

Космические лучи в земной атмосфере

СТОЖКОВ Ю.И.,
доктор физико-математических наук
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Ученые зависят не от идей одного человека, а от комбинированной мудрости тысяч людей, которые все вместе думают над одной и той же проблемой. Каждый из них вносит свой маленький вклад в структуру знания, которая постепенно выстраивается.

Эрнест Резерфорд

7 августа 2012 г. научная общественность отметила знаменательную дату – 100-летие со дня открытия космических лучей австрийским ученым В. Гессом. В этот день он поднялся на воздушном шаре на высоту 5200 м и с помощью двух электроскопов измерил скорость ионизации воздуха. На основе полученных данных В. Гесс сделал заключение о существовании приходящей сверху проникающей радиации, которая впоследствии была названа космическими лучами (КЛ).

Космические лучи – заряженные частицы, которые состоят из протонов (85%), α -ча-



стиц (10%) и более тяжелых ядер (5%). Они рождаются главным образом в нашей Галактике (Земля и Вселенная, 1988, № 3; 2006, № 3; 2010, № 3). КЛ занимают важное место в исследованиях по астрофизике, ядерной фи-

зике, в изучении физики Солнца, солнечно-земных связей, физики атмосферы. Достаточно сказать, что в межзвездной среде нашей Галактики плотности энергии КЛ, межзвездной плазмы, энергии межзвездного магнитного поля примерно одинаковы и равны 0,5–1 эВ/см³.

В статье рассказывается о долговременном эксперименте по регулярной регистрации потоков заряженных частиц в атмосфере, о связи этих потоков с солнечной активностью, их влиянии на электрические свойства атмосферы и их роли в процессе глобального потепления.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО РЕГИСТРАЦИИ КЛ

За прошедшие с момента открытия КЛ годы многие лаборатории мира изучают их свойства и характеристики. Наблюдения за ними проводятся в открытом космосе, в земной атмосфере, на поверхности Земли, в глубоких шахтах и под ледяным панцирем Антарктиды. Установлено, что энергия частиц КЛ занимает очень широкий диапазон – от 10^6 эВ до 10^{21} эВ ($1 \text{ эВ} = 1,6 \times 10^{-12}$ эрг). На поверхности Земли КЛ регистрируют ионизационные камеры, мезонные телескопы и нейтронные мониторы. Измерения в атмосфере выполняют специальные радиозонды, поднимаемые на высоту 30–35 км. Для измерений в межпланетной среде используются искусственные спутники Земли и космические ракеты.

Мы будем рассматривать КЛ с энергией до 5×10^{10} эВ (50 ГэВ), которые составляют бо-

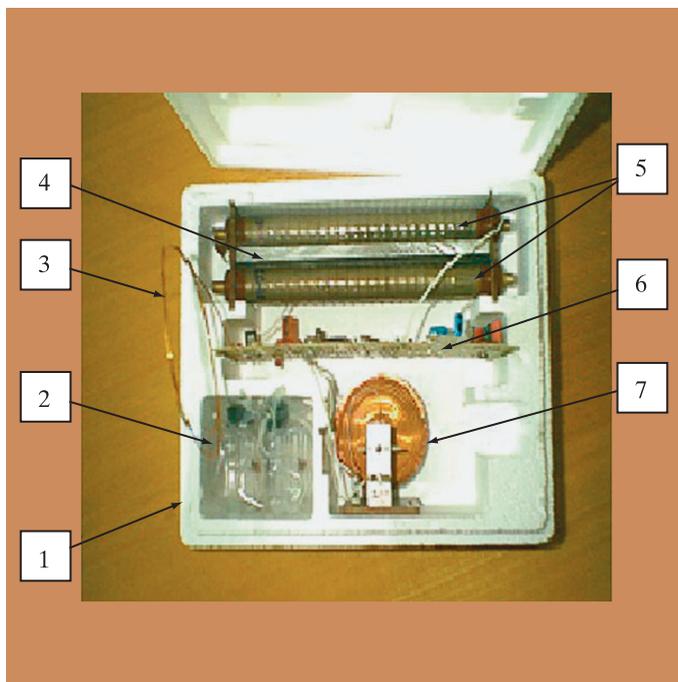
лее 95% всех частиц КЛ и несут более 60% всей их энергии. Характерная особенность частиц данного энергетического интервала – существенные временные изменения (вариации) их потоков от долей до нескольких десятков процентов. Солнечная активность – главная причина вариаций потоков КЛ.

Регулярные наблюдения потоков заряженных частиц в атмосфере с помощью радиозондов, поднимаемых на метеорологических баллонах, организовали академик С.Н. Вернов и его соратник профессор А.Н. Чархчян. С середины 1957 г. измерения в атмосфере от уровня Земли до высоты 30–35 км производятся в север-

ных и южных полярных широтах и вблизи Москвы (Земля и Вселенная, 1977, № 1). В это же время академик С.Н. Вернов и профессор Н.В. Пушков впервые организовали в СССР сеть наземных станций КЛ, которые проводили (и проводят в настоящее время) непрерывные наблюдения потоков космических частиц на поверхности Земли.

Атмосфера Земли в этих экспериментах – естественный поглотитель частиц КЛ. Частицы малых энергий поглощаются в верхних слоях атмосферы, но чем выше энергия частиц, тем более глубоко они проникают в атмосферу. Кроме того, измерения в атмосфере проводятся на разных широтах

Радиозонд для измерений потоков заряженных частиц в атмосфере: 1 – пенопластовый корпус, 2 – батарея питания, 3 – антенна, 4 – алюминиевый фильтр толщиной 7 мм, 5 – телескоп из двух газоразрядных счетчиков, 6 – электронная схема с блоком высоковольтного напряжения (~450 В) и УКВ-передатчиком, 7 – датчик атмосферного давления.





(полярных, средних и низких). В этих случаях магнитное поле Земли служит анализатором частиц по их магнитной жесткости. В северные и южные полярные районы приходят частицы самых малых жесткостей. Наименьшие для данной широты значения (R_c) называются геомагнитной жесткостью обрезания. По мере приближения к геомагнитному экватору R_c начинают возрастать и в экваториальных районах достигают 15–17 ГВ, что соответствует энергии протонов 14–16 ГэВ.

Мониторинг заряженных частиц в атмосфере выполняется с помощью радиозондов КЛ, разработанных в Физическом

институте им. П.Н. Лебедева РАН. В качестве детекторов в них применяются два газоразрядных счетчика СТС-6 отечественного производства. Верхний счетчик регистрирует глобальный поток заряженных частиц, падающих на него со всех направлений. Поток состоит из космических частиц, низкоэнергичных частиц радиоактивности (если она присутствует в атмосфере) и частиц, выпадающих в атмосферу в полярных широтах из внешнего радиационного пояса под действием геомагнитных возмущений. Верхний и нижний газоразрядные счетчики образуют телескоп двойных совпадений. Теле-

Стандартный нейтронный монитор, действующий в Институте космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера. СО РАН, Якутск.

скоп регистрирует частицы, падающие на него с вертикального или близкого к нему направления. Между счетчиками помещен 7-мм алюминиевый фильтр, который поглощает частицы от радиоактивного распада и частицы, выпадающие из магнитосферы. Таким образом, телескоп регистрирует только космические частицы. Радиозонд КЛ передает на приемную наземную станцию радиоимпульс от каждой частицы, прошедшей

Ионизационная камера, созданная в 1951 г. и по настоящее время действующая в Институте космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафара. СО РАН. Якутск.

через газоразрядный счетчик или телескоп. С 1957 г. выпущено более 85 тыс. таких приборов.

До начала 1990-х гг. запуски радиозондов космических лучей проводились практически ежедневно. Но с 1990 г., в связи с недостаточным финансированием, запуски радиозондов на некоторых станциях прекратились совсем, а на других станциях проводятся три раза в неделю. На уровне Земли основные приборы, регистрирующие КЛ – нейтронные мониторы. В настоящее время в России работает 14 станций по непрерывной регистрации КЛ нейтронными мониторами, что составляет существенную часть мировой сети таких станций. К сожалению, выработали свой ресурс ионизационные камеры, регистрирующие проникающую компоненту КЛ. По-видимому, в настоящее время единственный такой прибор действует в Якутске.

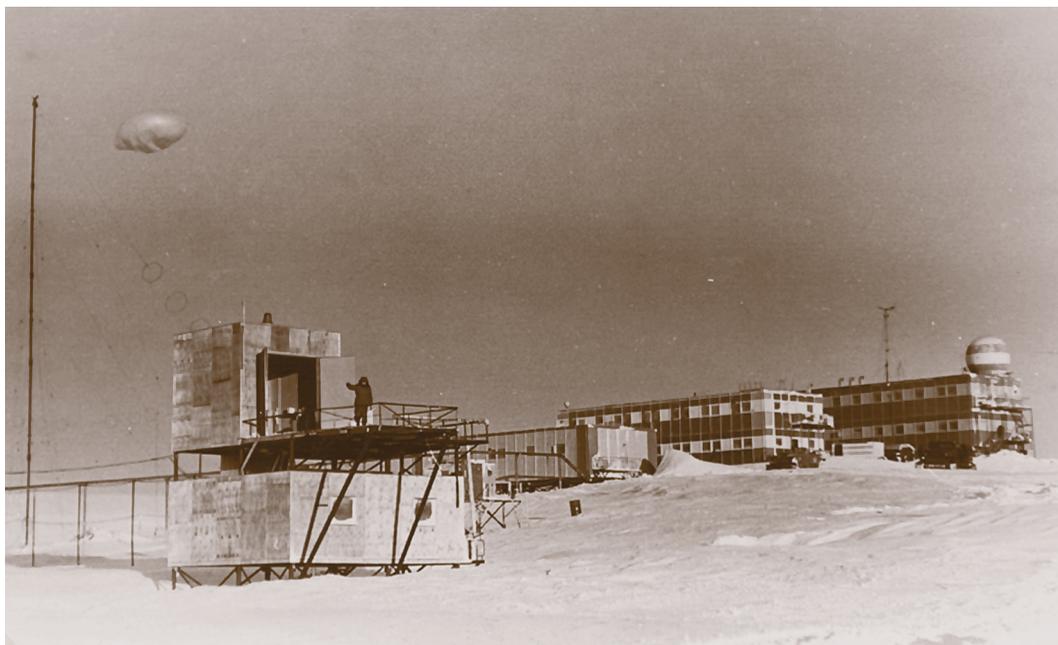
Наиболее длинные ряды экспериментальных данных о КЛ в атмосфере зарегистрированы в северных полярных широтах ($R_c = 0,6$ ГВ) в Мурманской области. За по-



следние примерно 10 лет эти данные получены совместно с Полярным геофизическим институтом РАН; в Антарктиде на станции Мирный ($R_c = 0,03$ ГВ) при активной поддержке Арктического и Антарктического научно-исследовательского института Росгидромета; под Москвой в г. Долгопрудном ($R_c = 2,4$ ГВ); в Крыму ($R_c = 5,6$ ГВ) совместно с Крымской астрофизической обсерваторией АН СССР; в Норильске ($R_c = 0,5$ ГВ) совместно с Институтом солнечно-земной физи-

ки СО АН СССР в Иркутске; в Тикси ($R_c = 0,5$ ГВ) совместно с Тиксинской геофизической обсерваторией ИКФИА АН СССР; в Алма-Ате ($R_c = 6,7$ ГВ) совместно с Казахским государственным университетом; в Ереване ($R_c = 7,6$ ГВ) совместно с Ереванским физическим институтом АН Армянской ССР.

Детальное распределение потоков заряженных частиц в атмосфере в интервале широт от полярных районов до экваториальных было измерено в нескольких



морских экспедициях в периоды нескольких максимумов и минимумов солнечной активности. В каждом полете радиозонда после обработки данных мы регистрируем высотные кривые – зависимости скорости счета заряженных частиц от атмосферного давления (г/см^2) или от высоты.

Наблюдаемая зависимость объясняется следующим образом: высокоэнергичные частицы КЛ, приходящие из межзвездной среды нашей Галактики, падают на границу атмосферы, взаимодействуют с ядрами воздуха и образуют вторичные частицы. Чем выше энергия падающей частицы, тем больше вторичных частиц образуется в атмосфере. Очень высокоэнергич-

ные частицы образуют огромное число вторичных частиц, называемых широкими атмосферными ливнями. Эти вторичные частицы регистрируются радиозондами в атмосфере. На разных широтах по мере увеличения атмосферного давления (при приближении к земной поверхности) потоки вторичных заряженных частиц сначала возрастают, достигают максимума (максимум Пфотцера, или максимум переходной кривой в атмосфере), затем начинают существенно поглощаться воздухом, и к уровню Земли доходит небольшая часть вторичных КЛ.

При обработке данные радиозондов КЛ распределяются по 52 уровням в атмосфере в интервале

Запуск радиозонда для исследования космических лучей на станции Мирный. Антарктида, 1982 г.

давлений 5–1000 г/см^2 , что соответствует высотам от 35 км до уровня Земли.

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ
И ГАЛАКТИЧЕСКИЕ
КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

Галактические КЛ рождаются в нашей Галактике, их источники – взрывы сверхновых звезд. Из межзвездной среды КЛ приходят в Солнечную систему. Орбиты Земли достигает только часть потока КЛ, меняющаяся со временем из-за изменений уровня солнеч-

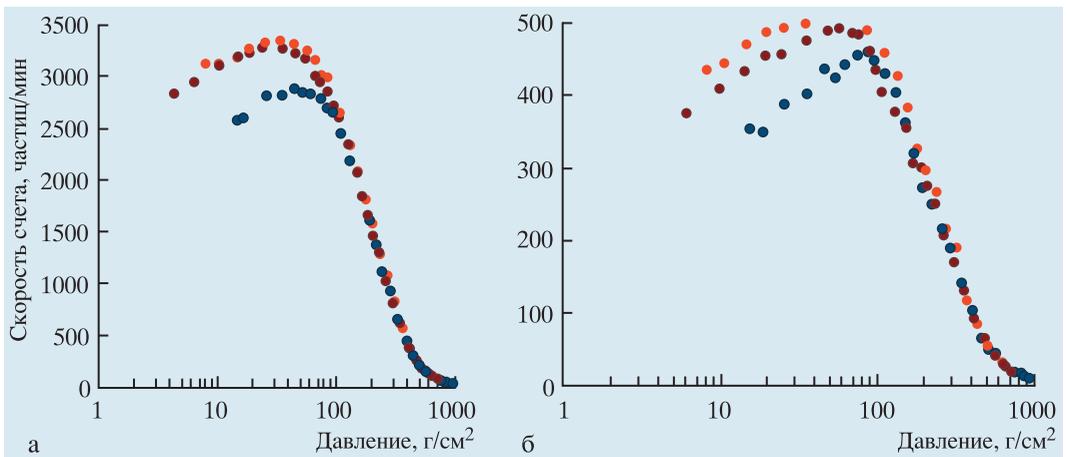


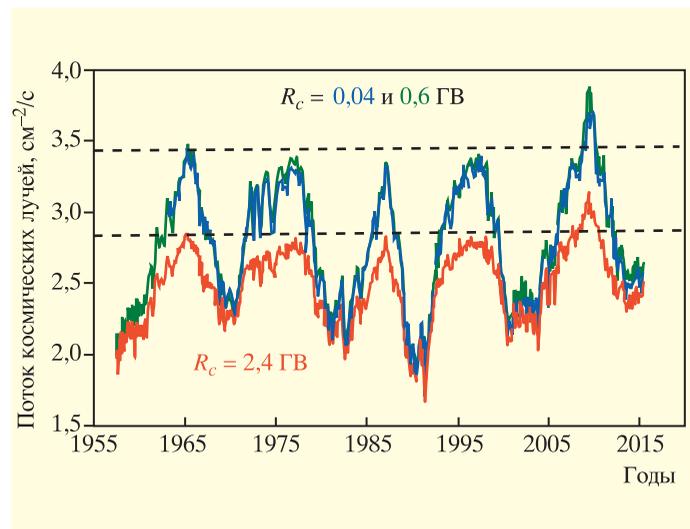
График зависимости скорости счета заряженных частиц от атмосферного давления (переходная кривая в атмосфере): а – данные одиночного счетчика, б – данные телескопа. Красные точки – северная полярная широта, Мурманская область; коричневые точки – Антарктида, Мирный; синие точки – северная средняя широта, Московская область, Долгопрудный.

ной активности. Дело в том, что околосолнечное пространство заполнено солнечным ветром с вмерзанным в него солнечным магнитным полем. На орбите Земли скорость солнечного ветра достигает 400 км/с, его плотность – 5–10 частиц/см³, индукция межпланетного магнитного поля – 4–8 × 10⁻⁵ Гс.

В первом приближении солнечный ветер и

межпланетное магнитное поле занимают в межзвездной среде сферу, радиус которой примерно 100 а.е. Этот объем называется гелиосферой. В магнитном поле гелиосферы существуют многочисленные возмущения (магнитные неоднородности), которые переносятся солнечным ветром. Часть КЛ в результате рассеяния на этих движущихся неод-

График временного хода среднемесячных значений потоков заряженных частиц в максимуме переходной кривой в атмосфере (зеленая кривая – Мурманская область; синяя – Антарктида, Мирный; красная – Московская область, Долгопрудный). Пунктирные прямые – уровень потока галактических КЛ, измеренный в мае 1965 г.



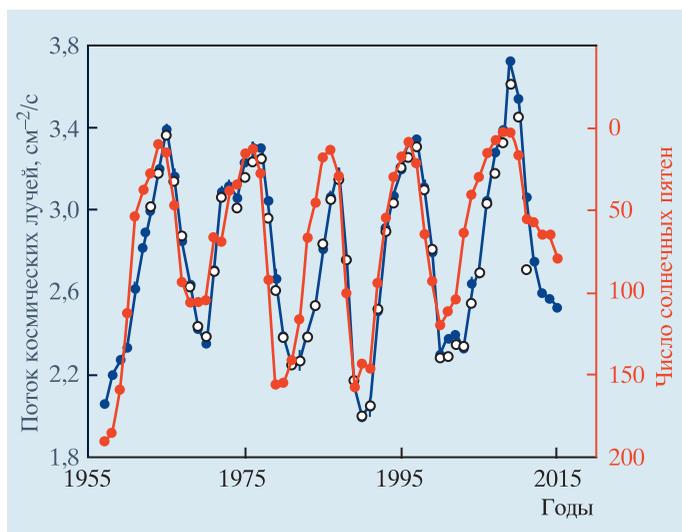


График временного хода среднегодовых значений потоков заряженных частиц в максимуме переходной кривой (синие кружки – Мурманская область, белые кружки – Антарктида, Мирный) и временного хода среднегодовых значений числа солнечных пятен R_z (красные кружки). Вертикальная ось для R_z дана справа и имеет обратный масштаб.

народностях снова выносятся солнечным ветром в межзвездную среду. Поэтому регистрируемый на орбите Земли и в межпланетном пространстве поток КЛ меньше, чем в межзвездной среде, и его величина зависит от уровня солнечной активности.

Обычно уровень солнечной активности определяется числом солнечных пятен R_z (или их групп), наблюдаемых на солнечной фотосфере. Долговременные изменения R_z носят квазипериодический характер, достигая минимума (максимума) через примерно 11 лет (Земля и Вселенная, 2001, № 2; 2005, № 2). В минимумах 11-летнего солнечного цикла R_z очень низкое, суточные значения R_z лежат в пределах 0–20. В максимумах солнечной активности они могут достигать нескольких сотен. Такие

крупномасштабные изменения солнечной активности сильно влияют на характеристики межпланетной среды, в частности на плотность магнитных неоднородностей в солнечном ветре и, соответственно, на потоки КЛ в гелиосфере. Нужно отметить, что текущий 24-й солнечный цикл был невысоким ($R_z < 90$). Низкая солнечная активность ожидается и в новом, 25-м солнечном цикле.

Кроме хорошо изученного 11-летнего цикла на Солнце и в гелиосфере существует магнитный цикл. Известно, что высокоширотные магнитные поля Солнца меняют свою полярность в период максимума или близко к максимуму солнечной активности. Полный цикл или период изменения направлений магнитных полей на Солнце и в гелиосфере состав-

ляет около 22 лет (солнечный магнитный цикл). Различают положительную и отрицательную фазы солнечного магнитного цикла. Положительная фаза соответствует периоду времени, когда магнитные силовые линии в северных полярных широтах (выше 60°) выходят из солнечной фотосферы и в северной половине гелиосферы межпланетное магнитное поле направлено от Солнца. В южной половине, наоборот, магнитные силовые линии в южных солнечных полярных широтах входят в солнечную фотосферу и межпланетное магнитное поле направлено к Солнцу. Такую ситуацию мы наблюдаем в настоящее время. Северное и южное полушария гелиосферы с противоположно направленными магнитными полями разделены гелиосферным токовым

слоем, форма которого зависит от уровня солнечной активности. При низкой солнечной активности токовый слой почти плоский, при высокой активности он имеет сложную форму.

Галактические КЛ из межзвездной среды за счет диффузии проникают в Солнечную систему. Часть из них испытывает конвективный вынос в обратном направлении – в межзвездную среду. Диффузия частиц происходит на неоднородностях межпланетного магнитного поля, а их конвективный вынос из гелиосферы осуществляется магнитными неоднородностями, движущимися с солнечным ветром. При распространении заряженных частиц в расширяющихся магнитных неоднородностях межпланетного магнитного поля КЛ теряют часть своей энергии (адиабатические потери энергии). Кроме процессов диффузии, конвективного выноса частиц и адиабатических потерь энергии существует процесс, вызванный дрейфом КЛ в квазирегулярном магнитном поле гелиосферы. В течение положительной фазы 22-летнего магнитного цикла в каждой полусфере дрейф положительно заряженных частиц направлен к Солнцу и к плоскости гелиосферного токового слоя. В отрицательной фазе магнитного цикла направление дрейфа противоположное. Кро-

ме того, важно учитывать движение частиц вдоль гелиосферного токового слоя. В периоды низкой солнечной активности степень изогнутости токового слоя мала и вклад дрейфов в полный поток частиц возрастает, а с ростом солнечной активности роль дрейфов уменьшается.

В статье рассматриваются потоки КЛ в максимуме высотной кривой в атмосфере (максимум Пфотцера). Максимальная скорость счета радиозондов КЛ меняется с квазипериодичностью около 11 лет, и эти изменения происходят в противофазе с числом солнечных пятен R_z . Амплитуда изменений потоков КЛ в 11-летнем солнечном цикле составляет несколько десятков процентов. В 2009 г. были достигнуты максимальные значения потоков КЛ за всю 58-летнюю историю их наблюдений. Увеличение скорости счета было вызвано необычно низким уровнем солнечной активности и очень низкой индукцией межпланетного магнитного поля.

Таким образом, Солнце – источник меняющихся со временем солнечного ветра и межпланетного магнитного поля. Эти вариации вызывают соответствующие изменения (модуляцию) галактических КЛ. Существует сильная связь между уровнем солнечной активности и КЛ (увеличение солнеч-

ной активности приводит к уменьшению потоков КЛ и наоборот).

Временные зависимости потоков КЛ различны в интервалах между минимумами 11-летнего солнечного цикла. Например, временной ход значений потока КЛ имел пикообразную форму в 1957–1968 г., а в следующий период, с 1969 г. по 1980 г., во временном ходе этой величины наблюдалось плато. Далее пикообразные зависимости и зависимости в виде плато чередуются. Наблюдаемое чередование обусловлено 22-летним солнечным магнитным циклом.

СОЛНЕЧНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ И ВЫСЫПАЮЩИЕСЯ МАГНИТОСФЕРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

Во время мощных быстрых энерговыделений на Солнце (вспышек или корональных выбросов массы) ускоряются заряженные частицы (преимущественно протоны), которые регистрируются на Земле. Впервые солнечные космические лучи (СКЛ) от солнечных вспышек были зарегистрированы в 1942 г. с помощью наземных ионизационных камер. Регулярный мониторинг КЛ показал, что ускоренные частицы от солнечных вспышек наблюдаются в верхних слоях атмосферы полярных широт гораздо чаще, чем на уровне Земли. К настоящему времени на-

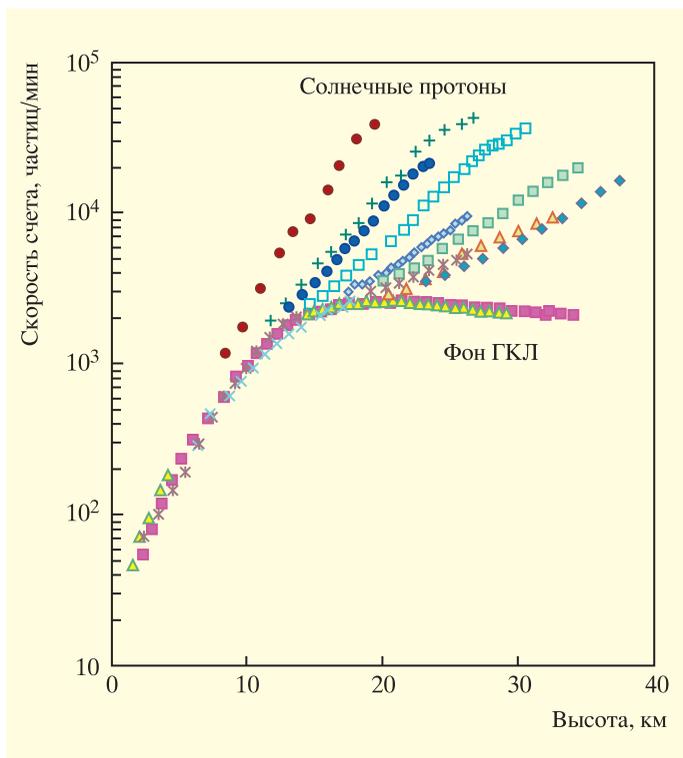


График зависимости скорости счета заряженных частиц от высоты в северной полярной атмосфере. Возрастание частиц на высоте более 8 км вызвано солнечными протонами от солнечной вспышки 20 января 2005 г. Различные значки относятся к данным, полученным в разных полетах радиозондов.

земные приборы зарегистрировали 71 событие СКЛ, а в полярной стратосфере было отмечено более 100 событий.

Во время вторжения в атмосферу заряженных частиц от солнечных вспышек отмечается значительное (на порядки) увеличение скорости счета детекторов радиозондов. На уровне Земли в мощных солнечных событиях нейтронные мониторы увеличивают скорость счета на десятки процентов.

СКЛ регистрируются, как правило, в полярной атмосфере в течение от нескольких часов до нескольких дней после вспышки на Солнце. Запуски (10–20) радиозон-

дов во время вспышечных событий позволяют получать детальную картину потоков вспышечных частиц, исследовать энергетические спектры, их динамику во времени, находить зависимости коэффициентов диффузии СКЛ в межпланетном пространстве от жесткости (энергии) частиц и расстояния от Солнца. Эксперименты в атмосфере позволяют получить энергетические спектры солнечных протонов в области энергий частиц 100–700 МэВ. Частицы с этими энергиями невозможно изучать на Земле из-за их поглощения в атмосфере. К общей характеристике энергетических спектров солнечных протонов от-

носится достаточно жесткий спектр (значительные потоки протонов высоких энергий) в начальной стадии возрастания СКЛ (до максимума их потока) и более мягкий спектр после максимума, на стадии спада потока солнечных частиц.

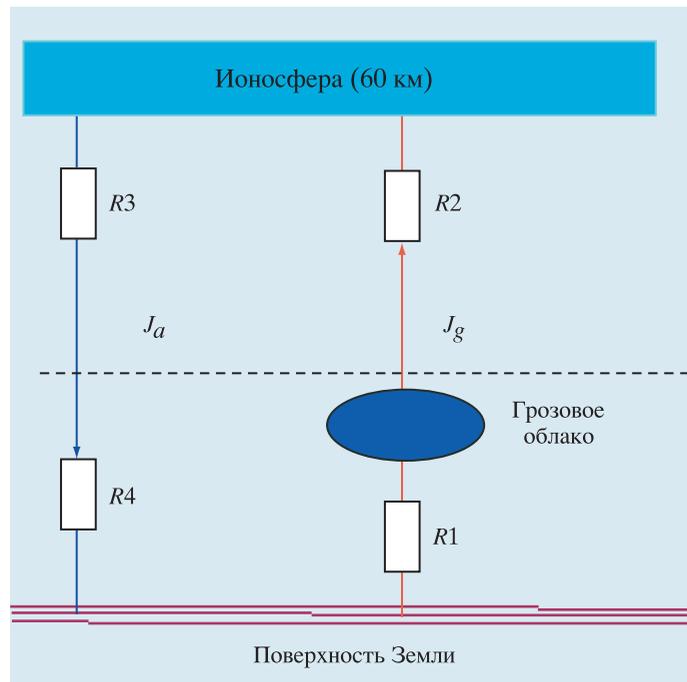
Регулярный мониторинг потоков заряженных частиц в земной атмосфере дает детальную информацию об электронах, выпадающих в атмосферу из внешнего радиационного пояса во время возмущений магнитного поля Земли. Выпадающие электроны обладают максимальной энергией не более нескольких мегаэлектронвольт. После попадания в верхние слои атмосферы такие электроны испытывают тормозные потери и образуют рентгеновское излучение. Энергия рентгеновских квантов будет меньше энергии выпадающих электронов. Электроны поглощаются на высоте более 50 км, но рентгеновские фотоны достаточно глубоко проникают в атмосферу и с эффек-

Схема глобальной электрической цепи, где $R1$ – $R4$ – электрические сопротивления в тропосфере и стратосфере. Стрелки показывают направление электрических токов: красная – от грозовых облаков и осадков, синяя – разрядный ток в атмосфере.

тивностью менее 1% регистрируются счетчиком радиозонда КЛ (телескоп не регистрирует рентгеновское излучение).

Высыпающиеся в атмосферу частицы регистрируются в полярном овале, разделяющем в полярных широтах область замкнутых магнитных силовых линий магнитосферы от области открытых линий. Последняя называется полярной шапкой. Наша станция в Мурманской области находится в зоне полярного овала и к настоящему времени зарегистрировала более 500 событий высыпающихся частиц. Станция Мирный в Антарктиде, где мы также выполняем регулярное зондирование, находится в полярной шапке, и высыпания там практически не наблюдаются.

Высыпания в земной магнитосфере вызываются корональными дырами на Солнце, которые иногда простираются от солнечных полярных широт до солнечного экватора. Эти корональные дыры – долговременные источники высокоскоростных потоков солнеч-



ного ветра. Воздействие таких потоков на магнитное поле Земли, как правило, приводит к возникновению геомагнитных бурь. Эти возмущения вызывают поступление в верхние слои атмосферы высокоэнергичных электронов (с максимальной энергией до нескольких МэВ) из внешнего радиационного пояса магнитосферы.

Одно из практических применений данных мониторинга КЛ в атмосфере – оперативная оценка радиационной обстановки в широком интервале высот. Дополнительно к естественному фону радиации может добавляться радиация, попавшая в атмосферу вследствие испытаний ядерного оружия, от аварий на атомных электростанциях или

на предприятиях, связанных с изготовлением или использованием радиоактивных материалов. С 1957 г. мы зарегистрировали десятки случаев появления в атмосфере радиоактивных облаков.

КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ И ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ

Космические лучи играют главную роль в атмосферном электричестве. В любом месте земного шара они создают заряды и обеспечивают проводимость воздуха. Известно, что на Земле непрерывно действует глобальная электрическая цепь. От ионосферных высот (около 60 км) к поверхности Земли всегда течет электрический ток плотностью

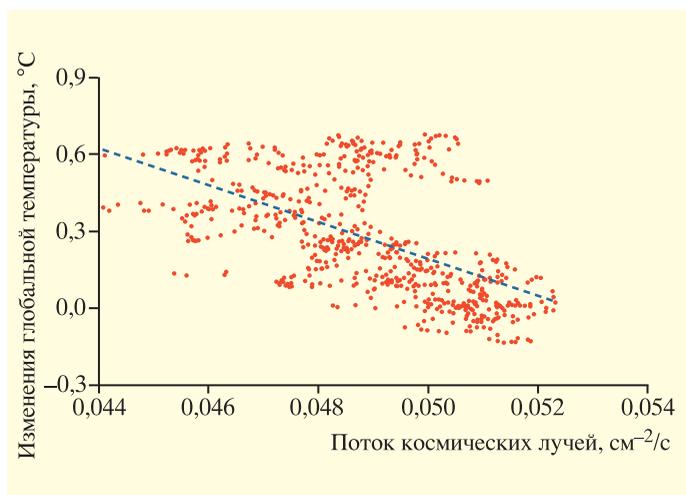


График зависимости между изменениями глобальной температуры в приземном слое атмосферы и изменениями потоков заряженных частиц в атмосфере на высоте 0,5–2,2 км (широта Долгопрудного, Московская область). Пунктирная прямая – аппроксимация этой зависимости.

10^{-12} А/м². Генераторами, заряжающими Землю отрицательным электричеством, равным 6×10^5 Кл, считаются молниевые разряды между облаком и поверхностью Земли и осадки из грозовых облаков. Суммарно между поверхностью Земли и ионосферой поддерживается постоянная разность потенциалов около 300 кВ.

Отношение потока энергии, который несут КЛ (10^{-5} Вт/м²), к потоку солнечной энергии, падающей на атмосферу ($1,36 \times 10^3$ Вт/м²), примерно 10^{-8} . Однако отличительное свойство заряженных космических частиц – их способность ионизовать атмосферу. КЛ, проходя через атмосферу, теряют почти половину энергии на ионизацию воздуха, создавая в нем ионы. Время жизни ионов мало (до нескольких минут), поэтому, чтобы проводимость воздуха сохранялась, необходим постоянный ис-

точник ионов. Этим источником являются КЛ. В целом во всей атмосфере КЛ образуют 10^{27} – 10^{28} пар ионов в секунду. Нужно подчеркнуть, что КЛ производят ионизацию всей атмосферы в любом ее месте.

Существуют и другие источники ионизации воздуха, но их вклад в общую ионизацию атмосферы гораздо меньше вклада КЛ.

Ионы, производимые в атмосфере КЛ, играют важную роль в образовании грозовых облаков. В грозовых облаках на порядки возрастает напряженность электрического поля внутри облаков и в промежутке грозовое облако – поверхность Земли. Отрицательно заряженные дождевые капли, как и молниевые разряды, заряжают Землю отрицательным электричеством. Высокоэнергичные космические частицы с энергией более 10^{14} эВ взаимодействуют с ядра-

ми атомов воздуха и образуют множество вторичных частиц. Часть из них создают в атмосфере длинные ионизованные треки (каналы), по ним течет электрический ток во время молниевых разрядов.

Рассмотрим кратко значение КЛ в глобальном потеплении климата. С 1910 г. рост средней глобальной температуры приземного слоя воздуха составил около 1 °С, что отображает динамику глобального потепления. Его причины в последние годы широко обсуждаются (Земля и Вселенная, 1999, № 4; 2003, № 3; 2010, № 5).

С общепринятой точки зрения рост температуры в приземной атмосфере вызван увеличением количества парниковых газов, обусловленным человеческой деятельностью. Однако есть и другие мнения. Например, предложен механизм глобального потепления, вызванного уменьшением концентрации космической пыли в зодиакальном облаке, в

котором движется наша Земля. Пыль поступает в земную атмосферу, и от ее количества зависят величина облачного покрова и климат на Земле. Если работает такой механизм, то в ближайшие 5–10 лет нас ожидает глобальное похолодание.

В последнее десятилетие дискутируется вопрос о роли потоков КЛ в процессе глобального потепления. Известно, что ионизация, производимая космическими лучами в воздухе, играет важную роль в формировании облачности на высоте менее 10 км. Наши данные о потоках КЛ в нижней атмосфере и данные об изменении глобальной температуры позволяют ответить на поставленный вопрос. Наблюдается связь меж-

ду потоком КЛ в нижней атмосфере и изменениями глобальной температуры в приземном слое.

Нужно отметить, что в последние восемь лет роль потоков КЛ в атмосферных явлениях интенсивно изучается в европейском Центре ядерных исследований (ЦЕРН) в международном эксперименте CLOUD.

Потоки КЛ, регулярно регистрируемые в земной атмосфере, позволяют исследовать целый класс явлений, связанных с физикой Солнца и межпланетной среды, магнитосферой Земли и атмосферным электричеством, процессами, происходящими в атмосфере. Особенно важны длительные ряды однородных наблюдательных данных.

Главная проблема мониторинга КЛ в последние десятилетия – сохранение существующей сети станций по регистрации заряженных частиц в атмосфере, а также тесно связанной с ней сети станций российских наземных нейтронных мониторов, регистрирующей КЛ. При ежегодном росте дефицита финансирования научные сотрудники институтов РАН, выполняющие регулярный мониторинг КЛ в атмосфере и на поверхности Земли, должны приложить все усилия, чтобы непрерывные длительные наблюдения (более 58 лет) не прекратились.

Автор выражает благодарность научным сотрудникам Долгопроденской научной станции ФИАН за помощь в подготовке данной статьи.

Информация

Астероиды семейства Евфросины

Ученые из Лаборатории реактивного движения агентства NASA в Пасадене с помощью телескопа NEOWISE (Near-Earth Object Wide-field Infrared Survey Explorer – исследова-

ния околоземных объектов широкого инфракрасного обзора) изучают астероиды семейства Евфросины (их известно 1400) и определяют потенциальную угрозу Земле. Эти малые планеты располагаются на внешнем краю Главного пояса астероидов, их высокоэллиптические орбиты значительно выступают над плоскостью эклиптики из-за больших углов наклона. Астероид Евфросина диаметром 260 км, в честь которого названы данные объекты, один

из десяти крупнейших астероидов в поясе. Как считают планетологи, они образовались в результате столкновения двух массивных тел около 700 млн лет назад. К семейству Евфросины могут принадлежать некоторые околоземные объекты с низким альбедо, приближившиеся к нашей планете за миллионы лет при взаимодействии с гравитационным полем Сатурна.

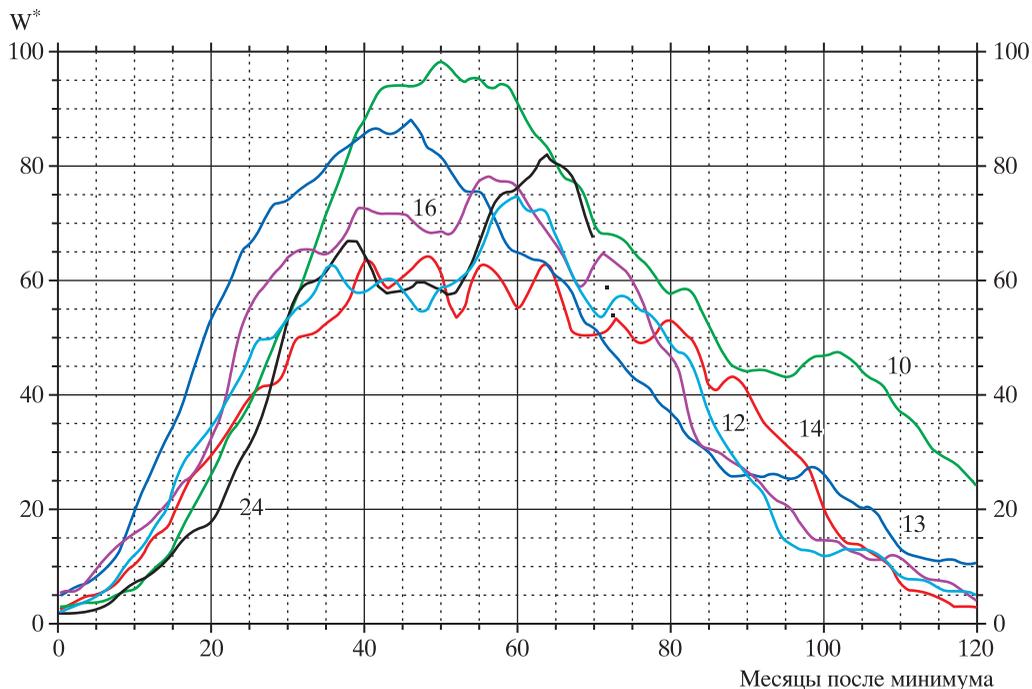
Пресс-релиз JPL/NASA,
5 августа 2015 г.

Солнце в июне – июле 2015 г.

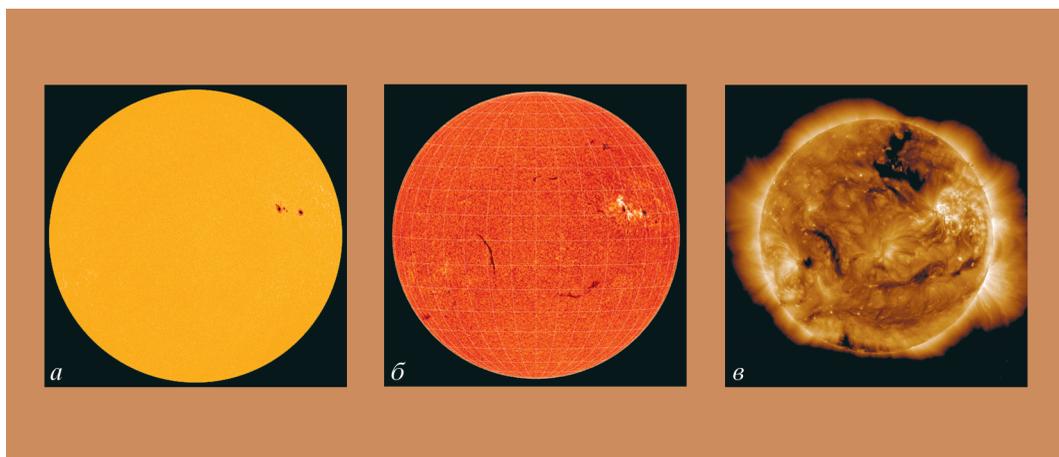
В первые летние месяцы солнечная пятнообразовательная активность сохранялась на уверенном среднем уровне, периодически увеличиваясь в первую декаду месяца и опускаясь до низкого (2 сут). Число групп пятен на видимом диске Солнца менялось от 10 до 1. В подавляющем

большинстве группы пятен были небольшими и спокойными, однако две из них были большими по площади (обе в Северном полушарии) и одна средняя (в Южном). Всего же из 39 групп солнечных пятен 14 появились в Южном полушарии. Кривая роста сглаженных за год значений относитель-

ного числа пятен уверенно идет на спад. Текущие среднемесячные значения чисел Вольфа $W_{июня} = 41,0$ и $W_{июля} = 40,0$ (по старой системе – 66,4). Сглаженное значение относительного числа солнечных пятен в декабре 2014 г. и январе 2015 г. составило $W^* = 56,0$



Ход развития (72 месяца) текущего 24-го цикла солнечной активности среди всех достоверных (с 1849 г.) солнечных циклов. W^* – сглаженные за 13 месяцев относительные числа солнечных пятен в старой системе.



Солнце 25 июня 2015 г.: а) фотосфера в непрерывном спектре ($\lambda = 4500 \text{ \AA}$); б) в самой сильной водородной линии H_{α} ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$); в) в линии крайнего ультрафиолета $Fe \text{ XII}$ ($\lambda = 193 \text{ \AA}$). Космическая солнечная обсерватория “SDO” (<http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>).

(93,3) и 53,9 (89,8) соответственно.

С июля 2015 г. подсчет чисел Вольфа стал производиться по новой системе, которую установил Центр сбора и обработки солнечных индексов в Брюсселе (<http://www.sidc.be/silso/newdataset>). Например, текущий 24-й цикл начался в декабре 2008 г., для июля 2015 г. коэффициент перехода от новой системы к старой составляет 0,6002. По словам авторов новой системы, ряд чисел Вольфа стал более гладким и однородным. Значения числа Вольфа в новой системе сильно приблизились к американской (разница 2–3 еди-

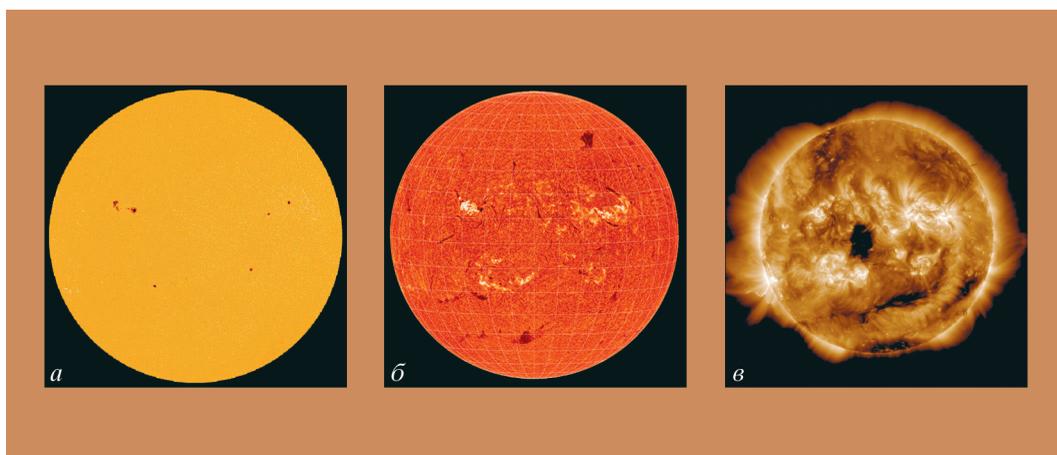
ницы). Низкими циклами солнечной активности теперь стали циклы со значением $W_{\text{макс}}^* \leq 130$, высокими – $W_{\text{макс}}^* \geq 200$, остальные – средней величины.

Таблицу основных характеристик солнечных циклов в новой системе планируется опубликовать в следующем номере журнала.

В **июне** первая и вторая декады характеризовались высокими ежедневными величинами чисел Вольфа в пределах значений среднего уровня. После 15 июня началось постепенное понижение пятнообразовательной активности до низкого уровня (26–27 июня). Максимальное ежедневное значение относительных чисел солнечных пятен отмечено **7 июня ($W = 127$)**, минимальное – 27 июня ($W = 22$). Высокая вспышечная активность 23 и 25 июня связана с большой группой пятен Северного полушария, она держалась на среднем уровне 11, 13, 14, 18, 20–21 июня. В остальные дни вспышечная активность была на низком и очень низком уровне. Выбросы солнечных воло-

кон (14 событий) произошли 1, 2, 5, 9 (2), 12, 14, 17 (2), 19, 22, 23 (2) и 29 июня. Коронграфы космической обсерватории “SOHO” зарегистрировали 102 корональных выброса вещества разной интенсивности, среди которых три были типа “гало”, один – типа “частичное гало III” (угол раствора 180° – 270°) и четыре – типа “частичное гало II” (угол раствора 90° – 180°). По видимому диску Солнца проходили 4 рекуррентные корональные дыры, из них 2 внесли вклад в магнитные бури 8–9 и 22–24 июня. На средних широтах Земли отмечены одна умеренная (22–24 июня) и 3 малые магнитные бури: 8–9, 14 и 25 июня. Всего же в геомагнитном поле зарегистрировано 8 возмущенных дней. На геостационарных орбитах очень высокий поток релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ зафиксирован 9–30 июня – это уникально длинный период.

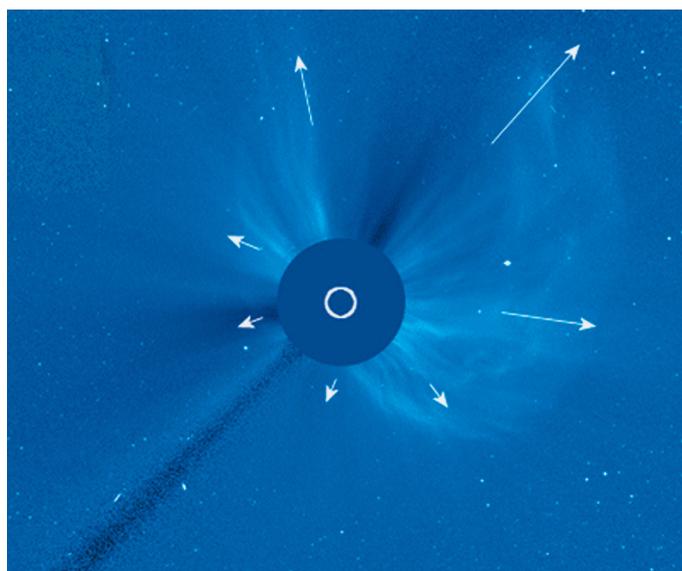
В первую декаду **июля** уровень пятнообразовательной активности Солнца ре-



куррентно попрос и затем плавно понижался, 23 июля он опустился до низкого, после 24 июля до конца месяца оставался на среднем уровне. На видимом диске Солнца появилось от 10 до 2 групп солнечных пятен, одна из которых была большого размера. Максимальное число солнечных пятен отмечено **8 июля (W = 120)**, минимальное – 23 июля (W = 29). Средний уровень вспышечной актив-

ности зарегистрирован 3 и 6 июля, когда в большой группе пятен Северного полушария случились три солнечных вспышки балла M1. Это был единственный период значимой вспышечной активности в июле. Выбросы солнечных волокон (28 событий) наблюдались 2, 3, 4 (4), 7 (2), 8 (4), 16 (2), 18, 19 (3), 22 (2), 23, 24 (3), 25 (2) и 28 (2) июля. Короннографы космической обсерватории “SOHO” зарегистрировали

Солнце 7 июля 2015 г:
 а) фотосфера в непрерывном спектре ($\lambda = 4500 \text{ \AA}$);
 б) в самой сильной водородной линии H_{α} ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$);
 в) в линии крайнего ультрафиолета Fe XII ($\lambda = 193 \text{ \AA}$).
 Космическая солнечная обсерватория “SDO” (<http://spaceweather.com>).



Корональный выброс вещества 25 июня 2015 г. типа “гало” от большой солнечной вспышки балла M7.9/3B. Скорость распространения выброса возрастала по мере удаления от Солнца с 578 км/с до 1562 км/с. Окрестности Земли он задел лишь скользким ударом, вызвав магнитную суббурю. Космическая солнечная обсерватория “SDO” (<http://www.solarmonitor.org/>).

более 105 корональных выбросов вещества разной интенсивности, среди которых один был типа “гало”, один – типа “частичное гало III” (угол раствора 180° – 270°) и 7 типа “частичное гало II” (угол раствора 90° – 180°). В январе возникли 6 рекуррентных (две из них отмечались дважды) и две вновь образованные корональные дыры. Две из них

существенно повлияли на геомагнитную обстановку в околоземном космическом пространстве: высокоскоростные потоки от них стали причиной малых магнитных бурь. В июле (4–5, 11, 13 и 22–23) произошли 4 малые магнитные бури. Всего отмечено 5 сут с возмущенной геомагнитной обстановкой. На геостационарных орбитах очень высокий поток

релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ наблюдался 1–4, 9–11, 14–20 и 26 июля.

Текущее состояние солнечной активности и ее прогноз на русском языке можно найти в Интернете (<http://www.izmiran.ru/services/saf/>). Страница обновляется каждый понедельник.

В.Н. ИШКОВ
ИЗМИРАН

Информация

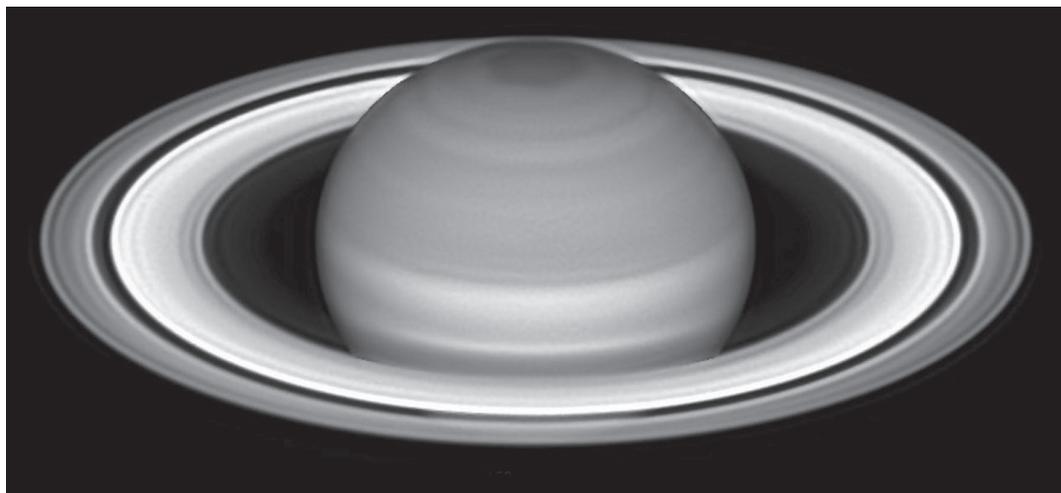
Сатурн в противостоянии

Земные наблюдатели, вооруженные телескопами, охотятся за эффектными изображениями Сатурна,

ведь окольцованная планета 23 мая 2015 г. в 1 ч по Всемирному времени прошла через положение противостояния. Сатурн находился в это время ровно напротив Солнца, так что был виден всю ночь. На фотографиях хорошо видно, что знаменитые кольца выглядят ярче, чем обычно. Это эффект Зелигера (обратное рассеяние при противостоянии). Когда ледяные частицы колец

освещены прямыми лучами Солнца, мы не видим тени от них, зато почти весь отраженный свет попадает на Землю, сильно увеличивая яркость колец. Сатурн в момент съемки располагался на небе недалеко от Антареса – самой яркой звезды созвездия Скорпиона.

Интернет-сайт Астронет,
30 мая 2015 г.



Сатурн в противостоянии. Фото сделал 26 мая 2015 г. любитель астрономии К. Гоу с помощью телескопа “Селестрон С14”, экспозиция – 49 мин.