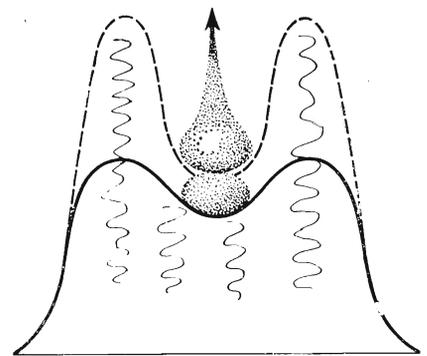
Что удерживает протуберанец в короне и не дает ему упасть вниз? Давление газа короны для этого слишком мало. Единственной силой, способной поддерживать такое массивное тело, может быть лишь магнитное натяжение. Если ионизованный газ находится в магнитном поле, то он свободно перемещается только вдоль силовых линий. Всякое движение поперек силовых линий вызывает ток, взаимодействие которого с полем создает магнитную силу, препятствующую перемещению вещества в этом направлении. Газ, двигаясь поперек силовых линий, должен увлекать их за собой. Силовые линии обладают упругостью; их сжатие и натяжение приводят к появлению магнитной силы, стремящейся восстановить начальное положение. Поэтому если протуберанец лежит на вершине системы арок и придавливает их своим весом, то направленная вверх магнитная сила уже в поле напряженностью 10^5 э способна удерживать протуберанец. Но такой протуберанец неустойчив в горизонтальном направлении, он может съехать в сторону вместе со своей ямой, как со скользкого резинового шара.

Немецкие астрономы Р. Киппенхан и А. Шлютер показали, что протубе-

ранец будет устойчив в горизонтальном направлении, если арка имеет наверху прогиб даже в отсутствие протуберанца, а протуберанец его только увеличивает. Однако при такой конфигурации вещество протуберанца может проваливаться вниз по желобкам, вытянутым вдоль магнитных силовых линий. Действительно, пусть в каком-либо месте протуберанца случайно скапливается вещество. Баланс давлений здесь нарушается, а если давление магнитного поля не растет вниз, то сила тяжести «желобка» не компенсируется, и он падает с ускорением. Желобки слабо возмущают поле, они как бы просовываются между силовыми линиями, немного их раздвигая.

Возникновение неустойчивости такого типа можно понять и с энергетической точки зрения. Известно, что если из одного состояния можно перейти в другое с меньшей энергией, то первое состояние неустойчиво. Взаимная замена местами вещества и поля энергетически выгодна, так как уменьшаются потенциальная энергия вещества протуберанца в поле тяжести и энергия магнитного поля, поддерживающего протуберанец (вогнутость магнитной арки ослабевает). В гидродинамике такая неустойчивость появляется, если тяжелая жидкость лежит на легкой.

Почему же все-таки протуберанцы могут жить долго, не разрушаясь? На этот вопрос ответил советский астроном Л. Л. Пустильник. Поскольку магнитная яма имеет ограниченный раз-



Два снимка эруптивного протуберанца, наблюдавшегося 4 июня 1946 года на обсерватории Сакраменто Пик (США). Вторым снимком сделан спустя 15 минут после первого. Протуберанец поднимался вверх со скоростью 160 км/сек. Через 53 минуты после взрыва он достиг высоты 400 000 км. В конце концов облако газа вытянулось на расстояние, превышавшее диаметр Солнца. При подъеме была хорошо видна спиральная структура протуберанца

Образование эруптивного протуберанца. До вспышки протуберанец лежит в углублении, на вершине магнитных арок (сплошная линия). После вспышки ударная волна деформирует силовые линии, натягивает их (пунктир) и магнитная сила «выстреливает» протуберанец



ДЕЙТЕРИЙ И ТРИТИЙ НА СОЛНЦЕ

Начиная с 1957 года делались попытки обнаружить на Солнце дейтерий. Было высказано предположение, что этот изотоп водорода образуется в ядерных реакциях при солнечных вспышках. Однако вплоть до последнего времени его зарегистрировать не удавалось. Это значит, что содержание дейтерия на Солнце не превышает трех атомов на миллион атомов водорода. В августе 1972 года в период сильной солнечной вспышки было зафиксировано гамма-излучение, которое могло появиться только при образовании ядер дейтерия в ходе ядерных реакций.

Недавно американским исследователям с помощью аппаратуры, установленной на двух спутниках, удалось обнаружить дейтерий в потоке солнечных частиц во время нескольких вспышек. Помимо дейтерия, был зарегистрирован и другой изотоп водорода — тритий. Это нестабильный изотоп с периодом полураспада 12,6 лет. Его присутствие определенно указывает на недавнее вспышечное происхождение обоих изотопов. Дейтерий и тритий возникают при столкновениях ускоренных во вспышках протонов и ядер гелия с более тяжелыми ядрами солнечного вещества. В потоках солнечных ускоренных частиц, появившихся после вспышек, содержание дейтерия возрастает в сотни раз и достигает одного атома на тысячу водородных атомов.

«Astrophysical Journal», 186, 1, 1973.

мер, а перестановка поля и плазмы вне ямы энергетически невыгодна, неустойчивость возникает лишь тогда, когда толщина протуберанца в нижней части превысит некоторую величину. Согласно расчетам, эта критическая толщина протуберанца близка к наблюдаемой, то есть к 5000 км. Поэтому, несмотря на большую длину и высоту, протуберанец относительно тонок. Возможно, колонны, соединяющие протуберанец с хромосферой, возникают в результате эволюции желобков, по ним избыток вещества сбрасывается вниз. Наблюдается своеобразное динамическое равновесие: вещество хромосферы непрерывно конденсируется в протуберанец, а через колонны возвращается обратно в хромосферу.

Измерения, однако, показывают, что в протуберанце, по-видимому, существуют две системы магнитного поля — внешняя арочная структура, на которой лежит протуберанец, и внутреннее поле, соединенное с полем фотосферы через концы протуберанца. Это внутреннее поле обеспечивает теплоизоляцию протуберанца от горячей короны, поскольку теплопроводность поперек силовых линий очень мала. Кроме того, оно совместно с внешним полем увеличивает устойчивость протуберанца к желобковым возмущениям. Возможно, внутреннее поле порождается токами, текущими в самом протуберанце. Тогда поле в протуберанце может иметь спиральную структуру. Такая структура иногда наблюдается при эрупции спокойных протуберанцев.

Пока не очень ясно, как происходит превращение спокойного протуберанца в эруптивный. Интересную модель

этого процесса предложил недавно аспирант Московского университета астроном Лыу Ван Лыонг (ДРВ). Если под магнитной аркой произошла вспышка, ударная волна от нее вызывает движение газа главным образом вверх, в сторону меньшей плотности. Газ увлекает за собой силовые линии. Из-за большей инерции протуберанец сначала отстает в своем движении от газа короны, лежащего на тех же силовых линиях. Силовые линии на вершине дуги вытягиваются сильно, в то время как в центре поднимаются незначительно. Глубина магнитной ямы и, соответственно, энергия растянутых силовых линий возрастают. Избыток магнитной энергии сообщает протуберанцу необходимое ускорение. Магнитные силовые линии, сжимаясь, как отпущенная рогатка, выстреливают протуберанец. Таким образом, магнитное поле забирает часть вспышечной энергии (которая в отсутствие поля ушла бы с газом в космическое пространство) и затем передает ее протуберанцу.

Нерешенных проблем в теории протуберанцев осталось еще очень много. Неясна структура магнитного поля, не объяснена природа тонких деталей, плохо изучена связь движений в протуберанце с движениями и полями в фотосфере. Но есть надежда, что в ближайшее десятилетие многое станет понятным.



Кандидат физико-математических наук
М. А. ЛИВШИЦ

Рентгеновское излучение солнечной короны

Судьба книг, в частности научных, весьма различна. Одни добавляют лишь небольшой камешек в катящийся ком исследований, и хорошо еще, если этот камешек способствует прогрессу наших знаний. Время жизни книг — два-три года, потом они как небольшое новое дополнение входят в следующие издания. И лишь редчайшие монографии, фиксирующие законченный этап исследований, живут необычайно долго.

Первое издание книги И. С. Шкловского «Физика солнечной короны» вышло в 1951 году, второе — в 1962 году. По наземным наблюдениям тех лет И. С. Шкловский выполнил астрофизический анализ принципиально новой ситуации. Суть дела состояла в том, что при температуре видимых слоев Солнца около 6000° астрофизикам пришлось допустить существование над фотосферой газа, нагретого до миллиона градусов. Гипотеза о горячем разреженном газе позволила дать логичную интерпретацию корональных наблюдений, предсказать характер спектра в недоступных в то время для исследования областях энергий. И только сейчас, в 70-е годы, наряду с надежным подтверждением развитых ранее предположений, эксперимент потребовал создания более строгой теории и большей детализации картины. Но прежде, чем рассказать о современных исследованиях, остановимся на простом изложении условий, господствующих в короне. «Простота» этого изложения вырабатывалась постепенно, суть его — выводы из упомянутой монографии И. С. Шкловского.

Корона — это серебристое сияние, вспыхивающее в краткие моменты

Рентгеновские наблюдения не только помогли уточнить физические условия в различных корональных образованиях, но и само их появление тесно связали с выходящими в корону магнитными полями.

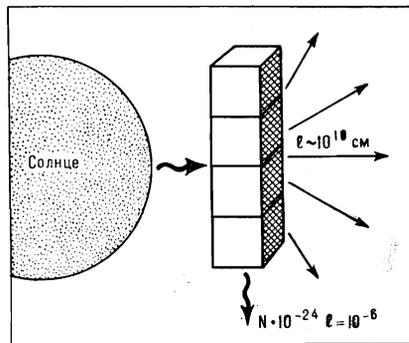
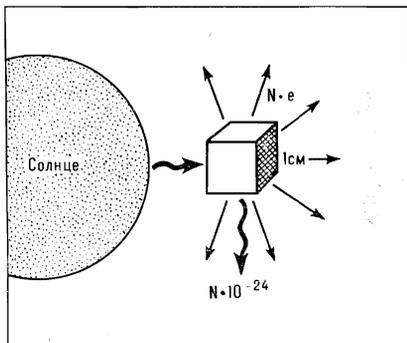
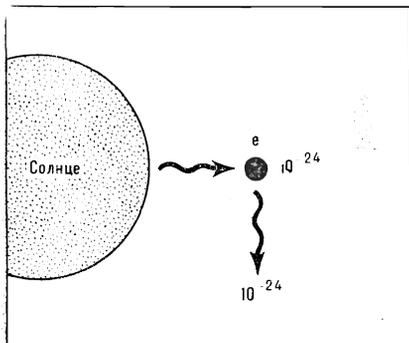
полного солнечного затмения. Яркость ее в белом свете примерно в миллион раз меньше фотосферной и резко (в 1000 раз на расстоянии, равном диаметру Солнца) спадает при удалении от лимба. В видимой области спектра корона излучает долго казавшиеся загадочными линии, которые шведский ученый Б. Эдлен с большим трудом отождествил в 1942 году с запрещенными линиями атомов, потерявших 9—14 электронов.

Непрерывное излучение короны состоит из двух компонент. Во внутренней короне (расстояние до двух солнечных радиусов) преобладает эмиссия, возникающая при рассеянии света фотосферы на свободных электронах. Это излучение заметно поляризовано: степень поляризации достигает 40—50%. Фраунгоферовы линии спектра фотосферы во внутренней короне исчезают, поскольку при рассеянии на быстрых электронах линия размывается из-за эффекта Доплера. Излучение второй компоненты — короны с фраунгоферовыми линиями — обусловлено дифракцией фотосферных квантов на пылевых частицах, расположенных между Солнцем и Землей.

По яркости внутренней короны можно оценить плотность. Действительно, один свободный электрон рассеивает всего 10^{-24} часть излучения, падаю-

щего на площадку в 1 см^2 . Так как у короны яркость в миллион раз меньше, чем у фотосферы, это означает, что в короне, в столбике сечением 1 см^2 вдоль луча зрения находится $10^{-6}/10^{-24} = 10^{18}$ свободных электронов. Длина столбика обычно оценивается по уменьшению яркости с высотой. В поле тяжести при удалении от лимба плотность электронов очень быстро падает. Поэтому длина столбика вдоль луча ограничивается только близкими к поверхности Солнца областями; более высокие слои не вносят существенного вклада в яркость. Принимая длину столбика около 10^{10} см , или $1/7$ солнечного радиуса, получаем, что в 1 см^3 содержится $10^{18}/10^{10} = 10^8$ свободных электронов. Поскольку в целом ионизованный газ — плазма — остается электрически нейтральным, плотность протонов (ядер наиболее обильного элемента водорода) должна быть такой же. Разумеется, это очень разреженный газ, ибо в 1 см^3 воздуха при нормальных атмосферных условиях содержится около $3 \cdot 10^{19}$ частиц, в фотосфере и некоторых плазменных установках на Земле — около 10^{17} частиц в 1 см^3 .

Как уже говорилось, в видимом спектре короны наблюдаются линии атомов, лишенных 9—14 электронов. Отрыв электронов происходит в результате столкновения тяжелого (малоподвижного) иона с налетающими электронами. Электрон, входящий в оболочку атома или иона, тесно связан с ядром. Так, для отрыва последнего электрона, необходимого для образования типичного коронального иона железа, никеля или кальция, требуется затратить энергию около 300 эв. Ясно, что хотя бы часть элект-



ронов корональной плазмы должна обладать энергией, превышающей эту величину. Средняя же энергия всех электронов может быть, например, вдвое меньше (но не в 10 раз, поскольку тогда быстрых электронов и, следовательно, элементарных актов образования типичных ионов будет очень мало). Это и приводит к оценке энергии большинства корональных электронов в $300/2$ эв, что соответствует температуре 1,7 млн. градусов.

Налетающий электрон может не только оторвать от ядра связанный с ним электрон, но и перевести последний с основной на возбужденную орбиту. Обратный переход совершается быстро. Образующиеся при этом резонансные линии лежат в коротковолновой и рентгеновской областях.

Еще до прямых экспериментов в космосе И. С. Шкловский и Г. Элворт рассчитали спектр горячего (температура около 1 млн. градусов) разреженного газа в коротковолновом и рентгеновском диапазонах. Это — слабое непрерывное излучение, изрезанное эмиссионными линиями. Характер спектра, наблюдавшегося позднее, оказался близок к предсказанному. Однако в рентгеновском диапазоне эмиссия короны почти полностью обу-

словлена активными областями. Их температура выше, ионизация сильнее, поэтому в спектре активных областей видны линии, принадлежащие ионам с меньшим числом «внешних» электронов.

Результаты внеатмосферных измерений потребовали не только детальных расчетов спектра, но и заставили внести принципиальные изменения в теорию образования линий в рентгеновском диапазоне. Новая теория учитывает индивидуальные свойства многозарядных ионов, а также то обстоятельство, что один или два электрона могут оказаться на орбитах, слабо связанных с ядром и остальными электронами. Истолкование данных внеатмосферных экспериментов основано на современной теории формирования спектров сильно ионизованной плазмы. В СССР экспериментальные и теоретические исследования рентгеновского излучения Солнца проводятся в лаборатории спектроскопии Физического института АН СССР. Ряд исследовательских групп США и Англии также заняты изучением этих вопросов.

РЕНТГЕНОВСКИЙ СПЕКТР СОЛНЦА И МОДЕЛЬ КОРОНАЛЬНОЙ КОНДЕНСАЦИИ

Как и на заре радиоастрономии, первые рентгеновские эксперименты велись с очень плохим пространственным разрешением. Но для рентгеновских исследований Солнца ситуация оказалась благоприятной. Вне вспышек основной вклад в самое коротковолновое излучение (меньше 20 \AA) дают активные участки в короне — корональные конденсации. Поэтому,

исследуя рентгеновский спектр Солнца в целом, удалось изучить эти интереснейшие образования в короне.

В спектре Солнца подавляющее большинство линий короче 400 \AA принадлежат короне*. Их можно условно разделить на три группы. К первой относятся линии, излучаемые невозмущенным Солнцем и слабо усиливающиеся в активных областях, например линии Fe X—Fe XIV (длины волн $170—200 \text{ \AA}$). Вне вспышек поток от всего Солнца при его различной активности не изменяется в указанном участке спектра более чем в 2 раза.

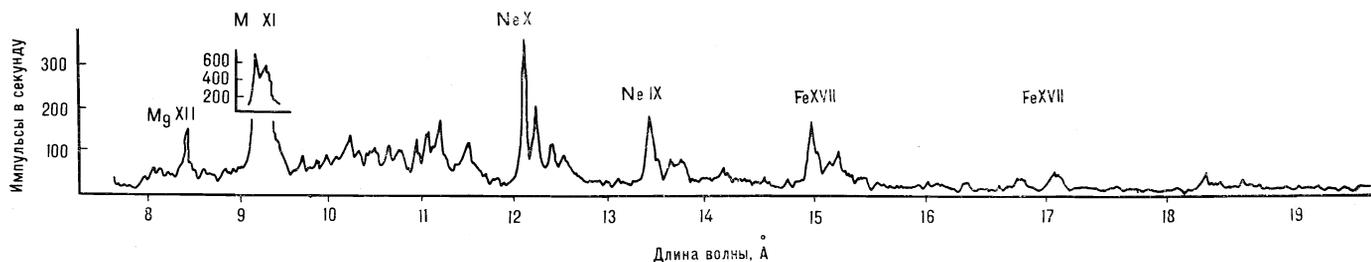
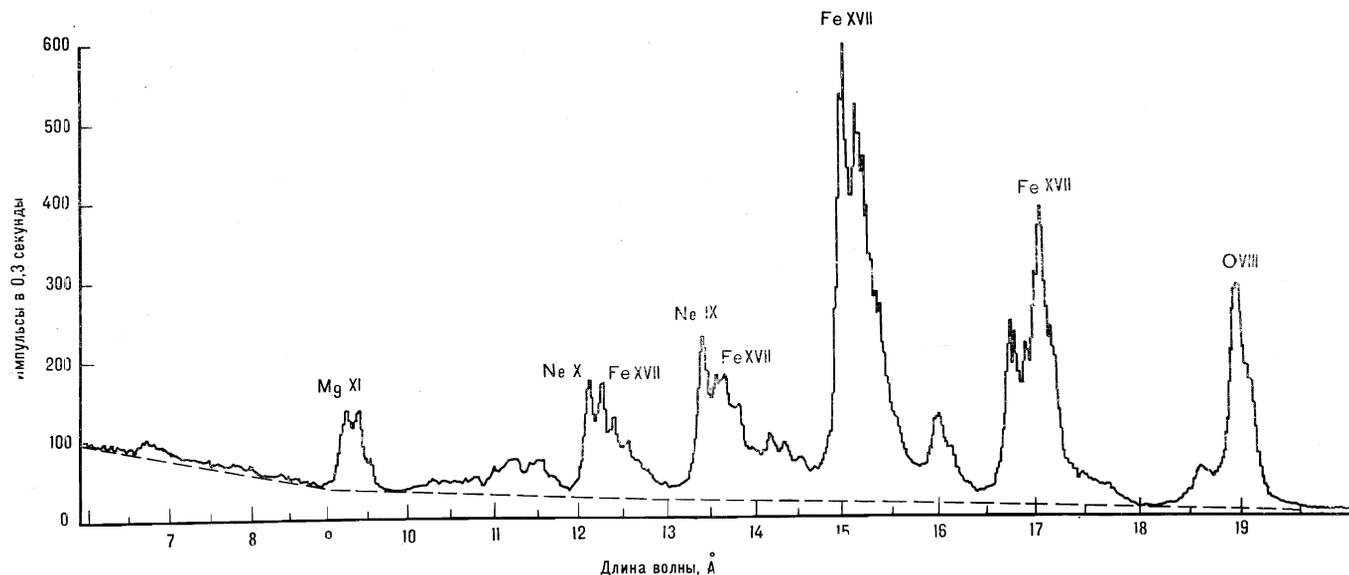
Вторая группа — излучение центров активности. Это линии Fe XV (335 \AA), дублет Fe XVI (около 280 \AA), совокупность линий Fe XVII и линий ионов с одним или двумя внешними электронами ($25—8 \text{ \AA}$). Яркость спокойной короны в этих линиях пренебрежимо мала.

И, наконец, в третью группу можно включить линии, появляющиеся или резко усиливающиеся во время вспышек. Их излучает горячее корональное облако, которое возникает после сильных вспышек и существует несколько часов (температура газа $20—30$ млн. градусов). Здесь присутствуют все стадии ионизации железа вплоть до Fe XXVI и другие высокоионизованные ионы.

Уже по характеру встречающихся ионов можно судить о температуре плазмы. Резонансные линии образуются при возбуждении иона налетающего

Оценка плотности короны по ее наблюдаемой яркости. Один электрон рассеивает 10^{-24} часть солнечного излучения, кубик со стороной 1 см, содержащий N электронов, — $N \cdot 10^{-24}$, а столбик длиной l , — $N \cdot 10^{-24} \cdot l$, что равно 10^{-6} части солнечного излучения. Считая l порядка 10^{10} см, получаем, что плотность короны около 10^8 частиц в 1 см^3

* Исключение — сильная линия ионизованного гелия с длиной волны 304 \AA . Она образуется в переходном слое между хромосферой и короной.



щим свободным электроном. Вероятности процессов возбуждения для различных ионов не очень сильно отличаются между собой, и поэтому появление той или иной резонансной линии определяется в основном обилием данного иона. Так, в спокойной короне наблюдаются линии Fe X—Fe XIV, однако единственная линия Fe XV с длиной волны 335 Å отсутствует. Из теории ионизационного равновесия следует, что температура спокойной короны не может превышать 1,7 млн. градусов. Для детального изучения распределения температуры необходим анализ данных с более высоким пространственным разрешением.

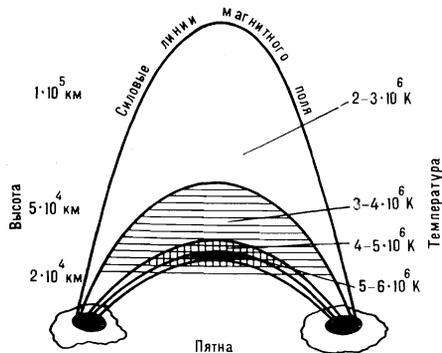
Спектр всего диска Солнца в диапазоне 8—25 Å позволил определить температуру корональных конденсаций. Согласно наземным наблюдениям, конденсации нагреты до 2—3 млн. градусов. Во время внеатмосферных экспериментов для оценки температуры применяют весьма чувствительный

метод, основанный на сравнении интенсивностей линий 8,4 Å Mg XII и 9,2 Å Mg XI. Так, в спектре, полученном на ракете «Вертикаль-1», обе линии отчетливо видны. Если воспользоваться теоретическим расчетом (существенна в основном ионизация), то из наблюдаемого отношения интенсивностей получается температура около 5 млн. градусов. На других спектрах линия Mg XII бывает несколько ярче (при той же яркости линии Mg XI), что соответствует температуре 8 млн. градусов. Таким образом, в мощных конденсациях, располагающихся над обширными группами пятен, даже в отсутствие вспышек температура газа достигает 10 млн. градусов. Заметим, что, как правило, над спокойными, иногда большими по площади группами пятен излучение в линии 8,4 Å не наблюдается. Значит, температура здесь 3,5—4 млн. градусов.

Однако, не весь газ в конденсации нагрет до столь высоких температур.

■ Спектр Солнца 22 февраля 1969 года, полученный на американской орбитальной солнечной обсерватории В. Нойпергом (приведены средние значения по 22 регистрациям). На Солнце в этот день была большая активная область. Но даже за несколько часов до мощных вспышечных явлений линия 8,4 Å Mg XII не наблюдалась. Следовательно, в большой и плотной конденсации над активной областью нет источника с температурой, превышающей 4 млн. градусов

■ Спектр Солнца, зарегистрированный при запуске ракеты «Вертикаль-1» 28 ноября 1970 года. Это — самые коротковолновые линии, излучаемые активными областями короны вне вспышек. Эмиссия принадлежит ионам с одним (Mg XII, Ne X) или двумя (Mg XI, Ne IX) электронами. Подобные ионы встречаются при температуре 2—10 млн. градусов. Хотя Солнце 28 ноября было весьма спокойно, присутствие в спектре линии 8,4 Å Mg XII свидетельствует о существовании на Солнце области с температурой 5 млн. градусов



Низкотемпературное свечение Fe XV—Fe XVII и других ионов еще более низких стадий ионизации показывает, что в конденсациях есть большие массы газа с температурой от 1 до 3 млн. градусов.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В СПОКОЙНОЙ КОРОНЕ

Как только разрешение рентгеновских телескопов повысилось до нескольких минут дуги, применение специальной методики позволило в ряде случаев избежать путаницы из-за наложения областей с различными физическими характеристиками. Так, на «Космосе-166» в течение нескольких дней июня 1967 года регистрировалось излучение полосы, шириной 3 минуты дуги. Эта полоска находилась в экваториальной области, свободной от каких-либо признаков активности. В диапазоне 8—14 Å измерялся абсолютный поток. Он был очень слабый и, если бы регистрировалось излучение от всего Солнца, конечно, потерялся бы на фоне ярких активных областей. Привлекая некоторые данные о распределении плотности и расчеты теоретического спектра, из абсолютного потока удалось определить температуру спокойных областей над экватором. Она равна 1,7 млн. градусов.

На первых фотографиях, полученных в длинах волн короче 50 Å, было заметно, что полюса Солнца «темные», эмиссия над ними ослаблена, но непосредственное определение температуры было затруднено. Здесь оказались полезными наблюдения запрещенных линий в коротковолновой и видимой областях спектра. Во вре-

мя затмения 7 марта 1970 года над северным полюсом в линиях ионов низких стадий ионизации наблюдалось характерное «уярчение». Свечение линий более высоких стадий ионизации вдоль лимба было равномерным. Этот факт наглядно свидетельствовал об уменьшении температуры над полюсами. Еще из классических корональных наблюдений известно, что красная линия Fe X над полюсами отчетливо видна, зеленая Fe XIV практически исчезает. Сейчас может считаться приемлемым предположение, что ионы Fe X и Fe XIV существуют в одних и тех же областях полюсов при одинаковом значении температуры. Из отношения интенсивностей зеленой и красной линий над полюсами может быть получена численная оценка температуры, равная 1,3 млн. градусов. Рентгеновские наблюдения, по-видимому, в недалеком будущем позволят подтвердить это значение.

СТРУКТУРА КОРОНЫ

Техника получения рентгеновских изображений Солнца последнее вре-

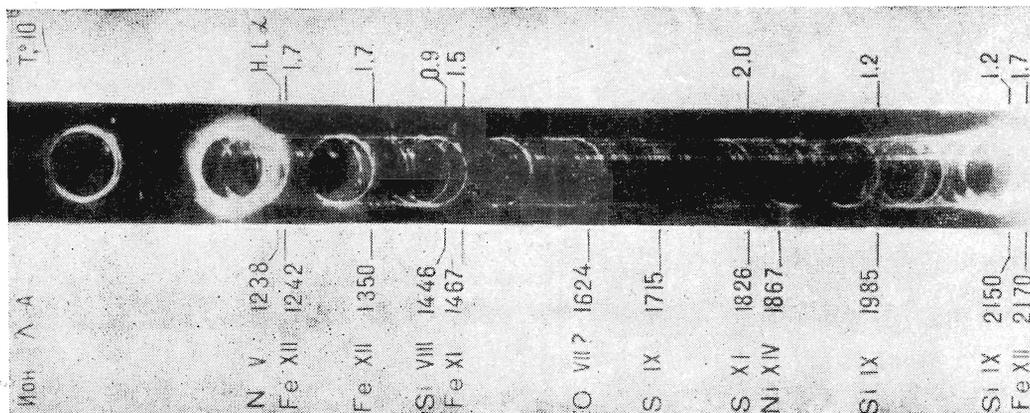
мя непрерывно совершенствовалась. Апробированы различные материалы, пригодные для зеркал рентгеновских телескопов, и лучшими признаны зеркала из плавленого кварца. Повысилась точность ориентации ракет и спутников. И вот на рубеже 1972—1973 годов корона на диске была сфотографирована в мягких рентгеновских лучах с разрешением в несколько секунд дуги.

Вся корона состоит из весьма тонких волокон. Самые яркие области располагаются близ пятен, но отдельные пятна, а подчас и группы пятен, удаленные друг от друга почти на радиус Солнца, соединены волокнами. Трубки горячего газа не избегают пересекать и экватор. В некоторых местах наблюдались окаймленные волокнами темные области, получившие название корональных дыр. На изображениях выделяются маленькие яркие точки и особые источники, связанные с плавающими в короне облаками более холодного газа — протуберанцами.

Наблюдения короны на диске (с высоким разрешением) в какой-то мере помогли раскрыть физические условия в волокнах и объяснить, с чем связано появление наблюдаемой структуры и каков баланс энергии в различных участках короны.

Оказалось, что менее плотные и холодные участки короны совпадают с приполярными областями и корональными дырами. Однако и в волокнах спокойных областей, и в длинных волокнах, соединяющих центры активности и удаленные друг от друга пятна, температура, по-видимому, не превышает 2 млн. градусов. Иногда основания волокон ярче, чем их вершины,

Первая модель источника рентгеновского излучения над активной областью. Модель построена Дж. Паркинсоном по спектральным данным, а также по заходам и восходам рентгеновских источников. Из оптических наблюдений следует, что корона над активными областями плотнее (отсюда термин «корональная конденсация»). Рентгеновские наблюдения свидетельствуют о высоких температурах в конденсациях и, по-видимому, показывают, что высокотемпературный газ заключен в лежащие сравнительно низко трубки магнитных силовых линий



ибо в основаниях наблюдаются более низкие слои. Распределение плотности в поле тяжести подчиняется в волокне барометрической формуле, и на малых высотах газ плотнее.

Лишь в мощных центрах активности, в областях с большими группами пятен, наблюдаются волокна с разной температурой. Поскольку они излучают мягкие и жесткие фотоны, температура в конденсации весьма различна — от 2 до 10 млн. градусов. Высокотемпературные волокна, по-видимому, более плотные (число частиц до 10^{10} в 1 см^3 вместо обычных $3 \cdot 10^8$), хотя это должно быть еще подтверждено спектрами с высоким разрешением.

Наземные наблюдения давали некоторое основание надеяться, что в структуре короны как-то отразится структура диска. Но корона оказалась похожей на крупномасштабную, внефокальную фотографию хромосферы. Наверное, многие читатели видели в телескоп или на фотографиях хромосферу Солнца в центре водородной линии H_α и слышали что разреженный ионизованный газ хромосферы удерживается в трубках с магнитным полем (структура опилок над полюсами магнита). Поля генерируются в плотных подфотосферных слоях; близ источника, в фотосфере, их структура сложна, что и следует из прямых наблюдений. Однако выше, в хромосфере и, особенно, в короне топология полей упрощается. Жгуты силовых линий можно в первом приближении считать изолированными трубками.

Напряженности полей во внешней атмосфере все же остаются большими, и поля «запрещают» движение ионизованного газа поперек силовых линий не только над магнитными островами — пятнами, но фактически везде в хромосфере и в короне. Поскольку движение поперек поля запрещено, передача тепла от трубки к трубке практически невозможна. Этот эффект теплоизоляции обоснован И. С. Шкловским еще в 1946 году.

Рентгеновские наблюдения свидетельствуют, что физические условия в данном месте короны зависят в первую очередь от того, замкнута структура или нет. Там, где поля отсутствуют или разомкнуты (уходят «на бесконечность»), наблюдаются темные рентгеновские области. Прямые сопоставления яркости и напряженности магнитных полей подтверждают этот вывод. Различие же условий в замкнутых и открытых магнитных структурах объясняется довольно просто.

Для открытых структур не столь существенно влияние поля на протекающие в короне процессы. Температура газа определяется из условия равенства нагрева и охлаждения. Нагрев обычно связывают с затуханием в ко-

Спектр короны в области 1000—2200 Å, полученный 7 марта 1970 года группой американских и английских ученых при запусках ракет в Атлантическом океане. Диск Солнца закрыт Луной, и корона в каждой линии видна как окружность. Всего наблюдалось около 20 новых корональных линий

роне входящих снизу механических колебаний. Но для наших рассуждений конкретизация механизма нагрева не нужна. Энергия корональной плазмы расходуется на излучение и уход частиц в межпланетное пространство. Скорость солнечного ветра при температурах более 1 млн. градусов сильно растет с увеличением температуры. Именно потери энергии на формирование потока частиц фактически при любом уровне нагрева не позволяют температуре подниматься выше 1,3—1,5 млн. градусов. Иногда говорят, что солнечный ветер «термостатирует» эти участки короны.

В замкнутых магнитных структурах движения частиц поперек поля запрещены, энергия не тратится на солнечный ветер, поэтому температура здесь выше 2 млн. градусов. В некоторых участках обширных активных областей нагрев увеличивается, и в отдельных волокнах температура повышается вплоть до 10 млн. градусов. Обмена тепла между волокнами нет, в конденсации появляется совокупность разнотемпературных арок. При больших температурах поток тепла вдоль силовых линий достигает весьма плотных хромосферных слоев и «испаряет» часть вещества из хромосферы в корональную трубку. С этим эффектом, по-видимому, связано повышение плотности газа в конденсации.

Природа солнечной короны теперь стала более понятной. И этим мы обязаны экспериментам в космосе, достижением спектроскопии и магнитной газодинамики.



Член-корреспондент АН СССР
И. С. ШКЛОВСКИЙ

Проблемы нейтринного излучения Солнца

До недавнего времени одна из важнейших проблем астрономии — проблема внутреннего строения и эволюции звезд — решалась совместными усилиями астрофизиков-теоретиков и астрономов-наблюдателей. Эта проблема никоим образом не могла быть решена без непрерывного контроля выводов теории астрономическими наблюдениями. Особенно большое значение для теории имел анализ прецизионных наблюдений блеска и цвета звезд, входящих в состав скоплений. Считалось и считается, что справедливость теории внутреннего строения и эволюции звезд подтверждается возможностью на основе этой теории объяснить ряд тонких особенностей диаграммы Герцшпрунга — Рассела для звездных скоплений, имеющих различных возраст. («Земля и Вселенная», № 4, 1969 г., стр. 19—26.— Ред.) Все же неопределенное ощущение неудовлетворительности, несомненно, остается. В идеале было бы неплохо иметь возможность непосредственно получить основные характеристики звездных недр путем прямых наблюдений.

Еще сравнительно недавно сама возможность «заглянуть» в недра звезд представлялась по меньшей мере фантастической. Огромная толща вещества звезды делает ее совершенно непрозрачной для всех видов электромагнитного излучения, включая самые жесткие гамма-лучи. Мил-

лионы лет требуется квантам излучения, генерируемым в центральных областях звезд благодаря происходящим там ядерным реакциям, для того, чтобы «просочиться» к поверхностным слоям и выйти наружу в межзвездное пространство. За это время кванты, взаимодействуя с веществом звезды, испытывают огромное количество актов поглощения и переизлучения, претерпевая при этом серьезные трансформации. Если первоначально их частоты соответствовали рентгеновскому диапазону, то выходя из поверхности звезды, они становятся гораздо «мягче», и частоты их лежат уже в оптическом и непосредственно примыкающим к нему инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах. Другими словами, их свойства уже совсем не отражают свойства среды, в которой они первоначально возникли. Стало быть, нет надежды получить какую-либо информацию непосредственно из недр звезды. Однако столь богатое «чудесами» развитие физики в нашем столетии совершенно неожиданно открыло возможность хотя бы в принципе подойти к решению этой, казалось бы, неразрешимой проблемы.

В 1930 году швейцарский физик-теоретик В. Паули, твердо убежденный в выполнении законов сохранения для элементарных процессов, анализируя тогда во многом еще не ясное явление бета-распада, выдвинул смелую гипотезу о существовании новой элементарной частицы. Эта частица, получившая название «нейтрино», должна была обладать удивительными свойствами. Будучи электрически нейтральной, она должна иметь массу покоя ничтожно малую, может быть,

даже нулевую. По этим причинам нейтрино должно обладать совершенной исключительной способностью проникать сквозь огромные толщи вещества. Подсчитано, что без заметного поглощения пучок нейтрино с энергией в миллион вольт может пройти через стальную плиту, толщина которой в сотню раз превосходит расстояние от Земли до ближайших звезд! Ясно, что для таких частиц пройти сквозь любую звезду, как говорится, «пустое дело»... Но столь удивительно слабая способность нейтрино взаимодействовать с веществом имеет и свою «обратную сторону». Лишь через 25 лет после гениального теоретического предсказания Паули эта необычная частица была обнаружена в лабораторном эксперименте и из ряда гипотетических перешла в ряд вполне реальных элементарных частиц.

Как и всякая «порядочная» элементарная частица, нейтрино имеет «двойника» — античастицу, получившую название «антинейтрино». Наш выдающийся физик академик Б. М. Понтекорво теоретически предсказал существование двух «сортов» нейтрино — электронных и мюонных. Очень скоро это предсказание блестяще оправдалось на опыте. Б. М. Понтекорво был первым, кто указал также на важность нейтрино для изучения звездных и в первую очередь солнечных недр.

Теория термоядерных реакций, происходящих в центральных областях Солнца, позволяет довольно надежно оценить величину потока солнечных нейтрино на Земле. В самом деле, суть термоядерных реакций, идущих в недрах нашего светила, сводится к тому, что четыре протона объединя-

В 1974 году в издательстве «Наука» выходит книга известного советского астрофизика И. С. Шкловского «Звезды: их рождение, жизнь и смерть». Редакция публикует отрывок из этой книги.



ются в одну альфа-частицу. При этом испускаются два нейтрино. В результате такого «объединения» выделяется около 25 Мэв энергии, которая в конечном счете поступает в межзвездное пространство, обеспечивая светимость Солнца. Поэтому полное количество нейтрино (N), образующихся в недрах Солнца, равно:

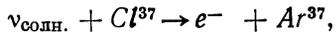
$$N = \frac{2L_{\odot}}{25\text{Мэв}} = 10^{39} \text{ сек}^{-1},$$

а поток их на Земле:

$$\frac{N}{4\pi R^2} \approx 10^{11} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1},$$

где L_{\odot} — светимость Солнца, R — радиус Земли. Это — огромная величина. Мы буквально «купаемся» в потоке нейтрино.

Однако ничтожно малая вероятность взаимодействия солнечных нейтрино с веществом делает эксперименты по их обнаружению исключительно трудными. Идея такого эксперимента была предложена еще в 1946 году Б. М. Понтекорво. Обнаружение нейтрино должно быть основано на реакции:



где Cl^{37} — устойчивый изотоп хлора, Ar^{37} — радиоактивный изотоп аргона. Такая реакция называется «обратный бета-распад». Хотя вероятность поглощения нейтрино изотопом хлора весьма мала, все же на практике эта реакция оказывается пока единственно возможной для обнаружения солнечных нейтрино. В качестве «рабочего вещества», достаточно богатого изотопом хлор-37, начиная с 1955 года используется прозрачная жидкость перхлорэтилен (или четыреххлористый этилен), химическая формула которой

C_2Cl_4 . Эта довольно дешевая жидкость широко применяется в бытовой химии как средство очистки.

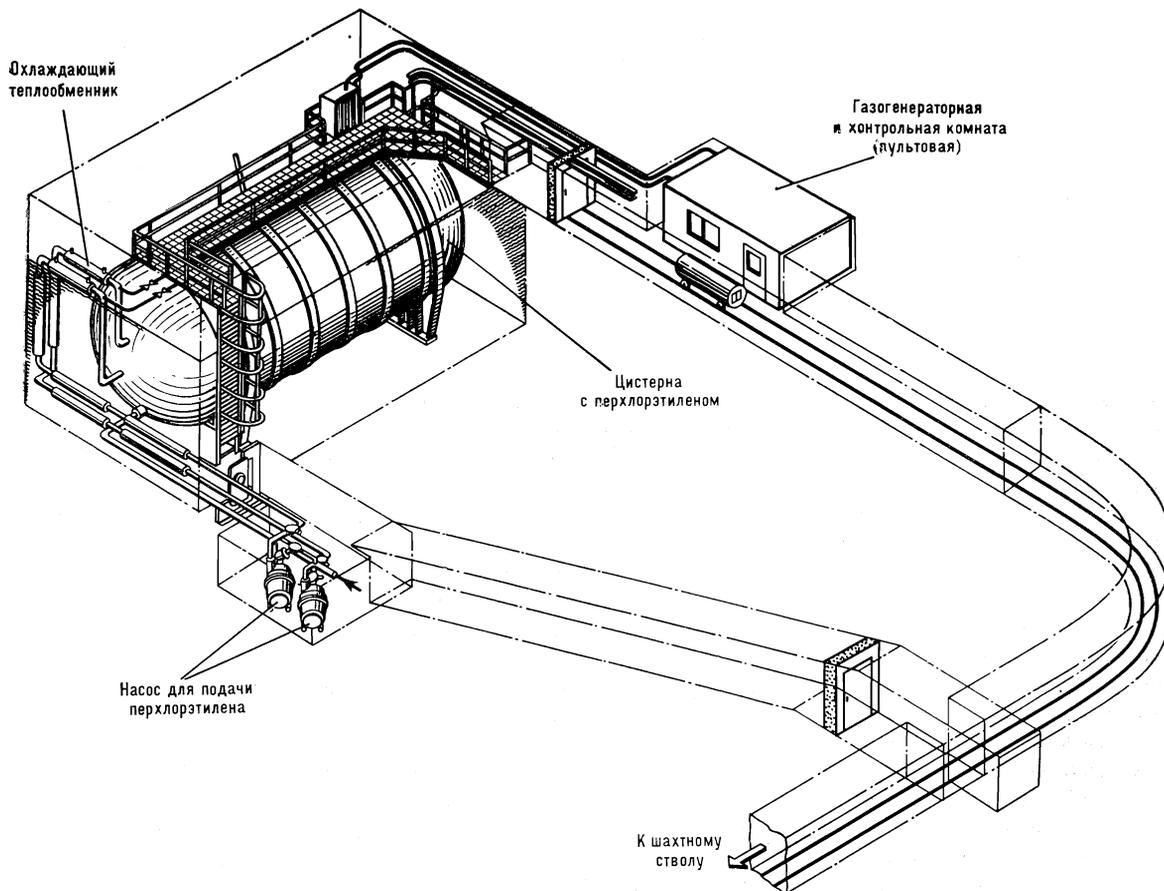
Первые опыты по обнаружению нейтрино этим методом были «нацелены» отнюдь не на Солнце, а на ядерные реакторы, излучающие огромное количество нейтрино. Задачей опытов, поставленных выдающимся американским физиком-экспериментатором Р. Дэвисом, было научиться отличать нейтрино от антинейтрино. Последние изотопом хлор-37 не поглощаются. В качестве детектора Дэвис использовал сравнительно небольшую емкость в 3900 л перхлорэтилена. Сущность эксперимента состояла в оценке количества ядер радиоактивного изотопа аргон-37, которые образуются в емкости, наполненной перхлорэтиленом. Такая оценка производится методами современной радиохимии.

Хотя основная цель эксперимента Дэвиса и не имела отношения к астрономии, тем не менее как «побочный продукт» он впервые получил грубую оценку верхней границы потока солнечных нейтрино. Чувствительность первого эксперимента Дэвиса была примерно в 1000 раз ниже ожидаемого потока солнечных нейтрино в том диапазоне энергии, который поглощается изотопом хлор-37.

Последняя оговорка весьма существенна. Выше мы оценили величину ожидаемого **полного** потока солнечных нейтрино. Однако перхлорэтиленовый детектор способен поглощать с одинаковой эффективностью далеко не все солнечные нейтрино. Лучшее всего поглощаются нейтрино сравнительно высокой энергии. Между тем энергетический спектр солнечных ней-

трино весьма чувствителен к физическим условиям в недрах Солнца, то есть к температуре, плотности и химическому составу. Другими словами, энергетический спектр солнечных нейтрино, а следовательно, скорость образования в перхлорэтилене радиоактивных ядер аргона-37 сильно зависит от модели солнечных недр.

Начиная с 1955 года Дэвис и его сотрудники упорно работали над повышением чувствительности перхлорэтиленового детектора нейтрино. В результате их усилий чувствительность детектора увеличилась к настоящему времени почти в 30 000 раз! Современный нейтринный детектор представляет собой грандиозное сооружение. Гигантский резервуар, наполненный жидким перхлорэтиленом, имеет объем около 400 м³, примерно равный объему обычного 25-метрового плавательного бассейна! Установка расположена на дне глубокой старой шахты, пробитой в скальном грунте для добычи золота. Глубина шахты превышает 1,5 км, что соответствует экранировке установки эквивалентным слоем воды толщиной около 4,5 км. Расположение детектора глубоко под землей диктуется необходимостью свести до минимума помехи, приводящие к образованию радиоактивных изотопов аргона без поглощения нейтрино ядрами хлора. Указанные помехи вызываются проникающей компонентой космических лучей. Мю-мезоны, входящие в состав этой компоненты, взаимодействуя с веществом, порождают протоны, которые, сталкиваясь с ядрами хлора, образуют радиоактивный изотоп аргон-37. Современная чувствительность нейтринного детектора определяется прежде все-



го величиной «космического» фона, приводящего к образованию вышеописанным способом «паразитных» ядер аргона-37.

Некоторое понятие о чувствительности этой гигантской установки может дать тот факт, что вследствие облучения солнечными нейтрино во всем огромном бассейне перхлорэтилена одновременно присутствуют всего лишь несколько десятков ядер радиоактивного изотопа аргон-37. (Заметим, что период полураспада этого изотопа около 35 дней.) Столь ничтожное количество аргона-37 удается выделить из «бассейна», «продувая» его гелием. Вся эта процедура, конечно, сопряжена с серьезными экспериментальными трудностями, которые Дэвис и его коллеги успешно преодолели.

Едва ли не самым парадоксальным результатом опытов Дэвиса стал их отрицательный результат. («Земля и Вселенная», № 1, 1971 г., стр. 22—23.— Ред.) На сегодняшний день (на-

чало 1974 года) можно утверждать, что количество поглощенных солнечных нейтрино за одну секунду, рассчитанное на один поглощающий атом хлора, меньше чем $1,6 \cdot 10^{-36}$ (это количество получило специальное обозначение s.p.u.— единица солнечных нейтрино). Между тем, если бы принятая в настоящее время модель солнечных недр была точной, эта величина должна быть в 7 раз больше.

Расхождение между ожидаемым результатом и данными наблюдений

■
Детектор солнечного нейтрино Брукгейвской национальной лаборатории (США). Резервуар, диаметр которого 6,1 м, а длина 14,64 м, содержит 400 м³ перхлорэтилена. Детектор расположен на глубине 1,5 км под землей в золотодобывающей шахте

представляется неожиданно большим. Конечно, частично это расхождение вызвано несовершенством теорий как физических, так и астрономических. Чисто физическая задача — вычисление вероятности поглощения хлором солнечных нейтрино. Вычисленная вероятность, однако, подкрепляется результатами прямых лабораторных экспериментов, так что нет оснований сомневаться в ее правильности. Возможные ошибки здесь вряд ли превышают 10%. Более серьезен вопрос о точности ныне принятой модели внутренних областей Солнца. Как уже упоминалось, от этой модели зависит энергетический спектр солнечных нейтрино, а следовательно, и количество появившихся в бассейне перхлорэтилена изотопов радиоактивного аргона. Например, скорость образования нейтрино при бета-распаде бора-8 (предполагается, что на Солнце протекает реакция $B^8 \rightarrow Be^8 + e^+ + \nu$) зависит от температуры T приблизительно



как T^{13} , то есть очень сильно. Между тем перхлорэтиленовый детектор регистрирует преимущественно нейтрино, возникающие при распаде бора-8, так как они обладают наибольшей энергией (14 Мэв). Заметим, что количество таких нейтрино составляет ничтожную долю полного нейтринного потока Солнца, который почти не зависит от моделей Солнца.

В принципе, при современном уровне теории модель любой звезды, находящейся на главной последовательности, может быть построена достаточно точно, если известны масса звезды и распределение ее химического состава по всей толще. Масса Солнца известна с высокой точностью, в то время как имеется достаточно большая неопределенность в распределении его химического состава. Последнее зависит от характера перемешивания вещества в солнечных недрах. Как правило, относительное обилие гелия в ядре Солнца выше, чем в наружных слоях. Разница в обилии гелия в центральных областях и на периферии зависит также от возраста Солнца, который принимается равным 4,7 млрд. лет. Для построения моделей имеют также большое значение полученные из лабораторных данных скорости тех или иных ядерных реакций, происходящих в солнечных недрах. Например, переоценка времени жизни свободных нейтронов, которая произошла в 1967 году, и уточнение лабораторных данных о скорости некоторых важных для астрофизики ядерных реакций заставили несколько пересмотреть значение скорости протон-протонной реакции — важнейшей термоядерной реакции в недрах Солнца.

Предложенные модели Солнца дают весьма разные значения ожидаемого в экспериментах Дэвиса количества поглощенных нейтрино — от 30 до 6 s.n.u. Последнее, наименьшее значение все же в несколько раз превосходит наблюдаемую верхнюю границу.

Означает ли столь неожиданный результат экспериментов по обнаружению солнечных нейтрино, что наши представления о внутренней структуре и эволюции звезд неверны и нуждаются в пересмотре? Пока для такого радикального вывода серьезных оснований нет. Но есть проблема объяснения результатов опытов Дэвиса.

Прежде всего, не все возможности построения модели Солнца исчерпаны. В принципе, малое значение нейтринного потока, фиксируемое перхлорэтиленовым детектором, реагирующим главным образом на нейтрино, которые образуются при радиоактивном бета-распаде бора-8, можно объяснить, предположив, что относительное обилие тяжелых элементов в недрах Солнца по крайней мере в 20 раз меньше наблюдаемого значения на его поверхности. При малом обилии тяжелых элементов вещество солнечных недр становится более прозрачным, температура уменьшается, а следовательно, уменьшается поток нейтрино, образующихся при распаде бора-8. Сразу же, однако, возникает трудность: вычисленное на основе этого предположения первоначальное обилие гелия в веществе, из которого образовалось Солнце, должно быть в несколько раз меньше наблюдаемого обилия гелия в межзвездной среде. Нелегко также представить себе, как появился столь большой «дефицит» тяжелых элементов в недрах Солнца

по сравнению с его поверхностью. Все же можно не сомневаться, что попытки объяснить результаты экспериментов Дэвиса разного рода модификациями солнечной модели будут продолжаться и — кто знает, — может быть, приведут к успеху.

Другая возможность объяснения отрицательного результата опытов по обнаружению солнечных нейтрино состоит в ревизии основных представлений о природе нейтрино. Так, например, была высказана гипотеза, что нейтрино — нестабильная частица. Эта гипотеза требует признания у нейтрино хотя и малой, но конечной массы покоя. Если предположить, что период полураспада нейтрино меньше нескольких сот секунд, то образовавшиеся в недрах Солнца нейтрино просто не дойдут до Земли. Однако такая гипотеза требует коренного изменения существующих представлений о свойствах элементарных частиц. Уж слишком велика цена, которую надо платить за объяснение отрицательного результата опытов Дэвиса. Вряд ли эта гипотеза (так же как и другие родственные ей гипотезы) соответствует действительности.

Совершенно другой подход к обсуждаемой здесь проблеме содержится в гипотезе В. Фаулера, высказанной им в конце 1972 года. Фаулер предположил, что несколько миллионов лет тому назад во внутренних слоях Солнца произошло сравнительно быстрое, «скачкообразное» перемешивание вещества. Таким образом, в течение последних нескольких миллионов лет солнечные недра находятся в необычном, как бы «переходном» состоянии. Через несколько миллионов лет физические условия в недрах

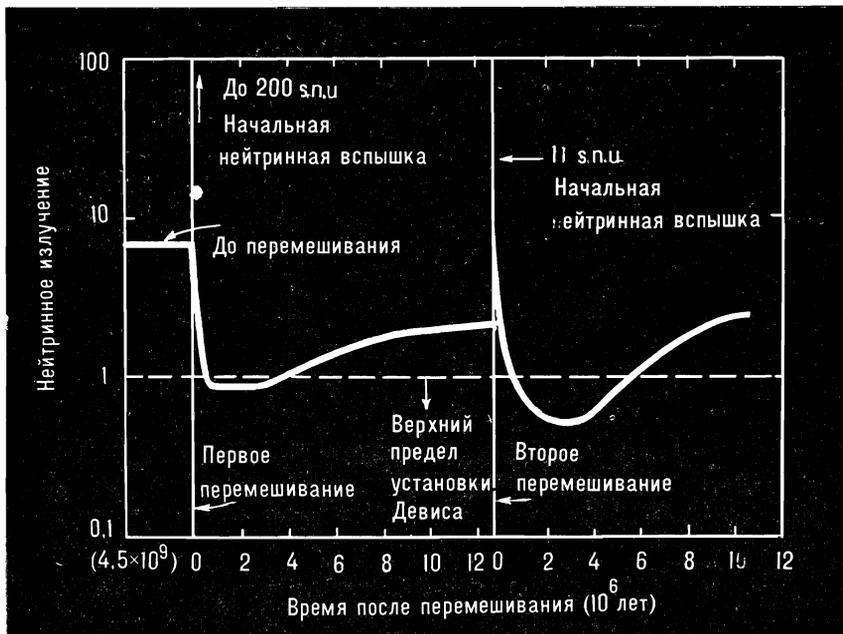
Солнца вернуться к первоначальному состоянию, которое существовало до того, как произошло внезапное перемешивание вещества. Не будем касаться причин, вызвавших такое «катастрофическое» перемешивание, рассмотрим, какие это повлечет за собой последствия для проблемы солнечных нейтрино. Вся суть гипотезы Фаулера состоит в том, что поток нейтрино от Солнца определяется «мгновенным» состоянием солнечных недр. Значит, если по какой-либо причине изменилась температура солнечных недр, это сразу же отразится на выходящем из Солнца потоке нейтрино. Совсем по другому будет вести себя поток фотонного излучения от Солнца. Ведь образовавшимся в центральных областях Солнца фотонам требуются миллионы лет для того, чтобы просочиться наружу и выйти в межзвездное пространство. В принципе, окажется возможной такая ситуация: внезапно в центре Солнца упадет температура, сразу же резко упадет поток солнечных нейтрино, в то время как светимость Солнца останется неизменной.

Идея Фаулера представляется нам в высшей степени плодотворной. Развитие гипотезы Фаулера содержится в работе Д. Эзера и А. Камерона. Если предположить, что по какой-либо причине резко увеличилось энерговыделение в центре Солнца, обусловленное ядерными реакциями, то это повлечет за собой быстрое расширение солнечного ядра, температура которого понизится. Понижение температуры недр Солнца вызовет уменьшение скорости всех термоядерных реакций. После того как избыточная энергия покинет пределы центральных областей Солнца, по-

следние вернуться к своему первоначальному состоянию и поток солнечных нейтрино восстановится. Каким же образом может резко увеличиться энерговыделение в центральной области Солнца? Оказывается, здесь большое значение может иметь такая ничтожно малая примесь к веществу солнечных недр, как редкий изотоп гелия-3. В обычных условиях в недрах Солнца концентрация этого изотопа поддерживается динамическим равновесием между ядерными реакциями, ведущими к его образованию и уничтожению. Между тем концентрация гелия-3 имеет большое значение для идущей в солнечных недрах протон-протонной реакции, обеспечивающей почти всю светимость Солнца. Оказывается, чем выше температура, тем ниже равновесная концентрация гелия-3. Отсюда непосредственно следует, что равновесная концентрация этого изотопа должна расти по мере удаления от центра Солнца. Однако, начиная с некоторого расстояния от центра, ее рост прекращается: температура уже слишком низкая для того, чтобы равновесная концентрация успела установиться за те 5 млрд. лет, которые существует Солнце. Расчеты показывают, что максимальная концентрация изотопа гелия-3 достигается на расстоянии 0,6 солнечного радиуса. Теперь представим себе, что по какой-либо причине произошло внезапное перемешивание солнечных недр. Оно должно повлечь за собой значительный рост концентрации гелия-3 в центральной области Солнца, так как туда поступает материал, где концентрация гелия-3 выше. Поскольку концентрация этого изотопа определяет скорость протон-протонной ре-

акции, энерговыделение резко возрастет, и мы получим ситуацию, обсуждавшуюся выше.

Причиной внезапного перемешивания солнечных недр может быть постепенное накопление какой-то «неустойчивости», которая, дойдя до определенного предела, как бы «сбрасывается». Например, эта причина может быть связана с циркуляцией вещества солнечных недр в меридианном направлении, которая будет как бы «транспортировать» вращательный момент Солнца от его периферических слоев к центру. В результате центральные области Солнца начнут вращаться быстрее, чем периферия. Такая ситуация должна приводить к неустойчивости, которая будет «сбрасываться» перемешиванием. Эта гипотеза рассматривалась японским теоретиком Сакураи. Важная особенность такого механизма внезапного перемешивания — его периодичность. Ведь после того как накопившаяся неустойчивость будет «сброшена», она опять начнет накапливаться, поскольку меридианная циркуляция в солнечных недрах будет продолжаться! По оценкам Эзера и Камерона, между такими сравнительно быстрыми процессами перемешивания солнечных недр протекает порядка сотни миллионов лет. Это означает, что за время эволюции нашего светила такие процессы происходили несколько десятков раз. Так как длительность фазы, когда по причине внезапного перемешивания температура солнечных недр становится ниже «нормальной», порядка десяти миллионов лет, то примерно 10% всего времени своей эволюции солнечные недра должны находиться в таком «минимальном» состоянии.

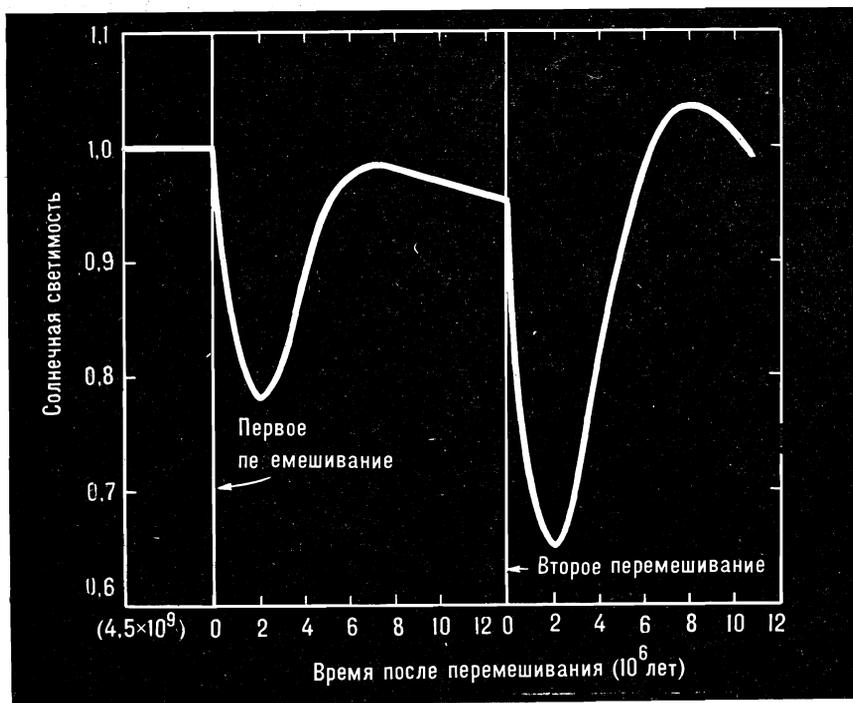


Выходит, что нам особенно «повезло», раз мы живем в такую эпоху эволюции Солнца. Это замечание, как мы увидим ниже, может иметь гораздо более глубокий смысл, чем кажется на первый взгляд...

Американские авторы выполнили численные расчеты вариаций нейтринного излучения Солнца со временем в процессе перемешивания. Согласно расчетам, перед перемешиванием «нормальное» Солнце излучает поток нейтрино, соответствующий примерно 10 с.п.у. на перхлорэтиленовом детекторе Дэвиса. В середине фазы перемешивания поток падает до значения, которое немного, но все-таки ниже наблюдаемого предела.

Однако Эзер и Камерон не ограничиваются только конкретизацией идеи Фаулера. Они идут значительно дальше. Дело в том, что расширение центральной области Солнца должно неизбежно отразиться на его светимости, то есть на потоке его фотонного излучения. Кроме того, должен немного уменьшиться радиус Солнца. Хотя температура поверхности Солнца почти не изменится, его светимость будет заметно снижаться во время фазы перемешивания. Возникает совершенно естественный вопрос: а не отразились ли эти циклические «провалы» солнечной светимости на геологической истории Земли?

Если предлагаемое Фаулером объяснение отрицательного результата опытов по обнаружению солнечных нейтрино правильно, нынешний уровень солнечного излучения следует считать значительно более низким, чем «нормальный». Уменьшение уровня солнечной светимости против «нормального» должно соответствовать



Изменение нейтринного излучения Солнца в процессе перемешивания вещества солнечных недр

Изменение солнечной светимости при расширении центральной области Солнца.

уменьшению равновесной температуры в отношении $(L/L_{\odot})^{1/4}$, где L — «нормальная» светимость, L_{\odot} — современная. Отсюда вытекает, что в настоящее время температура Земли должна быть градусов на 30 ниже, чем в «нормальные» периоды. Следует, правда, заметить, что мощный облачный слой и атмосферная циркуляция должны сгладить разницу средних температур Земли в «нормальное» и в наше время. По-видимому, с учетом этого обстоятельства она должна быть равна 10—15 градусам. Значит, в современную эпоху Земля переживает **ледниковый период!**

Но ведь это соответствует действительности! По геологическим данным, ледниковый период на нашей планете длится вот уже 2 млн. лет. Сейчас на Земле относительно тепло, потому что мы живем в сравнительно короткое (длительностью около 15 тыс. лет) **межледниковое*** время.

Лишь недавно геологи доказали, что оледенение Земли всегда носило **глобальный** характер, то есть происходило **одновременно** в ее северном и южном полушариях. Следовательно, причиной ледниковых периодов может быть только некоторый **космиче-**

ский фактор. Если сейчас начинают понимать, что даже земная метеорология управляется солнечной активностью, можно ли сомневаться в том, что великие оледенения Земли были обусловлены гораздо более значительными изменениями уровня солнечного излучения. Мы говорим «оледенения» во множественном числе. Ведь уже давно известно, что в далеком геологическом прошлом Земли (например, в архейское время) также были великие оледенения. Доказано, что такие оледенения на нашей планете происходили периодически каждые 200—300 млн. лет, причем длительность ледниковых периодов была около 10 млн. лет. Именно к такой картине и приводит развитие идеи Фаулера, выполненное Эзером и Камероном!

Приходится только удивляться неожиданному характеру взаимосвязи явлений в природе. Поразительным образом проблемы нейтринной астрономии могут быть связаны с фундаментальнейшей проблемой геологии, до последнего времени, несмотря на многочисленные попытки, остававшейся нерешенной. Стоит еще подумать о том, что ледниковый период был «колыбелью» человечества. Вряд ли бы австралопитеки стали в итоге длительного процесса эволюции людьми, если бы не было ледникового периода. Даже если дальнейшее развитие науки приведет к другому объяснению отрицательных результатов опытов Дэвиса, объяснение ледниковых периодов, которое мы сейчас обсуждали, может остаться верным и поражать нас своим изяществом.

* Любопытно отметить, что предыдущее межледниковое время, бывшее на Земле около 100 тыс. лет тому назад, закончилось очень быстро, по геологическим масштабам даже внезапно. За какую-нибудь сотню лет теплолюбивые виды покинули воды у побережья Гренландии и Ньюфаундленда. Имеются некоторые основания полагать, что наше межледниковое время подходит к концу, по-видимому, столь же быстро.

Комментарий гляциолога

Хочу высказать несколько замечаний, относящихся к частному примеру одного из следствий колебания нейтринного излучения Солнца, в результате которого на Земле возникают и развиваются оледенения.

Прежде всего, я совершенно согласен, что в современную эпоху Земля переживает ледниковый период, но, конечно, не эпоху некоторого его максимума, а то, что принято именовать, может быть не совсем логично, межледниковым временем.

Во-вторых, если гипотеза В. Фаулера о скачкообразном «перемещении» вещества в недрах Солнца, приводящем к уменьшению его светимости, верна, то это, безусловно, должно существенно повлиять на наши представления о геологической истории нашей планеты.

В-третьих, я разделяю взгляд на то, что оледенения Земли носили всегда глобальный характер, то есть при соответствующих условиях (определенном географическом распределении, высотах, площади суши и океана и пр.) оледенения наступали одновременно и в северном, и в южном полушариях. Однако развивались во времени они по-разному: например, покровное оледенение Антарктиды существует непрерывно уже многие миллионы (по-видимому, около 20 млн.) лет, а в северном полушарии (в Северной Америке и Европе) за тот же промежуток покровные оледенения несколько раз возникали и полностью исчезали.

И. С. Шкловский пишет, что поскольку оледенение носит глобальный характер, значит, причиной ледниковых периодов может быть только какой-либо космический фактор. В принципе это, конечно, так, но нельзя забывать, что раз возникнув на Земле, оледенение в определенных условиях, которые, например, сложились в переживаемую

Экспериментальная гелиобиология

нами геологическую эпоху, превращается в некую периодическую автоколебательную систему. Разумеется, она находится и под воздействием внешних космических факторов. Эти выводы в последнее время доказаны рядом исследователей, в том числе и советскими учеными В. Я. Сергиным и С. Я. Сергиным.

Говоря об оледенениях далекого прошлого (вплоть до архейского времени), нельзя не рассматривать возможный дрейф материков, изменение их площади, конфигурации, высот суши и соотношения суши и океана и пр. Без учета всего этого едва ли можно судить о закономерностях, свойственных оледенениям Земли. Вряд ли можно утверждать строгую периодичность оледенений («каждые 200—300 млн. лет») и их длительность («10 млн. лет»), особенно, если это относится к далеким геологическим периодам. Например, данные бурения морского дна вблизи Антарктиды, проводившиеся с судна «Гломар Челленджер», показывают, что оледенение Антарктиды имеет возраст порядка 20 млн. лет, а возможно, и больше. Таким образом, выходит, что и ледниковый период, в котором мы живем, длится не 2 млн. лет (как пишет И. С. Шкловский), а 20 млн. лет и, может быть, даже больше. Едва ли также есть основания полагать, что наше межледниковое время подходит к концу и, особенно, что этот конец где-то близок.

Цель моих замечаний заключается в том, чтобы продемонстрировать, что на сегодняшнем этапе развития гипотезы Фаулера вряд ли можно ее иллюстрировать детальными данными об оледенении Земли. По моим представлениям, эволюция земных оледенений происходит под влиянием сложного взаимодействия многих факторов и едва ли может быть объяснена только одной, хотя бы и очень «влиятельной» причиной.

Член-корреспондент АН СССР
Г. А. АВСЮК

В ряде медико-биологических экспериментов обнаружена высокая чувствительность живых организмов к слабым электромагнитным полям крайне низких частот.

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И БИОСФЕРА

Влияет ли солнечная активность на биосферу? Вопрос этот не вызывает в наше время таких острых споров, как прежде. Усилиями исследователей на протяжении текущего столетия накоплен обширный фактический материал, убеждающий в том, что солнечной активности сопутствуют многие эффекты в биосфере.

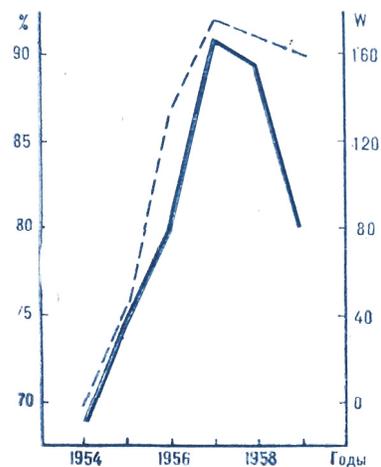
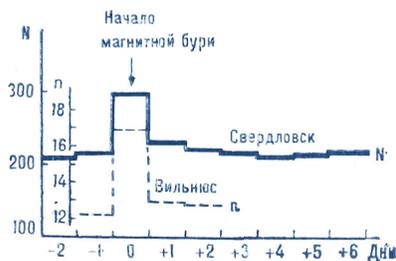
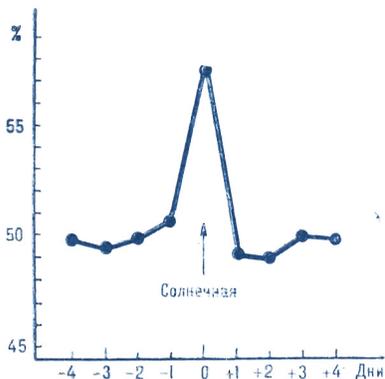
Любой живой организм на Земле находится, как правило, под воздействием большого числа факторов, к тому же самых разнообразных. Как установить связь тех или иных явлений, происходящих в организме, с солнечной активностью? Можно попытаться отыскать в показателях, характеризующих жизнедеятельность организма, ритмические изменения с периодами, близкими к периодам солнечной активности (27-дневная повторяемость или 11-летний цикл). Однако в явной форме эту связь можно обнаружить, сопоставляя какие-либо биологические индексы с мощными хромосферными вспышками или магнитными бурями. Например, смертность от сердечно-сосудистых заболеваний спустя сутки-двое после большой вспышки увеличивается в 2—3 раза! В это же время число автомобильных катастроф в крупных городах возрастает в 2—4 раза, что свидетельствует

о резком ухудшении реакции у многих водителей.

Солнечная активность воздействует и на совсем простые, небологические системы. Так, длительность сохранения переохлажденной воды при некоторых стандартных условиях зависит от уровня возмущенности геомагнитного поля. Во время магнитных бурь замерзание воды (кристаллизация) наступает быстрее. То же происходит и с расплавленным нафталином.

Поскольку все эти выводы сделаны на обширном фактическом материале, трудно представить себе, чтобы для такого большого набора событий корреляция оказалась случайной. Однако не только это убеждает в реальности связи солнечной активности с биологическими явлениями.

Как уже упоминалось, исход заболеваний сердечно-сосудистой системы зависит, кроме всего прочего, от уровня солнечной активности. Возникновение наиболее распространенного из таких заболеваний — инфаркта миокарда сводится, грубо говоря, к поражению сердечной мышцы из-за недостаточности кровоснабжения. В свою очередь, недостаточность кровоснабжения может быть следствием тромба (закупорки) кровеносного сосуда, вызванного либо спазмом сосуда, либо изменением свертываемости крови. Значит, если связь «солнечная активность — инфаркт миокарда» реальна, мы вправе ожидать, что солнечная активность воздействует на систему крови и нервную систему, которая «несет ответственность» за спазм сосуда. Такое влияние было найдено! Далее, если реальна связь солнечной активности с эпидемиями, то солнечная активность должна воздейство-



вать и на возбудитель эпидемии — микроорганизм. И такое влияние тоже было обнаружено!

Внутренняя согласованность и непротиворечивость материала наблюдений показывают, что на поверхности Земли действует какая-то одна причина, вызывающая ряд следствий. Именно к такому заключению пришел в свое время известный советский ученый профессор А. Л. Чижевский, один из первых исследователей проблемы гелиобиологических связей.

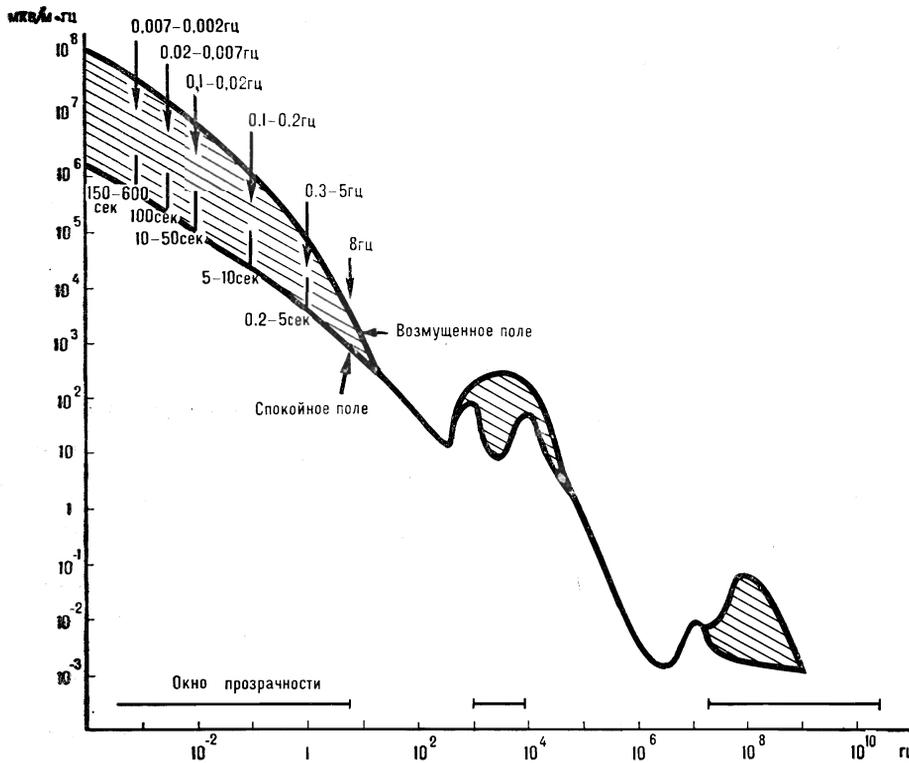
Влияние хромосферных вспышек на равновесие коллоидной системы. Скорость осаждения оксиглорида висмута резко увеличивается в день солнечной вспышки (тест Дж. Пиккарди, Италия)

Магнитные бури и сердечно-сосудистые катастрофы у человека. Сплошная линия — смертность от инфаркта миокарда в Свердловске за 1960—1966 годы (данные К. Ф. Новиковой); пунктир — средненеделные значения заболеваемости инфарктом миокарда и инсультом в Вильнюсе за 1963—1966 годы (данные Л. Лауцевичуса с сотрудниками)

Уровень солнечной активности и концентрация лейкоцитов в крови человека. Сплошная линия — заболеваемость лейкопенией: снижение концентрации лейкоцитов (проценты от $1,9 \cdot 10^5$ случаев заболевания). Пунктир — уровень солнечной активности, выраженный в числе Вольфа (данные Н. А. Шульца, Сочи)

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

Солнечная активность, как установлено, оказывает влияние и на нижние слои земной атмосферы, а следовательно, на погоду и климат. Может быть, эффекты солнечной активности в биосфере обусловлены изменениями традиционных метеорологических элементов — температуры, давления, влажности? Есть веские основания утверждать, что для очень многих явлений такое объяснение неприемлемо. Оно неприемлемо, прежде всего, потому, что изменения метеорологических элементов в одну и ту же сторону не происходят одновременно на большой площади (скажем, давление, как правило, не увеличивается одновременно в Ленинграде и Ставрополе). Эффекты же в биосфере наблюдаются в одни и те же сутки на территории, охватывающей целое полушарие. Американский исследователь А. Дугласс, изучавший вариации толщины колец деревьев в связи с колебаниями солнечной активности, отметил, что для лесов, расположенных в зонах постоянного увлажнения, толщина годичного кольца более тесно коррелирует с солнечной активностью, нежели метеорологические элементы в этом же районе. Иначе говоря, во внешней среде должны существовать какие-то дополнительные факторы, которые, будучи тесно связанными с вариациями солнечной активности, важны для жизнедеятельности организма. В последние годы все больше исследователей склоняются к мысли, что таким фактором может быть естественное электромагнитное поле Земли, точнее, его изменения в связи с изменениями солнечной активности.



Что же представляет собой естественное электромагнитное поле? Это — существующий в любой точке земной поверхности фон радиоволн. В разных частотных диапазонах его происхождение вызвано различными причинами. На частотах выше 20 Мгц земная ионосфера прозрачна для радиоволн, и фон здесь (напряженность поля несколько тысячных микровольта на 1 м и 1 гц) определяется радишумами космического происхождения. Ниже 20 Мгц ионосфера непрозрачна, в этом диапазоне преобладают радишумы атмосферного происхождения (напряженность составляет десятки микровольт на 1 м и 1 гц). Природными «радиовещательными станциями» в данном случае служат атмосферные



Спектр электромагнитного поля на поверхности Земли. По вертикальной оси отложена напряженность электрического вектора, по горизонтальной — частота. Стрелками отмечены частоты, на которых наблюдаются короткопериодические колебания геомагнитного поля, вызванные изменением солнечной активности

электрические разряды. На очень низких частотах (ниже 5 гц) ионосфера опять становится прозрачной, а земная поверхность вновь оказывается незащищенной от космических шумов. На сверхнизких частотах генерация электромагнитных колебаний тесно связана с геомагнитным полем и поясами захваченной радиации. Это уже не обычные радиоволны, а колебания самого магнитного поля Земли, возбуждаемые при обтекании магнитосферы солнечным ветром. Они так и называются — короткопериодические колебания магнитного поля (или геомагнитные пульсации). Вертикальная электрическая составляющая пульсаций достигает иногда сотен вольт на 1 м (она была открыта сравнительно недавно советским ученым Д. Н. Четаевым).

Этот участок спектра электромагнитного фона интересует нас прежде всего. И не только потому, что напряженность поля достигает здесь внушительных величин. Дело в том, что амплитуда электромагнитных колебаний на данных частотах очень сильно меняется — в сотни, а иногда и в ты-

сячу раз! Все эти изменения тесно связаны с солнечной активностью. Спектр поля на сверхнизких частотах состоит из отдельных «линий», наложенных на непрерывные шумы. «Линии» по-разному ведут себя при вариациях солнечной активности.

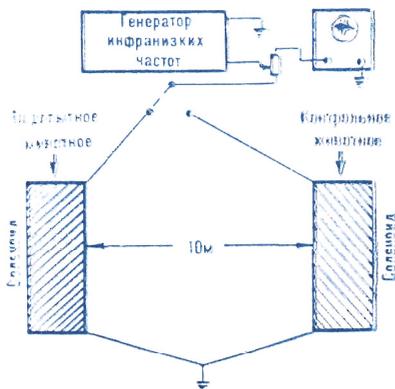
В какой последовательности развивается возмущение электромагнитного поля Земли на сверхнизких частотах во время сильной хромосферной вспышки? В самом начале вспышки появляются колебания на частоте около 0,04 гц. Спустя 30—40 часов после вспышки, когда начинается магнитная буря, возрастает амплитуда колебаний сразу в нескольких частотных полосах от 5 гц до нескольких тысячных долей герца. Во время главной фазы магнитной бури увеличивается напряженность поля во всем сверхнизкочастотном диапазоне, появляются шумы на звуковых частотах. В конце магнитной бури возникают колебания на частотах 5—0,3 гц.

Могут ли изменения напряженности электромагнитного поля Земли влиять на живой организм?

УЧЕНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТИРУЮТ

Воспроизвести возмущение естественного электромагнитного поля Земли в лаборатории технически несложно. Достаточно от генератора подать сигнал нужной частоты и амплитуды на конденсатор или соленоид и поместить в него подопытное животное. В последние годы такие опыты ведутся и у нас в стране, и за рубежом.

В Крымском медицинском институте Министерства здравоохранения СССР профессор А. М. Волынский и его сотрудники уже после первых



экспериментов установили, что слабое сверхнизкочастотное поле существенно влияет на сердечно-сосудистую систему теплокровных животных (кролики, собаки). В течение трех часов подопытные животные находились в электрическом поле напряженностью около 1 в/м и частотой несколько герц. У животных было обнаружено уменьшение частоты сердечных сокращений. Если увеличить продолжительность воздействия (или повторять его несколько дней те же три часа), могут наступить довольно серьезные нарушения в работе сердца. Это было подтверждено патологоанатомическими наблюдениями. Последующие эксперименты (они осуществлялись с электрическим и магнитным полями на частотах 1, 2 и 8 гц) показали, что поле эффективнее воздействует на сердечно-сосудистую систему, если ее работа была уже как-то нарушена до опыта. Рекордной чувствительностью к электромагнитному полю обладают, по-видимому, некоторые рыбы: в опытах, проведенных в США, уменьшение частоты сердечных сокращений было замечено при подаче электрического поля напряженностью в несколько миллионных долей вольта на 1 м и с частотой 5 гц.

Сверхнизкочастотное поле, как оказалось, влияет и на кровеносную систему подопытных животных: на концентрацию кровяных телец и состав белков сыворотки крови. В самих клетках крови при этом также наблюдаются определенные изменения. Например, в белых кровяных тельцах — лейкоцитах под действием очень слабого магнитного поля с частотой 8 гц заметно снижается активность неко-

торых биологических катализаторов.

Нет сомнения, что слабое поле может оказывать влияние и на нервную систему. В первых же опытах по исследованию воздействия поля на сердечно-сосудистую систему и систему крови экспериментаторы обратили внимание на то, что поведение подопытных животных отклоняется от нормы. Впоследствии этот вывод подтвердился анализом записей биоэлектрических потенциалов коры головного мозга (электроэнцефалограмм). Было найдено, например, что частота колебаний биопотенциалов некоторых отделов головного мозга под воздействием поля делается очень близкой к частоте поля, в котором находится подопытное животное. Иными словами, некоторым отделам мозга можно навязать ритм, соответствующий частоте внешнего поля. Крымские медики обнаружили этот эффект на частоте 2 гц у кроликов, а американские — на частоте 7 гц у обезьян-макак. Наконец, опыты, проведенные во Льво-

Простейшая схема опытов, имитирующая возмущения электромагнитного поля Земли. Сигнал от генератора инфранизких частот подается на соленоид, в котором помещается подопытное животное, в другом соленоиде — контрольное животное

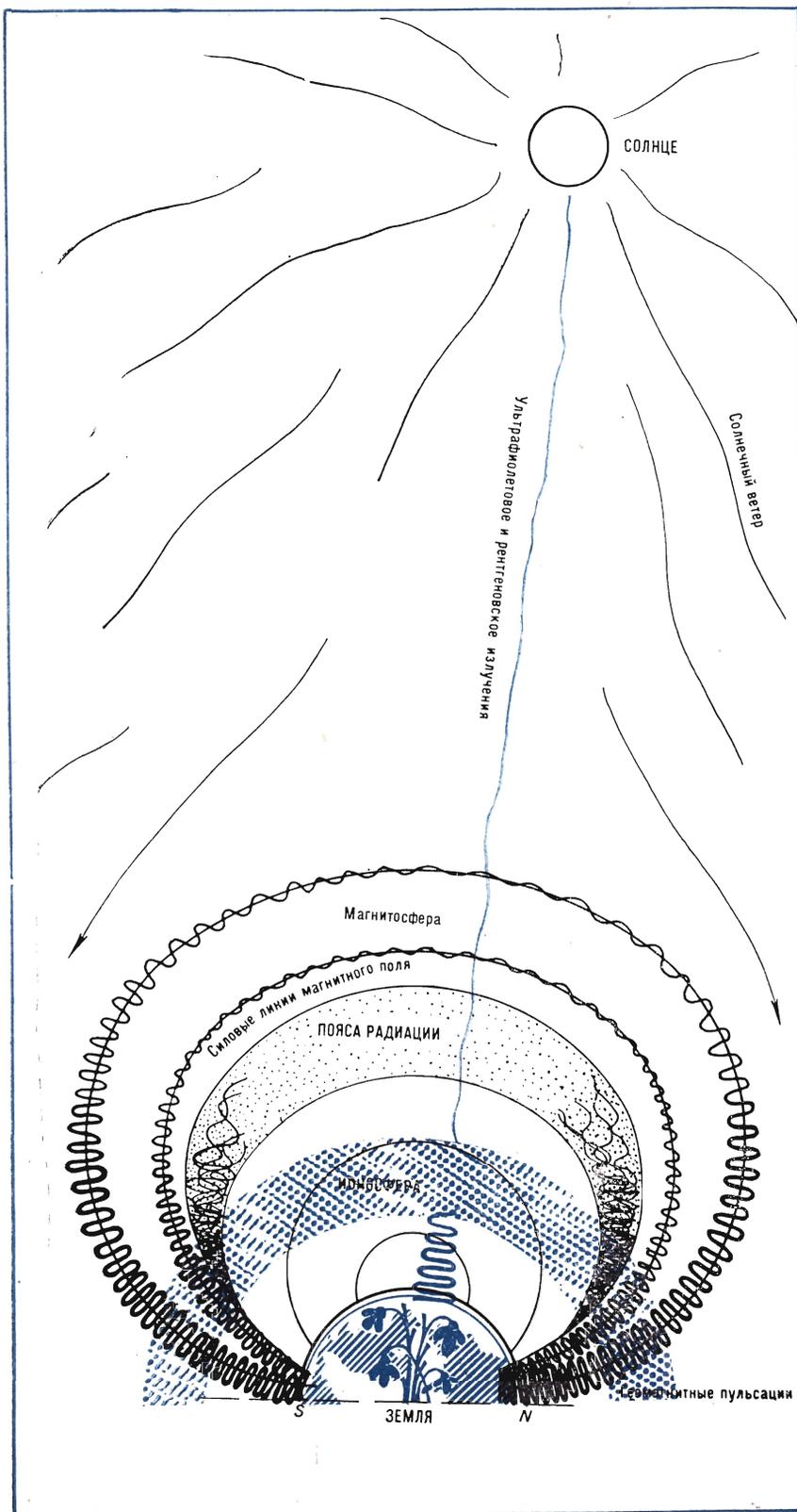
Электрокардиограмма кролика, находившегося в электрическом поле напряженностью 1 в/м и частотой 8 гц. Отмеченные стрелкой аномалии появляются у животного после нескольких экспериментов продолжительностью по три часа в сутки. Внизу — электрокардиограмма контрольного животного (опыты А. М. Волынского, Крым)

ве, продемонстрировали, что у человека может быть выработан классический условный рефлекс на включение слабого переменного магнитного поля (10—0,01 гц).

Вывод о биологической эффективности слабого сверхнизкочастотного поля следует из экспериментов и с более примитивными организмами — земноводными, насекомыми, бактериями. В лаборатории бионики Сибирского физико-технического института исследовалось воздействие слабого поля очень низких частот не на живые организмы, а на коллоидные системы. Оказалось, что такое поле может влиять и на поведение коллоидных растворов.

Итак, модельные эксперименты показывают, что электромагнитное поле сверхнизких частот напряженностью, близкой к естественным условиям, биологически эффективно. Этот вывод может быть независимо проверен, ведь организм нетрудно экранировать от внешних электромагнитных полей. Отражается ли такая экранировка на его жизнедеятельности? Эксперименты с экранированием ставились в нескольких лабораториях СССР и за рубежом на самых разных организмах — от бактерий до человека. Всюду результат был один: электромагнитное экранирование влияет на жизнедеятельность организма. Немецкий исследователь Р. Вевер установил, что у человека, находящегося в экранированном помещении, нарушается согласованность (синхронизация) биоритмов. Под электромагнитным экраном бактерии растут медленнее, чем в его отсутствие.

Таким образом, электромагнитные поля сверхнизких частот сказываются



на деятельности живых организмов, а подобные им поля в естественных условиях тесно связаны с солнечной активностью. Разумно было бы считать электромагнитное поле Земли посредником между солнечной активностью и биосферой. Как же передается влияние солнечной активности на биосферу? Если увеличивается интенсивность жесткой волновой радиации Солнца (ультрафиолетовое и рентгеновское излучения), то изменяется ионизация и нарушается равновесие земной ионосферы, что порождает, в свою очередь, возмущения в ионосферных токовых системах. Токовые возмущения отражаются на величине напряженности электромагнитного поля на поверхности Земли. Колебания напряженности поля приводят к функциональным изменениям в организме. Возмущения электромагнитного поля у поверхности Земли обусловлены одновременно и изменениями основных параметров солнечного ветра (скорость, появление неоднородностей и разрывов, напряженность и ориентация межпланетного магнитного поля). Вариации этих параметров тесно связаны с событиями в солнечной короне, вызванными теми или иными проявлениями солнечной активности.

Одно ли электромагнитное поле осуществляет связь между солнечной активностью и биосферой? Вероятно, нет. Есть некоторые основания предполагать, что электромагнитное поле имеет помощника, притом труднонаблюдаемого — атмосферный инфразвук. Будущие исследования покажут, так ли это.

Схема воздействия солнечной активности на биосферу



ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ПОЛЯРНОГО СИЯНИЯ

Как уже сообщалось («Земля и Вселенная», № 1, 1974 г., стр. 32), 29 мая 1973 года в Советском Союзе проведен первый эксперимент по созданию искусственного полярного сияния. В этом сложнейшем эксперименте под условным названием «Зарница» принимали участие: Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР, Институт космических исследований АН СССР, Институт электросварки имени Е. О. Патона АН УССР, Полярный геофизический институт Кольского филиала АН СССР, Гидрометеослужба СССР, Ленинградский и Киевский университеты. Научный руководитель эксперимента — директор Института космических исследований академик Р. З. Сагдеев.

Проведению эксперимента «Зарница» предшествовала большая подготовительная работа. Вначале это были жаркие дискуссии на семинарах. Затем — технические разработки. Нужно было воплотить идею в «металл» — создать комплекс бортовой аппаратуры для метеорологической ракеты МР-12 и в первую очередь — надежный ускоритель электронов. Опыт работы в области электронно-лучевой сварки на Земле и в космосе обеспечил успешное решение поставленной задачи. Однако задача эксперимента сводилась не только к инъекции быстрых электронов в верхнюю атмосферу и в создании искусственного полярного сияния, но и в регистрации его оптическими и радиометодами.

Искусственное сияние только по аналогии называют полярным, ведь создавалось оно в средних широтах, в районе Волгограда. Потому оно и искусственное, что его можно создать в любом районе земного шара «по заказу».

Для наблюдений искусственного сияния в район эксперимента были снаряжены четыре экспедиции, которые располагали высокочувствительными телевизионными установками и кинокамерами с электронно-

оптическими преобразователями. Ожидаемое искусственное полярное сияние должно было быть слабым, поэтому и потребовалась такая высокочувствительная аппаратура.

Хотя мощность электронной пушки 4 квт, количество энергии, излучаемой в видимой области, составляло не более 10 вт. Основная энергия пучка электронов расходовалась на нагрев атмосферы и излучение в невидимых диапазонах волн. Чтобы уверенно зарегистрировать столь слабое свечение, наблюдать необходимо в безлунную и безоблачную ночь. Шли месяцы, и только 29 мая 1973 года наступил такой вечер.

Трудно передать волнение участников эксперимента. Только во время полных солнечных затмений наблюдатели испытывают нечто подобное. Ведь эксперимент длился всего 6 минут и нужно было многое успеть. Группа сотрудников кафедры астрономии Киевского университета к наблюдениям искусственного полярного сияния подготовила две телевизионные установки, имеющие много общего с обычным телевидением. Отличались же они, главным образом, высокой чувствительностью. В них были использованы передающие трубки, снабженные электронно-оптическими усилителями яркости, благодаря этому чувствительность установок превышала в сотни раз доступную глазу или самым чувствительным фотоматериалам. Даже обычными фотографическими объективами на таких установках можно, например, зарегистрировать за тысячи километров свечение лампы карманного фонарика. В данном эксперименте большие телескопы не применимы. Ведь за 6 минут ракета пролетает сотни километров. Следовательно, и сияние будет быстро перемещаться, так что большому телескопу за ним не уследить. К тому же искусственное полярное сияние — это полоса шириной в сотни метров и длиной в десятки километров. Чтобы в поле зрения попал весь луч, необходимы широкоугольные фотографические объективы.



В соответствии с разработанной программой, сияние предполагалось наблюдать вслепую. Так как сияние слабое и визуально его увидеть невозможно, то оператор по заранее составленному плану направлял телекамеру в заданную область неба. Однако реальная ситуация существенно упростилась, когда на экране телевизора четко обозначились долгожданные лучи.

Запас чувствительности помог не только уверенно фотографировать сияние, появившееся на экране, но и следить за его движением и подавать команды для управления телекамерой. В результате нам удалось зафиксировать на пленку искусственное полярное сияние с момента его появления и до конца работы инжектора. На протяжении 232 секунд сделано более 300 снимков, то есть целый фильм.

Получен уникальный научный материал, который позволяет исследовать физические условия в области искусственного сияния, в частности, оценить энергию, излученную в видимой области, и высоту свечения.

Определить высоту свечения в принципе возможно, хотя наблюдения и ведутся из одного пункта. Для этого необходимо учитывать положение ракеты и направление силовой линии магнитного поля Земли, проходящей через ракету. Ведь лучи искусственных полярных сияний располагаются именно вдоль таких линий.

Накопленный в эксперименте «Зарница» опыт наблюдений будет зимой 1974/75 годов использован в предстоящем советско-французском эксперименте «Аракс», который станет новым шагом в решении проблемы управляемого воздействия на магнитосферу Земли.

Доцент А. Т. НЕСМЯНОВИЧ
В. И. ИВЧЕНКО

Светлый луч в созвездии Северной Короны — первое искусственное сияние, полученное в Советском Союзе



Профессор
С. К. ВСЕХСВЯТСКИЙ

Комета века: прогнозы и реальность

Прежде чем начать рассказ о комете Когоутека, которая с середины 1973 года стала известна миллионам людей нашей планеты, следует пояснить, почему именно кометы привлекли в последнее время столь пристальное внимание ученых и оказались на переднем крае современной науки. Дело в том, что исследования природы и всех особенностей семейства комет указали на их важнейшую роль как свидетелей прошлого Солнечной системы и как естественных зондов межпланетного пространства; дезинтеграция, распад кометного вещества вырисовывают направление процессов развития планет и всей Солнечной системы. С другой стороны, и некоторые из современных космогонических моделей приписывают кометам роль того первичного материала, из которого, по предположению, конденсировались планеты Солнечной системы.

Среди ученых, посвятивших себя исследованию комет, особое место по праву принадлежит американскому астроному Джоржу Ван Бисбруку, скончавшемуся 23 февраля 1974 года в Тьюсоне (Аризона). На протяжении последних шестидесяти с лишним лет Ван Бисбрук занимался изучением комет и их орбит. Он наблюдал около 276 кометных появлений и открыл три новые кометы. Если учесть еще многочисленные наблюдения астероидов, проводившиеся доктором Ван Бисбруком, его наблюдения и работы в области двойных звезд, то Джоржа Ван Бисбрука с полным правом можно назвать великим наблюдателем, «Тихо Браге XX века».

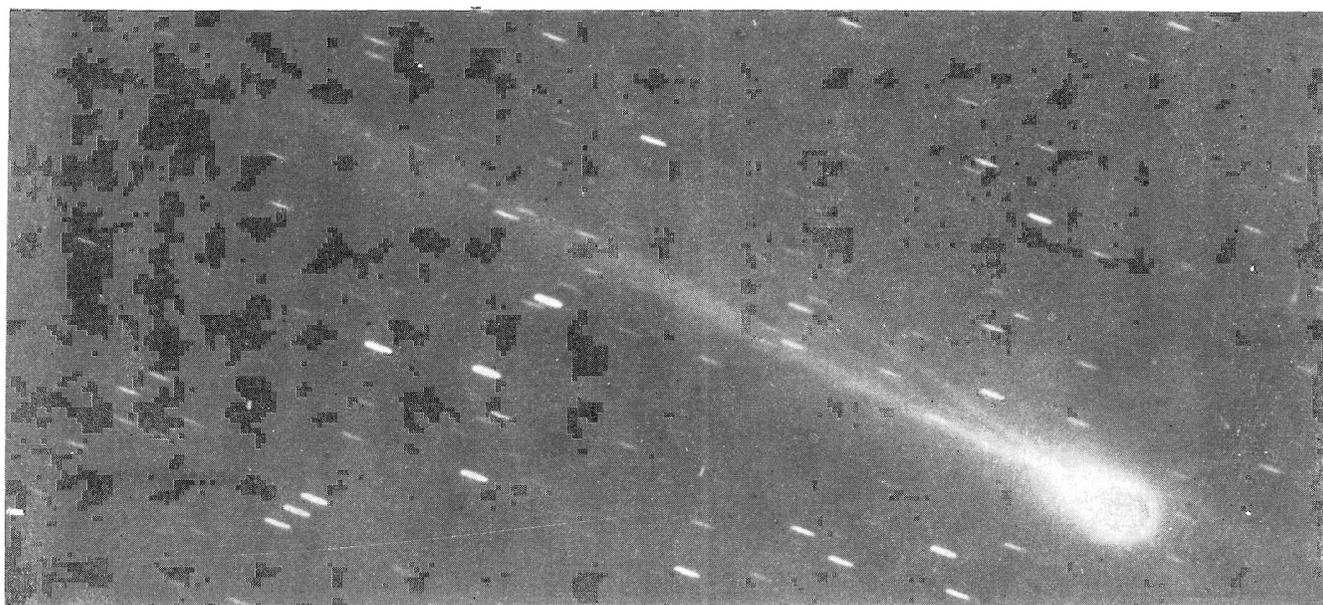
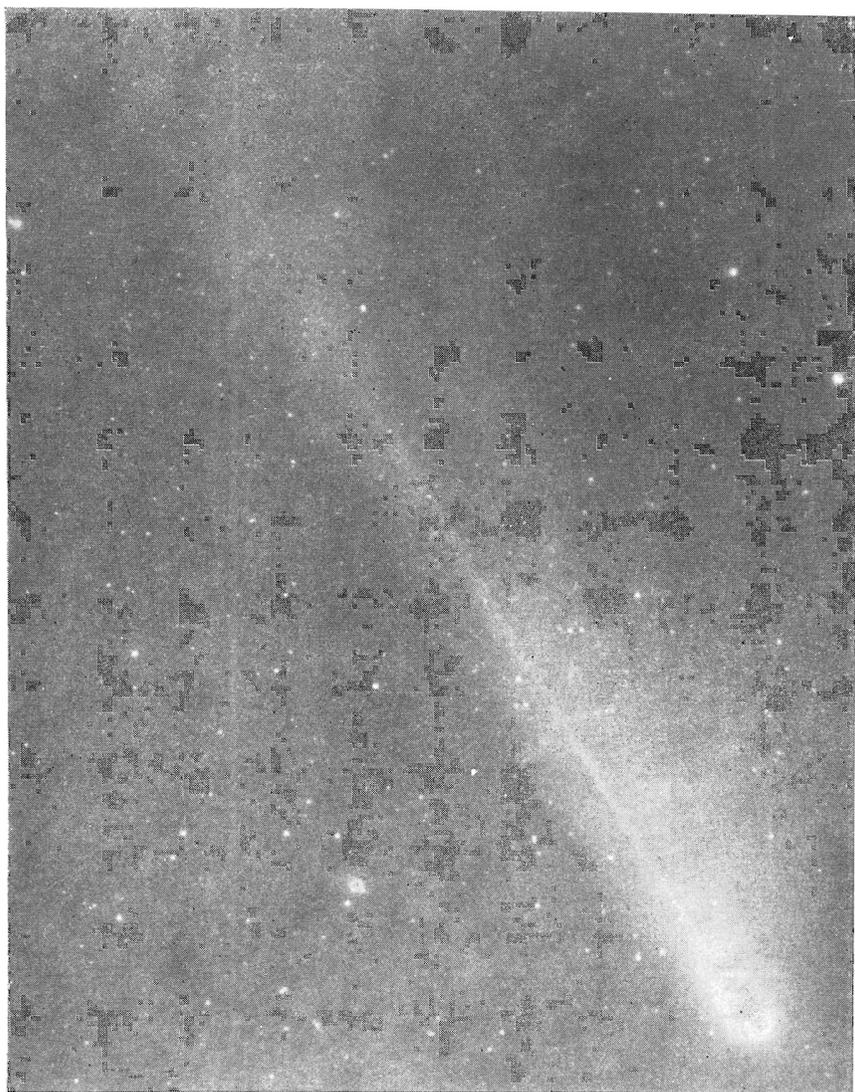
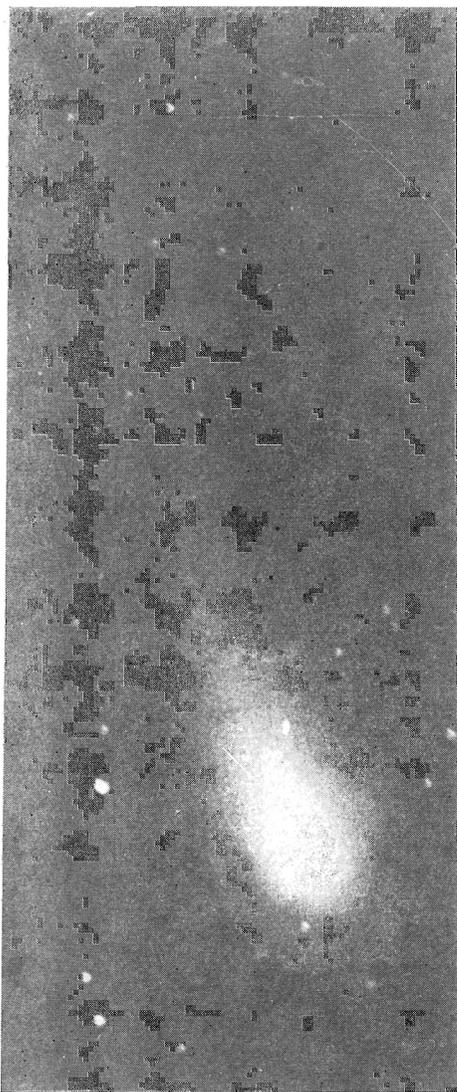
Интерес исследователей к проблемам комет вызвал серию конферен-

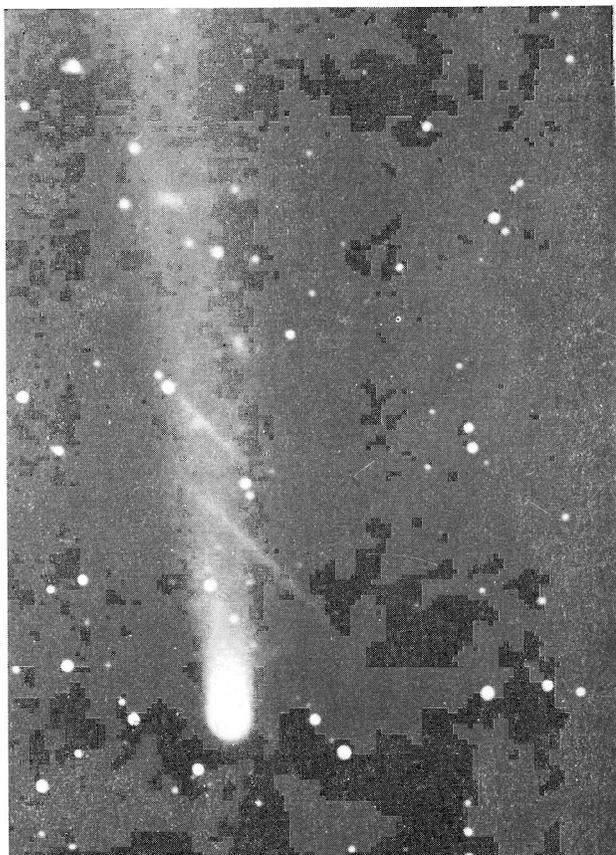
Хотя комета Когоутека не оправдала надежд многих астрономов и не достигла яркости Луны, ее по праву можно назвать кометой века. Впервые почти вся мощь современной астрономической техники была обращена на изучение этой космической гостьи.



Комета Когоутека 17 января 1974 года. Сотрудник Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР В. Ишков получил эту фотографию на 24-сантиметровой камере Шмидта, установленной в Специальной астрофизической обсерватории АН СССР

ций, симпозиумов, дискуссий. В апреле 1970 года Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) собрало специалистов США и Европы, чтобы определить основные направления изучения комет космическими средствами. Американские специалисты наметили планы исследования некоторых короткопериодических комет — кометы Энке, Д'Арре, Копфа. Эти эксперименты помогут подготовиться к всесторонним наблюдениям в 1986 году знаменитой кометы Галлея, возвращающейся к Солнцу после 76-летнего путешествия по окраинам планетной системы. Были отмечены и серьезные трудности. Например, предвычисления положений периодических комет не могут обеспечить необходимой точности из-за отсутствия сведений о негравитационных эффектах в движении комет, то есть о реактивном действии вырывающихся из ядра кометных газов и частиц или о столкновениях фрагментов в самом ядре. Интерес к кометам стимулировала и Международная конференция по движению и происхождению комет, собиравшаяся в августе-сентябре 1970 года в Ленинграде, а также Совещание по малым телам (кометы и астероиды) и космогонии Солнечной системы, состоявшееся в Ницце в 1971 году. В 1970 году НАСА создало рабочую группу по кометам, которая в июне 1971 года провела совещание на Меркской обсерватории. Были выбраны первые кометы, через голову которых пройдет космический зонд, — кометы Энке, Д'Арре и Копфа. Возможно, космический зонд просто сблизится с кометой и будет двигаться рядом с ней до тех пор, пока не





Наблюдения кометы Когоутека на горе Майданак

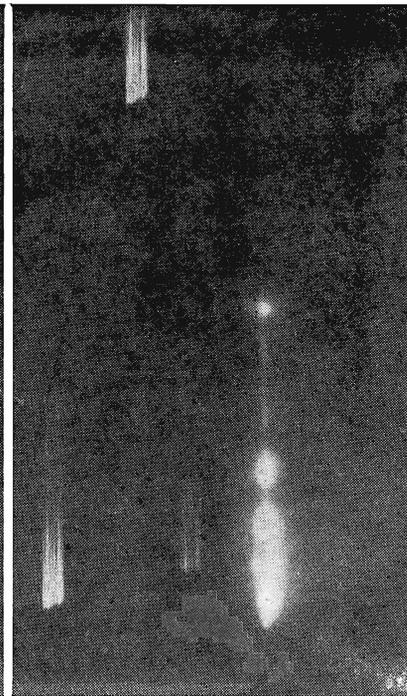
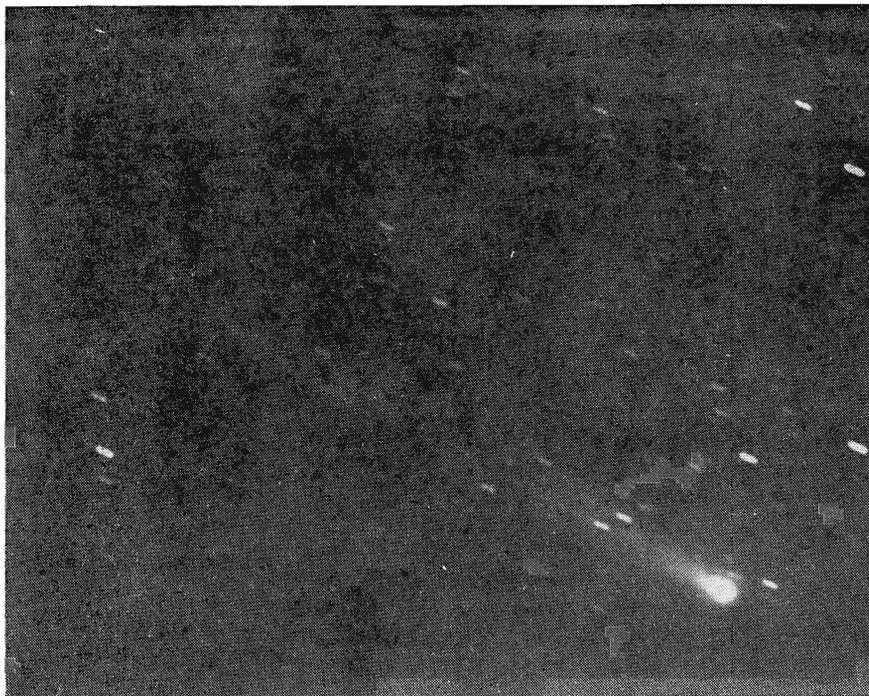
В январе 1974 года участники высокогорной майданакской экспедиции Астрономического института АН УзССР проводили наблюдения кометы Когоутека. Наибольший интерес представляло фотографирование кометы вблизи Солнца. Поэтому, начиная с 3 января, регулярно обозревалась та область неба, где астрономы ожидали появления кометы. Впервые визуально комета Когоутека была обнаружена вечером 6 января — через девять дней после максимального сближения ее с Солнцем. Несмотря на неблагоприятные условия наблюдений (сумеречное небо, полная Луна, яркие Венера и Юпитер), невооруженным глазом можно было отчетливо различить голову кометы и ее хвост, развернутый к зениту. Угловой размер хвоста, видимого визуально, составлял примерно $10\text{--}12^\circ$. Визуальные наблюдения кометы продолжались весь январь. Ее яркость постепенно ослабевала, размеры хвоста уменьшались.

С 11 по 27 января узбекские астрономы фотографировали комету на телескопе Шмидта. Этот инструмент, установленный на Майданаке, имеет весьма скромные оптические характеристики: диаметр коррекционной пластины 27 см, диаметр зеркала 33 см, фокусное расстояние 63 см, размер поля $3 \times 3^\circ$. И все же узбекским ученым удалось сделать 12 фотографий кометы в разных спектральных участках.

В. Г. ХЕЦЕЛИУС



Комета Когоутека 14 января 1974 года



закончатся детальные исследования составляющих ядра и головы кометы.

В 1973 году, когда подготовка космических экспериментов началась, Л. Когоутек открыл 7 марта далекую комету 16-звездной величины. Она получила первоначальное обозначение 1973 f — шестая комета среди открытых в 1973 году. Первую орбиту кометы вычислил Б. Марсден — руководитель Международного центра астрономических телеграмм и открытий. Согласно его расчетам, 7 марта 1973 года комета находилась на расстоянии 4,2 а.е. от Земли и 4,8 а.е. от Солнца; перигелий она должна была пройти 29 декабря 1973 года на рас-

стоянии 0,14 а.е. от Солнца и 0,98 а.е. от Земли.

Блеск комет в среднем меняется обратно пропорционально квадрату расстояния от Земли и четвертой степени расстояния от Солнца. Поэтому еще в апреле — мае, когда уточнялась орбита, было подсчитано, что видимый блеск кометы 29 декабря должен в $\left(\frac{4,2}{0,98}\right)^2 \cdot \left(\frac{4,8}{0,14}\right)^4 = 25$ млн. раз превосходить ее блеск при открытии. Это соответствует возрастанию блеска почти на 19 звездных величин. Следовательно, в перигелии комета Когоутека могла иметь блеск —3-й величины. Марсден первоначально предположил другой закон изменения яркости и для перигелийного блеска кометы получил —10-ю звездную величину. Отсюда и возникло представление об исключительной яркости кометы. Кроме того, не было принято во внимание, что вблизи перигелия комета будет видна около Солнца на ярком дневном небе. В январе, двигаясь от Солнца к востоку и выходя на вечернее небо, комета была очень низко над горизонтом, и на вечернем светлом небе (вдобавок еще при яр-

кой Луне!) ее с трудом можно было увидеть невооруженным глазом. Но тем не менее комета Когоутека стала кометой века, потому что ее впервые, после появления кометы Галлея в 1909—1910 годах, наблюдали на всех астрономических обсерваториях мира.

Астрономы подготовили грандиозную программу исследований. Служба кометы Когоутека обсуждалась сначала на Комиссии 15 (физика комет, астероидов и метеоритов) Международного астрономического союза, затем неоднократно дополнялась различными специальными экспериментами. Сотни обсерваторий, разбросанных по всему земному шару, уже получили тысячи фотографий, на которых запечатлена вся картина изменений структуры головы и хвоста кометы. Эти снимки помогут выявить, как действуют могучие отталкивательные силы Солнца, и уточнить физические условия в межпланетном пространстве. Астрономы ФРГ предложили свети к единому масштабу фотографии, сделанные на широкоугольных камерах, чтобы создать наглядную историю «жизни» кометы. Помимо необходимых определений точных положе-

■
Комета Когоутека 18 января 1974 года. Снимок сделал Г. Кимеридзе на 20-сантиметровом астрографе Абастуманской астрофизической обсерватории АН ГрузССР

■
Спектр кометы Когоутека 18 января 1974 года, полученный сотрудником Абастуманской астрофизической обсерватории АН ГрузССР И. Бейтришвили на 70-сантиметровом телескопе с объективной призмой



ний кометы, впервые осуществлялись фотометрические, поляриметрические наблюдения и разнообразные спект-

■
Комета Когоутека 19 января 1974 года. Киевские астрономы К. Чурюмов и Н. Ильчишина сфотографировали комету на 40-сантиметровой камере Южной станции Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга. Хвост кометы простирается на 10 градусов

ральные исследования в широком диапазоне спектра — от далекого ультрафиолета до радиодиапазона. Ученые изучали природу кометных частиц и процессы диссоциации исходных родительских субстанций.

После обнаружения грандиозных водородных атмосфер у комет Таго — Сато — Косака и Беннетта были проведены разнообразные наблюдения кометы Когоутека космическими об-

серваториями ОАО-3 и ОСО-7 и «Маринером-10», который по пути к Венере и Меркурию проходил недалеко от кометы. Астронавты третьего экипажа «Скайлэба» также занимались исследованиями кометы Когоутека. Не меньший интерес представляли наблюдения кометы в радиодиапазоне. Самые мощные радиоустановки использовались для обнаружения эмиссионных линий или линий поглощения в радиоспектре кометы. Существование линий предполагалось на основании блестящих успехов молекулярной радиоспектроскопии галактических объектов. Это мощное наступление на проблемы комет стало дальнейшим шагом в развитии международных кооперативных исследований комет, впервые организованных и проведенных советскими астрономами (Киевским кометным центром) в период Международного года спокойного Солнца.

Широкую программу наблюдений кометы подготовили и советские астрономы. В Пулковской обсерватории были запланированы определения точных положений кометы на нормальном астрографе и двух других инструментах, фотометрические исследования головы и хвоста, спектральные наблюдения на солнечных телескопах и на сканирующем спектрометре, а также наблюдения на большом солнечном радиотелескопе. Крымская астрофизическая обсерватория собиралась провести, помимо позиционных и фотографических, телевизионные наблюдения со светофильтрами, изучение спектра кометы на больших рефлекторах, наблюдения на 22-метровом радиотелескопе. Метровый и полуметровый телескопы Шмидта Бю-

раканская астрофизическая обсерватория АН АрмССР предоставила в январе 1974 года для наблюдений кометы, которые проводились совместно с экспедицией кафедры астрономии Киевского университета. Специальные наблюдения на 60-сантиметровом телескопе были намечены и успешно осуществлены в Специальной астрофизической обсерватории АН СССР. Большую интересную программу наблюдений кометы с узкополосными фильтрами, поляриметрические и спектральные исследования головы и хвоста кометы разработали Астрофизический институт АН КазССР и Гиссарская обсерватория АН ТаджССР.

Активно участвовали в наблюдениях кометы Абастуманская астрофизическая обсерватория АН ГрузССР, Шемахинская астрофизическая обсерватория АН АзербССР, обсерватории и станции по наблюдениям искусственных спутников Земли Ужгородского, Уральского и Львовского университетов, Одесская обсерватория, Астрономический институт АН УзССР, Астрономическая обсерватория имени В. П. Энгельгардта, Государственный астрономический институт имени П. К. Штернберга, Николаевская обсерватория и др.

Кафедра астрономии Киевского университета и Главная астрономическая обсерватория АН УССР проводили наблюдения на новых телескопах загородной станции в Лесниках (под Киевом), на Голосеевской и Шемахинской обсерваториях, на южной станции Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга и в Специальной астрофизической обсерватории АН СССР. В тесном контакте с киевскими астронома-



ми комету наблюдали сотрудники кометного отдела Солнечной уссурийской станции — самой восточной обсерватории советской Службы кометы Когоутека. Самой западной была обсерватория в Алжире, где молодые советские астрономы организовали наблюдения за космической гостьей. «Кометные циркуляры», выпускаемые Киевским кометным центром, содер-

Любош Когоутек — астроном обсерватории Гамбург — Бергедорф, открывший комету 1973 f («Sky and Telescope», 47, 2, 1974)

жали все необходимые эфемеридные данные и сведения о комете Когоутека.

Условия наблюдения кометы были мало благоприятными для советских астрономов. Мешала близость кометы к Солнцу, ее низкое расположение над горизонтом, да и погода не радовала наблюдателей. Но в целом мировая Служба кометы Когоутека дала выдающиеся результаты.

Уже сейчас можно привести предварительные данные о том новом, что принесла с собой эта комета. Ее абсолютная величина оказалась равной $3^m,5-4^m,0$, что характерно для комет умеренно ярких. Вблизи перигелия комета достигла блеска —3-й величины. В январе 1974 года у нее наблюдался узкий, сложной структуры хвост I типа длиной до 25° , хвост II типа низкой поверхностной яркости длиной до $10-15^\circ$ и аномальный хвост, в некоторые периоды простиравшийся на 3° . Наблюдалось появление облачных образований в хвостах; отмечено значительное возрастание яркости аномального хвоста в феврале и, особенно, в конце февраля. Голова характерной луковичной формы, малая поверхностная яркость хвостов указывали на то, что родительские молекулы кометного ядра были иной природы, нежели у кометы Беннетта, и диссоциировали значительно быстрее. На это же указывали и наблюдения в инфракрасной области. Здесь не был обнаружен максимум излучения на длине волны 10 мк, соответствующий частицам силикатной природы. Излучение водорода в голове кометы наблюдалось сначала в видимой области (на спектрограммах, полученных большим солнечным телескопом обсерватории

Китт Пик), затем — в далеком ультрафиолетовом диапазоне (космическими обсерваториями и ракетами). В частности, ультрафиолетовый спектрофотометр межпланетного зонда «Маринер-10» зафиксировал водородную кому кометы, простиравшуюся до 12° от ядра в противоположном Солнцу направлении. 8 января 1974 года ракета «Аэробы» в хвосте кометы обнаружила в линии L_α водородное облако, быстро двигавшееся от ядра.

Уникальные наблюдения спектра кометы были выполнены на 3-метровом рефлекторе Ликской обсерватории и 5-метровом телескопе обсерватории Маунт Паломар. Астрономы Ликской обсерватории обнаружили более 800 эмиссионных линий в области 4800—8600 Å, среди которых много неотожествленных, а наблюдатели в Маунт Паломаре — примерно 200 ранее неизвестных линий в области 5600—8300 Å. Канадские астрофизики идентифицировали некоторые линии в спектрах хвоста как излучение иона H_2O^+ . На прекрасных спектрограммах кометы, полученных в Специальной астрофизической обсерватории АН СССР, выделяются полосы C_2 , CN, C_3 , NH_2 , линии кислорода и натрия.

На многих обсерваториях мира, в том числе на Абастуманской и Алмаатинской, а также на Кисловодской горной станции (экспедиция Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР) проводились поляризационные исследования излучения головы и хвоста кометы. Поляризация оказалась весьма значительной, что говорит об особенностях светящегося вещества и магнитных полей в комете. Многие тысячи фотографий кометы сделаны

астронавтами «Скайлэба», они еще ждут своей интерпретации.

Однако наиболее важные, с моей точки зрения, результаты были получены радиоастрономами. Еще в начале декабря 1973 года радиоастрономы обсерватории Китт Пик на длине волны порядка 3 мм обнаружили в ядре кометы излучение молекул метилцианида CH_3CN , которые до этого наблюдались в галактических диффузных туманностях, в радиосточниках Стрелец В2 и А. Затем французские астрономы открыли в радиоспектре кометы линию поглощения гидроксила OH, американские исследователи — эмиссионную линию изоцианида водорода HCN и углеводорода CH. Несмотря на предварительный характер этих данных, можно все-таки утверждать подобие процессов, совершающихся в Солнечной системе, где происходит постоянный выброс комет и вещества в межзвездное пространство, и процессов выброса вещества из диффузных галактических туманностей.

Благодаря изумительным достижениям молекулярной радиоспектроскопии установлено соответствие самой природы молекул, наблюдаемых в Солнечной системе и в галактических туманностях. Из 25 молекул, открытых в межзвездной среде, 10 наблюдались в кометах. Столь сильное сходство кометного вещества с веществом, выбрасываемым из активных галактических образований, может служить очень важным, независимым доказательством эруптивной природы процессов в Солнечной системе. Подтверждается еще раз важнейшее положение о том, что Солнечная система и планетные тела вовсе не исклю-

чительное или единственное явление в космосе, а подобны другим системам развивающихся звезд, в которых также проявляются процессы дезинтеграции и распада. Выводы кометной астрономии приоткрывают совершенно новые возможности для изучения процессов развития в Космосе.

**Редакция благодарит всех при-
славших фотографии и спектры
кометы Когоутека: Д. Андри-
енко и М. Свечникова** (Астрономическая обсерватория в Алжире), **В. Афанасьева** (Специальная астрофизическая обсерватория АН СССР), **М. Братийчук** (обсерватория Ужгородского университета), **В. Ивченко и Ф. Кравцова** (кафедра астрономии Киевского университета), **любителей астрономии В. Голубева и А. Мажугу** (Уссурийское отделение ВАГО), **С. Фоканова** (город Геничек Херсонской области).

■ *Комета Когоутека 3 декабря 1973 года. Снимок сделан на 90-сантиметровом телескопе обсерватории Конколи (Будапешт, ВНР)*

■ *Комета Когоутека 16 января 1974 года. Сотрудники Звенигородской экспериментальной станции сфотографировали комету на большой спутниковой камере. Хвост кометы прослеживается на 3 градуса*

■ *Комета Когоутека 19 января 1974 года. Фотография получена Н. Черных на двойном 40-сантиметровом астрографе Крымской астрофизической обсерватории. Слабо светящийся хвост кометы тянется на 10 градусов*

Профессор
Г. М. НИКОЛЬСКИЙ
Кандидат физико-математических наук
А. А. САЗАНОВ

Наблюдения кометы Когоутека

Яркость любой кометы зависит от ее расстояния до Солнца (r) и до Земли (Δ). Еще в начале XX века русский астроном С. В. Орлов нашел, что яркость комет I пропорциональна r^{-n} , где n может принимать значения от 2 до 6. Согласно исследованиям советского астронома С. К. Всехсвятского, в среднем $n = 4$. Ясно, что для земного наблюдателя яркость кометы обратно пропорциональна Δ^2 . Обычно блеск комет оценивается в звездных величинах m , пропорциональных $-2,5 \lg I$, поэтому окончательно видимая интегральная звездная величина кометы выражается как

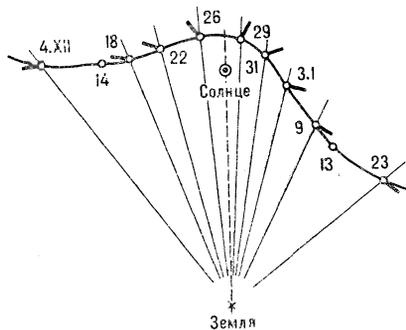
$$m = H_y + y \lg r + 5 \lg \Delta$$

где $y = 2,5 n$ ($y = 10$ для среднего значения $n = 4$); H_y — постоянная, характеризующая блеск кометы при удалении ее от Солнца и от Земли на расстояние 1 а.е. H_y называется абсолютной звездной величиной кометы. Наиболее полное исследование абсолютных величин комет проведено С. К. Всехсвятским в книге «Физические характеристики комет» (М., Физматгиз, 1958 г.).

Комета Когоутека, принадлежащая к группе комет с почти параболическими орбитами (период обращения более 1000 лет), должна была иметь, согласно расчетам, $H_{10} \approx 5^m$, откуда следует, что при прохождении через перигелий ее блеск достигнет -3 -й величины.

Как показали наблюдения в декабре, когда комета приблизилась к Солнцу на расстояние менее 1 а.е., закон возрастания ее блеска оказался в действительности весьма близким к предсказанному (см. рисунок на странице 50); восходящая ветвь кривой блеска,

Неожиданно малая яркость кометы Когоутека помешала астрономам провести многие из подготовленных экспериментов. Сотрудники лаборатории солнечной активности Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР выполнили измерения блеска кометы и поляризационные наблюдения.



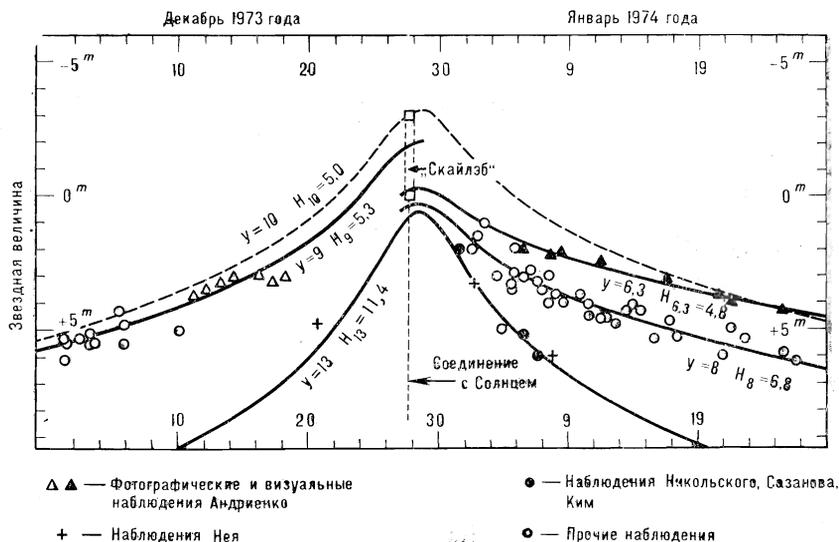
построенной по наблюдениям, аппроксимируется параметрами $y = 9$, $H_9 = 5^m,3$. После 16 декабря яркость кометы, если судить по фотографическим наблюдениям советского астронома Д. А. Андриенко в Алжире, начала падать. К сожалению, эти на-

Траектория кометы Когоутека относительно линии Земля—Солнце в плоскости, проходящей через Землю, комету и Солнце. Вдоль траектории кружками отмечены положения кометы в указанные календарные даты. Короткие отрезки прямых, проведенные от кружков, совпадают с направлением Солнце—комета (у кометы Когоутека хвост располагается близко к этому направлению)

блюдения не продолжались далее 18 декабря. Оценку блеска кометы, сделанную Э. Неем (США) 20 декабря, можно считать подтверждением такого падения. Однако это более низкое значение блеска может объясняться и тем, что Э. Ней проводил свои наблюдения в иной области спектра — в красно-оранжевой.

Астронавты орбитальной обсерватории «Скайлэб» оценивали блеск кометы вблизи ее соединения с Солнцем. Такие наблюдения весьма трудны, и полученная оценка не очень точна: от 0^m до -3^m .

Первое определение яркости кометы после прохождения перигелия было сделано авторами этой статьи вместе с И. С. Ким 31 декабря: в красной области спектра (5800—7000 Å) комета имела блеск около $+2^m$. Эта оценка подтверждена наблюдениями, проведенными на следующий день В. И. Киладзе в Абастуманской астрофизической обсерватории (около $+2^m$) и Э. Неем в США (около $+3^m$). Затем последовали многочисленные другие оценки. Они имеют значительный разброс, но могут быть разделены довольно явно на три характерные ветви. Большинство определений блеска кометы группируется возле кривой с параметрами $y = 8$, $H_8 = 6^m,8$. Наши оценки и данные Э. Нея весьма согласно располагаются вдоль кривой $y = 13$, $H_{13} = 11^m,4$. Те и другие наблюдения проводились в оранжево-красной области спектра, и, возможно, этим обусловлено их специфическое отличие от прочих оценок. К сожалению, для основной массы наблюдений в предварительных публикациях не указана спектральная область. Заметим, что



восходящая ветвь кривой $u = 13$, $H_{13} = 11^m,4$ (до соединения кометы с Солнцем) проходит близко от значения блеска, определенного Э. Неем 20 декабря. Визуальные наблюдения Д. А. Андриенко и его сотрудников в Алжире отличаются малым разбросом оценок блеска и хорошо ложатся на кривую $u = 6,3$, $H_{6,3} = 4^m,8$, но они систематически превосходят оценки прочих наблюдателей на 1,5—2 звездные величины. Все три нисхо-

Блеск кометы Когоутека. Пунктиром изображен предсказанный закон изменения блеска кометы, сплошными кривыми — наблюдавшееся изменение блеска в декабре 1973 — январе 1974 года. Аналитическое выражение блеска кометы $m = H_u + u \lg r + 5 \lg \Delta$, где r и Δ — расстояние кометы от Солнца и от Земли в астрономических единицах, параметры u и H_u указаны на рисунке для каждой кривой

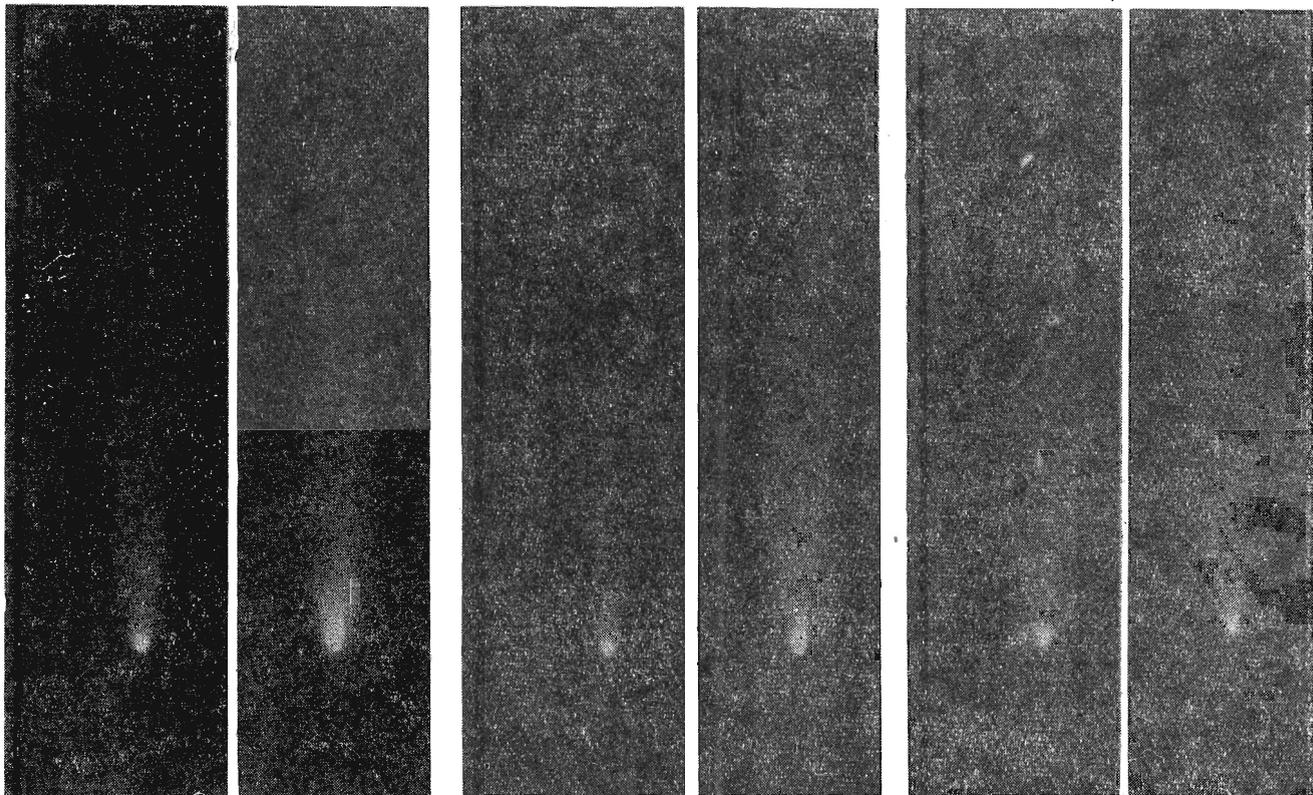
дящие ветви имеют максимум вблизи 0^m и не «стыкуются» с восходящей ветвью $u = 9$, $H_9 = 5^m,3$. Картина такова, будто яркость кометы незадолго до прохождения ее через перигелий начала падать по сравнению с ожидаемым ходом, либо уменьшилась скачком вблизи Солнца на 2—3 звездные величины. Это могло быть вызвано истощением газового и пылевого вещества в комете.

Лаборатория солнечной активности Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР организовала экспедицию для наблюдения кометы Когоутека на Горной астрономической станции близ Кисловодска. Так как ожидалось, что комета будет достаточно яркой, сотрудники лаборатории подготовили эксперименты по изучению ее спектра. Мы намеревались фотографировать спектр кометы в широком диапа-

зоне (3000—7000 Å) с высокой дисперсией, исследовать комету через узкополосные фильтры, пропускающие линию водорода H_{α} и «запрещенную» линию кислорода с длиной волны 5577 Å, типичную для излучения ночного неба. Но малая яркость кометы не позволила осуществить эти эксперименты.

В основном же сотрудников лаборатории солнечной активности интересовали такие наблюдения, в которых комета служила бы своеобразным зондом для изучения внешних областей солнечной атмосферы — внешней короны, образованной корпускулярными потоками, известными под названием «солнечный ветер». С этой целью решено было исследовать изменение яркости и, главным образом, изменение формы головы и хвоста кометы. Представление о пространственном расположении хвоста не может быть составлено на основании обычных фотографий, так как на них видна лишь проекция хвоста на небесную сферу. Полные данные могут быть получены из поляриметрических наблюдений, ибо степень поляризации зависит от угла, под которым хвост направлен к линии Солнце — комета при известном расположении наблюдателя относительно Солнца и кометы. Направление плоскости поляризации рассеянного веществом кометы солнечного света должно быть перпендикулярным к проекции радиуса-вектора кометы, то есть линии, соединяющей комету с Солнцем.

Была изготовлена специальная камера с двумя одинаковыми объективами, близ фокальных плоскостей которых располагались поляриды. Поляриды установлены в оправках таким



4 | 1974 г 15^h 06^m 46^s

5 | 1974 г 14^h 59^m 31^s

6 | 1974 г 15^h 08^m 03^s

образом, что направления пропускания их взаимно перпендикулярны, и эта взаимная ориентация сохраняется при вращении оправ. С такой камерой можно одновременно получить два снимка и определить степень по-

Фотографии кометы Когоутэка, полученные Г. М. Никольским, А. А. Сазановым и И. С. Ким на двухобъективной камере (фокусное расстояние 100 см) с поляроидами. На левом снимке каждой пары видна нить, параллельная направлению пропускания поляроида, на правом снимке — направление пропускания поляроида перпендикулярно направлению на левом снимке. Заметна поляризация головы и хвоста кометы: на правом снимке комета ярче, чем на левом. Все снимки сделаны с экспозицией 10 минут, моменты начала экспозиций указаны под каждой парой фотографий (время Всемирное). Голова кометы на этих снимках больше 0,5 минут дуги из-за сильной пер-

ляризации, измеряя яркость кометы в одной и той же точке на обоих снимках. Отклонение плоскости поляризации от ожидаемого направления можно оценить с помощью второй пары снимков, полученной после поворота поляроидов на 45° относительно исходного положения. Камера имела две пары сменных объективов с фокусными расстояниями 100 и 30 см. Предполагалось фотографировать комету вблизи Солнца на дневном небе, поэтому в 7 м от объективов помещался экран, затеняющий их от прямых солнечных лучей (камера и экран были укреплены на ферме большого внезатменного коронографа). Однако, дневные наблюдения не удалось провести из-за малой яркости кометы.

Первые снимки кометы были получены 31 декабря 1973 года вскоре после захода Солнца. Через несколько дней комета отошла так далеко от Солнца, что ее можно было фотогра-

фировать на более темном небе. Фотографии, сделанные с 10-минутной экспозицией, показывают совершенно прямой, довольно длинный хвост, относящийся к I типу по известной классификации Ф. А. Бредихина (отталкивательное ускорение, испытываемое частицами такого хвоста, в 10 или более раз превышает ускорение солнечного притяжения). Угловые размеры головы кометы составляли 0,5 минуты дуги, что соответствует линейному размеру около 20 тыс. км. Хвост прослеживается до угловых расстояний 5—10° и далее в зависимости от яркости неба. Предварительные фотометрические измерения показали, что степень поляризации хвоста составляет около 30% на расстоянии 20 минут дуги от ядра. Детальное исследование изменения поляризации в зависимости от положения кометы относительно Солнца и Земли продолжается.

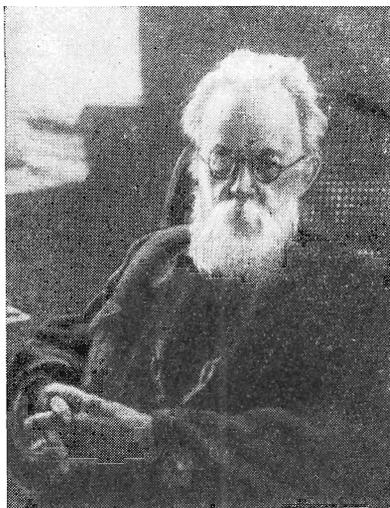
Академик В. И. Вернадский

Великий русский ученый, естествоиспытатель и мыслитель Владимир Иванович Вернадский родился в Петербурге в 1863 году. Отец его — профессор политической экономии и статистики — был человеком высококультурным и образованным. Эти качества он передал и своему сыну.

С детских лет Вернадского интересовало строение Вселенной, связь процессов земных с космическими. Также с ранних лет Вернадский любил и глубоко изучал историю во всех ее проявлениях: историю народов, религий, философских течений, идей, наук, отдельных ученых. Впоследствии каждую научную работу Владимир Иванович начинал с истории предмета.

В 1881 году после некоторых колебаний Владимир Иванович поступил на естественное отделение физико-математического факультета Петербургского университета. Помимо обязательных предметов Вернадский прошел полный курс высшей математики, аналитической и органической химии, отбыл практику в астрономической обсерватории, посещал лекции П. Ф. Лесгафта по анатомии. Кругозор его становился чрезвычайно широким, знания — энциклопедическими. Наибольшее влияние на молодого студента оказали Д. И. Менделеев и В. В. Докучаев.

В университете произошло еще одно знаменательное событие. В. И. Вернадский сдружился с группой «Братство», ставившей своей целью «личное самосовершенствование». Входили в этот кружок Д. И. Шаховской, А. Н. Краснов, братья С. Ф. и Ф. Ф. Ольденбург, И. М. Гревс и некоторые др. Все они до последних дней жизни сохранили любовь и преданность друг



к другу. Было в кружке и несколько молодых девушек, в частности, Наталья Егоровна Старицкая (1860—1943), с 1886 года — жена Владимира Ивановича и его верный друг и помощница в течение 56 лет, которые, по словам Владимира Ивановича, они прожили «душа в душу и мысль в мысль». В студенческом научно-литературном обществе Вернадский встречался с А. И. Ульяновым, братом В. И. Ленина, казненным в 1887 году, после попытки покушения на Александра III. Судя по воспоминаниям Владимира Ивановича, отношения между ними были дружеские, и Ульянов в 1886—1887 годах нередко бывал в Минералогическом кабинете университета, которым руководил Вернадский.

В 1884 году Вернадский поехал в организованную В. В. Докучаевым почвенную экспедицию, и эта поездка решила его судьбу. ☐ этого времени он остановил свой выбор на кристал-

лографии и минералогии как будущей специальности. Университет был окончен в 1885 году. Вернадского оставили при нем в должности хранителя Минералогического кабинета. В 1887 году он на два года уехал за границу с целью совершенствования в области кристаллографии и минералогии и подготовки магистерской диссертации, а также для ознакомления с научной жизнью других стран.

В 1889 году ученый переехал в Париж и работал в лаборатории Ле Шателье и Фуке над синтезом минералов. В том же году на Всемирной выставке в Париже, где Вернадский представлял коллекции почв Докучаева, он познакомился с профессором А. П. Павловым, который впоследствии предложил Вернадскому занять кафедру минералогии в Московском университете.

В Москве начался новый период жизни Вернадского, период большого творческого подъема, научных дерзаний, энергичной творческой созидательной работы. Вернадский разделил минералогию и кристаллографию, отнеся вторую к области физики, а первую — к геологии. Минералогию с этого времени преподают в историческом аспекте как химию земной коры. При Минералогическом кабинете университета была создана богатейшая коллекция минералов, вокруг Вернадского сгруппировалась молодежь — те, кто впоследствии с гордостью называли себя «школой Вернадского».

Первоочередной задачей Владимир Иванович ставил необходимость выяснения картины распространения минералов на территории России и сопредельных стран. Организовывались многочисленные экскурсии, в которых



ученый принимал деятельное участие. С 1908 года началась публикация монументального труда «Опыт описательной минералогии». Попутно автор освещал такие важные природные явления, как парагенезис минералов и изоморфизм. Владимир Иванович вывел «природные изоморфные ряды», распределяя по ним химические элементы земной коры.

В 1906 году Вернадского избрали в Академию наук. С тех пор его жизнь неразрывно связана с академией, тем более, что в 1911 году он с группой других ведущих профессоров покинул Московский университет в знак протеста против репрессий министра Кассо, направленных против студенчества. В том же году он был избран членом Государственного совета от академии и университетов. В Государственном совете вместе с И. Чавчавадзе и другими он примкнул к оппозиционной группировке.

1908 год ознаменовался для Владимира Ивановича знакомством с явлениями радиоактивности (на докладе профессора Джоли в Дублине). Может быть, ни один ученый в мире не оценил значения этого, казалось бы, сугубо научного явления так, как это сделал Вернадский, который сразу осознал важность его не только для чистой науки и теории, но и для практической жизни. В 1910—1911 годах появились его статьи, посвященные необходимости поисков и исследования радиоактивных минералов России. С 1911 года с неимоверным трудом, привлекая частные средства, Вернадский добился нужных сумм для проведения поисковых экспедиций и сам возглавил эти экспедиции, в которых принимали участие А. Е. Ферсман,

Д. И. Щербаков, Д. В. Наливкин, К. А. Ненадкевич и др.

Война 1914 года застала нашу страну с чрезвычайно плохо подготовленной рудно-сырьевой базой. Практическую деятельность по улучшению этого положения одним из первых начал В. И. Вернадский. Благодаря его инициативе при Академии наук была создана Комиссия по изучению естественных производительных сил (КЕПС), куда привлекли лучших ученых страны. К 1926 году она объединяла ряд институтов, лабораторий и отделов, которые по инициативе В. И. Вернадского постепенно отходили от нее, становясь крупными самостоятельными научно-исследовательскими учреждениями. Среди них можно назвать институты: Радиевый, Гидрологический, Платиновый, Почвенный и др.

В 1918 году, приехав по приглашению профессора Н. П. Василенко (впоследствии академика АН УССР) в Киев, Владимир Иванович принял деятельное участие в организации Украинской Академии наук, возглавив Комиссию по выработке законопроекта об основании академии и ее устава и Комиссию по организации национальной библиотеки. На первом же общем собрании новой академии В. И. Вернадский единогласно был избран ее президентом. По образцу Российской Академии учреждались отделения, институты, комиссии, музеи, библиотека и КЕПС.

С 1922 года Владимир Иванович снова в Петрограде, во главе организованного им Государственного радиового института. Умея сочетать сложную научно-организационную работу с не менее сложной научной, Вернадский в течение многих лет продолжал

углубляться в химию минералов, изучая распространение в природе отдельных редких элементов, входящих в их состав. Попутно он установил интересный факт: все рассеянные химические элементы обладают нечетным порядковым номером.

Эти исследования привели Вернадского к разработке основ новой науки — геохимии. Положения ее Владимир Иванович изложил в ряде лекций сначала в Петрограде (1922 г.), затем в Париже, в Сорбонне (1923—1924 гг.) и опубликовал «Очерки геохимии», впоследствии переведенные на многие иностранные языки. Изучая химию Земли, Вернадский выделил особую, пронизанную жизнью оболочку — биосферу и сформулировал положение еще одной новой науки — биогеохимии. В 1926 году вышел в свет замечательный труд Вернадского «Биосфера».

Биогеохимия оказалась тесно связанной со многими практическими вопросами агрохимии, почвоведения, биохимии. Для изучения «живого вещества» при КЕПС был организован специальный отдел, впоследствии положивший начало Биогеохимической лаборатории (ныне ордена Ленина Институт геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского АН СССР).

В 1937 году на 17 сессии Международного геологического конгресса Вернадский сделал доклад «О значении радиогеологии для современной геологии». По инициативе Владимира Ивановича была создана Международная комиссия по определению геохронологии, существующая и поныне.

В 1938 году В. И. Вернадский начал писать оригинальный труд «Научная

Редакция публикует отрывки из рукописи В. И. Вернадского «Научная мысль как планетное явление», хранящейся в Архиве АН СССР. Эта работа, написанная в 1938 году, включена в сборник «В. И. Вернадский. Размышления натуралиста», который подготовлен к печати Архивом АН СССР и Институтом истории естествознания и техники АН СССР. Во всех работах последних лет Владимир Иванович развивал идеи эволюции биосферы и перехода ее в ноосферу.

Публикацию подготовили В. С. Неаполитанская, Н. В. Филиппова и Н. Ф. Овчинников.

Научная мысль как планетное явление

мысль как планетное явление», в котором с присущими ему эрудицией, глубиной и разработкой многочисленных проблем рисовал картину эволюции биосферы и перехода ее в ноосферу («сферу разума») под влиянием мощной планетной силы — «научной мысли» человечества. К сожалению, эта работа осталась незаконченной.

В эти же годы ученый задумал большой труд, «главную книгу» своей жизни, в котором решил подвести итоги всем своим взглядам и идеям в области естествознания. Работа эта много раз меняла название, но в окончательном виде Владимир Иванович сформулировал это как «Химическое строение биосферы Земли и ее окружения» (опубликована в 1965 году издательством «Наука»). Кончиться эта работа должна была главой, посвященной ноосфере. Однако, чувствуя, что он не успеет написать эту главу в том виде, как мыслилось, Вернадский изложил свои идеи в краткой статье «Несколько слов о ноосфере», которая была последней работой, изданной при жизни автора. Одновременно было написано исследование «Гете — как натуралист», опубликованное вскоре после смерти В. И. Вернадского.

Прожив прекрасную, полную научных исканий и творчества жизнь, Владимир Иванович Вернадский умер 6 января 1945 года, за несколько месяцев до нашей победы в Великой Отечественной войне.

**В. С. НЕАПОЛИТАНСКАЯ
Н. Ф. ОВЧИННИКОВ**

Человек, как всякое живое природное (или естественное) тело, неразрывно связан с определенной геологической оболочкой нашей планеты — **биосферой**, резко отличной от других ее оболочек, строение которой определяется ее своеобразной организованностью и которая занимает в ней, как обособленная часть целого, закономерно выражаемое место.

Живое вещество так же, как и биосфера, обладает своей особой организованностью и может быть рассматриваемо, как закономерно выражаемая **функция биосферы**.

Организованность не есть механизм. Организованность резко отличается от механизма тем, что она находится непрерывно в становлении, в движении всех ее самых мельчайших материальных и энергетических частиц. В ходе времени — в обобщениях механики и в упрощенной модели — мы можем выразить организованность так, что никогда ни одна из ее точек (материальная или энергетическая) не возвращается закономерно, не попадает в то же место, в ту же точку биосферы, в какой когда-нибудь раньше была. Она может в нее вернуться лишь в порядке математической случайности, очень малой вероятности.

Земная оболочка, биосфера, обнимающая весь земной шар, имеет резко обособленные размеры; в значительной мере она обуславливается существованием в ней живого вещества — им **заселена**. Между ее косной безжизненной частью — ее косными природными телами — и живыми веществами, ее населяющими, идет непрерывный материальный и энергетический обмен, материально выражаю-

щийся в движении атомов, вызванном живым веществом. Этот обмен в ходе времени выражается закономерно меняющимся, непрерывно стремящимся к устойчивости равновесием. Оно проникает всю биосферу, и этот биогенный ток атомов в значительной степени ее создает. Так неотделимо и неразрывно биосфера на всем протяжении геологического времени связана с живым, заселяющим ее веществом.

В этом биогенном токе атомов и в связанной с ним энергии проявляется резко планетное, космическое значение живого вещества. Ибо биосфера является той единственной земной оболочкой, в которую непрерывно проникает космическая энергия, космические излучения и, прежде всего, лучеиспускание Солнца, поддерживающее динамическое равновесие, организованность: «биосфера — живое вещество».

От уровня геоида биосфера протягивается вверх до границ стратосферы, в нее проникая... Ниже уровня геоида живое вещество на суше проникает в стратисферу и в верхние области метаморфической и гранитной оболочек. В разрезе планеты оно подымается на 4—5 км ниже этого уровня. Границы эти в ходе времени меняются и местами, на небольших, правда, протяжениях, далеко за них заходят. По-видимому, в морских глубинах живое вещество должно местами проникать глубже 11 км, и установлено его нахождение глубже 6 км. В стратосфере мы как раз переживаем проникновение в нее человека, всегда неотделимого от других организмов — насекомых, растений, микробов, — и этим путем живое вещество зашло уже за 40 км вверх от уров-



ня геоида и быстро поднимается выше.

В ходе геологического времени наблюдается, по-видимому, процесс непрерывного расширения границ биосферы заселением ее живым веществом.

Мы переживаем в настоящее время исключительное проявление живого вещества в биосфере, генетически связанное с выявлением сотни тысяч лет назад *Homo sapiens*, создание этим путем новой геологической силы, **научной мысли**, резко увеличивающей влияние живого вещества в эволюции биосферы. Охваченная всецело живым веществом биосфера увеличивает, по-видимому, в беспредельных размерах его геологическую силу, и перерабатываемая научной мыслью *Homo sapiens* переходит в новое свое состояние — в **ноосферу**.

Научная мысль, как проявление живого вещества, по существу **не может быть** обратимым явлением — она может останавливаться в своем движении, но раз создавшись и проявившись в эволюции биосферы, она несет в себе возможность неограниченного развития в ходе времени. В этом отношении ход научной мысли, например в создании машин, как давно замечено, совершенно аналогичен ходу размножения организмов.

В косной среде биосферы нет необратимости. Обратимые круговые физико-химические и геохимические процессы в ней резко преобладают. Живое вещество входит в них своими физико-химическими проявлениями диссонансом.

Рост научной мысли, тесно связанный с ростом заселения биосферы человеком и его культурой — размно-

жением его и его живого вещества в биосфере, должен ограничиваться чуждой живому веществу средой и оказывать на нее **давление**. Ибо этот рост связан с количеством прямо или косвенно участвующего в научной работе, быстро увеличивающегося живого вещества.

Этот рост и связанное с ним давление все увеличиваются благодаря тому, что в этой работе резко проявляется действие массы создаваемых машин, увеличение которых в ноосфере подчиняется тем же законам, как размножение самого живого вещества, то есть выражается в геометрических прогрессиях.

Как размножение организмов проявляется в **давлении** живого вещества в биосфере, так и ход геологического проявления научной мысли давит создаваемыми им орудиями на косную, сдерживающую его среду биосферы, создавая ноосферу, царство разума.

История научной мысли, научного знания, его исторического хода проявляется с новой стороны, которая до сих пор **не была достаточно осознана**. Ее нельзя рассматривать только как историю одной из гуманитарных наук. Эта история есть одновременно **история создания в биосфере новой геологической силы — научной мысли**, раньше в биосфере отсутствовавшей. Это история проявления нового геологического фактора, нового выражения организованности биосферы, сложившегося стихийно как природное явление в последние несколько десятков тысяч лет. Она не случайна, как всякое природное явление, она закономерна, как закономерен в ходе времени палеонтологический процесс, создавший мозг *Homo sapiens* и ту со-

циальную среду, в которой, как ее следствие, как связанный с нею природный процесс, создается научная мысль, новая геологическая, сознательно направляемая сила.

Но история научного знания, даже как история одной из гуманитарных наук, еще не осознана и не написана. Нет ни одной попытки это сделать. Только в последние годы она едва начинает выходить для нас за пределы «библейского времени», начинает выясняться существование **единого центра** ее зарождения где-то в пределах будущей Средиземноморской культуры, 8—10 тыс. лет тому назад. Мы только с большими пробелами начинаем выявлять по культурным остаткам и устанавливать неожиданные для нас, прочно забытые научные факты, человечеством пережитые, и пытаться охватить их новыми эмпирическими обобщениями.

Хотя человек — *Homo sapiens* есть поверхностное явление в одной из оболочек земной коры — в биосфере, но новый геологический фактор, внесимый его появлением в историю планеты, — **разум** так велик по своим последствиям и по их возможностям, что мне кажется, можно не возражать против внесения этого фактора для геологических подразделений наряду со стратиграфическими и тектоническими. Масштаб изменений сравним.

Больше того, возможно, этим путем мы можем понять научно с большей глубиной, что представляет собой длительность геологического критического периода нашей планеты.

В создании ноосферы мы его переживаем; очевидно, он представляется нам в совершенно другом освещении, и мы находимся по отношению к нему в совершенно другом положении, чем когда судим о геологическом прошлом, когда нас не было на планете. Впервые геологические эффекты жизни становятся ясными в исторической их длительности, проявляются в краткие сроки исторического времени.

«Мыслящий тростник»* — создатель науки в биосфере — здесь может и должен судить о геологическом ходе явлений по-иному, ибо сейчас впервые он научно понял свое положение в организованности планеты.

Ибо можно ясно видеть, что с его появлением в истории планеты выявился новый **мощный геологический фактор**, который по возможным последствиям превосходит те тектонические перемещения, которые положены были — чисто эмпирическим путем, эмпирическим обобщением — в основу геологических разделений земного пространства — времени.

Это станет ясным, если мы примем во внимание, что длительность геологических явлений иначе сказывается и совершенно иная, чем длительность текущих исторических явлений, в которых мы живем. Сто тысяч лет — декамириада — при длительности в три миллиарда лет, которые мы можем допустить уверенно для области наших геологических наблюдений, бу-

дет отвечать ничтожной доле геологической секунды*.

Биогенный эффект работы научной мысли реально смогут увидеть наши отдаленные потомки — он проявится ярко и ясно только через сотни, едва ли десятки декамириад, как проявляется длительность тех смещений, которые выражаются в стратиграфических перерывах и которые мы кладем в основу наших геологических эр и систем. Это не мгновенные революции — длительность их интенсивного проявления, выражающаяся в несогласных напластованиях, например, рассматриваемая в масштабе исторического времени, охватывает огромное время — сотни или десятки тысяч лет, едва ли меньше.

Мы работаем сейчас в науке с такой точностью, что можем предвидеть и численно прикинуть мощность последствий геологических проявлений (то есть отражения в геологическом времени) переработанной научной мыслью биосферы. Сейчас мы наблюдаем лишь проявление в историческом времени геологической его работы. Но и здесь уже мы ясно видим, что биосфера коренным образом **изменилась**.

Появление разума и наиболее точного его выявления — организации науки — есть первостепенный факт в истории планеты, может быть, по глубине изменений превышающий все нам известное, раньше выявлявшееся в биосфере.

* Средняя длительность каждого из большинства геологических периодов 45—65 млн. лет, то есть 450—650 декамириад. (Ред.)

«Своеобразным, единственным в своем роде, отличным и неповторяемым в других небесных телах представляется нам лик Земли — ее изображение в космосе, вырисовывающееся извне, со стороны, из дали бесконечных небесных пространств.

В лике Земли выявляется поверхность нашей планеты, ее биосфера, ее наружная область, отграничивающая ее от космической среды» — эти ми словами начинается один из главных трудов гениального русского ученого и мыслителя Владимира Ивановича Вернадского «Биосфера»*.

Написанная почти полвека тому назад «Биосфера» и сейчас воспринимается многими учеными как откровение — настолько ясно и логически стройно изложена здесь сама сущность общего учения о биосфере, которое В. И. Вернадский углублял и совершенствовал до конца своей долгой творческой жизни.

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ КОНЦЕПЦИИ О БИОСФЕРЕ

Возникновению учения о биосфере как общепланетарной оболочке Земли предшествовал длительный аналитический этап в науках о природе, завершившийся к началу XX столетия. Многочисленные, но часто разрозненные данные о живых организмах, их среде обитания, о роли организмов в геологических процессах, накопленные естествознанием в XVIII—XIX веках, настоятельно требовали обобщения.

* В. И. Вернадский. «Биосфера» (очерк первый «Биосфера в Космосе» и второй — «Область жизни»). Л., Научно-техн. изд-во, 1926 г.

* Ф. И. Тютчев был любимым поэтом В. И. Вернадского. В его стихотворении «Певучесть есть в морских волнах...» (1865 г.) есть строчки: «...Душа не то поет, что море, и ропщет мыслящий тростник». (Ред.)

«В геологической истории биосферы перед человеком открывается огромное будущее, если он поймет это и не будет употреблять свой разум и свой труд на самостребление»

В. И. Вернадский

«Несколько слов о ноосфере», 1944 г.

оболочка нашей планеты

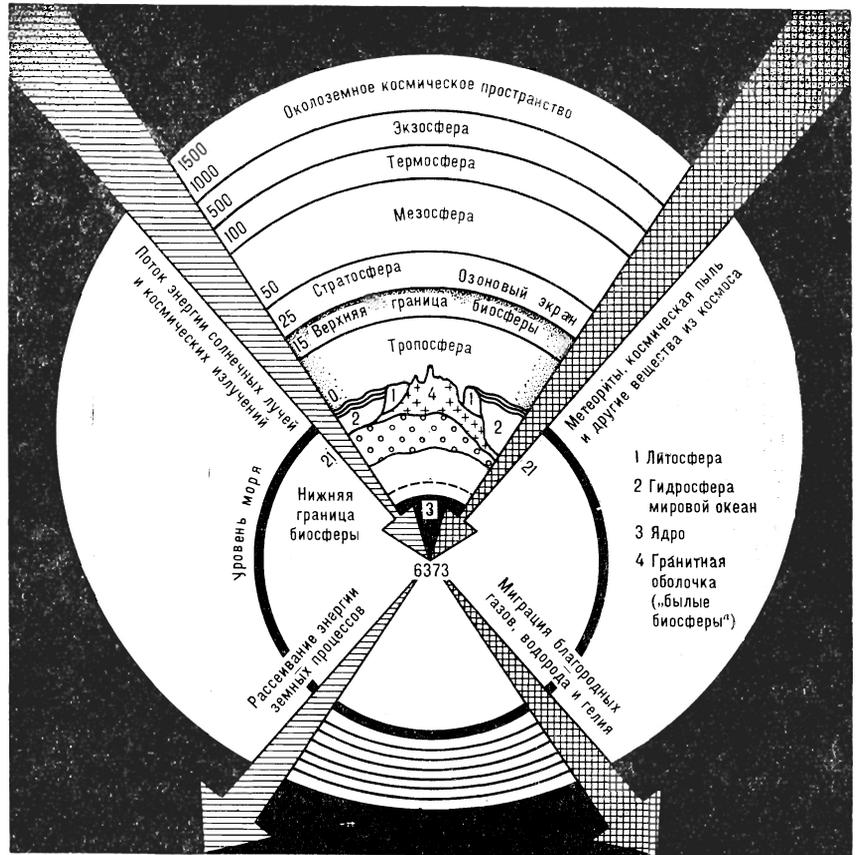
ния, выработки единой научной концепции о взаимосвязи живой и неживой (косной) материи. И хотя синтезировать имевшиеся сведения о природе пытались в своих трудах крупные натуралисты прошлого Ж. Бюффон, Ж. Ламарк, Ч. Лайель, Ч. Дарвин, А. Гумбольдт, Э. Зюсс, они не смогли оценить жизнь в общепланетарном масштабе как качественно новое геологическое явление, незримыми нитями связанное с Космосом. Нужны были принципиально новые подходы, новые методы логического синтеза.

По признанию самого В. И. Вернадского, огромное влияние на него в выработке синтетического мышления, умении видеть «вековечную», неразрывную связь явлений и процессов в естественно-исторических телах природы, оказал его учитель В. В. Докучаев, создатель учения о почве и зонах природы.

В трудах В. В. Докучаева, особенно в его учении о почве как особом естественноисторическом теле, нашли воплощение новые методологические принципы научного знания — **принципы комплексного синтетического подхода к естественным наукам**. В. И. Вернадский поставил докучаевский метод на строгую количественную основу: главным в разработке концепции о биосфере стал метод эмпирического обобщения, который, согласно В. И. Вернадскому, опирается на факты, не выходя за их пределы и не заботясь о согласии или несогласии полученного вывода с имеющимися представлениями о природе.

ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО

В ряду эмпирических обобщений, положенных в основу учения о био-



сфере, центральное место принадлежит понятию «живое вещество». Живое вещество, по В. И. Вернадскому, — это совокупность всех живых организмов (животных, растений, микроорганизмов), численно выраженная в их элементарном химическом составе, в весе и энергии. Такой подход к живо-

му веществу составляет методологическую основу биогеохимии, одной из важных научных дисциплин общего учения о биосфере. **Биогеохимия** изучает суммарный геологический эффект организмов в миграции вещества и в энергетике планеты в целом. Отдельно взятый живой организм производит, казалось бы, незаметную работу в общем круговороте вещества; но все, вместе взятые, живые организмы почти за двухмиллиардный период истории биосферы представ-

Биосфера Земли и ее окружение



ляют планетное явление космического масштаба. Они аккумулируют энергию Солнца и трансформируют солнечные лучи и космические излучения в земную химическую энергию — ту свободную энергию, которая способна производить огромную работу по перераспределению вещества земной коры и созданию новых химических соединений.

«На земной поверхности,— писал В. И. Вернадский,— нет химической силы, более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом. И чем более мы изучаем химические явления биосферы, тем более мы убеждаемся, что на ней нет случаев, где бы они были независимы от жизни. И так длилось в течение всей геологической истории»*.

Живое вещество неоднородно как по составу, так и в пространственном распределении на земной поверхности. По подсчетам биологов, всего на Земле обитает около 3 млн. видов живых организмов. Из них только 300 тыс. видов растений и некоторых автотрофных микроорганизмов создают первичную биомассу; остальные 2,7 млн. видов организмов — гетеротрофы, которые для своего питания используют готовые органические вещества. Несмотря на сравнительно небольшой видовой состав биомассы растений, они по весу составляют 97—98% всей биомассы суши, и лишь 1—3% по весу приходится на биомассу животных и микроорганизмов. Живое вещество распределяется в биосфере

неравномерно, образуя «области сгущения» и «области разрежения» жизни. Наиболее насыщены жизнью приповерхностные участки суши и океана, где происходят процессы фотосинтеза. Одним из мощных аккумуляторов живого вещества и связанной энергии в биосфере, по мнению члена-корреспондента АН СССР В. А. Ковды, является почва, особенно ее плодородный гумусовый горизонт.

СТРОЕНИЕ БИОСФЕРЫ И ЕЕ ДИССИМЕТРИЯ

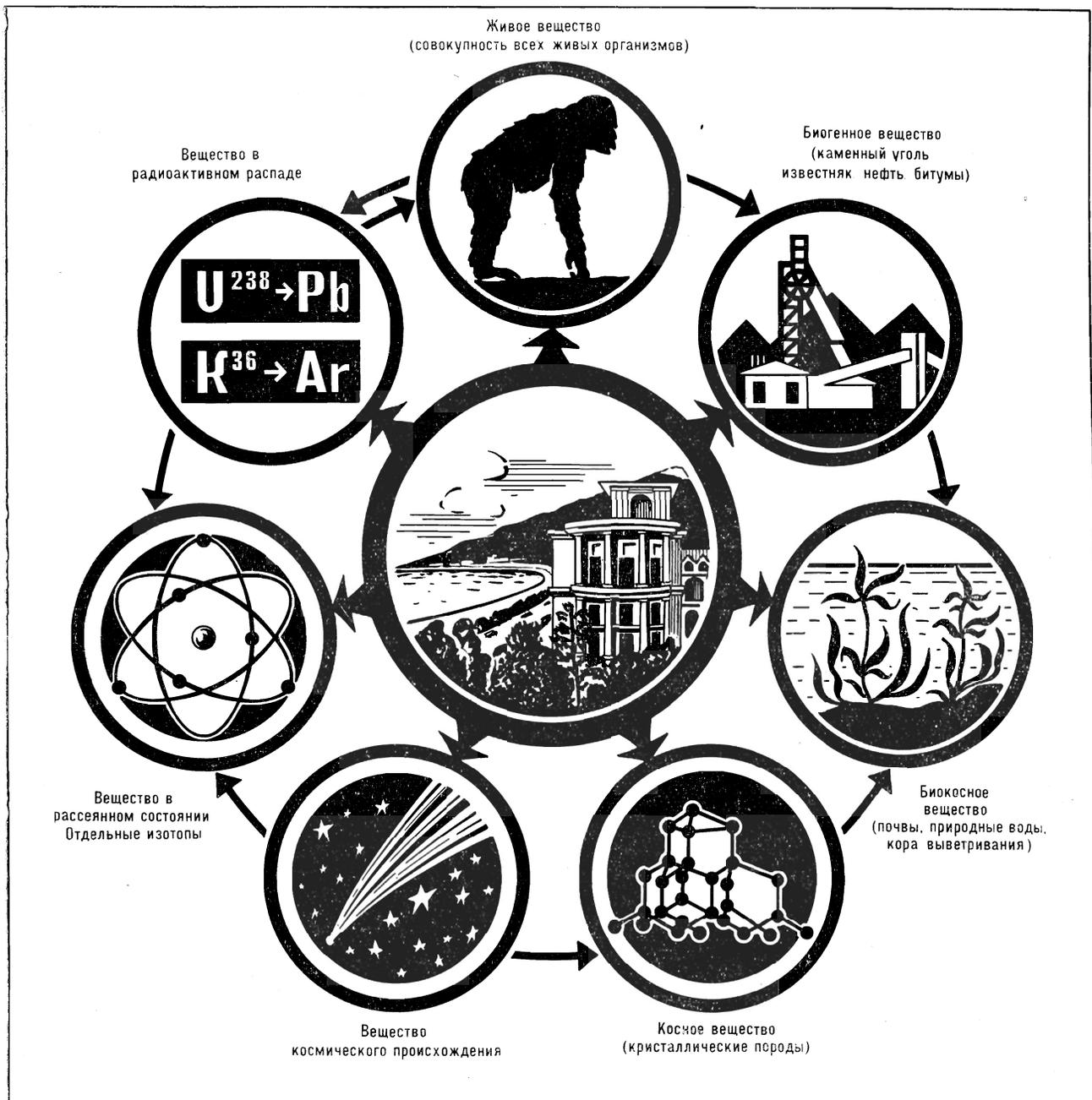
Обобщенное представление о живом веществе как явлении космического и планетарного масштаба позволило В. И. Вернадскому выделить новую планетную оболочку — **биосферу**, основным признаком которой является участие живого вещества во всех ее процессах. Понятие «биосфера» как «область жизни» введено в биологию Ж. Ламарком (1744—1829) в начале XIX века, а в геологию — Э. Зюссом (1831—1914) в конце XIX века. Большинство современных западных ученых, особенно американских, понимает биосферу именно как «область жизни», как тонкую пленку живого вещества на земной поверхности, находящегося сейчас в сфере жизнедеятельности организмов. Вернадский понимал биосферу значительно шире и глубже: **биосфера охватывает пространство земной коры, которые в течение всей геологической истории во все этапы эволюции жизни подвергались воздействию живого вещества.** Поэтому мощность биосферы значительно больше: верхняя ее граница охватывает нижние слои стратосферы

до высоты озонового экрана (20—25 км, а местами до 35 км), предохраняющего все живое от губительного действия коротковолновой ультрафиолетовой радиации, включает всю тропосферу, верхнюю часть литосферы и гидросферу (Мировой океан). Нижняя граница вместе с областью «былых биосфер» опускается в среднем до глубины 16 км.

Одной из наиболее существенных черт строения биосферы и всей нашей планеты является, по В. И. Вернадскому, ее диссимметрия. Она выражена, прежде всего, в том, что 70,8% земной поверхности занято океанами и морями, а 29,2% — сушей. Лишь при таком соотношении этих крупнейших структур Земли они друг друга уравновешивают (при существующей средней глубине океанов и средней мощности материков). Диссимметрия строения биосферы заключается в том, что дно океанов преимущественно сложено базальтами, а фундамент материков — кристаллическими породами; материки на глубине 3,8 км имеют температуру 115° С, а океаны на той же глубине — около 0. Материки расположены главным образом в северном полушарии, а океаны — в южном, при этом оба полушария планеты имеют разную кривизну; под океанами и морями отмечается различная интенсивность радиоактивных процессов. Это приводит к диссимметрии биосферы, прежде всего ее живого вещества.

Космический характер диссимметрии биосферы глубже раскрывается при анализе биосферы в историческом аспекте, в «длении геологического времени», как писал В. И. Вернадский. Ученый подсчитал, что если бы

* В. И. Вернадский. «Биосфера». М., Изд-во «Мысль», 1967 г., стр. 241.



все осадочные отложения сохранились с начала кембрия и до конца кайнозоя, то они создали бы мощную земную оболочку в 120,6 км. Следовательно, вся 60-километровая гранитная оболочка планеты под влиянием

живого вещества за это время разрушалась минимум два раза, превращаясь в осадочные породы, погружалась в подкоровые слои мантии, переплавлялась и вновь образовывала гранитные породы. Поэтому В. И. Вернадский считал свою гранитную оболочку «областью былых биосфер» и включал ее в суммарную мощность

биосферы; к этой точке зрения склоняется большинство советских ученых.

При таком историческом подходе к биосфере как планетарной оболочке, испытавшей длительную (более двух миллиардов лет) эволюцию, глубже и острее раскрывается космическое происхождение биосферы; более рельефно выступает роль космических

Строение вещества биосферы



излучений и Солнца, этих непреходящих, постоянно действующих создателей жизни. Становятся реальными и существование большого (геологического) круговорота веществ в биосфере, теоретически обоснованного В. И. Вернадским, и сложная структурная неоднородность ее вещественного состава.

ВЕЩЕСТВО БИОСФЕРЫ

В. И. Вернадский подчеркивал, что определение биосферы только как «области жизни» современных организмов недостаточно и неполно. Кроме живого вещества в биосфере широко распространено «биогенное вещество» — органические и органически-минеральные продукты, созданные живым веществом на протяжении геологической истории: каменный уголь, горючие сланцы и газы, известняки, торф, битумы, почвенный гумус и нефть. Биогенное вещество — это сохранившиеся в геологической летописи Земли следы «былых биосфер» кембрия, силура, ордовика, девона, карбона, перми, юрского и остальных периодов. Другим важным компонентом биосферы служит «биокосное вещество» — результат синтеза живого и неживого (косного) вещества: все природные воды, осадочные породы, приземные слои атмосферы, кора выветривания, глинистые минералы. Полярной противоположностью живому веществу является кристаллическое «косное вещество» (магматические и изверженные породы). Глубокое различие между живой и неживой природой, как показал В. И. Вернадский, проходит на уровне пространственно-временной организации этих материальных систем. Живые организмы

имеют свои собственные ритмы протекания реакций, особое «биологическое время», более сложную по сравнению с косным веществом пространственную структуру и другие отличия.

Важными компонентами биосферы, входящими в ее вещество, служат радиоактивные вещества, рассеянные атомы и отдельные изотопы, а также вещества из Космоса, миллиарды лет «бомбардирующие» Землю, — метеориты, космическая пыль и др.

ОРГАНИЗОВАННОСТЬ БИОСФЕРЫ

Что же отличает живые организмы, эту «одну из самых могущественных геохимических сил нашей планеты» от других материальных систем? Живое вещество в целом — единственное из всех компонентов биосферы, в процессе эволюции которого происходит не уменьшение, а увеличение свободной энергии. Другими словами, только живое вещество, усваивая солнечную энергию, способно строить новые ткани, способно само производить работу преобразования одного вида энергии в другой. Миллиарды таких единичных центров аккумуляции свободной энергии в процессе биогенного тока атомов принимают участие в создании новой организации вещества биосферы и ее структурных этажей. Происходит совершенствование как индивидуальной организации живых существ, так и их «окружающей среды» — почв, ландшафтов, приземных слоев атмосферы. Согласно первому биогеохимическому принципу В. И. Вернадского, эволюция живого вещества направлена к максимальному проявлению суммарной организую-

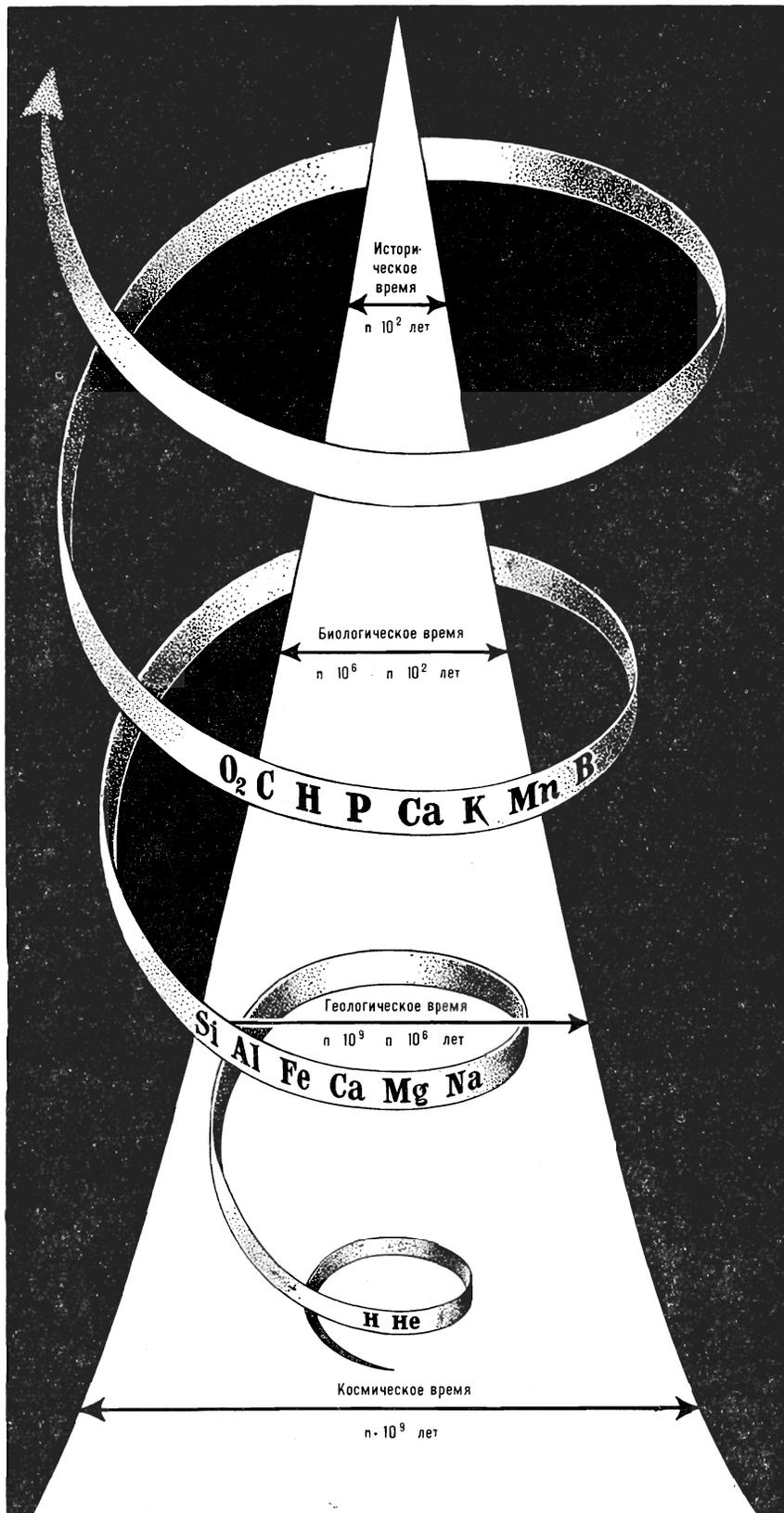
щей силы организмов, которая проявляется в их питании, дыхании и размножении. Следовательно, организованность биосферы есть не что иное, как проявление биогеохимических функций живого вещества, и наиболее мощно они «работают» в верхнем структурном этаже биосферы — витасфере (по А. Н. Тюрюканову) — в области «сгущения жизни», в биогеоценолитическом покрове планеты или в ландшафтной сфере.

Важнейшей функцией живого вещества, определяющей пределы «растения жизни» по планете и весь темп размножения организмов, является газовая функция. Между живым веществом и газовой составляющей биосферы происходит постоянный обмен, и с ним связаны основные геохимические особенности нашей планеты. Мы знаем, что кислород и азот атмосферы, практически вся углекислота и природные газы — все это производные живого вещества. Менее известно, что весь углекислый газ атмосферы может пройти через фотосинтез растений всего лишь за 200 лет, а в течение одного года жизни живые организмы перемещают (в разной форме) газов в несколько раз больше, чем их содержится в земной атмосфере. При таком перемещении живое вещество продуцирует озонно-перекисную, углеводородную, сероводородную и другие газовые компоненты.

Проявлением новой формы организации вещества служит концентрационная функция. Живые организмы способны аккумулировать из среды обитания, с одной стороны, практически все элементы периодической системы, включая рассеянные и редкие

(концентрация I рода, по В. И. Вернадскому), и, с другой, — избирательно накапливать отдельные химические элементы в количествах, иногда в сотни и тысячи раз превышающих содержание их в окружающей организмы среде (концентрация II рода). Среди организмов-концентраторов хорошо известны хвощи, папоротники, злаки, диатомовые водоросли, радиолярии, накапливающие кремний; кораллы и различные виды водорослей, концентрирующие кальций и превращающиеся при отмирании в органогенные известняки, и др. Для нас стал привычным тот замечательный факт, что само создание жизни на углеродной основе около трех миллиардов лет тому назад явилось ярким выражением концентрационной функции живого вещества: по сравнению с земной корой и литосферой в растениях углерода содержится почти в 200 раз, а азота в 30 раз больше; среднее содержание углерода в горных породах («косной материи») составляет сотые доли процента, а в живых организмах — до 10%.

Богатство живого вещества свободной энергией, способной совершать геохимическую работу и химические превращения, лежит в основе окислительно-восстановительной функции. Под влиянием живых организмов происходит интенсивная миграция атомов элементов с переменной валентностью — соединений железа, марганца, ванадия, хрома, серы, фосфора, азота. Поэтому в биосфере постоянно создаются новые органоминеральные соединения железа и других металлов, выделяется сероводород, про-



«Вихри атомов» в биосфере

исходит отложение сульфидов и элементарной серы. Особенно активную роль в этих процессах играют микроорганизмы.

Внутри живых организмов также происходит большая созидательная работа; в результате процессов биосинтеза и метаболизма образуются сотни и тысячи сложных биохимических соединений (белки, углеводы, жиры, аминокислоты и т. д.). Это — **биохимическая функция**, протекающая в особых термодинамических условиях живого организма, отличных от условий окружающей среды. Наконец, новые формы организованности биосфера принимает под влиянием **геохимической деятельности человека**.

Рассмотренные функции живого вещества, приводящие к определенной организованности биосферы, проявляются совместно, в форме вечных круговоротов вещества и энергии. В зависимости от реального пространства, в котором совершается круговорот, и от его длительности или времени протекания процессов, скорости круговоротов резко различны, так же как различны и те материальные компоненты, что вовлекаются в круговорот. В. И. Вернадский эти различия в пространственно-временной организации и скорости круговоротов образно представил как «вихри атомов» в биосфере. Круговорот не является замкнутым и не возвращается в исходное состояние: часть атомов выходит из цикла круговорота, закрепляется и организуется новыми формами живых организмов и продуктов их жизнедеятельности. В этом и состоит смысл постепенного развития биосферы как новой планетной оболочки и носителя новой формы движения материи.

Возникновение жизни на Земле, а вместе с ней и новой биологической формы движения материи привело к образованию биосферы и резко ускорению процессов круговорота.

ПЕРЕХОД В НООСФЕРУ

Развитие человечества приводит к новому эволюционному изменению биосферы. «Человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой», — писал В. И. Вернадский. — И перед ним, перед его мыслью и трудом становится вопрос о перестройке биосферы в интересах свободно мыслящего человечества как единого целого. Это новое состояние биосферы, к которому мы, не замечая этого, приближаемся, и есть ноосфера».

Понятие «ноосферы» — сферы разума — было введено в науку в 1927 году французским математиком и философом Ле Руа вместе с геологом и палеонтологом Тельяром де Шарденом. Исходной основой для них явилось биогеохимическое описание процессов в биосфере, впервые изложенное В. И. Вернадским в 1922—1923 годах на лекциях в Сорбонне.

Биогеохимические функции человека в процессе его труда и развития общества приводят и к новым формам организации биосферы, поэтому ее современная стадия развития, отвечающая **ноосфере**, существенно отличается от хода тех естественных природных процессов, что сложились в биосфере до появления на Земле человека. Это проявляется, прежде всего, в резком ускорении, интенсификации круговоротов вещества и энергии, вовлекаемых в сферу хозяй-

ственной и культурной деятельности человека. Создаются новые, не известные ранее в биосфере химические элементы и соединения. Многие из них вырабатываются сейчас в миллиардах тонн, как например самородное железо или никогда не существовавший на планете чистый алюминий, а количество новых искусственно создаваемых химических соединений (особенно полимеров, пластмасс, синтетических материалов и др.) уже достигло громадной цифры — 600—800 тыс. изделий и скоро, вероятно, достигнет до 1 млн. Печать многих стран сообщает о значительном загрязнении атмосферы угарным газом (СО) и углекислотой (СО₂), сернистым ангидридом (SO₂), окислами азота и канцерогенными ароматическими углеводородами. Вызывает тревогу загрязнение живого покрова суши и водоемов пестицидами и неумеренными дозами органических и минеральных удобрений и т. п.

«Сейчас мы, — писал В. И. Вернадский, — переживаем новое геологическое эволюционное изменение биосферы. Мы входим в ноосферу. Мы вступаем в нее — в новый геологический процесс — в грозное время, в эпоху разрушительной мировой войны. Но важен для нас факт, что идеалы нашей демократии идут в унисон со стихийным геологическим процессом, с законами природы, отвечают ноосфере. Можно смотреть поэтому на наше будущее уверенно. Оно в наших руках. Мы его не выпустим» («Несколько слов о ноосфере», 1944 г.).

Кандидат геолого-минералогических наук

А. Г. НАЗАРОВ

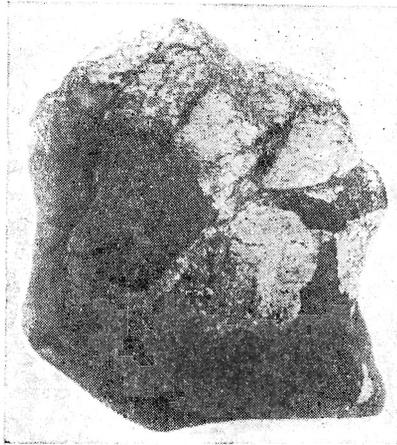
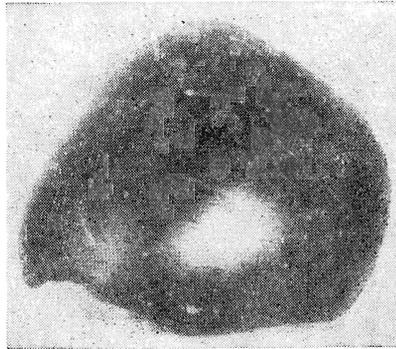
Интересы В. И. Вернадского в изучении космоса

Один из основоположников современной геохимии и создатель новых научных дисциплин — биогеохимии и в значительной степени радиогеологии Владимир Иванович Вернадский проявлял огромный интерес к проблемам космоса и к истории науки, в том числе к истории развития космогонических идей. В формировании идей и круга интересов каждого крупного ученого очень важны условия их зарождения, что послужило толчком к их развитию, как и под влиянием каких обстоятельств развивались они в дальнейшем?

В. И. Вернадский с детских лет пронес через всю свою жизнь интерес к космогонии. В изучении метеоритов и их химического и минералогического состава он видел ключ к познанию глубинных частей нашей планеты. Из 416 опубликованных работ Вернадского семь посвящено метеоритам.

К. П. Флоренский в воспоминаниях о Вернадском «Незабываемые десять лет» пишет: «Все предвоенные годы Владимир Иванович очень интересовался Землей как космическим телом и ее зависимостью от космоса. Он придавал большое значение изучению космических лучей, был председателем Комитета по метеоритам и настаивал на необходимости изучения внеземной (космической) пыли, попадающей на нашу планету».

Уже в восьмидесятилетнем возрасте Владимир Иванович говорит о том, что переключается с его яркими впечатлениями детских лет, — о Млечном Пути и о нашей Земле: «Солнечная система, с которой закономерно связана наша Земля, является определенной пространственно-временной частью нашего Млечного Пути —



Железный метеорит Репеев хутор весом 12,35 кг, упавший в Астраханской области 8 августа 1933 года, был доставлен в том же году Л. А. Куликом. Этот метеорит сохранил следы первоначальной октаэдрической формы

Каменный метеорит Каптал-Арык весом 2,904 кг, упавший в Киргизской ССР 12 мая 1937 года, доставлен по поручению академика В. И. Вернадского Д. П. Малогой

звездной системы, в которой она составляет ничтожную часть. Земля материально и энергетически непрерывно в ходе времени связана с Солнечной системой и с Млечным Путем»*.

В лице В. И. Вернадского необычайно и гармонично сочетаются великолепные качества естествоиспытателя, мыслителя-философа и в то же время историка, относящегося с большим вниманием и уважением к трудам достаточно давних предшественников. Так, его не смущало прибегать к идеям, высказанным почти три столетия назад. Например, излагая представления Х. Гюйгенса (1629—1695) о строении мира, он приводит два его важных принципа: «Тождество материального состава и сил во всем космосе и понятие о жизни, как о чем-то резко отличном от косной материи и как о явлении космическом». Вернадский высоко ценил идеи, которые спустя столетия не утратили своего значения. Очень высоко оценивал Вернадский развитое астрономом В. Гершелем (1738—1825) представление о строении космоса из «галактик», «спиральных звездных туманностей», к числу которых относится и Млечный Путь, всю жизнь привлекавший к себе внимание Вернадского тем, что в какой-то мере он позволяет ощутить грандиозность и бесконечность мирового пространства. Владимира Ивановича всегда занимала природа космических лучей, происхождение, источники и влияние их на жизнь нашей планеты и, в частности, на биосферу. «Геохимия является неразрывной частью косми-

* В. И. Вернадский. «Химическое строение биосферы Земли и ее окружения». М., Изд-во «Наука», 1965 г., стр. 13.



ческой химии. В этой последней резче проявляются такие свойства элементов, которые скрыты в геохимии, ибо перед масштабом сил космоса ничтожными представляются термодинамическое и электродинамическое поля земных миграций химических элементов. Геохимия и космическая химия есть химия атомов, реальных в космосе и его индивидуальных телах, каждое из которых характеризуется особыми формами миграции атомов», — писал В. И. Вернадский. Как геохимик он не мог не интересоваться химией космоса. Его увлекала проблема среднего химического состава земной коры и планеты в целом, для решения которой необходимы знания средней химической распространенности элементов в космосе.

В «Очерках геохимии» В. И. Вернадский говорит о трех разрядах восприятия окружающего нас мира. Первый обусловлен проявлением наших органов чувств — «микроскопический разрез космоса», второй — не воспринимаемый нами «разрез космоса» — это масштабы атома и слагающих его элементарных частиц («микроскопический разрез космоса») и, наконец, третий, по словам Вернадского, «сейчас (1934 г.— В. Щ.) вырисовывается благодаря успехам астрономических наблюдений и исканий XX века — мир пространства-времени в его научном охвате большими величинами, несоизмеримый, как и атомный мир, с данными наших органов чувств»**.

* В. И. Вернадский. «Об изучении космической пыли». «Мироведение», т. 21, № 5, стр. 39.

** В. И. Вернадский. «Очерки геохимии». М.—Л.—Новосибирск, Госнаучтехгоргеолнефтьиздат, 1934 г., стр. 288

В. И. Вернадский усиленно развивал идею о непрерывном энергетическом и материальном обмене между космосом и нашей планетой. Получая как солнечные, так и космические лучи, Земля в свою очередь излучает внутреннее тепло и радиоактивные излучения заключенных в земной коре урана, радия, тория, калия. Теряя часть своей атмосферы и тончайшие пылевые частицы, Земля в то же время получает из космоса метеориты и космическую пыль, представляющую собой продукты абляции метеорных тел, а также непосредственно проникающую в атмосферу из межпланетного пространства.

В научной деятельности Вернадского метеориты занимали существенное место. Ведь «небесные камни» несут информацию о химическом и минералогическом составе небесных тел неземного происхождения и позволяют сделать предположения о составе внутренних частей нашей планеты. Вернадский организовал систематический сбор и изучение метеоритов.

История обнаружения отечественных метеоритов начинается с конца XVIII столетия. Первый русский метеорит был найден кузнецом Медведевым в районе Абакана (верховья Енисея), о чем сообщил академик П. С. Паллас 21 января 1772 года. Это был железокремнистый метеорит (палласит) весом 646 кг, переданный Академии наук. В 1914 году коллекция Минералогического музея Академии наук состояла из 94 образцов от 76 метеоритов, а в конце 1944 года — из 1341 образца от 111 метеоритов. С 1914 по 1944 год Владимир Иванович был директором Минералогического музея. Несмотря на трудности,

он в 1916 году организовал экспедицию во главе с О. О. Баклундом на Дальний Восток для изучения падения метеорита 16 октября 1916 года около деревни Богуславки. Два экземпляра железного метеорита весом 199 и 57 кг были доставлены в Минералогический музей.

В 1918 году В. И. Вернадский к поискам метеорита в бывшей Тверской губернии привлекает Л. А. Кулика, который в дальнейшем становится энтузиастом поисков знаменитого Тунгусского метеорита, упавшего 30 июня 1908 года, и проводит ряд экспедиций в эти труднодоступные районы Восточной Сибири. Метеорит не нашли, и Вернадский высказал мысль о том, что это был не метеорит, а выпадение облака космической пыли.

В 1921 году в Минералогическом музее был организован метеоритный отдел. В 1935 году его преобразовали в Комиссию по метеоритам, а в 1939 году — в ныне существующий Комитет по метеоритам. Владимир Иванович возглавлял комитет до последних дней своей жизни. По его инициативе стал издаваться сборник «Метеоритика», публиковавший результаты всестороннего изучения метеоритов и космической пыли. Одна из последних работ ученого помещена в третьем сборнике «Метеоритика» (1944 г.), она называлась «Проявление минералогии в космосе». Эти и предыдущие научные работы и организационная деятельность В. И. Вернадского имели большое значение для изучения нашей космоса и, в частности, метеоритики.

Доктор геолого-минералогических наук
В. В. ЩЕРБИНА

Мои встречи с Вернадским

ПЕРВЫЕ ВСТРЕЧИ

Академика Владимира Ивановича Вернадского впервые я увидел в 1926 году и с тех пор был постоянно связан с ним по работе до самого последнего дня его жизни, то есть на протяжении почти двух десятилетий. Несмотря на свои 63 года он был еще очень бодр, всегда ходил быстрой, торопливой походкой и без труда поднимался по лестницам в верхние этажи. Жил Владимир Иванович в Ленинграде, на Васильевском острове, а его рабочий кабинет находился в Минералогическом музее Академии наук СССР. Бывая в музее, Владимир Иванович иногда заходил в кабинет Л. А. Кулика, занимавшегося метеоритами. Вот здесь я и увидел впервые Владимира Ивановича. Мне, лаборанту метеоритного отдела музея, было тогда 20 лет. С чувством глубокого уважения и не без робости предстал я перед маститым ученым.

20 апреля 1930 года в селе Старом Борискине Оренбургской области упал каменный метеорит. Осенью осколок метеорита был прислан в метеоритный отдел Куйбышевским краеведческим музеем. Метеорит оказался очень интересным, принадлежащим к редкому типу углистых хондритов. Вскоре после этого в метеоритный отдел поступили сведения о падении «огромного» метеорита в Кайском районе Вятской (затем Кировской) области, вблизи вятских фосфоритных разработок. Владимир Иванович послал меня обследовать места этих падений, опросить очевидцев и собрать осколки метеоритов. Этой первой самостоятельной поездкой я вдвойне

гордился: ведь обследование падений метеоритов мне поручено самим академиком Вернадским!

Из села Старого Борискина я привез три осколка метеорита и опросил несколько десятков очевидцев. Сведения о падении в районе вятских фосфоритных разработок «огромного» метеорита оказались неточными. Здесь действительно наблюдался яркий болид, однако метеорит найти не удалось: он упал, вероятно, где-то в глухой лесистой местности. Об этом болиде я написал статью, которую и представил В. И. Вернадскому. В своем письме ко мне от 10 июня 1931 года из Старого Петергофа, где Владимир Иванович жил на даче, он писал: «Я прочел Вашу статью о болиде. Ею доволен и хочу ее напечатать в «Докладах» академии, так что не помещайте нигде в другом месте». В то время всякий раз, когда я встречался с Владимиром Ивановичем, он неизменно спрашивал меня, что я читаю из научной литературы.

В 1938 году, когда Владимир Иванович после переезда Академии наук из Ленинграда уже жил в Москве, я сопровождал его к И. Д. Папанину, бывшему в то время начальником Главного управления Северного морского пути. В тот год управление Северного морского пути при содействии академика О. Ю. Шмидта должно было провести аэрофотосъемку района падения Тунгусского метеорита. Нужно было сфотографировать радиальный вывал леса непременно весной, до появления листьев на деревьях. Между тем съемка задерживалась, о чем телеграфировал из района работ Л. А. Кулик. Владимир Иванович подробно рассказал Папанину

о Тунгусском метеорите, о выдающемся научном значении его исследования, о важности аэрофотоснимков радиального вывала леса — единственного случая в истории изучения метеоритов. И. Д. Папанин принял соответствующие меры, и аэрофотосъемка состоялась.

В ЭВАКУАЦИИ

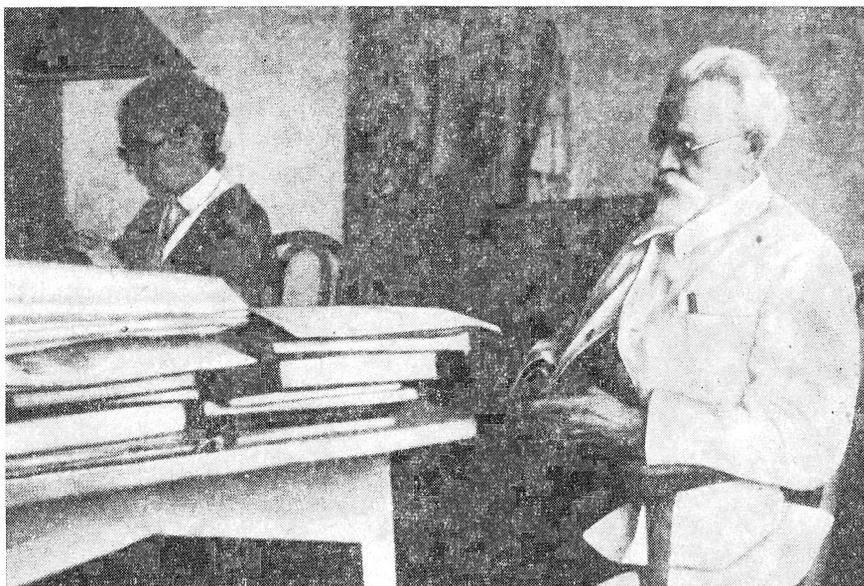
Осенью 1941 года академик В. И. Вернадский выехал в Боровое Акмолинской (ныне Целиноградская) области Казахстана, вместе с женой Натальей Егоровной. Там он продолжал организационную деятельность. Ведь Владимир Иванович со времени основания Комитета по метеоритам АН СССР, то есть с 1939 года и до последнего дня своей жизни был его председателем. В связи с войной в Комитете по метеоритам оказалось достаточно одного человека, исполнявшего обязанности ученого секретаря. Этим человеком был автор данной статьи. По указанию В. И. Вернадского коллекцию метеоритов эвакуировали вместе с научным архивом комитета и с ценностями Минералогического музея в город Миасс Челябинской области и разместили на территории заповедника. В Москве оставили только пять самых крупных метеоритов, которые были упакованы в прочные ящики и помещены в подвале Минералогического музея.

В начале ноября я был эвакуирован в Свердловск в составе небольшой группы, созданной академиком А. Е. Ферсманом.

Еще до отъезда из Москвы у меня началась активная переписка с академиком Вернадским. В своем письме от 8 сентября 1941 года из Борового

Владимир Иванович писал: «...Я здесь хорошо работаю, здоровьем, однако, все время скриплю. Очень прошу Вас, если это только возможно, доставить книгу Миланковича «Математическая и астрономическая теория колебания климата». Я подошел в своей работе к представлению, что основная причина геологических явлений лежит не в планете, а в космической среде, и вижу главное ее проявление в явлении **рассеяния элементов**, одной из главных причин которого являются космические лучи. Этим путем количество тепловой энергии Земли должно увеличиться в несколько раз, вероятно, по сравнению с ее радиоактивным источником. Эта мысль может быть опытным путем проверена. Я нахожусь в теснейшем научном общении с Личковым в Самарканде, дорогим моим другом и одним из самых крупных наших геологов, который подошел с другой стороны к той же идее о космическом источнике главных геологических процессов. Он развивает, по-видимому, идеи Миланковича и Швинера. Биосфера — активная часть нашей планеты, а внутренность ее — холодная и инертная, как метеорит... При случае посмотрите, жив ли наш домик на Дурновском».

Домик на Дурновском — двухэтажный особняк, во втором этаже которого находилась квартира Вернадских, а в первом — академика А. А. Борисяка. Он был снесен в недавние годы при реконструкции проспекта Калинина. Однако по инициативе академика А. П. Виноградова, ученика и преемника Вернадского, при постройке здания Института геохимии и аналитической химии АН СССР, носящего имя академика В. И. Вернадского, в одной



■ Владимир Иванович диктует секретарю А. Д. Шаховской текст своих исследований. Октябрь 1942 года, Боровое

■ Домик на Дурновском переулке в Москве, где жил в последние годы академик В. И. Вернадский

из комнат был воспроизведен кабинет Владимира Ивановича в домике на Дурновском.

В письме от 17 января 1942 года он говорит: «...я заканчивал свой доклад «О геологических оболочках Земли как планеты». Доклад этот очень меня занимал все это время. Сколько мог,

углубился в планетную астрономию, и получаются выводы, которые мне кажутся интересными...»

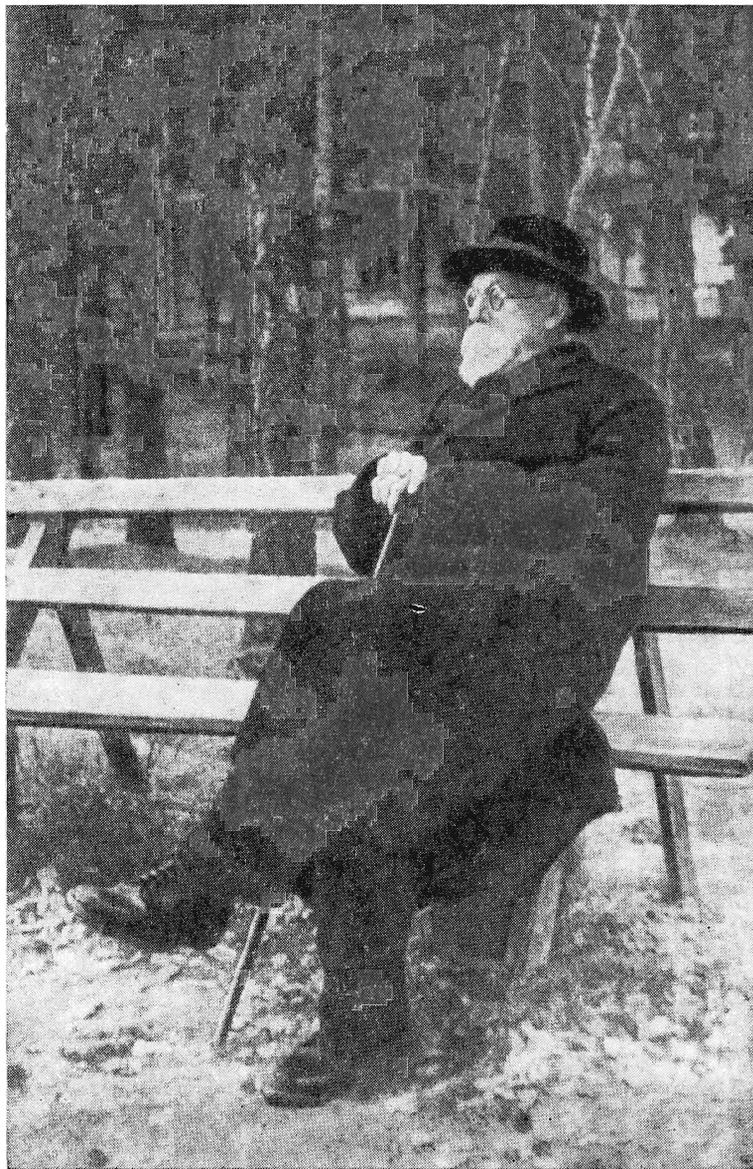
В письме от 19 апреля 1942 года Владимир Иванович снова говорит о своей работе: «В моей работе я подошел очень близко к «Земле как планете»... Сейчас работаю, тоже в виде экскурсии из моей книги «О геологическом значении симметрии», рассматриваю ее как планетное явление. Работаю в этом отношении в контакте с одним из самых крупных геологов — профессором Личковым, который с другой стороны подходит к тому же самому выводу — об основном значении планетных явлений на нашей Земле».

А в письме от 15 августа 1942 года он писал: «В связи со своей книгой я в последнее время много думал и отчасти читал по астрономии. Сейчас масса интересного... Будущее метеоритики, по-моему, очень большое. Для нас больше всего важна своя лаборатория». Владимир Иванович имел в виду создание основной лаборатории в Комитете по метеоритам, чтобы начать систематические исследования химического и минералогического состава и физических свойств метеоритов современной методикой и с наибольшей возможной точностью.

11 августа 1942 года днем на территории Акмолинской области наблюдался яркий болид; можно было предположить, что упал метеорит. Владимир Иванович написал письмо в редакцию газеты «Акмолинская правда». Редакция поместила это письмо в газете от 14 сентября 1942 года. Рассказав кратко о метеоритах и их научном значении, Владимир Иванович обратился к населению с просьбой

присылать ему описания наблюдавшихся ими событий. Одновременно Владимир Иванович написал мне, чтобы я приехал к нему в Боровое и оттуда съездил в район наблюдавшегося болида для опроса очевидцев. В октябре я побывал у Владимира Ивановича в Боровом, но объездить населенные пункты не удалось: не было транспорта.

 Владимир Иванович в парке санатория «Боровое». Октябрь 1942 года



ВОЗВРАЩЕНИЕ ИЗ ЭВАКУАЦИИ

30 августа 1943 года академик В. И. Вернадский возвратился в Москву. Я поспешил на квартиру Вернадских.

Несмотря на долгий и утомительный путь из Борового, длившийся неделю, Владимир Иванович был бодр и выглядел даже лучше, чем год назад, когда я виделся с ним в Боровом. Он и сам говорил, что чувствует себя хорошо, здоров и имеет намерение сей-



час же поехать в санаторий «Узкое» под Москвой, чтобы там в спокойной обстановке возобновить свою работу.

Мы долго беседовали с Владимиром Ивановичем. Он хотел как можно больше узнать о делах Комитета по метеоритам. Он говорил, что хочет серьезно заняться делами комитета, чтобы организовать нормальную работу и восстановить исследования метеоритов.

На следующий день по вызову Владимира Ивановича я пришел к нему вместе с директором Минералогического музея АН СССР Владимиром Ильичем Крыжановским. Мы обсуждали вопрос о размещении метеоритной коллекции и научного архива Комитета по метеоритам.

В. И. Крыжановский предложил перенести коллекцию и архив в Минералогический музей. Предложение о коллекции было принято, и Владимир

Иванович попросил меня проверить коллекцию, привести ее в порядок и выставить в музее. Этим я занимался в течение всего следующего года. Все образцы были проверены по инвентарной книге, приведены в порядок, где это нужно было, и все заново взвешены. После этого была устроена систематическая постоянная метеоритная выставка. Она была открыта 6 октября 1944 года, но Владимир Иванович из-за болезни на открытии не присутствовал.

Итак, метеоритная коллекция снова вернулась в Минералогический музей, где она зародилась, росла и развивалась в течение около полутора лет.

Однако продолжу рассказ... 31 августа мне пришлось снова зайти к Владимиру Ивановичу и рассказать ему о том, что полученном из Президиума Академии наук СССР сообщении о смерти Леонида Алексеевича Кулика. Л. А. Кулик умер в Спас-Деменске 14 апреля 1942 года от сыпного тифа. Эта скорбная весть не могла, конечно, не опечалить Владимира Ивановича,

много лет руководившего работой Кулика. Он трижды обращался в Штаб народного ополчения с ходатайством о возвращении из ополчения ученого секретаря Комитета по метеоритам Л. А. Кулика. Командование ополчения каждый раз отвечало согласием, но Леонид Алексеевич Кулик решительно отказался вернуться. В письме ко мне от 28 сентября 1941 года Владимир Иванович писал: «...Я очень встревожен судьбой Кулика. Нашелся он или нет? Очень прошу известить меня». Дело в том, что в сентябре часть народного ополчения, в которой находился Л. А. Кулик, попала в окружение, Кулик оказался в плену, и связь с ним прервалась.

На следующий день, 1 сентября, утром после дежурства в Геологическом институте я снова приезжал к Владимиру Ивановичу, а 2 сентября помогал ему вскрывать и разбирать ящики с рукописями и его личным архивом, прибывшими из Борового. Через шесть дней я снова был у Владимира Ивановича, и мы долго беседо-



вали о предстоящем 14—18 сентября астрономическом совещании, обсуждая проект резолюции. Владимир Иванович сам хотел присутствовать на совещании и сделать сообщение о метеоритах, о необходимости их изучения. Он говорил, что вся сила в эмпиризме, теория и гипотезы часто путают, но они, конечно, нужны, но должны приниматься с осторожностью.

16 октября на квартире Владимира Ивановича состоялось заседание бюро Комитета по метеоритам. Для этого Владимир Иванович специально приехал из «Узкого». Он хотел провести это заседание с участием академика В. Г. Фесенкова — первого заместителя председателя Комитета по метеоритам.

На заседании присутствовали Владимир Иванович, академик В. Г. Фесенков, автор статьи, а также секретарь Вернадского А. Д. Шаховская. По просьбе Владимира Ивановича А. Д. Шаховская зачитала его записку об очередных задачах Комитета по метеоритам. В этой записке излагались задачи ближайших лет в области метеоритики, причем эти задачи вытекали из представления Владимира Ивановича о межзвездном происхождении метеоритов.

ВРУЧЕНИЕ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ

В марте 1943 года к 80-летию со дня рождения академик В. И. Вернадский был награжден орденом Трудового Красного Знамени. Вручение ордена состоялось в индивидуальном порядке уже после возвращения Владимира Ивановича из эвакуации, 3 ноября то-

го же года. В этот день я приехал к Вернадским и от А. Д. Шаховской узнал, что из наградного отдела по телефону сообщили, что я должен сопровождать Владимира Ивановича в Кремль, до рабочего кабинета М. И. Калинина. Так как я не предполагал сопровождать Владимира Ивановича в самый Кремль, то был одет в рабочий костюм. Между тем съездить домой и переодеться уже было некогда. Оставалось надеть костюм и пальто Владимира Ивановича. И то, и другое пришлось в пору. В час дня мы уехали. А. Д. Шаховская снабдила меня разными лекарствами на случай, если Владимиру Ивановичу станет плохо.

Как только наша автомашина подъехала к Спасской башне, к нам подошел военный и спросил у меня, не Вернадский ли это. После моего утвердительного ответа он провел нас в Бюро пропусков, и там мы тотчас получили уже заготовленные пропуска. Потом мы прошли через боковую дверь Спасской башни и оказались в Кремле. Я впервые вошел в Кремль, и чувство огромного волнения охватило меня. У входа в здание Президиума Верховного Совета СССР нас встретили и проводили до гардероба, а затем на лифте и по коридору до кабинета М. И. Калинина.

Мы вошли в приемную Калинина. Я доложил секретарю о прибытии академика В. И. Вернадского. Вскоре секретарь пригласил Владимира Ивановича войти в кабинет. Когда Владимир Иванович входил в кабинет, я увидел через открытую дверь Михаила Ивановича, который шел от своего письменного стола навстречу Владимиру Ивановичу. Вскоре из кабинета Калинина вышел секретарь Президиу-

ма Верховного Совета СССР А. Ф. Горкин. Он сел рядом со мной на диван и стал спрашивать о том, как жил в эвакуации в Боровом Владимир Иванович, как он отдохнул в «Узком», чем занимается теперь.

Минут через пятнадцать из кабинета М. И. Калинина послышался звонок, и секретарь Калинина открыл дверь кабинета. Через открывшуюся дверь я увидел Владимира Ивановича, выходящего в сопровождении М. И. Калинина, уже с приколотым на голубой ленте орденом Трудового Красного Знамени.

Оформив пропуска, мы вышли из приемной и в сопровождении военного дошли до гардероба. Из здания мы вышли уже одни и в автомашине быстро вернулись домой к Вернадским, где нас ждал чай. За чаем Владимир Иванович рассказывал о своей беседе с М. И. Калинин. Он сказал, что Михаил Иванович интересовался его работами и просил прислать ему отписки последних его статей вместе с первыми двумя выпусками начавшего издаваться сборника «Метеоритика».

Владимир Иванович был очень требователен к точному изложению научных данных. Сначала точное изложение фактов, наблюдений, результатов опыта, а уже потом на их основании — интерпретация и выводы. Этому правилу он всегда следовал сам и требовал от своих учеников. Автор с глубокой благодарностью хранит в памяти эту характерную черту академика Вернадского.

Доктор геолого-минералогических наук

Е. Л. КРИНОВ

В «Узком» летом 1940 года

С Владимиром Ивановичем Вернадским я встречался несколько раз, но всегда это случалось совершенно мимолетно — на каком-либо заседании или совещании. И только в течение двух недель летом 1940 года в санатории «Узком» мне посчастливилось сидеть за одним столом с Владимиром Ивановичем и Натальей Егоровной. По меньшей мере три раз в день — утром, в обед и за ужином я бывал в обществе Вернадских и наблюдал эту чудесную супружескую пару.

О некоторых впечатлениях этого периода, запомнившихся необыкновенно остро, и хочется рассказать.

Прежде всего — о внешности Владимира Ивановича. Я не знаю, как он выглядел в молодые годы, но в то время, о котором я пишу (Владимиру Ивановичу было тогда под восемьдесят лет), его невозможно было не заметить, даже не зная, кто он. Слегка сутулый, с мягкими длинными седыми волосами, обрамлявшими лицо, с голубыми прозрачными глазами, смотревшими несколько рассеянно сквозь очки в тонкой золотой оправе — он был весь чистота и благородство. К портрету, будь он написан в это время с Владимира Ивановича, не требовалось бы никакой подписи, чтобы смотрящий понял, что перед ним ученый, мыслитель и по-настоящему хороший человек.

Между нами была огромная дистанция: ученый с всемирно известным именем и только-только начинавший оперяться геолог, больше чем вдвое моложе своего собеседника, — но Владимир Иванович никогда не давал почувствовать этой дистанции. Первым его вопросом, когда мы встретились в «Узком» и я, назвав себя, напомнил,

что несколько лет назад посетил Владимира Ивановича по какому-то делу, было: «А над чем Вы сейчас работаете?» Я рассказал об исследованиях степного Казахстана, в которых принимал тогда участие, и видел, что Владимир Иванович выслушал это не по обязанности, не из вежливости, а пытаясь выяснить для себя, что же представляет собой его сосед, молодой научный работник. Примерно через полгода мы опять встретились, он снова спросил меня, над чем я работаю, причем оказалось, что он помнит мой рассказ в «Узком».

Я недостаточно близко знал Владимира Ивановича, чтобы утверждать, что отсутствие элемента превосходства ни в какой мере не было надуманным, нарочитым, а проистекало из того, что просто академик Вернадский был таким. Но я глубочайшим образом убежден, что это именно так, и подтверждение вижу во всем его поведении в «Узком».

Вернадские были глубокие старики, оба слабые и больные, но ни разу я не услышал от них какой-либо жалобы на невнимательность со стороны обслуживающего персонала; разумеется, и со стороны персонала никогда не было ни малейшего недовольства Вернадскими. Ни разу за две недели Владимир Иванович не заикался за столом, сказав, что «этого» он не любит, а «то» невкусно приготовлено. Тон его обращения, с кем бы он ни разговаривал, неизменно был ровным, спокойным, доброжелательным. Все это бросалось в глаза тем резче, что далеко не все, жившие тогда в «Узком», вели себя подобно Вернадским.

В то же время Вернадский вовсе не был тем человеком, которого можно

называть «приятным собеседником». Владимир Иванович охотно говорил на научные темы, откликался, хотя и менее живо, на некоторые общие вопросы, если я пробовал их поднять, например, относительно народного образования или современной системы преподавания в университетах. Но если разговор заходил о мелочах, пусть и имевших значение для того часа, в который он велся, — о ненастной погоде, не вовремя доставленных газетах, последних санаторных новинках кино — Владимир Иванович замолкал, уходил в себя и вроде бы отсутствовал за столом. Говорила тогда одна Наталья Егоровна, да и то недолго. Едва кончался обед или ужин, старик поднимался — пора к себе в комнату.

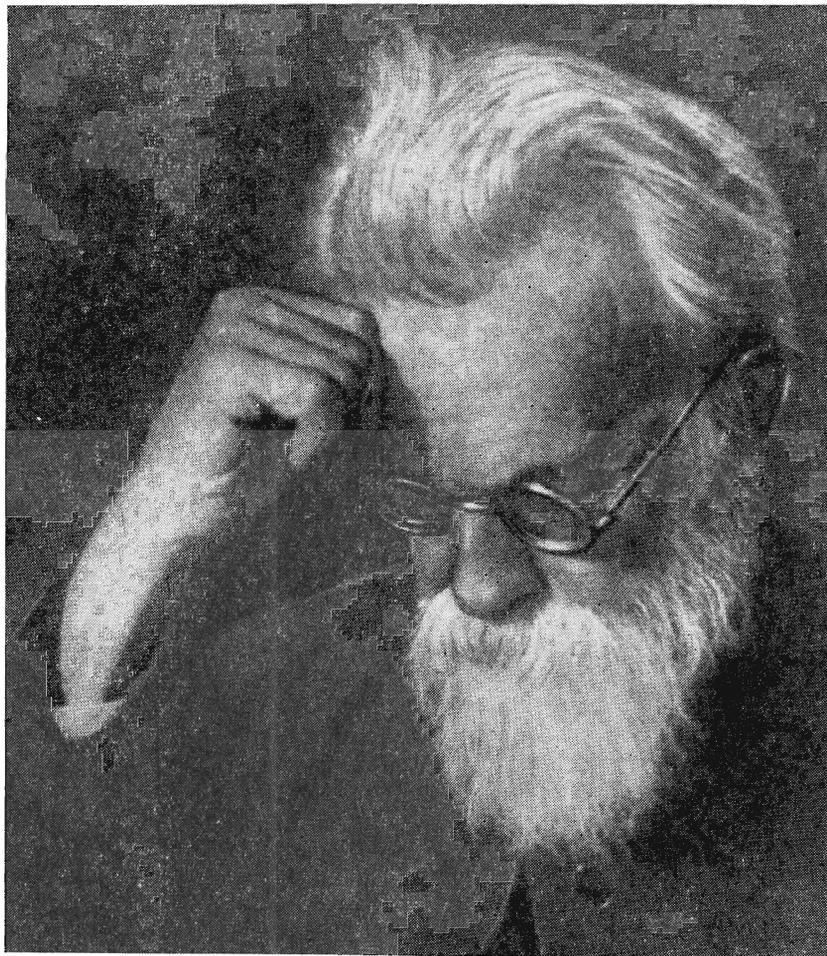
В это время только что была оккупирована гитлеровскими войсками Франция, совершались ожесточенные воздушные налеты на Англию. В санатории об этом говорили много, но ни разу я ничего не услышал от Владимира Ивановича. И я рискнул задать ему вопрос напрямик: «Как Вы думаете, чем кончится война?» Он посуровел, помолчал и потом коротко и очень убежденно сказал: «Немцы ее проиграют, не могут не проиграть эту варварскую войну».

Может быть, с человеком, более ему знакомым, чем я, Владимир Иванович больше говорил бы не только на научные темы. Все же мне кажется, что и в этих случаях резко преобладали бы научные разговоры. Вне науки — во всяком случае в то время — Владимир Иванович не видел интереса. Шла вторая половина лета, стояла прекрасная погода, но и здесь, в санатории, он продолжал вести тот

же строгий размеренный образ жизни, ученого, который был заведен им много лет назад. Вставал он рано, в шесть или в семь часов, и до завтрака успевал поработать. Сразу после завтрака снова садился за работу, выходя на прогулку лишь незадолго до обеда. Не знаю наверняка, но, как будто бы, он продолжал заниматься и после обеда. Спать Вернадские ложились рано, и я ни разу не видел их на сеансах кино или на вечерах самодеятельности, когда отдыхающие дружились и ставили шарады, которые тогда были в почете в «Узком».

Помню, Владимир Иванович не слишком одобрительно отнесся к тому, что я не привез с собой в санаторий рукопись, над которой работал перед отпуском, и я почувствовал себя провинившимся.

Вообще, сидеть за одним столом с академиком Вернадским, хотя и было высоким наслаждением, но давалось мне нелегко. Для поддержания разговора требовались усилия в выборе сравнительно немногочисленных определенных тем (а разница эрудиций, опыта и возраста делала для меня недоступным многое из того, чем свободно владел мой собеседник). Весьма важным являлось и то, что Владимир Иванович всегда был необыкновенно сосредоточен. Он всегда о чем-то думал, и видно было, что эти мысли поглощают его целиком, что они значительны и интересны для него. Он сидел здесь же, рядом, немного опустив голову и глядя в стол или в сторону, и я понимал, что его нет, что он сам с собой и своей наукой. Прерывать, нарушать эту сосредоточенность я не рисковал, а иногда не умел.



Однажды я был свидетелем, как эта сосредоточенность привела к забавной и трогательной сценке. Как-то в гостиной, которая вела в столовую, перед ужином устраивали репетицию очередной шарады. Народу собралось много, и все веселились кто во что горазд. Открылись двери в столовую, но мы продолжали репетицию. Потом появились Вернадские: как и обычно, впереди шла Наталья Егоровна, а на два шага сзади — Владимир Иванович, ссутулившись, наклонив книзу голову. Наталья Егоровна заинтересовалась происходившим в гостиной и присела на стул у стены. Владимир Иванович молча прошел в столовую, но через минуту вышел оттуда с растерянным

и удивленным лицом — он потерял Наталью Егоровну! Оказалось, что занятый своими мыслями, он не заметил задержки Натальи Егоровны в гостиной и обнаружил ее исчезновение, лишь очутившись в одиночестве за обеденным столом.

Все, наблюдавшие эту милую сценку, окружили стариков, почтительно и ласково подшучивая над Владимиром Ивановичем, а он улыбался рассеянно и говорил: «Да вот, знаете, не заметил».

Сосредоточенным голубоглазым стариком, полным мыслей и внутренней духовной красоты и запомнился мне на всю жизнь Владимир Иванович Вернадский.

■
Академик В. И. Вернадский

Доктор геолого-минералогических наук

Б. А. ПЕТРУШЕВСКИЙ

Памяти Михаила Галактионовича Крошкина

20 мая 1974 года скоропостижно скончался заместитель главного редактора журнала «Земля и Вселенная» Михаил Галактионович Крошкин — коммунист, замечательный человек, отдавший все силы служению науке, ее организации и пропаганде.

М. Г. Крошкин родился в 1923 году в селе Вятское Толбухинского района Ярославской области, в семье крестьянина. Окончив в суровые дни января 1942 года Артиллерийское училище, командир взвода лейтенант Крошкин был направлен в действующую армию. Он участвовал в боях на Волховском и Калининском фронтах. В январе 1943 года под Великими Луками Михаил Галактионович был тяжело ранен и после года лечения в госпитале демобилизован.

Окончив Высшее техническое училище имени Баумана и защитив диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, М. Г. Крошкин связал свою дальнейшую жизнь с наукой. Свои первые научные работы по аэродинамике Михаил Галактионович написал будучи еще аспирантом Морского гидрофизического института АН СССР.

С 1957 года М. Г. Крошкин занимается космическими исследованиями. Он один из организаторов комплексных геофизических исследований в период Международного геофизического года по программе «Ракеты и спутники», член ряда рабочих групп КОСПАР и «Интеркосмос».

Михаил Галактионович Крошкин, работая в Институте космических исследований с первого года его существования, возглавил работы в



Михаил Галактионович Крошкин
(1923—1974)

институте по международному сотрудничеству в исследовании космического пространства. Он вложил много труда и знаний в организацию и успешную реализацию ряда международных космических программ.

Большая заслуга в издании «Международного астронавтического словаря» принадлежит М. Г. Крошкину: им написана значительная часть этого словаря и отредактированы многие его разделы. Он автор книги «Физико-технические основы космических исследований», являющейся ценным учебным пособием для студентов.

Михаил Галактионович был хорошим популяризатором и пропагандистом космических исследований. Он написал ряд научно-популярных книг, в том числе прекрасную книгу «Космос начинается на Земле».

М. Г. Крошкин много сил и времени отдал работе в обществе «Знание». Он был председателем секции печати Научно-методического совета по астрономии и космонавтике Всесоюзного общества «Знание», членом бюро Научно-методического совета Республиканского общества «Знание».

Михаила Галактионовича всегда отличала спокойная сдержанность в решении самых острых вопросов, глубокое уважение к своему собеседнику. С огромным тактом он воспринимал и умело вводил в деловое русло научные и организационные «страсти». Высокая культура, научная и партийная принципиальность позволяли ему всегда успешно осуществлять решение многочисленных и сложных задач космических исследований.

Михаил Галактионович любил природу, живые краски жизни, был страстным охотником и книголюбом, глубоким знатоком русской и мировой литературы и искусства. Его личные качества друга и товарища могут служить примером нравственной чистоты и благородства. Память о Михаиле Галактионовиче Крошкине надолго сохранится в сердцах знавших его людей.

Группа товарищей



Кандидат географических наук
Е. М. СУЗЮМОВ

Четверть века на научной вахте

ВМЕСТО ПРЕДИСЛОВИЯ

«Витязь» вышел в первый, экспериментальный рейс летом 1948 года. Последующие почти двадцать лет он носил почетное звание флагмана советского экспедиционного флота. С его именем неразрывно связано становление и развитие Института океанологии имени П. П. Ширшова АН СССР. В экспедициях «Витязя» принимали участие научные работники 65 институтов и университетов нашей страны, а также ученые 14 зарубежных стран. Трудно назвать кого-либо из ведущих советских океанологов, кто не работал бы на борту «Витязя». Начальником первой экспедиции был академик Л. А. Зенкевич, позже он руководил еще тремя экспедициями; неоднократно возглавляли экспедиции на «Витязе» член-корреспондент АН СССР В. Г. Богоров, член-корреспондент АН СССР П. Л. Безруков, А. Д. Добровольский, Г. П. Пономаренко, Н. Н. Сысоев, В. П. Петелин, В. Г. Корт, Г. Б. Удинцев, М. Е. Виноградов и другие известные ученые. Сотни молодых специалистов начали свой путь в науку с борта «Витязя» и недаром считают его своим университетом — именно здесь возникла отечественная школа океанологов.

«Витязь» был перестроен из немецкого грузового теплохода «Марс», совершавшего международные торговые рейсы. Новое судно назвали в память о славном русском корабле науки прошлого века, на котором плавал адмирал С. О. Макаров.

Главная инициатива в создании «Витязя» принадлежала директору Института океанологии и министру Морско-

Из года в год с борта научно-исследовательского судна «Витязь» изучаются рельеф и структура морского дна, обитатели океанских глубин, гидробиологический режим и химический состав вод океана и атмосфера над ним.

го флота академику П. П. Ширшову, члену-корреспонденту АН СССР В. Г. Богорову и капитану дальнего плавания С. И. Ушакову. Благодаря творческому сотрудничеству ученых, моряков и судостроителей, был создан плавучий институт с 16 лабораториями на 60—65 сотрудников. В каждом рейсе 70—75 человек экипажа обеспечивали научные работы и безопасность мореплавания.

После экспериментального рейса в Черное море «Витязь» совершил в 1949 году переход на Дальний Восток и был приписан к Владивостоку. В первые годы с борта «Витязя» проводились исследования Охотского, Японского, Берингова морей, а также прикурильского района Тихого океана. Лишь с 1954 года он вышел на просторы Тихого и Индийского океанов. В декабре 1973 года «Витязь» отправился в свой очередной, 55-й рейс. Путь, пройденный им по морям и океанам за все годы, превышает 600 тыс. миль.

ОТ КОМПЛЕКСНЫХ ЭКСПЕДИЦИЙ ДО ТЕМАТИЧЕСКИХ РЕЙСОВ

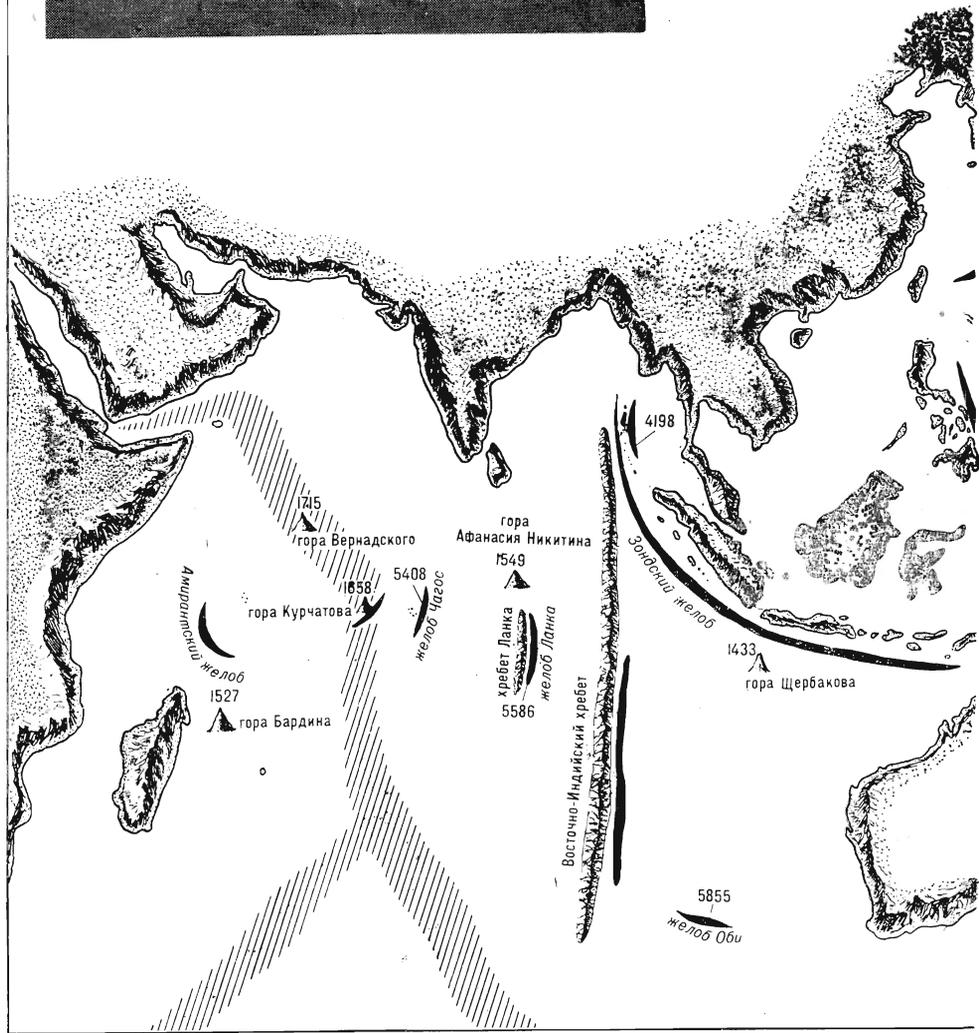
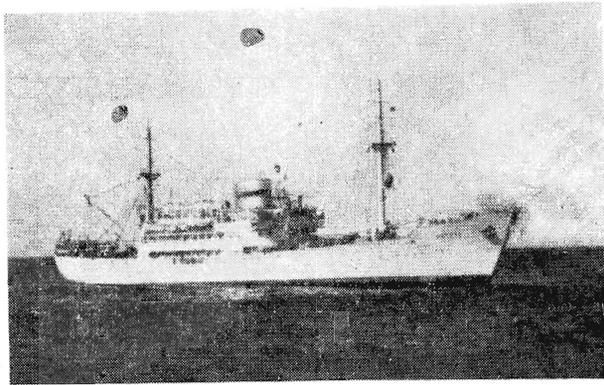
С самого начала на «Витязе» проводились комплексные научные исследования. Программы его экспедиций до начала 60-х годов (а их было

более 30) предусматривали решение самых различных научных задач, а рейсы в основном были географическими. В последнее десятилетие экспедиции стали носить тематический характер с выделением ведущих научных дисциплин в комплексной программе. Описательный характер первого периода был вполне закономерным, так как требовалось сначала изучить природу морей и океанов, а затем перейти к исследованию процессов.

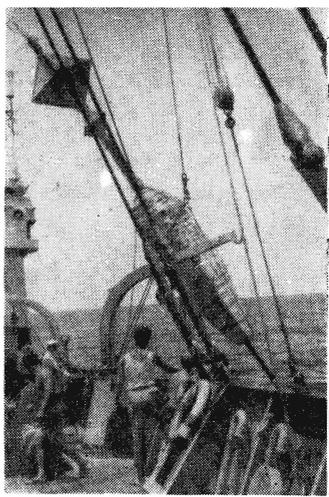
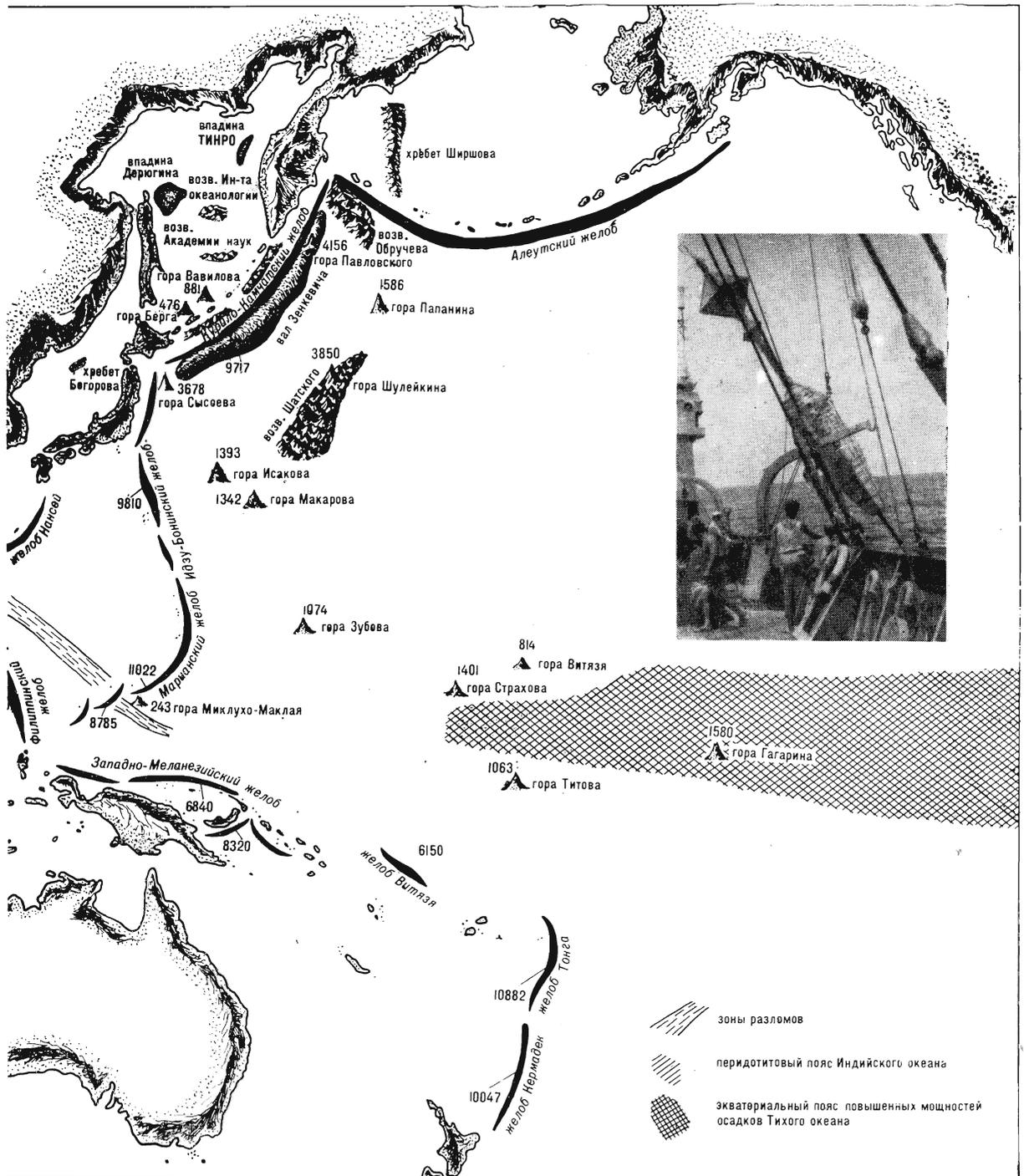
В результате первых экспедиций «Витязя» коренным образом изменились представления о географии, геоморфологии и живых обитателях наших дальневосточных морей. Затем были внесены изменения в целый ряд наших прежних представлений и о Тихом океане. Полученные в экспедициях данные стали принципиально новой основой для изучения важных процессов, совершающихся в толще вод океана и на его дне. Постепенно программы экспедиций на «Витязе» приобрели тематическую направленность. Так, например, несколько рейсов — 45-й (1969 г.), 50-й (1971 г.), 52-й (1972 г.) — посвящалось биологическим исследованиям северо-западной и западной частей Тихого океана, а также Охотского моря. Физические процессы в западной экваториальной части Тихого океана изучались в 51-м рейсе (1972 г.). Были проведены также рейсы по геологической и геолого-геофизической программам.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЙСЫ

В последние годы несколько геологических рейсов осуществлялось под руководством ведущего советского морского геолога члена-корреспон-



Главные географические и геологические открытия, сделанные в экспедициях Института океанологии имени П. П. Ширшова АН СССР на исследовательском судне «Вытязь»





ЭКСПЕДИЦИИ

дента АН СССР П. Л. Безрукова. Так, в 43-м рейсе (1968 г.) развернулись работы в разных тектонических и климатических зонах Тихого океана. В районе Срединно-океанских гор удалось обнаружить скопления древних (третичных) фосфоритов нового генетического типа с высоким содержанием фосфата. Скопления эти залегают на глубинах 1200—3500 м (а местами и глубже) в виде плит, глыб, валунов и мелких обломков, обычно покрытых железо-марганцевой коркой. Биологи изучали состав фауны на поверхности конкреций. Впервые при драгировке склона одной подводной горы был поднят на борт моллюск *Neopilina*. Это — древнейший глубоководный обитатель, принадлежащий к классу, который считали вымершим.

Геологические исследования были продолжены в 48-м рейсе (1970 г.). Этот рейс полностью был подчинен поиску и изучению железо-марганцевых конкреций в центральной части Тихого океана. Исследовали три крупнейшие рудоносные области — Южную и Центральную котловины, а также систему Срединно-океанских гор. Анализ собранных материалов показал, что залежи конкреций обильны там, где рельеф дна сильно расчленен холмами и горными грядами и скорости осаднения осадков малы. В таких районах на каждый квадратный метр поверхности дна приходится до 50—75 кг конкреций. Получен достаточный статистический материал для изучения морфологии и внутреннего строения конкреций и состава их ядер. Обнаружены совершенно новые разновидности конкреций и обильные их залежи. Оказалось, что

на некоторых горах мощность слоистых рудных корок достигает 10—15 см, примерно 200—300 кг руды на один квадратный метр поверхности. Большую ценность представили сведения о распространении в центральных частях Тихого океана древних фосфоритов, которые по своим признакам и по условиям образования не имеют ничего общего с фосфоритами, содержащимися в конкрециях.

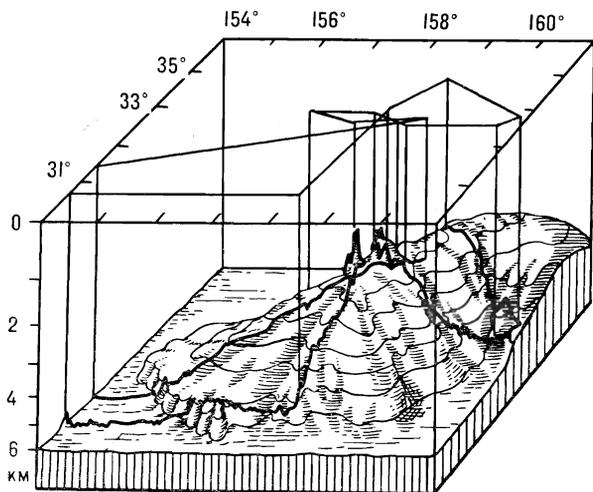
Проведенный также под руководством П. Л. Безрукова 54-й рейс (1973 г.) продолжил геологическое изучение дна Тихого и Индийского океанов. Кроме западной части Тихого океана исследования были охвачены моря Малайского архипелага и восточная часть Индийского океана до Восточно-Индийского хребта.

Восточная часть Индийского океана — интереснейшая в геологическом отношении область. Здесь проходит Восточно-Индийский хребет и целая система структур, вытянутых вдоль меридиана; здесь расположены крупные подводные горы и поднятия. Привлекают геологов и моря Малайского архипелага, так как многие исследователи считают их ярким примером современных геосинклиналией.

На геологическом полигоне исследовалась гора Щербакова, открытая в 33-м рейсе «Витязя». Здесь, где минимальная глубина 1433 м и относительная высота горы над окружающей поверхностью дна 3000 м, было решено провести детальные наблюдения. Какова геологическая история этого поднятия? Достигала ли когда-нибудь эта гора поверхности океана? Если достигала, то на ней должны залежать мелководные осадки, содержащие, в частности, фосфаты. Разнообразные

геологические исследования подтвердили, что этот район пережил сложную геологическую историю, завершившуюся погружением горы. Тщательно обследовали и район предгорий Восточно-Индийского хребта. Здесь морское дно очень сложное — расчленено на блоки, пронизано разломами. Геологи задались вопросом: какова взаимосвязь сложного рельефа и тектоники дна? Для работ выбрали большой полигон. Всего в рейсе было четыре геологических полигона в наиболее характерных районах океанического дна. Исследования геоморфологии обеспечили необходимую батиметрическую основу для геологических и геофизических выводов и предположений. В этом рейсе обнаружены ранее неизвестные формы донного рельефа, в частности, 22 подводные горы с относительной высотой от 0,5 до 3 км, много подводных гряд, крупных холмов, различных депрессий и уступов. Получено рекордное количество подводных снимков поверхности дна — 638. Впервые проведено непрерывное сейсмическое профилирование в районах Яванского желоба, Восточно-Индийского хребта, в Западно-Австралийской и Северо-Австралийской котловинах. Удалось получить весьма обширные материалы для надежной корреляции сейсмических профилей с геологическими данными, а следовательно, и для обоснованного освещения вопросов тектонического развития океанов.

Заслуживают особого внимания многочисленные находки самых разнообразных мелких обломков пород, поднятых на борт «Витязя». Микроскопическое их исследование показало богатый набор минералов магма-



тических и метаморфических пород: здесь были и габбро, и андезиты, и амфиболиты, а также многие другие породы, присущие океанической коре геологического прошлого, например, Урала. Некоторые из пород найдены в Индийском океане впервые, и есть все основания полагать, что в районах сложного блокового строения океанского дна их достаточно много. Последующие кропотливые анализы сулят далеко идущие геофизические выводы и открытия.

Существенное место в рейсе заняли исследования минерального и химического состава железомарганцевых конкреций, а также пространственного их распределения. Иногда попадались чисто железистые конкреции.

Итоги 54-го рейса «Витязя», а также предыдущих его геологических рейсов позволили выполнить тектонический анализ и составить схему мезо-кайнозойской тектоники восточной части Индийского океана. Материалы, собранные в 54-м рейсе, помогают, кроме того, наметить тектоническое районирование всего Индийского океана.

Подводная возвышенность Шатского. Ее геологическому описанию немало способствовали исследования на «Витязе»

Таковы вкратце научные результаты трех геологических рейсов «Витязя», проведенных под руководством П. Л. Безрукова. С программой этих работ тесно связаны исследования 49-го рейса (начальник экспедиции — доктор географических наук Г. Б. Удинцев, научный руководитель — академик А. В. Пейве). Экспедиция работала в районе Северо-Западной котловины зоны разлома Массая, Восточно-Каролинской котловины и в переходной области между океаном и материком. Применяя различные методы геофизических исследований, экспедиция собрала много новых важных материалов о структуре коры и мантии под океаном, их тектоническом режиме, о неоднородности литосферы и особенностях глубоководных океанических желобов.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТИХОГО ОКЕАНА

Результаты уже первых экспедиций обогатили наши представления о живых обитателях дальневосточных морей, а затем и Тихого океана. Благодаря работам на «Витязе» установлены закономерности количественного и качественного изменений планктона на различных глубинах и в разных географических зонах. В результате была разработана схема биологической структуры океана. Биологи при-

шли к выводу, что в верхних слоях океанических вод (от поверхности до 500 м) обитает около 65% всей биомассы планктона. Много внимания уделялось изучению первичной продукции — совокупности органических веществ, создаваемых из минеральных в процессе фотосинтеза под влиянием солнечной энергии.

В итоге многолетних работ на «Витязе» были составлены карты первичной продукции и биомассы зоопланктона. На картах отмечены высокопродуктивные и малопродуктивные районы, а также дана оценка годовой продукции промысловых морских организмов.

Много неожиданностей принесли биологам исследования глубоководных желобов. Долгое время считалось, что глубины более 6000 м безжизненны, но исследователи в экспедициях на «Витязе» обнаружили около 300 видов донных животных в этой зоне. Была открыта и описана новая для науки фауна больших глубин — погонофоры, которых оказалось более 100 видов.

Материалы изучения бентоса позволили составить карты количественного распределения и зоогеографического районирования океана по донной фауне. В результате ихтиологических исследований установлены экологические и географические закономерности распределения и развития ряда нерестических и океанических рыб, выявлены промысловые запасы и новые районы промысла нескольких видов рыб.

Сравнительно недавно (это относится прежде всего к 50-у рейсу) биологи начали изучать процессы в экологических системах. Таким специаль-



ным рейсом руководил доктор биологических наук М. Е. Виноградов. Исследования проводились в западной экваториальной части Тихого океана. Участники экспедиции изучали процессы фотосинтеза фитопланктона, то есть создание первичной продукции. Одновременно измерялось распространение света в воде по всей толще, от поверхности до дна. Удалось оценить, сколько лучистой энергии проходит через данную экосистему, как она распределяется и используется различными группами организмов в процессе обмена веществ, каков ее общий энергетический баланс во времени на разных этапах развития сообществ. Собранные в этой экспедиции материалы существенно меняют представление о процессе снабжения сообществ биогенными веществами. Так, с помощью нового метода, в котором применялся радиоактивный изотоп P^{32} , установлено, что минеральный фосфор в водах поверхностного слоя океана на 9/10 потребляется микрофлорой, а не полностью фитопланктоном, как считалось ранее.

Анализ материалов, полученных в рейсах, привел к принципиально новым выводам о закономерностях существования пелагического сообщества. Что это за выводы? До сих пор, например, считали, что первичное органическое вещество поступает в сообщество благодаря только фотосинтезу. Оказалось, по крайней мере, три пути: во-первых,— это фотосинтез, основанный на поступлении в сообщество минеральных форм биогенов; во-вторых,— бактериальный синтез, в процессе которого используется растворенное органическое вещество, в-третьих,— непосредственное усвое-

ние некоторыми многоклеточными организмами растворенных неорганических веществ.

ЕСЛИ ПОДВЕСТИ ИТОГ...

Наиболее существенный вклад в советскую и мировую науку экспедиции «Витязя» внесли в изучение двух научных проблем — в оценку биологической продуктивности Мирового океана и его зоогеографическое районирование, а также в геолого-геофизическое изучение дна и, особенно, глубоководных желобов.

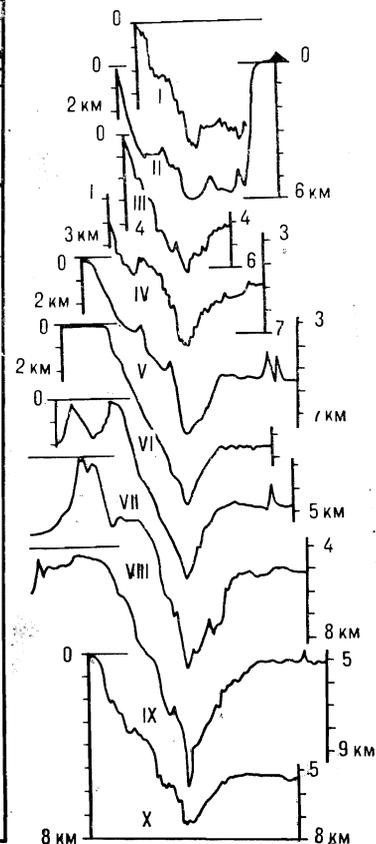
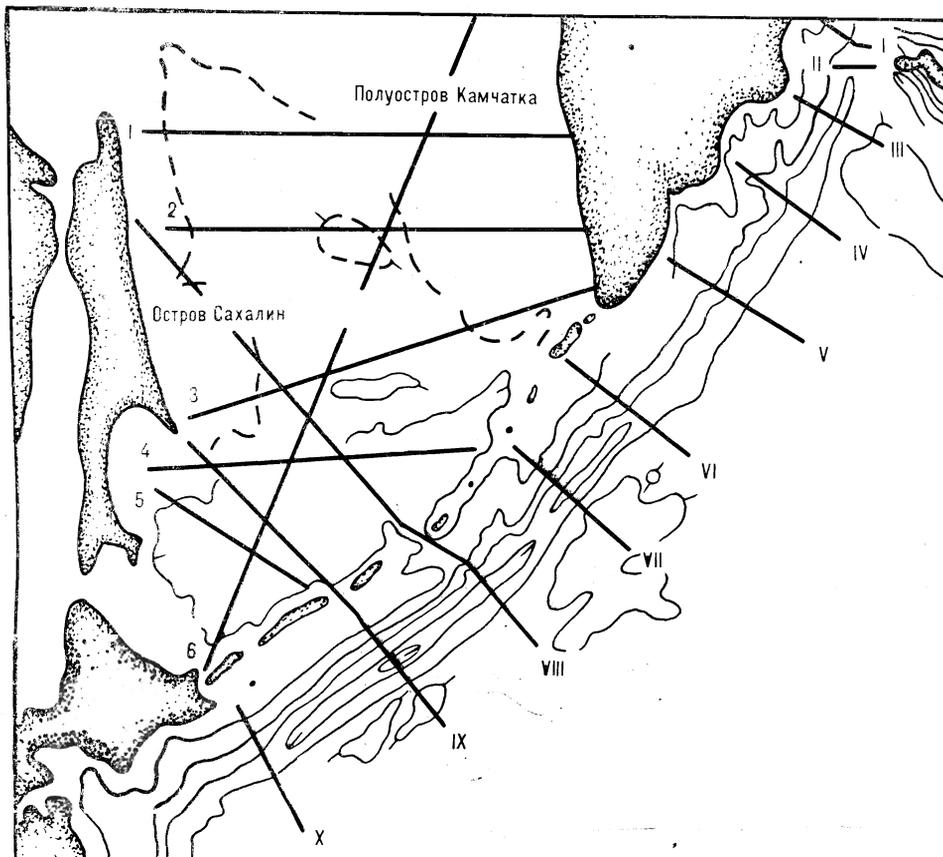
Благодаря экспедициям «Витязя» совершенно по-новому выглядит теперь карта рельефа дна Тихого океана, внесены большие поправки в батиметрическую карту Индийского океана. Открыты подводные горные страны, подводные хребты и отдельные горы, обширные долины и глубокие впадины.

С борта «Витязя» была открыта, а затем подробно исследована подводная возвышенность Шатского. Это — крупное сводовое поднятие в центральной части Северо-Западной котловины. Протяженность этой возвышенности, ограниченной изобатой 5500 м, около 900 миль, а ширина примерно 300 миль. Это образование интересно не только как морфологическая структура, интересен ее возраст и возраст коры, ее слагающей. Над возвышенностью наблюдаются значительные аномалии силы тяжести — до $+200$ мгал.

Особенно прославился «Витязь» изучением глубоководных океанических желобов. («Земля и Вселенная», № 1, 1974 г., стр. 22—26.— Ред.) Спи-

сок форм подводного рельефа, открытых и обследованных с борта «Витязя», велик. К ним относятся шесть желобов в Тихом океане и столько же в Индийском, впадины Дерюгина и Тинро в Тихом океане; подводные хребты Витязя, Ширшова, Богорова, Шокальского и др.; возвышенности Обручева, Шатского, Академии наук, Института океанологии в Тихом океане; хребты Восточно-Индийский, Ланка в Индийском океане, а также много других географических объектов. Более сорока крупных подводных гор были открыты и нанесены на карту участниками рейсов «Витязя». В девяти глубоководных желобах Тихого океана и в четырех желобах Индийского с борта «Витязя» измерены неизвестные ранее максимальные глубины, причем «Витязю» принадлежит честь открытия максимальной глубины Мирового океана — 11 022 м в Марианском желобе. На месте впадины Тускарора на карту был нанесен новый географический объект — Курило-Камчатский желоб, простирающийся на 2 тыс. км от Алеутских до Японских островов с максимальной глубиной 10 542 м.

Много интересных геофизических исследований выполнено с борта «Витязя». Открыты океанический тип земной коры во впадине Японского моря, поясы повышенных мощностей донных осадков в экваториальной зоне Тихого океана, в Аравийском море и Бенгальском заливе, проведено изучение рифтовых зон как областей формирования земной коры нового типа. Благодаря экспедициям на «Витязя» теперь можно судить о тектонике дна морей Дальнего Востока, Тихого и Индийского океанов, а также



о масштабах вулканизма океанического дна в этих районах.

За 25 лет собран весьма большой объем материалов по физическим и химическим характеристикам водных масс и их динамике, которые с успехом использовались при разработке физико-химического районирования вод Тихого и Индийского океанов и при составлении океанографических карт и атласов дальневосточных морей. Особенно подробно исследована система экваториальных течений и противотечений. С борта «Витязя» было обнаружено и инструментально измерено в Индийском океане глубинное противотечение, аналогичное подповерхностным течениям Кромвелла в Тихом океане и Ломоносова в Атлантическом.

Материалы экспедиций на «Витязе» легли в основу выдающихся научных трудов: многотомной монографии коллектива авторов «Тихий океан», удостоенных Ленинской премии СССР; монографий Л. А. Зенкевича «Биология морей СССР» и А. Н. Ива-

нова «Погонофоры».

«Витязя» побывал в десятках стран северного и южного полушарий, где зачастую участники экспедиций «Витязя» оказывались первыми советскими людьми, посетившими эти страны или острова. На «Витязе» выполнены многочисленные исследования по таким международным программам, как Международный геофизический

Курило-Камчатский желоб, неоднократно изучавшийся геологами и геофизиками с борта «Витязя». На схеме показаны маршруты, пересекающие желоб (отрезки, обозначенные римскими цифрами) и маршруты в Охотском море (арабские цифры)

Геологический профиль Курило-Камчатского желоба

год, Международная индоокеанская экспедиция, Изучение верхней мантии Земли, Изучение района Курошио. «Витязя» представлял советский научный флот на X Тихоокеанском конгрессе в Гонолулу. Высокая оценка во всем мире результатов экспедиций «Витязя» в значительной степени способствовала международному признанию выдающегося научного вклада ученых СССР в изучение Мирового океана.

Неумолимое течение времени наложило свой отпечаток на «Витязя» — и к нему подкралась старость. В 1967 году он уступил звание флагмана советского экспедиционного флота новому кораблю науки «Академику Курчатову». Отделом морских экспедиционных работ Академии наук СССР и Институтом океанологии принимаются энергичные меры, чтобы продлить еще на 10—15 лет срок службы «Витязя» советской морской науке.



АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

СОВЕЩАНИЕ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ АСТРОНОМИИ УКРАИНЫ

С 27 февраля по 1 марта 1974 года Министерство просвещения УССР совместно с Киевским отделением ВАГО провели совещание преподавателей астрономии педагогических институтов Украины. За послевоенные годы это — пятое совещание, созываемое Министерством просвещения.

В работе совещания приняли участие ученые Москвы и Киева. Современным проблемам астрономии посвятили свои доклады известные советские астрономы: профессор Д. Я. Мартынов, академик АН УССР Е. П. Федоров, профессор С. К. Всехсвятский, профессор А. Ф. Богородский.

Значительное внимание было уделено методике преподавания астрономии в педагогических институтах. Эти вопросы обсуждались в выступлениях доцента И. А. Захалева (Кировоград), Л. М. Роголя (Дрогобыч), доцента Н. Д. Калиненко (Николаев), доцента И. Д. Ильевского (Винница), кандидата педагогических наук П. Л. Касярума (Черкассы).

На совещании были заслушаны сообщения заместителя председателя Учебно-методической секции ЦС ВАГО доцента А. Б. Маринбаха и доцента М. М. Дагаева. В обсуждении докладов приняли участие доктор физико-математических наук И. Г. Колчинский (Главная астрономическая обсерватория АН УССР), доцент Е. В. Сандакова (Киев), доцент Г. С. Раздымаха (Каменец-Подольский) и др.

Как показала работа совещания, преподаватели астрономии неустанно повышают научно-методический уровень лекций и особое внимание уделяют вопросам формирования диалектико-материалистического мировоззрения студентов. Заметно возрос уровень научной подготовки преподавателей астрономии. Если

в первые послевоенные годы среди преподавателей астрономии педагогических институтов Украины не было ни одного доцента или кандидата наук, то сейчас более половины преподавателей имеют ученые степени и звания.

Совещание отметило положительный опыт проведения лабораторного практикума по астрономии в Ровенском, Винницком, Житомирском педагогических институтах. Вместе с тем в решении совещания указывается, что большинство педагогических институтов Украины все еще не имеют учебных астрономических обсерваторий и надлежащей материальной базы. Отсутствуют учебные кинофильмы, диафильмы, диапозитивы, плакаты и карты, необходимые для преподавания вузовского курса астрономии. Ощущается недостаток в научно-популярных работах, освещающих важнейшие проблемы и философские вопросы современной астрономии. Необходимы пособия по методике преподавания астрономии. К числу важных, но пока еще не решенных вопросов относится изготовление на оптических заводах страны телескопов типа АВР-3 и снабжение педагогических вузов этими инструментами.

Участники совещания обратились в Министерство просвещения УССР с просьбой улучшить условия для научной подготовки преподавательских кадров.

После окончания совещания его участники посетили Главную астрономическую обсерваторию Академии наук УССР в Голосееве.

Доцент
И. Д. ИЛЬЕВСКИЙ

4 ИЮЛЬ АВГУСТ 1974 И ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

Орган Секции физико-технических и математических наук, Секции наук о Земле Президиума Академии наук СССР и Всесоюзного астрономо-геодезического общества

Редакционная коллегия:

Главный редактор доктор физ.-мат. наук Д. Я. МАРТЫНОВ

Зам. главного редактора кандидат физ.-мат. наук М. Г. КРОШКИН

Ответственный секретарь кандидат пед. наук Е. П. ЛЕВИТАН

Член-корреспондент АН СССР

Г. А. АВСЮК, доктор географических наук А. А. АКСЕНОВ, кандидат физ.-мат. наук В. А. БРОНШТЭН, член-корреспондент АН СССР

Ю. Д. БУЛАНЖЕ, доктор техн. наук А. А. ИЗOTOB, доктор физ.-мат. наук И. К. КОВАЛЬ, доктор географических наук В. Г. КОРТ, доктор физ.-мат. наук Р. В. КУНИЦКИЙ, доктор физ.-мат. наук Б. Ю. ЛЕВИН, кандидат физ.-мат. наук Г. А. ЛЕЙКИН, академик А. А. МИХАЙЛОВ, доктор физ.-мат. наук И. Д. НОВИКОВ, доктор физ.-мат. наук Ф. Г. Н. ПЕТРОВА, доктор геол.-мин. наук Б. А. ПЕТРУШЕВСКИЙ, доктор физ.-мат. наук В. В. РАДЗИЕВСКИЙ, доктор физ.-мат. наук Ю. А. РЯБОВ, доктор техн. наук К. П. ФЕОКТИСТОВ.

Адрес редакции: 117333
Москва В-333, Ленинский пр., д. 61/1
тел. 135-64-81 135-63-08

Художественный редактор
Л. Я. Шимкина

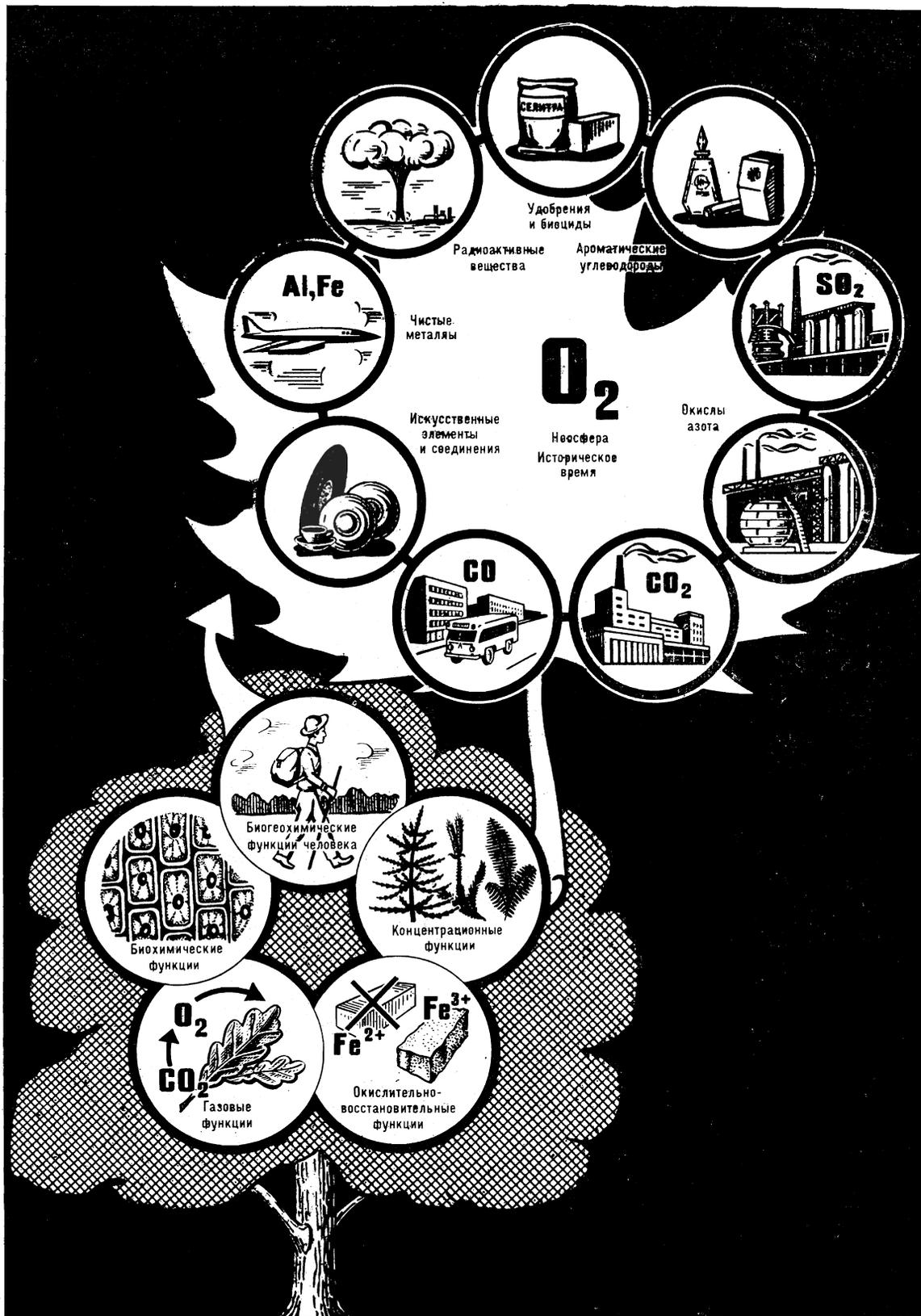
Корректоры: А. Н. Федосеева
С. М. Кристьянполер

Оформление обложки М. М. Верхоланцева

При перепечатке ссылка на журнал «Земля и Вселенная» обязательна.

T-13218. Сдано в набор 29/IV-1974 г.
Подписано в печать 23/VII-1974 г.
Формат бум. 84×108¹/₁₆.
Бум. л. 2,5. Печ. л. 8,4. Уч.-изд. л. 9,8.
Два вкладыша. Тираж 45 000 экз. Цена 40 коп.
Заказ № 580.

2-я типография издательства «Наука»,
Москва, Г-99, Шубинский пер., 10.



Организованность биосферы и переход в ноосферу. (К статье А. Г. Назарова.)

ИНДЕКС 70336 ЦЕНА 40 КОП

ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА

