

УДК 52.724:52.726

НЕХАРАКТЕРНОЕ ПониЖЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В МАЕ 2019 ГОДА НА ФОНЕ МИНИМУМА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

© 2021 г. Л. А. Трефилова¹, П. Г. Кобелев¹, А. В. Белов¹, Е. А. Ерошенко¹,
В. А. Оленева¹, В. Г. Янке¹, *

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкова
Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: yanke@izmiran.ru

Поступила в редакцию 19.10.2020 г.

После доработки 19.11.2020 г.

Принята к публикации 27.11.2020 г.

Выполнен анализ специфического понижения интенсивности космических лучей по данным сети нейтронных мониторов 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.

DOI: 10.31857/S0367676521030303

ВВЕДЕНИЕ

С июля 2018 г. наблюдался самый спокойный период в минимуме солнечной активности (СА) 24-го солнечного цикла. На этом фоне резко выделяется первая половина мая 2019 г. 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 (в течение ~10 сут). 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 г. [1], однако с намного большим понижением интенсивности КЛ (более 10%), что является характерным для максимума СА. Несмотря на это, событие сентября 1979 г. в каком-то смысле стандартное по сравнению с событием мая 2019 г. Определенное сходство с событием мая 2019 г. удалось найти еще в нескольких случаях – в апреле 1980, в июле 2000 и июле 2006 г. с амплитудами 6, 11 и 3.5% соответственно. Первые два наблюдались в максимуме СА, последнее – в конце максимума – на спаде СА.

Исследуемое явление, возможно, имеет глобальный характер. Зная расположение Марса и Юпитера относительно Солнца в начале мая, можно предположить, что выбросы в мае 2019 г. 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 напротив восточного лимба, в результате мощного солнечного события 28 апреля в начале мая на RAD-детекторе [2, 3] 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. Однако, 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/EPHIN можно найти в [2, 4] а так же в

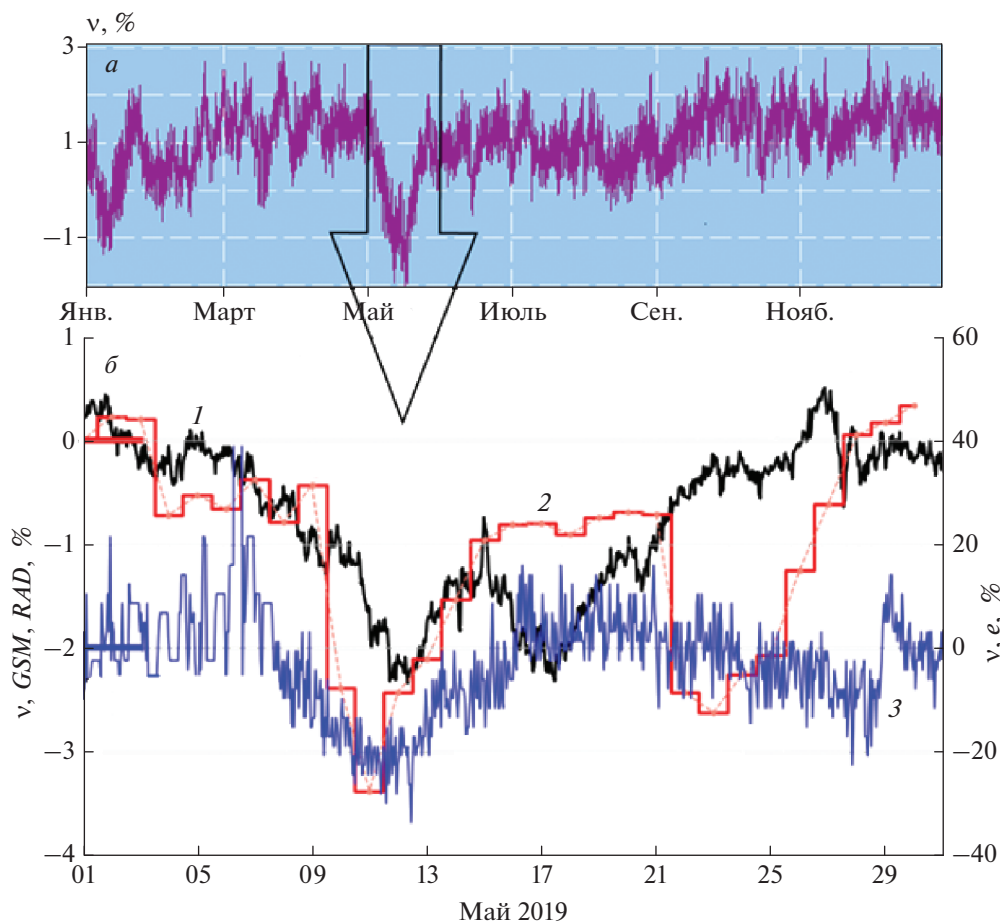


Рис. 1. Вариации космических лучей на среднеширотной станции Москва в 2019 г. (а); вариации потока космических лучей на орбите Земли (1), на орбите Марса (2) и вариации потока электронов Юпитера, зарегистрированных на орбите Земли (3) в мае 2019 г. (б).

данных базы [3, 5] соответственно. Вариации потока юпитерианских электронов вблизи орбиты Земли на порядок превышают вариации потока 10 ГВ частиц, и временной ход в первой половине мая для них в значительной мере схож.

ПАРАМЕТРЫ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

По данным SMC [6] 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 по данным SOHO [5] наблюдались с 28 апреля по 12 мая 2019 г. 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 выброс 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. Выброс на востоке видимого солнечного диска зафиксирован 6 мая, а 9 мая небольшое ФП. Выбросы в видимой восточной части солнечного диска 8 и 9 мая дали 10 и 11 мая ряд ФП. Такие непрерывные выбросы не давали возможности восстановиться КЛ. Только после 12 мая восстановление стало возможным, так как несколько дней значимых процессов не наблюдалось. Достаточный большой выброс в виде прямого гало наблюдался 12 мая, который привел к ФП 16 мая, не дав до конца восстановиться КЛ. После 13 мая событий

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

	Источник время	Форбуш дата/время	FD_m , %	B_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					

не наблюдалось, и КЛ начали восстанавливаться с 17 мая и восстановились к 26 мая. Продолжительность такого сложного события составила около 25 сут. Это говорит об изменениях характеристик межпланетной среды в масштабах гелиосферы.

уменьшая число регистрируемых частиц. Выбросы 8 мая за восточным лимбом, по-видимому, участвовали в понижении интенсивности КЛ; не достигнув Земли, они, тем не менее, влияли на скорость счета нейтронных мониторов. Возмущения солнечного ветра от выбросов в сторону

МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ФОРБУШ-ЭФФЕКТОВ

Список выделенных ФП приведен в табл. 1. На рис. 2 показана плотность космических лучей в мае 2019 г., найденная глобально спектрографическим методом [7] по данным мировой сети нейтронных мониторов. Методику выделения ФП рассмотрим на примере события 1 мая, где амплитуда понижения достигала 0.9%. Каждое событие определялось по изменению различных параметров, главным образом составляющих магнитного поля, скорости солнечного ветра, плотности и температуры. На рис. 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. Сопоставляя изменения характеристик солнечного ветра с вариациями плотности КЛ, мы можем выделить ФП. Этот же метод применяется для всех других событий.

Анализ характеристик солнечного ветра [8] позволяет установить, что из-за значительной частоты выбросов, следовавших один за другим, КЛ не успевали восстановиться, сформировав ряд ФП, приведших к общему понижению. Внутри выбросов плотность солнечного ветра, а главное, напряженность ММП достигает больших значений, чем обычно. Намагниченная плазма закрывает силовые линии для КЛ некоторых направлений,

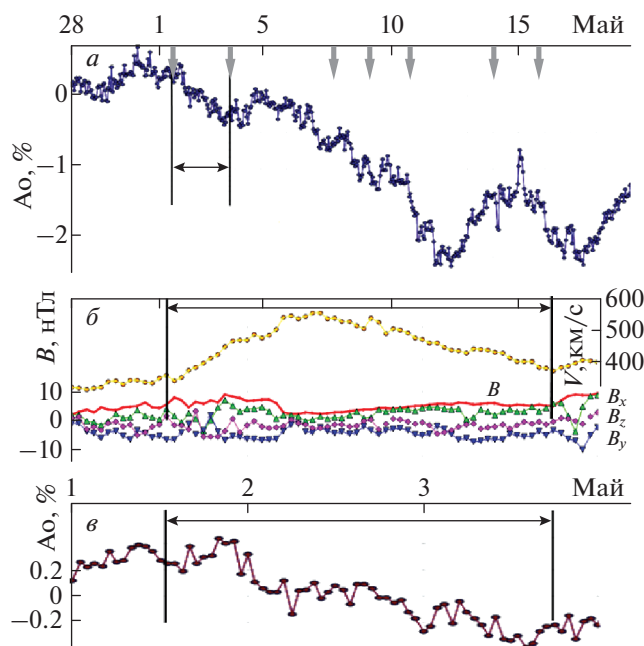


Рис. 2. Плотность космических лучей в мае 2019 г. (стрелки – все Форбуш эффекты, которые в совокупности представляют собой понижение в мае 2019 в соответствии с табл. 1) (а); параметры солнечного ветра по данным базы Форбуш-эффектов FDS для события 1 мая 13:00 (амплитуда 0.9%), где V – скорость солнечного ветра, B , B_x , B_y , B_z – полный вектор магнитного поля и его компоненты (б); фрагмент плотности космических лучей для иллюстрации методики выделения события 1 мая 2019 г. на основании изменений параметров солнечного ветра по данным базы Форбуш-эффектов [8] (в).

Земли 12 и 13 мая привели к понижению КЛ 16–17 мая. Это понижение можно видеть на всех нейтронных мониторах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

В минимуме СА (в апреле–мае 2019 г.) произошел всплеск солнечной активности. Если бы первый из серии СМЕ направлялся к Земле, на ней наблюдалось бы, возможно, самый большое ФП в цикле.

На Земле может отмечаться влияние выбросов, которые до Земли не доходят, особенно, восточных. КЛ собираются с большого объема, и мы видим по данным нейтронных мониторов отклик на события, близкие к лимбу или даже восточнее его.

Работа выполнена с использованием оборудования УНУ “Сеть СКЛ”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Belov A.V., Dorman L.I., Eroshenko E.A., Melkumyan A.A.* // *Cosmic Rays*. 1983. V. 23. P. 60.
2. *Hassler D., Zeitlin C., Wimmer-Schweingruber R.F. et al.* // *Space Sci. Rev.* 2012. V. 170. No. 1–4. P. 503.
3. https://atmos.nmsu.edu/data_and_services/atmospheres_data/INSIGHT/insight.html.
4. *Müller-Mellin R., Kunow H., Fleißner V. et al.* // *Solar Phys.* 1995. V. 162. P. 483.
5. <http://ulysses.physik.uni-kiel.de/costep/level2/r12>.
6. <http://spaceweather.gmu.edu/seeds/lasco.php>.
7. *Белов А.В., Ерошенко Е.А., Янке В.Г. и др.* // *Геомагн. и аэронаом.* 2018. Т. 58. № 3. С. 374; *Belov A.V., Eroshenko E.A., Yanke V.G. et al.* // *Geomagn. Aeron.* V. 58. No. 3. P. 374.
8. *Belov A.V.* // In: *Universal Heliophysical Processes Proc. IAU Symp.* No. 257, 2008. P. 439.

Unusual decrease of the cosmic ray intensity in May 2019 on the background of the minima solar activity

L. A. Trefilova^a, P. G. Kobelev^a, A. V. Belov^a, E. A. Eroshenko^a, V. A. Oleneva^a, V. G. Yanke^{a,*}

^a*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 108840 Russia*

**e-mail: yanke@izmiran.ru*

We analyze a specific decrease against the background of a minimum in cycle 24 of solar activity at the end of April–May 2019. It is assumed that the observed slow decrease and recovery of the cosmic radiation flux is a result of series of small Forbush decreases.