

DOI: 10.37614/2588-0039.2020.43.019

ПОНИЖЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В МАЕ 2019 ГОДА В 24-М СОЛНЕЧНОМ ЦИКЛЕ

Л.А. Трефилова, П.Г. Кобелев, А.В. Белов, Е.А. Ерошенко, В.А. Оленева, В.Г. Янке

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, ИЗМИРАН, Москва, Россия

Аннотация

В работе проведен анализ специфического понижения на фоне минимума в 24 цикле солнечной активности в конце апреля - мае 2019. Предполагается, что наблюдаемое медленное понижение и восстановление потока космического излучения представляет собой серию небольших Форбуш понижений.

Введение

С июля 2018 года наблюдался самый спокойный период в минимуме Солнечной активности (СА) 24-го солнечного цикла. На этом фоне резко выделяется первая половина мая 2019 года. С 28 апреля по 17 мая на фоне глубокого минимума СА имело место примечательное событие, особенностью которого являлось небольшое (до 4%), но продолжительное понижение интенсивности космических лучей (КЛ), измеряемой нейтронными мониторами (~10 суток). Такое понижение считается относительно небольшим изменением интенсивности в целом, однако достаточно необычным и достойным внимания в условиях минимума СА. Это хорошо иллюстрируют вариации КЛ на станции Москва, показанные на рис. 1 (верхняя панель).

Подобные события редки: похожее событие наблюдалось в сентябре 1979 года [1], однако с намного большим понижением интенсивности КЛ (более 10%), что является характерным для максимума СА. Несмотря на это, событие сентября 1979 года в каком-то смысле стандартное по сравнению с событием мая 2019 года. Определённое сходство с событием мая 2019 года удалось найти еще в нескольких случаях – в апреле 1980, в июле 2000 и июле 2006 с амплитудами 6%, 11% и 3,5% соответственно. Первые два наблюдались в максимуме СА, последнее в конце максимума - начале минимума.

Исследуемое явление, предположительно, имеет глобальный характер. Рассматривая расположение Марса и Юпитера относительно Солнца в начале мая, можно сказать, что выбросы в мае 2019 года могли влиять также на поток на орбите этих планет. Вариации КЛ на Земле, Марсе и юпитерианские электроны, зафиксированные вблизи Земли, представлены на рис.1. Поскольку Марс находился в зоне восточного лимба, в результате мощного солнечного события 28 апреля в начале мая на рад RAD -детекторе на Марсе вероятность значительного ФП была выше, чем у Земли. На марсианском детекторе вариации имели в целом ту же временную зависимость и примерно такую же величину, что и вблизи земли для 10 ГВ. Однако 9-10 и 21-22 мая на RAD-детекторе наблюдалось ФП со значением 2-3%, что свидетельствует о глобальном характере изучаемых явлений.

Вариации электронного потока Юпитера вблизи орбиты Земли на порядок больше, чем вариации потока протонов 10 ГВ, и временной ход повторяется в первой половине мая. Но, как следует из рис. 1, Земля и Юпитер в тот момент находились не на одной силовой линии. И это также свидетельствует в пользу глобального снижения интенсивности КЛ.

Подробное описание детектора RAD и прибора SOHO / ERNIN можно найти в [2] и [4] а так же в данных базы [3] и [5] соответственно. Вариации потока юпитерианских электронов вблизи орбиты Земли на порядок превышают вариации потока 10 ГВ-протонов, и временной ход в первой половине мая для них в значительной мере схож. Однако, как следует из рис.1, Земля и Юпитер в тот момент не находились на одной силовой линии, что также свидетельствует в пользу глобального снижения интенсивности КЛ.

Параметры солнечного ветра

По данным [6] с 28 апреля по 12 мая было зафиксировано 13 из 38 значительных выбросов наблюдавшихся с июля 2018 по декабрь 2019, что составляет ~ 35%. Все 13 выбросов исходили из двух областей, которые существовали долгое время в активном состоянии. Регулярные выбросы не давали возможности восстановиться КЛ и поддерживали процесс понижения.

Наиболее сильные выбросы из этих активных областей наблюдались с 28 апреля по 12 мая 2019 года. 28 апреля был выброс за западным лимбом. Этот выброс не в одиночку создал понижение, в это время пришло возмущение, созданное потоком плазмы из корональной дыры, наблюдавшейся в центре солнечного диска 27 апреля. Затем был значительный выброс 30 апреля, представлявший на коронографе обратное гало.

Следующий наблюдался за восточным лимбом 1 мая. Далее с 3 мая по 5 мая наблюдался ряд выбросов на восточном лимбе, которые, в свою очередь, дали ФП 6, 7 и 8 мая. 6 мая зафиксирован выброс на востоке видимого солнечного диска, а 9 мая небольшое ФП. 8 и 9 мая были выбросы в видимой восточной части солнечного диска, давшие 10 мая и 11 мая ряд ФП. Такие непрерывные выбросы не давали возможности восстановиться КЛ. Только после 12 мая пошло восстановление, так как несколько дней значимых процессов не наблюдалось. 12 мая вновь был достаточно большой выброс в виде прямого гало, который привел к ФП 16 мая, не дав до конца восстановиться КЛ. После 13 мая событий не наблюдалось, и КЛ начали восстанавливаться с 17 мая и восстановились к 26 мая. Продолжительность события составила около 25 суток. Это говорит об изменениях характеристик межпланетной среды в масштабах гелиосферы.

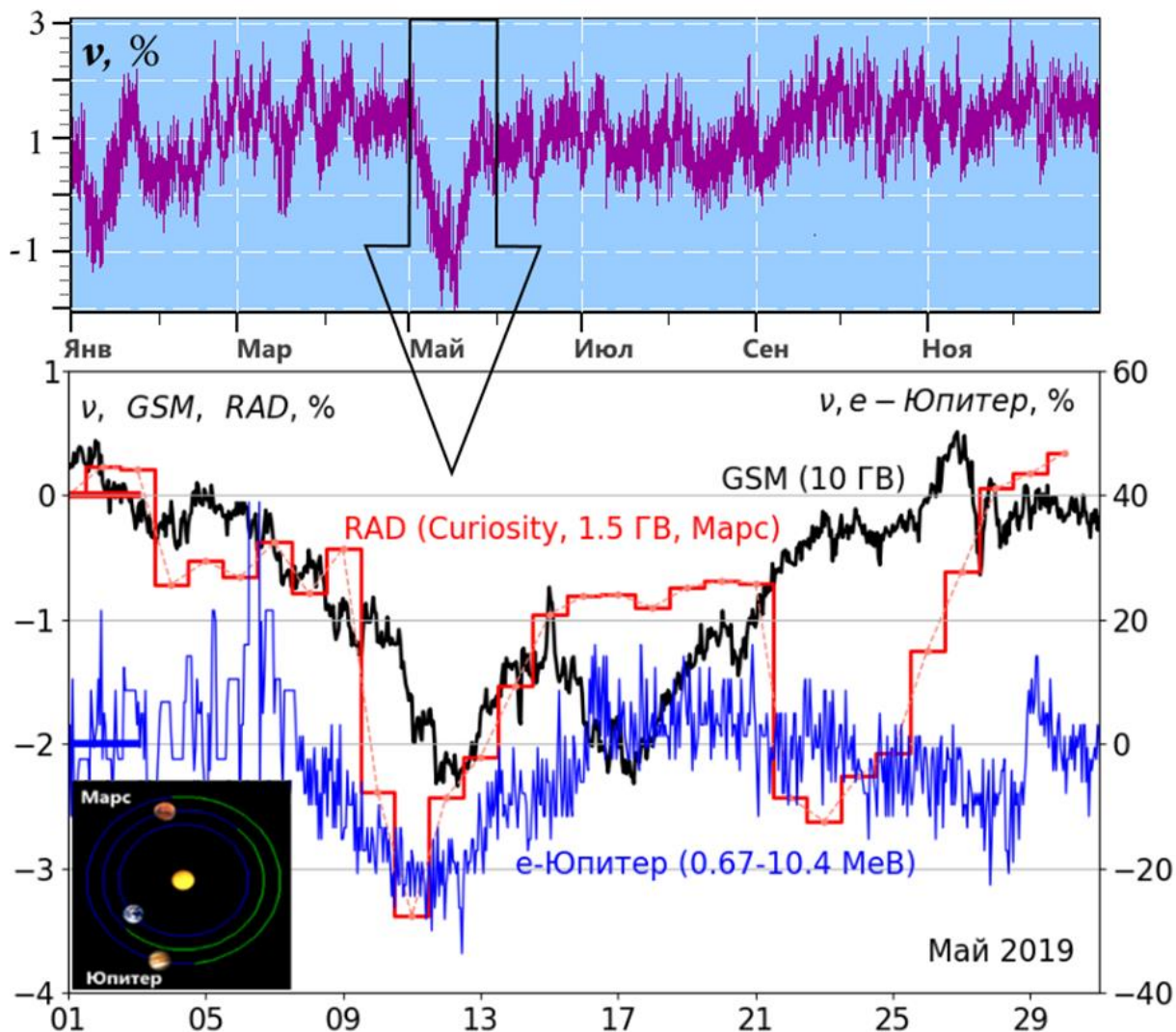


Рисунок 1. Вариации космических лучей на среднеширотной станции Москва, потока на орбите Земли, Марсе и вариации потока электронов Юпитера, зарегистрированных на орбите Земли.

Методика выделения форбуш-эффектов

Список выделенных [7] ФП приведен в таблице 1. На рисунке 2 приведена плотность космических лучей в мае 2019 года, найденная глобально спектрографическим методом [8] по данным мировой сети. Методику выделения ФП рассмотрим на примере события 1 мая, где амплитуда понижения достигала 0.9%. Каждое событие определяется по изменению различных параметров, главным образом составляющих магнитного поля, скорости солнечного ветра, плотности и температуры. На рисунке 2 (вставка) видно увеличение скорости ветра, а также некоторое увеличение других параметров.

Затем происходит некоторое снижение всех показателей, которое сменяется другим ростом, что свидетельствует о следующем ФП. Таким образом, мы получаем ФП с последующим восстановлением. Переносим временной интервал на график амплитуды нулевой гармоники, мы можем выделить ФП. Этот же метод применяется для всех других событий.

Таблица 1: Форбуш-эффекты, наблюдавшиеся вблизи орбиты Земли в мае 2019 года. Для каждого события приведена максимальная амплитуда эффекта FD_m , максимальное магнитное поле и скорость солнечного ветра V_m и V_m .

	Источник Время	Форбуш дата / время	FD_m , %	V_m , нТл	V_m , км/с
1	28.04 (8:24); КД	01.05 (13:00)	0.9	9.1	569
2	30.04(10:12); КД	03.05(18:00)	0.6	11.9	505
3	04.05 (0:00)	07.05(19:00)	0.8	11.9	380
4	06.05 (1:24)	09.05(6:00)	0.5	14.3	380
5	08.05(2:00)	10.05(18:00)	1.3	9.1	556
		12.05 небольшое восстановление			
6	11.05 (3:48)	14.05(0:00)	1.1	14.3	556
7	12.05 (21:12)	15.05(18:00)	0.9	8.4	480
		16.05 восстановление			

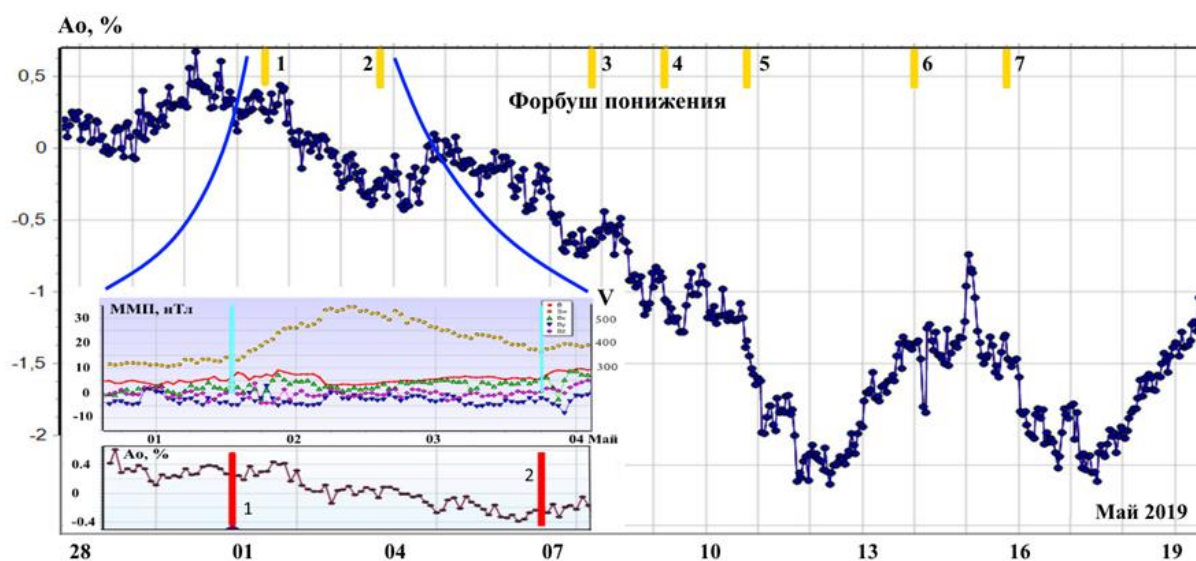


Рисунок 2. Плотность космических лучей в мае 2019 года. Верхние риски на рисунке - все Форбуш эффекты, которые в совокупности представляют собой понижение в мае 2019 в соответствии с табл. 1. На вставке приведен пример для Форбуш эффекта 1 мая 13:00 (амплитуда 0.9%) с иллюстрацией методики выделения события на основании изменений параметров солнечного ветра.

Анализ характеристик солнечного ветра позволяет увидеть, что из-за значительной частоты вспышек, следовавших за первоначальным снижением активности корональных дыр 1-3 мая, а затем за счет выбросов, КЛ не успели восстановиться, сформировав ряд ФП, приведших к снижению.

Внутри выбросов плотность солнечного ветра достигает больших значений, чем обычно. Плазма высокой плотности закрывает силовые линии для КЛ некоторых направлений, уменьшая число регистрируемых частиц. На поток КЛ сильное влияние оказывают магнитные поля. В нормальных условиях магнитное поле можно представить как квазиспиральное, КЛ движутся по силовым линиям, большей частью, по

направлению к Солнцу. Выброс можно представить в виде кольца с накрученным на нем полем, которое имеет различные значения и направлено большей частью поперек магнитных линий Солнца. Силовые линии движутся следом за ударной волной от выброса, при этом поперечные создают подобие экрана для КЛ. Вовлеченные в постепенно расширяющийся поток КЛ не могут преодолеть поперечное течение, таким образом, обмен КЛ затруднен, и восстановление идет хуже. Не имея возможности пройти по силовой линии, они стремятся найти другой путь. Восстановительный поток в сравнении с обычным уменьшается и приводит к уменьшению интенсивности КЛ. Это важное условие для появления ФП.

Выводы

Гипотезу серии небольших событий, удачно следовавших друг за другом, подтверждает анализ, проведенный глобально спектрографическим методом и позволивший выделить отдельные события серии.

В минимуме СА произошел всплеск активности. Если бы гало направлялось к Земле, наблюдался бы, возможно, самый большой ФП в цикле.

На Земле может отмечаться влияние выбросов, которые до Земли не доходят, особенно, восточных. КЛ собираются с большого пространства, и мы видим по данным нейтронных мониторов события, произошедшие за лимбом или намного восточнее. В магнитосфере все определяется локальными условиями: если в сторону Земли фиксируется отрицательная B_z компонента, есть возмущение в магнитосфере, если в стороне, возмущения нет.

Благодарности. Работа выполнена с использованием оборудования УНУ “Сеть СКЛ”.

Список литературы

1. Belov A.V., Dorman L.I., Eroshenko E.A., Melkumyan A.A., "Two great cosmic ray intensity decreases in August and September 1979" // «Cosmic Rays» (Moscow, NAUKA), 1983, Vol. 23, P. 60-63.
2. Hassler D., Zeitlin C., Wimmer-Schweingruber et al., The Radiation Assessment Detector (RAD) investigation // Space Sci. Rev., 2012, V. 170 (1–4), P. 503–558. doi: 10.1007/s11214-012-9913-1
3. RAD, 2020. RAD data can be found in NASA's PDS or at the RAD web page https://atmos.nmsu.edu/data_and_services/atmospheres_data/INSIGHT/insight.html.
4. Müller-Mellin R., Kunow H., Fleißner V. et al., COSTEP-Comprehensive Suprathermal and Energetic Particle Analyser // Solar Physics, 1995, V. 162, P. 483–504. doi: 10.1007/BF00733437
5. EPHIN, 2020. The EPHIN data used in this study as well as a detailed documentation of the new data product can be found at <http://ulysses.physik.uni-kiel.de/costep/level2/rl2> and in the SOHO archive at <https://soho.nascom.nasa.gov/data/archive>.
6. SEEDS Monthly Catalog <http://spaceweather.gmu.edu/seeds/lasco.php>
7. Belov A.V., Forbush effects and their connection with solar, interplanetary and geomagnetic phenomena September // Proceedings of the International Astronomical Union 4(S257), 2008, V.4, P. 439–450. doi: 10.1017/S1743921309029676
8. Belov A.V., Eroshenko E.A., Yanke V.G., Oleneva V.A., Abunina M.A., Abunin A.A., Global survey method for the world network of neutron monitors // Geomagnetism and Aeronomy, V. 58, 3, P. 374-389. doi: 10.7868/s0016794018030082