О. Н. КРЯКУНОВА[1], А. М. МАЛИМБАЕВ[1], И. Л. ЦЕПАКИНА[1],
А. В. БЕЛОВ[2], Е. А. ЕРОШЕНКО[2], В. Г. ЯНКЕ[2]

([1]ДТОО «Институт ионосферы» АО «Национальный центр космических исследований и технологий», Алматы;
[2]ФГБУН Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва)

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ИЗ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР НА ПЛОТНОСТЬ И АНИЗОТРОПИЮ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Аннотация. Рассмотрен типичный пример Форбуш-эффекта в космических лучах, свя-занного с влиянием высокоскоростного потока солнечного ветра из низкоширотной корональной дыры, когда влияния корональных выбросов масс после солнечных вспышек или исчезновения волокон не наблюдалось. С помощью метода глобальной съемки рассчи-таны вектора анизотропии галактических космических лучей и плотность космических лучей за границами магнитосферы. Рассматриваемое событие достаточно типично для Форбуш–эффектов такого класса и характеризуется постепенным уменьшением интенсив-ности космических лучей в течение 4 суток и небольшой магнитудой эффекта. Получена зависимость величин Форбуш-эффектов в космических лучах от основных характеристик межпланетной среды в период, близкий к минимуму солнечной активности. Зависимость величины магнитуды Форбуш-эффекта от максимальных значений интен-сивности меж-планетного магнитного поля является линейной, причем гораздо лучшая для событий, связанных с корональными дырами, чем для всех Форбуш-эффектов в рассматриваемый период.

Ключевые слова: корональные дыры, космические лучи, анизотропия.
Тірек сөздер: короналды ойықтар, ғарыш сәулелері, анизотропия.
Keywords: coronal hole, cosmic ray, anisotropy.

Введение. При исследовании модуляционных процессов в интенсивности космических лучей обычно анализируются Форбуш-эффекты, связанные с выбросами корональных масс. Эти Форбуш-эффекты вызваны спорадическими солнечными явлениями, имеют, как правило, довольно

большую магнитуду эффекта и сопровождаются умеренными или большими магнитными бурями [1-3]. Таким образом, представляет интерес исследовать эффекты в космических лучах, связанные с рекуррентными корональными дырами, причем эти эффекты можно наблюдать, в основном, в периоды, близкие к минимуму солнечной активности, когда практически не наблюдается мощных выбросов масс, инициируемых солнечными вспышками. Важно проводить исследование эффектов в космических лучах не по данным одного нейтронного монитора, а за границей магнитосферы. Эту интенсивность космических лучей можно рассчитать по данным мировой сети нейтронных мониторов, используя метод глобальной съемки GSM [4].

Для исследования поведения плотности и анизотропии космических лучей за границей магнитосферы необходимо рассчитать плотность и анизотропию методом глобальной съемки, создать базу данных этих эффектов, а затем выделить эффекты, связанные с корональными дырами. Нами обработан экспериментальный материал мировой сети нейтронных мониторов за 2006–2010 гг. методом глобальной съемки GSM для расчета интенсивности и векторов анизотропии космических лучей.

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 (ftp://ftp.gfz-potsdam.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.

Частицы космических лучей, регистрируемые наземными детекторами, приходят на границу магнитосферы Земли с различных направлений. Анализ спектров вариаций и анизотропии проводится методом глобальной съемки, который позволяет по данным наземных установок (нейтронных мониторов) рассчитать спектр вариаций космических лучей и векторную анизотропию космических лучей за пределами магнитосферы. Метод глобальной съемки фактически является объединением трех методов: метода расчета функций связи, траекторных расчетов частиц космических лучей в магнитном поле и метода сферического анализа [5-6].

Для расчетов плотности космических лучей жесткости 10 ГВ и векторной анизотропии использовался метод глобальной съемки (GSM), хорошо зарекомендовавший себя при исследованиях Форбуш–эффектов в космических лучах, когда Форбуш–эффект рассматривается не по данным отдельной станции, а по данным сети станций космических лучей. В этом случае Форбуш–эффект изучается, как гелиосферное явление, наблюдающееся за границей магнитосферы [2, 7-8].

Форбуш-эффекты (ФЭ) принято делить на спорадические и рекуррентные [4]. 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 CMEs происходят редко, ФЭ, в основном, бывают вызваны CHs. Целью настоящего исследования является изучение влияния высокоскоростных потоков (ВСП) солнечного ветра из низкоширотных корональных дыр на космические лучи. Для этого, прежде всего, надо выделить достаточное количество событий, обусловленных ВСП, и иметь уверенность, что это события «чистые», без существенного влияния корональных выбросов масс (CMEs).

В качестве примера влияния высокоскоростных потоков солнечного ветра из корональной дыры на плотность и анизотропию космических лучей, за пределами магнитосферы, рассчитанными методом глобальной съемки, приведем анализ события 30 декабря 2006 г. – 8 января 2007 г.

Южная корональная CH254 (рекуррентная с CH250) находилась в геоэффективной позиции 30 декабря 2006 г. – 31 декабря 2006 г. максимальное значение Ap-индекса во время влияния ВСП солнечного ветра на магнитное поле Земли Ap_{max} = 39, максимальная скорость солнечного ветра Vsw_{max} = 794 км/с. Для этого события магнитуда ФЭ A_F=1.2, максимальная величина экваториальной составляющей анизотропии космических лучей Axym=0.83. Рассмотрим поведение интенсивности космических лучей и ее анизотропии совместно с характеристиками межпланетного пространства (рисунки 1–2).