

**ОСОБЕННОСТИ ФОРБУШ-ЭФФЕКТОВ,  
СОЗДАВАЕМЫХ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМИ ПОТОКАМИ ИЗ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР,  
В МИНИМУМЕ И НА ФАЗЕ РОСТА 24 ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ**

<sup>1</sup>А.М. Малимбаев, <sup>1</sup>О.Н. Крякунова, <sup>2</sup>А.В. Белов, <sup>2</sup>А.А. Абуниин,  
<sup>2</sup>М.А. Абунина, <sup>2</sup>Е.А. Ерошенко, <sup>1</sup>И.Л. Цепаккина, <sup>1</sup>Г. Шарипова

**FEATURES OF FORBUSH EFFECTS CREATED BY HIGH-SPEED STREAMS FROM CORONAL  
HOLES, IN THE MINIMUM AND AT THE GROWTH PHASE OF THE SOLAR CYCLE 24**

<sup>1</sup>A.M. Malimbayev, <sup>1</sup>O.N. Kryakunova, <sup>2</sup>A.V. Belov, <sup>2</sup>A.A. Abunin, <sup>2</sup>M.A. Abunina,  
<sup>2</sup>E.A. Eroshenko, <sup>1</sup>I.L. Tsepakina, <sup>1</sup>G. Sharipova

В настоящей работе были исследованы форбуш-эффекты в космических лучах под влиянием высокоскоростных потоков плазмы из корональных дыр в минимуме и на фазе роста 24 цикла солнечной активности. Рассмотрены наиболее интересные события за указанный период времени. В исследовании была использована база данных по форбуш-эффектам, созданная в ИЗМИРАНе, содержащая значения интенсивности и векторов анизотропии космических лучей, полученные методом глобальной съемки, по данным мировой сети нейтронных мониторов.

The Forbush effects in cosmic rays under the influence of high-speed stream from coronal holes in the minimum and growth phase of the solar cycle 24 have been investigated. The most remarkable events for this period have been reviewed. The database on Forbush effects created at IZMIRAN, with cosmic ray density and anisotropy calculated by the Global Survey Method (GSM) on the basis of Neutron Monitor network data has been used.

**1 Введение**

Форбуш-эффекты (ФЭ) принято делить на спорадические и рекуррентные [Belov, Dorman et al., 1995]. Спорадические ФЭ вызваны межпланетными возмущениями (ICMEs), связанными с корональными выбросами масс, а рекуррентные ФЭ, чаще всего, вызваны высокоскоростными потоками солнечного ветра из низкоширотных корональных дыр (CHs). В периоды, близкие к минимуму солнечной активности, когда большие и эффективные корональные выбросы масс (CMEs) происходят редко, ФЭ, в основном, бывают вызваны CHs. Целью настоящего исследования является изучение влияния высокоскоростных потоков (ВСП) солнечного ветра из низкоширотных корональных дыр. Для этого надо выделить достаточное количество событий, обусловленных ВСП, и иметь уверенность, что эти события «чистые» без существенного влияния CMEs.

Важно проводить исследование эффектов в космических лучах не по данным одного нейтронного монитора, а за границей магнитосферы [Belov, Eroshenko et al., 1999; Asipenka, Belov et al., 2009; Pailiou, Mavromichalaki et al., 2012]. Эту интенсивность космических лучей можно рассчитать по данным мировой сети нейтронных мониторов, используя метод глобальной съемки GSM [Belov, Dorman et al., 1995], который фактически является объединением трех методов: метода расчета функций связи, траекторных расчетов частиц космических лучей в магнитном поле и метода сферического анализа [Dvornikov, Sdobnov et al., 1987; Yasue, Mori et al., 2006].

Для анализа околоземной и геомагнитной обстановки во время эффектов в космических лучах база экспериментальных данных мировой сети нейтронных мониторов дополнена данными о параметрах межпланетной среды с использованием базы данных OMNI (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/ow.html>) и данными о геомагнитной активности ([\[potdams.de/pub/home/obs/kp-ap/wdc\]\(http://potdams.de/pub/home/obs/kp-ap/wdc\)\). Данные по интенсивности космических лучей рассчитаны для частиц жесткости 10 ГВ, что приблизительно соответствует эффективной жесткости частиц, регистрируемых нейтронными мониторами мировой сети.](ftp://ftp.gfz-</a></p></div><div data-bbox=)

**2 Анализ событий в космических лучах**

Рассмотрим на примере одного события влияние ВСП солнечного ветра из СН на плотность и анизотропию космических лучей, за пределами магнитосферы, рассчитанными по методу GSM, и приведем анализ события 18–25 мая 2008 г. в период минимума солнечной активности.

Северная корональная дыра CH327 находилась в геоэффективной позиции 18–19 мая 2008 г., максимальное значение  $A_p$ -индекса во время влияния ВСП солнечного ветра на магнитное поле Земли  $A_{pmax}=22$ , максимальная скорость солнечного ветра  $V_{swmax}=593$  км/с. Для этого события магнитуда ФЭ  $A_F=1.7$  %, максимальная величина экваториальной составляющей анизотропии космических лучей  $A_{хум}=0.73$ . Рассмотрим поведение интенсивности космических лучей и ее анизотропии совместно с характеристиками межпланетного пространства (рис. 1–2).

Рассматриваемое событие является типичным для форбуш-эффектов такого класса. Оно имеет постепенное уменьшение интенсивности в течение 2 сут, магнитуда эффекта 1.7 %. Экваториальная анизотропия меняется во время события довольно плавно.

Теперь в качестве примера влияния ВСП солнечного ветра из СН на плотность и анизотропию космических лучей за пределами магнитосферы приведем анализ события 16–23 июля 2011 г. на фазе роста солнечной активности.

Южная корональная дыра CH466 находилась в геоэффективной позиции 16–17 июля 2011 г., максимальное значение  $A_p$ -индекса во время влияния ВСП

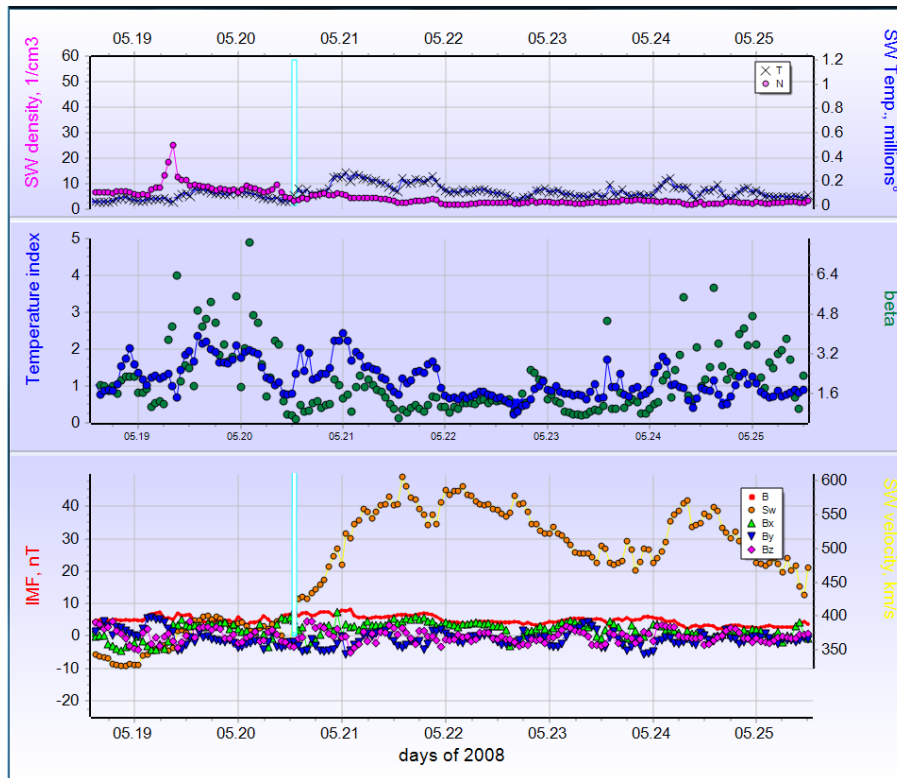


Рис. 1. Поведение параметров межпланетного поля (плотности, температуры и скорости солнечного ветра, различных составляющих межпланетного магнитного поля) 18–25 мая 2008 г.

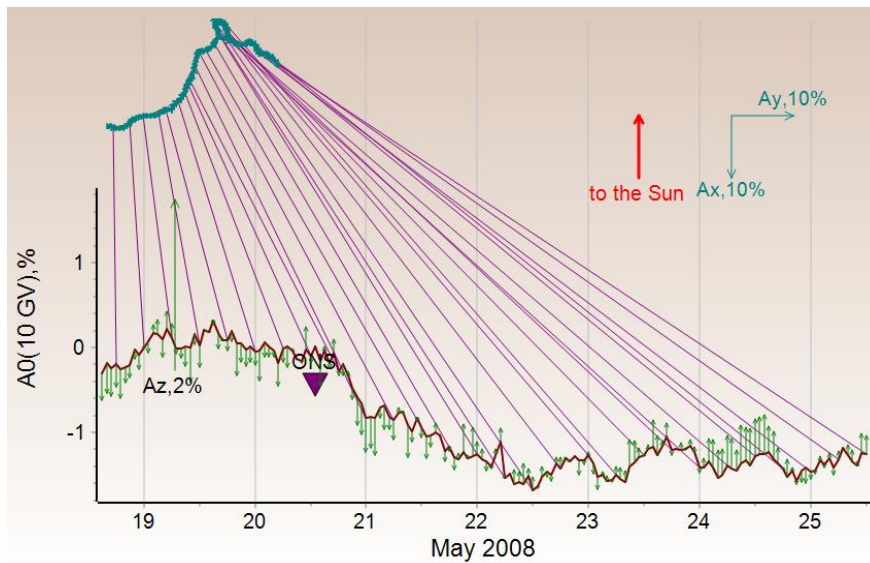


Рис. 2. Поведение плотности и анизотропии космических лучей жесткости 10 ГВ 18–25 мая 2008 г.

солнечного ветра на магнитное поле Земли  $A_{pmax} = 27$ , максимальная скорость солнечного ветра  $V_{swmax} = 731$  км/с. Для этого события магнитуда ФЭ  $A_F = 1.8\%$ , максимальная величина экваториальной составляющей анизотропии космических лучей  $A_{хум} = 0.7$ . На рис. 3, 4 представлено поведение интенсивности космических лучей и ее анизотропии совместно с характеристиками межпланетного пространства.

Данное событие является типичным для форбуш-эффектов такого класса. Оно имеет постепенное

уменьшение интенсивности в течение 3 сут, магнитуда эффекта 1.8 %. Экваториальная анизотропия меняется во время события довольно плавно.

### 3 Заключение

Как в минимуме 2007 г., так и на фазе роста солнечной активности в последующие годы интенсивность космических лучей под влиянием ВСП из СН меняется от 0.3 до 2.3 %, анизотропия космических лучей меняется плавно [Kryakunova, Tserakina et al., 2013]. Количество «чистых» событий, без существен-

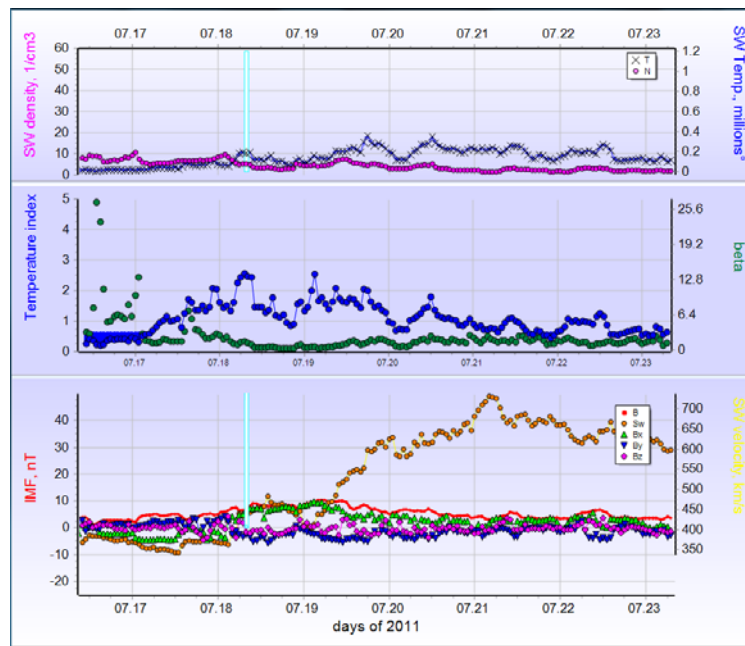


Рис. 3. Поведение параметров межпланетного поля (плотности, температуры и скорости солнечного ветра, различных составляющих межпланетного магнитного поля) 16–23 июля 2011 г.

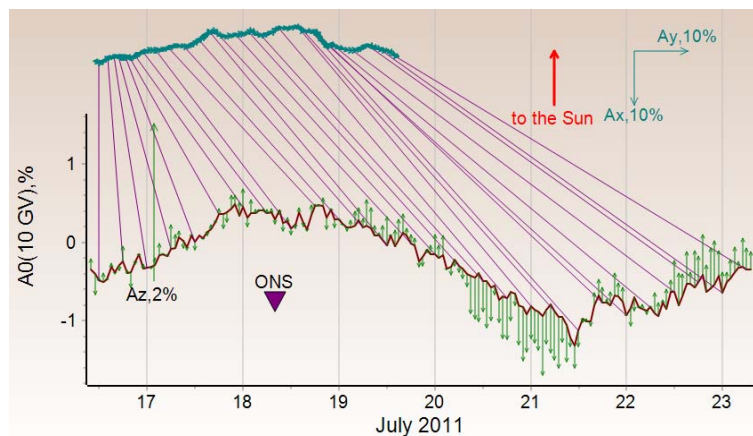


Рис. 4. Поведение плотности и анизотропии космических лучей жесткости 10 ГВ 16–23 июля 2011 г.

ного влияния CMEs в минимуме солнечной активности в 2007 г. составило 48, в 2008 г. – 37, на фазе роста 24-го цикла в 2011 г. число таких событий значительно уменьшилось и составило всего 28. Средняя продолжительность уменьшения интенсивности КЛ во время прихода ФЭ в 2007 г. составила 39 ч, в 2011 г. – 59 ч.

Работа выполнена по программе 101 «Грантовое финансирование научных исследований» Республики Казахстан, грант 0014/ГФЗ, регистрационный номер 0113РК00291.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Asipenka A., Belov A., Eroshenko E., et al. Asymptotic longitudinal distribution of cosmic ray variations in real time as the method of interplanetary space diagnostic // Proc. 31 International Cosmic Ray Conf. 2009. P. 708–716.

Belov A.V., Eroshenko E.A., Yanke V.G. Cosmic ray effects caused by great disturbances of the interplanetary medium in 1990–1996 // Proc. 26<sup>th</sup> Int. Cosmic Ray Conf. 1999. V. 6. P. 431–434.

Belov A.V., Dorman L.I., et al. Search for predictors of Forbush decreases // Proc. 24<sup>th</sup> ICRC. 1995. V. 4. P. 888–891.

Dvornikov V., Sdobnov V., Sergeev A. A spectrograph global survey technique for studying cosmic ray distribution function and the planetary system of geomagnetic cutoff rigidities // Proc. 20<sup>th</sup> ICRC. 1987. P. 231–234.

Papailiou M., Mavromichalaki H., Belov A., Eroshenko E., Yanke V. The asymptotic longitudinal cosmic ray intensity distribution as Precursor for Forbush decreases // Solar Physics. 2012. P. 351–362.

Yasue S., Mori S., Sakakibara S., Nagashima K. Coupling Coefficients of Cosmic Ray Daily Variations for Neutron Monitor Stations // Rep. of Cosmic Ray Research Laboratory, Nagoya University. 2006. P. 487–488.

Kryakunova O., Tsepakina I., Nikolayevskiy N., et al. Influence of high-speed streams from coronal holes on cosmic ray intensity in 2007 // J. Physics: Conference Series 409. 2013. P. 012181. DOI: 10.1088/1742-6596/409/1/012181. IOP Publishing.

<sup>1</sup>Дочернее товарищество с ограниченной ответственностью «Институт ионосферы», Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Москва, Троицк