

ISSN 0044-3948

1 1980 **ЗЕМЛЯ**
И
ВСЕЛЕННАЯ

· АСТРОНОМИЯ · ГЕОФИЗИКА ·
ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА ·

**Трудящиеся Советского Союза! Шире
разворачивайте движение за достойную встречу
110-й годовщины со дня рождения В. И. Ленина!
Учитесь жить, работать и бороться
по-ленински, по-коммунистически!**

Научно-популярный
журнал
Академии наук СССР
Основан в 1965 году
Выходит 6 раз в год
Издательство «Наука»
Москва

1 ЯНВАРЬ
ФЕВРАЛЬ
1980

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

В номере:

Э. Р. Мустель, В. Е. Чертопруд, Н. Б. Мулюкова — Солнечная активность и тропосфера Земли	2
Ю. И. Витинский — Загадка XVII столетия	7
М. А. Лившиц — Солнце и межпланетное магнитное поле	10
А. М. Урнов — Рентгеновские вспышки на Солнце	16
Г. И. Рейснер — Балканский сейсмический проект ЮНЕСКО	24
А. М. Гальпер, В. В. Дмитренко — Эксперимент «Гамма-фон»	30
И. В. Эстулин — Всплески гамма-излучения	34
Б. А. Покровский — Земные штурманы космических кораблей	37

ОБСЕРВАТОРИИ И ИНСТИТУТЫ

М. А. Римша — Панска Вес — программе «Интеркосмос»	44
--	----

СИМПОЗИУМЫ, КОНФЕРЕНЦИИ, СЪЕЗДЫ

В. С. Верещетин — ООН и международное сотрудничество в космосе	48
Д. М. Печерский — Семинар по палеомагнетизму и тектонике	50

ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

А. Ф. Пугач — Электрофотометрия: прошлое и настоящее	52
Э. К. Соломатина — Геомагнитные бури	58

ЭКСПЕДИЦИИ

С. М. Зверев — Геолого-геофизические исследования в Исландии	62
--	----

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ

Л. Л. Сикорук — Определение выдержки в астрофотографии	67
--	----

ЛЕГЕНДЫ О ЗВЕЗДНОМ НЕБЕ

И. И. Неяченко — Северная Корона	70
--	----

ЛЮБИТЕЛЬСКОЕ ТЕЛЕСКОПОСТРОЕНИЕ

Л. Р. Коган — Самодельный радиотелескоп	72
---	----

КНИГИ О ЗЕМЛЕ И НЕБЕ

В. Н. Степанов — «История климата»	76
--	----

ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ ЧИТАТЕЛЕЙ	78
---------------------------------------	----

НОВОСТИ НАУКИ И ДРУГАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вспышки комет [22]; Исследуются плерионы [22]; Феномен SS 433 [22]; Эксперимент на Кольском полуострове [29]; Новая встреча с Юпитером [29]; Рентгеновские источники в скоплениях [36]; Рентгеновская вспышка Новой звезды [37]; Финал «Скайлэба» [43]; Второй индийский искусственный спутник Земли «Бхаскара» [49]; Находки метеоритов в Антарктиде [51]; Короны звезд [57]; Молекулы в других галактиках [61]; Новые рейсы «Гломара Челленджера» [66]; Извержение на Яве [66]; Звездная система 40 Эридана [78]; Статьи и заметки по сейсмологии, опубликованные в «Земле и Вселенной» в 1965—1979 годах [79].



Член-корреспондент АН СССР
Э. Р. МУСТЕЛЬ
Кандидат физико-математических
наук
В. Е. ЧЕРТОПРУД
Н. Б. МУЛЮКОВА

Солнечная активность и тропосфера Земли

ГЕОМАГНИТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ

Сразу же после открытия в середине прошлого века 11-летнего цикла солнечной активности возник вопрос о ее влиянии на Землю. В результате полусторолетних исследований связь многих свойств верхней атмосферы Земли с солнечной активностью была не только обнаружена и убедительно доказана, но и нашла практическое применение: данные о солнечной активности используются службами радиосвязи и космонавтики. В свою очередь, летописи полярных сияний позволили восстановить ход циклической активности Солнца в далеком прошлом.

Иная ситуация возникла при обсуждении вопроса о возможности воздействия солнечной активности на нижние слои земной атмосферы — тропосферу и, вместе с тем, на погоду и климат. Несмотря на обилие публикаций и высказываний, для многих исследователей этот вопрос остается все еще открытым. Это объясняется не только дискредитацией проблемы появлением множества декларативных работ, не содержащих убедительного доказательства солнечно-атмосферных связей, но и сложным характером самих связей. Для статистически обоснованного доказательства связи процессов в тропосфере с солнечной активностью требуются длинные ряды наблюдений и четкое представление о том, какие солнечные и метеорологические характеристики следует сопоставлять. Одна из работ, в которой сопоставлялись длинные ряды наблюдений, была проведена в лаборатории солнечно-земных связей

Зависит ли погода от солнечной активности? Авторам опубликованной ниже статьи удалось показать, что солнечные корпускулярные потоки усиливают неустойчивость атмосферы в умеренных географических широтах.

Гидрометцентра СССР и в Астрономическом совете АН СССР. Изучалось, как ведет себя поле приземного давления сразу после вхождения Земли в солнечный корпускулярный поток. Этот поток частиц (в основном протоны, электроны, ионы гелия) солнечного происхождения проникает в верхнюю оболочку Земли и создает заметные возмущения геомагнитного поля.

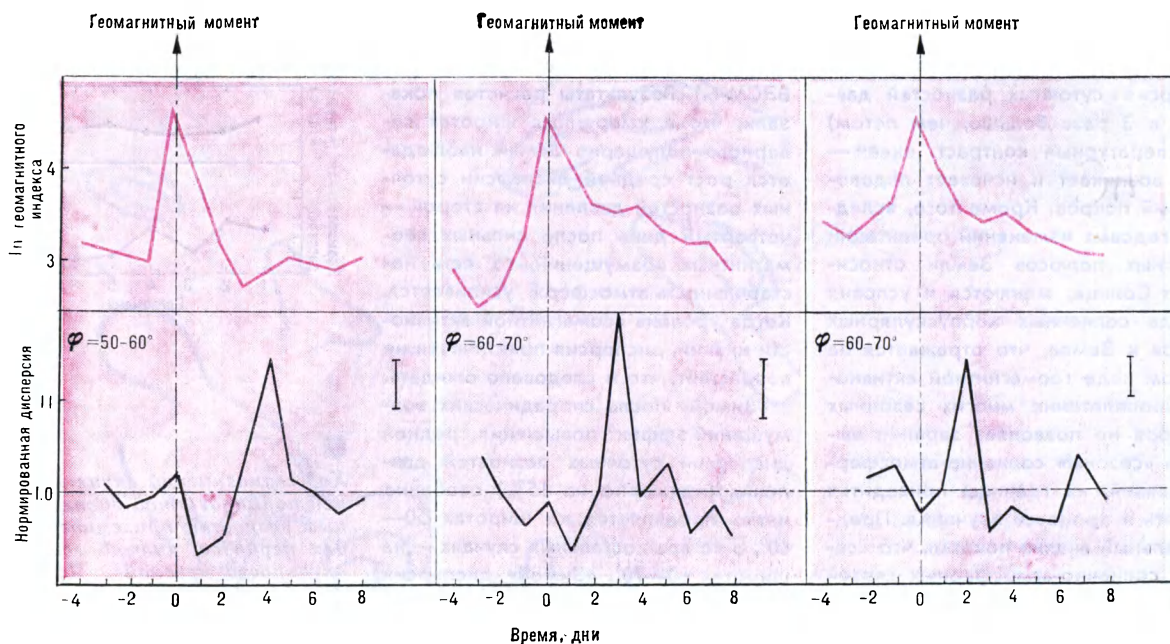
Через день-два после попадания Земли в солнечный корпускулярный поток создаваемое им геомагнитное возмущение достигает своего максимума. Этот момент, который мы будем называть **геомагнитным**, можно считать началом интенсивного взаимодействия корпускулярного потока с верхней оболочкой Земли, ее магнитосферой. В это время обычно наблюдаются полярные сияния, нарушения коротковолновой радиосвязи и другие солнечно-земные эффекты. В исследовании солнечно-атмосферных связей использование геомагнитных возмущений предпочтительнее других индексов, характеризующих солнечную активность, например моментов появления на Солнце хромосферных вспышек. Геомагнитный момент непосредственно указывает время прихода к Земле корпускулярного потока. Между тем

появление на Солнце хромосферной вспышки еще не гарантирует прихода к Земле выброшенного из вспышки «облака» корпускул. Действительно, «облако» может быть выброшено в любом неизвестном нам направлении и может пройти мимо Земли. Кроме того, сравнительно однородные индексы геомагнитной активности, по которым восстанавливаются даты сильных геомагнитных возмущений, имеются уже с 1870 года.

Известно несколько источников солнечных корпускулярных потоков. Один из них — хромосферные вспышки. Во время вспышки часто выбрасывается большое «облако» солнечной плазмы. Приход такого облака к Земле сопровождается рядом геофизических явлений. Геомагнитные возмущения, обусловленные вспышками, называются **«спорадическими»**.

Другим источником солнечных корпускулярных потоков служат сравнительно долгоживущие образования на Солнце — «корональные дыры» и активные области. Из-за того, что Солнце вращается относительно Земли с периодом около 27 дней, каждый такой поток может подходить к Земле неоднократно и вызывать повторяющиеся (рекуррентные) примерно через 27 дней геофизические явления. Геомагнитные возмущения рассматриваемого типа именуется **«рекуррентными»**.

Авторы статьи составили списки геомагнитных моментов для достаточно сильных и притом изолированных спорадических и рекуррентных возмущений, а также для периодов низкой геомагнитной активности. Эти списки охватывают почти 100 лет — с 1880 года по настоящее время.



РЕАЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНО-АТМОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

Столетний опыт дискуссий о реальности солнечно-атмосферных связей приводит к выводу, что доказательство воздействия солнечных корпускулярных потоков на тропосферу должно основываться на **глобальном** эффекте изменения ее параметров после прихода этих потоков. Другими словами, нужно обнаружить эффект, который более или менее одинаково проявлялся бы на значительной части поверхности Земли в течение всей эпохи одновременных наблюдений солнечных и метеорологических характеристик.

В нашем анализе солнечно-атмосферных связей использована наиболее полная информация о приземном атмосферном давлении, подготовленная Метеорологическим бюро Великобритании. На магнитной ленте содержатся данные о распределении приземного давления в северном полушарии Земли на широтах 15—90° для каждого дня периода 1880—1974 годов.

Однако использовать непосредственно давление в качестве параметра для выявления солнечно-атмосфер-

ных связей представляется не очень целесообразным. Дело в том, что возмущения атмосферы, вызванные солнечной активностью, кратковременны — порядка одних-двух суток. Характерное же время изменения поля давления на Земле около недели. Простейший способ уловить кратковременные колебания давления — перейти от самого давления к его суточной разности (то есть разности между давлением в данном пункте Земли в какой-то день и давлением в том же пункте в предыдущий день). Наиболее подходящей характеристикой для изучения солнечно-атмосферных связей оказалось среднее значение квадрата суточных

разностей давления — **дисперсия суточных разностей**, то есть мера разброса суточных разностей давления. Чем больше дисперсия, тем выше нестабильность атмосферы. Надежно оценивается средняя на данной широте (вдоль всей параллели) дисперсия суточных разностей давления, и она была выбрана как один из возможных параметров, характеризующих нестабильность атмосферы на этой широте. Сравнивая ход дисперсии суточных разностей давления относительно геомагнитных моментов рекуррентных и спорадических возмущений, а также в периоды низкой геомагнитной активности, можно оценить, как влияет приход солнечных корпускулярных потоков к Земле на нестабильность тропосферы.

Прежде чем представить результаты такого сравнения, обратим внимание на сезонный характер солнечно-атмосферных связей. Опыт показывает, что при изучении этих связей следует выделять определенные «сезоны», которым свойственны вполне конкретные закономерности. Дело в том, что воздействие солнечных корпускулярных потоков на тропосферу не может не зависеть от состояния атмосферы и подстилающей поверхности, а также от условий прихода

■ *Ход геомагнитной активности (индекс Майо) и средней нормированной дисперсии суточных разностей приземного давления для геомагнитных спорадических возмущений «зимой» (слева), сильных геомагнитных возмущений в «холодное полугодие», исключая «зимние» спорадические возмущения (в центре), сильных возмущений в «теплое полугодие» (справа). При построении кривых использовались, соответственно, 46, 44 и 114 независимых моментов. Вертикальные черточки — средняя квадратическая ошибка оценок дисперсии*

потоков к Земле. Сезонные колебания свойств тропосферы вполне очевидны: меняются ее стабильность (зимой дисперсия суточных разностей давления в 3 раза больше, чем летом) и температурный контраст океан — суша, возникает и исчезает ледово-снежный покров. Кроме того, вследствие годовых изменений ориентации магнитных полюсов Земли относительно Солнца, меняются и условия прихода солнечных корпускулярных потоков к Земле, что отражается на годовом ходе геомагнитной активности. Переплетение многих сезонных факторов не позволяет заранее выделять «сезоны» солнечно-атмосферных связей, их границы приходится уточнять в процессе изучения. Предварительный анализ показал, что «сезоны» солнечно-атмосферных связей примерно совпадают с календарными, причем в нескольких соседних «сезонах» эффекты одинаковы. Это обстоятельство позволило свести рассмотрение всех наблюдений к трем случаям: «сезон зима» (середина ноября — февраль) для сильных спорадических возмущений; «холодное полугодие» («осень» и «зима», середина сентября — февраль) для всех сильных возмущений, кроме спорадических возмущений «зимой»; «теплое полугодие» («весна» и «лето», середина марта — август) для всех сильных геомагнитных возмущений.

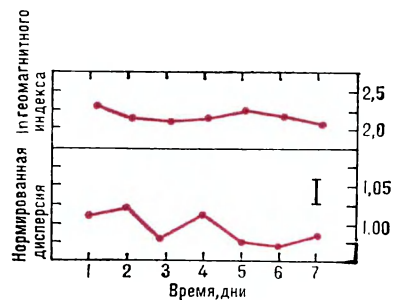
Как уже отмечалось, дисперсия суточных разностей давления обладает значительным годовым ходом, который не зависит от корпускулярной активности. Чтобы избавиться от него, для широт $50-60^\circ$ и $60-70^\circ$ построены средние годовые кривые дисперсии. Все последующие оценки дисперсии делились на значение дисперсии, снятое с годовой кривой в соответствующий день. Нормированная таким способом дисперсия суточных разностей давления для невозмущенной тропосферы равна единице.

Для всех сезонов вычислялся ход средней нормированной дисперсии суточных разностей давления в периоды спорадических и рекуррентных возмущений, а для «зимы» и «весны» также и в периоды низкой геомагнитной активности. Для тех же

случаев определялся средний ход геомагнитной возмущенности. (Все вычисления производились на ЭВМ БЭСМ-6.) Результаты расчетов показали, что в умеренных широтах северного полушария Земли наблюдается рост средней дисперсии суточных разностей давления на второй — четвертый день после сильных геомагнитных возмущений, то есть нестабильность атмосферы усиливается. Когда уровень геомагнитной активности низкий, дисперсия практически не возрастает, что и следовало ожидать.

«Зимой» после спорадических возмущений эффект повышения средней дисперсии суточных разностей давления (примерно на 15%) особенно четко проявляется на широтах $50-60^\circ$, а во всех остальных случаях — на широтах $60-70^\circ$. «Зимой» дисперсия возрастает на четвертый, в «холодное полугодие» (исключая «зимние» спорадические возмущения) — на третий, а в «теплое полугодие» — на второй день после сильных спорадических и рекуррентных возмущений.

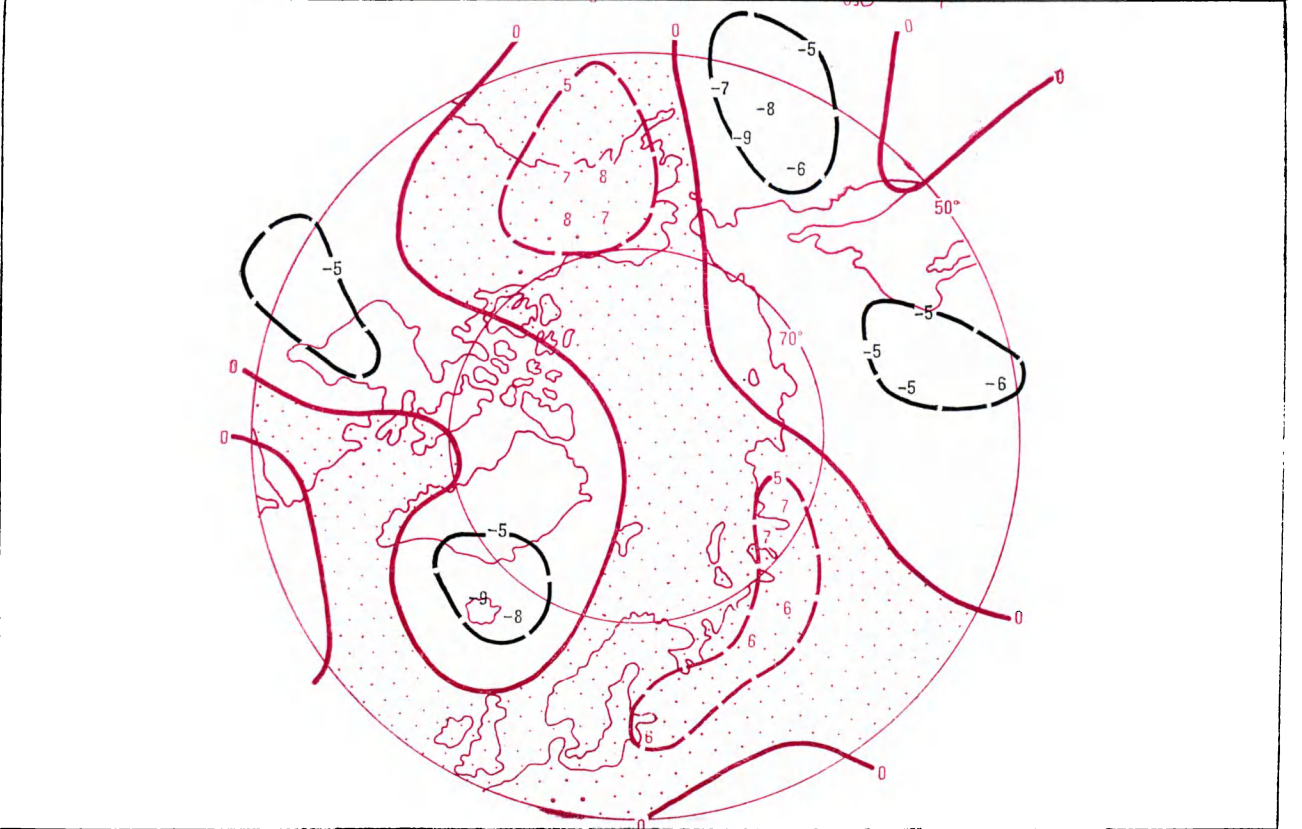
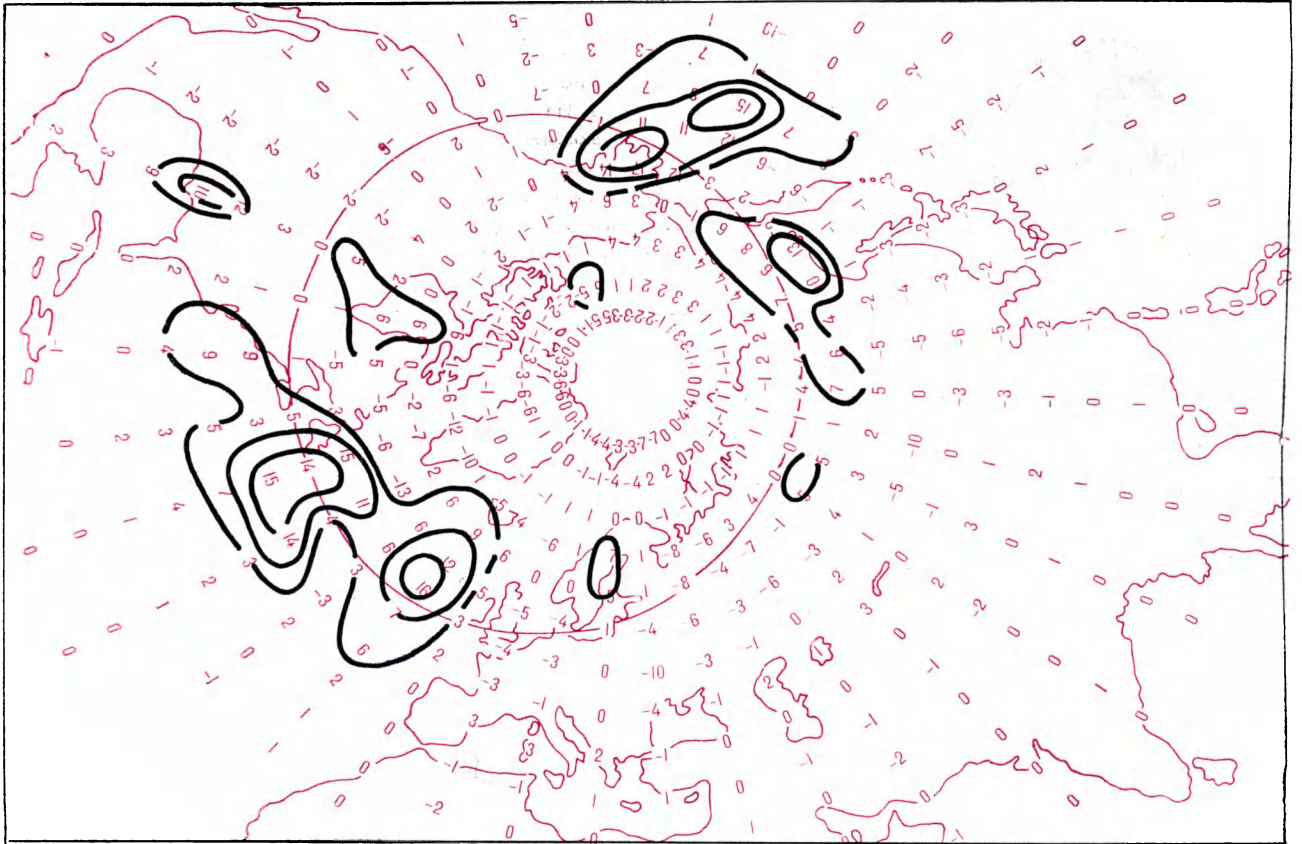
Методы математической статистики позволяют оценить степень надежности полученных результатов. Рассмотрим, например, среднюю кривую нормированной дисперсии суточных разностей давления, построенную для 114 сильных геомагнитных возмущений в «теплое полугодие». Значения дисперсий, снятые с этой кривой, не должны существенно отличаться от единицы, если солнечные корпускулярные потоки не воздействуют на тропосферу. (Именно так и ведет себя кривая дисперсии в периоды низкой геомагнитной активности.) Однако на второй день после сильного геомагнитного возмущения кривая дисперсии имеет максимум, отклонение которого от единицы превосходит среднюю квадратическую ошибку оценки дисперсии в 4 раза. Вероятность случайного происхождения такого максимума на первый — пятый день после геомагнитного возмущения составляет менее 0,1%. Таким образом, с достоверностью больше 0,999 можно утверждать, что после сильных геомагнитных возмущений нестабильность атмосферы увеличивается. Следует добавить, что и для спорадических возмущений «зи-



Ход геомагнитной активности и средней нормированной дисперсии суточных разностей приземного давления для периодов низкой геомагнитной активности «весной». При построении кривых использовалось 109 независимых моментов. Отклонения нормированной дисперсии суточных разностей давления от единицы не превосходят средней квадратической ошибки и носят случайный характер

Карта разности средних распределений дисперсий для четвертого дня после геомагнитного момента и самого геомагнитного момента «зимой» (использовалось 41 спорадическое возмущение, наблюдавшееся с середины ноября до середины февраля). За единицу дисперсии принято 5 мбар². Нестабильность атмосферы увеличивается в основном на границах суша — океан (эти районы обведены жирной линией)

Карта изоллобар — линий одинаковой разности давления — для спорадических возмущений «зимой». Из распределения давления для третьего дня после геомагнитного момента вычиталось распределение давления для геомагнитного момента. Точечной штриховкой выделены области высокого давления, цифры соответствуют разности давления в миллибарах. В Исландской и Алеутской депрессиях давление понижается после прихода солнечных корпускулярных потоков





мой», а также для сильных геомагнитных возмущений в «холодное полугодие» обнаружен аналогичный и притом статистически значимый эффект повышения дисперсии. С учетом этих случаев достоверность эффекта увеличивается до 0,99 999. Реальность возрастания неустойчивости атмосферы после сильных геомагнитных возмущений не вызывает сомнения.

ДАВЛЕНИЕ И КОРПУСКУЛЯРНЫЕ ПОТОКИ

Статистическое доказательство реальности солнечно-атмосферных связей — это только одна сторона проблемы. Не менее важно изучить условия возникновения и развитие атмосферных возмущений, которые стимулируются солнечной активностью, и их распределение по земной поверхности после вхождения Земли в солнечный корпускулярный поток. Мы можем предвидеть, где такие атмосферные возмущения должны быть наиболее сильными. Известно, что энергия, которая под влиянием солнечных корпускулярных потоков поступает в тропосферу из магнитосферы, на несколько порядков меньше энергии наиболее характерных процессов в тропосфере. Поэтому в последнее время большинство исследователей считает, что воздействие солнечных корпускулярных потоков играет роль «спускового» механизма. Оно лишь нарушает устойчивость атмосферы там, где эта устойчивость особенно низкая, а дальнейшее развитие атмосферных процессов обусловлено тепловой энергией самой атмосферы.

В зимний период времени в северном полушарии Земли атмосфера наиболее неустойчива на границах очень холодных континентов и довольно теплого океана. На западе — это области, располагающиеся около Скандинавии и северо-восточного побережья Северной Америки, а на востоке — область между Азией и Северной Америкой (широты 50—60°). Именно здесь и нужно ожидать существенного роста дисперсии суточных разностей давления после прихода солнечных корпускулярных потоков. Проверить эти предположения можно, построив карту разности средних распределений дисперсий для четвертого дня после геомагнитного момента и самого геомагнитного момента (напомним, что «зимой» максимальное значение средней по параллели дисперсии наблюдается на четвертый день после прихода корпускулярных потоков). И действительно, на такой карте видно, что самые большие разности средних распределений дисперсии соответствуют в основном границе океан — суша. Интересно отметить, что распределение возмущений по земной поверхности следует скорее геомагнитным параллелям, а не географическим, и это не удивительно, так как вторжение солнечных корпускулярных потоков контролируется геомагнитным полем.

В синоптической метеорологии большую роль играют карты, отражающие изменения распределения давления по земной поверхности — карты изаллобар, показывающие разницу в распределении давления для двух определенных моментов времени. В качестве первого нами использовался геомагнитный момент, когда влияние на тропосферу солнечных корпускул, пришедших к Земле, еще невелико. Выбрав это распределение давления за исходное, вычитаем его из распределения давления для того дня, которым интересуемся. Затем строим карту изаллобар — линий, связывающих точки с одинаковым значением разности давлений.

Рассмотрим одну из таких карт для спорадических возмущений «зимой». Напомним, что среднее многолетнее распределение атмосферного давления на поверхности северного полу-

шария Земли «зимой» характеризуется двумя океаническими минимумами (депрессиями). Одна из депрессий — Исландская — располагается обычно у южной оконечности Гренландии, другая — Алеутская — в районе Алеутских островов. На карте видно, что попадание Земли в солнечный корпускулярный поток сопровождается (в среднем) углублением обеих депрессий. Кроме того, на картах изаллобар, построенных для нескольких дней, можно проследить, например, как депрессия перемещается после геомагнитного момента с юга Гренландии на восток через Исландию. Именно вдоль этой траектории чаще всего распространяются циклоны, которые возникают вблизи Гренландии и движутся затем на восток. Аналогичная карта изаллобар получается и для рекуррентных возмущений «зимой». Таким образом, создается впечатление, что попадание Земли в солнечный корпускулярный поток сопровождается **усилением циклоногенеза на границах океанов и материков.**

Анализ карт изаллобар носит пока лишь качественный характер. Обнаружена тенденция в распределении разностей давления, но не ясно, насколько достоверна та или иная деталь в распределении этих разностей. Словом, нужно дополнить анализ количественными характеристиками, точность которых была бы известной. Одной из таких характеристик может служить среднее атмосферное давление в поясе широт 55—75°. Авторы статьи выявили статистически значимое понижение среднего давления в этом поясе в среднем на 2 мбар во время сильных спорадических возмущений «зимой». Такое понижение давления в умеренных широтах указывает на усиление зональной составляющей циркуляции атмосферы. И действительно, расчеты зональной составляющей циркуляции атмосферы подтверждают этот вывод. Если эффект понижения среднего давления в период повышенной геомагнитной активности реален, то при низкой активности должен наблюдаться обратный эффект — рост среднего давления до некоторого предельного значения. И такое повышение дав-



Кандидат физико-математических наук
Ю. И. ВИТИНСКИЙ

Загадка XVII столетия

Все мы привыкли считать наиболее надежно установленной особенностью изменчивости Солнца 11-летний цикл солнечной активности. Именно его объяснение на протяжении более чем ста лет занимает внимание исследователей нашего дневного светила. Само же существование 11-летнего цикла ни у кого не вызывало сомнений, по крайней мере, последние пятьдесят лет.

В 1976 году в журнале «Science» появилась статья доктора Д. Эдди (США), в которой он утверждал, что 11-летний цикл «не действовал» в течение 1645—1715 годов или же вообще начал «действовать» только с XVIII столетия. Это утверждение вызвало самую противоречивую реакцию ученых, интересующихся солнечной активностью. Многие из них (особенно геофизики и астрофизики-теоретики) сразу же приняли его как истину, другие привели ряд веских доводов против, третьи просто решили не думать о том, что было с Солнцем до XVIII столетия, поскольку надежных регулярных наблюдений солнечных пятен в те времена все

«Забавный фокусник»—Солнце продемонстрировало один из первых своих фокусов в средние века. С 1645 по 1715 год, как обратили внимание Г. Шпёер в 1887 году и Е. Маундер в 1890 году, на Солнце почти не было видно пятен. Чем был вызван такой глубокий минимум солнечной активности!

равно не было. Так или иначе «маундеровский минимум» (так назвал период 1645—1715 годов Д. Эдди) оказался сенсацией второй половины 70-х годов нашего века.

Попробуем разобраться, что представлял собой «маундеровский минимум» и насколько основательно утверждение Д. Эдди о недолговечности или прерывистости действия 11-летнего цикла.

ИСЧЕЗАЛ ЛИ 11-ЛЕТНИЙ ЦИКЛ?

Уровень солнечной активности во второй половине XVII столетия был

исключительно низким. Отмечались только отдельные «всплески» активности, соответствующие числам Вольфа 3—18. Эти «всплески» были разделены интервалами времени в 4—9 лет, когда не наблюдалось ни единого солнечного пятна. Согласно имеющимся историческим сведениям, за все 70 лет «маундеровского минимума» зарегистрировано солнечных пятен меньше, чем за один год минимальной солнечной активности в современную эпоху. Насколько можно доверять этим данным?

Д. Эдди говорит, что он мог ошибиться в определении самых низких значений чисел Вольфа в 2—3 раза. В действительности же все его оценки могли быть занижены гораздо сильнее. Ведь если проанализировать материалы, которые он использовал, то оказывается, что наблюдения Солнца в XVII столетии длились не более 140—180 дней в году. Кроме того, профессор В. Глайсберг (ФРГ) привел дополнительные свидетельства, согласно которым даже в то время отдельные пятна наблюдались больше месяца, то есть были не такими

ления (примерно на 2 мбар) зарегистрировано.

Итак, можно представить, как ведет себя тропосфера после вхождения Земли в сильный солнечный корпускулярный поток. Есть основания считать, что вторжение корпускулярного потока в магнитосферу сопровождается заметным усилением неустойчивости приземной атмосферы в опре-

деленных, чаще всего океанических областях, особенно вблизи границы океан — суша. «Зимой» во время спорадических геомагнитных возмущений зональная циркуляция атмосферы усиливается. Напротив, геомагнитно-спокойные периоды «зимой» характеризуются пониженным уровнем зональной циркуляции. Возможно, падение Земли в солнечный корпу-

скулярный поток сопровождается усилением циклоногенеза.

После того, как доказана статистическая реальность солнечно-тропосферных связей, предстоит еще большая работа по количественному анализу этих связей и исследованию физических процессов, их объясняющих.

уж маленькими. И тем не менее уровень солнечной активности во второй половине XVII столетия, даже с учетом всех этих оговорок, представляется нам очень низким.

Но может ли это служить основанием для утверждения, что 11-летнего цикла во второй половине XVII столетия (а может быть, и раньше) совсем не было? Какими бы данными мы ни воспользовались, Р. Вольфа или Д. Эдди, все равно в течение «маундеровского минимума» наибольшие значения чисел Вольфа (хотя и исключительно низкие) разделены в среднем интервалами в 11 лет. Значит, 11-летний цикл и тогда не исчезал, просто форма его оказалась для нас непривычной: он был как бы «затоплен», по выражению Е. Маундера.

Конечно, если бы мы не располагали другими дополнительными (хотя и косвенными) сведениями, данные о солнечных пятнах не позволили бы противопоставить что-либо стоящее высказыванию Д. Эдди о том, что по современной эпохе нельзя судить о Солнце в далеком прошлом. К счастью, солнечная активность тесно связана с таким впечатляющим явлением в верхней атмосфере Земли, как полярные сияния. В отличие от солнечных пятен, которые в XVII столетии наблюдали в телескоп немногим более десятка астрономов Западной Европы, полярные сияния доступны взору каждого любознательного человека. Поэтому хроника полярных сияний и в Европе и в Азии имеется за две с лишним тысячи лет.

Использованные Д. Эдди материалы о полярных сияниях были недостаточно полными и, следовательно, не могли ничего сказать ни за, ни против его точки зрения (хотя сам он считал, что они подтверждают ее). Более полные списки полярных сияний, с учетом их регистраций в Японии, которыми воспользовался доктор Ф. Линк (Франция), красноречиво показали, что и в XVII столетии 11-летний цикл четко обнаруживался в численности полярных сияний, а значит, и в относительном числе солнечных пятен. Правда, полярных сияний тогда действительно наблюдалось меньше, чем в XVI и XVIII столетиях.

Есть еще одно весомое свидетельство в пользу действия 11-летнего цикла солнечной активности до «маундеровского минимума». Это — характер изменения со временем числа комет, видимых невооруженным глазом. Как показал известный советский астрофизик О. В. Добровольский, яркость комет увеличивается с ростом уровня солнечной активности. Поэтому вблизи максимума 11-летнего цикла их можно видеть невооруженным глазом чаще, чем в эпоху минимума. Именно такую картину обнаружила сотрудница Пулковской обсерватории К. А. Кандаурова, исследовав наиболее полные данные о появлении комет до нашей эры и вплоть до начала XVII столетия. Правда, нельзя быть уверенным в том, что после изобретения телескопа в эти данные не попали и кометы, обнаруженные более эффективным, чем глаз, средством наблюдения. Но даже если это так, все равно 11-летний цикл солнечной активности постоянно прослеживается в течение, по крайней мере, шестнадцати столетий до «маундеровского минимума».

Известно, что явления в биосфере Земли — такие, как иловые отложения озер, — тесно связаны с солнечной активностью. Советский исследователь В. Б. Шостакович установил, что за последние две с лишним тысячи лет 11-летний цикл устойчиво отмечался в изменениях со временем иловых отложений озер.

Итак, ни прямые, ни косвенные данные не позволяют утверждать, что 11-летний цикл солнечной активности исчезал, во всяком случае последние 2000 лет.

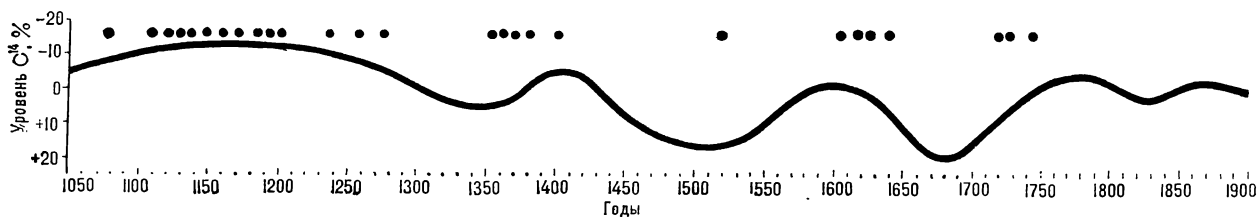
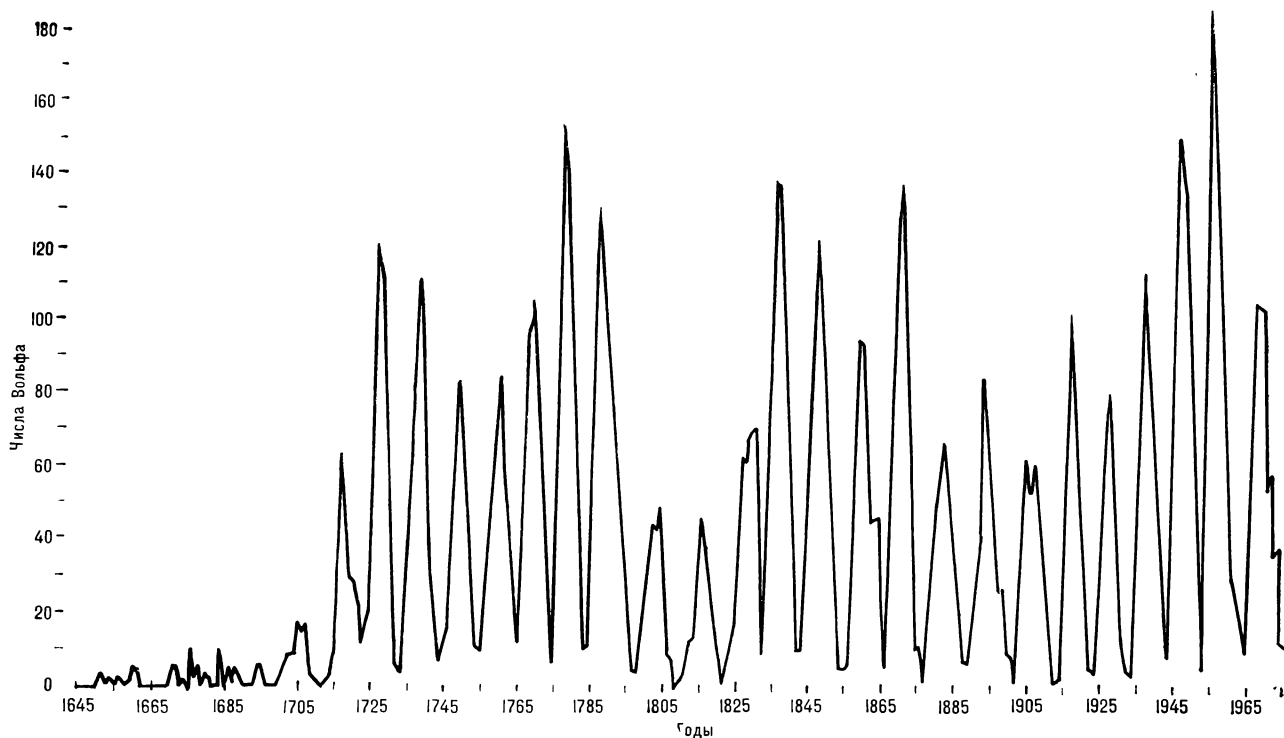
ПРЕРЫВАЛОСЬ ЛИ ДЕЙСТВИЕ 11-ЛЕТНЕГО ЦИКЛА?

Основной довод Д. Эдди против постоянного действия 11-летнего солнечного цикла — данные об изменении со временем уровня радиоуглерода C^{14} в годовых кольцах деревьев и числа групп солнечных пятен, видимых невооруженным глазом. Радиоуглерода в годовых кольцах деревьев обычно тем меньше, чем выше уровень солнечной активности. Количество радиоуглерода надежно опре-

деляется только путем усреднения за 3—5 лет, а числа групп пятен, видимых невооруженным глазом, как правило, не отображают 11-летнего цикла. Поэтому обе эти характеристики непригодны для выделения 11-летнего цикла солнечной активности. Зато они лучше всего выявляют 80—90-летний и более длинные циклы. Здесь уместно напомнить, что еще в 40-е годы нашего века 600-летний (или 900-летний) цикл солнечных пятен почти одновременно обнаружили советский исследователь Солнца Б. М. Рубашев и профессор В. Глайсберг (ФРГ): первый — по данным о кометах, видимых невооруженным глазом, второй — из экстраполяции кривой чисел Вольфа. В дальнейшем этот цикл солнечных пятен был выделен английским ученым Д. Шове. Примерно в те же годы Ф. Линк доказывал реальность существования 400-летнего цикла солнечной активности.

Но предположим вместе с Д. Эдди, что 11-летний цикл, действительно, появился сравнительно недавно. Как это могло сказаться на внутренних слоях Солнца? Д. Эдди попытался ответить на этот вопрос, исходя из современных представлений о механизме солнечной активности, согласно которым, энергия солнечного цикла черпается из энергии дифференциального вращения Солнца. Он воспользовался зарисовками солнечных пятен, выполненными Я. Гевелием в 1642—1644 годах (то есть перед началом «маундеровского минимума»), для изучения закона дифференциального вращения Солнца и сравнил его с данными о вращении Солнца в 1905—1954 годах. Д. Эдди пришел к выводу, что на экваторе Солнца угловая скорость вращения в середине XVII столетия была существенно выше, чем в наше время, тогда как на расстояниях от ± 20 до $\pm 25^\circ$ она оставалась практически одной и той же. Это, по его мнению, явилось причиной резкой перестройки характера изменений со временем солнечной активности в начале XVIII столетия.

Такое заключение, безусловно, результат слишком грубого анализа. Действительно, Д. Эдди сравнил данные своих определений угловой скорости вращения Солнца с аналогич-



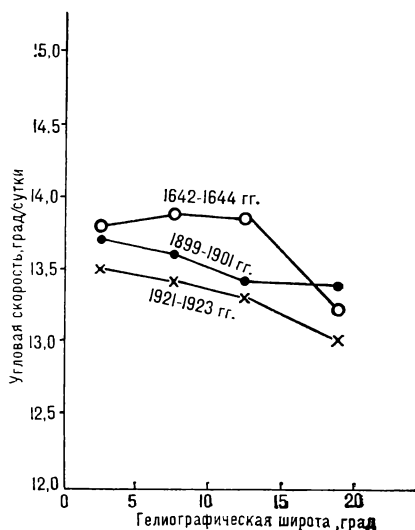
ными данными, усредненными за 50 лет (1905—1954 годы), в течение которых максимальное число Вольфа колебалось от 64 до 152. Подобное сопоставление не могло не затушевать истинной картины, даже если считать, что точность определения координат солнечных пятен по зарисовкам Гевелия и гриничским снимкам Солнца одинакова (что заведомо неверно). Естественно было сравнить данные об угловой скорости вращения Солнца за 1642—1644 годы с аналогичными данными за годы, которые предшествовали эпохам минимума

■ *Изменение среднегодовых значений чисел Вольфа с 1645 по 1976 год. (Данные за 1645—1715 годы взяты из статьи Д. Эдди, за 1716—1976 — из работ М. Вальдмайера)*

■ *Изменение уровня радиоуглерода C^{14} в годовых кольцах деревьев (сплошная кривая) за 1050—1900 годы. Точками отмечено появление групп солнечных пятен, видимых невооруженным глазом в 1050—1740 годах. (Данные получены Д. Эдди)*

11-летних циклов солнечной активности, имевшим разную амплитуду максимумов. И тогда нетрудно будет убедиться, что закон вращения Солнца в 1642—1644 и 1889—1901 годах был одинаков (в пределах ошибок наблюдений), но существенно отличался в 1921—1923 годах. Значит, изменение закона вращения Солнца перед «маундеровским минимумом» вряд ли было внезапным, скорее, оно происходило постепенно с изменением уровня солнечной активности.

Если закон вращения Солнца получают, определяя координаты сол-



нечных пятен, всегда надо иметь в виду, что в этом случае принципиально невозможно исключить из скорости вращения крупномасштабные движения видимой солнечной поверхности. Постепенное снижение угловой экваториальной скорости вращения Солнца по мере подъема солнечной активности естественнее объяснить уменьшением величины таких крупномасштабных движений.

Итак, мы снова пришли к заключению, что нет веских оснований для того, чтобы сомневаться в устойчивости 11-летнего цикла солнечной активности.

ПРИЧИНА

«МАУНДЕРОВСКОГО МИНИМУМА»

Почему же все-таки в течение почти 70 лет 11-летний цикл проявлялся в столь необычной форме, а 80—90-летний цикл по своим особенностям тоже отличался от циклов других столетий? Ответ на этот вопрос можно получить, если учесть возможность взаимодействия 600-летнего

(или 400-летнего) с 80—90-летним циклом солнечной активности. Такая точка зрения выдвинута независимо Ф. Линком, В. Глайсбергом и автором статьи. Действительно, если существует очень длинный (600-летний или 400-летний) цикл, то вблизи эпохи его минимума может быть существенно искажена форма кривой 80—90-летнего цикла: он заметно подавляется, а максимум его сдвигается на более позднее время. Если солнечная активность снижается, следовательно, уменьшаются и амплитуды максимумов 11-летних циклов. Именно такая картина и наблюдалась в XVII столетии.

Если приведенное здесь объяснение «маундеровского минимума» верно, то не требуется никаких катаклизмов солнечной цикличности, которые должны были бы вызвать неизбежные катастрофические последствия на Земле. Тем более, что ничего подобного, насколько известно, не наблюдалось.

Интересно, что нынешняя эпоха по характеру развития солнечной активности выглядит как своеобразный антипод «маундеровского минимума». Уже почти 50 лет отмечаются только высокие 11-летние циклы с максимальным числом Вольфа больше 100. Девятнадцатый цикл с максимумом в конце 1957 года имел экстраординарную высоту за все время телескопических наблюдений, а текущий, который начался в 1976 году, судя по его нынешнему развитию, тоже будет весьма высоким. Во всяком случае, в 1979 году среднемесячные числа Вольфа в основном были выше 120. Эпоха максимума этого цикла ожидается в начале 1980 года. Учитывая, что наше время отстоит от «маундеровского минимума» примерно на 300 лет, этот факт мог бы служить подтверждением приведенного здесь объяснения природы низкого уровня солнечной активности в XVII столетии, если только 11-летние циклы в XXI столетии не окажутся еще более высокими.

Кандидат физико-математических наук
М. А. ЛИВШИЦ

Солнце и межпланетное

Ранее считалось, что магнитные поля в межпланетном пространстве так же, как и в солнечной атмосфере, сосредоточены в многочисленных отдельных трубках. Сейчас стало ясно, что межпланетное пространство заполнено магнитным полем одной полярности в северной полусфере и другой — в южной. Это поле служит своеобразным продолжением дипольного поля Солнца.

МЕЖПЛАНЕТНАЯ СРЕДА

В самом конце 50-х и начале 60-х годов приборы советских автоматических станций «Луна-2, -3» и «Венера-1», американских космических аппаратов «Эксплорер-10» и «Маринер-2» обнаружили в межпланетном пространстве непрерывный поток протонов, электронов и α -частиц. Поток обтекает Землю со сверхзвуковыми скоростями 400—800 км/с, его плотность около пяти протонов в 1 см^3 («Земля и Вселенная», 1970, № 4, с. 12—15.—Ред.).

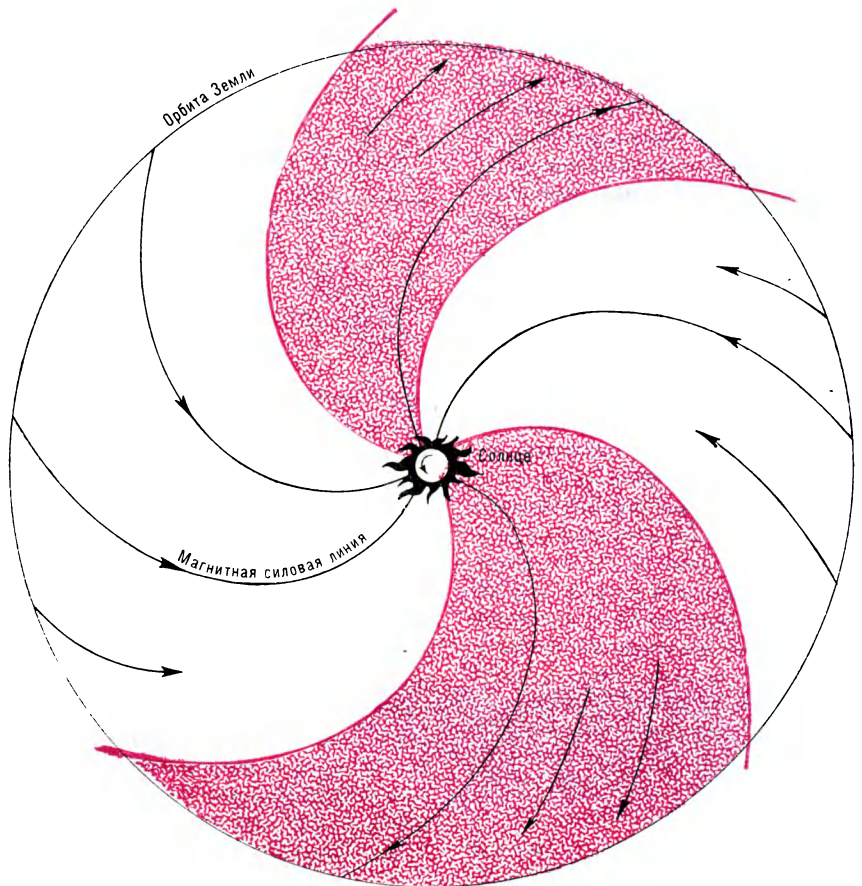
В течение всего 20-го солнечного цикла (с 1964 по 1976 год) велись непрерывные наблюдения параметров солнечного ветра. При высоком уровне солнечной активности хаос в межпланетном пространстве возрастал, от больших солнечных вспышек эпизодически распространялись ударные волны, появлялись потоки ускоренных частиц. Но, что удивительно, физическое состояние межпланетной среды — плотность, температура истекающего газа и его скорость — оставалось в первом приближении неизменным.

Кривые изменения угловой скорости вращения Солнца в середине XVII столетия, в конце XIX и начале XX веков. (Данные заимствованы из работ Д. Эдди и автора статьи)

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Эта неизменность свойств межпланетной среды связана с тем, что все измерения проводились вблизи плоскости эклиптики. Напомним, что угол наклона плоскости эклиптики к плоскости солнечного экватора составляет всего $7^{\circ}15'$. Изменения во внешней солнечной атмосфере на экваторе не слишком велики. Так, например, по рентгеновским данным, полученным спутником «Космос-166», температура короны над экватором $2 \cdot 10^6$ К сохраняется от максимума до минимума солнечной активности. Это постоянство условий в области истечения, расположенной в трех солнечных радиусах от поверхности в экваториальных широтах, приводит к тому, что свойства межпланетного пространства на низких гелиоширотах практически не изменяются. Более того, наблюдаемые небольшие количественные изменения усредненных параметров солнечного ветра в 11-летнем цикле связывают в настоящее время с проникновением к плоскости эклиптики потоков с высоких гелиоширот.

Выводы из космических экспериментов, проводившихся в плоскости эклиптики, сразу начали распространять на все трехмерное межпланетное пространство. Правда, предположение о том, что свойства солнечного ветра не очень сильно изменяются с переходом от низких к высоким гелиоширотам, по-видимому, приемлемо. Конечно, сами значения физических параметров ветра могут быть несколько различными в экваториальной и полярной областях. Например, оспаривается мнение о том, что скорость солнечного ветра увеличена примерно в 2 раза над полюсами в периоды низ-



кой активности. Наше утверждение о неизменности свойств ветра касается только качественной стороны вопроса.

В ходе космических исследований в межпланетном пространстве были зарегистрированы магнитные поля. В течение того же 20-го цикла солнечной активности эти межпланетные магнитные поля (ММП) регулярно измерялись близ плоскости эклиптики. Величина поля менялась в зависимости от уровня солнечной активности примерно в 10 раз — от 10^{-5} до 10^{-4} Э. Появление этого поля объяснялось тем, что ветер выносит солнечные

магнитные поля в межпланетное пространство.

Солнечный ветер формируется в высокотемпературной солнечной короне. Около Солнца энергия магнитного поля превосходит кинетическую энергию частиц. При удалении от Солнца кинетическая энергия частиц начинает преобладать над энергией магнитного поля и ветер уносит солнечные поля далеко в межпланетное пространство. Из-за «вмороженности» магнитного поля в плазму все частицы ветра, выходящие из одного и того же места на Солнце, оказываются связанными друг с другом. Происходит как бы материализация каждой силовой линии магнитного поля, которую можно уподобить упругой нити. Вращением Солнца эти упругие нити — силовые линии поля — закручиваются в спираль Архимеда.

В плоскости эклиптики азимутальная

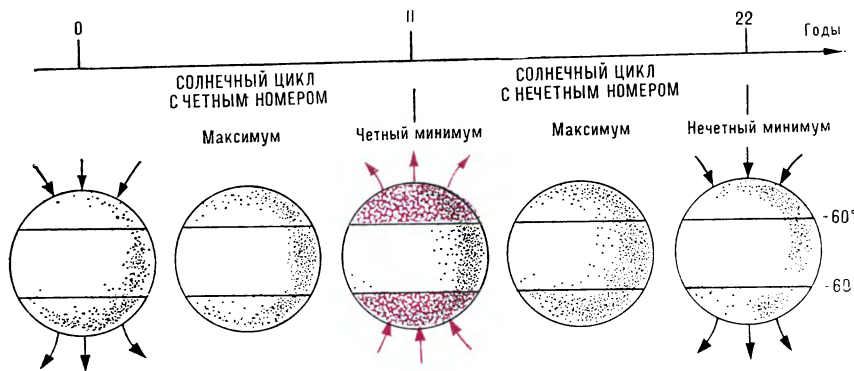
■ *Направление межпланетного магнитного поля в плоскости эклиптики. Выделены границы секторов. Число секторов изменяется от двух до шести в зависимости от фазы цикла*

компонента ММП действительно следует спирали Архимеда, поле имеет **секторную структуру**: оно направлено то все время от Солнца, то все время к Солнцу. За исключением периодов максимумов солнечной активности, всегда наблюдаются долготные интервалы протяженностью от 180 до 60° с одинаковым направлением азимутальной компоненты ММП (2—6 секторов за полный оборот Солнца 360°). Перпендикулярная к плоскости эклиптики компонента поля мала по величине и сильно изменчива.

В некоторые моменты наблюдений величина поля в плоскости эклиптики возрастала, направление вектора поля сильно и нерегулярно изменялось. Это связывали с тем, что космический аппарат пересекает сгущения — трубки силовых линий. Предполагалось, что трубка вынесена из активной области Солнца, удаленной на некоторое расстояние от экватора. Но вследствие того, что трубка несколько отклонена от строго радиального направления, она пересекает экваториальную плоскость (и близкую к ней плоскость эклиптики) и регистрируется приборами космического аппарата.

Из Солнца выходит достаточно большое число трубок магнитных силовых линий. (Некоторым читателям, вероятно, знакомо изображение силовых линий в солнечной короне, напоминающее ежа.) Считали, что каждая трубка силовых линий простирается на десятки астрономических единиц. А значит, поле на сфере радиусом до 10 а. е. должно быть подобно полю на солнечной поверхности. Вот так получилось, что факт, следующий из наблюдений в плоскости эклиптики и, по-видимому, не до конца верно понятый, был обобщен на все трехмерное пространство.

В рамках имевшихся представлений объяснение секторной структуры ММП было простым: поскольку знак поля внутри сектора вполне определенный, значит, и на поверхности Солнца близ экватора существуют слабые магнитные поля того же знака. И удивительным, серьезно замедлившим решение вопроса о характере ММП оказалось обнаружение на поверхности Солнца крупномасштаб-



ного распределения полей, соответствующего секторной структуре. Заметим, что при этом учитывался долготный сдвиг: частицы ветра путешествуют от Солнца до Земли 4,5 суток, а Солнце вращается.

Постепенно в солнечно-земной физике появились косвенные свидетельства неблагоприятия в понимании трехмерной структуры ММП. Шведский ученый Г. Альвен высказал гипотезу, изменявшую представления о крупномасштабной структуре ММП. Эта гипотеза не следовала из магнитной гидродинамики, создателем которой он был, и долгое время не получила признания.

ГИПОТЕЗА О РЕГУЛЯРНОМ ПОЛЕ

Рассмотрим эллипсоид с полуосями в плоскости солнечного экватора, равными 30 а. е., и примерно вдвое меньшей полуосью в перпендикулярном направлении. Предположим, что находящаяся в центре звезда обладает магнитным полем дипольного типа, причем магнитная ось близка к оси вращения звезды. Будем считать также, что поле выносится наружу сферически симметричным потоком плазмы. В этом случае северная полуфера межпланетного пространства оказывается заполненной полем одного знака, южная — другого. Такое **регулярное** распределение полей сохраняется в течение ряда лет. Плоскость, пересекающая Солнце по экватору, разделяет области противоположно направленных полей. Магнитное поле на самой плоскости исчезает, но близ нее в перпендикуляр-

ном направлении изменяется весьма сильно. В соответствии с законами электромагнетизма по самой плоскости течет ток, перпендикулярный силовым линиям регулярного поля над и под плоскостью.

Суть предположения Г. Альвена состояла в том, что вместо хаоса отдельных трубок силовых линий в межпланетном пространстве из-за вытягивания солнечным ветром дипольного магнитного поля возникает характерная **крупномасштабная структура**. Она сохраняется в течение ряда лет, медленно эволюционируя. Изменения вызваны главным образом вариациями напряженности и структуры полей на Солнце.

Наблюдаемые в солнечной фотосфере магнитные поля весьма сложны. Однако над фотосферой, как всегда бывает при удалении от источников, структура поля упрощается, и на поверхности, расположенной примерно в одном солнечном радиусе от фотосферы, остаются большие области квазиоднородного поля. На полярных шапках начинает преобладать поле определенного знака. В различных полушариях знак поля различен и картина качественно близка полю диполя. Неудивительно поэтому, что термин «дипольное поле» Солнцу широко применяется.

Длительные наблюдения в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР, в обсерваториях Маунт Вилсон и Стенфорд (США) показали, что

Направление крупномасштабного магнитного поля в полярных шапках Солнца. Поля максимальны близ полюсов и резко уменьшаются к широтам 50–60°

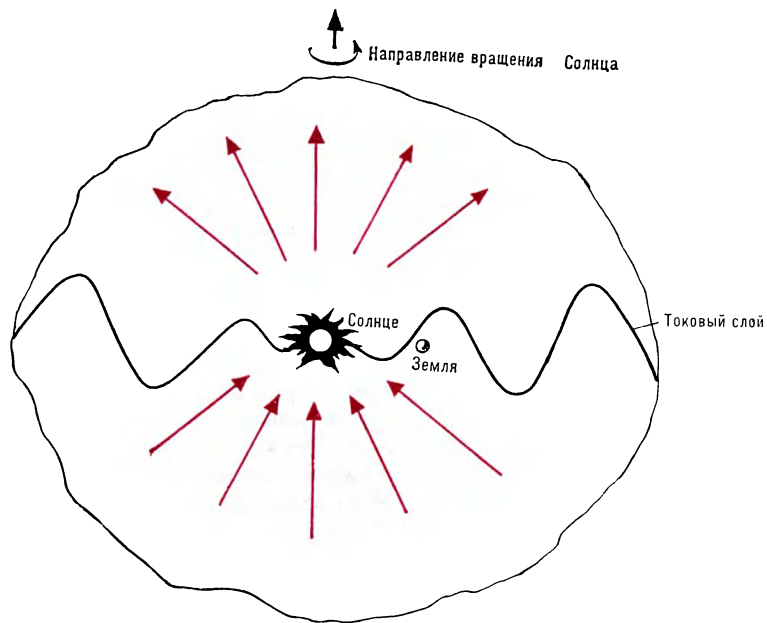
полярное поле Солнца изменяется с периодом 22 года. В минимуме солнечной активности крупномасштабное поле достигает максимальной абсолютной величины 1 Э у полюсов, в максимуме оно исчезает, а в последующем минимуме 11-летнего цикла поля возникают снова, но уже другой полярности. Смена полярности поля наблюдалась в конце 1957 года и в 1970—1971 годах. В конце 11-летних солнечных циклов с четным номером поле направлено от Солнца в северной полусфере и к Солнцу — в южной. Этот период времени будем в дальнейшем называть **четным минимумом** в отличие от **нечетного минимума**, отстоящего от него на 11 лет и характеризующегося противоположным направлением полей солнечного «диполя».

Итак, близ минимума активности северная полусфера межпланетного пространства оказывается заполненной регулярным полем одного знака, южная — другого. Регулярное поле существует несколько лет. В следующий минимум направления полей противоположны.

Гипотеза Альвена снимала ряд трудностей в различных вопросах солнечно-земной физики. Мы остановимся только на новом объяснении секторной структуры ММП. Токовый слой плоский лишь в периоды наиболее спокойного Солнца. И в иные моменты на низких широтах на поверхности Солнца присутствуют магнитные поля, особенно сильные в активных областях. Влияние этих полей приводит к тому, что слой из плоского превращается в гофрированный. За период одного солнечного оборота Земля (или космический аппарат) оказывается то над токовым слоем, то под ним, что и наблюдается как секторная структура ММП.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВА СУЩЕСТВОВАНИЯ РЕГУЛЯРНОГО ММП

Разумеется, в наш космический век для проверки изложенной выше гипотезы естественнее всего послать космический корабль в высокие геошироты и магнитометром измерить все компоненты вектора поля. Это необходимо сделать, дождавшись



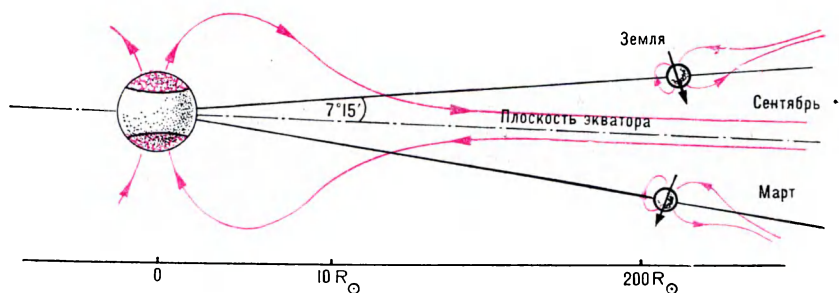
■ *Меридиональный разрез магнитного поля межпланетного пространства близ четного минимума (согласно гипотезе Г. Альвена). При вращении Солнца Земля оказывается то над токовым слоем, то под ним. Это объясняет появление секторной структуры. Ток по поверхности раздела течет перпендикулярно силовым линиям*

■ *Пространственная структура токового слоя. Вокруг Солнца показаны планеты от Меркурия до Юпитера*

глубокого минимума солнечной активности, и повторить эксперимент через 11 лет. На пути экспериментальной проверки гипотезы встречаются трудности, связанные с тем, что вывод корабля за пределы плоскости эклиптики требует затраты большой энергии. Один эксперимент к настоящему времени уже проведен. В феврале 1976 года космический аппарат «Пионер-11», используя гравитационное поле Юпитера, смог подняться к северу от экваториальной плоскости на широту 16° . И если близ экватора наблюдалась секторная структура поля, то на широте 16° секторы исчезли в феврале 1976 года (эпоха минимума) и было зарегистрировано регулярное поле. Его знак соответствовал полю в той же (северной) полярной шапке Солнца, то есть поле было направлено от Солнца.

Сейчас Солнце переживает максимум активности, происходит очередная смена знака полярности дипольного поля Солнца, и, конечно, представили бы большой интерес запуски космических аппаратов к полюсам Солнца.

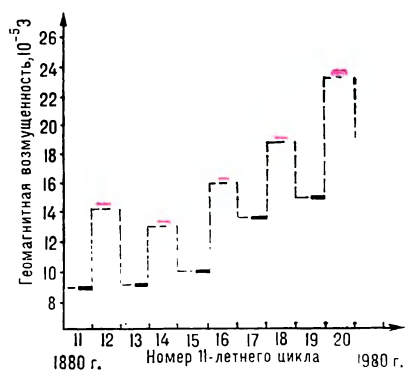
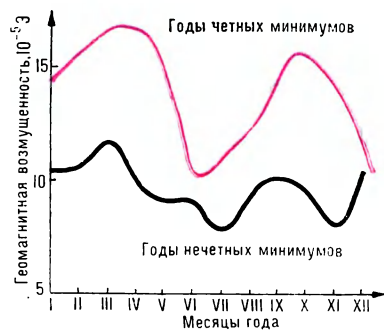
Регулярное ММП изучали косвенным методом сотрудники Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР Т. Е. Вальчук, Я. И. Фельдштейн и автор статьи. Геомагнитное поле можно уподобить «рамке», вносимой исследователем во внешнее поле для его измерения. Разумеется, уподобляя геомагнитное поле рамке, мы не вольны устанавливать рамку перпендикулярно силовым линиям внешнего поля, менять ток в рамке. Кроме того, этот своеобразный зонд погружается только на $\pm 7^\circ$ в регулярное поле. Согласно расчетам, в периоды четных минимумов попадание Земли в регулярное ММП должно сопровождаться повышением уровня геомагнитной возмущенности. (Эффект связан с характером изменения угла наклона геомагнитного диполя по отношению к вектору внешнего поля. В период четного минимума появляется проекция внешнего поля на направление геомагнитного диполя, способствующая передаче энергии от солнечного ветра к магнитосфере Земли. В нечетные минимумы из-за



другого направления регулярного поля эффект должен быть мал.)

Для обнаружения этого эффекта мы использовали однородный ряд геомагнитного индекса, введенного недавно французским ученым П. Майо. Этот индекс представляет собой амплитуду изменения геомагнитного поля на двух старейших обсерваториях — в Гриниче (Англия) и в Мельбурне (Австралия), расположенных почти симметрично относительно центра Земли. Благодаря такому расположению обсерваторий на значениях геомагнитного индекса менее всего сказывается воздействие локальных явлений в земной магнитосфере.

Для всех минимумов циклов солнечной активности, начиная с 11-го и кончая 20-м, был использован этот индекс геомагнитной возмущенности. Рассмотрение среднемесячных значений показало, что в марте и сентябре, при удалении Земли от экваториальной плоскости, геомагнитная активность выше, чем зимой и летом. «Глубина модуляции» сезонного хода гораздо больше в периоды четных минимумов, чем нечетных. Для нескольких последних циклов солнечной активности эти косвенные данные можно было сравнить с прямыми данными о направлении ММП (или с секторной структурой). Оказалось, что геомагнитная активность увеличивается именно в те месяцы, когда на протяжении практически всего



Уровень возмущенности геомагнитного поля (индекс Майо) в зависимости от расстояния Земли до токового слоя

Расположение Земли и ее магнитосферы относительно токового слоя, совпадающего с плоскостью экватора, в разные сезоны года. Схема дана для периода четного минимума

Уровень геомагнитной возмущенности при переходе от четного к нечетному минимуму резко изменяется

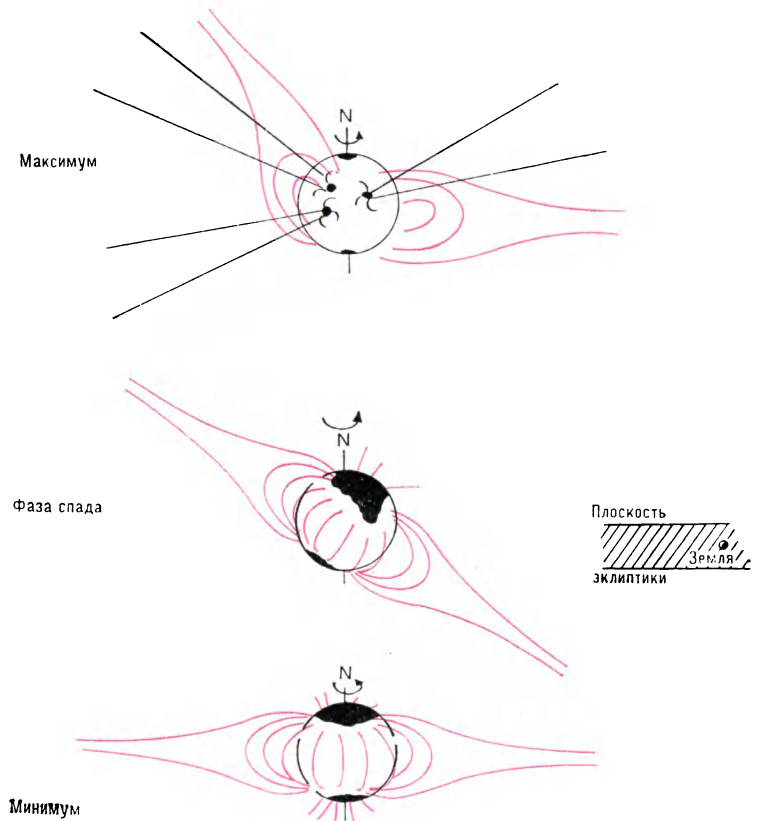
месяца наблюдается внешнее поле одного знака (один сектор), то есть Земля попадает в регулярное поле.

Если рассмотреть теперь тот же индекс геомагнитной возмущенности, усредненный за 2—3 года около каждого минимума солнечной активности, то в течение последних ста лет (циклы № 11 — № 20) при переходе от нечетного к четному минимуму геомагнитная возмущенность заметно возрастает. Для периодов такого регулярного солнечной активности такого регулярного, ступенчатого изменения нет. Это и служит доказательством (по крайней мере, для прошедших 100 лет) существования регулярного поля и изменения его полярности с периодом 22 года.

Таким образом, удаление Земли даже на 7° от токового слоя сказывается уже на уровне геомагнитной возмущенности. Конечно, это заметно, когда токовый слой плоский, — в период минимумов солнечной активности. Геомагнитные данные показывают, что во время спада солнечной активности (особенно циклов с четным номером) на возмущенность поля Земли, по-видимому, существенно влияет регулярное ММП. Чем это может быть вызвано? Иногда, как например в 1974 году, граница раздела противоположно направленных полей в межпланетном пространстве отклонялась от экваториальной плоскости на $10\text{--}30^\circ$. Поэтому Земля глубоко проникала в регулярное ММП и подвергалась его сильному воздействию.

Кроме того, на фазе спада цикла встречаются потоки с большими скоростями, практически отсутствующие в минимумы активности. Если Земля переходит из низкоскоростного в высокоскоростной поток, геомагнитная активность возрастает. Но эффект особенно заметен, когда воздействие скорости и регулярного ММП сказываются одновременно и суммируются. Это происходит на фазе спада циклов с четным номером.

Дело в том, что потоки с большими скоростями, вероятно, возникают на Солнце в местах слабого однородного поля — в корональных дырах. Знак поля в корональной дыре тот же, что и на полюсе, к которому дыра



примыкает. Когда Земля пересекает гофрированный токовый слой, в месте перехода от низкоскоростного к высокоскоростному потоку внешнее поле оказывается направленным так же, как у силовых линий солнечного диполя на больших расстояниях (близ четных минимумов с севера на юг). Иначе говоря, на фазе спада четных циклов переход в высокоскоростной поток осуществляется при благоприятном направлении внешнего поля. Заметим, что сильное увеличение геомагнитной возмущенности в эти пе-

риоды проявляется в виде последовательности геомагнитных бурь, повторяющихся каждые 27 дней. Повторяемость («рекуррентность») этих бурь на фазе спада солнечных циклов связана с вращением гофрированного токового слоя и неизменностью во времени местоположения источника высокоскоростного потока на Солнце.

КОРОНА И РЕГУЛЯРНОЕ ММП

Итак, регулярное ММП существует. Что из этого следует? Прежде всего, ряд известных закономерностей солнечно-земной физики получает естественное объяснение. В первую очередь — связь солнечной короны и межпланетной среды.

В зависимости от фазы 11-летнего цикла в межпланетном пространстве могут реализоваться различные ситуации. Условно можно выделить три.

■ *Схематическое изображение деталей короны в белом свете. Фаза спада иллюстрируется ситуацией 1974 года, когда корона имела два опавала, симметричных относительно центра Солнца. Проецирующиеся на солнечный диск корональные дыры зачерпены*



Первая наблюдается в год максимума солнечной активности и в течение предыдущего и последующего годов. В это время корона сферически симметрична, солнечный ветер радиален на всех широтах, его скорости велики — от 500 до 700 км/с, межпланетная среда сильно возмущена.

Вторая ситуация возникает на фазе спада активности. Высокоскоростные потоки близ плоскости эклиптики чередуются с периодами спокойного солнечного ветра. Нерегулярность моментов появления быстрых потоков сменяется их 27-дневной повторяемостью. В течение каждого 27-дневного интервала наблюдаются два-четыре периода, когда межпланетное поле направлено регулярно к Солнцу или от него (принято говорить о двух-четырёхсекторной структуре поля). В короне в это время появляются полярные щеточки, лучи на широтах около 55° уже отклонены в сторону экватора, видно несколько устойчивых крупных лучей-опал на промежуточных широтах от —40 до +40°. Можно предполагать, что возникающее в полярных шапках Солнца крупномасштабное магнитное поле уже выносится в межпланетное пространство, его силовые линии строго радиальны и отклоняются в сторону от экватора.

И наконец наступает глубокий минимум солнечной активности, продолжающийся от года до трех лет. В этот период скорости солнечного ветра малы — от 200 до 400 км/с, полярные щеточки заполняют обе шапки — высокоширотные области короны, полярное магнитное поле Солнца максимально. Появляются два опала близ экватора — характерная

особенность «чисто минимальной» короны.

Для каждой из трех ситуаций связь явлений на Солнце и в межпланетном пространстве поддается физическому объяснению. В настоящее время фактически начата большая работа по предсказанию условий в межпланетном пространстве на основе одних только наблюдений Солнца. Например, в период спада активности по совокупности прямых и косвенных данных о солнечном магнитном поле устанавливается на поверхности Солнца основание токовой поверхности, разделяющей области противоположно направленного регулярного ММП. Обычно эта линия на карте Солнца соединяет точки максимальной яркости короны. Если теперь положение некоторой точки межпланетного пространства (Земли или другой планеты, космического аппарата) спроецировать на Солнце, учитывая при этом закрученность спирали Архимеда, то можно предсказать, как поведут себя параметры межпланетной среды в выбранной точке в течение нескольких солнечных оборотов (мощные вспышки, конечно, снижают степень оправдываемости прогноза).

Кроме того, из факта существования регулярного ММП вытекает, что северное и южное полушария межпланетного пространства заняты независимыми магнитными потоками, разделенными токовой поверхностью. Частицы определенных энергий с трудом преодолевают этот барьер. Если на Солнце какие-либо активные явления происходят в какой-то период времени чаще в северном полушарии, то такой же характер асимметрии сохраняется и в межпланетном пространстве.

Кандидат физико-математических наук
А. М. УРНОВ

Рентгеновские

Освоение рентгеновского диапазона электромагнитного излучения солнечных вспышек дало обширную информацию о процессах, протекающих в высокотемпературной плазме вспышек, и помогло создать методы спектроскопической диагностики такой плазмы.

ЗАЧЕМ ИЗУЧАЮТ
СОЛНЕЧНЫЕ ВСПЫШКИ

До настоящего времени солнечные вспышки во многом остаются загадочным явлением природы. Каким образом в относительно спокойной атмосфере Солнца — хромосфере и короне — возникают горячие и плотные сгустки с температурой, в десятки и сотни раз и с плотностью на много порядков превышающих окружающую плазму? Откуда берется энергия, выделяемая за несколько секунд в объеме с характерным размером порядка 10 000 км? На Земле при современном уровне энергодобычи такую энергию можно получить лишь за 1000 лет, причем мощность всех земных электростанций меньше мощности энерговыделения в объеме вспышки в 100 млрд. раз!

По мере накопления экспериментального материала число подобных нерешенных вопросов возрастает. Вспышки имеют чрезвычайно многообразные проявления. Они сопровождаются усилением яркости практически во всех диапазонах длин волн электромагнитного излучения Солнца — от радиоволн до жесткого (коротковолнового) рентгеновского и гамма-излучения. Во время вспышки

вспышки на Солнце

выбрасываются потоки частиц — электронов, протонов и ионов. Поскольку излучение солнечной плазмы наблюдается различными методами и при этом исследуются различные аспекты с помощью разных моделей, то порой создается впечатление, будто речь идет о независимых явлениях, совершенно не связанных между собой. Чтобы понять механизм вспышек, необходимо построить единую модель, способную объяснить всю совокупность наблюдательных данных.

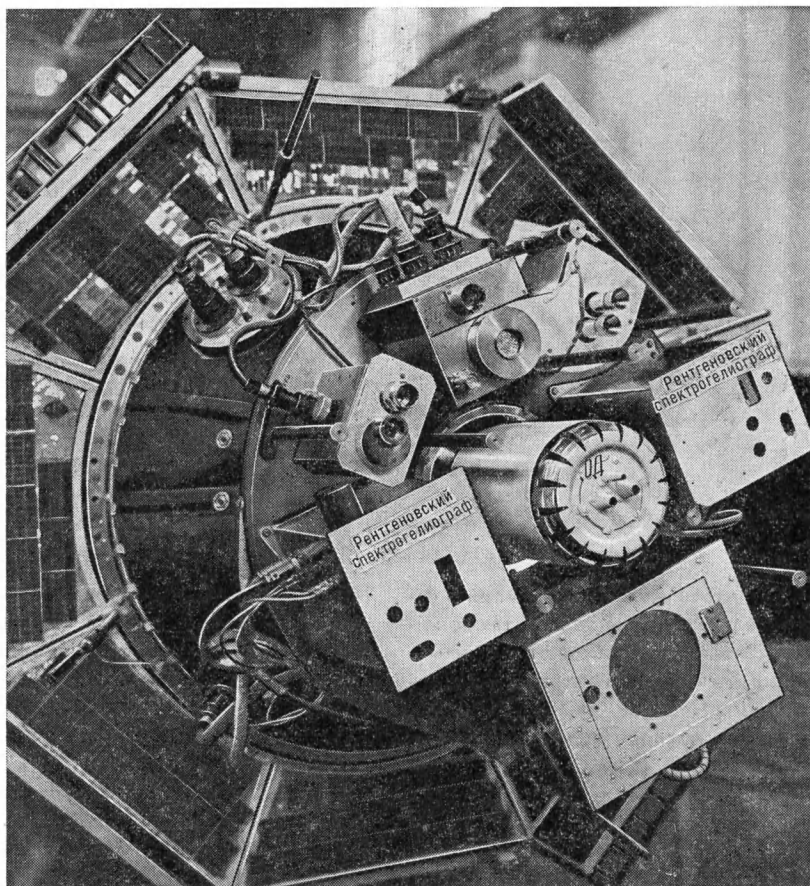
Несмотря на отсутствие такой модели, вспышки рентгеновского излучения Солнца уже используются в физических исследованиях. Разумеется, речь не идет об утилизации в практической деятельности; вспышки используются как источники для спектроскопических целей.

Солнечные вспышки — генераторы высокотемпературной, или, как ее называют, «горячей», плазмы, обладающей уникальными свойствами. В отличие от лабораторной, солнечная плазма неуправляема и для нее характерно разнообразие физических условий: температура, плотность, давление и другие макропараметры солнечной плазмы меняются в сотни и тысячи раз как в пространстве, так и во времени. Систематизируя многочисленные данные о вспышках, можно получить информацию об энергетической структуре, излучательных характеристиках и элементарных актах взаимодействия многозарядных ионов — тяжелого компонента горячей плазмы.

Исследования высокотемпературной плазмы и свойств многозарядных ионов приобрели особую актуальность в связи с поисками новых ис-

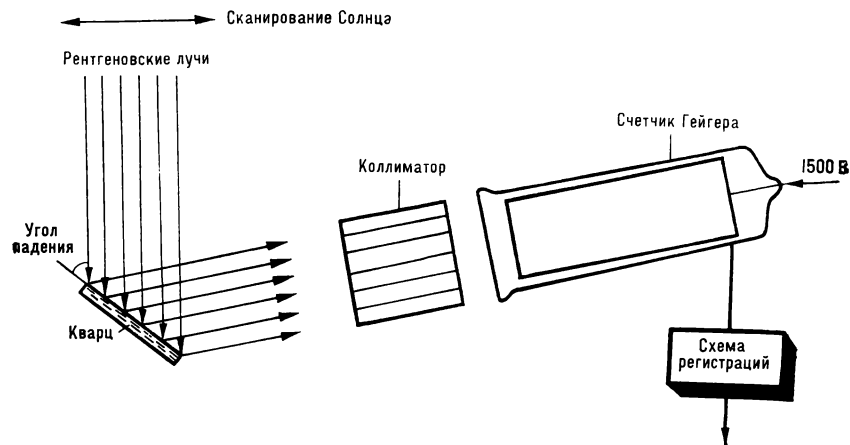
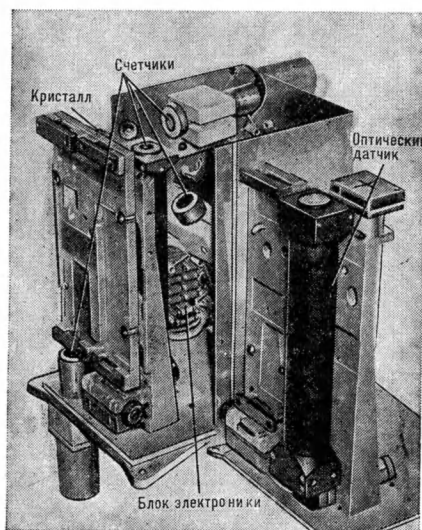
точников энергии. В последнее десятилетие появилось новое направление атомной физики, возникшее в результате синтеза двух ее областей: спектроскопии плазмы и физики атомных столкновений — **рентгеновская спектроскопия высокотемпературной плазмы**. Благодаря теоретическим и экспериментальным работам, выполненным в Физическом институте и Институте спектроскопии АН СССР, всесторонне изучены спектроскопические характеристики многозарядных ионов, разработаны рентгеноспектральные методы диагностики высокотемпературной плазмы. Эти методы позволя-

■
Спутник «Интеркосмос-4», запущенный на орбиту 14 октября 1970 года. Приборы спутника исследовали коротковолновое излучение Солнца



ют получить основные параметры плазмы, используя информацию, которая заключена в рентгеновских спектрах излучения плазменного источника. Рентгеноспектральные методы зачастую (как в случае сверхплотной или разреженной космической плазмы) оказываются практически единственно возможными методами диагностики.

Одновременно с лабораторными исследованиями в нашей стране под руководством члена-корреспондента АН СССР С. Л. Мандельштама активно развивается новая область наблюдательной солнечной астрофизики — **рентгеновская астрономия Солнца**. Солнечные спектры обладают рядом преимуществ перед лабораторными для спектральных исследований. Линии в спектрах вспышек оказываются достаточно узкими, чтобы их можно



было разрешить и точно измерить относительные длины волн, а также интенсивность. Для абсолютного измерения длин волн в Институте спектроскопии АН СССР были поставлены опыты по воспроизведению «солнечных вспышек» в лабораторных условиях. Так солнечные и лабораторные рентгеноспектральные исследования, взаимно дополняя друг друга, создали твердую экспериментальную базу для физического обоснования спектроскопических методов диагностики горячей плазмы.

Изучение рентгеновских спектров Солнца обогатило физику не только спектроскопическими данными, но и обширной информацией о физических процессах в наиболее разогретых областях солнечной короны.

Исследование вспышек имеет не только чисто научное, но и практическое значение. Стало общепринятым, и даже модным, говорить о многосложности солнечно-земных связей. Взаимосвязь представляется очевидной, хотя ее характер мало изучен и предстоит еще выяснить меру солнечной «ответственности» за земные дела.

В текущем году — году максимума солнечной активности полезно еще раз проанализировать прошлые выводы, критически сопоставить их между собой. О результатах такого сравнения, точнее, о результатах комплексного эксперимента, проводивше-

гося на спутнике «Интеркосмос-4» в год прошлого максимума солнечной активности, рассказывается в этой статье.

СПЕКТРЫ СТАВЯТ «ДИАГНОЗ»

С повышением температуры плазмы наиболее информативная спектральная область, несущая основную энергию излучения, смещается в коротковолновый диапазон. Линейчатые спектры ионов воспроизводят спектры нейтральных атомов соответствующих изоэлектронных последовательностей (атомов с тем же числом элек-

тронов). Поэтому методы традиционной спектроскопической диагностики применимы и в рентгеновской области.

Спектроскопические «термометры», «барометры» и другие приборы основаны на зависимости отношений интенсивностей линий, соответствующих различного типа переходам (или линий к непрерывному излучению — континууму), от температуры, плотности и других параметров плазмы. По мере повышения температуры увеличивается степень ионизации, атомы теряют все больше электронов, а их спектры упрощаются. Однако линейчатые спектры ионов принципиально отличаются от спектров нейтральных атомов. Каждая линия, излучаемая ионом, сопровождается большим числом **сателлитов** — линий, соответствующих переходам того же типа, что и основная, **опорная линия**, только в присутствии других электронов — «зрителей». Сателлитные линии образуются при переходе из состояний ионов, которые могут существовать определенное (правда, короткое, порядка 10^{-13} — 10^{-14} с) время, а затем распадаются либо с излучением линии-сателлита, либо с выбросом одного электрона. Происходящий при этом процесс ионизации называют автоионизацией. Для ионов малой зарядности автоионизация превалирует над излучением, в результате чего сателлиты имеют малую интенсив-

■ *Рентгеновский спектрогелиограф, установленный на спутнике «Интеркосмос-4»*

■ *Схема работы рентгеновского спектрогелиографа. Рентгеновские лучи, отражаясь от поверхности кварца, поступают в коллиматор, который выделяет параллельный пучок лучей. Этот пучок направляется в счетчик Гейгера. Электронная схема регистраций ведет счет рентгеновских фотонов. Если изменять угол падения рентгеновских лучей на кварц (сканировать солнечный диск), то изменяется длина волны рентгеновских фотонов, попадающих в счетчик. Таким образом регистрируется спектр рентгеновского излучения Солнца*

ность, порядка 1% и менее. Для многозарядных ионов (заряд больше 15) интенсивность спутников сравнивается с интенсивностью опорной линии и может даже ее превзойти.

Спутниковые линии оказались незаменимыми для диагностических целей. Одно из главных преимуществ спутников — чрезвычайно близкая к опорной линии длина волны, благодаря чему удается исключить ошибки в измерении относительных интенсивностей линий. К тому же различные спутники имеют разный механизм возбуждения, по-разному зависящий от температуры возбуждающих электронов. Отношение интенсивности ряда спутников к опорной, например, наиболее яркой в спектре резонансной линии, оказывается весьма чувствительным к температуре и практически не зависит от других параметров плазмы. Помимо температуры отношение интенсивностей определенным образом подобранных спутников обеспечивает измерение плотности частиц и степени ионизационного равновесия (концентраций ионов различной кратности — с разным числом оставшихся электронов).

Для исследования горячей плазмы вспышки наиболее удобны спектры высокоионизованных атомов железа — самого тяжелого из обильных элементов в солнечной короне. Замечательным оказывается то обстоятельство, что в узкий диапазон длин волн 1,75—1,95 Å попадают линии ионов железа практически всех стадий ионизации — от однократных ионов до водородоподобных ионов с одним электроном. Все эти линии относятся к одному типу переходов между электронными оболочками, обладающими наибольшей энергией ионизации (они называются К-переходами). Для малозарядных ионов такие линии совпадают с хорошо известными спектроскопистам К-линиями, которые возникают в рентгеновских трубках и радиоактивных препаратах, содержащих изотопы железа. Однако для практического «освоения» спутников — определения параметров плазмы — необходимо получить спектры высокого разрешения. Нужно как бы растянуть исследуемый спектральный интервал во много раз,

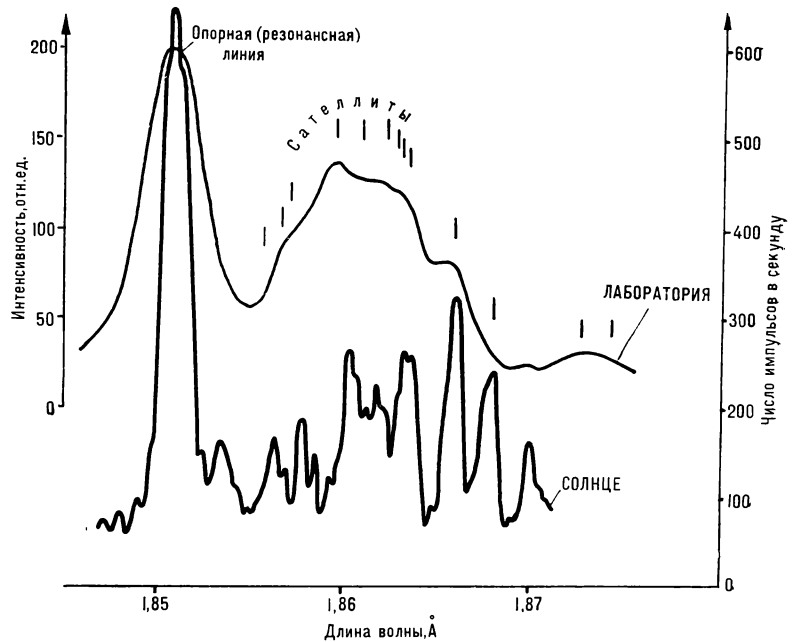
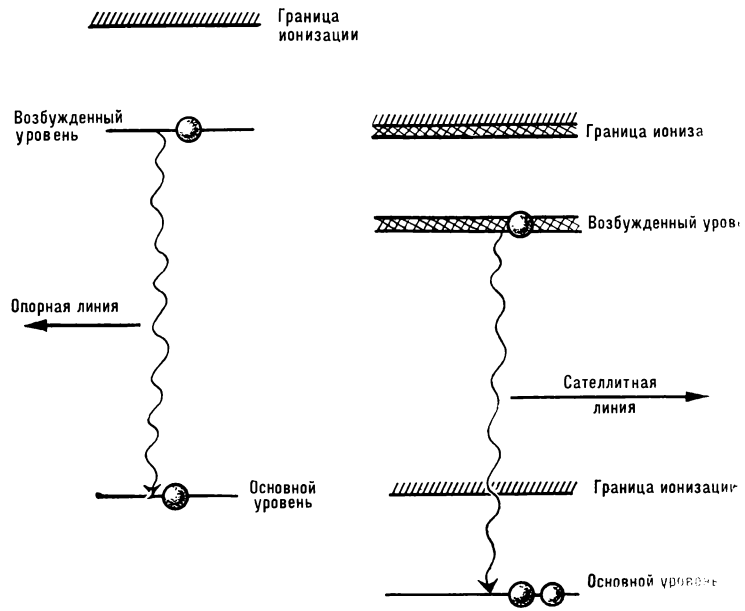


Схема энергетических уровней ионов с двумя электронами, излучающих опорную линию, и ионов с тремя электронами, излучающих спутниковую линию

Спектры рентгеновских вспышек, полученные в лаборатории (Э. Я. Кононов и др.) и рентгеновским спектрогелиографом спутника «Интеркосмос-4» (И. А. Житник и др.). Распределение интенсивности в лабораторном спектре хорошо соответствует солнечному

а затем тщательно измерить длины волн наблюдаемых пиков. Чтобы отождествить эти пики с атомными переходами, следует точно рассчитать энергию атомных уровней и другие атомные характеристики. Эту задачу удалось решить группе теоретиков Физического института АН СССР.

Расшифровка первых (до сих пор уникальных!) спектров линий гелиоподобных ионов (сохранивших два электрона), полученных в лаборатории Физического института АН СССР и во время максимума солнечных рентгеновских вспышек, позволила выполнить измерения относительных длин волн наиболее ярких линий. Абсолютные измерения на основе солнечных спектров наталкиваются на принципиальные трудности: движение плазмы как целого меняет длину волны из-за эффекта Доплера. Это смещение принципиально неотделимо от внутриатомных эффектов. Но, зная эталонную длину волны, можно по доплеровскому сдвигу определить скорость и направление движения излучающих масс. Абсолютные измерения проводились с помощью лабораторного источника — вакуумной искры в Институте спектроскопии АН СССР.

Прецизионные измерения длин волн рентгеновских линий имеют еще одно важное следствие: сопоставление с результатами расчетов позволяет проверить теорию тонких эффектов внутриатомных взаимодействий, поскольку их роль существенно возрастает с увеличением заряда.

О ЧЕМ РАССКАЗЫВАЮТ РЕНТГЕНОВСКИЕ СПЕКТРЫ

Проводившиеся на спутниках серии «Интеркосмос» всесторонние исследования солнечного рентгеновского излучения — анализ спектров, поляризации, а также пространственной структуры и временного хода рентгеновского потока — значительно дополнили данные наземных наблюдений. Результаты спектроскопической диагностики вспышечной плазмы позволили перейти от феноменологического, то есть внешнеописательного изучения явления, к количественному

анализу микроструктуры и динамики вспышек. Предложено много теоретических моделей, призванных объяснить экспериментальные факты. Благодаря многообразию проявлений вспышечных событий представляется весьма вероятным, что механизмы возникновения вспышек разного типа различны. Возможно также, что ряд несовместимых на первый взгляд моделей описывает разные аспекты одного и того же сложного события.

По мере накопления наблюдательных данных были выявлены характерные черты солнечных вспышек. При их возникновении в хромосфере и короне Солнца появляются **магнитные поля, имеющие арочную структуру** («Земля и Вселенная», 1974, № 4, с. 3—8. — Ред.). Во время многих вспышек наблюдаются целые аркады — последовательно расположенные арки магнитных трубок, в которых сосредоточена плотная разогретая плазма. В верхней части арок, на высоте приблизительно 20 000 км над фотосферой, образуется устойчивое облако плазмы с температурой $20\text{--}30 \cdot 10^6$ К и плотностью около 10^{10} см⁻³. Это облако иногда существует на протяжении многих часов. Энергия, заключенная в нем, сравнима с энергией всей вспышки. Стало окончательно ясно, что во время формирования вспышки и накопления энергии важную роль играют **пучки ускоренных электронов** (и других заряженных частиц) с энергией 10—100 кэВ.

В процессе развития вспышек можно различить три характерные стадии. Наиболее загадочна **начальная фаза**. Именно в этот период зарождаются процессы, которые приводят к наблюдаемым последствиям — электромагнитному и корпускулярно-излучению. Вторая, **импульсная фаза**, или фаза максимума, характеризуется резким повышением потока излучения. В течение этой фазы выделяется основной энергозапас и отдельные объемы плазмы разогреваются до высоких температур. Вслед за максимальной наступает конечная фаза — **фаза затухания вспышки**, во время которой плазма остывает и возвращается в исходное состояние.

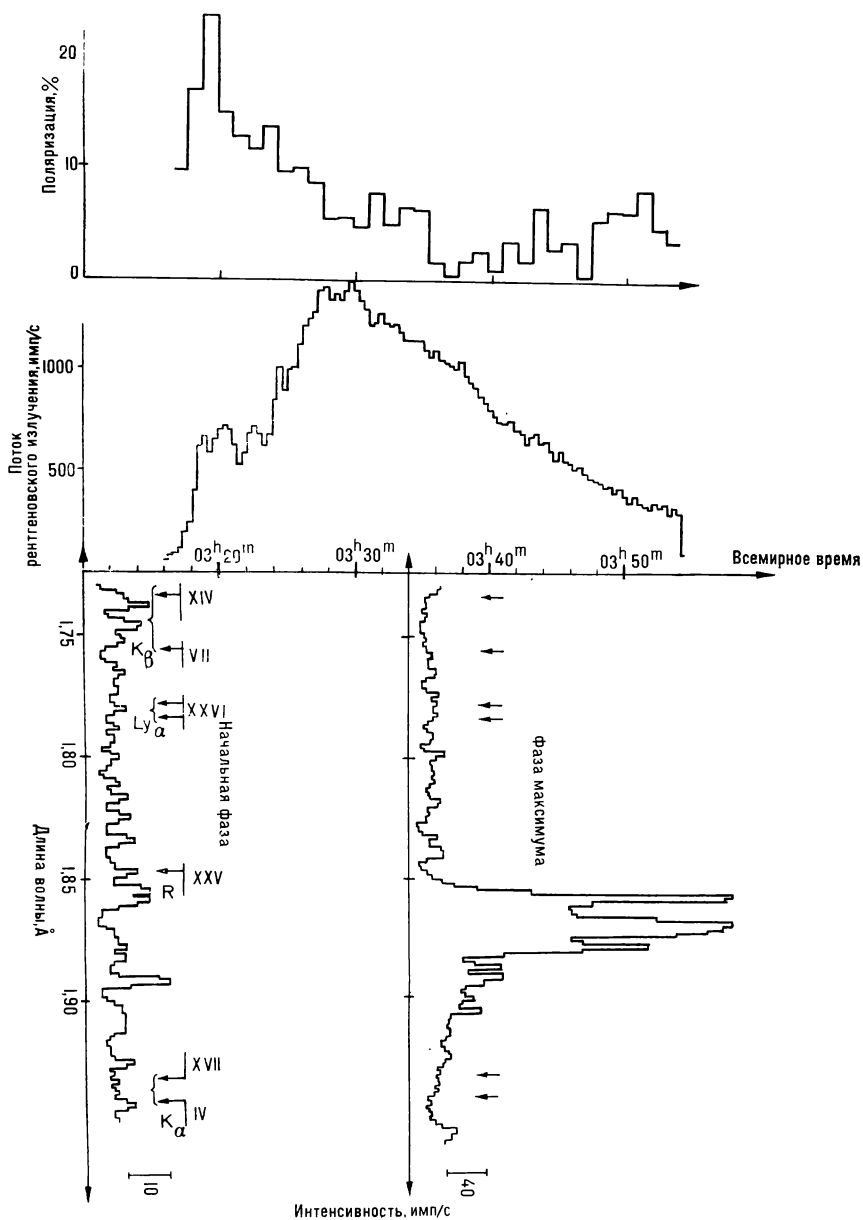
Единая теория феномена вспышек должна содержать ответы на следующие

фундаментальные вопросы: откуда берется энергия вспышек? запасается ли эта энергия в солнечной атмосфере, и если да, то в какой форме? каким образом столь большая энергия высвобождается за столь короткое время (иногда за секунды)? каков механизм ускорения частиц в плазме?

Как было уже сказано, разные гипотезы дают различные ответы на поставленные вопросы. Мы коснемся только одной гипотезы, предложенной профессором **С. И. Сыроватским**. Он считает, что в начальной стадии вспышки в солнечной короне образуются **токовые слои**, существующие длительное время — вплоть до многих часов. В этот период накапливается энергия будущей вспышки в виде энергии магнитного поля. Однако процесс накопления энергии приводит к развитию разного рода неустойчивостей, в результате чего происходит **разрыв токового слоя**. В этот момент бурно выделяется энергия, запасенная в магнитном поле, и ускоряются заряженные частицы, в первую очередь электроны, потоки которых устремляются в глубь солнечной атмосферы — в переходный слой и фотосферу. Фаза разогрева плазмы сопровождается интенсивным рентгеновским излучением, которое порождается пучками ускоренных электронов, пронизывающих толщу плазмы. Механизм излучения тот же, что и в рентгеновских трубках: при торможении пучка испускаются рентгеновские фотоны, число которых зависит от энергии.

Впрочем, наблюдаемый спектр рентгеновских фотонов можно объяснить и по-другому, предположив наличие малых горячих областей с температурой около $800 \cdot 10^6$ К! Почему же спектральный «термометр» не показывает такой высокой температуры? Дело в том, что если горячие области и существуют, то они содержат столь малое количество вещества, которое для спектроскопического метода незаметно. Измерять температуру этих горячих областей следует другим способом.

Подтвердил существование направленных потоков ускоренных электро-



Сопоставление поляризационных и спектральных измерений рентгеновского излучения мощной солнечной вспышки, наблюдавшейся приборами спутника «Интеркосмос-4» 5 ноября 1970 года. Поток рентгеновского излучения с энергией 15 кэВ составляет около 100 импульсов в секунду в начальной фазе и резко возрастает в 15–20 раз в течение импульсной фазы вспышки. Наибольшая степе-

нь поляризации рентгеновского излучения зарегистрирована в начальной фазе вспышки. Одновременно в спектре вспышки усиливаются K-линии (K_{α} , K_{β}) ионов железа. В максимальной фазе вспышки, когда поляризация падает практически до нуля, K-линии исчезают

нов в области солнечной вспышки комплексный эксперимент на спутнике «Интеркосмос-4». В 1970 году, в период предыдущего максимума солнечной активности, были получены спектры мощных вспышек в диапазоне длин волн 1,75–1,95 Å, который включает, как мы уже знаем, самые интенсивные линии, соответствующие K-переходам в ионах разной кратности. Напомним, что распределение ионов по стадиям ионизации (по зарядам), называемое ионным равновесием, существенным образом зависит от температуры. Поэтому, изучив интенсивности K-линий, можно судить о температуре плазмы, в которой находится ион данной кратности, и, следовательно, о положении излучающего слоя, поскольку температура падает по мере приближения к фотосфере. Как показал эксперимент, именно в начальной (а также в затухающей) фазе вспышек в их спектрах видны линии, соответствующие температурам вплоть до $5 \cdot 10^4$ K (что в 300 раз меньше температуры короны).

Наличие пучков подтверждается также поляризационными измерениями («Земля и Вселенная», 1978, № 3, с. 18–27. — Ред.), и наблюдениями жесткого рентгеновского излучения, выполненными чешским ученым Б. Вальничекком («Земля и Вселенная», 1971, № 6, с. 16–21. — Ред.). Число электронов, необходимое для возбуждения K-линий, в точности соответствует числу частиц, необходимых для жесткого рентгеновского излучения; при этом полный ток оказывается около 10^{18} А! В максимальной фазе вспышки пучки ускоренных электронов практически не проявляются, на затухающей стадии они возникают вновь.

Прошлый цикл активности Солнца принес много важных результатов, поставил много вопросов, ответить на которые предстоит в текущем году — году максимума солнечной активности. Сейчас планируются комплексные эксперименты по исследованию спектров и поляризации рентгеновского излучения и локализации областей, в которых оно генерируется.



ВСПЫШКИ КОМЕТ

Известно, что когда комета приближается или удаляется от Солнца и Земли, блеск ее плавно изменяется. У некоторых комет блеск может внезапно увеличиваться на несколько звездных величин. Такие быстрые вспышки объясняются, по-видимому, тем, что на фоне стационарного истечения пыли и газа из кометного ядра происходит выброс вещества из ядра в атмосферу кометы.

К числу вспыхивавших комет относится периодическая комета Швасмана — Вахмана I, которая была открыта в 1925 году. Комета движется по орбите, близкой к круговой и расположенной почти в плоскости эклиптики. Среднее удаление кометы от Солнца 6 а.е. В октябре 1976 года была зарегистрирована одна из самых сильных вспышек этой кометы: за четыре дня ее блеск увеличился на 7^m! К январю 1977 года блеск кометы ослаб, а в феврале произошла вторая, менее мощная вспышка. Сотрудники Института астрофизики АН ТаджССР Н. Н. Киселев и Г. П. Чернова провели наблюдения кометы во время вспышек и обнаружили, что в течение всего периода наблюдений показатель цвета и степень поляризации света кометы сильно изменялись. Возможно, что это связано с изменением размера пылинки в атмосфере кометы, на которых рассеивается солнечное излучение.

Н. Н. Киселев и Г. П. Чернова предположили, что при вспышке из ядра в атмосферу кометы выбрасываются более крупные пылинки, чем в спокойной фазе. Размер этих пылинок достигает нескольких микрон, тогда как при стационарном испарении ядра размер пылинок на порядок меньше. В начале вспышки рассеяние на крупных пылинках приводит к большим значениям показателя цвета и степени поляризации. Затем доля крупных частиц, по мере их ухода из атмосферы кометы, падает, и к концу вспышки

цвет и поляризация почти полностью определяются рассеянием на мелких пылинках радиусом около 0,5 мкм.

На основе фотометрических данных Н. Н. Киселев и Г. П. Чернова оценили массу пыли в кометной атмосфере. Согласно их оценке, во время вспышки в атмосфере кометы было $8 \cdot 10^{11}$ г пыли, а в спокойном состоянии $4 \cdot 10^8$ г. Таким образом, за четыре дня из ядра кометы в ее атмосферу было выброшено около $8 \cdot 10^{11}$ г пыли.

«Письма в Астрономический журнал», 1979, 5, 5.

ИССЛЕДУЮТСЯ ПЛЕРИОНЫ

Обнаруженные к настоящему времени дискретные источники гамма-излучения отождествляются в основном с двумя классами галактических объектов — радиопульсарами и теми остатками вспышек сверхновых звезд, которые представляют собой сравнительно небольшие компактные образования без четко выраженной оболочечной структуры. Эти остатки сверхновых (к их числу относятся и знаменитая Крабовидная туманность) получили название плерионов. В переводе с древнегреческого $\mu\lambda\eta\rho\eta$ (плере) — полный, заполненный. Для плерионов характерна значительная поляризация радиоизлучения и низкие значения спектральных индексов. Напомним, что у многих радиоисточников плотность потока излучения S зависит от частоты ν как $S \sim \nu^{-\alpha}$, где α — спектральный индекс.

Сотрудник Крымской астрофизической обсерватории АН СССР Б. М. Владимирский высказал и обосновал предположение, согласно которому к плерионам относятся и источник гамма-излучения SG 195+4 (первая буква в индексе означает, что объект открыт приборами спутника SAS-3, вторая — объект принадлежит нашей Галактике, цифры — соответственно, галактические долгота и широта). Б. М. Владимирский сопоставил местоположения известных дискретных гамма-источников и когда-либо наблюдавшихся на небе оптических вспышек. Он установил, что неподалеку от SG 195+4 в 437 году произошла вспышка. В максимуме вспышки объект достиг —3^m. Как долго был виден вспыхнувший объект, не известно, а потому остается неизвестной и природа вспышки. Из анализа имеющихся данных сделан вывод о том, что гамма-источник SG 195+4 может быть остатком сверхновой 437 года.

Этот источник в радиодиапазоне

должен иметь спектральный индекс меньше 0,2 с величиной потока вблизи 1 ГГц не более 1 Ян (10^{-26} Вт/м²·Гц). В видимом диапазоне спектра SG 195+4 может быть слабым (не ярче 16^m), протяженным (поперечник около 1') с непрерывным спектром. На картах «Паломарского атласа неба» на площадке $0,5 \times 0,5^\circ$ близ наиболее вероятного положения источника SG 195+4 (координаты: прямое восхождение 6^h34^m, склонение 17,2°) есть несколько протяженных объектов, в основном галактик. Вопрос отождествления гамма-источника с оптическим объектом требует детального исследования.

Зарегистрированное в рентгеновском диапазоне спектра излучение с энергией 6—10 кэВ от SG 195+4 может быть обусловлено центральной областью источника (гало пульсара). Как радиопульсар, он, вероятно, в несколько раз слабее пульсара в Крабовидной туманности.

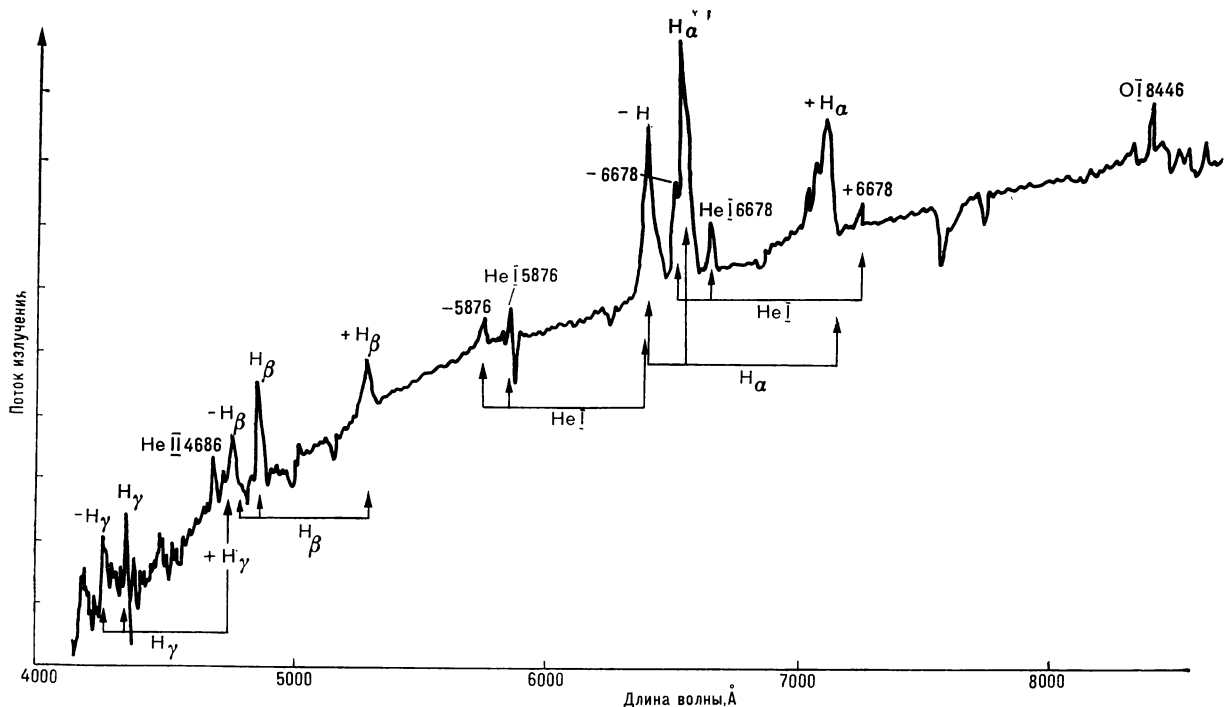
«Известия Крымской астрофизической обсерватории АН СССР», 1980, 63

ФЕНОМЕН SS 433

В 1977 году американские астрономы Ц. Стефенсон и Н. Сандулак опубликовали список 455 объектов, в спектрах которых видна сильная линия излучения возбужденного водорода H α . Эти объекты в основном принадлежали нашей Галактике. В 1978 году один из объектов этого списка SS 433 (галактическая долгота 39,7°, широта —2°) английские радиоастрономы отождествили с компактным переменным радиоисточником. Он располагается внутри протяженной слоистой радиоструктуры, которая считалась старым остатком вспышки сверхновой звезды. Но что удивительно, этот компактный радиоисточник в остатке сверхновой не был пульсаром! Английские радиоастрономы осторожно назвали его «радиозвездой». Подробное исследование SS 433 было вынесено на повестку дня. И объект не обманул ожиданий астрономов.

В 1979 году появились первые сообщения о спектре SS 433, полученном на больших телескопах Ликской обсерватории и обсерватории Китт Пик (США). За год наблюдений накопилось около сотни спектрограмм, выявивших причудливое, как выразился Б. Маргон, поведение линий излучения в спектре SS 433.

В спектре этой очень красной звезды (визуальная звездная величина 14^m) линии бальмеровской серии



водорода (H_α , H_β , H_γ) и линии нейтрального гелия He I (длины волн 6678 и 5876 Å) кроме основного компонента примерно с нулевым красным смещением имеют еще «красные» и «синие» компоненты, местоположение которых в спектре периодически изменяется (период около 160 суток). Максимальное отклонение «красного» компонента достигает величин, соответствующих скорости движения +50 000 км/с, а «синего» компонента — 35 000 км/с.

Некоторые детали в линиях водорода H_α и H_β , имеющих нулевое красное смещение, также изменяют свое положение в спектре с периодом, гораздо меньшим, — 13 суток. Отклонения этих деталей соответствуют скорости движения 80 км/с, характерной для обычных двойных систем.

Как показал анализ фотопластинок из Гарвардской коллекции и коллекции Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга, блеск SS 433 в видимом диапазоне спектра также колеблется со 160- и 13-суточными периодами. Амплитуда этих колебаний, соответственно, около 1,5 и 0,5^m. Попытки обнаружить изменения блеска с периодами, свойственными пульсарам (от 0,01 до 10 секунд), пока не дали результатов.

Расстояние до SS 433, которое было определено по межзвездным линиям поглощения в его спектре, не менее 3,5 кпс. Однако вопрос о принадлежности этого объекта к нашей Галактике остается пока открытым.

Уже сделаны первые попытки интерпретации необычных свойств SS 433. Не обошлось, конечно, и без модной сейчас массивной черной дыры с вращающимся вокруг нее диском аккрецирующего вещества. Если допустить, что масса черной дыры несколько сотен миллионов солнечных, то можно получить наблюдаемые скорости «красного» и «синего» компонентов линий излучения, возникающих в противоположных областях диска. Но более убедительной представляется модель SS 433, предложенная А. Фабьяном и М. Рисом (Англия), а затем в несколько ином виде Б. Маргоном и Дж. Эйблом (США). Их модель напоминает активное ядро галактики, из которого

в противоположных направлениях выбрасывается под углом к лучу зрения наблюдателя ионизованный газ или высокоэнергичные частицы (а может быть, и то и другое вместе). Этот угол изменяется с периодом 160 суток. Чтобы согласовать модель с наблюдениями, следует допустить скорости выброса порядка 80 000 км/с! Член-корреспондент АН СССР И. С. Шкловский предполагает, что в двойной системе SS 433 вещество, аккрецирующееся на нейтронную звезду, отбрасывается быстровращающейся магнитосферой звезды в разные стороны под большими углами к плоскости ее орбиты.

Объект SS 433 сейчас изучается на многих обсерваториях, в том числе и в СССР. Без сомнения, в ближайшее время будет получен новый наблюдательный материал, который позволит астрофизикам увереннее строить модель этого удивительного феномена и, самое главное, ответить на вопрос: имеет ли SS 433 звездную природу или это — ядро близкой к нам галактики, просвечивающееся сквозь Млечный Путь и случайно проецирующееся на остаток сверхновой в нашей Галактике.

Кандидат физико-математических наук
Б. В. КОМБЕРГ

■ *Запись спектра SS 433. Линии излучения водорода и гелия в спектре имеют кроме основной почти неподвижной компоненты еще и движущиеся по спектру компоненты с длинноволновой (красной) и коротковолновой (синей) стороны*



Кандидат географических
наук
Г. И. РЕЙСНЕР

Балканский сейсмический проект ЮНЕСКО

Поездки, экспедиции, командировки... За время работы в Институте физики Земли АН СССР уже потерял счет времени, проведенному во всех видах современного транспорта. И нередко после коротких обязательных разговоров о погоде и разных других вещах мои попутчики спрашивают: «Над чем вы работаете?». Ответ «Над землетрясениями» всегда вызывает повышенный интерес. Всех, естественно, занимает вопрос, когда же люди сумеют обуздать подземную стихию или, по крайней мере, научатся ее предсказывать, как это делают сейчас синоптики или специалисты в области цунами.

Известно, что проблема прогноза времени землетрясений пока, к сожалению, окончательно не решена («Земля и Вселенная», 1978, № 6, с. 6—24. — Ред.). Однако во многих странах, в том числе и в нашей стране, накоплен большой опыт прогнозирования места и силы будущих землетрясений. Зоны, в которых они могут возникать, нанесены на карты сейсмического районирования. Карты входят в строительные нормы и правила. Эти нормы обязательны для каждой строительной организации, они предусматривают необходимые антисейсмические мероприятия для всех конструкций и сооружений в сейсмоопасных районах. Здания, построенные с соответствующим «запасом прочности», выдержали подземные толчки в Ташкенте в 1966 году, в Кишиневе во время румынского землетрясения 4 марта 1977 года, которое ощущали даже жители Москвы и Ленинграда.

Советские специалисты выполняют исследования по многим международным проектам. Один из них —

В одном из густонаселенных регионов Европы в 1971—1976 годах под эгидой ЮНЕСКО выполнялся международный проект, целью которого было определение степени сейсмической опасности различных частей этой территории.

Балканский сейсмический проект ЮНЕСКО (1971—1976 гг.) («Земля и Вселенная», 1972, № 5, с. 39—59. — Ред.). Автору статьи довелось участвовать в этом научном проекте.

ПОЧЕМУ БАЛКАНСКИЙ?

Крупные землетрясения неоднократно приносили бедствия населению Балканского региона. Наиболее сильными в XX веке здесь были землетрясения на границе Югославии и Болгарии (1904 г.), в Болгарии (1913 и 1928 гг.), Эгейской области (1947 и 1954 гг.), Анатолии (1956 г.).

Читатель наверняка знает, что Балканский регион все же не самый сейсмичный на земном шаре. Многие области в Америке и Азии, особенно территория тихоокеанского «огненного кольца», испытывают еще более мощные сейсмические толчки. Но некоторые обстоятельства играли решающую роль при организации международных сейсмических исследований в пределах именно Балканского региона. Во-первых, он чрезвычайно густо заселен, что определяет высокую степень сейсмического риска при возникновении землетрясений даже не очень сильных. Во-вторых, здесь на относительно небольшой площади

размещается шесть государств: Румыния, Болгария, Югославия, Албания, Греция, Турция. Изучение сейсмичности в пределах какого-то одного региона, например в Динаридах, невозможно, если ограничиться информацией только о их югославской, или албанской, или греческой части. Нужны сведения, охватывающие весь район, принадлежащий различным государствам. В-третьих, в ряде стран Балканского региона немало высококвалифицированных геологов, геофизиков, сейсмологов, в распоряжении которых имеется аппаратура для проведения совместных исследований.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

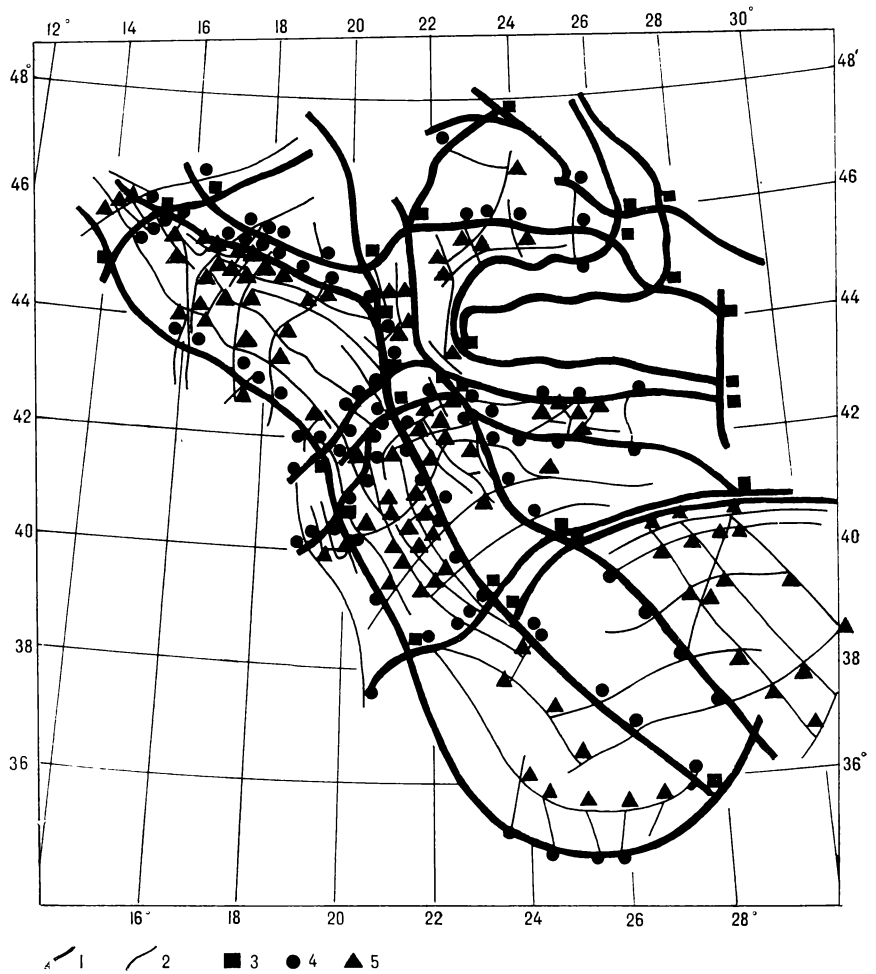
Основная цель международных исследований по Балканскому сейсмическому проекту ЮНЕСКО — определить степень сейсмической опасности в пределах отдельных участков региона. Иными словами, необходимо сейсмическое районирование всей территории (в масштабе 1 : 1 000 000, или в 1 см — 10 км). К тому же нужно районирование прогностическое: следовало не только надежно выделить районы, в которых в прошлом уже возникали землетрясения определенной силы (а значит, они могут здесь и повторяться), но и определить, где землетрясения максимально возможной силы еще не произошли, но ожидаются в будущем.

Задача разбивалась на несколько промежуточных. Прежде всего определялись необходимые исходные данные для составления карт сейсмического районирования и выбирался метод их составления. Эту миссию взяла на себя многочисленная группа

экспертов ЮНЕСКО из стран, не принадлежащих к Балканскому региону, но работавших в тесном контакте со специалистами из стран-участниц проекта. Уже на первых семинарах и симпозиумах сотрудничающие стороны приняли чрезвычайно важные решения о том, что прогнозировать землетрясения нужно на комплексной основе, с равноправным учетом сейсмологической и геологической информации. Для прогноза мало знать параметры уже происшедших землетрясений данного региона — их координаты, магнитуду, интенсивность, глубину очага. Надо еще хорошо представлять себе геологические условия, в которых могут возникать новые толчки. Тогда по методу аналогий находят участки, где землетрясения не достигли еще своей максимальной силы. В этом и заключается методическая основа прогноза сейсмической опасности по геологическим данным («Земля и Вселенная», 1978, № 6, с. 20—24. — Ред.).

Совершенно ясно, что исходные данные для составления карт сейсмического районирования Балканского региона собирали специалисты из самих стран-участниц проекта. Это был нелегкий труд десятков научно-исследовательских и производственных организаций, которые проводили инструментальные наблюдения, собирали архивные данные о землетрясениях далекого прошлого, вели экспедиционные геолого-геофизические исследования по согласованным программам. В 1973 году все эти материалы стеклись в штаб-квартиру ЮНЕСКО в городе Скопле.

И наконец, исходные данные нужно было соответствующим образом унифицировать и по заданной методике использовать для составления карт сейсмического районирования. Эту работу по контракту с ЮНЕСКО выполняли три организации — Институт физики Земли АН СССР, Институт геологии и геофизики АН МолдССР и Геологическая служба США. Институт физики Земли АН СССР готовил карту зон возникновения землетрясений с различной магнитудой, а Институт геологии и геофизики АН МолдССР и Геологическая служба США рассчитали на ее основе сей-



смическую опасность в терминах, удобных для инженеров, проектировщиков и строителей.

Как от фундамента зависит надежность сооружения, так и от качества карты зон возникновения землетрясений зависела судьба всего Балканского сейсмического проекта ЮНЕСКО.

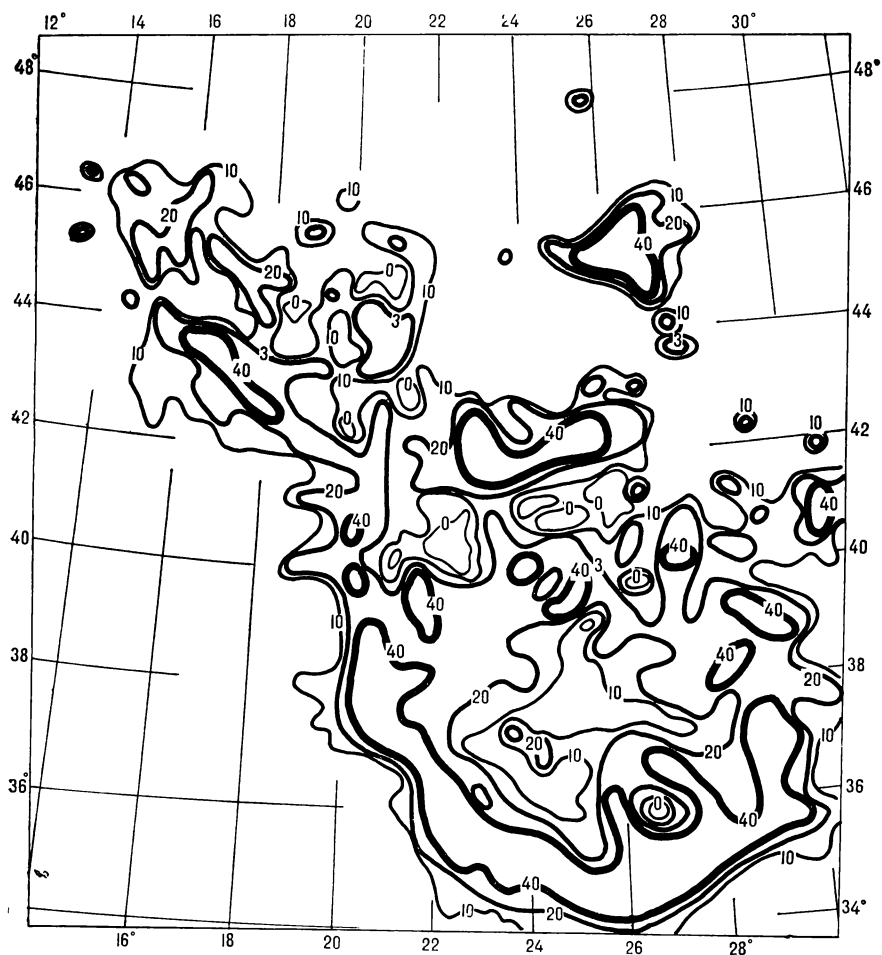
КАРТА БУДУЩИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Создание **прогнозной карты**, как и всякая прогностическая задача, складывается из трех обязательных этапов: **обучение, собственно прогноз и проверка его правильности**. Первый этап, несомненно, один из важнейших и сложнейших. Но учиться есть на чем: землетрясения происходят часто,

а в Балканском регионе нередки и крупные события, о которых говорилось в начале статьи.

Самый беглый просмотр исходного материала показал, что чаще всего землетрясения здесь возникают в дизъюнктивных узлах — пересечениях крупных разрывных нарушений (линеаментов), рассекающих земную кору и протягивающихся на сотни и тысячи километров. Поэтому нужно

■
Схема линеаментов и дизъюнктивных узлов Балканского региона. Условные обозначения: 1 — линеаменты первого ранга; 2 — линеаменты второго ранга; 3 — дизъюнктивные узлы первой категории; 4 — второй категории; 5 — третьей категории



было создать карту главных линеаментов Балканского региона. Конечно, интерес представляли лишь те линеаменты, которые были активными не только в отдаленные геологические эпохи, но и в новейшее время. Выделить их удалось при сравнении тектонических карт, подготовленных учеными стран-участниц проекта (историко-тектоническая карта, карта новейшей тектоники и современных движений).

Затем составлялись карты дизъюнктивных узлов. В соответствии с рангом линеаментов, все дизъюнктивные уз-

лы разделялись на три категории — пересечение линеаментов первого ранга, пересечение линеаментов первого и второго рангов и пересечение линеаментов второго ранга. Общее число дизъюнктивных узлов на территории Балканского региона превысило 200, из которых 29 относились к первой категории, 88 — ко второй и 94 — к третьей. Поскольку в 8 из 29 узлов первой категории ранее уже происходили землетрясения с магнитудой $M=7,0$, то, казалось, все остальные узлы этой категории следовало бы считать «перспективными» на землетрясения той же магнитуды. Однако, как выяснилось, и в узлах второй и даже третьей категории в прошлом много раз возникали землетрясения с $M=7,0$.

Если следовать формальной логике, то все дизъюнктивные узлы Балканско-

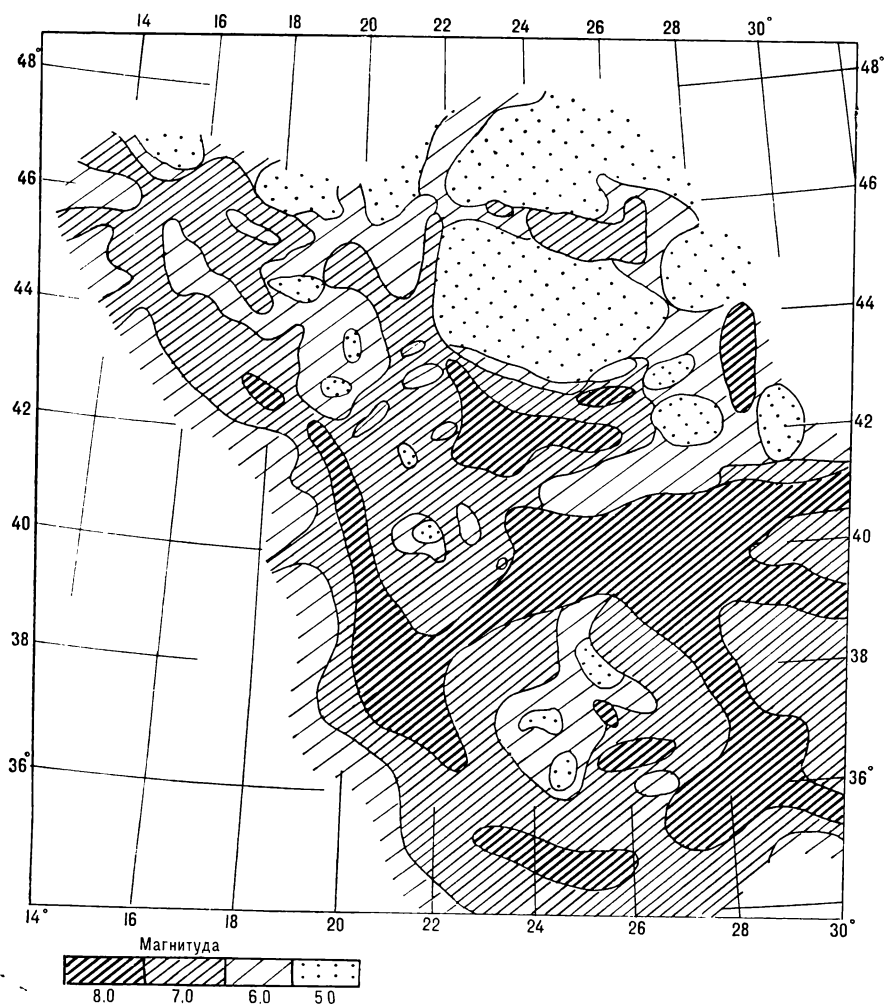
го региона (а их, как уже говорилось, больше двухсот) следовало бы считать зонами возможных сейсмических толчков с очень большой магнитудой, более 7,0. Практически это означало бы, что почти на всей территории Балканского региона интенсивность сотрясений может достигать 8—9, а то и 10 баллов. Такой экстремальный прогноз, конечно, не отражал бы действительной ситуации. Но дело в том, что геологическая обстановка даже сравнительно небольшого участка любой территории сложна и многообразна, ее нельзя охарактеризовать каким-то одним признаком, например наличием линеаментов и дизъюнктивных узлов. Ведь последние составляют только «костяк» тектонической обстановки. К тому же сами эти узлы различаются и по типу сочленяющих разломов, и по степени подвижности линеаментов, и по характеру разделяемых ими структур.

Чтобы учесть эти различия, всю территорию Балканского региона разделили на пять крупных мегаблоков, имеющих различную степень тектонической активности в новейшее время. Наиболее интенсивной она была на юге региона, в Эгейском море и примыкающей к нему территории Балканского полуострова и Анатолии. Существовавшая ранее структура здесь полностью изменилась. Обрушился ряд поднятий, сформировалась сама чаша Эгейского моря. К северу от этого мегаблока активность тектонических процессов в новейшее время постепенно «успокаивалась».

Изучение активности по мегаблокам позволило избежать экстремальных оценок при составлении карты зон возникновения ожидаемых землетрясений. Например, в дизъюнктивных узлах первых категорий Эгейского блока происходили землетрясения с $M=7,0$ (таких узлов было 10). В 16 остальных узлах этих категорий потенциальная опасность оценивалась на таком же уровне магнитуды. В двух узлах третьей категории происходили землетрясения с $M=6,5$, в соответствии с этим, остальные 7 узлов этой категории квалифицировались как зоны возможных землетрясений такой же магнитуды.

Совершенно иная картина была в

■
Карты мощностей активного слоя Балканского региона. Цифры на изолиниях показывают толщину слоя в километрах



пределах северо-западного мегаблока, охватывающего большую часть Югославии. Здесь в одном узле первой категории уже происходили землетрясения с $M=6,5$; такими же опасными считались и два других. В узлах же второй и третьей категории были (и ожидаются) лишь землетрясения с $M=6,0$. Дифференцированный анализ сейсмотектонической обстановки по мегаблокам дал возможность подготовить геологическую версию карты зон возникновения будущих землетрясений.

В работах по Балканскому проекту одновременно составлялась карта

прогнозных оценок зон возможного возникновения подземных ударов и по сейсмологическим данным. Известно, что землетрясения данной магнитуды имеют очаги вполне определенных размеров. Следовательно, для появления очага сильного землетрясения нужны конкретные условия — соответствующей длины разломы и наличие в земной коре активного слоя такой мощности, которая могла бы вместить этот очаг. Например, в слое пятикилометровой толщины не может образоваться очаг землетрясения с $M=7,5$. Под руководством доктора физико-математических наук Н. В. Шебалина и по разработанной им методике для всей территории Балканского региона была составлена карта мощностей активного слоя (под активным понимался слой земной ко-

ры, в котором концентрировались любые землетрясения, независимо от их магнитуды).

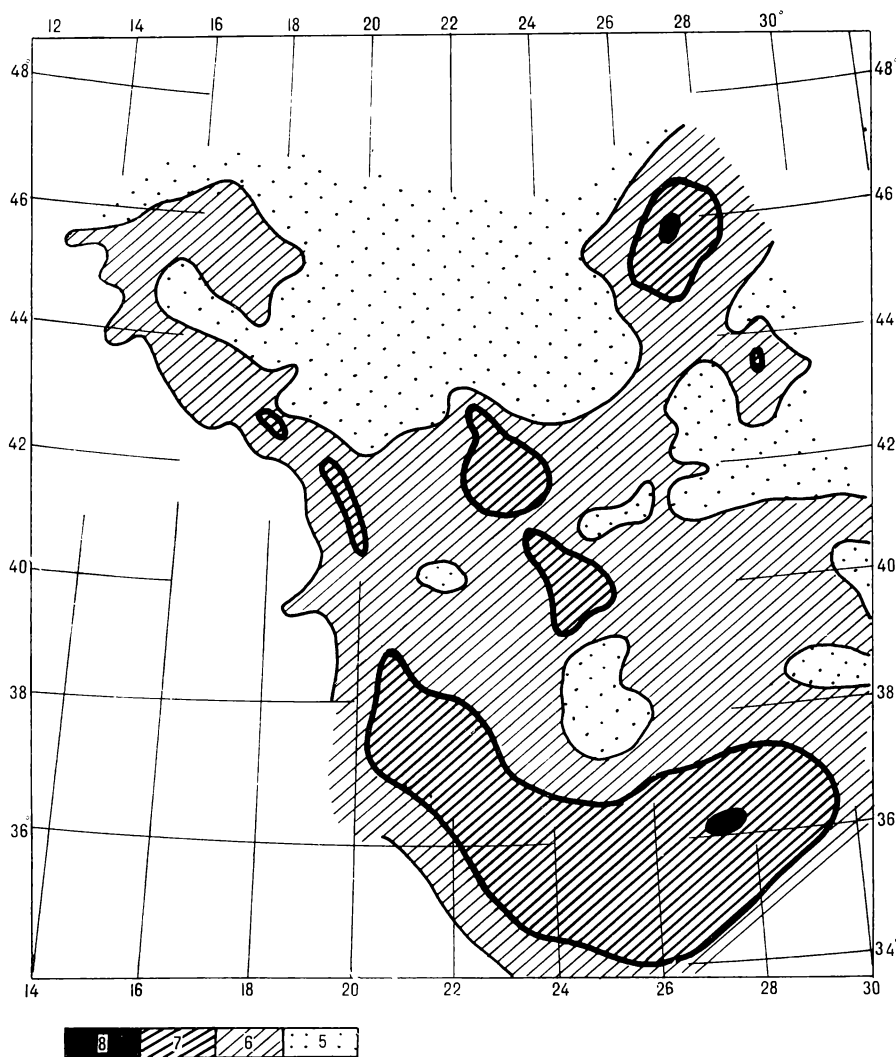
Переход от карты мощностей к карте ожидаемых очаговых зон осуществлялся опять-таки дифференцированно для разных частей региона. В одних, например, очаги землетрясений с $M=7,0$ происходили в зонах, где мощность активного слоя составляла 24—26 км, и все остальные участки этих областей с такой же мощностью считались потенциально опасными на том же уровне магнитуды. В других районах очаги землетрясений с такой же магнитудой возникали в местах, где мощность активного слоя достигала 40 км, и опасными считались области с такой же мощностью этого слоя.

Когда сейсмологическая и геологическая версии прогнозной карты зон возможных землетрясений были готовы, наступил один из ответственных этапов работы — сопоставление версий между собой и подготовка комплексной карты очаговых зон ожидаемых землетрясений. Это была проверка способов построения прогнозной карты, взаимный контроль двух независимых методов — геологического и сейсмологического. Результат оказался весьма обнадеживающим: более чем на 80% территории Балканского региона различные модели прогнозных карт совпали с точностью до 0,5 единицы магнитуды.

Для окончательной подготовки карты зон ожидаемых землетрясений требовалось рассмотреть лишь те участки территории, где имелись расхождения между геологической и сейсмологической версиями. Предпочтение здесь отдавалось какой-то одной, в зависимости от качества и надежности исходных данных.

Когда карта зон ожидаемых очагов была, наконец, составлена, к работе приступили специалисты Института геологии и геофизики АН МолдССР и Геологической службы США. На основе этой карты им надлежало провести расчеты, для которых использовались некоторые предварительно составленные унифицированные исходные материалы — такие, как каталог Балканских землетрясений и атлас

Схема зон возникновения ожидаемых землетрясений Балканского региона



изосейст (зон равной интенсивности) этих землетрясений.

В задачу Института геологии и геофизики АН МолдССР входило построение карт **максимально ожидаемой интенсивности сотрясений** на территории Балканского региона на сроки **50, 100, 200, 500 лет** и на **бесконечность**. Известно, что сильные землетрясения в одном и том же месте происходят нечасто: для накопления напряжений в земных недрах нужно длительное время. Поэто-

Схема ожидаемой интенсивности сотрясений в ближайшие 50 лет. Показаны области сотрясений 8, 7, 6 и 5 баллов

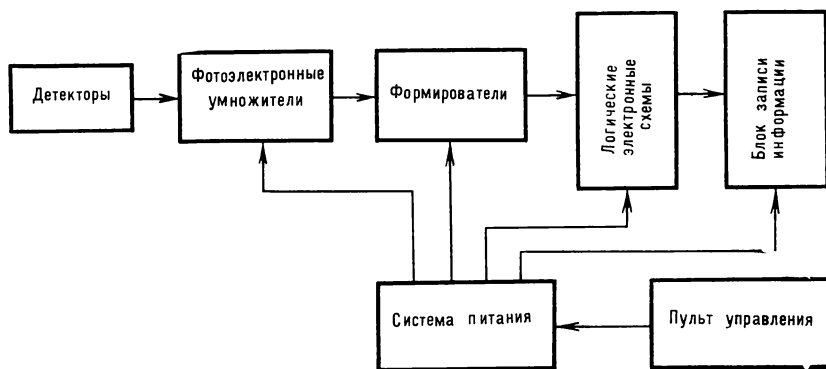
му вероятность повторения сильных землетрясений в данном месте в 50-летний период меньше, чем в 200- или 500-летний. В соответствии с этим и вероятная интенсивность сотрясений будет возрастать по мере увеличения периода, для которого составлена карта. Если взять, например, район города Скопле в Македонии, то для периода 50 лет интенсивность ожидаемых сотрясений составит 6 баллов, 100 и 200 лет — 7 баллов, 500 лет — 8 баллов...

Специалисты Геологической службы США делали иные расчеты. Они оценивали степень сейсмического риска в других единицах и составляли **карты величин скорости и ускорения тех движений, которые могут вы-**

звать будущие землетрясения. Оценки эти были вероятностными, но делались они также для различных периодов — в 25 и 200 лет. В районе города Скопле рассчитанные максимальные величины ускорения и скорости на уровне 70% вероятности составляют около 0,17 g (g — ускорение силы тяжести) и 15 см/с для 25-летнего периода, 0,30 g и 20 см/с для 200-летнего.

Итогом работ по Балканскому проекту были впервые подготовленные на комплексной основе прогнозные карты очагов землетрясений, интенсивности сотрясений, а также скоростей и ускорений возможных движений, связанных с подземными толчками. Эти карты можно будет использовать в антисейсмическом строительстве на территории Балканского региона.

Во время пятилетних работ по Балканскому сейсмическому проекту ЮНЕСКО сотни специалистов, ученых, наблюдателей, техников и организаторов провели огромную работу. Большую роль в реализации проекта сыграли советские ученые, в том числе член-корреспондент АН СССР В. В. Белоусов, профессор Г. П. Горшков, доктора геолого-минералогических наук Б. А. Петрушевский и А. В. Друмя и, особенно, доктор физико-математических наук Н. В. Шебалин. Нелегкий труд по организации работ и их координации выпал на долю «мозгового центра» Балканского сейсмического проекта — его штаб-квартиры, которую возглавлял известный чехословацкий сейсмолог доктор В. Карник. Балканский сейсмический проект ЮНЕСКО был первым в мировой практике опытом проведения подобных работ.



Прежде чем перейти к описанию принципа работы гамма-телескопа «Елена-Ф», остановимся на назначении некоторых элементов его регистрирующей части.

Конвертор-Рb₀ служит для превращения электрически нейтрального гамма-кванта в одну или несколько заряженных частиц. Это необходимо, так как существующие детекторы, на основе которых и строится каждый гамма-телескоп, способны регистрировать только частицы, обладающие электрическим зарядом. Существует несколько процессов, в которых гамма-квант, взаимодействуя с веществом, дает заряженные частицы. Это — фотоэффект, комптон-эффект и образование электрон-позитронных пар. Эффективность этих процессов тем выше, чем больший (до определенного предела) путь в веществе проходит гамма-квант и чем выше заряд элементов, составляющих это вещество. Эффективность зависит и от энергии гамма-кванта. В гамма-телескопе «Елена-Ф», предназначенном для регистрации гамма-квантов с энергией больше 30 МэВ, преобладает процесс образования электронно-позитронных пар. В качестве конвертора используется свинцовая пластинка толщиной 3 мм. Вероятность конверсии около 25% для гамма-кванта с энергией 200 МэВ.

Сцинтилляционные счетчики — их называют «охранными» — окружают детектирующую часть гамма-телескопа с трех сторон и позволяют изба-

виться от ложных срабатываний прибора. Такие срабатывания могут быть вызваны ливнями частиц, рождающихся в материале орбитального комплекса и попадающих в прибор сбоку. Охранные счетчики фиксируют прохождение таких частиц через гамма-телескоп и исключают возможность его срабатывания от них.

Каждый счетчик состоит из сцинтилляционного радиатора (радиатор, по-латыни, испускающий лучи) и фотоумножителя, «просматривающего» радиатор. При прохождении заряженной частицы через радиатор возникает вспышка света, которая регистрируется фотоумножителем и специальной электронной схемой, на выходе которой появляется электрический сигнал.

Счетчик антисовпадений — один из наиболее ответственных элементов гамма-телескопа. Он расположен над детектирующей частью гамма-телескопа и над конвертором. Детектирующая часть телескопа регистрирует заряженные частицы, но не может различить, родились ли они в конвертере от гамма-кванта или до конвертера были заряженной частицей. Такой сортировкой занимается счетчик С₀. Если через него проходит гамма-квант, он не срабатывает, если заряженная частица, счетчик дает электрический сигнал, который указывает, что в прибор попал не гамма-квант и такое событие не надо регистрировать. В составе первичных космических лучей на один гамма-квант приходится около 10⁴—10⁵ заряженных частиц (примерно 97% протонов и ядер, около 3% электронов и позитронов). Из этого ясно, что счетчик

антисовпадений должен обладать очень высокой эффективностью (не менее 99,999%). Если же эффективность его будет хуже, то он не срабатывает от значительного числа заряженных частиц, которые будут приняты за гамма-кванты.

Газовый черенковский счетчик представляет собой цилиндр высотой 180 мм и внутренним диаметром 80 мм, наполненный газом SF₆ до давления 6 атм. Внутри цилиндра расположено параболическое зеркало, фокусирующее свет, излучаемый заряженной частицей, которая движется через черенковский счетчик на катод фотоумножителя. Если в сцинтилляционном счетчике любая прошедшая через него частица вызывает срабатывание, то газовый черенковский счетчик действует избирательно. Так, в гамма-телескопе «Елена-Ф» газовый черенковский счетчик срабатывает от электронов с энергией порядка 10 МэВ, а протоны могут его запустить, лишь обладая энергией больше 9 ГэВ. Это свойство газового черенковского счетчика позволяет значительно уменьшить влияние фона ядерно-активных частиц на гамма-телескоп.

Вторая особенность газового черенковского счетчика состоит в том, что свет, возникающий при движении заряженной частицы через счетчик, распространяется практически по направлению движения заряженной частицы. Поэтому газовый черенковский счетчик в отличие от сцинтилляционного обладает направленностью — реагирует на частицы, движущиеся в направлении к зеркалу, и не реагирует на частицы, движущиеся в противоположном направлении. Такую же особенность, естественно, приобретает и гамма-телескоп, снабженный газовым черенковым счетчиком.

КАК РАБОТАЕТ ТЕЛЕСКОП?

Гамма-квант, попавший в апертуру гамма-телескопа, проходит через сцинтилляционный счетчик антисовпадений С₀ и не вызывает его срабатывания. Затем в свинцовом конвертере Рb₀ он превращается в электрон-позитронную пару, которая про-

должает двигаться в направлении первичного гамма-кванта через сцинтилляционные счетчики и газовый черенковский счетчик. Эти счетчики срабатывают. При этом электронная схема прибора отмечает факт одновременного (в пределах 50 нс) срабатывания счетчиков C_1 , $Ч$, C_2 и счетчиков C_1 , $Ч$, C_3 и отсутствия сигнала со счетчика C_0 . Такая комбинация сигналов с отдельных детекторов гамма-телескопа и означает регистрацию им гамма-кванта. Сигнал об этом поступает в систему записи информации.

Как показал расчет параметров гамма-телескопа «Елена-Ф» и его калибровка на пучке «меченых» гамма-квантов на электронном ускорителе Физического института АН СССР, срабатывание счетчиков C_1 , $Ч$, C_2 и не срабатывание C_0 (будем обозначать такое событие $\bar{C}_0 C_1 Ч C_2$) вызываются гамма-квантами с энергией больше 30 МэВ. События $\bar{C}_0 C_1 Ч C_3$ вызывают гамма-кванты с энергией больше 50 МэВ.

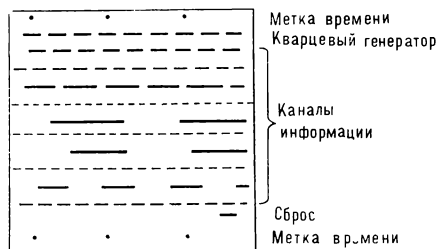
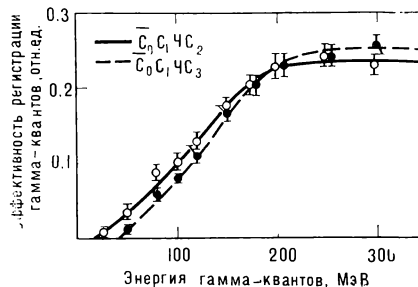
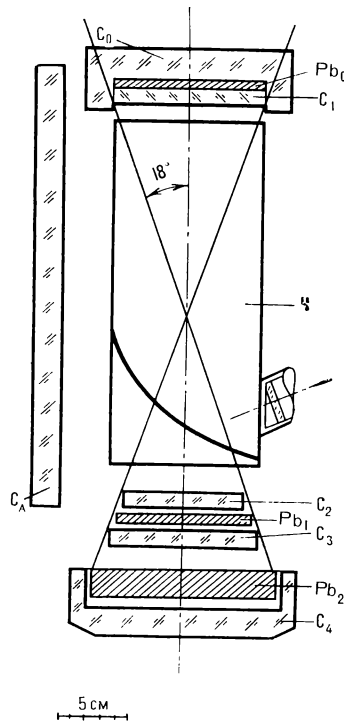
События $\bar{C}_0 C_1 Ч C_2 \bar{C}_3$ (электрон-позитронная пара поглотилась в фильтре Pb_1 и не дошла до счетчика C_3) дают гамма-кванты с энергией 30—300 МэВ, а события $\bar{C}_0 C_1 Ч C_3 C_4$ — гамма-кванты с энергией 50—500 МэВ.

Если в телескоп попадает электрон, характер его прохождения через прибор аналогичен тому, что и в случае гамма-кванта, с той лишь разницей, что срабатывает и счетчик C_0 . Поэтому события $C_0 C_1 Ч C_2 \bar{C}_3$ и $C_0 C_1 Ч C_3 \bar{C}_4$ вызываются электронами с энергией 30—300 МэВ и 50—500 МэВ, соответственно.

События $C_0 C_1 Ч C_2$ и $C_0 C_1 Ч C_3$ вызываются электронами с энергией больше 30 МэВ и больше 50 МэВ, соответственно, и протонами с энергией больше 9 ГэВ.

В телескопе также регистрируются срабатывания счетчика C_0 , которые происходят при прохождении через него заряженных частиц с энергией больше нескольких МэВ.

Гамма-телескоп ведет также счет всех перечисленных типов событий с учетом того, сработал ли «охранный» счетчик C_A или нет. Например,



события $\bar{C}_0 C_1 Ч C_2 \bar{C}_A$ и $\bar{C}_0 C_1 Ч C_3 \bar{C}_A$. Это позволяет не только получить более достоверные данные о потоке гамма-квантов и электронов, но и оценить количество ливневых событий внутри орбитального комплекса. Записываемая информация имеет вид штриховых линий, где каждый штрих или интервал соответствует определенному числу набранных событий. Привязка во времени осуществляется с помощью меток, наносимых по краям пленки через каждые 1,5 минуты, и с помощью отметки на отдельной дорожке в момент включения телескопа. Запаса пленки хватает на 20 часов непрерывной работы.

ПРОГРАММА И РЕЗУЛЬТАТЫ

Программа работы гамма-телескопа «Елена-Ф» на борту орбитального комплекса «Салют-6» — «Союз-32» — «Прогресс-5» предусматривала три серии измерений.

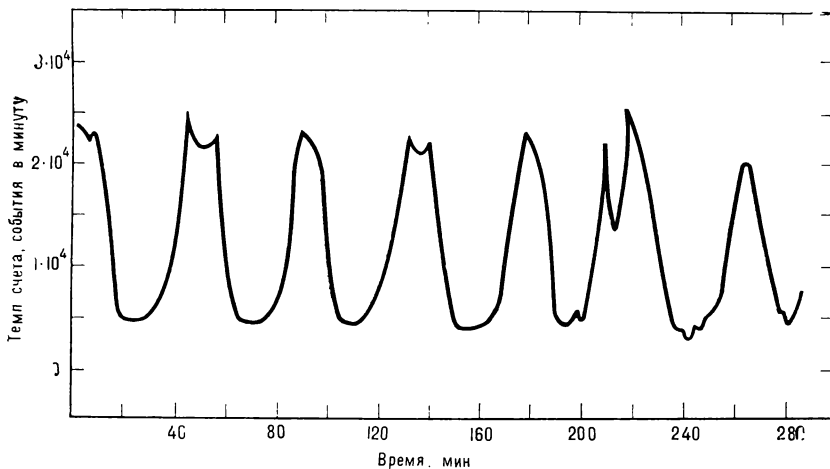
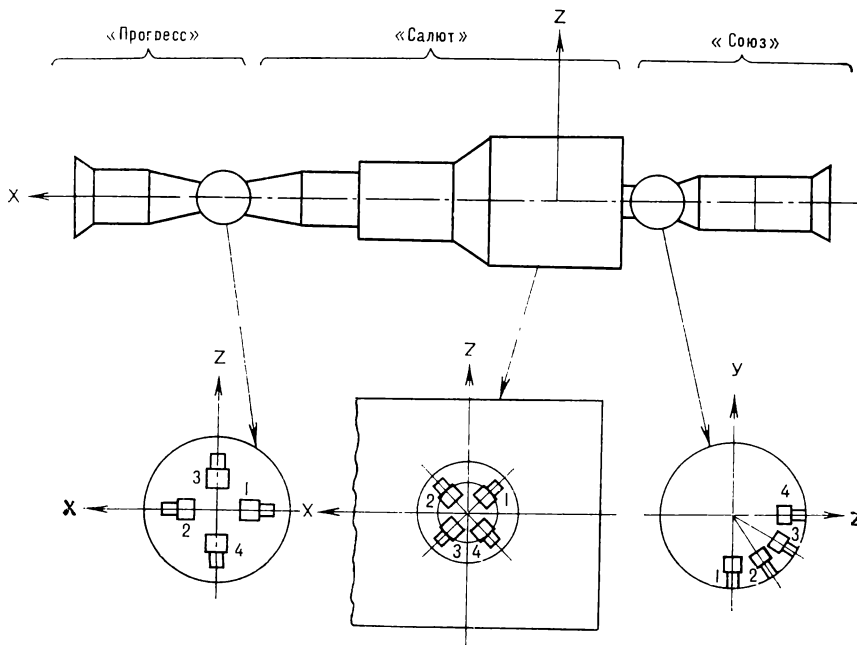
Измерение фоновых потоков в грузовом корабле «Прогресс» для четырех положений прибора 1, 2, 3, 4. При работе в положении 1 и 2 телескоп «смотрит» вдоль продольной оси комплекса и в него попадает наибольшее количество частиц. Именно с этих направлений ожидался наибольший поток фоновых частиц. Продолжительность работы прибора в каждом положении 10 часов.

Измерение фоновых потоков в орбитальной станции в положении 1, 2, 3, 4. Как во время измерений на «Прогрессе-5», так и на «Салюте-6» специальной ориентации комплекса не делали.

Схема регистрирующей части гамма-телескопа. C_0 — счетчик антивсепадений, C_1 , C_2 , C_3 , C_4 — сцинтилляционные счетчики, Pb_0 — конвертор, $Ч$ — черенковский счетчик, C_A — «охранный» сцинтилляционный счетчик, Pb_1 , Pb_2 — свинцовые фильтры (поглотители)

Зависимость эффективности регистрации гамма-кванта от его энергии

Образец фотопленки



■ *Схема проведения эксперимента «Гамма-фон» на орбитальном комплексе «Салют» — «Союз» — «Прогресс»*

■ *Зависимость темпа счета заряженных частиц гамма-телескопа «Елена-Ф» от времени*

Измерение потоков гамма-квантов от Земли. Эти измерения проводились в дни, когда комплекс находился в режиме орбитальной ориентации. Телескоп устанавливался в одно из четырех положений в бытовом отсеке. Места установки телескопа были выбраны так, чтобы толщина стенки бытового отсека перед телескопом была минимальной.

Анализ полученных пленок показал, что гамма-телескоп «Елена-Ф» нор-

мально работал в течение всей экспедиции. В настоящее время завершён первый этап обработки информации. Получена зависимость темпа счета в каждом регистрирующем канале от времени. Периодическое изменение темпа счета связано с тем, что по мере движения от экватора к северным или южным широтам возрастает поток первичных космических лучей, что приводит к возрастанию потока вторичных частиц внутри орбитального комплекса.

Найдено соотношение фоновых потоков гамма-квантов и электронов от различных частей орбитального комплекса. Величины потоков от агрегатного отсека корабля «Союз-32», орбитальной станции «Салют-6» и наиболее тонкой стенки корабля «Союз-32» относятся как 2 : 1,5 : 1.

Дальнейшая обработка должна выявить абсолютную интенсивность потоков гамма-квантов, электронов и заряженных частиц, зависимость интенсивности от геомагнитной широты, высоты, положения гамма-телескопа в пространстве, состояния магнитной обстановки.

Несомненно, что вся полученная в эксперименте «Гамма-фон» информация послужит дальнейшему расширению наших знаний о ближайшем космическом пространстве.



Доктор физико-математических наук
И. В. ЭСТУЛИН

Всплески гамма-излучения

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ

Военное ведомство США субсидировало запуск спутников серии «Вела», оборудованных детекторами рентгеновского и гамма-излучения. В полете находились одновременно от двух до четырех спутников для того, чтобы по времени прихода излучения с помощью нескольких спутников определить место наземного источника («Земля и Вселенная», 1979, № 6, с. 80. — Ред.).

Среди сигналов, обнаруженных спутниками «Вела» в виде гамма-излучения с энергией в интервале 0,1—1 МэВ, оказались и такие, которые нельзя связать ни с земными, ни с солнечными явлениями. Детекторы гамма-излучения в произвольный момент времени отмечали повышение числа импульсов длительностью 1—50 секунд, а затем восстанавливался исходный уровень счета. Сигнал во времени не был постоянным и имел несколько максимумов. Было доказано, что сигналы поступают из глубин Вселенной. Сообщение о необычном явлении научные журналы опубликовали в конце 1973 года. Явление назвали **гамма-всплесками**. В связи с новыми данными была пересмотрена информация, полученная с американских и советских исследовательских спутников IMP-6, OGO-5, «Космос-461», OSO-7, работавших одновременно со спутниками «Вела». Оказалось, что они тоже обнаружили гамма-всплески.

Открытие гамма-всплесков вызвало множество вопросов: сколько таких событий? что является источником гамма-излучения? На Земле лишь ускорители частиц, да радиоактивные

Космические аппараты дали возможность исследовать излучения, не проникающие сквозь толщу земной атмосферы. В последние годы благодаря этому были открыты всплески гамма-излучения. В настоящее время достоверно зафиксировано около 90 всплесков.

изотопы дают подобное излучение. Предстояло детально исследовать всплески гамма-излучения, приходящего из космоса. Начиная с 1975—1977 годов космические аппараты стали оборудовать специальными приборами для регистрации гамма-всплесков.

ГДЕ НАХОДЯТСЯ ИСТОЧНИКИ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ?

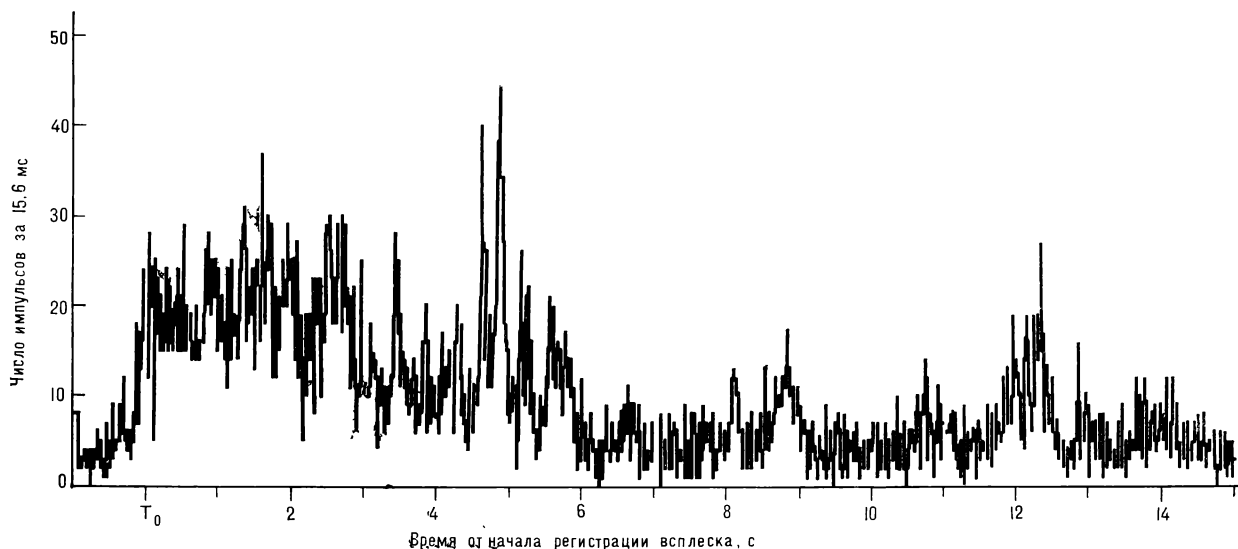
На космических аппаратах были зарегистрированы всплески гамма-излучения с энерговыделением вблизи Земли, равным 10^{-5} — 10^{-4} эрг/см². Сравним эту величину с интенсивностью аналогичного излучения, поступающего к Земле во время вспышек на Солнце: в области жесткого рентгеновского излучения около Земли наблюдается такое же энерговыделение, как и во время гамма-всплеска, а при самых мощных вспышках на Солнце зарегистрировано энерговыделение на уровне 0,1 эрг/см². Но Солнце находится от Земли на расстоянии 150 млн. км, а ближайшие источники гамма-всплесков, — по-видимому, на расстоянии 30 пс, или 10^8 млн. км. Если предположить, что излучение поступает от таких объ-

ектов изотропно, то источник гамма-всплеска выделит 10^{38} эрг, что почти в миллион раз превосходит энергию жесткого рентгеновского излучения самой мощной вспышки на Солнце. Если же источники располагаются в других галактиках (на расстояниях порядка 10 млн. пс), то при всплеске выделяется энергия порядка 10^{48} эрг. Это близко к энергии катастрофических взрывов звезд. В каком же процессе испускается только гамма-излучение? Ведь во всех известных процессах большая часть энергии расходуется на кинетическую энергию и лишь одна сотая или даже тысячная часть полной энергии переходит в гамма-излучение.

В последнее время с помощью наземных оптических телескопов обследовались отдельные участки неба, где были локализованы источники всплесков гамма-излучения. Заметных изменений в звездных объектах не обнаружено. Совокупность наших знаний о гамма-всплесках указывает, что их источники, скорее всего, находятся в нашей Галактике.

СВОЙСТВА ГАММА-ВСПЛЕСКОВ

Частота всплеска гамма-излучения (число событий в год) зависит от энерговыделения около Земли. Для энерговыделений 10^{-4} эрг/см² — три события в год, для 10^{-5} эрг/см² — 30, а для 10^{-6} эрг/см² — 170. Цифры могут несколько измениться в процессе дальнейших исследований. Событий с энерговыделением вблизи Земли больше $5 \cdot 10^{-4}$ эрг/см² пока не отмечено. Однако нет оснований считать это значение предельным. Явление носит случайный характер, и поэтому



вероятность больших энерговыделений крайне мала. А могут ли быть события с энерговыделением вблизи Земли на уровне 10^{-8} — 10^{-7} эрг/см²? Это не исключено, так как источники гамма-всплесков находятся от нас на разных расстояниях. Но при изучении слабых гамма-всплесков возникают большие экспериментальные трудности. Всплески с энерговыделением 10^{-6} эрг/см² начали достоверно фиксировать лишь в конце 1978 года автоматические станции «Венера-11» и «Венера-12» прибором «Конус». Для регистрации событий на уровне 10^{-8} эрг/см² понадобится аппаратура, значительно более чувствительная, чем использовалась до настоящего времени.

ВРЕМЕННОЙ ХОД ВСПЛЕСКОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

События, подобные приведенному на рисунке, встречаются один раз в 1,5 года. Рассматриваемый гамма-всплеск был зарегистрирован космическими аппаратами «Венера-11», «Венера-12», «Прогноз-7», ISEE-C, «Вела», «Пионер-Венера», «Гелиос-2».

На рисунке отчетливо выделяются отдельные импульсы (их не менее 25). Разрешающее время прибора 15,6 мс, естественная ширина импульсов Δt порядка 40 мс. Естественную

ширину импульсов связывают с максимальными размерами области (D), из которой поступает излучение:

$$D = \Delta t \cdot c = 12\,000 \text{ км},$$

где c — скорость света. Возможные размеры области по порядку величины не превышают размеров Земли.

При слабых гамма-всплесках статистические флуктуации затрудняют выделение отдельных импульсов. Кроме того, длительность событий изменяется от 0,25 до 80 секунд. У некоторых гамма-всплесков, по-видимому, наблюдаются предвсплесковые события за несколько секунд до основного массива импульсов. Характерный временной ход гамма-всплеска — отдельные узкие импульсы.

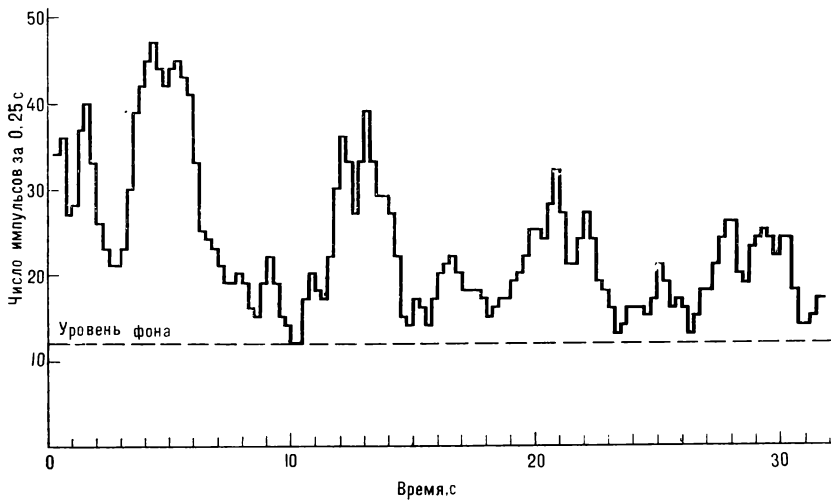
Энергетический спектр был восстановлен для одного из первых зарегистрированных всплесков гамма-излучения. Всплеск 14 мая 1972 года зафиксировали сразу несколько космических аппаратов («Вела», IMP-6, OSO-7), где функционировали прибо-

ры, измеряющие жесткое рентгеновское излучение в разных энергетических диапазонах. Совокупность этих результатов позволила изучить спектр события в интервале энергий от 10 кэВ до 1 МэВ.

С той поры стали известны энергетические спектры многих всплесков гамма-излучения. В первом приближении спектр описывается степенной функцией $E^{-\alpha}$, где E — энергия гамма-излучения, α — показатель спектра. Для разных событий α изменяется в интервале 1—3. Энергетический спектр гамма-всплеска 19 ноября 1978 года, о котором мы уже говорили, простирается за 2,7 МэВ (2,7 МэВ — граничная энергия шкалы прибора). В области энергий 25—250 кэВ сосредоточено энерговыделение $0,5 \cdot 10^{-4}$ эрг/см², в области энергий 0,27—2,7 МэВ — $2,5 \cdot 10^{-4}$ эрг/см². Во время события спектр изменялся и становился более «мягким» (показатель α увеличивался). Наиболее полно обычно удается изучить спектры мощных гамма-событий.

Всплеск гамма-излучения 5 марта 1979 года. Необычный всплеск гамма-излучения наблюдался 5 марта 1979 года в 15 часов 52 минуты UTC на советских автоматических станциях «Венера-11», «Венера-12», «Прогноз-7» и других космических аппаратах. За время меньше 0,01 секунды интен-

■ *Типичный временной ход гамма-всплеска. Это событие зарегистрировано станцией «Венера-12» в советско-французском эксперименте 19 ноября 1978 года. $T=9$ ч 28 мин 29,408 с UTC. Энерговыделение гамма-всплеска $3 \cdot 10^{-4}$ эрг/см², длительность события 16 секунд*



сивность излучения в области 0,1—1,5 МэВ более чем в 400 раз превысила фоновое значение и достигла мощности ($\text{эрг}/\text{см}^2\text{с}$), в 50 раз превышающей мощность других всплесковых событий. Затем за 0,2 секунды главный импульс закончился.

Через 4 секунды после главного импульса наблюдались пульсации гамма-излучения с периодом 8 секунд. Вероятно, произошла вспышка рентгеновского пульсара, вызванная взрывным процессом. По-видимому, на нейтронную звезду упало вещество массой примерно 10^{22} г (кратковременная аккреция вещества) или произошло извержение на поверхности звезды. Для локализации нового рентгеновского пульсара использовалась информация с советских и американских аппаратов. В результате найден участок, где расположен источник с угловыми размерами $4'' \times 1'$.

Источник находится в южной части неба, в районе Большой Магелланова Облака, вблизи северной окрестности туманности N 49. Туманность N 49 — остаток сверхновой, претерпевшей взрыв 10 000 лет тому назад. Если пульсар находится в остатках сверхновой N 49 (расстояние 55 кпс), то во время взрыва, гамма-излучение которого зарегистрировано 5 марта

Пульсации гамма-излучения с энергией 160—200 кэВ, зарегистрированные после главного импульса 5 марта 1979 года станцией «Венера-12»

1979 года, в источнике выделилась громадная энергия — больше $3,5 \cdot 10^{43}$ эрг. Это затрудняет теоретическое истолкование события. Нельзя исключить маловероятное предположение о случайном совпадении местоположения источника всплеска с остатками сверхновой N 49.

ДАЛЬНЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Уже более пяти лет проводятся специальные исследования по обнаружению гамма-всплесков. Получено много фактического материала, однако до сих пор остается загадочной природа источников гамма-всплесков.

Главная очередная задача исследований всплесков гамма-излучения состоит в отыскании класса объектов, ответственных за эти всплески. Нужно найти объекты, способные в короткое время выделить значительную энергию в виде гамма-излучения с присутствием именно этому гамма-всплеску временным ходом. Рассматриваемая задача решается локализацией источника гамма-всплеска на небе. Для этой цели, как правило, измеряют время прихода всплеска на разные космические аппараты. Впервые были получены участки на небе («боксы») размером в несколько угловых градусов, а в одном квадратном градусе — до тысячи звезд. Нелегко найти среди них звезду, которая подала сигнал.

Пока лишь в отдельных случаях достигнута точность порядка $2-10'$.

Однако событий, локализованных с подобной точностью, немного. В выделенных участках неба не удалось найти «кандидатов» в источники гамма-всплесков. Необходимо добиться локализации на небе большего числа источников. Эта программа может быть успешно выполнена лишь при наличии информации со многих космических аппаратов, то есть при международном сотрудничестве экспериментаторов и теоретиков.



РЕНТГЕНОВСКИЕ ИСТОЧНИКИ В СКОПЛЕНИЯХ

Первый рентгеновский источник в шаровом звездном скоплении был открыт в 1975 году, сейчас их известно восемь («Земля и Вселенная», 1977, № 2, с. 44—45.—*Ред.*). С момента их открытия не утихают споры о том, излучают ли в рентгеновском диапазоне массивные черные дыры (100—1000 масс Солнца), расположенные в центре скоплений, или нейтронные звезды в немассивных двойных системах. Сторонники гипотезы о массивной черной дыре исходили из того, что рентгеновские источники находятся в центрах шаровых скоплений. Если бы масса источника оказалась меньше солнечной, то его с гораздо большей вероятностью можно было бы обнаружить где-нибудь на периферии скопления, а не в центре. Это — веский аргумент, основанный на расчетах динамики скоплений, но уверенности, что рентгеновские источники действительно расположены в центрах скоплений, все же не было. Ведь несколько лет назад приборы еще не могли достаточно точно определять координаты источников. Такая возможность появилась с запуском спутников SAS-3 и HEAO-1-2.

Приборы спутника SAS-3 в 1975—1977 годах провели серию наблюдений рентгеновских источников в пяти шаровых скоплениях. Координаты источников определялись с точностью $20-30''$ — это значительно меньше, чем диаметры шаровых скоплений. Оказалось, что во всех пяти скоплениях источники находят-

ся вблизи их центров. Американские ученые Д. Джерниган и Д. Кларк сделали отсюда вывод, что масса рентгеновского источника, по крайней мере, больше, чем средняя масса звезд в скоплении, равная 0,8 солнечной. Наблюдения на спутниках HEAO-1 и -2 должны дать окончательный ответ на вопрос: есть ли в шаровых скоплениях массивные черные дыры.

«Astrophysical Journal Letters», 1979, 231, 3.

РЕНТГЕНОВСКАЯ ВСПЫШКА НОВОЙ ЗВЕЗДЫ

Временные рентгеновские источники (рентгеновские Новые) внешне похожи на оптические Новые звезды — их блеск в рентгеновском диапазоне так же быстро возрастает и так же медленно гаснет, как и блеск обычных Новых звезд. Однако никому еще не удавалось обнаружить рентгеновскую вспышку оптической Новой звезды. Предполагалось, что когда вспыхивает такая звезда, рентгеновское излучение не возникает. Один из компонентов обычной Новой — белый карлик, а рентгеновской Новой — нейтронная звезда. Поэтому при вспышке рентгеновской Новой плазма нагревается сильнее и излучает в рентгеновском диапазоне.

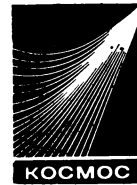
Английские ученые, ведущие эксперимент на спутнике «Ариэль-5», обнаружили 19 июня 1978 года рентгеновскую вспышку в области, где находится Новая звезда GK Персея. Известно, что это — двойная система с орбитальным периодом 0,685 дня. Рентгеновский источник наблюдался до 13 июля 1978 года, а затем исчез. Но может быть, рентгеновская вспышка лишь случайно совпала по координатам с GK Персея?

Английские ученые А. Кинг, М. Рикетс и Р. Варвик обратились к своему американскому коллеге Дж. Маттеи, который ведет наблюдения Новых звезд. Оказалось, что в течение 1978 года GK Персея несколько раз увеличивала яркость на 1—2 звездные величины, причем продолжительность каждой такой мини-вспышки достигала 50 дней. Одна из вспышек, как сообщил Дж. Маттеи, началась в первых числах июля и закончилась 13 июля. Связь оптической и рентгеновской вспышек стала несомненной. По мнению английских ученых, белый карлик в системе GK Персея обладает сильным магнитным полем (более 100 000 Гс), из-за чего спектр излучения и смещается в рентгеновскую область.

«Monthly Notices of Royal Astronomical Society», 1979, 187, 6.

Б. А. ПОКРОВСКИЙ

Земные штурманы космических кораблей



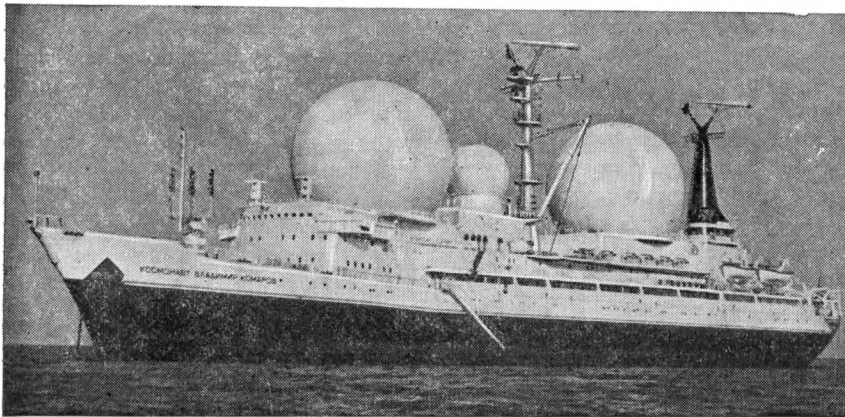
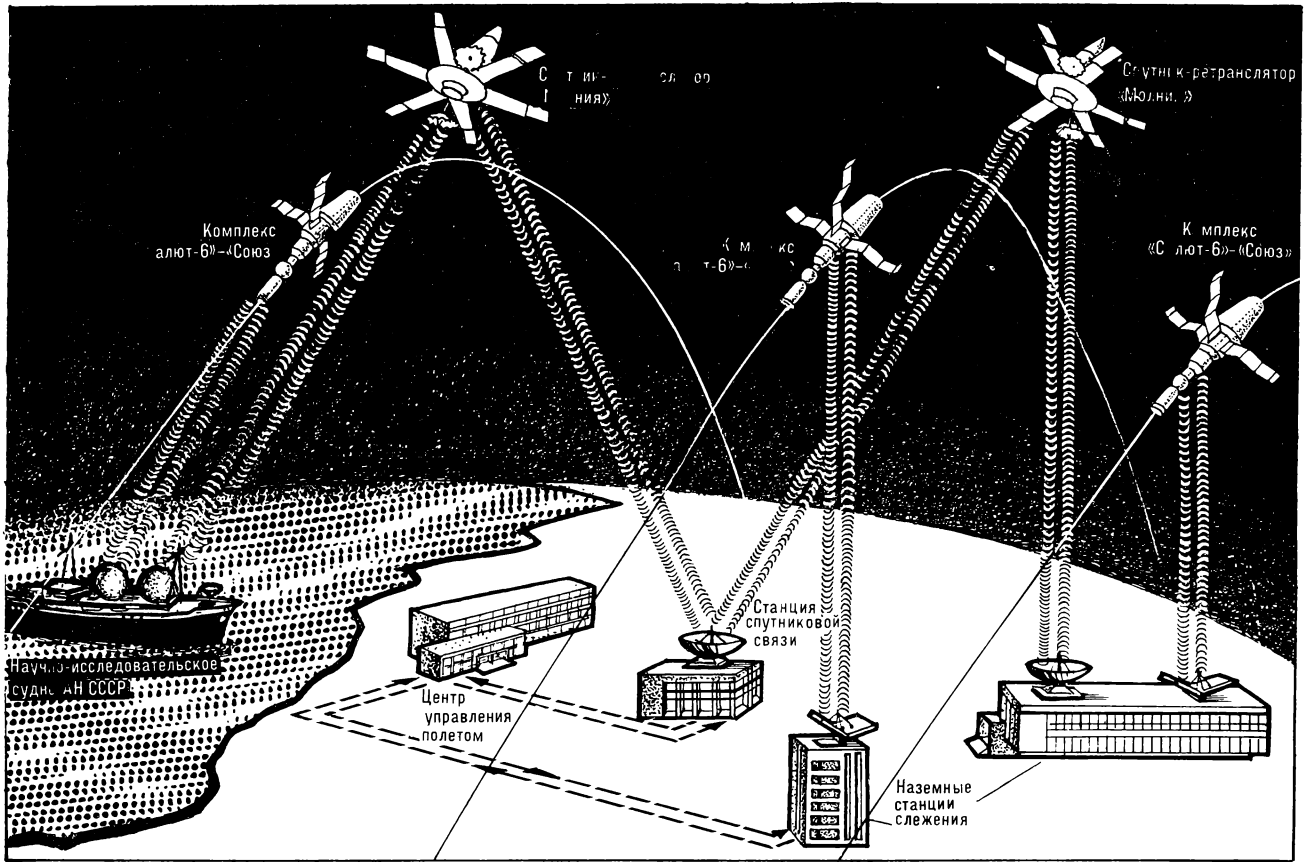
Управление полетом орбитальных станций, пилотируемых и автоматических космических аппаратов, прием и обработку поступающей от них информации ведет Центр управления полетом.

НА СУШЕ И НА МОРЕ

Связь между орбитальной станцией и Центром управления полетом осуществляется через многочисленные радиотехнические средства командно-измерительного комплекса. Если бы Центр управления полетом поддерживал прямую связь со станцией, то в течение суток можно было бы провести примерно четыре сеанса по 5—7 минут. А этого явно недостаточно для того, чтобы получать со станции необходимый поток информации и оперативно управлять полетом. В ходе полета пилотируемых космических аппаратов отнюдь не требуется непрерывная связь, но возможность выхода космонавтов на связь с Землей должна быть постоянной. С этой целью наземные измерительные пункты и станции слежения размещены на территории Советского Союза так, чтобы их зоны радиовидимости перекрывали как можно большее пространство, в котором летают спутники. Однако для этой цели даже громадная территория нашей страны оказалась недостаточной. Поэтому на помощь наземным станциям пришли научно-исследовательские суда Академии наук СССР. Многоотонные зеркала их антенных систем во время работы всегда направлены в заданную точку, движущуюся в кос-

мосе. Точность наведения антенн обеспечивается специальной аппаратурой, которая с помощью счетно-решающих устройств и системы приводов удерживает зеркала в нужном направлении. Перед запуском пилотируемых космических кораблей, орбитальных и межпланетных станций суда занимают заранее определенные места в акватории Мирового океана. Связь, например, с «Салютом-6» вне зон радиовидимости с территории СССР поддерживают, как правило, шесть-семь судов звездной флотилии. Ее флагман «Космонавт Юрий Гагарин» и новый корабль «Космонавт Владислав Волков» работали в Атлантике, ветеран флотилии «Космонавт Владимир Комаров» — в Средиземном море и т. д.

Плавучим измерительным комплексам нередко приходится выполнять свои обязанности в сложных метеорологических условиях. Так случилось 11 и 20 декабря 1977 года. По программе флагман должен был следовать: в первом случае — за стыковкой корабля «Союз-26» со станцией «Салют-6», а во втором случае — за подготовкой систем станции к выходу Г. М. Гречко в открытый космос, а Ю. В. Романенко — в разгерметизированный отсек и поддерживать с ними связь во время этих операций. Но океан, не посчитавшись с задачей космической программы, разбушевался. Моряки мужественно боролись с ураганом. В аппаратных залах закрепили все, что можно было закрепить. Сами с трудом держались на ногах. Необходимо было еще следить и за тем, что делается на палубе: не повредились ли наружные конструкции антенных систем. Ценой немалых усилий морякам удалось



удержать суда в расчетных точках и провести сеансы связи с космонавтами. Во время третьей экспедиции 15 марта 1979 года в условиях сильнейшего шторма «Космонавт Владимир Комаров» проводил сеанс связи с экипажем «Салюта-6» — В. А. Ляховым и В. В. Рюминым. Какая же порой напряженная и мужественная работа скрывается за скупыми строками сообщений ТАСС о том, что «с научно-исследовательским комплексом «Салют-6» — «Союз» поддерживается устойчивая радиосвязь»!

КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

Перед запуском космического аппарата ученые готовят **программу и баллистический проект полета**. На ЭВМ они рассчитывают время старта носителя, отделения от него

Принципиальная схема связи Центра управления полетом с орбитальным научно-исследовательским комплексом «Салют-6» — «Союз»

Научно-исследовательское судно АН СССР «Космонавт Владимир Комаров»

космического аппарата, стыковки, расстыковки, а перед полетом кораблей «Союз-31» и «Союз-34» и перестыковки в космосе, включения тормозной двигательной установки для схода корабля с орбиты на траекторию посадки, намечают схемы маневров, а также определяют пути движения в космосе — орбиты. Множество факторов приходится учитывать при этом. И все же, космические корабли летят по орбитам, лишь «близким к расчетным».

Для определения и прогнозирования орбит, а также для их коррекции, измерительных данных, полученных в одной точке земного шара, недостаточно. Точность определения орбит существенно возрастает при использовании результатов измерений, произведенных в нескольких удаленных друг от друга точках. Например, в работе со станцией «Салют-6» участвуют до семи станций слежения, расположенных в разных районах страны. Орбитальная информация с наземных и морских станций слежения по автоматизированному каналу связи (в том числе и через спутники-ретрансляторы) передается в Центр управления полетом. Там главная баллистическая группа на быстродействующих ЭВМ определяет фактическую орбиту, «накладывает» ее на расчетную и в зависимости от результатов сравнения принимает решения о целесообразности коррекции орбиты, ее соответствии (или несоответствии) условиям стыковки, включения тормозной двигательной установки и т. д.

Чтобы передавать указания баллистиков о коррекции орбит и многочисленные управляющие команды исполнительным механизмам, устройствам, системам жизнеобеспечения космического аппарата, закладывать в их бортовую автоматику очередные программы или изменять ранее заложенные, используются командные и программно-командные радиолинии.

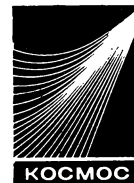
На Земле эти линии состоят из аппаратуры формирования команд, число которых при различных комбинациях может достигать нескольких сотен, передающей аппаратуры с антенными устройствами и приемных средств для получения и регистра-

ции подтверждений о прохождении команд на борт космического аппарата. На космическом аппарате — это приемо-передающая, регистрирующая аппаратура и «распределительное» устройство, направляющее полученные с Земли команды бортовым исполнительным механизмам. Из-за различных помех или ошибок команда может быть искажена. Поэтому поступившая на борт команда контролируется Землей, для чего бортовое передающее устройство посылает на Землю подтверждение о приеме и содержании команды.

Но прежде чем подать ту или иную команду, руководители полета должны быть уверены, что соответствующие системы и приборы — исполнители этих команд — исправны, готовы к работе и что на борту «все в норме». Такие сведения и составляют телеметрическую информацию.

В зависимости от заранее разработанной программы она может «выдаваться с хода», то есть непосредственно во время пролета над наземным или корабельным измерительным пунктом, или «запоминаться» бортовыми приборами, а потом в очередные сеансы связи передаваться на Землю. В необходимых случаях информация может быть запрошена и вне очереди. Полученная измерительным пунктом информация переправляется в информационно-вычислительный комплекс Центра управления полетом.

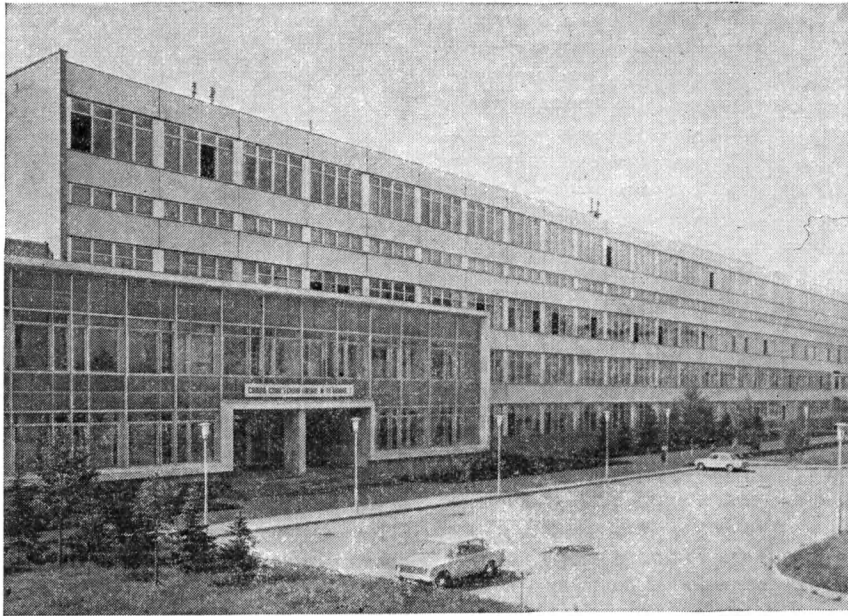
В ряде случаев информация обрабатывается непосредственно на измерительных пунктах, и тогда в Центр управления полетом по его запросу передаются лишь значения требуемых параметров. Количество информации, обрабатываемой на наземных пунктах, составляет 10—20% от общего объема, поступившего от комплекса «Салют-6» — «Союз». На его борту более трех с половиной тысяч телеметрических датчиков. Каждый из них передает на Землю информацию о контролируемых им параметрах с частотой от одного раза в минуту до 100 раз в секунду. За один сеанс связи с комплекса поступает информация общим объемом около 100 млн. двоичных единиц. Подсчитано, что за месяц полета орбитального комплекса в



Центр управления поступает поток информации, соответствующий по объему количеству печатных знаков в «подшивке» журнала «Земля и Вселенная» за ... 15 000 лет!

Телеметрическую информацию условно можно разделить на три части: сведения о медико-биологическом контроле здоровья космонавтов и функционировании систем жизнеобеспечения станции, транспортных кораблей и космического комплекса в целом; информация о научных, технических и народнохозяйственных экспериментах и исследованиях, проводимых на борту комплекса; данные о работе оборудования, аппаратуры и о состоянии конструкций самого комплекса.

Телеметрическая информация после машинной обработки тщательно анализируется специалистами группы диагностики систем космического аппарата. В случае каких-либо отклонений даются рекомендации по восстановлению штатного функционирования приборов или вводу дублирующих. Так случилось, например, 11 апреля 1979 года, когда было обнаружено отклонение в режиме работы сближающе-корректирующей двигательной установки корабля «Союз-33». Как известно, стыковку корабля с комплексом «Салют-6» — «Союз-32» пришлось отменить. Для возвращения экипажа на Землю была использована резервная двигательная установка «Союза-33». Так непосредственно в ходе полета используется оперативно обрабатываемая информация. Есть еще и полная ее обработка. Она осуществляется как во время полета, так и после его завершения. Результаты углубленного анализа ученые и кон-



структуры используют при заключительной оценке космической техники, проектировании новых образцов, а также при разборе нештатных ситуаций.

Полученная и обработанная информация не представляла бы научной ценности, а команды, выданные на борт космических аппаратов, не смогли бы обеспечить надежное управление полетом, работой бортовых систем, наземных и морских комплексов, если бы все эти команды и информация не были «привязаны» к точному единому времени (± 1 секунда за 10 000 лет). Для этого на всех наземных и морских станциях слежения имеется служба единого времени. Ее «метки» накладываются на все виды регистрируемой информации, которая лишь после этого обрабатывается и анализируется. Кроме упоминавшихся видов обмена информацией, с пилотируемыми аппаратами поддерживается радиосвязь. Впервые такие переговоры состоялись 12 апреля 1961 года, когда по приемопередающей радиостанции «Заря» С. П. Королев разговаривал с «Кед-

ром» — первым космонавтом планеты. Давно эта радиостанция заменена новой, более совершенной, но в память о тех первых в истории радиопереговорах по линии Земля — Космос — Земля позывной «Заря» сохраняется Центром управления полетом и поныне.

В августе 1962 года родилось советское космовидение. Миллионы телезрителей тогда впервые увидели на голубых экранах передачи из космоса с легендарных «Востоков», на которых совершили первый в мире групповой полет А. Г. Николаев и П. Р. Попович. Приняв изображения из космоса, наземный измерительный пункт «раздваивает» их — выводит для контроля качества приема на свои мониторы и передает в Центр управления полетом. Там изображения тоже размножаются — демонстрируются на большом экране в главном зале, на мониторах на рабочих местах специалистов, а наиболее интересные по каналам связи передаются на Московский телецентр. Телецентр делает их достоянием широкой аудитории.

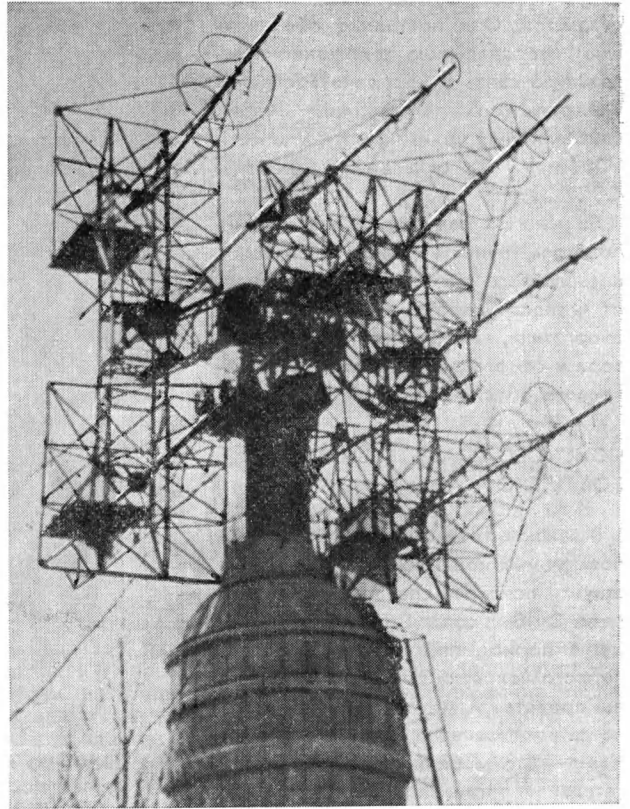
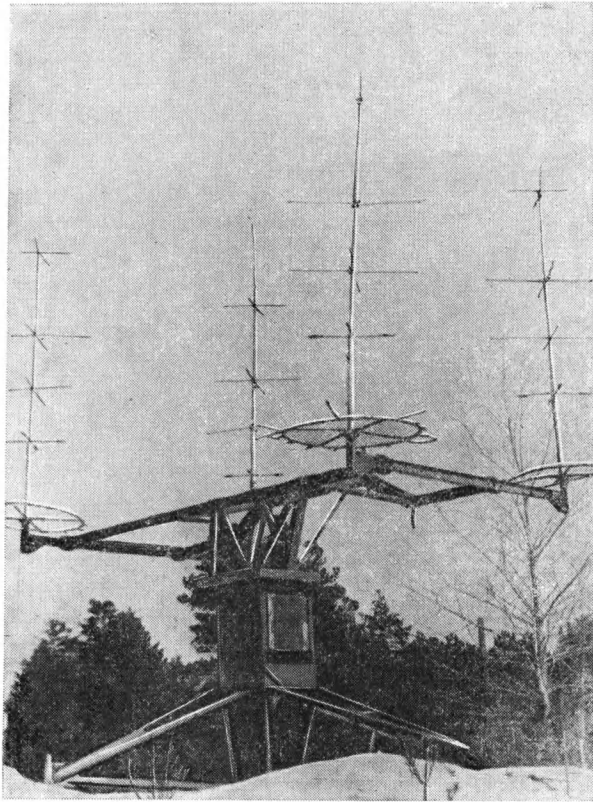
С любого наземного измерительного пункта можно по телевидению передать в ЦУП таблицы, графики, текст. Их легко прочитать на экране Центра управления полетом: разрешающая

способность «космовизоров» существенно выше, чем бытовых приемников. Кроме того, наблюдения за работой, поведением и внешним видом космонавтов в совокупности с телеметрической информацией позволяют составить более полное представление об их здоровье и самочувствии. Очень важно и психологическое значение такого общения, особенно теперь, когда длительность космических полетов измеряется многими месяцами. Новый этап в развитии советского и мирового космовидения начался в марте 1979 года — впервые в истории космонавтики с орбитальным комплексом была установлена двусторонняя телевизионная связь. Для этого использовались штатные и вновь созданные средства командно-измерительного комплекса. А специально разработанный телеприемник был доставлен на борт комплекса «Салют-6» — «Союз-32» грузовым кораблем «Прогресс-5». Телевидение помогает и технические вопросы решать оперативнее, чем радио. Помнится, во время одного из телерепортажей Г. М. Гречко доложил, что в каком-то вспомогательном приборе отказала деталь. «Заря» попросила снять ее с прибора и показать. На экране появилась неисправная деталь. Осмотрев ее, специалисты сразу дали необходимые рекомендации.

Мы в общих чертах рассмотрели схему работы и функциональных связей с космическим аппаратом Центра управления полетом через один «типовой» наземный измерительный пункт. Но в командно-измерительном комплексе не один пункт и не одна станция слежения. И работают они не с одним, а одновременно с десятками космических аппаратов. Как же распределить между ними время использования наземных и морских средств, чтобы в полном объеме, качественно и своевременно принималась и обрабатывалась информация и чтобы техника вовремя проходила профилактическое обслуживание и ремонт?

Учитывая наличие и состояние наземных средств слежения, задачи программ полета и непрерывно меняющуюся космическую обстановку, специалисты группы координации

■
Главное здание Центра управления полетом



распределяют время, очередность и порядок взаимодействия наземных и морских средств с космическими аппаратами. При этом «зеленая улица» всегда предоставляется пилотируемым космическим аппаратам. Если возникает внеплановая необходимость связаться с ними, когда нужна для этого наземная станция занята работой с автоматическим аппаратом, то вводится в действие резервная однотипная станция, а если занята и она (бывают и на Земле перегрузки), то спутник-автомат «укладывают в дрейф». На следующих витках он «довыдаст» или «дополучит» то, чего не успел...

В управлении полетом, в руководстве работой наземных и корабельных средств слежения и в обработке громадных потоков информации все возрастающую роль играет математическое обеспечение.

Исключительно важное значение в управлении полетом, особенно пилотируемых кораблей, и во взаимодей-

ствии средств слежения с Центром управления полетом и с космическими аппаратами имеет служба связи. Она организует и обеспечивает эксплуатацию наземно-космических средств связи, в состав которых входят спутники-ретрансляторы, мощные передающие устройства, антенные системы, пункты спутниковой связи, радио- и кабельные автоматизированные линии. Перед запуском пилотируемых кораблей и орбитальных станций на основании программ их полета уточняется схема связи. Схемой предусматривается размещение,

■ *Эта антенна первой на Земле приняла голос Юрия Гагарина из космоса*

■ *Антенна телевизионной системы, принявшая репортаж о «космической прогулке» летчика-космонавта СССР А. А. Леонова*

состав, число средств, направления и порядок использования каналов связи. Особое внимание при этом уделяется дублированию и резервированию средств связи.

Протяженность линий связи — сотни и тысячи метров, когда речь идет о связи между собой специалистов, служб, аппаратных залов внутри Центра управления полетом, станции слежения или научно-исследовательского судна, и — тысячи и десятки тысяч километров, когда Центр управления полетом поддерживает связь с научно-исследовательским комплексом, проходящим, например, над Дальневосточной станцией слежения или над судном, работающим в Атлантике. В этих случаях радиосигнал бортового передатчика принимается кораблем или станцией слежения, передается на ретранслятор «Молния», откуда поступает на станцию спутников связи, соединенную кабельными каналами с Центром управления полетом. Но этим не ис-

черпываются функции космических связистов. Они постоянно обеспечивают сверхдальнюю телефонно-телеграфную связь и передачи программ Центрального телевидения через спутники на приемные пункты сети «Орбита» в отдаленные районы СССР...

Во многом надежность управления полетом, точность измерений и успех космических экспериментов зависят от четкости работы наземных служб энергетики, метрологии, гостехнадзора и самого разнообразного технического обеспечения.

ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

В заключительном этапе полета пилотируемых кораблей неизменно участвует поисково-спасательный комплекс. Он был создан в начале 1960 года, в период подготовки к полету первого человека в космос. С той поры средства и методы работы комплекса постоянно совершенствуются. Ныне — это мобильная научно-испытательная организация, в составе которой трудятся специалисты различных профессий: связисты, метеорологи, врачи и, конечно же, первоклассные пилоты, штурманы и водители. Комплекс оснащен специально оборудованными самолетами, вертолетами, наземными и надводными транспортными средствами, приборами для измерений и самой совершенной аппаратурой связи, пеленгации, визуального наблюдения, обработки информации, медицинской, метеорологической и др. Несмотря на то, что эта своеобразная лаборатория на крыльях и колесах приступает к выполнению своих прямых обязанностей лишь на заключительном этапе полета, в состоянии готовности она приводится к моменту космического старта.

Главные силы поиска и эвакуации располагаются в районе плановой посадки, часть направляется в запасные районы, предусмотренные программой полета. Остается резерв поисковых средств и на случай досрочного возвращения или посадки спускаемого аппарата в непредвиденных местах. С самого начала космическо-



го полета представители поискового комплекса постоянно находятся в Центре управления полетом и поддерживают регулярную связь с основными и резервными группами поиска, информируя их о ходе полета, а те в свою очередь передают метеосводки и докладывают о составе, состоянии и готовности поисковых средств.

Получив сообщение о сходе космического корабля с орбиты на траекторию спуска, поисково-спасательный комплекс приступает к выполнению своей главной задачи: включается и настраивается аппаратура, в воздух поднимаются самолеты и вертолеты и патрулируют в заданных зонах. По радиопеленгу они выходят на трассу спуска, устанавливают двустороннюю радиосвязь со спускаемым аппаратом и сопровождают его до приземления. К месту посадки прибывают

оперативно-технические группы. Врачи проводят первичное медицинское обследование экипажа, другие специалисты проверяют техническое состояние спускаемого аппарата, извлекают документацию, научные материалы и съемные приборы. Затем экипаж эвакуируется с места посадки и доставляется, как правило, на космодром Байконур, где проводится послеполетное углубленное медицинское обследование космонавтов и оперативная обработка материалов полета, составляются экспресс-отчеты...

А Центр управления полетом и командно-измерительный комплекс продолжают свою постоянную работу.

Летчики-космонавты СССР А. В. Филипченко и А. С. Елисеев следят за меняющимися параметрами, которые автоматически высвечиваются на табло в главном зале Центра управления полетом

ФИНАЛ «СКАЙЛЭБА»

Американская орбитальная станция «Скайлэб» дважды находилась в центре внимания мировой печати. В первый раз в период с мая 1973 года по февраль 1974 года, когда на ней, сменяя друг друга, побывали три экспедиции. Первая в составе Ч. Конрада, П. Вейца и Д. Кервина провела на станции 28 суток («Земля и Вселенная», 1973, № 5, с. 33, 46–49. — *Ред.*), вторая — А. Бин, Дж. Лусма и О. Гэрриот — 59 суток («Земля и Вселенная», 1973, № 6, с. 19–20. — *Ред.*), третья, в которую входили Дж. Карр, У. Поуг и Э. Гибсон, — 84 суток («Земля и Вселенная», 1974, № 2, с. 17–18. — *Ред.*).

Второй раз станция «Скайлэб» привлекла внимание всего мира в последние месяцы и, особенно, в последние дни и часы своего существования. Первоначально рассчитывали, что станция будет обращаться по орбите не менее 10 лет, и с вводом в строй многоразового космического корабля «Спейс Шаттл» на нее, может быть, удастся доставить новую экспедицию. Однако станция начала терять высоту значительно быстрее, чем предполагали.

Вначале это не вызывало особой озабоченности, поскольку надеялись своевременно ввести в строй «Спейс Шаттл» и доставить к станции разгонный блок. Предусматривалось, что астронавты с помощью дистанционного управления пристыкуют к станции разгонный блок, который ее переведет на более высокую орбиту. И тогда станция сможет существовать в течение нескольких десятков лет. Своей двигательной установкой для коррекции орбиты станция «Скайлэб» (в отличие от советских станций «Салют») не имеет. На ней есть только небольшие двигатели ориентации.

Но события развивались не так, как было задумано. Во-первых, создание корабля «Спейс Шаттл» шло гораздо медленнее, чем планировали. Если вначале первый его полет намечался на март 1979 года, то теперь (и то предположительно!) — только на июль 1980 года. Во-вторых, станция теряла высоту быстрее, чем обещали самые пессимистические прогнозы. Летом 1978 года потерю высоты удалось замедлить, ориентируя станцию по команде с Земли, с таким расчетом, чтобы она стала наиболее «обтекаемой» и испытывала минимальное аэродинамическое торможение. Поддерживать эту ориентацию должны были силовые гироскопы, но из трех таких приборов исправными были только два, да и те работали со сбоями, ведь станция находилась на орбите уже пять лет, а ее бортовое оборудование не было рассчитано на такую длительную службу.



Кстати, сбои в силовых гироскопах наблюдались еще во время пребывания на станции астронавтов. Неисправность силовых гироскопов и некоторого другого оборудования станции приводила к периодической потере заданной ориентации, обеспечивающей минимальное торможение. На восстановление ориентации расходовалось рабочее тело (сжатый азот) двигателей. А запасы его были уже на исходе. Учитывая это, в декабре 1978 года отказались от проекта доставки к станции разгонного блока, хотя в его создание было вложено уже более 23 млн. долларов.

Сход станции с орбиты стал неминуем. А ведь станция — это практически неуправляемая машина массой около 80 т. При входе в плотные слои атмосферы полностью сгореть она не могла. Было подсчитано, что общее число несгоревших обломков может достигнуть 500, а их общая масса 18 т, в том числе примерно 40 обломков массой свыше 100 кг, 10 — свыше 500 кг, а 2 даже больше 2000 кг. Обломки могли упасть со скоростью от 10 до 100 м/с в любой район земного шара, расположенный между 50° с. ш. и 50° ю. ш. (наклонение орбиты станции 50°). Правда, 75% времени станция находится над океанами, так что вероятность попадания обломков на сушу составляла всего 25%, а на населенные районы и того меньше.

Точный прогноз момента и, следовательно, места схода станции с орбиты сделать невозможно. На опыте других космических объектов, которые сходили с орбиты, было установлено, что они могут ricochetировать от атмосферы и за 2 часа момент схода с орбиты может быть предсказан с ошибкой до 20%, то есть ±25 минут, что соответствует примерно четверти витка по орбите.

При НАСА был организован штаб по станции «Скайлэб». США объявили о своей готовности возместить ущерб, который могут нанести упавшие на землю несгоревшие обломки станции, но одновременно создали группу юристов, призванную отклонять необоснованные претензии.

Хотя НАСА многократно подчеркивало, что вероятность нанесения ущерба обломками станции так же мала, как опасность от метеоритов, ежесуточно падающих на Землю, некоторые страны привели в готовность пожарные части, медицинские учреждения, формирования гражданской обороны и даже воинские подразделения.

20 июня 1979 года станции была придана ориентация, обеспечивающая максимальное аэродинамическое торможение (продольная ось перпендикулярна плоскости орбиты). Расчет был такой: если согласно прогнозу (а он в последние дни существования станции уточнялся несколько раз в сутки) окажется, что падение станции угрожает густонаселенным районам Земли, то ориентацию станции изменят так, чтобы сделать ее более обтекаемой, уменьшить ее торможение и хотя бы на несколько десятков минут отсрочить сход с орбиты, «отведя» станцию от густонаселенных районов. Эта возможность и была реализована. За несколько часов до схода станции с орбиты, когда прогноз не исключал возможности падения обломков на США и Канаду, ориентацию станции изменили. Это должно было продлить полет станции примерно на 30 минут, чтобы она миновала Канаду и США и сошла с орбиты над Атлантическим или Индийским океанами. Но при этом несколько «переборщили». Станция прошла над океанами и «дотянула» до Австралии. Осколки упали в пустынные районы этой страны, никому не причинив вреда, хотя один из найденных осколков был довольно крупным (длина 2 м, поперечник 1 м). Австралийцы разобрали обломки на сувениры, а самый предприимчивый полетел на первом же самолете в США, где одна из газет неосторожно обещала награду в 10 000 долларов человеку, первому доставившему обломок станции.

Таким был финал станции «Скайлэб».

Д. Ю. ГОЛЬДОВСКИЙ



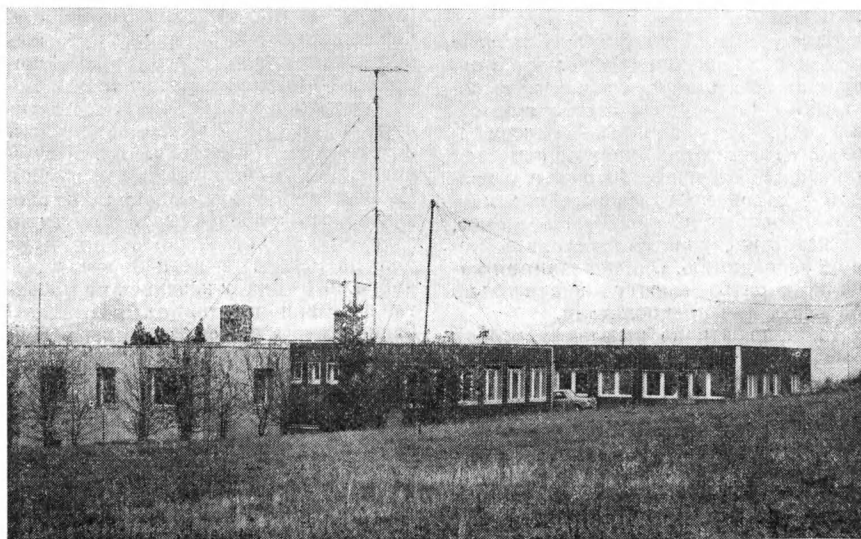
М. А. РИМША

Панска Вес — программе «Интеркосмос»

Недалеко от Праги, рядом с небольшим городком Дубэ, на живописно поросших лесом холмах есть тихое местечко, носящее название Панска Вес. Если посмотреть на вершину одного из холмов, можно увидеть реальные признаки технического прогресса — мачты с антеннами. Именно здесь, на высоте 300 м над уровнем моря, в 1953 году силами Геофизического института Чехословацкой академии наук была основана обсерватория для исследований ионосферы пассивными радиофизическими методами (на станции нет мощных радиопередатчиков).

Первое время она размещалась в одном старом доме сельского типа. В 1962 году было построено для нее современное одноэтажное здание, а второе, точно такое же, было введено в строй в 1976 году. Это позволило существенно расширить технические возможности всего измерительного комплекса. Обсерватория оснащена аппаратурой для приема и регистрации сигналов с искусственных спутников Земли, располагает она небольшой мастерской, где изготавливается, испытывается и ремонтируется научная и служебная аппаратура, есть свой вычислительный комплекс на базе ЭВМ «Роботрон-4000», телетайп.

Сегодня одна из основных задач обсерватории Панска Вес — прием информации со спутников серии «Интеркосмос». Объем этой работы определяется успехами чехословацких геофизиков, создавших приборы практически для всех спутников, запускаемых по программе сотрудничества. Сотрудниками Геофизического института разработаны и успешно прошли испытания в космосе специ-



альные передатчики типа «Маяк» и телеметрическая система ТС. Радиопередатчик «Маяк» передал сигналы в Панску Вес с борта «Интеркосмоса-2», а позднее и с «Интеркосмоса-14». Телеметрическая система ТС хорошо зарекомендовала себя во время полетов спутников «Интеркосмос-3, -5, -10, -13, -14». Кроме того, модификация этой системы входила в состав аппаратуры спутника «Интеркосмос — Коперник 500» («Земля и Вселенная», № 6, 1976, с. 86—92.— Ред.).

Сотрудники обсерватории Панска Вес участвовали в проектировании и разработке единой телеметрической системы (ЕТМС). Чехословацкий наземный комплекс приемной аппара-

туры ЕТМС находился именно здесь, здесь же специалисты ЧССР участвовали и в испытаниях системы, принимая в 1976 году сигналы со спутника «Интеркосмос-15».

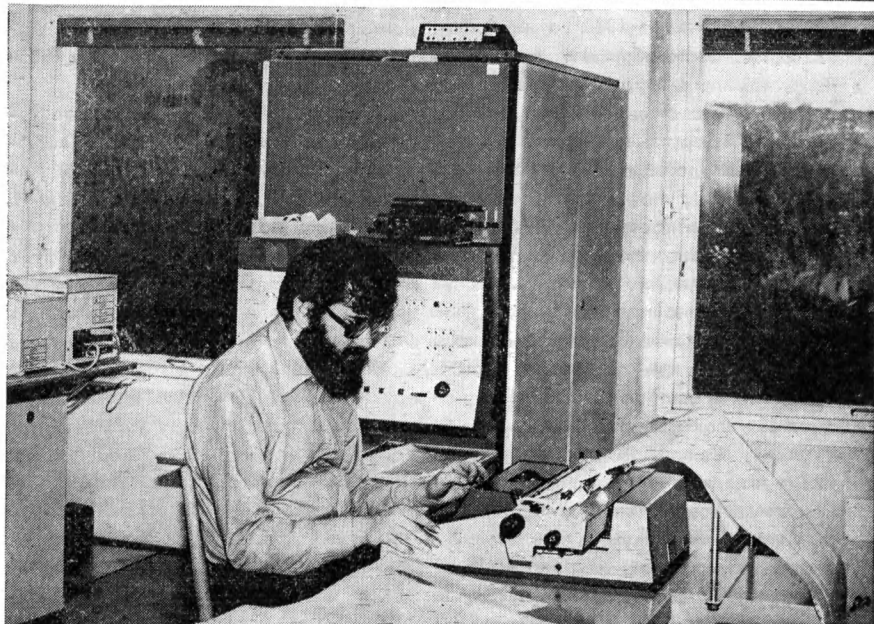
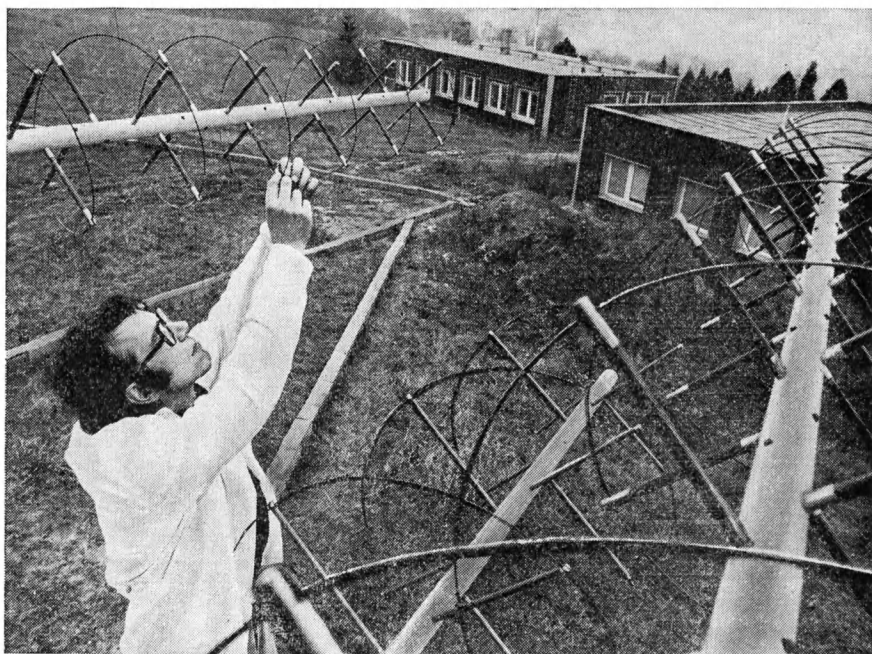
24 октября 1978 года на орбиту был выведен очередной спутник серии «Интеркосмос» — восемнадцатый по счету. Он предназначен для проведения комплексных исследований электромагнитной связи магнитосферы и ионосферы Земли, а также особенностей распространения и взаимодействия низкочастотных радиоволн в ионосферно-магнитосферной плазме. В ходе данного эксперимента, имеющего условное название МАГ-ИК, исследуются магнитные поля токов, текущих из магнитосферы в ионосферу вдоль геомагнитных силовых линий, электрические поля, создаваемые продольными токами, параметры по-

■
Обсерватория Панска Вес

лярной ионосферы, связанные с действием потоков космического излучения («Земля и Вселенная», № 4, 1979, с. 37—41.— Ред.).

Методика эксперимента и аппаратура разработаны учеными и специалистами ГДР, ПНР, СРР, СССР и ЧССР.

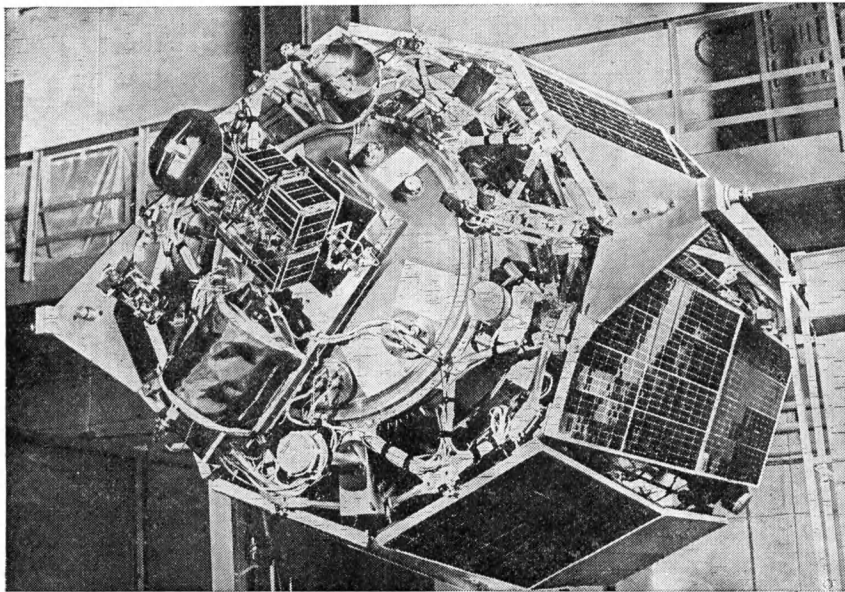
«Интеркосмос-18» стал вторым научным спутником типа АУОС — автоматической универсальной орбитальной станции, значительно расширившим диапазон исследований по сравнению с предшествующими спутниками малой серии («Земля и Вселенная», № 3, 1978, с. 48—49.— Ред.). У искусственного спутника Земли «Интеркосмос-18» есть еще одна особенность. Вместе с ним на орбиту был выведен спутник, разработанный и изготовленный в ЧССР, — спутник массой около 15 кг, размерами $300 \times 300 \times 300$ мм³ (негерметичной конструкции), который получил по своей научной принадлежности название «Магион». Он снабжен автономной системой энергоснабжения (солнечные батареи), командной радиолнией и несколькими научными приборами и предназначен для проведения комплексного эксперимента совместно со спутником «Интеркосмос-18». В основу эксперимента было положено изучение пространственно-временной структуры низкочастотных электромагнитных полей в ионосферно-магнитосферной плазме путем синхронного измерения одних и тех же параметров в двух разнесенных точках пространства. Так, 14 ноября 1978 года после отделения «Магиона» от «Интеркосмоса-18» в космическом пространстве стали работать два спутника, оснащенные схожей научной аппаратурой. В каждый момент измерений определялись па-



■ Сотрудник обсерватории Иржи Мадера осматривает приемные антенны

■ Ян Клас составляет программу очередного сеанса связи со спутником «Интеркосмос-18»

раметры в двух точках, что создавало пространственную картину события. По мере расхождения спутников отдалялись друг от друга и точки измерения. Когда расстояние между ними достигло тысячи километров, эксперимент завершился и спутник «Магион» продолжил свой путь в космосе, решая отныне самостоятельно свои локальные научные задачи...



...Утром 16 января 1979 года в обсерватории был обычный рабочий день. С немалым трудом добравшись на упорной маленькой «Шкоде» по заснеженной дороге на вершину холма, где расположена обсерватория, мы с одним из руководителей эксперимента «Интеркосмос-18» — «Магион» Павлом Тржиской вошли в помещение наземной станции. Там все было готово к очередным сеансам связи со спутниками. Через несколько минут в «зоне видимости» приемных антенн должен был появиться «Интеркосмос-18», совершающий 1251-й виток вокруг Земли. Почти сразу же за этим ожидалась передача информации с «Магиона». Накануне из СССР по телексу были получены орбитальные параметры, а также информация о программе спутника «Интеркосмос-18». Эти данные обработали на ЦВМ, чтобы составить программу управления приемными антеннами. Режим их работы на данном витке был занесен на перфоленту, с помощью которой подаются команды поворотным устройствам, заставляющим антенны следить за пролетающим спутником.

Примерно за десять минут до начала сеанса сотрудники обсерватории Александр Чапек и Ян Клас включили

все системы и регистрирующие устройства для проверки их готовности к работе.

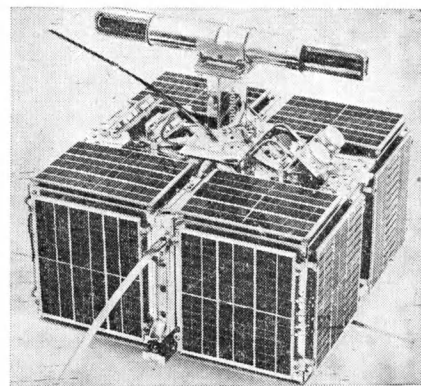
10 часов 13 минут. Есть сигнал телеметрии спутника! Немедленно включается «режим записи». Чутко реагируя на малейшие изменения сигнала, заскользили по бумажной ленте перья самописца. Каждое из них фиксирует показания определенного прибора или целой аппаратурной группы. Не отрываясь, всматриваются в черные змейки линий один из главных постановщиков эксперимента Ян Шмилауэр. Еще до расшифровки записи он делает предварительные выводы о качестве работы бортовых приборов. В окно приемного пункта видно, как медленно движется на своем поворотном основании антенна. По направлению ее спирали можно определить, в какой точке небосвода в данный момент находится спутник.

Всего несколько минут продолжа-

■ *Искусственный спутник Земли «Интеркосмос-18» перед стыковкой с ракетой-носителем*

Фотохроника ТАСС

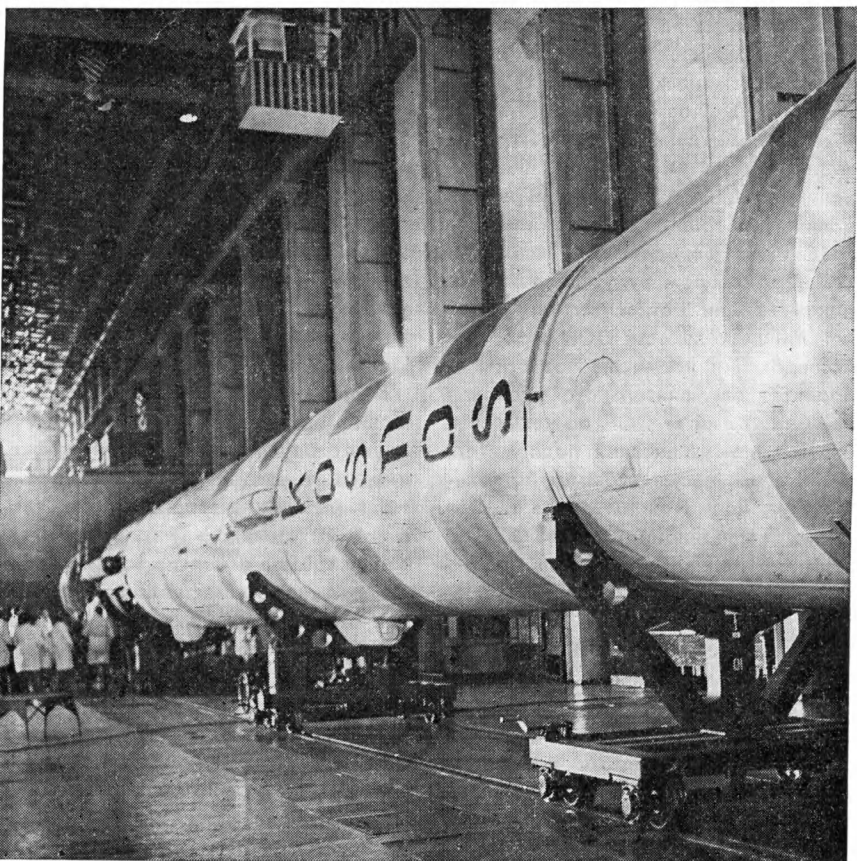
■ *Первый чехословацкий спутник «Магион»*



ется свидание с «Интеркосмосом-18». Сеанс заканчивается. Антенна возвращается в исходное положение. Замирает лента самописца, останавливаются магнитофоны.

Однако пауза длится совсем недолго. В 10 часов 35 минут на связь выходит «Магион». И вновь станция работает в таком же напряженном режиме. В сигналы своего спутника вслушиваются и всматриваются (с «Магиона» информация записывается таким же самописцем, как и с «Интеркосмоса-18») Павел Тржиска, Ян Шмилауэр, Александр Чапек, Ян Клас, Иржи Мадера, Вацлав Веселы и Милан Гонц. В этот день в обсерватории не было двух ветеранов программы сотрудничества Камила Кубата и Ярослава Войты, принимавших участие и в подготовке к запуску самых первых геофизических «Интеркосмосов», и в данном эксперименте. «Магион» ушел из зоны видимости. Выключена регистрирующая аппаратура. Теперь полученные данные будут введены в цифровую вычислительную машину или спектроанализатор, а оперативная информация о работе за день вместе с оценкой качества телеметрической информации уйдет по телексу к советским коллегам.

Чуть больше чем через месяц после описанного сеанса, 27 февраля 1979 года, в космос был выведен следующий искусственный спутник Земли «Интеркосмос-19». В подготовке запуска принимали участие ученые и специалисты из СССР и ЧССР. Свою научную аппаратуру установили на этом спутнике представители Болга-



Сенс связи с «Магионом» ведет инженер Ярослав Войта

Ракета-носитель со спутником «Интеркосмос-19» в монтажно-испытательном корпусе космодрома
Фотохроника ТАСС

рии и Польши. Весь комплекс научной аппаратуры, имеющий название «Ионозонд», предназначен для комплексного исследования структуры ионосферы Земли и ее взаимодействия с волновым излучением Солнца и корпускулярными потоками. С помощью этого спутника изучаются также особенности волновых процессов и распространения радиоволн в ионосферной плазме.

Во время полета спутника измеряется электронная температура и концентрация электронов, изучаются аэрономические и волновые процессы, активные действия корпускулярных потоков в ионосфере. Результаты, полученные с «Интеркосмоса-19», предполагается использовать для создания модели внешней ионосферы. Есть в программе и прикладные задачи, в частности, постановщики эксперимента разрабатывают метод исследования спутниковой информации для прогнозирования состояния ионосферы и условий распространения радиоволн. Этот эксперимент, как и эксперимент на спутнике «Интеркосмос-18», — основная часть программы «Международные исследования магнитосферы» («Земля и Вселенная», № 4, 1979, с. 46—48.— Ред.).

Если же сравнить оба эксперимента, то можно сказать, что «Интеркосмос-18» проводит исследования в более широком диапазоне, охватывающем магнитосферу и ионосферу, а «Интеркосмос-19» должен решать только локальную задачу — исследовать только ионосферу, но гораздо подробнее. Результаты, получаемые с обоих спутников, хорошо дополняют друг друга.

Сейчас в Панской Вес как никогда напряженная пора. Три спутника братских стран находятся под пристальным наблюдением ее антенн. Идет информация. Работа продолжается.



Заместитель председателя Совета
«Интеркосмос» при АН СССР
доктор юридических наук
В. С. ВЕРЕЩЕТИН

ООН и международное сотрудничество в космосе

В 1982 году, когда будет отмечаться 25 годовщина запуска первого в истории искусственного спутника Земли, состоится вторая конференция Организации Объединенных Наций по исследованию и использованию космического пространства в мирных целях. Решение о созыве второй конференции было единодушно принято на XXII сессии Комитета ООН по космосу, которая проходила в Нью-Йорке с 18 июня по 3 июля 1979 года.

В соответствии с резолюцией, принятой Генеральной ассамблеей ООН еще в 1961 году, Организация Объединенных Наций должна быть центром международного сотрудничества в исследовании и использовании космического пространства в мирных целях. В системе ООН роль такого центра призван исполнять специальный орган Генеральной ассамблеи — **Комитет ООН по космосу**, в котором 47 государств с различными общественно-политическими системами обсуждают политические, правовые и научно-технические вопросы, возникающие в процессе освоения космоса. Сессии Комитета и его двух подкомитетов (научно-технического и юридического) с 1962 года созываются ежегодно.

Первая конференция ООН по исследованию и использованию космического пространства в мирных целях, созванная в 1968 году по инициативе СССР, была форумом, на котором представители 78 стран и 13 международных организаций подвели итоги первого десятилетия космических исследований. Ожидается, что **вторая** конференция ООН привлечет еще большее число участников. Так же,

как и на предыдущей конференции, основное внимание на ней должно уделяться нуждам и потребностям развивающихся стран. Повестка дня конференции включает широкий круг проблем, которые будут обсуждаться на пленарных заседаниях, а также в трех комитетах по следующим основным направлениям: положение в области космической науки и техники, применение космической науки и техники, международное сотрудничество и роль Организации Объединенных Наций. Работа конференции должна завершиться принятием доклада для Генеральной ассамблеи ООН, в котором будут содержаться рекомендации относительно дальнейшей деятельности ООН в области исследования космоса. Подготовкой проекта заключительного доклада займется Комитет ООН по космосу и его Научно-технический подкомитет.

По всем обсуждавшимся проблемам (за исключением места проведения конференции) Комитет ООН по космосу принял согласованные рекомендации, которые представлены на одобрение очередной сессии Генеральной ассамблеи ООН. Вопрос о месте проведения конференции должен быть решен на следующей сессии Комитета ООН по космосу, которая состоится летом 1980 года. Советский Союз предложил провести конференцию в Москве в августе 1982 года.

Сессия Комитета ООН по космосу одобрила проект соглашения о Луне. Его полное наименование: «Соглашение о деятельности государств на Луне и других небесных телах». Передача Комитетом этого проекта на рассмотрение Генеральной ассамблеи

ООН завершила разработку нового соглашения в области Международного космического права, первоначальный проект которого был внесен в ООН Советским Союзом в 1971 году («Земля и Вселенная», 1978, № 4, с. 2—5. — Ред.).

Представленный Советским Союзом проект содержал следующие основные положения:

исследование и использование Луны осуществляются с учетом интересов живущих и будущих поколений людей;

на Луне запрещаются, в соответствии с принципами Устава ООН, применение силы или угроза силой и любые враждебные действия, а также использование Луны для совершения таких действий в отношении Земли;

подтверждается запрет на размещение на Луне ядерного оружия и другого оружия массового уничтожения, а также другой деятельности, направленной на использование Луны в военных целях;

исследование и использование Луны должно осуществляться способами, обеспечивающими предотвращение неблагоприятного изменения и загрязнения лунной среды;

поверхность и недра Луны не могут быть собственностью государств, каких-либо международных или национальных организаций, юридических и физических лиц;

государства будут принимать все возможные меры в целях охраны жизни и здоровья человека, находящегося на Луне.

Текст, одобренный Комитетом ООН по космосу, закрепляет все упомянутые принципы первоначального проекта, предложенные Советским



ВТОРОЙ ИНДИЙСКИЙ ИСКУССТВЕННЫЙ СПУТНИК ЗЕМЛИ «БХАСКАРА»

7 июня 1979 года в 13 часов 30 минут московского времени с советского космодрома советской ракетой-носителем по проекту SEO был запущен второй индийский искусственный спутник Земли «Бхаскара» («Земля и Вселенная», 1979, № 2, с. 56–57. — *Ред.*). Он назван в честь известного индийского математика и астронома Бхаскары, жившего в XII веке н. э.

Спутник предназначен для исследования Земли из космоса — получения данных по метеорологии, гидрологии и лесному хозяйству с использованием телевизионной аппаратуры; исследование морской поверхности с помощью микроволновых радиометров; изучения рентгеновских источников излучения; отработки технологии сбора и передачи информации с наземных буев; исследование характеристик опытных образцов солнечных батарей и терморегулирующих устройств, разработанных в Индии.

Спутник «Бхаскара» изготовлен при научно-технической помощи Советского Союза, который поставил в Индию солнечные и химические батареи, бортовые запоминающие устройства, элементы системы стабилизации и корпуса, термические покрытия. В первые дни полета спутником управляла советская наземная станция под Москвой, затем управление осуществлялось индийской наземной станцией космического центра Шар.

Масса спутника 444 кг, корпус пегерметичен, апогей 557 км, перигей 512 км, наклонение орбиты к плоскости экватора 50,7°, период обращения 95,15 минуты, время активного существования — 6 месяцев.

В состав научной аппаратуры спутника входят: телевизионная камера, микроволновый радиометр, аппаратура для сбора данных с наземных буев, аппаратура регистрации рентгеновского излучения, экспериментальные панели с терморегулирующими покрытиями, экспериментальные солнечные панели.

С. А. ХЛЕМАНОВ

нового документа Международного космического права.

Комитет ООН по космосу рассмотрел также результаты работы своего Научно-технического подкомитета по вопросам применения ядерных источников энергии в космосе. При обсуждении этих вопросов в различных органах ООН некоторые западные государства пытались использовать инцидент, связанный с падением в 1978 году остатков советского спутника «Космос-954» на территорию Канады. Они предлагали запретить применение ядерных источников в космосе или установить международный контроль над такого рода деятельностью, хотя, как известно, без ядерных энергетических установок немыслимо дальнейшее развитие некоторых важных направлений космонавтики.

Комитет ООН по космосу подтвердил вывод своего Научно-технического подкомитета о том, что при соблюдении надлежащих мер безопасности использование ядерных источников энергии в космосе возможно. Комитет решил продолжить рассмотрение этих вопросов в рабочей группе, созданной Научно-техническим подкомитетом. Он рекомендовал своему Юридическому подкомитету сделать обзор действующего Международного космического права. Тогда можно будет определить целесообразность его дополнения положениями об использовании ядерных источников энергии в космосе.

Комитет продолжил рассмотрение и некоторых других вопросов. Среди них — ранее сделанное советское предложение о юридическом разграничении воздушного и космического пространства на высоте 100—110 км.

Последняя XXII сессия Комитета ООН по космосу, прошедшая под знаком советско-американской встречи на высшем уровне и подписания Договора по ОСВ-2, отмечена принятием ряда важных рекомендаций, которые окажут заметное влияние на дальнейшее развитие международного сотрудничества в изучении и освоении космоса.

Союзом. Кроме того, по настоянию развивающихся стран в проект соглашения включены положения о том, что «Луна и ее природные ресурсы являются общим наследием человечества» (статья XI проекта), и обязательство участников соглашения установить международный режим для регулирования эксплуатации природных ресурсов Луны, когда будет очевидно, что такая эксплуатация станет возможной в ближайшее время. При выработке этого режима особо должны учитываться интересы и нужды развивающихся стран, а также усилия стран, которые прямо или косвенно внесли свой вклад в освоение Луны.

В ходе многолетнего обсуждения проекта договора о Луне в Юридическом подкомитете Комитета ООН по космосу советская делегация так же, как и делегации ряда других стран, считала, что разработка правового режима эксплуатации ресурсов Луны и других небесных тел в данное время не актуальна и должна проводиться с учетом последующего развития космонавтики. К тому же, понятие «общего наследия человечества» с юридической точки зрения весьма расплывчато, эта категория скорее морального, философского, а не юридического плана. Однако, идя навстречу настойчивым пожеланиям развивающихся стран, для достижения разумного компромисса советская и другие делегации, разделяющие эту точку зрения, согласились включить приведенные положения в проект соглашения. После одобрения этого проекта Генеральной ассамблеей ООН соглашение будет открыто для подписания и ратификации всеми государствами и приобретет силу

Доктор
геолого-минералогических
наук
Д. М. ПЕЧЕРСКИЙ

Семинар по палеомагнетизму и тектонике

Палеомагнетизму как новому научному направлению еще нет и 30 лет. Но едва родившись, он уже успел порядком «нашуметь». В тектонике — науке о строении и истории развития Земли — благодаря палеомагнетизму появились количественные данные. На новой количественной основе возродились идеи мобилизма, в частности, появились такие гипотезы, как раздвижение дна океана, дрейф континентов и объединяющая их новая глобальная тектоника плит. Гипотезы эти, базирующиеся на палеомагнетизме, всколыхнули всю геологию, не оставив никого из ученых равнодушным. Идут яростные споры, ведутся поиски подтверждающих фактов, и от этих споров и поисков в конечном счете выигрывает наука...

В июне 1979 года в Ленинграде состоялся очередной Общесоюзный семинар по палеомагнетизму и тектонике, которым руководил профессор А. Н. Храмов. Участники его не подводили юбилейных итогов, а в рабочем порядке обсуждали методику исследований, надежность результатов и, конечно, сами результаты изучения тектонических процессов палеомагнитными методами.

В чем же суть палеомагнетизма? Если о тепловом, гравитационном и других полях, существовавших в прошлом, в лучшем случае удается судить лишь по косвенным признакам, то о магнитном поле мы имеем прямую информацию. Она запечатлена в ферромагнетиках, обладающих уникальной способностью «запоминать» величину и направление внешнего магнитного поля («Земля и Вселенная», 1969, № 3, с. 65—69. — Ред.).

В течение больших промежутков времени, скажем за несколько миллионов лет, среднее положение магнитного полюса Земли совпадает с положением географического. Значит, определяя магнитное склонение и наклонение по образцам горных пород, мы тем самым находим положение меридиана и широту точки отбора образцов того времени, когда порода только что образовалась. Имея такие данные, можно реконструировать древнее положение точки исследования, потом серии точек, а затем и больших участков земной поверхности вплоть до целых континентов. Так по палеомагнитным данным прослеживается, как за сотни миллионов и даже миллиардов лет нынешние континенты меняли свои размеры и контуры, распадались на части или, наоборот, сливались.

Глобальные реконструкции положений континентов в разные геологические эпохи — одно из направлений палеомагнетизма, обсуждавшееся на семинаре. П. Н. Кропоткин проанализировал геологические и палеомагнитные данные для реконструкции континентов южного полушария, которые составляли в палеозое (550—250 млн. лет назад) гипотетическую Гондвану. В деталях реконструкции немало спорных моментов, но принципиальная картина весьма убедительна.

В. П. Родионов проследил по палеомагнитным данным перемещение Восточно-Сибирской плиты в докембрии (1000—600 млн. лет назад). Оказывается, в то время плита еще не была единой и находилась на юге западного полушария. Анализируя свои материалы, В. П. Родионов ус-

тановил, что древние породы в более позднее время могут перемагничиваться; чем они древнее, тем более вероятно их вторичное перемагничивание. Н. П. Михайлова привела много доказательств того, что докембрийские породы Украинского щита были намагничены при своем зарождении. А возраст их немалый, 1,5—2 млрд. лет. Однако у многих пород палеомагнитное направление близко к тому, которое они в данном регионе имели в позднем палеозое (350—250 млн. лет назад). Вероятно, породы были перемагничены в процессе их изменений. Подобное перемагничивание характерно для многих районов Европы. Выявить такие породы — важнейшая задача палеомагнитных исследований, ведь это один из главных моментов обеспечения надежности палеомагнитного метода.

Второе направление палеомагнитных исследований, ставшее также темой обсуждения на семинаре, — **палеомагнитный анализ региональных тектонических процессов**, то есть движений внутри одной тектонической области или даже какого-то ее участка. Такие исследования ведутся в тектонически активных участках, заметно деформированных (деформации находятся по повороту вектора остаточной намагниченности пород), и им на семинаре было уделено значительное время. Палеомагнитных материалов накоплено много, особенно относящихся к Альпийскому поясу (Б. З. Асанидзе, М. Л. Баженов, Ю. С. Ржевский и др.).

Большинство «изогнутых» структур, которые видны часто в виде хребтов или вытянутых впадин, — результат смещений, поворотов и изгибов

при деформациях. Изгибы структур и повороты отдельных блоков достигают часто десятков градусов. По палеомагнитным данным восстанавливается исходное положение и форма таких структур. Деформации вызываются, например, вдавливанием Аравийского «клина» Африканской плиты в районе Кавказа, Индийской плиты в районе Памира. Но есть и первично изогнутые структуры, как показал на примере Копет-Дага М. Л. Баженов. Данные Б. З. Асанидзе свидетельствуют, что Малый Кавказ в палеозое и мезозое вел самостоятельный, независимый от Большого Кавказа «образ жизни», и лишь относительно недавно (около 50 млн. лет назад) эти территории соединились. Х. А. Абдуллаев на основании палеомагнитных и других геолого-геофизических данных попытался синтезировать тектоническую историю Альпийского пояса (от Кавказа до Памира) и прилегающих к нему территорий в кайнозое (примерно последние 50 млн. лет).

Естественно стремление палеомагнитологов не только констатировать факты движения континентов, отдель-

ных блоков и т. п., но и попытаться связать такие движения с другими геологическими процессами. Такие попытки делаются, они составляют третье направление палеомагнитных исследований, результаты которого также обсуждались на семинаре. Это направление — «кинематический анализ», или **изучение скорости перемещений, деформаций блоков во времени**. Оказывается, существует определенная цикличность в ускорении и замедлении горизонтальных движений земной коры, ее вертикальных движений, корреляция между ними и геотектоническими циклами (В. П. Апарин, Г. И. Гончаров, А. Я. Кравчинский, А. Н. Храмов).

Известно, что время от времени магнитное поле Земли меняет свою полярность («Земля и Вселенная», 1978, № 4, с. 44—47. — Ред.). Такие инверсии (в геологическом масштабе времени они происходят очень быстро — за сотни или десятки тысяч лет) служат глобальными реперами времени, позволяющими сопоставлять геологические события во времени независимо от места действия. **Корреляция инверсий с геологическими**



событиями — это и есть четвертое направление палеомагнетизма, также обсуждавшееся на семинаре. Инверсии анализировались в связи с тектоническими процессами. Кажется, связь начинает вырисовываться: частота инверсий магнитного поля Земли (к примеру, число инверсий за 1 млн. лет) непостоянна во времени и имеет некоторую цикличность, согласующуюся с цикличностью тектонических процессов и этапностью эволюции жизни (В. П. Боронин, А. Я. Кравчинский, А. Н. Храмов и др.).



НАХОДКИ МЕТЕОРИТОВ В АНТАРКТИДЕ

Группа японских и американских полярников, возглавляемая У. Кессиди, вернулась в 1979 году из Антарктиды, где она провела год в поисках метеоритов. Участники экспедиции обнаружили 309 метеоритов общей массой около 300 кг. Среди находок — железный метеорит массой около 136 кг, крупнейший из когда-

либо найденных в Антарктиде; пять метеоритов, принадлежащих к довольно редкому виду ахондритов; два 5-граммовых углистых хондрита, которые нечасто обнаруживают на Земле, ибо они легко разрушаются при входе в атмосферу и на поверхности планеты.

Богатство находок подтверждает предположение Кессиди, согласно которому обнаженные в результате сильных ветров древние ледники Антарктиды — идеальное место для сбора метеоритов. В самом деле, сохраняющийся снеговой покров уменьшает степень дробления метеорных тел при ударе о поверхность, низкие температуры предохраняют их от окисления и загрязнения органическими веществами. Мощные ветры постоянно расчищают поверхность ледника, открывая инородные тела взору исследователей.

Большинство метеоритных находок сделано в районе нунатаков (скальных выходов на поверхность ледника) Аллан, примерно в двухстах километрах к северо-западу от американской южно-полярной стан-

ции Мак-Мердо. Четыре метеорита обнаружены вблизи горы Реклинг-Пик (100—120 км к северу от нунатаков Аллан), гигантский железный и восемь других метеоритов — у горы Деррик-Пик, на леднике Дарвина (280 км к юго-западу от Мак-Мердо).

На месте находок принимались все меры, чтобы предотвратить загрязнение метеоритов. Их порознь заворачивали в тефлон и помещали в разработанные для лунных экспедиций «Аполлон» герметические контейнеры с холодильным устройством. Затем образцы были доставлены в Центр космических исследований в Хьюстоне (штат Техас).

Изучение антарктических метеоритов дало интересные результаты. Так, изотопное датирование четырех метеоритов, обнаруженных в районе нунатаков Аллан, показало, что один из них находится на нашей планете 1,54 млн. лет, а три других — от 30 000 до 300 000 лет. Следовательно, возраст антарктического оледенения превышает 1,5 млн. лет.

«Science News», 1979, 115, 8.



ИЗ ИСТОРИИ
НАУКИ

Кандидат физико-математических наук
А. Ф. ПУГАЧ

Электрофотометрия: прошлое и настоящее

ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОФОТОМЕТР

Начало XX века. Астрономия — древнейшая из наук — развивается гигантскими темпами. Фотопластинка, нашедшая применение в астрофотографии, быстро расширяет представления землян о Вселенной. Но стремление проникнуть еще глубже в тайны непознанного, увидеть скрытое и узнать неизвестное — эти вечные «двигатели» науки — заставляют астрономов искать новые, более совершенные методы наблюдений.

Дальнейшее исследование фотоэффекта, открытого нашим выдающимся соотечественником А. Г. Столетовым, показало, что в астрономии можно использовать фотоэлемент, который преобразует фотоны видимого света в электроны, проще говоря, превращает свет в электрический ток.

В 1912 году на Бабельсбергской обсерватории под Берлином начались работы, целью которых было создание электронной аппаратуры, способной чувствовать и регистрировать свет. И вот летом 1913 года Р. Прагеру и П. Гутнику удалось изготовить прибор, который с помощью фотоэлемента преобразовывал свет далеких звезд в слабый электрический ток.

Новый прибор — **электрофотометр**, подвешенный к окулярному концу 30-сантиметрового телескопа, являл собой зрелище готового к стрельбе орудия, нацеленного в зенит. Первый «выстрел» был произведен 5 августа. Результаты «пристрелки» казались просто невероятными: Р. Прагер и П. Гутник установили, что звезда β Цефея, которая служила «мишенью» в данном эксперименте, меняет свой

блеск с амплитудой всего 0,06 звездной величины, причем ошибка определения блеска составила менее 0,01 звездной величины. Фотографический метод при всех его положительных качествах не мог, конечно, привести к такому результату. Именно высокая фотометрическая точность обеспечила новому методу быстрое признание в астрономических кругах.

В Германии Х. Розенберг создает аналогичный экземпляр электрофотометра. В 1919 году А. и Ф. Линдеманны установили на телескопе первый электрофотометр, изготовленный в Англии. В Новом Свете когорты талантливых экспериментаторов, увлекаемая идеями Дж. Стеббинса, создавала электрофотометры с селеновыми и калиевыми фотоэлементами, и уже в 1920 году Е. Камингс провела фотоэлектрические наблюдения звездного скопления Плеяды на обсерватории Маунт Гамильтон.

Перед астрофизиками того времени стояло много задач, успешное решение которых могли обеспечить лишь точные фотоэлектрические измерения. Поэтому неудивительно, что семена новой астрофизической технологии почти одновременно пустили корни в европейских странах и за океаном. Молодая поросль не требовала длительной опеки и ухода. Новый прибор появился на свет сразу готовым творением и содержал почти все необходимые узлы и детали, с которыми нам приходится работать спустя несколько десятков лет. Здесь были и диафрагма поля, и подсмотровой окуляр с призмой-перехватчиком, фильтры и система фотометрических клиньев со ступенчатыми ослабителями света, оптический канал

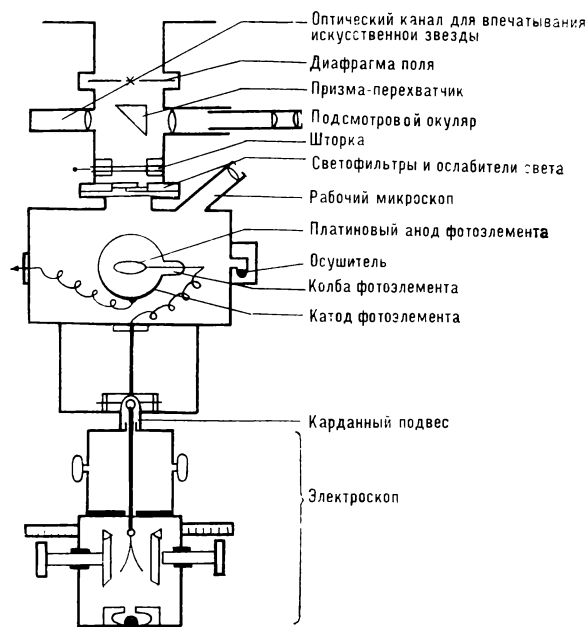
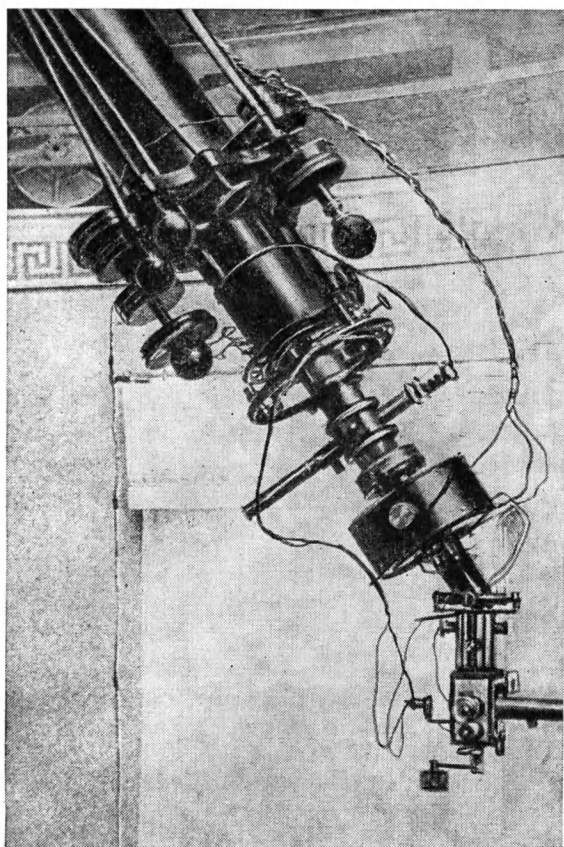
для «впечатывания» искусственной звезды.

Сердце прибора, — конечно, фотоэлемент. Работа велась на нескольких фотоэлементах, имеющих разные покрытия. Для измерений в ультрафиолетовой области использовался катод с натриевым покрытием, красный свет хорошо регистрировался цезиевым фотоэлементом. Площадь поверхности фотокатода составляла около 70 см^2 *, и в этом, как мы увидим далее, был свой смысл. Если сердце электрофотометра — фотоэлемент, то его мозг, несомненно, — электроскоп. Да, да, тот самый электроскоп, который сейчас можно увидеть на полках школьных физических кабинетов. В новом приборе электроскоп выполнял функции регистрирующей аппаратуры.

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В НАЧАЛЕ ВЕКА

Знакомясь с тем, как проводили наблюдения пионеры электрофотометрии, невольно отдаешь дань уважения их энтузиазму, их глубокой преданности делу и любимой науке. Достижениям электроники 70-х годов астрономы обязаны тем, что сегодня наблюдения стали ordinарной работой с электрофотометром, работой, в которой последовательность действий можно предусмотреть инструкцией или даже передать на словах. Сейчас самым сложным в наблюдениях стал поиск и отождествление на

* Площадь поверхности катода современных фотоумножителей, применяемых в астрофизике для регистрации слабых световых потоков, порядка 1 см^2 или меньше.



небе нужного объекта, а умная аппаратура делает все остальное — держит его в поле диафрагмы, измеряет яркость, вычитает фон, меняет фильтры, вычисляет результат и печатает точное время измерений. Современные астрономы, несколько утратив специфическое мастерство и виртуозность, которыми владели наши профессиональные предки, получили взамен комфорт и быстрдействие.

В те далекие годы во время ночной работы один из наблюдателей неотрывно следил за опаданием лепестков электроскопа. Прибор подвешивался к оптической части фотометра на специальном карданном подвесе, обеспечивающем строго вертикальное положение электроскопа независимо от ориентации трубы телескопа. Электроскоп был защищен от внешних полей металлическим кожухом, части которого соединялись между собой без малейшей щелочки, чтобы уменьшить попадание внутрь паров воды. Рассмотреть, что делается «во

чреве» прибора, можно было, лишь включив специальную подсветку.

Перед началом каждого измерения электроскоп заряжали некоторым количеством электричества и замечали положение разошедшихся после зарядки лепестков. Электроскоп включался последовательно в цепь, которая состояла еще из фотоэлемента, источника постоянного напряжения и реостата. Если на фотоэлемент падал свет, возникший в цепи ток разряжал прибор и лепестки опадали. Измерение скорости опадания лепестков входило в обязанности наблюдателя.

■ *Электрофотометр, созданный Р. Прагером и П. Гутником. Установлен на 12-дюймовом рефракторе Бабельсбергской обсерватории*

■ *Устройство электрофотометра Р. Прагера и П. Гутника*

С хронометром в руке, приблизив глаз к окуляру микроскопа, но не касаясь его, наблюдатель должен был отметить по часам время поворота лепестков на некоторый, заранее определенный угол.

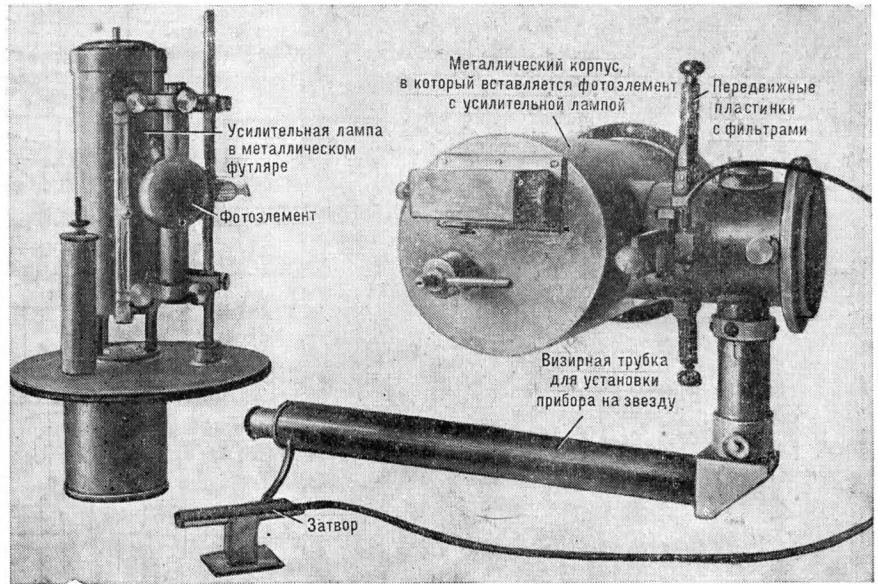
Внутри первых фотометров находилась специальная ампула с металлическим натрием. По замыслу конструкторов натрий должен уничтожать злейшего врага электрометрии — сырость. Однако это ухищрение, как выяснилось в дальнейшем, работало против самой идеи, поскольку требовало более сложных защитных мер по борьбе с парами едкого натрия. В последующих моделях фотометров астрономы использовали другие влагопоглотители.

Интересно отметить, что низкая проникающая способность питающей оптики электрофотометра не позволяла измерять звезды слабее 6-й величины. Поэтому перед астрономами первого «фотоэлектрического» десятилетия не стоял вопрос об учете влияния фона неба — его как бы не существовало. Помехи, вызываемые другими причинами, были так велики, что с лихвой покрывали ту неопределенность, которую вносил фон неба. Больше всего неприятностей доставлял наблюдателям ток утечки.

Визуально он проявлялся в том, что лепестки электроскопа «увядали» даже тогда, когда свет не попадал на фотоэлемент. Борьба с током утечки было можно и нужно, но победить нельзя. Поэтому постоянно приходилось отдельно измерять помехи и учитывать их при дальнейшей обработке. Некоторые наблюдатели уменьшали напряжение на фотоэлементе, когда работали с яркими объектами: им казалось, что одновременно снизившийся ток утечки улучшает ситуацию.

Ток утечки можно было бы существенно понизить, если бы удалось уменьшить поверхность катода фотоэлемента. Но выполнить это условие было очень трудно, поскольку, как заметил искушенный в электрофотометрии читатель, в фотометре еще не использовалась линза Фабри. А ведь именно она в современных электрофотометрах сужает и фиксирует в пространстве световой поток, что делает возможным применение небольших по размерам светоприемников. А в первых электрофотометрах свет звезды, собираемый объективом рефрактора, фокусировался на диафрагму и, пройдя ее, расходившимся широким пучком падал на фотоэлемент. Ясно, что чем дальше фотоэлемент отстоял от диафрагмы, тем большую площадь должен был иметь фотокатод, чтобы ни один луч света от звезды не вышел за его пределы. С таким довольно значительным недостатком электрофотометр просуществовал более двадцати лет, пока в 1936 году советские ученые В. Б. Никонов и П. Г. Куликовский не внесли последний штрих в усовершенствование его конструкции, применив для стабилизации светового пятна линзу Фабри*. Одновременно

* Первые электрофотометрические наблюдения звезд в СССР были выполнены сотрудником Ленинградского астрономического института В. Б. Никоновым. Четырехфотоэлементный электрофотометр фирмы «Гюнтер и Тегетмейер» (Германия) был установлен на 15-дюймовом рефракторе Пулковской обсерватории летом 1933 года. После испытания электрофотометра наблюдения были продолжены на 330-миллиметровом рефлекторе Абастуманской астрофизической обсерватории в 1934 году. (Ред.)



у нас в стране был введен в фотометрический «обиход» радиоактивный эталонный источник излучения — люминофор. Несколько раньше, в 1932 году, А. Уитфорд (США) снабдил электрофотометр ламповым усилителем. Это новшество не только повысило точность измерений, но и дало возможность в дальнейшем автоматизировать запись результатов.

КТО СОЗДАТЕЛЬ ЭЛЕКТРОФОТОМЕТРА?

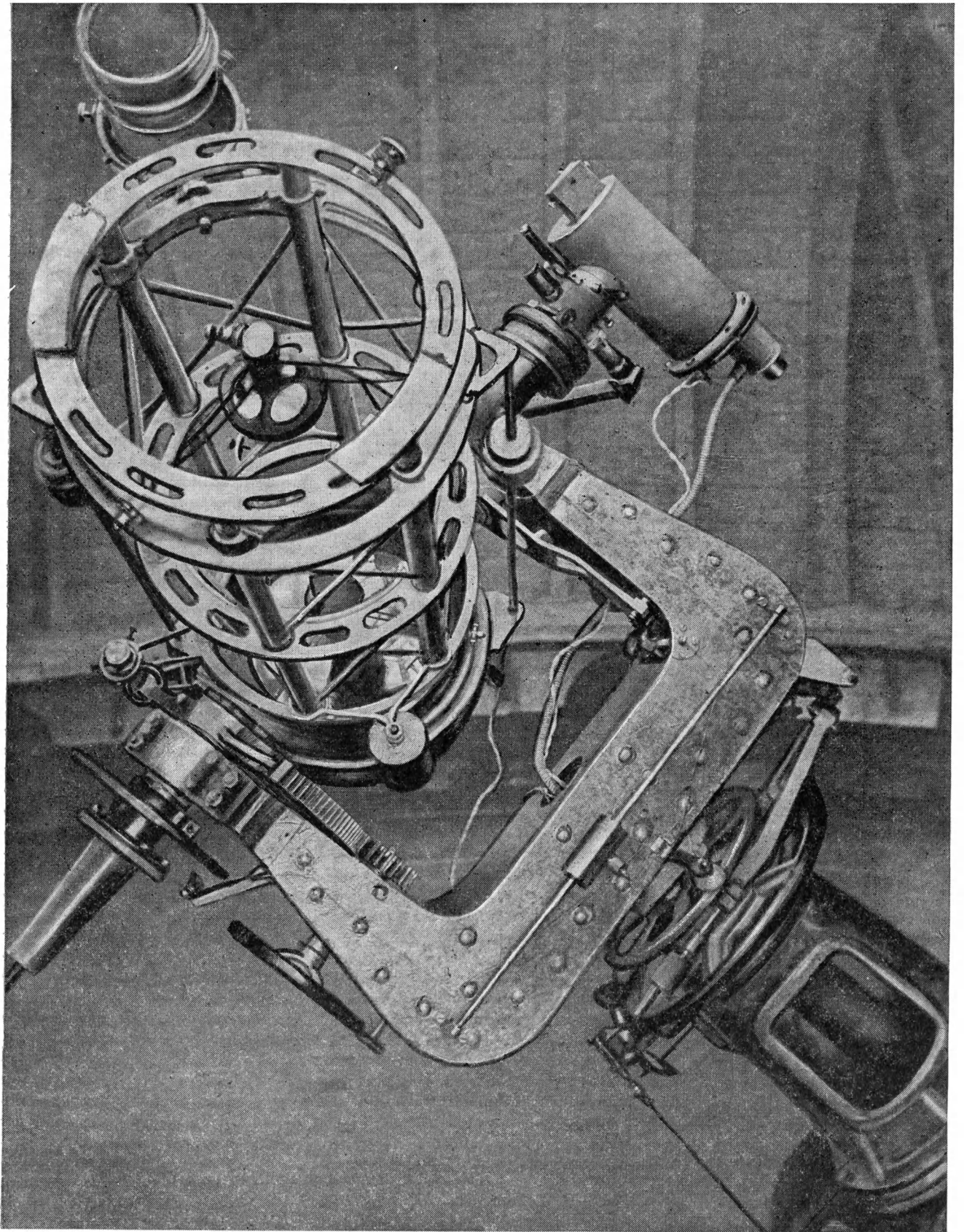
В истории астрономии годом проведения первых фотоэлектрических измерений обычно считается 1910-й. Дело в том, что за три года до Р. Прагера и П. Гутника американский астроном Дж. Стеббинс, поместив в фокусе небольшого рефрактора селеновый фотоэлемент, сумел измерить слабый электрический ток, рожденный светом звезды. Особенность селена менять свои свойства под действием излучения была известна еще раньше, заслуга Дж. Стеббинса состоит в том, что он первый предложил заменить фотопластинку электрическим элементом и показал, как можно осуществить эту идею.

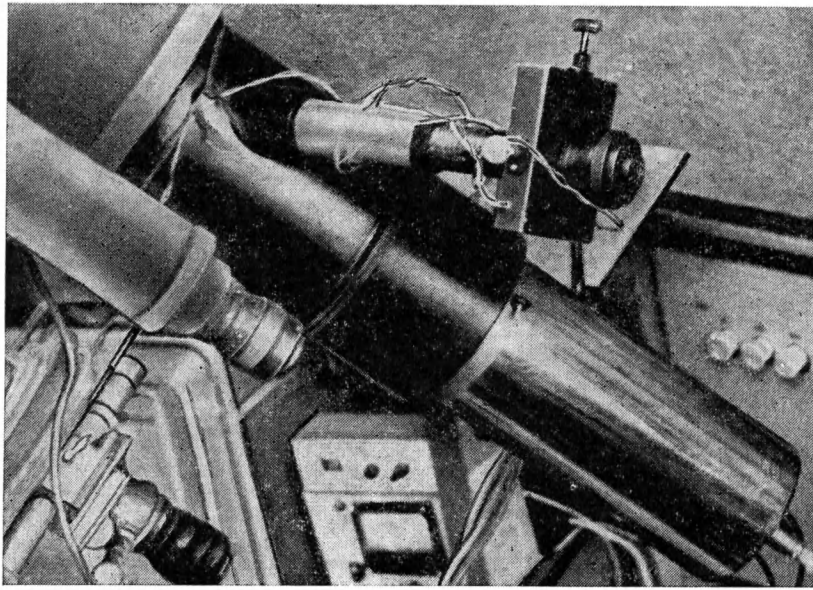
Дж. Стеббинс долго и упорно шел к цели, но последний его шаг оказался не совсем точным. Хотя к

тому времени уже были изучены свойства щелочных фотоэлементов, Дж. Стеббинс связывал будущее астрономического электрофотометра с селеном. Главный технологический недостаток селенового фотоэлемента в том, что он нуждался в охлаждении. Фотоприемник помещали в лед и закрывали термоизоляционной оболочкой — своеобразным тепловым карманом. Этот карман подвешивали вместо окуляра вблизи фокуса объектива рефрактора и его положение фиксировали так, чтобы изображение звезды, видимой на кресте нитей гида, проецировалось на поверхность селенового элемента. Электрофотометра (в современном смысле этого слова) еще не было, поскольку отсутствовал привычный в наше время реквизит — микроскопы, фильтры, диафрагмы и прочее. Ток, возникший

■ *Электрофотометр В. Б. Никонова и П. Г. Куликовского*

■ *Первый советский электрофотометр, установленный В. Б. Никоновым и П. Г. Куликовским на 330-миллиметровом рефлекторе Абастуманской обсерватории*





в цепи фотоэлемента, измеряли чувствительным гальванометром. Хотя прибор давал более высокую точность, чем фотографическая пластинка, это преимущество сводилось на нет малой проникающей способностью — прибор измерял блеск лишь самых ярких звезд. Например, Алголь (β Персея) в максимуме блеска (2-я звездная величина) вызывал отклонение стрелки прибора всего на 8 мм при точности около 2%.

Не следует думать, что автор статьи хочет бросить тень на заслуги Дж. Стеббинса, умалить значение его работ или дискредитировать сам метод. Идея, поданная им, заслуженно оценена современниками и потомками, но ее реализация оказалась ниже технических возможностей того времени. После публикации работ Р. Прагера и П. Гутника это стало очевидно и самому Дж. Стеббинсу, впоследствии он переключился на работу с калиевым фотоэлементом. Жар-птица уда-

чи, которая, казалось, была уже в руках Дж. Стеббинса, на этот раз ускользнула в Европу, но неутомимый американец дождался ее возвращения. Имя его как гарантия точности и надежности еще долгие годы стояло под статьями, рассказывавшими о лучших фотометрических работах.

ЭЛЕКТРОФОТОМЕТРИЯ В НАШИ ДНИ

После второй мировой войны электрофотометрия успешно конкурирует со старым, классическим методом астрономических наблюдений — фотографией: уступая ей в популярности, электрофотометрия все же оказывается недостижимой, когда дело касается не массовых, а точных, специальных наблюдений.

Развитие электроники стимулировало живяние в астрономии надежных средств контроля и автоматизации наблюдений, с одной стороны, и, с другой стороны, предоставило в руки астрономов более совершенную аппаратуру. Использование охлаждаемых фотоэлектронных умножителей, обладающих высокой чувствительностью и малыми собственными помехами, переход к методам статистического накопления сигнала, применение мини-компьютеров, которые не

только управляют процессом измерений, но и проводят все необходимые вычисления, — все эти и другие новшества неузнаваемо преобразили облик электрофотометрии, тогда как сущность метода осталась почти той же. Оптико-механическое ядро электрофотометра Прагера и Гутника, несколько изменившееся за последние 60 лет, обросло лишь гроздьями электронных приборов.

Однако в море автоматизации, окружившем современную электрофотометрию, всегда должен зеленеть островок живого человеческого участия, без которого даже совершенная аппаратура превращается в немое железо, а сам процесс наблюдений теряет элемент творчества. И сейчас, в последней четверти XX века, наблюдатель вынужден прибегать к различным ухищрениям, чтобы выжать все возможное, на что способна современная техника. Интересен в этом отношении опыт английского фотометриста Н. Уокера. С 1972 года он занимался исследованием «мерцающих» звезд, блеск которых меняется на несколько процентов за десятки минут. Его исследования подвергались критике со стороны коллег, считавших, что измеренная им «переменность» — следствие нестабильности атмосферы и аппаратуры. Уокеру удалось преодолеть недоверие и доказать свою правоту после того, как он провел одновременные длительные наблюдения трех рядом расположенных звезд, показавших разный характер переменности. Если бы переменность вызывалась земными причинами, то три звезды становились бы ярче или слабее синхронно.

Успешному осуществлению этого тонкого эксперимента способствовали следующие предохранительные меры: приемно-усилительная аппаратура фотометра находилась в блоке, где температура поддерживалась с точностью до $0,1^\circ$; вся аппаратура получала питание от батарей; кроме люминофора использовались, как минимум, две звезды сравнения; для обеспечения максимальной стабильности приборы не выключались три-четыре месяца, то есть весь срок подготовки и проведения наблюдений.

■
Автоматический электрофотометр, созданный в Главной астрономической обсерватории АН УССР. Прибор установлен на 50-сантиметровом телескопе Высокогорной наблюдательной базы ГАО АН УССР (пик Терскол, Кавказ)



КОРОНЫ ЗВЕЗД

Возможно, работа Н. Уокера заставит астрономов изменить тактику обнаружения переменности звезд, ранее считавшихся стабильными.

Каковы же плоды более чем полувековой эволюции астрономической электрофотометрии?

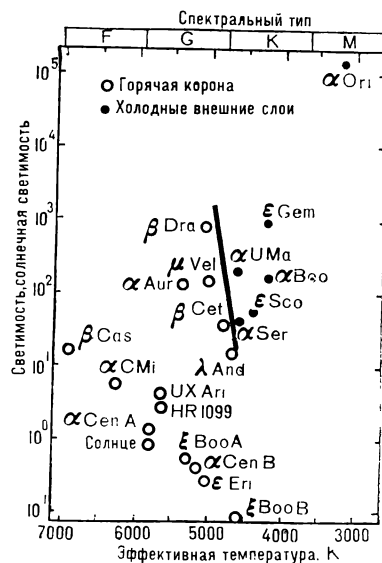
Надо признать, что вопреки ожиданиям точность измерений существенно не повысилась. В первых фотозлектрических наблюдениях среднее значение блеска из нескольких измерений исследуемого объекта и звезды сравнения (обычно 8—12 наведений) имело ошибку 0,005—0,008 звездной величины. Необходимость многократно измерять один и тот же объект снижала «скорострельность» метода. Дж. Стеббинс, например, получал три значения блеска звезды за час, Р. Прагер — четыре. К настоящему времени «скорострельность» выросла в 10 раз за счет использования более чувствительных приемников, но точность одного измерения так и осталась в пределах нескольких тысячных долей звездной величины. И здесь значительного прогресса ожидать не приходится, поскольку существуют два принципиальных ограничения: трудность учета быстрых флуктуаций атмосферной прозрачности и отсутствие высокостабильных источников излучения.

Ближайшие перспективы электрофотометрии кроются в повышении информативности метода благодаря увеличению скорости измерений и применению панорамных фотоэлектрических приемников. Последние позволяют одновременно измерять несколько объектов, расположенных вблизи оптической оси телескопа.

Внешние атмосферы холодных звезд исследуются на новом орбитальном телескопе. Спутник IUE (International Ultraviolet Explorer) с 45-сантиметровым телескопом был запущен 26 января 1978 года на геосинхронную орбиту (один оборот в сутки). В его создании принимали участие американские и европейские ученые.

На IUE были получены коротковолновые спектры в диапазоне 1175—2000 Å нескольких десятков звезд спектральных классов А—М. Именно в этом спектральном диапазоне располагаются эмиссионные линии, встречающиеся в спектре солнечной хромосферы и короны. Хромосферные эмиссионные линии формируются при относительно низких температурах — от 5000 до 20 000 К. Эти линии — водородная L_{α} , O I, C I, Si II — относятся к нижней хромосфере. Эмиссионные линии элементов, находящихся в более высоких стадиях ионизации, образуются в плазме, температура которой от 20 000 до 200 000 К. Эти линии — He II, C II—IV, Si III—IV и N V — принадлежат переходной области между хромосферой и короной.

Оказалось, что все полученные спектры можно разделить на две группы. Первая — спектры солнечного типа, в которых представлены как хромосферные линии, так и линии переходной области. Видимо, у этих звезд могут быть горячие короны, нагретые примерно до 1 000 000 К, как на Солнце. Второй тип спектра — несолнечный, в нем есть только линии, формирующиеся при температурах не выше 20 000 К, что характерно лишь для хромосферы. На следующем этапе эксперимента предстояло выяснить, существуют ли звезды промежуточного типа, обладающие «тепловатыми» коронами. Однако линий, формирующихся при температурах свыше 200 000 К, на IUE обнаружено не было, а это значит, что нет звезд с коронами, температура которых составляет несколько сот тысяч градусов.

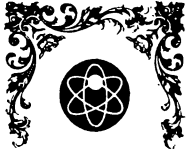


Звезды с горячими коронами и звезды, у которых корон нет, располагаются в разных частях диаграммы Герцшпрунга — Рассела. Горячие короны солнечного типа имеют звезды главной последовательности, а также звезды-гиганты спектрального класса G. Некоторые из этих звезд астрономы относят к переменным звездам типа RS Гончих Псов. У этих звезд, по-видимому, на поверхности есть пятна, что приводит к нерегулярным изменениям блеска. Предполагают, что активность в их атмосферах аналогична солнечной и там возможны явления, сходные с хромосферными вспышками на Солнце.

Группу звезд несолнечного типа с холодными внешними слоями составляют в основном звезды-гиганты класса K и сверхгиганты поздних спектральных классов. Эта группа весьма неоднородна по составу. Сюда попадает, например, Бетельгейзе (α Ориона) — красный сверхгигант, окруженный обширной оболочкой. У звезд этой группы время от времени может наблюдаться спектр солнечного типа.

«The Astrophysical Journal», 1979, 229, L 27—32.

■
 Диаграмма Герцшпрунга — Рассела для звезд, исследованных на IUE. Прямая линия разделяет звезды с горячими (температура 10^6 К) и холодными (10^4 К) внешними атмосферами. Рисунок из журнала «Sky and Telescope» (1979, 57, 5)



ИЗ ИСТОРИИ
НАУКИ

Э. К. СОЛОМАТИНА

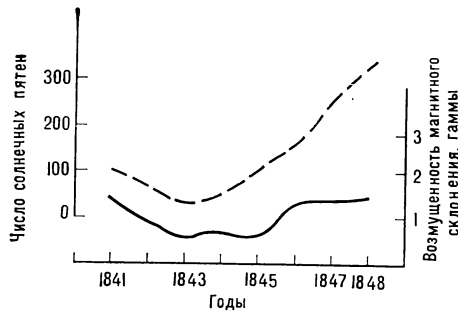
Геомагнитные бури

Магнитная стрелка, свободно подвешенная на тонкой нити или укрепленная на острие в специальных приборах, обычно совершает плавные колебания. Но бывают дни, когда она начинает «волноваться»: резко и внезапно вздрогнет, замрет, а потом вдруг замечется из стороны в сторону. Это означает, что началась **геомагнитная буря**. Такие бури не разрушают корабли в море и постройки на суше. Но и они приносят вред, ухудшая радиосвязь, создавая помехи для работы линий электросвязи и силовых электроустановок. Что же это за явления, длящиеся часами, а иногда и сутками? Какие причины их вызывают?

РАННИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Люди с давних пор пользовались компасом. По нему мореплаватели определяли местонахождение судна. Но на протяжении многих веков оставалась загадочной сила, заставляющая стрелку компаса устанавливаться определенным образом. В 1600 году в Лондоне было опубликовано шеститомное сочинение «О магните, магнитных телах и о большом магните — Земле». Его автор — английский ученый и придворный лекарь королевы Елизаветы В. Гильберт, — обобщив результаты проведенных к тому времени экспериментальных исследований по магнетизму, сделал смелый и верный вывод о том, что сама Земля представляет собой гигантский магнит.

Спустя почти столетие после выхода в свет сочинения Гильберта было замечено, что **магнитное склонение** (отклонение стрелки компаса от ли-



нии север — юг) изменяется не только от места к месту, но даже в течение суток. Лондонский часовой мастер Грэхем в 1722 году подтвердил это длительными систематическими наблюдениями за поведением стрелки компаса. На регулярные суточные вариации накладывались иногда дополнительные более сильные и нерегулярные изменения — **магнитные возмущения**. В 1740 году шведский ученый А. Цельсий в Упсале начал проводить такие же наблюдения. Сравнивая записи, которые они посылали друг другу по почте, Цельсий и Грэхем обнаружили, что магнитные возмущения часто происходили одновременно и в Лондоне и в Упсале. «Магнитная» погода оказалась менее локальной, чем обычная.

В начале XIX века по предложению А. Гумбольдта были организованы магнитные измерения в различных пунктах земного шара. После открытия первой магнитной обсерватории в Геттингене одна за другой стали

открываться такие обсерватории в Европе, Азии, Африке, Северной Америке и на островах южных морей. На них более или менее регулярно измерялись основные элементы магнитного поля Земли — его горизонтальная и вертикальная составляющие, магнитное склонение и наклонение. Со временем оказалось, что сильные возмущения поля, или магнитные бури (этот термин ввел Гумбольдт), — не такое уж редкое явление.

ГЕОМАГНИТНЫЕ БУРИ И ПЯТНА НА СОЛНЦЕ

После того как немецкий астроном-любитель Г. Швабе открыл в 1843 году 11-летнюю циклическую частоту появления солнечных пятен, эти объекты привлекли к себе пристальное внимание ученых. Неожиданно обнаружилось, что пятна каким-то образом связаны с земным магнетизмом. Первым такую связь заметил директор Британских колониальных обсерваторий Э. Сабин. Ход средней годовой возмущенности магнитного склонения на канадской станции Торонто в течение нескольких лет четко следовал за кривой изменения числа пятен. Не означало ли это, что земное магнитное поле изменяется с тем же 11-летним циклом, что и пятна на Солнце? Такое предположение Сабин высказал в 1852 году в своем докладе Королевскому обществу. Сообщение вызвало большой интерес. Интерес этот еще больше возрос, когда вскоре стало известно, что А. Готье во Франции и Р. Вольф в Швейцарии также обнаружили **соответствие между пятнами и геомагнит-**

Изменение среднегодовой возмущенности магнитного склонения на канадской станции Торонто (сплошная кривая) по данным Э. Сабина и данные Швабе (пунктирная кривая)

ными возмущениями. Но для серьезных выводов пока явно не хватало информации.

Прошло несколько десятилетий, прежде чем удалось подтвердить солнечную обусловленность геомагнитных возмущений. По данным, накопленным за это время, установили, что чаще всего сильные бури происходят в эпоху максимума солнечных пятен, реже всего — в эпоху минимума. Таким образом, **11-летняя цикличность сильных геомагнитных возмущений** была налицо. Так может быть, пятна и есть источники бурь? Тогда каждое пятно на Солнце должно сопровождаться магнитным возмущением на Земле. И действительно, такую последовательность событий иногда регистрировали.

Один из энергичных защитников гипотезы о солнечной обусловленности магнитных бурь Э. Маундер, работавший на Гриничской обсерватории, проанализировал солнечные и геомагнитные данные почти за двадцать лет (1873—1892 гг.). Он пришел к выводу, что все без исключения сильные бури регистрируются тогда, когда крупные солнечные пятна (или группа пятен) площадью более 1000 миллионов долей видимого диска приближаются к центральному меридиану Солнца и затем пересекают его.

Но наблюдения показывали и другое. Пятна небольшого размера не вызывали бурь, а порой наблюдалась и вовсе странная картина: возмущения регистрировались, а пятен на Солнце не было. Это порождало скептицизм, и в 1892 году выдающийся английский физик У. Томсон в своей президентской речи перед Королевским обществом заявил, что, согласно его вычислениям, на Солнце не существует источника энергии, который мог бы вызвать земную магнитную бурю... Причину бурь, считал он, надо искать на Земле или вблизи нее. Такое мнение среди ученых бытовало и раньше. Предполагали, например, что окрестность Земли заполнена магнитным эфиром. Токи, текущие в нем, подвергаются разрывам и образуют вихри и воронки, которые приводят к штормам на морях и геомагнитным бурям.

Несмотря на то, что идея о полной обусловленности геомагнитных возмущений солнечными пятнами была сильно скомпрометирована, исследования продолжались, а иногда делались и новые открытия. Тщательно изучив солнечную поверхность во время геомагнитных возмущений и в период, близкий к ним, Маундер установил еще одну периодичность бурь, отличную от 11-летней. Оказалось, что они **повторяются** примерно **через 27 суток** (время, за которое экваториальные области Солнца делают оборот вокруг оси Солнца относительно Земли). Маундер предположил, что каждые 27 суток Земля попадает в поток, идущий из активной области на Солнце. Этот поток и вызывает магнитную бурю. Активные области располагаются на Солнце в поясе широт $\pm 30^\circ$ и активны не только при формировании и развитии групп пятен, но и некоторое время раньше или позже. Такое заключение он сделал, основываясь на том, что геомагнитные бури на Земле происходят иногда при отсутствии пятен на Солнце. Приняв продолжительность бури равной 30 часам, Маундер вычислил средний угловой диаметр потока, который составил 20° .

Таким образом, на рубеже нашего столетия сложилось некоторое представление о связи геомагнитных возмущений с активностью Солнца.

СОЛНЕЧНЫЕ КОРПУСКУЛЯРНЫЕ ПОТОКИ

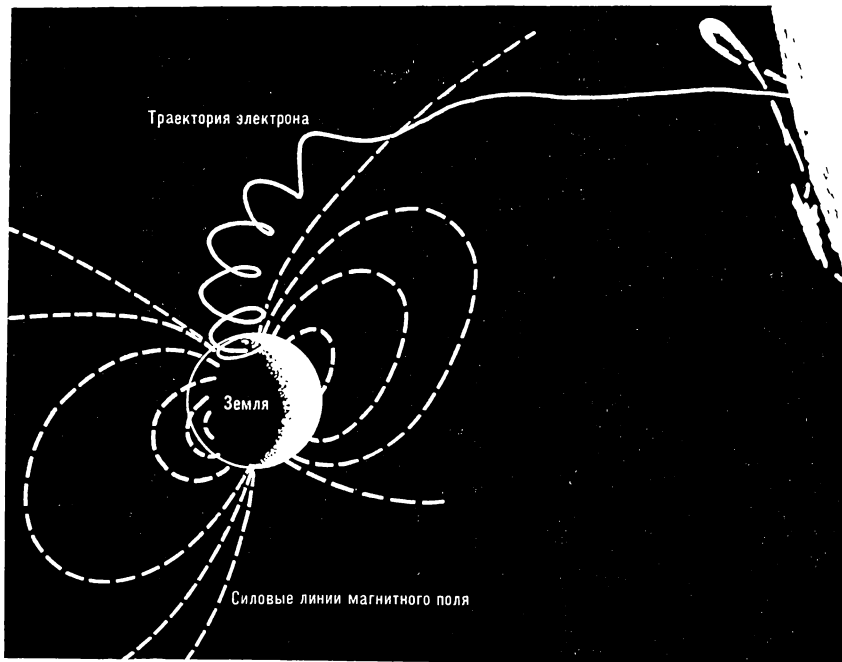
Геомагнитным бурям почти всегда сопутствуют **полярные сияния**. Обычно они видны в высоких широтах Земли, но в годы максимума солнечной активности их можно наблюдать даже в экваториальных областях. На тесную связь бурь и сияний обратил внимание еще Цельсий, а позднее она стала привычным и неоспоримым фактом. Отсюда неизбежно следовал вывод, что геомагнитные бури и сияния имеют общую причину. Гипотеза, объясняющая их «запятнанностью» Солнца, в конце XIX века уже не удовлетворяла ученых. Причину стали искать в **излучении**, приходящем из активных областей Солнца.

Еще 1 сентября 1859 года один из

пионеров солнечной физики английский астроном Р. Кэррингтон впервые наблюдал исключительной яркости **солнечную вспышку**. Немногим меньше суток после нее на Земле разразилась сильнейшая магнитная буря. Яркие полярные сияния были видны в обоих полушариях даже на низких широтах. Кэррингтон полностью сознавал возможную последовательность событий, но остерегался утверждать наличие причинно-следственной связи. Теперь мы знаем, что во время вспышки выбрасываются мощные корпускулярные потоки, вызывающие геомагнитные бури и сияния, а более столетия назад эта идея только начинала пробивать себе дорогу.

Ближе всех к решению проблемы подошел в 1896 году норвежский физик К. Биркеланд. Он высказал предположение, что полярные сияния могут возбуждаться электрически заряженными «корпускулярными лучами», которые выбрасываются Солнцем и захватываются земным магнитным полем в районе полюсов. На эту мысль его натолкнула форма сияний, напоминающая разряд в электронной лампе, генерирующей потоки заряженных частиц (их тогда называли «катодными лучами»). Свою гипотезу Биркеланд подтвердил лабораторным экспериментом. Если пучок электронов направить на небольшую намагниченную сферу (тереллу), покрытую флуоресцирующим веществом, вокруг обоих полюсов тереллы появляются две яркие кольцеобразные области, куда электроны отклоняются магнитным полем. Области эти Биркеланд отождествил с **зонами сияний**.

Гипотезу Биркеланда теоретически разработал норвежский математик К. Штермер. Рассчитанные им траектории частиц в геомагнитном поле напоминали различные формы сияний. Штермер показал, что частицы, идущие пучком от Солнца, попадают в окрестность Земли вдоль узкой полосы широт. Таким образом нашли объяснение **дугообразные сияния** и **сияния формы драпри**. Некоторые траектории окружали Землю в ее магнитной экваториальной плоскости. Летящие по таким орбитам частицы



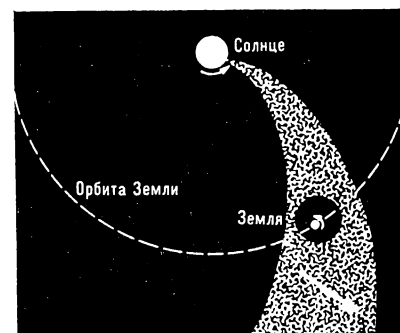
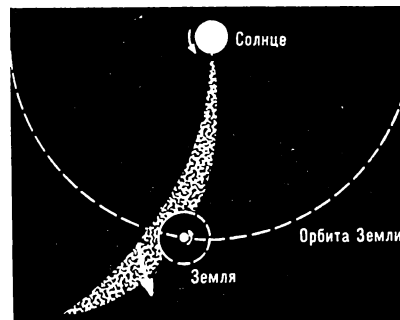
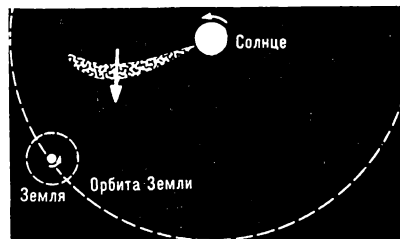
должны создавать электрический ток западного направления, полностью или частично замыкающийся вокруг Земли. Этот ток расположен на большом расстоянии от Земли, и ослабление магнитного поля во время главной фазы бури объясняется его воздействием.

Идея Биркеланда и Штермера о том, что Солнце испускает заряженные частицы, имела большое значение для развития науки о солнечно-земных связях. Однако в основе их привлекательной теории лежали неверные посылки. Авторы считали, что солнечные потоки содержат частицы лишь одного знака, а такие потоки, как потом стало известно, не могут достигнуть Земли: вследствие взаимного электростатического отталкивания они неизбежно распадутся.

Лишь много позже поняли: солнечные потоки должны быть **нейтраль-**

■ Движение электрона в магнитном поле Земли (по Штермеру)

■ Три стадии взаимодействия Земли с солнечным газовым потоком (по Чепмену)



ными, но **ионизованными**. В 30-х годах нашего века английские геофизики С. Чепмен и В. Ферраро начали изучать их взаимодействие с магнитным полем Земли. Выполнив серию расчетов, они показали, что облако ионизованного газа, испускаемое Солнцем во время вспышки, движется со скоростью 1000—2000 км/с. Через 1—2 суток оно достигает Земли и воздействует на ее магнитное поле. Картина возмущений, предсказываемая теорией, настолько хорошо совпадала с флуктуациями, наблюдаемыми во время геомагнитных бурь, что идеи английских геофизиков долгое время были основой при разработке проблемы геомагнитных возмущений. Правда, источники ионизованных облаков, как считали тогда Чепмен и Ферраро, располагаются на Солнце лишь в ограниченных областях и действуют короткое время. Оно равно периоду развития вспышки или времени жизни активных **М-областей** (гипотеза о существовании М-областей в 1932 году была выдвинута немецким ученым Дж. Бартельсом для объяснения бурь, имеющих тенденцию к повторению через 27 суток).

СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР

В последние два десятилетия удалось получить новую важную информацию об ионизованном солнечном излучении. Оказалось, что оно испускается Солнцем постоянно. Установили это не сразу, хотя еще Биркеланд считал, что облучение Земли солнечным веществом должно быть по существу непрерывным, поскольку слабые геомагнитные бури регистрируются почти всегда. Позднее, уже в нашем столетии, поняли, что и другие явления, например отклонение хвостов комет в сторону от Солнца или резкий спад космического излучения в периоды высокой солнечной активности, можно объяснить только непрерывным корпускулярным излучением Солнца.

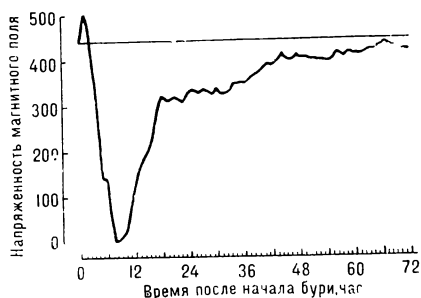
Но один факт был особенно удивительным. Изучение верхней атмосферы Земли принесло неожиданные сведения: с увеличением высоты над земной поверхностью температура

атмосферы не только не понижалась, а даже повышалась. Этот на первый взгляд парадоксальный результат заинтересовал С. Чепмена и натолкнул его на мысль, что верхние слои атмосферы нагревает... солнечная корона, которая должна простирается вплоть до орбиты Земли!

В 1958 году американский ученый Е. Паркер разработал **гидродинамическую модель** солнечной короны. Поскольку температура короны чрезвычайно высока (порядка миллиона градусов), то Паркер заключил, что корона должна расширяться. На значительном удалении от Солнца корона расширяется быстрее и становится потоком частиц, распространяющихся с большой скоростью. Этот поток Паркер назвал **солнечным ветром**. Впервые солнечный ветер был зарегистрирован советскими межпланетными станциями «Луна-1» и «Луна-2» в эксперименте, которым руководил профессор К. И. Грингауз. Дальнейшие измерения на американских и советских космических аппаратах окончательно установили, что потоки солнечного ветра, движущегося со скоростью 300—500 км/с (во время вспышек скорость его возрастает до 1000—2000 км/с), существуют в межпланетном пространстве постоянно. Солнечный ветер оказался важным агентом, ответственным за многие геомагнитные бури, а изучение его характеристик помогло объяснить механизм геомагнитных бурь.

КАК ПРОИСХОДИТ ГЕОМАГНИТНАЯ БУРЯ?

Геомагнитные бури разделяются на несколько типов. **Сильные бури с внезапным началом**, охватывающие почти всю Землю, порождаются потоками частиц, выбрасываемых во время



солнечных вспышек. **Рекуррентные бури** с тенденцией к повторению через 27 суток обязаны своим происхождением активным М-областям (теперь эти области связывают с корональными дырами, где силовые линии разомкнуты, а плотность и температура плазмы малы). **Слабые бури**, не имеющие никакой периодичности, возбуждаются солнечным ветром.

Рассмотрим, как развивается сильная буря с внезапным началом. Интенсивный поток заряженных частиц, приходящий от Солнца, сталкивается с **магнитосферой Земли** на обращенной к Солнцу стороне («Земля и Вселенная», 1979, № 4, с. 37—41. — Ред.). Толчок в виде гидромагнитной волны передается на Землю и отме-

чается на магнитограммах почти всех обсерваторий земного шара как резкий выброс — **внезапное начало**. Затем в течение нескольких часов (**начальная фаза бури**) поле усиливается. Связано это с тем, что корпускулярный поток сжимает силовые линии земного магнитного поля.

После начальной фазы следует **главная фаза бури**, наиболее продолжительная. В ходе ее резко падает горизонтальная составляющая геомагнитного поля и наблюдаются ее сильные колебания. Спад создают частицы, которые, преодолев земное магнитное поле, прорываются в магнитосферу и усиливают электрические токи внутри магнитосферы и ионосферы. Затем поле постепенно успокаивается — наступает **фаза восстановления**.

Такая схема развития геомагнитных бурь, конечно, отражает лишь общую картину взаимодействия солнечных корпускулярных потоков с земным магнитным полем. В механизме этого взаимодействия пока много неясного. Для создания теории геомагнитных бурь в ее полном виде необходимы дальнейшие исследования, включающие эксперименты на ракетах и спутниках, наземные измерения и теоретические расчеты.

МОЛЕКУЛЫ В ДРУГИХ ГАЛАКТИКАХ

Аммоний (NH_3) стал седьмой молекулой, обнаруженной в других галактиках. Эмиссионная линия аммония была зарегистрирована 100-метровым телескопом Института Макса Планка (ФРГ) в двух галактиках. Одна из них — спиральная галактика

IC 342 в созвездии Жирафа, расположенная на расстоянии 4,5 млн. пс (14 млн. световых лет), другая — спиральная галактика NGC 253 в созвездии Скульптора, удаленная на 3,4 млн. пс.

Из «внегалактических молекул» особенно распространена окись углерода CO. Она наблюдалась в двадцати звездных системах. В га-

лактиках обнаружены также OH, H_2CO , HCN, H_2O и H_2 . Инфракрасная линия молекулярного водорода H_2 зарегистрирована только в одной галактике — M 77.

«Sky and Telescope», 1979, 58, 2.



Доктор физико-математических наук
С. М. ЗВЕРЕВ

Геолого-геофизические исследования в Исландии

Исландия — один из интереснейших в геологическом отношении районов нашей планеты. Всем известны знаменитые исландские гейзеры; страна славится и вулканами, извергающимися почти каждые пять лет. Но не только гейзеры и вулканы привлекают к Исландии внимание ученых. Этот крупнейший остров расположен на линии Срединно-Атлантического хребта, протянувшегося на многие тысячи километров. Хребет четко маркируется цепочкой неглубоких землетрясений, а его осевая часть имеет своеобразный провал — **рифт** («Земля и Вселенная», № 5, 1974, с. 28—33. — Ред.). В гипотезе **расширения океанического дна**, получившей сейчас широкое распространение, срединным рифтовым хребтам отводится особая роль. Согласно этой гипотезе, при раздвижении океанических плит в осевую зону хребта внедряются массы горячего вещества из подкоровых областей Земли. Охлаждаясь, они застывают, оседают и образуют рифт. Застывшее вещество затем вновь раздвигается. Так постепенно образуется новая земная кора. В механизме раздвижения дна океана пока много неясного — не хватает фактического материала о строении земной коры и процессах, протекающих в осевых частях срединно-океанических хребтов.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ЭКСПЕДИЦИИ

Исландия — очень удобный объект для изучения процессов современного рифтообразования и вулканизма. В последние годы здесь интенсивно вели наблюдения ученые из ФРГ, Англии, Дании, США.

В 1971 году в Исландии начала работать геолого-геофизическая экспедиция Академии наук СССР, возглавляемая членом-корреспондентом АН СССР В. В. Белоусовым. Работа экспедиции делилась на два этапа. **На первом этапе** (1971—1973 гг.) было проведено геолого-геофизико-геохимическое обследование Исландии и ее окрестностей. Почти на всем острове выполнялись стратиграфические, литологические, геохимические, геоморфологические, геотектонические наблюдения. Изучалась слабая сейсмическая активность, обследовались разнообразие проявления геотермальной деятельности, собирались коллекции горных пород, пробы термальных вод и газов для лабораторных анализов.

В рейсах научно-исследовательских судов «Академик Курчатов» и «Михаил Ломоносов» осуществлялась комплексная геофизическая маршрутная съемка, собирались образцы осадков и коренных пород, изучалось строение осадочной толщи и земной коры. В многочисленных отрядах и морских рейсах экспедиции трудилось несколько десятков опытных специалистов из ведущих академических институтов и Московского университета.

Первый этап исследований принес богатый фактический материал. Но неопровержимых свидетельств того, что океаническое дно здесь значительно расширяется, получено не было. Оказалось, что Исландия — скорее всего, крупная аномальная структура на Срединно-Атлантическом хребте. Анализ данных не привел к единой точке зрения на процессы, протекающие в этом районе. Некоторые результаты, например геотер-

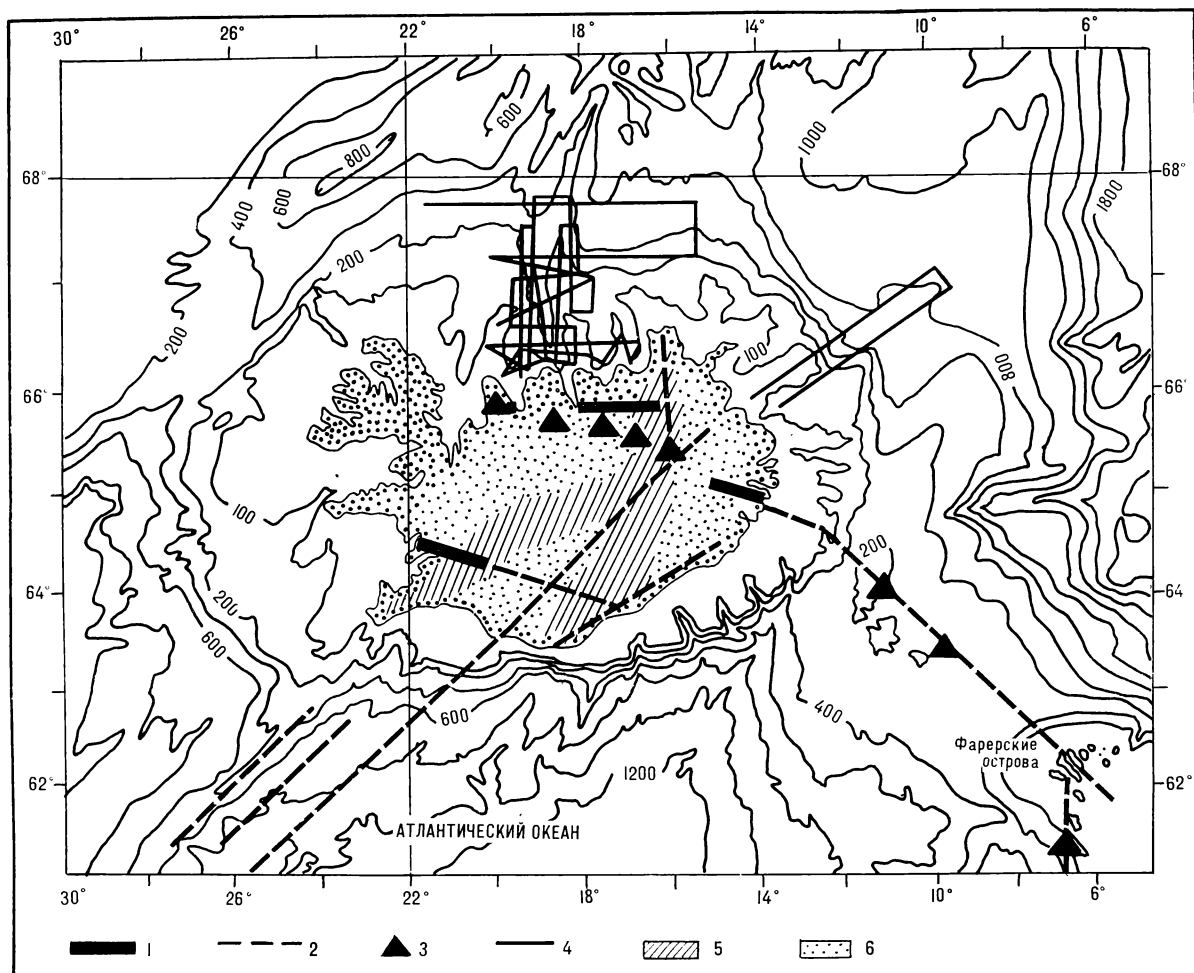
мические, как будто бы говорили об «океанической» природе Исландии. В то же время стало ясно, что горные породы острова никогда не находились на дне океана.

На втором этапе работы советской экспедиции в Исландии (1974—1978 гг.) от общего обследования острова перешли к специальным исследованиям (в основном геофизическим), важным для понимания ключевых проблем. Центральным вопросом стало **сейсмическое изучение земной коры**.

ЗЕМНАЯ КОРА ИСЛАНДИИ

Тип строения коры — один из важнейших геофизических параметров, на основе которого складываются представления о геологической истории регионов. Земная кора под океанами и континентами сильно различается как по толщине, так и по скоростям сейсмических волн в отдельных ее слоях («Земля и Вселенная», № 5, 1978, с. 36—44. — Ред.).

К началу наших работ земная кора Исландии изучена была сравнительно неплохо. С помощью сейсмических методов исландский геофизик Г. Пальмасон организовал более или менее систематические исследования во многих доступных районах острова. Но исследования эти были весьма неполными. К тому же чаще всего взрывы производились лишь в одном пункте и наблюдения велись в точках, лежащих только в одном направлении от него. Известно, что скорость сейсмических волн и глубина слоев, определяемые таким способом, соответствуют истинным только в том



случае, когда слои земной коры залегают горизонтально. Глубина исследований, выполненных Пальмасоном, ограничивалась 10—15 км.

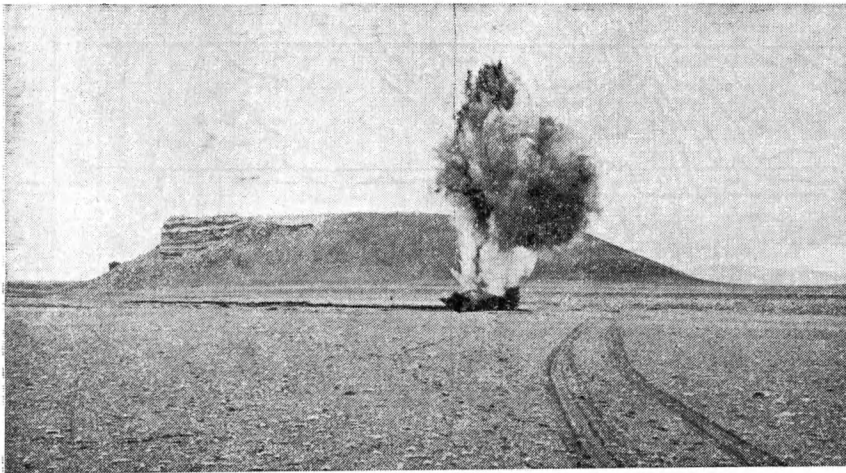
Рассматривая полученные данные с точки зрения гипотезы об океанической природе Исландии, Пальмасон сделал следующие выводы. Слой, где

■
 Сейсмические профили и станции, где проводились исследования. Условные обозначения: 1 — детальные сейсмические наблюдения методом преломленных и отраженных волн; 2 — профили НАСП-72 и РРИСП-77; 3 — наблюдательные станции НАСП-72; 4 — морские сейсмические профили, выполненные в 1976 году «Академиком Курчатовым»; 5 — рифтовая зона; 6 — зона платобаазальтов. Цифры на изолиниях — глубина океана в метрах

сейсмические волны распространяются со скоростью 6,5 км/с, соответствует выделяемому повсеместно в океанах «базальтовому», или «океаническому», слою (скорость там обычно составляет 6,7—6,8 км/с). Слой, в котором волны имеют скорость 7,2 км/с, Пальмасон связал с подошвой земной коры океана (среднее значение на этой границе обычно около 8 км/с). На первый взгляд выводы Пальмасона говорили о сходстве земной коры Исландии и океана. Кроме того, уменьшенные скорости сейсмических волн, которые характеризуют не вполне консолидировавшуюся среду, как будто бы свидетельствовали о молодом возрасте земной коры под островом. Все это на первый взгляд подтверждало гипотезу о раздвижении океанического дна в районе Исландии.

Однако сейсмические данные, полученные здесь советскими учеными, внесли существенные коррективы в эти представления. Еще в 1972 году сейсмический отряд советской экспедиции участвовал в международном научном проекте НАСП-72 (NASP-72 — Северо-Атлантический сейсмический проект). Советские ученые реди наблюдения на шести станциях вдоль профиля, пересекающего рифтовую зону на севере острова, и в нескольких морских пунктах, где измерения выполнялись с помощью донных и буйковых сейсмических станций.

В Исландии и на дне океана, в Исландско-Фарерском желобе, удалось получить хорошие записи скоростей сейсмических волн. Были построены разрезы до глубины более 40—50 км. Оказалось, что под Исландско-Фарерским порогом земная кора имеет ти-

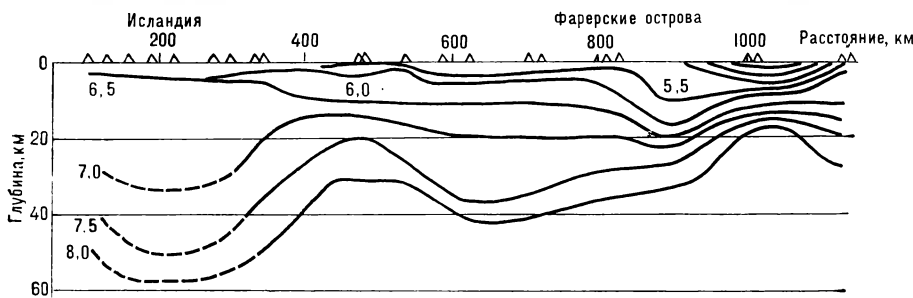


нии земной коры вдоль рифта, начиная с удалений 300 км, отличались от данных НАСП-72, которые были получены на профиле, поперечном рифту. Скорости сейсмических волн в изучаемом диапазоне расстояний были меньше скоростей, характерных для земной коры континентального типа. Все это указывало на сложную и весьма своеобразную структуру земной коры. Возможно, под рифтовой зоной существует глубокий и сравнительно узкий прогиб «нормальной» мантии, заполненный породами, где волны распространяются с меньшей скоростью и прогиб этот не удалось обнаружить на профиле с поперечной ориентацией. Вопрос о типе земной коры в Исландии пока окончательно не решен.

ЗОНА РИФТООБРАЗОВАНИЯ

Известно, что лавовые потоки возраста свыше 3 млн. лет образуют мощные толщи **платобазальтов**, наклоненные в сторону современной рифтовой зоны. Для понимания процессов вулканизма и рифтообразования в Исландии необходимо было выявить, продолжают ли слои древних платобазальтов под лавовыми полями современной рифтовой зоны. К тому же интересно было узнать, какова тонкая структура базальтовых толщ на больших глубинах в древних платобазальтах и молодых покровах современного рифта.

С этой целью в 1976—1978 годах советская экспедиция выполнила детальные исследования в трех районах Исландии. Их проводили **комбинированным методом отраженных и преломленных волн** ученые из Института физики Земли АН СССР и Ленинградского горного института. Наблюдения осуществлялись 48-канальной сейсмической станцией. Через каждые 50 м по профилю располагались группы сейсмографов, которые регистрировали волны, приходящие из четырех-шести пунктов взрыва. Сейсмические профили длиной во много десятков километров проходили через долины, горы, населенные и пустынные места острова. Взрывы производились в озерах, морских за-



пичное континентальное строение (в ее основании скорость сейсмических волн составляла 8 км/с). Такая же скорость была измерена и под восточным побережьем Исландии на глубине около 30 км. Поверхность мантии Земли с нормальными скоростями волн погружалась здесь в сторону рифтовой зоны Исландии. Сейсмические данные в сочетании с гравиметрическими и некоторыми результатами изучения землетрясений

Такие взрывы производились при сейсмических исследованиях в Северной Исландии

Предполагаемый разрез земной коры (в изолиниях скоростей сейсмических волн), выявленный на профиле НАСП-72. Профиль пересекает рифтовую зону Северной Исландии и проходил через Фарерские острова. Цифры показывают скорости сейсмических волн

свидетельствуют о том, что под Исландией существует чашеобразный прогиб земной коры до глубины свыше 40—50 км, а это говорит о **большой мощности коры в этом районе.**

Результаты советских исследований не укладывались в рамки представлений об океанической структуре коры и раздвижении океанического дна в районе Исландии. Зарубежные специалисты, работавшие здесь, долго с недоверием относились к этим результатам, и в 1977 году ученые ФРГ организовали в Исландии новый цикл исследований земной коры. Основной профиль проходил вдоль рифтовой зоны Исландии и подводного хребта Рейкьянес. Проект получил название РРИСП-77 (RRSP-77 — Сейсмический проект на хребте Рейкьянес). Советская экспедиция принимала активное участие в проекте, наблюдения велись в 20 пунктах рифтовой зоны Северной Исландии.

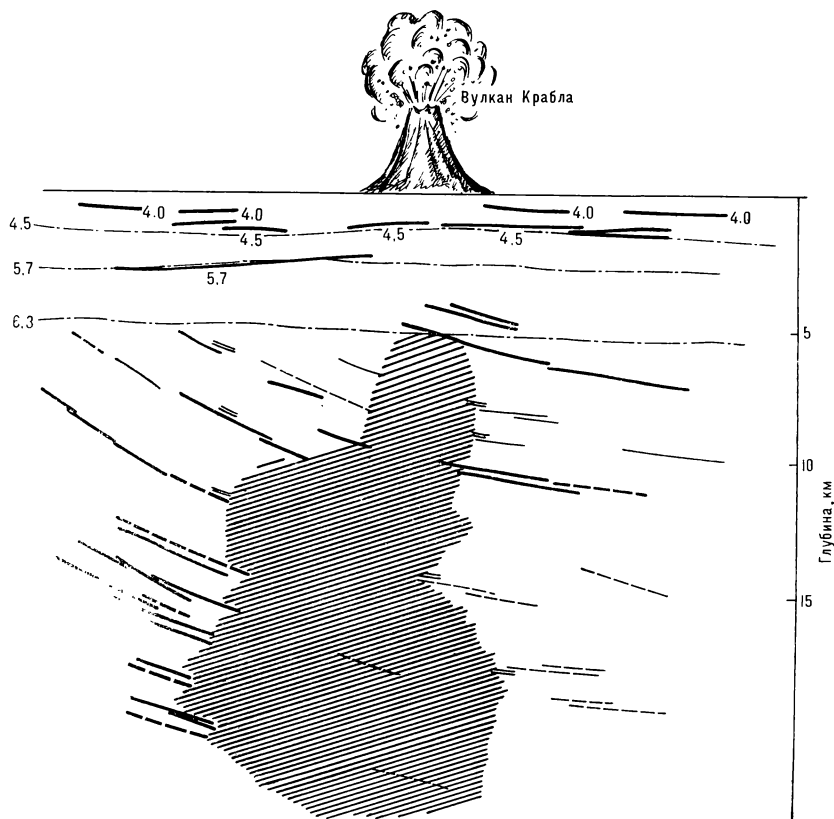
Самые первые результаты оказались неожиданными: данные о строе-

ливах, а иногда и в пещерах, образованных лавовыми потоками. Работы выполнялись совместно с исландскими геофизиками, которые никогда не проводили подобных исследований и потому были весьма заинтересованы в них.

Результаты этих совместных исследований дали возможность построить несколько разрезов земной коры Исландии. Интересен разрез юго-западной части острова. У поверхности сейсмические границы соответствуют плотным прослоям в толще древних платобазальтов. Глубже двух километров сейсмические и преломляющие горизонты залегают более полого, чем вблизи поверхности, и наклонены в сторону современного рифта. Такая слоистость земной коры наблюдается до 15—20 км вглубь. В рифтовой зоне преломляющие слои образуют пологую **депрессию**, заполненную «низкоскоростными» **молодыми породами вулканического происхождения**. Хотя подобная низкая скорость сейсмических волн зарегистрирована также в плотных прослоях древних платобазальтов, все же нет уверенности, что точно такие же прослои существуют и в рифтовой зоне. Проследить непрерывно преломляющие горизонты очень трудно, мешает этому их структура, осложненная многочисленными нарушениями. К тому же из-за сложного рельефа местности и отсутствия подходящих дорог не удалось получить достаточной информации в зоне между древними базальтами и современным рифтом.

Отражающие площадки в толще рифтовой зоны образуют два склона крутого прогиба, внутри которого такие площадки отсутствуют. Это может говорить о том, что под средней, наиболее активной частью рифтовой зоны Исландии есть участки, где земная кора сейсмически однородна. Именно над этими участками, или **однородными телами**, располагаются вулканы и активные трещины. Поэтому можно предположить, что сейсмически однородные тела — это магматические очаги, откуда расплавленное вещество питает ныне действующие вулканы.

Сходный сейсмический разрез по-



лучен и в северной части Исландии. Здесь обнаружен аналогичный наклон границ в сторону рифта в зоне древних платобазальтов, депрессия в рифтовой зоне, заполненная молодыми вулканическими породами, а также сейсмически однородные тела под активными вулканами и трещинами. По-видимому, удалось нащупать общие закономерности структуры земной коры в Исландии. Оказывается, что ее фактическую структуру нельзя объяснить простой гипотезой расши-

■ *Сейсмический разрез земной коры, пересекающий активную часть рифтовой зоны Северной Исландии. Сейсмические границы (отрезки жирных линий) на глубине менее 5 км выявлены методом преломленных волн. Цифры показывают скорости сейсмических волн (штрих-пунктир — изолинии сейсмических скоростей). Глубже 5 км границы слоев выявлены методом отраженных волн. Затрихованная область — предполагаемая зона магматического очага, питающего вулкан Крабла*

рения океанического дна. Слоистость разреза на глубине свыше 5—6 км не могут создать процессы, протекающие здесь в настоящее время. Однако как в платобазальтовой, так и в рифтовой зоне структура коры до глубины 15—20 км явно связана с современным положением рифтовой зоны. А это, по-видимому, свидетельствует о том, что рифтовая зона уже давно располагается примерно в одном и том же месте и значительного раздвижения земной коры здесь не происходит.

Этот вывод пока нельзя считать окончательным, он будет уточняться при совместном анализе сейсмических, геологических, гравиметрических и магнитных наблюдений, а также материалов магнитотеллурического зондирования и данных о деформациях земной поверхности.

Недавно в Исландии начался новый цикл исследований для решения не только геофизических, но также геологических и геохимических проблем.



НОВЫЕ РЕЙСЫ «ГЛОМАРА ЧЕЛЛЕНДЖЕРА»

В декабре 1978 – январе 1979 года научно-исследовательское судно «Гломар Челленджер» совершило свой 64-й рейс, в котором принимали участие специалисты из США, Швейцарии, ФРГ, Мексики, Великобритании, Франции и Японии. Основной целью экспедиции было изучение геологической истории дна Калифорнийского залива.

За 45 суток рейса в морском дне было пробурено 12 скважин. Удалось поднять колонки пород основания и осадочных пород, слагающих морское дно в глубоководье у мыса Сан-Лукас, при входе в Калифорнийский залив, а также в районе Гуаймас, где расположен самый северный из глубоководных бассейнов этой акватории. Образцы пород свидетельствуют о том, что Калифорнийский залив – очень молодой (в геологическом масштабе времени) рифтовый океанический бассейн.

Пятью скважинами, пробуренными к юго-востоку от мыса Сан-Лукас, был образован поперечный разрез, соединяющий районы океанической земной коры и континентальной. Установлено, что в отличие от плотных и относительно тонких базальтов океанической коры континентальная кора в основном менее плотная, сложенная гранитами.

Анализ пород позволил сделать вывод, что на ранней стадии формирования Американского континента его край утончался и сильно оседал. Всего в 7 милях к юго-востоку от разреза, где глубина моря около 3000 м, удалось обнаружить слой коры, образующий дно. Он сложен весьма молодой базальтовой лавой возраста 3,5 – 4 млн. лет. Такой возраст пород был предсказан результатами геофизических исследований. Он свидетельствует, что процесс расширения нового океана идет со скоростью около 6 см/год.

Результаты бурения в бассейне Гуаймас, над центрами активного раздвижения морского дна (спрединг), говорят о том, что поступающая

из недр магма в условиях, когда скорость осадконакопления велика, не извергается на поверхность дна, а внедряется в осадочные породы, обуславливая метаморфизм пород и интенсивную дегидратацию осадков.

Впервые была поднята 150-метровая ненарушенная колонка слоистых осадочных пород, содержащих остатки микроскопических растений и животных. По ним можно воссоздать климатические изменения, которые произошли здесь 300 000 лет назад.

В январе – марте 1979 года судно «Гломар Челленджер» совершило 65-й рейс. В экспедиции принимали участие ученые из США, Великобритании, Мексики, СССР, Франции и ФРГ. Работы проводились также в Калифорнийском заливе, главным образом, вблизи входа в него. Изучались механизмы и продолжительность процессов, связанных с ростом земной коры. Для этого района характерна крайне тонкая молодая земная кора, образовавшаяся в результате расширения океанического дна.

За два месяца работы было пройдено семь скважин, наиболее глубокие из них достигали 100 и 177 м. Результаты бурения дают четкую картину образования земной коры в этом районе. Излияния подушечной лавы вдоль осевой зоны вулканов и трещин приводили здесь к быстрому росту толщины коры. Вслед за внедрением магмы наступали периоды седиментации, перемежавшиеся процессами вулканизма.

Хотя большинство пунктов бурения находилось вблизи суши, образцы базальтов по своему химическому составу представляют собой породы, которые встречаются обычно в центральных районах океанов и содержат следы «загрязнения» континентальными породами. Состав наиболее молодых базальтов указывает на их быстрое перемещение из глубины мантии к поверхности дна.

Изучение ископаемых остатков, обнаруженных в древнейших осадочных породах каждого из пунктов бурения, а также магнитной поляризованности подстилающих базальтов показало, что в Калифорнийском заливе скорость расширения дна около 5,6 см/год. В результате полуостров Калифорния (Мексика) и южная часть штата Калифорния (США) медленно перемещаются в северо-западном направлении вдоль разлома Сан-Андреас.

Удалось выполнить также ряд геофизических экспериментов. На глубине около 300 м изучалась сейсмическая активность дна океана. Был выполнен и детальный разрез слоев в нескольких скважинах. Верхние слои основания в одной из скважин, располагавшейся вблизи оси подвод-

ного хребта, оказались сильно разогретыми. Это говорит о том, что бурение осуществлялось вблизи магматического очага.

«Deep See Drilling Project» (Scripps Institution of Oceanography), 1979, 281, 282.

ИЗВЕРЖЕНИЕ НА ЯВЕ

В феврале 1979 года активизировались вулканы Дьенг и Бутак Петарангак, входящие в вулканический комплекс Дьенг на острове Ява в Индонезии. Этот комплекс известен своей бурной активностью, которая проявлялась в 1918, 1939, 1944 годах. 20 февраля 1979 года здесь трижды ощущались подземные толчки. В 5 часов 4 минуты утра по местному времени произошел мощный взрыв, сопровождавшийся выбросом темно-серого облака из кратера Синила. Спустя меньше часа после второго выброса из кратера излился раскаленный грязевой поток. В 6 часов 50 минут в двухстах пятидесяти метрах от Синилы возник новый кратер, получивший название Сиглудук. Из него началось выделение паров. Тем временем из Синилы излился еще один поток лавы, более интенсивный, чем первый. Общий объем вылившейся лавы достиг 15 тыс. м³.

От последствий извержения вулканов сильно пострадали жители ближайшего населенного пункта Копутджукан. Погибло 149 человек, многие из них отравились вулканическими газами, содержащими двуокись углерода и сероводород.

С 11 часов утра 20 февраля активность обоих кратеров стала снижаться. На следующий день из Синилы выходили лишь густые клубы белого пара, а выделения из Сиглудука почти прекратились. 22 февраля вулканы успокоились. Группа сотрудников Управления вулканологической съемки Индонезии, обследовавшая в этот день место извержения, обнаружила, что дно кратера Синила диаметром 60–70 м и глубиной 40 м было заполнено пузырящейся грязевой массой.

«Smithsonian Institution SEAN Bulletin», 4, 3, 1979.



ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ
АСТРОНОМИЯ

Л. Л. СИКОРУК

Определение выдержки в астрофотографии

Солнце, Луна, планеты, туманности имеют настолько различную яркость, что при определении выдержки любитель астрономии часто оказывается в затруднительном положении. Между тем выдержку легко вычислить, используя три формулы, известные в курсе оптики и в фотографии.

Прежде всего, экспозиция: $H = E \cdot t$, где t — время экспонирования, или выдержка, E — освещенность на пленке, созданная объективом с относительным отверстием A и коэффициентом пропускания τ при яркости объекта B :

$$E = \frac{\pi}{4} \cdot B \cdot \tau \cdot A^2.$$

Светочувствительность в системе ГОСТ

$$S = \frac{10}{H_{D_{0+0,85}}},$$

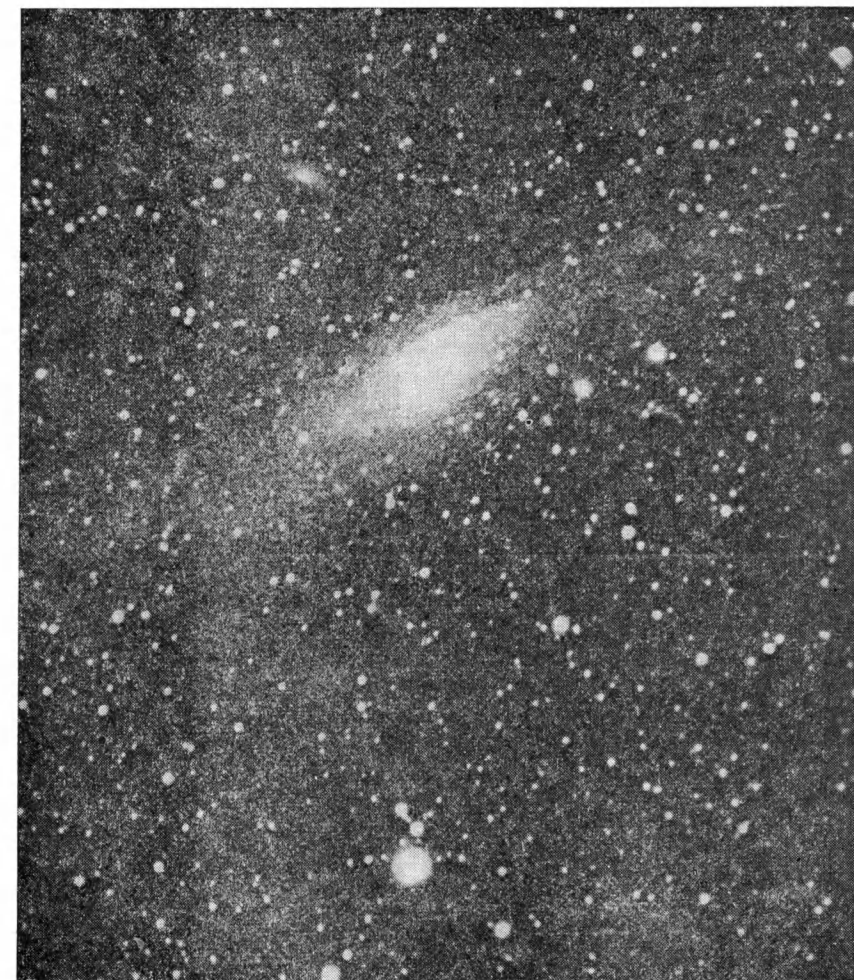
где $H_{D_{0+0,85}}$ — экспозиция, при которой достигается оптимальная плотность почернения негатива. Она на 0,85 выше плотности вуали проявления.

Нетрудно видеть, что выдержка, при которой получается оптимальная плотность почернения негатива

$$t = \frac{12,7 \cdot V^2}{B \cdot S \cdot \tau} \text{ с},$$

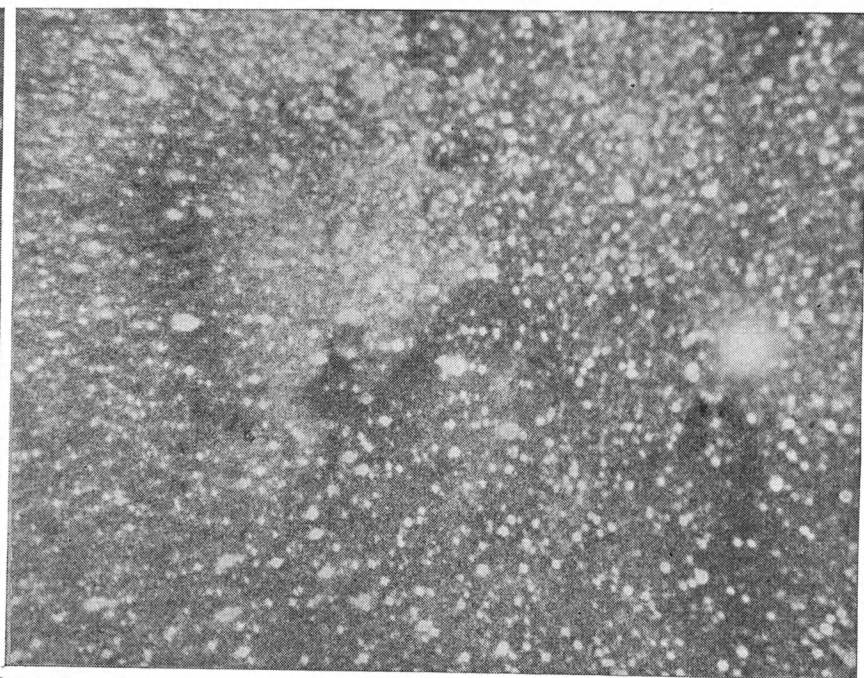
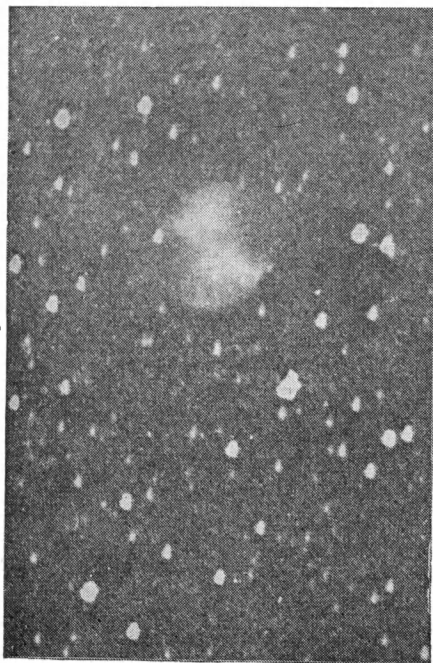
где V — относительный фокус (величина, обратная относительному отверстию объектива). Фотолюбители называют ее диафрагмой. Если применяется окулярная камера, величину V надо умножить на увеличение камеры и только после этого возводить в квадрат.

Коэффициент пропускания τ для просветленных объективов рефракторов равен 0,9; для непросветленных — 0,8; для рефлекторов системы



Ньютона или Кассегрена — 0,8; для многолинзовых просветленных объективов — 0,7—0,8, для непросветленных — 0,4—0,6. Если используется окулярная камера, коэффициент пропускания следует умножить на 0,8.

■
Галактика M 31 в созвездии Андромеды. Снимок сделан объективом «Таир-3» (фокусное расстояние 300 мм, относительное отверстие 1/4,5). Пленка чувствительностью 350 ед. ГОСТа, выдержка 1 час



■
Планетарная туманность «Гантель» в созвездии Лисички. Фотография получена на 150-миллиметровом рефлекторе системы Ньютона (фокусное расстояние 960 мм). Пленка чувствительностью 350 ед. ГОСТа, выдержка 20 минут

■
Участок Млечного Пути в созвездии Лебедя. Снимок сделан объективом «Гелиос-40» (фокусное расстояние 85 мм, относительное отверстие 1/1,5, оранжевый фильтр). Пленка чувствительностью 350 ед. ГОСТа, выдержка 10 минут

■
Большая туманность Ориона. Фотография получена на 150-миллиметровом рефлекторе системы Ньютона (фокусное расстояние 960 мм). Пленка чувствительностью 350 ед. ГОСТа, выдержка 5 минут



ПОВЕРХНОСТНАЯ ЯРКОСТЬ ПРОТЯЖЕННЫХ НЕБЕСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Яркость В небесных объектов в канделах на квадратный метр (кд/м²) или в условных единицах (для слабых объектов) приведена в таблице.

Предположим, мы собираемся фотографировать Юпитер рефлектором системы Кассегрена с относительным отверстием 1/15 и окулярной камерой, дающей 7-кратное увеличение. Умножив относительный фокус 15 на 7, получаем относительный фокус системы 105. Коэффициент пропускания системы 0,8·0,8=0,64. Яркость Юпитера 250 кд/м². Чувствительность пленки 250 ед. ГОСТа. Подставляем эти значения в формулу и получаем

$$t = \frac{12,7 \cdot 105^2}{250 \cdot 250 \cdot 0,64} = 3,5 \text{ с.}$$

Таким образом, Юпитер нужно фотографировать с выдержкой 3,5 секунды. Сложнее обстоит дело с фотографированием слабых небесных объектов — туманностей, галактик, шаровых скоплений. При низких освещенностях, а значит, при длительных выдержках чувствительность фотоземлюссии снижается. Если экспозиция длится около часа, чувствительность неастрономических эмульсий падает в 10—15 раз. Учесть падение чувствительности очень трудно. Автор проанализировал большое количество любительских снимков туманностей и галактик, сделанных на неастрономических эмульсиях, и на основе этого анализа оценил поверхностную яркость небесных объектов в условных единицах (см. таблицу). В этой «условной яркости» автоматически учтено падение чувствительности фотоземлюссии.

Пусть нам надо сфотографировать Большую туманность Ориона рефлектором системы Ньютона, имеющим относительное отверстие 1/6 (относительный фокус 6). Используется пленка «Фото-180». Подставляя эти значения и яркость туманности в формулу, получаем

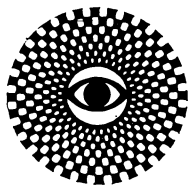
$$t = \frac{12,7 \cdot 6^2}{0,00075 \cdot 180 \cdot 0,8} = 4233 \text{ с,}$$

или 1 ч 10 мин.

Чтобы сократить время экспонирования до 30—40 минут, необходима пленка чувствительностью 350—500 ед. ГОСТа.

Вообще говоря, многие туманности

	Объект	Яркость
Луна	Серп молодой Луны низко над горизонтом	100 кд/м ²
	4-дневный возраст	200 кд/м ²
	6-дневный возраст	280 кд/м ²
	1-я четверть	400 кд/м ²
	10-дневный возраст	800 кд/м ²
	Полная Луна Пепельный свет Луны	2 500 кд/м ² 0,02 кд/м ²
Лунные затмения	Темная полутень	200 кд/м ²
	Край тени	2 кд/м ²
	Центр тени	0,05 кд/м ²
Солнце	Поверхность Солнца	1,3·10 ⁹ кд/м ²
	Протуберанцы	1000 кд/м ²
	Спектр вспышки (с 45-градусной призмой)	1 усл. ед.
	Внутренняя корона	50—500 кд/м ²
	Средние районы короны Внешняя корона	15 кд/м ² 2 кд/м ²
Планеты	Венера	20 000 кд/м ²
	Марс	1 200 кд/м ²
	Юпитер	250 кд/м ²
	Сатурн	100 кд/м ²
Туманности и галактики	Планетарная туманность М 57 в созвездии Лиры	0,00100 усл. ед.
	Большая туманность Ориона М 42	0,00075 усл. ед.
	Шаровое скопление М 13 в созвездии Геркулеса	0,00065 усл. ед.
	Планетарная туманность М 27 в созвездии Лисички	0,00065 усл. ед.
	Галактика М 82 в созвездии Большой Медведицы	0,00050 усл. ед.
	Галактика М 51 в созвездии Гончих Псов	0,00030 усл. ед.
	Галактика М 81 в созвездии Большой Медведицы	0,00030 усл. ед.
	Туманность М 17 в созвездии Стрельца	0,00030 усл. ед.
	Галактика М 31 в созвездии Андромеды	0,00020 усл. ед.
	Галактика М 101 в созвездии Большой Медведицы	0,00020 усл. ед.
	Крбовидная туманность	0,00020 усл. ед.
	Туманность «Америка» в созвездии Лебеда	0,00020 усл. ед.
	Туманность в скоплении Плеяды	0,00020 усл. ед.
	Галактика М 33 в созвездии Треугольника	0,00015 усл. ед.
	Туманность «Циррус» в созвездии Лебеда	0,00015 усл. ед.
Планетарная туманность «Улитка» в созвездии Водолея	0,00010 усл. ед.	
Туманность IC 434 в созвездии Ориона	0,00010 усл. ед.	
	Ночное небо вдали от города	0,00001 усл. ед.



ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ
АСТРОНОМИЯ



имеют резкий перепад яркости от центра к периферии. Например, Большая туманность Ориона выглядит по-разному при различных выдержках. При выдержке 2—5 минут видна ее центральная часть, в которую погружена Трапеция, при выдержке 2—3 часа в туманность погружено все созвездие Ориона. В таблице приведены средние значения яркостей, при которых объект выглядит на фотографии наиболее выразительно.

Засветка неба Луной, городским освещением, дымка — постоянные враги и астрономов-профессионалов и любителей. Во время съемок Луны или планет засветкой можно пренебречь. Однако бессмысленно пытаться получить хорошую фотографию галактики или туманности в центре большого города. У американских любителей есть выражение «Deep Sky Objects», что буквально означает «объекты глубоко черного неба». Это — туманности, галактики, звездные скопления. В небольших поселках, особенно во вторую половину ночи, когда освещение практически выключено, можно сфотографировать почти все объекты каталога Мессье. Во всяком случае, при их фотографировании должны быть видны невооруженным глазом звезды 5-й величины и слабее. Но чтобы максимально использовать возможности вашего инструмента, необходимо то «глубоко черное небо», в поисках которого стоит время от времени отправляться в деревенскую глушь, как это делают наблюдатели метеоров и серебристых облаков.

Легенды о звездном небе

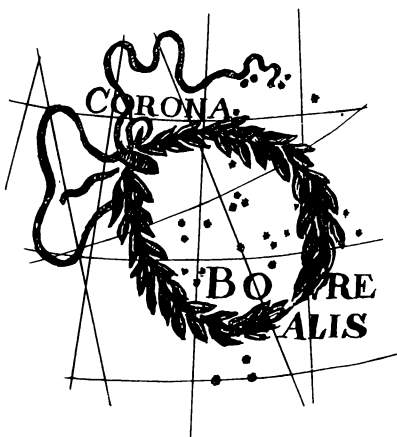
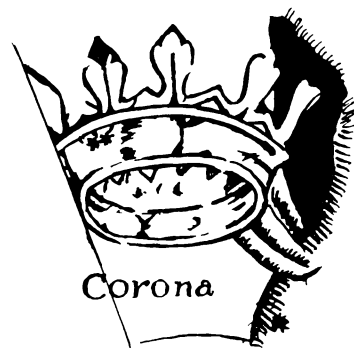
Северная Корона

Еще в древности заметили, что конфигурация нескольких ярких звезд северного неба своими очертаниями напоминает корону. Эту группу звезд так и назвали Корона. Позднее созвездие переименовали в Венец, поскольку на звездных картах появилась Южная Корона. Сейчас на картах неба есть и Южная и Северная Короны.

Легенды связывают происхождение названия созвездия с именем бога растительности, покровителя виноградарства и виноделия Диониса (Бахуса).

...Тесей — величайший герой Афин, победив чудовище Минотавра, возвращался с острова Крит домой. Он увез с собой и полюбившую его дочь критского царя Ариадну. Это она, вопреки воле отца, помогла Тесею сразить кровожадного Минотавра — полубыка-получеловека, пожиравшего юношей и девушек.

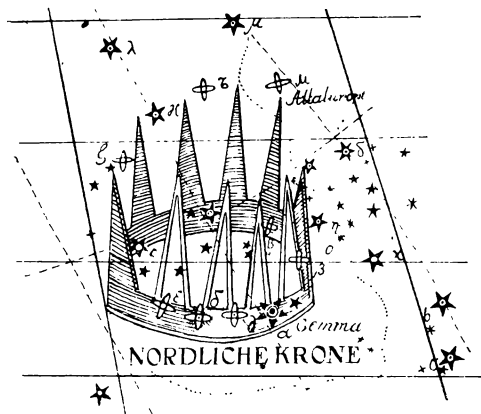
По дороге домой Тесей высадился на острове Наксос. Здесь во сне явился ему Дионис и сказал, что боги назначили ему, Дионису, Ариадну в жены. Тесей не посмел ослушаться богов. Полный грусти, удалился он с острова, оставив на пустынном берегу спящую Ариадну. Ее голова была



Созвездие Северной Короны на звездной карте, изданной в Кракове (1585 г.)

Созвездие Северной Короны из «Атласа звездного неба» Я. Гевелия (XVII в.)

Созвездие Северной Короны из атласа И. Боде (1800 г.)



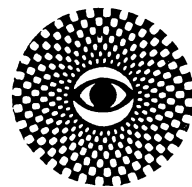
увенчана золотой короной с индийскими рубинами. Этот венец, выкованный самим Гефестом — богом огня и кузнечного ремесла, — Тесею преподнесла nereида Фетида как свадебный подарок. Овидий рассказывает: «Ариадна, похищенная Тесеем

■
Созвездие Северной Короны из немецкого атласа (XIX в.)

и покинутая им на берегу моря, оглашала всю окрестность своими рыданиями. На помощь к ней явился Бахус (Дионис) и, желая, чтобы она сияла вечным светом среди звезд, он снял венок с ее чела и бросил в небо. И пока он устремлялся ввысь, драгоценные камни, вплетенные в него, превратились в светила и укрепились на небесной тверди, сохранив там свою форму венка. Место его — между Человеком на коленях (Геркулесом) и Человеком, несущим змею (Змееносцем)». Ариадна, пораженная чудесным превращением, поверила, что перед ней сам бог Дионис и согласилась стать его супругой.

Северную Корону отождествляли с короной бога Солнца Митры, с замком кельтской богини Луны Арианрод. В сказках американских индейцев Северная Корона представлялась пещерой, где Большая Медведица зимой впадает в спячку.

Одна из легенд утверждает, будто звезды Короны — это двенадцать сестер, которые в волшебных серебряных корзинах спускались с небес на земные луга, чтобы покружиться в хороводе. Этим хороводом не раз любовался охотник Алгон. Он влю-

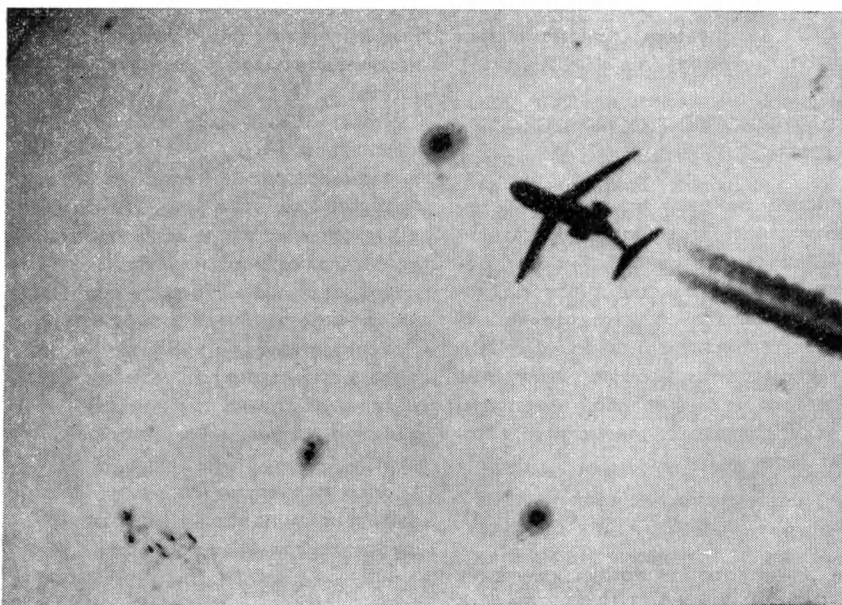


ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ
АСТРОНОМИЯ
+

бился в самую младшую из граций и однажды остановил ее. Сестры, всполошившись, улетели, а она после безуспешных попыток вырваться встретила взглядом с прекрасным охотником и тоже полюбила его. Девушка осталась на Земле. И теперь в Северной Короне, в том месте, которое занимала младшая из сестер, зияет пустота...

На звездных картах Северную Корону изображали в виде лаврового венка, тиары с драгоценными камнями, венком из птиц, цветов, листьев. Ее называли Коронай Ариадны, Коронай Вулкана (Гефеста), Серебряным Колесом, Тарелкой, Щитом.

И. И. НЕЯЧЕНКО



■
Этот редкий снимок, запечатлевший самолет на фоне солнечного диска, сделал любитель астрономии из Будапешта И. Ишкун 8 июня 1979 года в 15 часов 38 минут Всемирного времени. Он фотографировал Солнце на 10-сантиметровом телескопе системы Максутова



Читатель «Земли и Вселенной» М. А. Соловьев познакомился в журнале «Sky and Telescope» [1978, 53, 5, 6; 56, 1—6] со статьями американского радиоастронома Дж. Свенсона, в которых рассказывалось о постройке любительского радиотелескопа. М. А. Соловьев заинтересовало, насколько реально создание радиотелескопа собственными силами! В публикуемой ниже статье, адресованной преимущественно квалифицированным радиолюбителям, предлагается возможный путь создания самодельного радиотелескопа.

Кандидат физико-математических наук
Л. Р. КОГАН

Самодельный радиотелескоп

Радиоастрономия занимается исследованием электромагнитного излучения естественных космических источников в диапазоне длин волн от 1 мм до 10 000 м. С Земли можно наблюдать космическое радиоизлучение в окнах прозрачности атмосферы и ионосферы (длины волн 3 мм — 10 м).

Первый радиосигнал из Космоса был принят в 1932 году американским радиоинженером Карлом Янским. Изучая источники помех телефонной связи, он открыл радиоизлучение нашей Галактики. В 1937 году американский радиоинженер Грот Ребер построил во дворе своего дома антенну с параболическим зеркалом диаметром 9,5 м. В течение почти десяти лет Г. Ребер был единственным радиоастрономом в мире, причем радиоастрономом-любителем. Бурное развитие радиоастрономии началось после второй мировой войны. За короткое время было открыто множество космических радиосточников, протяженных и точечных, многие из которых не удалось отождествить с оптическими объектами.

Впечатляют открытия радиоастрономии, сделанные за последние годы. В 1963 году были обнаружены квазары — очень далекие от нас радиосточники с огромной мощностью излучения («Земля и Вселенная», 1968, № 3, с. 32—38.— Ред.) и мазерные источники, которые, подобно наземным передатчикам, излучают очень узкие спектральные линии («Земля и Вселенная», 1966, № 6, с. 9—15; 1967, № 1, с. 32—38.— Ред.), в 1964 году — реликтовое излучение Вселенной («Земля и Вселенная», 1979, № 6, с. 45—49.— Ред.). Наконец, в 1967 году открыты пульсары, излучающие импульсы с удивительно ста-

бильным периодом повторения («Земля и Вселенная», 1971, № 2, с. 19—22.— Ред.).

Современное развитие радиоастрономии и радиоэлектроники делает возможным конструирование самодельных радиотелескопов участниками астрономических кружков при планетариях, Дворцах пионеров, школах. Наиболее подготовлены для решения этой задачи радиолюбители, многие из которых уже сейчас «вышли в космос», установив связь со специально запущенными в СССР спутниками для радиолюбителей. Занятие радиоастрономией позволит радиолюбителям принять сигналы от источников, находящихся на расстоянии сотни световых лет от Земли.

Естественно, радиоастроному-любителю необходимо обладать знаниями не только в области радиотехники, но и астрономии. Первые сведения по радиоастрономии можно найти в книге С. А. Каплана «Элементарная радиоастрономия» (М., «Наука», 1966).

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОСМИЧЕСКОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

Какова природа космических радиосигналов? Этот вопрос, поставленный еще во времена К. Янского, решен для большинства типов радиосточников. Любое нагретое космическое тело излучает широкий спектр электромагнитных волн. Излучение нагретого тела (тепловой механизм) в радиодиапазоне описывается законом Релея — Джинса:

$$F = \frac{2kT}{\lambda^2} \Omega = \frac{2kT}{c^2} f^2 \Omega, \quad (1)$$

где F — плотность потока излучения в Вт/м²·Гц, $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К —

постоянная Больцмана, $c=3 \cdot 10^8$ м/с — скорость света, T — температура в градусах Кельвина, λ — длина волны в метрах, f — частота в герцах, Ω — телесный угол источника встерадианах.

В радиоастрономии, как правило, приходится иметь дело с очень малыми значениями плотностей потока, поэтому введена специальная единица измерения плотности. В честь первооткрывателя космического радиоизлучения она называется янский: $1 \text{ Ян} = 10^{-26} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{Гц}$.

В соответствии с законом Релея — Джинса при тепловом механизме излучения плотность потока увеличивается с ростом частоты. Однако у особенно мощных радиосточников плотность потока излучения, начиная с некоторой частоты, уменьшается, то есть их излучение нельзя объяснить тепловым механизмом. Кроме того, известны мазерные источники, которые излучают в радиодиапазоне лишь на определенных фиксированных частотах.

Чтобы можно было сравнивать интенсивность излучения источников, в радиоастрономии введено понятие **яркостной температуры**. Она соответствует температуре абсолютно черного тела, которое на частоте наблюдения дает значение плотности потока, равное наблюдаемой плотности. Яркостная температура может не совпадать с температурой источника (они совпадают только при тепловом механизме излучения) и зависит от частоты.

Зная плотность излучения, можно вычислить мощность P , принятую радиотелескопом,

$$P = \frac{1}{2} F S \Delta f, \quad (2)$$

где Δf — полоса пропускания приемника в Гц, S — эффективная площадь антенны радиотелескопа в м².

Эффективная площадь параболических радиотелескопов всегда несколько меньше геометрической площади зеркала, но между ними существует прямо пропорциональная зависимость. Эффективная площадь радиотелескопов-вибраторов не имеет соответствия с геометрической площадью какой-либо конструкции антенны.

В радиоастрономии мощность принятого радиотелескопом излучения измеряется в **антенных температурах** (T_a).

Заменим антенну резистором, подключенным ко входу приемника. Представим, что приращение мощности на его входе вызвано повышением температуры резистора. Мощность шума, принятого приемником от нагретого до температуры T_a резистора, определяется по формуле:

$$P = kT_a \Delta f. \quad (3)$$

Считая, что эта мощность равна мощности принятого радиоизлучения (2), получим

$$T_a = \frac{FS}{2k}. \quad (4)$$

Антенная температура прямо пропорциональна плотности потока излучения источника, но зависит еще и от эффективной площади антенны. Если плотность потока излучения измеряется в янских, то формулу для антенной температуры можно записать так:

$$T_a [\text{K}] = \frac{F [\text{Ян}] S [\text{м}^2]}{2800}. \quad (5)$$

РАДИОМЕТРЫ

Мощность космического радиоизлучения очень мала. Энергии, принятой всеми радиотелескопами мира за всю историю радиоастрономии, не хватило бы для нагревания капли воды на 1°. Чтобы зарегистрировать такие слабые сигналы, радиоастрономы разработали чувствительнейшие приемные устройства — **радиометры**.

Чувствительность радиометра зависит от собственных шумов приемного устройства, которые оцениваются **коэффициентом шума** либо **шумовой температурой** $T_{ш}$. Последняя определяется мощностью шумов на входе

радиометра $P_{вх} = kT_{ш} \Delta f$ при отсутствии входных сигналов. Коэффициент шума связан с шумовой температурой следующим соотношением:

$$k_{ш} = \frac{T_{ш}}{300} + 1. \quad (6)$$

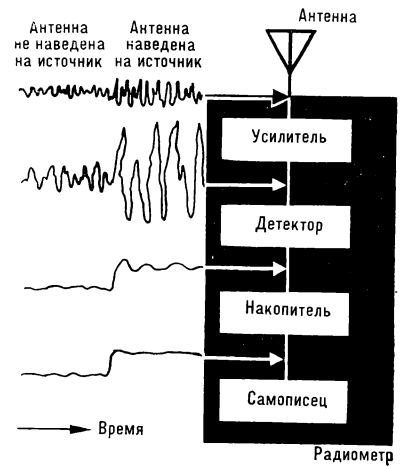
Коэффициент шума всегда больше 1 и стремится к 1 по мере улучшения шумовых качеств радиометра.

Понятие шумовой температуры вводится также для отдельных каскадов, из которых состоит радиометр. Если несколько каскадов усилителя соединены последовательно, то решающее влияние на общую шумовую температуру оказывает первый каскад. Например, для трехкаскадного усилителя шумовая температура

$$T_{ш} = T_{ш1} + \frac{T_{ш2}}{G_1} + \frac{T_{ш3}}{G_1 G_2}, \quad (7)$$

где $T_{ш1}$, $T_{ш2}$, $T_{ш3}$ и G_1 , G_2 , G_3 — шумовые температуры и коэффициенты усиления первого, второго и третьего каскадов, соответственно.

Как оценить чувствительность радиотелескопа? Рассмотрим его упрощенную схему. Сигнал, принятый антенной, усиливается и детектируется. Детектор должен иметь квадратичную характеристику, чтобы напряжение на его выходе было пропорционально мощности входного сигнала. С детектора сигнал поступает в накопитель, который должен уменьшить флуктуации сигнала. Дело в том, что на выходе детектора из-за шумового характера сигнала мы получим напряжение, в среднем пропорциональное входной мощности. Однако его значение в каждый момент времени будет то больше, то меньше среднего. Накопитель заменяет значение напряжения в каждый момент времени средним значением за ближайший интервал времени. Длительность этого интервала (τ) называется **временем усреднения**. Понятно, что чем больше время усреднения, тем меньше отклонение накопленного сигнала от измеряемого среднего значения. С другой стороны, чем больше переходов через среднее значение за единицу времени (число этих переходов пропорционально полосе частот сигнала Δf , подаваемого на детектор), тем меньше флуктуации на выходе накопителя при одном и том



же времени усреднения. Согласно теории, среднеквадратичное отклонение флуктуаций после накопителя прямо пропорционально

$$\frac{T}{\sqrt{\tau \Delta f}} \alpha,$$

где $\alpha \gg 1$ — коэффициент, зависящий от типа радиометра.

На фоне флуктуаций реально обнаружим сигнал, превышающий в 6—10 раз среднеквадратичное отклонение флуктуаций. Исходя из этого, получим следующее выражение для минимальной антенной температуры, которую можно зарегистрировать,

$$T_{a \text{ min}} = \frac{10T_{ш}}{\sqrt{\tau \Delta f}} \alpha. \quad (8)$$

Объединив формулы (5) и (8), найдем выражение для минимального потока

$$F_{\text{min}} [\text{Ян}] = \frac{28000 T_{ш} [\text{K}]}{\sqrt{\tau \Delta f} S [\text{м}^2]} \alpha. \quad (9)$$

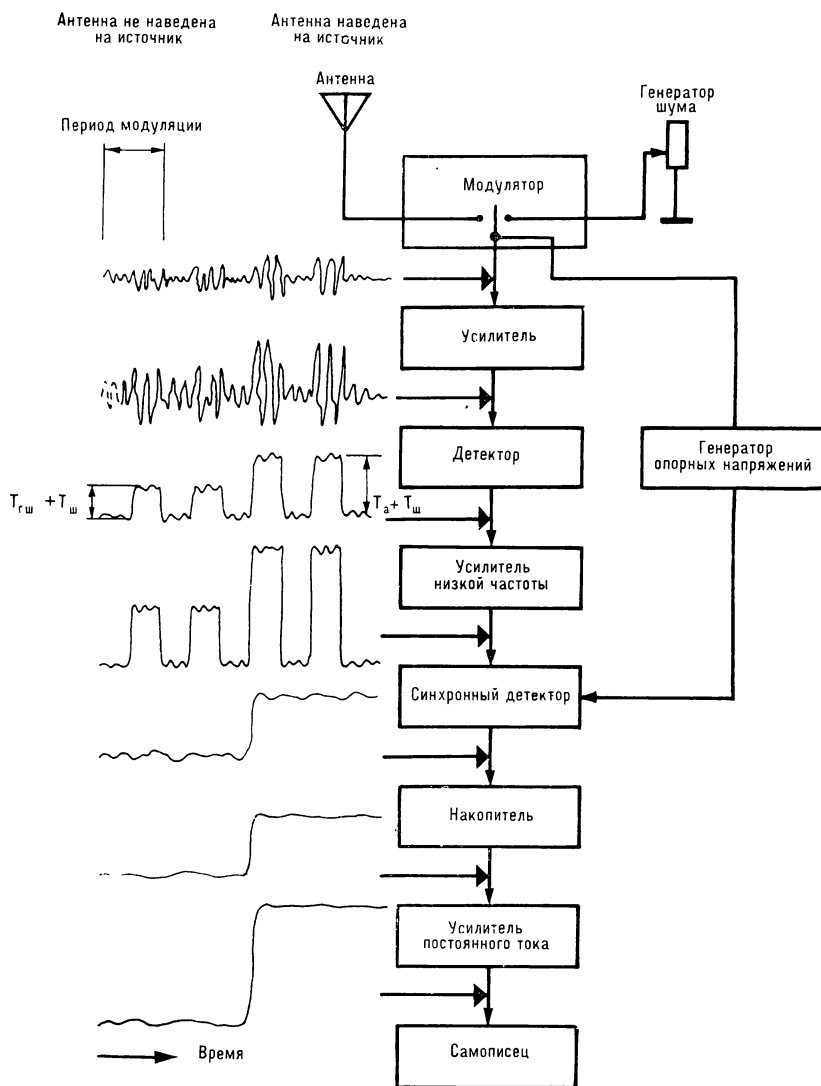
Схема радиометра, которую мы рассматривали, называется **компенсационной**, так как в ней после накопителя предусматривается компенсация большого уровня фона, созданного собственными шумами. Эта схема теоретически обеспечивает наивыс-

Упрощенная схема радиотелескопа. Показано, как меняется форма сигнала после прохождения различных каскадов радиометра

шую чувствительность (коэффициент $\alpha=1$). Однако реализация компенсационной схемы радиометра вызывает большие трудности. Если, например, мы имеем радиометр с шумовой и антенной температурой 300 и 1 К, соответственно, то в компенсационном приемнике мы должны измерить приращение выходного напряжения, которое в 300 раз меньше самого напряжения. Такие измерения возможны, если стабильность коэффициента усиления радиометра лучше чем $1/300$. Иначе мы легко можем принять за сигнал от источника всего лишь изменение выходного напряжения, вызванного тем, что в это время случайно изменился коэффициент усиления радиометра. От этого недостатка свободна **модуляционная схема радиометра**.

Сигнал, принятый радиотелескопом, вместе с сигналом от эталонного генератора шума подается на модулятор. Модулятор подключает усилитель попеременно к антенне и к генератору шума с частотой, которая задается генератором опорного напряжения. После детектора мы получим напряжение, изменяющееся с частотой генератора опорного напряжения. В один полупериод напряжение пропорционально $T_a + T_{ш}$, в другой $T_{гш} + T_{ш}$. Синхронный детектор выделяет разность между этими напряжениями. Если частота генератора опорных напряжений достаточно высока, чтобы можно было считать коэффициент усиления постоянным в течение одного периода, то на выходе накопителя мы получим напряжение, не зависящее от нестабильности коэффициента усиления.

Чувствительность модуляционного радиометра в 2 раза хуже, чем радиометра компенсационного типа. Однако модуляционная схема радиометра, в отличие от компенсационной, легко реализуется. Существуют модификации модуляционного приемника. Например, вместо генератора шума можно подключить антенну, направленную в соседнюю с источником точку неба. В таком радиометре, помимо нестабильности коэффициента усиления, исключается также влияние нестабильности поглощения в атмосфере и ионосфере Земли.



В модуляционном радиометре можно использовать две антенны, каждая из которых наведена на источник. Такая система называется **радиоинтерферометром с переклещением фазы**.

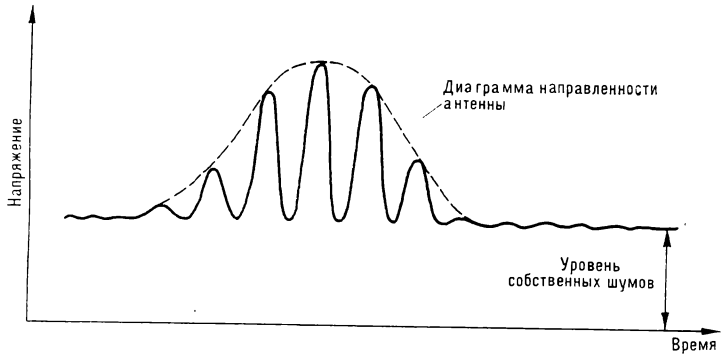
Сумма сигналов от двух антенн, размещенных на расстоянии D (база радиоинтерферометра) вдоль направления восток — запад, поступает в компенсационный радиометр. Если источ-

ник находится в направлении, перпендикулярном базе радиоинтерферометра (источник наблюдается в меридиане), то сигналы от двух антенн складываются и на регистрирующем приборе мы получим максимальное отклонение от уровня собственных шумов радиометра.

За счет вращения Земли через некоторое время (равное времени поворота Земли на угол $\frac{\lambda}{D}$) направле-

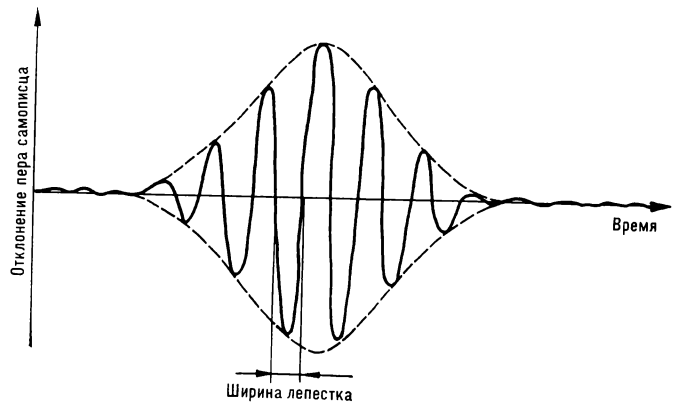
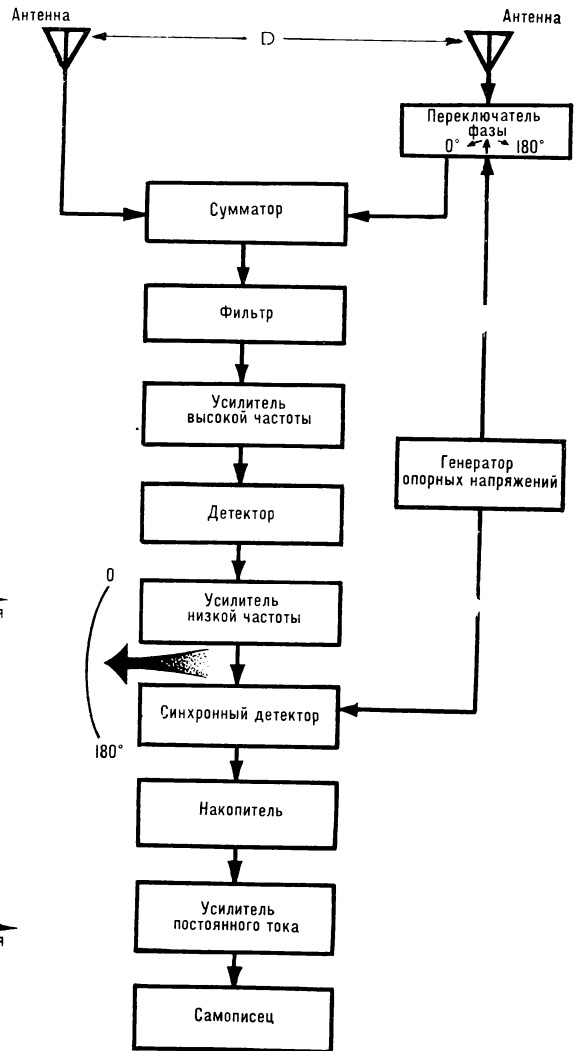
ние на источник изменится и разность фаз сигналов от двух антенн может стать 180° (при условии, что $D > \frac{\lambda}{2}$). Сигналы от двух антенн вычтутся и

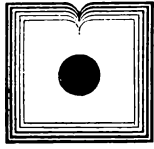
■ *Схема модуляционного радиометра. Показано, как меняется форма сигнала после прохождения различных каскадов радиометра*



регистрирующий прибор отметит нулевое приращение над собственными шумами. Если база интерферометра много больше длины волны, то при вращении Земли мы будем наблюдать чередование максимумов и минимумов на регистрирующем приборе. Такую же картину мы получим,

Блок-схема радиоинтерферометра с переключением фазы. Отклонение пера самописца пропорционально разности сигналов на выходе усилителя низкой частоты при фазе 0 и 180°





КНИГИ
О ЗЕМЛЕ
И НЕБЕ

Профессор
В. Н. СТЕПАНОВ

«История климата»

Так называется книга, написанная членом-корреспондентом АН СССР А. С. Мониным и кандидатом географических наук Ю. А. Шишковым (Гидрометеиздат, 1979). Главная отличительная особенность этого труда — его многогранность, широта и глубина изложения всех рассматриваемых вопросов, лаконичность и ясность мысли. В книге обобщены многочисленные данные и литературные источники, приводится много цифрового материала.

Анализ факторов и процессов, определяющих формирование и измене-

ние климата, проведен оригинально и глубоко. Своеобразно освещаются в книге данные, характеризующие климат. Это проявляется и в самом определении климата: он понимается как «...статистический ансамбль состояний, которые проходит система океан — суша — атмосфера за период времени в несколько десятилетий». Такой подход позволяет по-новому рассматривать совокупность взаимосвязей и взаимодействий между геосферами (твердая оболочка Земли, гидросфера, атмосфера), которые определяют главные макромасштабные

закономерности формирования и изменения природы всей нашей планеты. Раньше понятие климата ограничивалось описанием лишь характера метеорологических условий, свойственных в данную эпоху тем или иным областям земного шара (климатическим зонам) или всего земного шара в конкретные геологические периоды.

Книга состоит из двух частей, примерно равных по объему. Первая часть посвящена основам теории климата. Чтобы материал был доступен широкому кругу читателей, изложение ведется без использования гро-

если перед суммированием в один из сигналов введем фазовый сдвиг 180° , с той лишь разницей, что на месте максимумов будут минимумы, и наоборот. Если переключение фазы делается от сигнала генератора опорного напряжения и он же используется в синхронном детекторе, то так же, как и в обычном модуляционном радиометре, регистрирующий прибор отметит разность сигналов при фазе 0 и 180° .

Если обе антенны радиоинтерферометра навести на источник, на регистрирующем приборе появится синусоидальный сигнал (интерференционные лепестки), амплитуда которого пропорциональна плотности потока излучения источника. Угловое разрешение (ширина лепестка) радиотелескопа равно $\frac{\lambda}{D}$. Естественно, что угловое разрешение радиоинтерферометра во много раз превышает разрешение одной антенны, поскольку

ку длина базы радиоинтерферометра во много раз больше размера одной антенны.

Синусоидальный характер сигнала более определенно говорит о наличии источника, чем просто увеличение отклонения на регистрирующем приборе, как в случае наблюдения на одной антенне. Интерферометр не чувствителен к излучению источников, угловые размеры которых превосходят ширину лепестка $\frac{\lambda}{D}$. Исходя из этих преимуществ, рекомендуем интерферометр с переключением фазы в качестве вашего первого модельного радиотелескопа.

Предпочтительнее начинать радиоастрономические наблюдения в метровом диапазоне волн. Во-первых, приемные устройства в этом диапазоне волн значительно проще, чем в коротковолновом, во-вторых, в метровом диапазоне можно использовать хорошо известные телевизионные ан-

тенны типа «волновой канал», в-третьих, радиолюбители, знакомые с телевизионной техникой, могут применить свой опыт в создании радиоастрономической аппаратуры и, наконец, в метровом диапазоне существует достаточное количество мощных источников.

Очень важно правильно выбрать длину волны наблюдений. Наземные передатчики, особенно телевизионные, работающие в метровом диапазоне волн, создают большие помехи, которые во много раз превышают сигналы из Космоса. Поэтому частота наблюдений не должна попадать в диапазон телевизионных каналов. Особенно благоприятно окно между пятым и шестым каналами — частоты 99,75 — 175,25 МГц. Диапазон частот от 150,05 до 153 МГц специально отведен радиоастрономии.

(Окончание в следующем номере.)



моздкого математического аппарата. В этой части анализируются климатообразующие факторы, дается краткая характеристика современного климата и истории Земли, рассматривается эволюция атмосферы и гидросферы, а также приливная эволюция системы Земля — Луна. К астрономическим факторам, влияющим на климат Земли, относится солнечная радиация и гравитационное воздействие тел Солнечной системы. К геофизическим факторам относятся свойства, присущие самой Земле. Это и ее размеры, и масса, и скорость вращения вокруг оси, и гравитационные и магнитные поля, и внутренние источники тепла. В качестве главных метеорологических факторов рассматриваются химический состав и масса атмосферы, определяющие особенности каждого звена климатической системы и взаимодействие с гидросферой. Описание всех этих факторов дано в четкой и сжатой форме.

Анализируя современный климат, авторы приводят интегральные характеристики атмосферы, океана и оледенений. Они выражены, как правило, в количественных оценках, некоторые из них сделаны впервые. Несколько подробнее рассматривается атмосфера. Здесь, помимо общих сведений, содержится краткий анализ зональности климата, его особенностей в пределах материков и океанов, а также короткопериодных колебаний.

Рассматривая историю нашей планеты, авторы останавливаются на эволюции недр Земли, тектонике литосферных плит, геохронологии и геологических периодах фанерозоя (последние 570 млн. лет). Ведь без этих общих сведений по геологии земного

шара нельзя понять историю климата в далеком прошлом. Приведенный в этом разделе материал отличается оригинальностью. Особый интерес представляет глобальная палеогеографическая реконструкция, сделанная Л. П. Зоненшайном и А. М. Городницким для фанерозоя. Она иллюстрируется коллекцией карт распределения суши и воды в различные фазы эволюции Земли, начиная с нижнего кембрия (570—550 млн. лет) и кончая средним мелом (110—85 млн. лет).

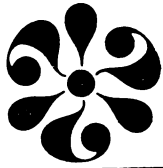
Не менее интересны изложенные в книге представления об эволюции атмосферы и гидросферы. Авторы описывают первичные водную и воздушную оболочки, рост их масс и геофизическое развитие атмосферы. В характерной для книги сжатой форме анализируются современные представления об эволюции обеих геосфер.

В заключительном разделе первой части книги рассматривается влияние приливной эволюции на климат. Эти вопросы, вызвавшие в последнее время довольно оживленную дискуссию, существенно развивают те представления о климатообразующих факторах, которые нередко игнорируются в научной литературе.

Во второй части книги в оригинальной интерпретации реконструируется климат докембрия (первые 4 млрд.

лет истории Земли), фанерозоя, кайнозоя (последние 70 млн. лет), плейстоцена (последний миллион лет) и голоцена (последние 12 000 лет). При описании климата докембрия авторы останавливаются на методике палеоклиматических реконструкций, а затем характеризуют тиллиты (древние отложения ледниковых морей) нижнего протерозоя (2 600 млн. лет), верхнего рифея (950 млн. лет) и венда (675 млн. лет). Здесь даны палеотемпературы и описывается оледенение Гондваны в фанерозое, оледенение Антарктиды и северного полушария, а также история Средиземного моря в кайнозое, оледенение Альп в плейстоцене, характеристика глобальных ледниковых периодов в истории Вюрмского оледенения. Последнему геологическому периоду — голоцену уделено, естественно, наибольшее внимание. Для него приведены материалы о последнеледниковом потеплении, эпохе викингов, малом ледниковом периоде, последнем потеплении и возможных тенденциях дальнейшего изменения климата.

Обширный круг проблем, которые рассматриваются в книге, несомненно вызовет большой интерес как специалистов естественного профиля, так и широкого круга читателей, интересующихся природой нашей планеты, эволюцией ее климата и общей историей Земли.



ОТВЕТЫ
НА ВОПРОСЫ
ЧИТАТЕЛЕЙ

Верно ли, что тринадцатое число месяца с большей вероятностью приходится на пятницу, чем на другие дни недели!

И. П. Коногорский (Иркутск)

На этот вопрос отвечает профессор А. В. БУТКЕВИЧ (Львовский политехнический институт).

В григорианском календаре (новом стиле) високосные годы и дни недели, приходящиеся на определенные числа месяца, повторяются через 400 лет, так как эти 400 лет (из которых 303 года простых и 97 висо-

косных) составляют 146 097 дней, или ровно 20 871 неделю. На протяжении четырехсот лет тринадцатое число встречается 4800 раз, распределяясь по дням недели следующим образом: воскресенье — 687, понедельник — 685, вторник — 685, среда — 687, четверг — 684, пятница — 688 (I) и суббота — 684 раза. Поэтому, действительно, в 400-летнем периоде тринадцатым числом чаще бывает пятница, чем другие дни недели.

Но в разные годы количество «тринадцатых пятниц» различно. Так, если в невисокосном году 13 февраля, а в високосном — 13 января были пятницей, то 13-е число в этом году трижды приходится на пятницу. Если же на пятницу падает 13 июня простого года, то в году будет лишь одна «тринадцатая пятница».

Можно подобрать период, превышающий 400 лет, в котором отношение числа «тринадцатых пятниц» к числу всех тринадцатых чисел за этот период будет больше 688/4800. Для этого достаточно за начало и конец периода взять «трехпятничные» годы. Ближайшим «трехпятничным» годом будет 1981-й.

Вопрос, который заинтересовал читателя И. П. Коногорского, в теории календаря известен как «задача Брауна». Ее решение можно найти в книге «Избранные задачи из журнала «American mathematical monthly» (М., «Мир», 1977, задача № 303). Но оно нестрогое. Браун утверждает, что так как число недель в 400-летнем периоде целое, то, «если период времени достаточно велик, тринадцатое число с большей вероятностью приходится на пятницу, что и требовалось доказать» (это верно для периода кратного 400 годам.— А. Б.). Но можно выбрать период, превышающий 400 лет, в котором отношение числа «тринадцатых пятниц» к общему числу тринадцатых чисел будет меньше 688/4800. Для этого нужно за начало периода принять год, следующий за «трехпятничным» годом, и обрезать период перед «трехпятничным» годом.

Предоставляем читателям решить эту же задачу для юлианского календаря (старого стиля), который повторяется через 28 лет. Эти 28 лет содержат 10 227 дней, или 1461 неделю.



ЗВЕЗДНАЯ СИСТЕМА 40 ЭРИДАНА

В последние годы установлено, что в рентгеновском диапазоне излучают и обычные горячие звезды — такие, как Сириус или Капелла. Обнаружено рентгеновское излучение и от ближайшей к Солнцу звездной системы α Центавра.

Приборы спутника HEAO-1 («Земля и Вселенная», 1979, № 4, с. 54.—

Ред.) исследовали область неба, где расположена тройная звездная система 40 Эридана. Был зарегистрирован неизвестный прежде слабый рентгеновский источник, получивший название H 0405—08 (буквой H обозначают источники, обнаруженные приборами HEAO-1). Если отождествление источника с системой 40 Эридана правильно, то рентгеновская светимость в диапазоне 0,1—3,0 кэВ равна $9 \cdot 10^{28}$ эрг/с. Это в миллиард раз меньше, чем излучают наиболее яркие известные рентгеновские источники.

Но какая из трех звезд системы 40 Эридана ответственна за рентгеновское излучение? Американские ученые В. Каш, Ф. Чарлз, С. Бойер и др. проанализировали четыре возможности: рентгеновское излучение генерируется в короне красного

карлика 40 Эридана А (спектральный класс K 1); излучение возникает на вспыхивающей звезде 40 Эридана С (спектральный класс M 4); излучает горячий белый карлик 40 Эридана В; излучение рождается в газовом потоке, перетекающем от вспыхивающей звезды к белому карлику.

Наиболее вероятным источником представляется корона красного карлика 40 Эридана А. Если этот вывод справедлив, то придется пересмотреть многие взгляды на излучение звездных корон — ведь здесь излучает красный карлик, а вовсе не горячая звезда (как, например, Сириус)! Система 40 Эридана может стать первой в числе рентгеновских источников нового класса.

«Astrophysical Journal Letters», 1979, 231, 3.

**СТАТЬИ И ЗАМЕТКИ
ПО СЕЙСМОЛОГИИ,
ОПУБЛИКОВАННЫЕ
В «ЗЕМЛЕ И ВСЕЛЕННОЙ»
В 1965 — 1979 ГОДАХ**

I. СТАТЬИ

Барсуков О. М. Электропроводность горных пород и землетрясения 1979, № 6, с. 16—19

Винник Л. П. Шум Земли 1971, № 4, с. 42—45

Галкин И. Н. Земля и ... миллионы ее моделей 1971, № 2, с. 10—18

Галкин И. Н. Лунный сейсмический эксперимент 1973, № 5, с. 40—46

Гальперин Е. И. Вертикальное сейсмическое профилирование 1973, № 1, с. 12—19

Головков В. П. Геомагнитное поле — предвестник землетрясений? 1973, № 3, с. 40—43

Горшков Г. П. Землетрясения в Ташкенте 1966, № 5, с. 36—42

Жарков В. Н., Берикашвили В. Ш. Проблемы сейсмических исследований на Луне 1965, № 6, с. 16—23

Кириллова И. В. Сильные землетрясения в Турции и их геологическое значение 1969, № 6, с. 38—45

Леонов Ю. Г. Сейсмотектонические процессы 1967, № 6, с. 16—18

Медведев С. В. Землетрясения должны перестать быть стихийным бедствием 1967, № 6, с. 13—16

Мячкин В. И. О прогнозе времени возникновения землетрясений по сейсмическим данным 1967, № 6, с. 19—21

Мячкин В. И. Физические основы прогноза землетрясений 1978, № 6, с. 15—19

Николаев А. В. Сейсмические волны о недрах Земли 1968, № 6, с. 34—39

Николаев А. В. «Сейсмическая триангуляция» 1970, № 6, с. 18—21

Николаев А. В. Сейсмическое просвечивание Земли 1976, № 5, с. 57—62

Петрова Г. Н. Связь сейсмических процессов с магнитным полем Земли 1967, № 6, с. 13—16

Петрушевский Б. А. Балканский сейсмический проект 1972, № 5, с. 32—39

Пресс Ф. Собственные колебания Земли 1967, № 3, с. 40—53

Рейснер Г. И. Геологический прогноз землетрясений 1978, № 6, с. 20—24

Ризниченко Ю. В. Сейсмический климат и сейсмическая погода 1967, № 6, с. 4—8

Ризниченко Ю. В. «Почему сейсмология»? 1969, № 4, с. 2—11; № 5, с. 16—24

Ризниченко Ю. В. Максимальные возможные землетрясения 1971, № 5, с. 2—10

Садовский М. А. Наука будет предсказывать землетрясения 1967, № 6, с. 3—4

Садовский М. А. Предсказание времени землетрясений 1978, № 6, с. 6—9

Соболев Г. А. Предвестники землетрясений 1978, № 6, с. 10—14

Уломов В. П. На пути к прогнозу землетрясений 1968, № 3, с. 23—30

Фремд В. М. Как записывают землетрясения? 1969, № 6, с. 38—45

Шебалин Н. В. Землетрясения и вулканы 1965, № 3, с. 34—38

Шебалин Н. В. Парадоксы сильных землетрясений 1971, № 1, с. 4—19

II. ЗАМЕТКИ

Газовые предвестники землетрясений 1977, № 6, с. 81

Донный сейсмограф 1968, № 3, с. 30

Землетрясение в Дагестане 1971, № 1, с. 10—19

Землетрясение и водохранилища 1973, № 1, с. 20

Землетрясение в Карибском море 1975, № 3, с. 64

Землетрясение в каменоломне 1976, № 5, с. 70

Изучение афтершоков на Аляске 1965, № 2, с. 69

Какой дом лучше выдержит землетрясение? 1969, № 3, с. 96

Лунный сейсмический эксперимент 1972, № 5, с. 16

Магнитное возмущение перед землетрясением 1965, № 4, с. 96

Механизм повторных толчков 1973, № 1, с. 20

Хроника землетрясений (октябрь 1969 — сентябрь 1970) 1971, № 1, с. 74—75

Хроника землетрясений (сентябрь — декабрь 1970) 1971, № 2, с. 78—79

Хроника землетрясений (декабрь 1970 — февраль 1971)	1971, № 3, с. 94
Хроника землетрясений (февраль — март 1971)	1971, № 4, с. 78—79
Хроника землетрясений (апрель—май 1971)	1971, № 5, с. 79
Хроника землетрясений (июнь — июль 1971)	1971, № 6, с. 75
Хроника землетрясений (июль — сентябрь 1971)	1972, № 1, с. 78
Хроника землетрясений (октябрь — ноябрь 1971)	1972, № 2, с. 79
Начало лунной сейсмологии	1971, № 3, с. 25
Неспокойное дно океана	1971, № 4, с. 51
Новая сейсмологическая обсерватория	1968, № 4, с. 43
Новости лунной сейсмологии	1978, № 4, с. 40—41
Новые факты и старые представления о нижней мантии Земли	1970, № 6, с. 22
«Плотинные» землетрясения	1978, № 6, с. 29
Подводный сейсмограф	1966, № 1, с. 49
Прогноз землетрясений	1965, № 1, с. 28
Прогноз землетрясений с помощью... звезд?	1975, № 4, с. 22
Прогноз землетрясений для Калифорнии	1971, № 5, с. 10
Прогноз землетрясений по уровню подземных вод	1978, № 1, с. 47
Пробуждение... испуг... катастрофа!	1969, № 6, с. 45
Сейсмическая анизотропия земных недр под океаном	1978, № 6, с. 19
Сеть сейсмических станций	1965, № 6, с. 75
Срочные оповещения о землетрясениях США	1967, № 2, с. 52

Адрес редакции: 103717, ГСП, Москва, К-62, Подсосенский пер. 21, комн. 2
Телефоны: 227-02-45, 227-07-45

Художественный редактор: Л. Я. Шимкина

Корректоры: В. А. Володина, Т. Н. Морозова

Номер оформили: А. Н. Балуев, А. Г. Калашникова, В. И. Кноп, Е. К. Тенчурина, Р. И. Ходэс

Сдано в набор 27.09.79. Подписано к печати 17.12.79.
Т-20540. Формат бумаги 84×108¹/₁₆. Высокая печать.
Усл.-печ. л. 8,4. Уч.-изд. л. 11,0. Бум. л. 2,5. Тираж 53 000 экз.
Зак. 2306. Цена 50 к.

Издательство «Наука», 117864, ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90

2-я типография издательства «Наука». 121099, Москва Г-99, Шубинский пер., 10

1 ЯНВАРЬ ФЕВРАЛЬ 1980

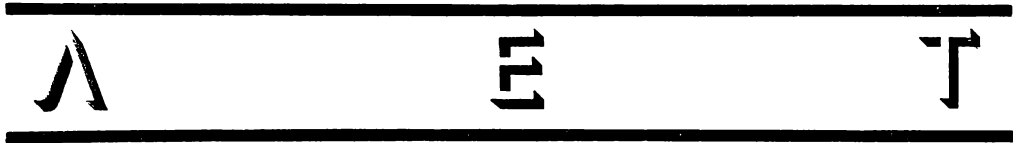
ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

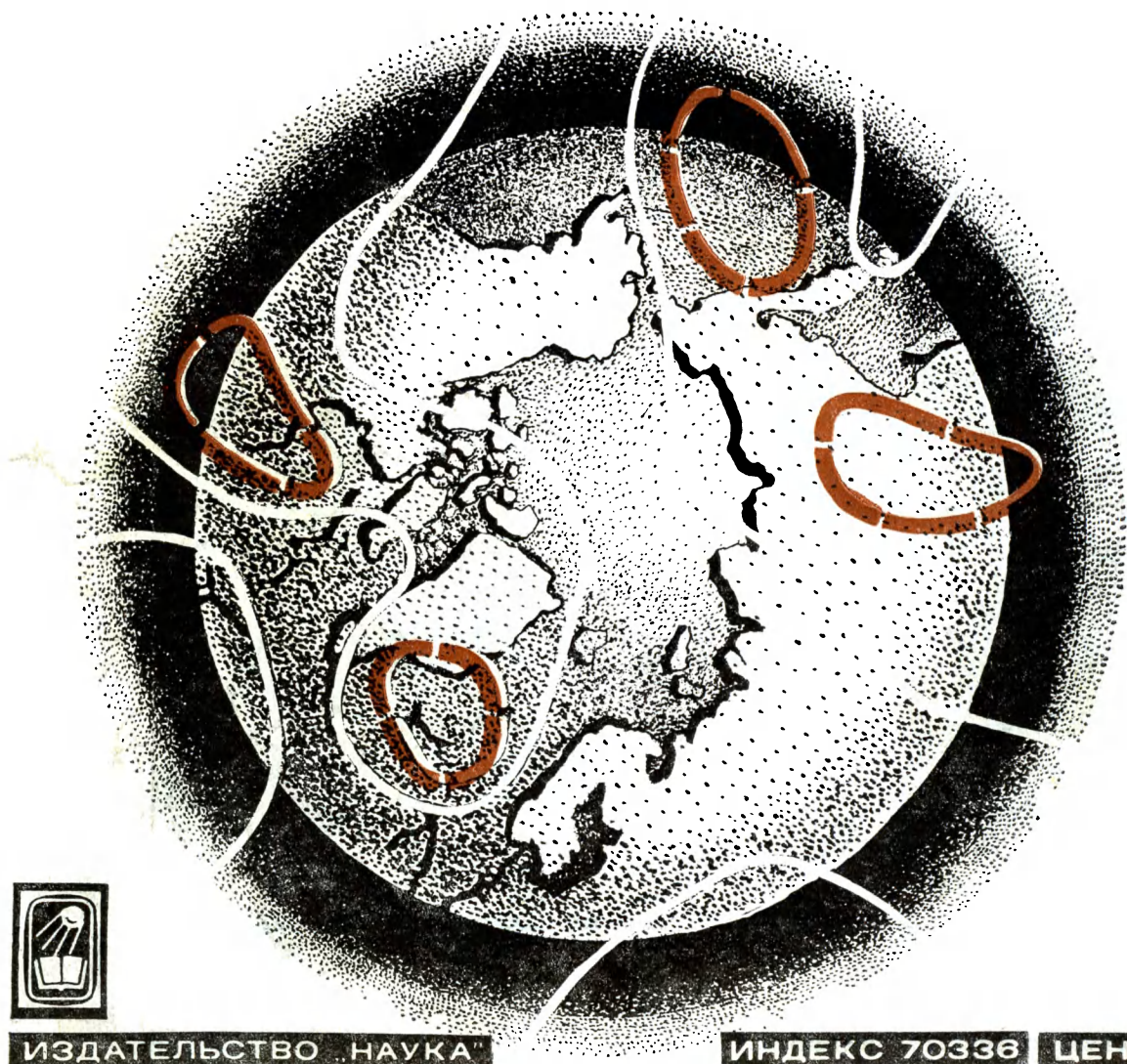
Орган Секции физико-технических и математических наук, Секции наук о Земле Президиума Академии наук СССР и Всесоюзного астрономо-геодезического общества

Редакционная коллегия:

Главный редактор
доктор физико-математических наук
Д. Я. МАРТЫНОВ
Зам. главного редактора
член-корреспондент АН СССР
Ю. Д. БУЛАНЖЕ
Зам. главного редактора
кандидат педагогических наук
Е. П. ЛЕВИТАН
Член-корреспондент АН СССР
Г. А. АВСЮК
Доктор географических наук
А. А. АКСЕНОВ
Кандидат физико-математических наук
В. А. БРОНШТЭН
Доктор юридических наук
В. С. ВЕРЕЩЕТИН
Кандидат технических наук
Ю. Н. ГЛАЗКОВ
Доктор технических наук
А. А. ИЗОТОВ
Доктор физико-математических наук
И. К. КОВАЛЬ
Член-корреспондент АН СССР
В. Г. КОРТ
Доктор физико-математических наук
Б. Ю. ЛЕВИН
Кандидат физико-математических наук
Г. А. ЛЕЙКИН
Академик
А. А. МИХАЙЛОВ
Доктор физико-математических наук
Г. С. НАРИМАНОВ
Доктор физико-математических наук
И. Д. НОВИКОВ
Доктор физико-математических наук
К. Ф. ОГОРОДНИКОВ
Доктор физико-математических наук
Г. Н. ПЕТРОВА
Доктор географических наук
М. А. ПЕТРОСЯНЦ
Доктор геолого-минералогических наук
Б. А. ПЕТРУШЕВСКИЙ
Доктор физико-математических наук
В. В. РАДЗИЕВСКИЙ
Доктор физико-математических наук
Ю. А. РЯБОВ
Доктор физико-математических наук
Г. М. ТОВМАСЯН
Доктор технических наук
К. П. ФЕОКТИСТОВ

Журналу «ЗЕМЛЯ и ВСЕЛЕННАЯ»





ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА

ИНДЕКС 70336 ЦЕНА 50 КОП