

# Рекуррентные и спорадические Форбуш-эффекты в 2007 г.

О.Крякунова<sup>1</sup>, А. Белов<sup>2</sup>, А. Абуни<sup>2</sup>, М. Абунина<sup>2</sup>, Е. Ерошенко<sup>2</sup>, А.Малимбаев<sup>1</sup>,  
Н.Николаевский<sup>1</sup>, И.Цепакина<sup>1</sup>, В. Оленева<sup>2</sup>, В. Янке<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ДТОО «Институт ионосферы», г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> ФГБУН «Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
им. Н.В.Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН)

**1. Введение.** Форбуш-эффекты (ФЭ) принято делить на спорадические и рекуррентные. 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 и корональных выбросов масс на космические лучи (КЛ). 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).

**2. Экспериментальные данные, результаты исследования.** В нашем исследовании была использована база данных по ФЭ, созданная в ИЗМИРАНЕ. Нами обработан экспериментальный материал мировой сети нейтронных мониторов за весь 2007 г. методом глобальной съемки GSM для расчета интенсивности и векторов анизотропии космических лучей.

Расширенная база экспериментальных данных мировой сети нейтронных мониторов была 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.

Рассмотрим на примере одного события влияние ВСП от корональной дыры и CME. Северная корональная дыра CH299 (рисунок 1) находилась в геоэффективной позиции 14-15 ноября 2007 г. Амплитуда эффекта в космических лучах  $AF=2.0$ , максимальная экваториальная анизотропия  $A_{xy}=1.83$ . Как и во многих событиях, перед Форбуш-эффектом наблюдалось повышение плотности солнечного ветра и напряженности межпланетного магнитного поля (рисунок 2). Непродолжительный и глубокий Форбуш-эффект был обусловлен CME типа частичного гало (рисунок 3). Интересно, что этот Форбуш-эффект не сопровождался возмущением магнитного поля Земли ( $Kp_{max}=3$ ). В дальнейшем, интенсивность космических лучей плавно понижалась, что явилось результатом наложения влияния эффектов CME и CH299, т.к. корональная дыра фактически состояла из двух частей, что привело к нескольким повышениям скорости ВСП солнечного ветра. Резкий поворот вектора экваториальной анизотропии произошел перед началом ФЭ 19 ноября. Можно отметить, что при влиянии ВСП от корональных дыр, анизотропия ведет себя довольно плавно. При влиянии CME на поведение космических лучей анизотропия, как правило, резко меняет свое направление.

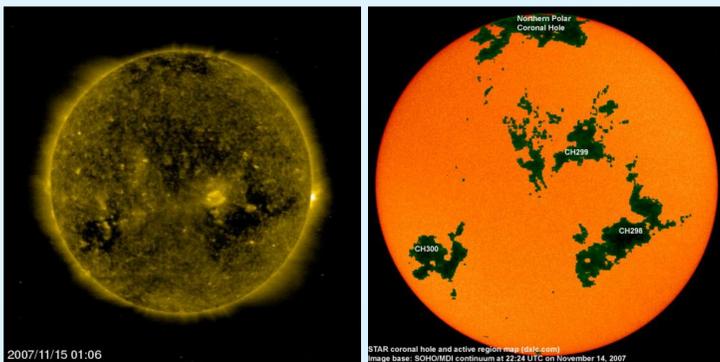


Рисунок 1 – Корональная дыра CH299

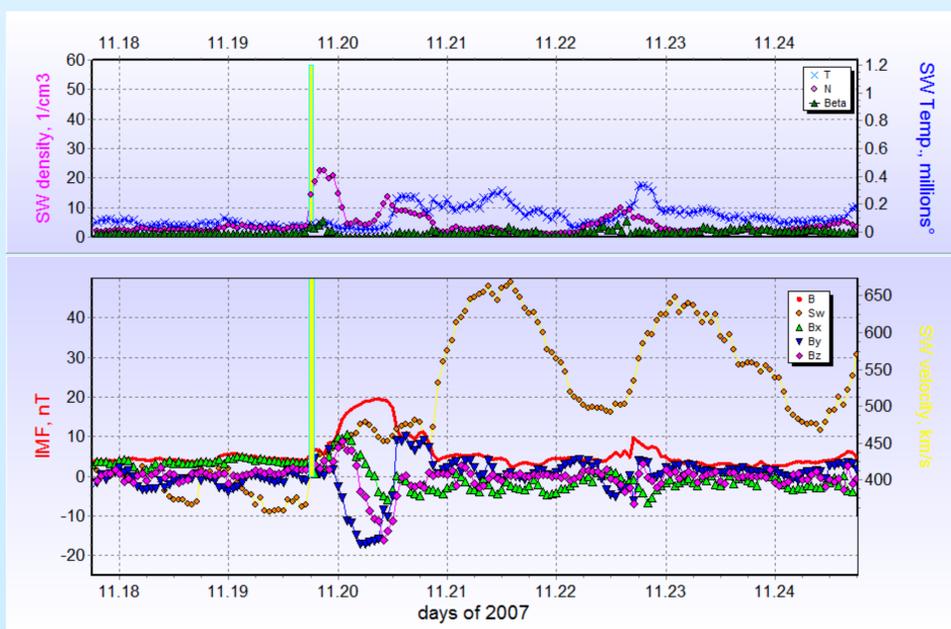


Рисунок 2 – Поведение параметров межпланетного поля (плотности, температуры и скорости солнечного ветра, различных составляющих ММП) 9-15 июля 2007 г.

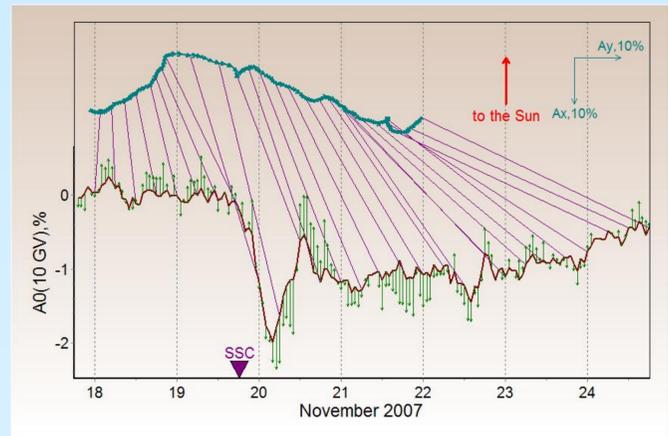


Рисунок 3 – Поведение плотности и анизотропии космических лучей (жесткости 10 ГВ) 9-18 июля 2007 г.

Как мы определили ранее, на величину ФЭ значительно влияет величина ММП. В событии 19-20 ноября 2007 г. это хорошо видно: большая для этого класса Форбуш-эффектов величина события (2%) связана с довольно большой магнитудой ММП (20 нТл). Конфигурация межпланетного магнитного поля 20 ноября является одним из признаков магнитного облака. Корональный выброс массы явился следствием исчезновения волокна 15 ноября.

Средние характеристики, полученные для всех событий 2007 г., связанных с корональными дырами, представлены на рисунке 4, где приведены напряженность межпланетного магнитного поля IMF, скорость солнечного ветра SW (верхняя панель), плотность  $A_0$  и экваториальная анизотропия  $A_{xy}$  космических лучей жесткости 10 ГВ (средняя панель),  $Kp$  и  $Dst$  – индексы геомагнитной активности (нижняя панель). Все параметры усреднены методом наложения эпох, когда 0-днем считается день начала Форбуш-эффекта.

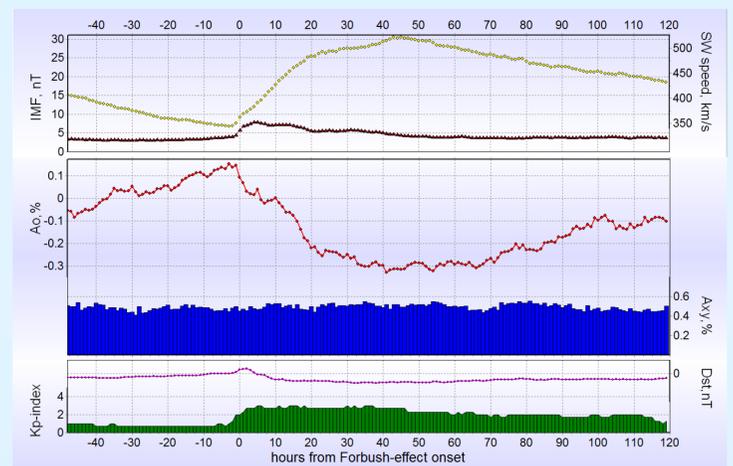


Рисунок 4 – Поведение средних характеристик всех Форбуш-эффектов в 2007 г., вызванных высокоскоростными потоками солнечного ветра из корональных дыр, и характеристик межпланетного поля и геомагнитной активности.

На рисунке 5 приведены средние характеристики для Форбуш-эффектов, связанных с высокоскоростными потоками из корональных дыр, и Форбуш-эффектов, вызванных корональными выбросами масс, из всей базы данных, для которых Форбуш-эффекты отделены не менее, чем на 48 часов (349 событий). Сравнивая эти группы событий, можно видеть, что Форбуш-эффекты, связанные с влиянием высокоскоростных потоков из корональных дыр, создают по величине небольшие (в среднем,  $1,03 \pm 0,06$  %), медленно развивающиеся события.

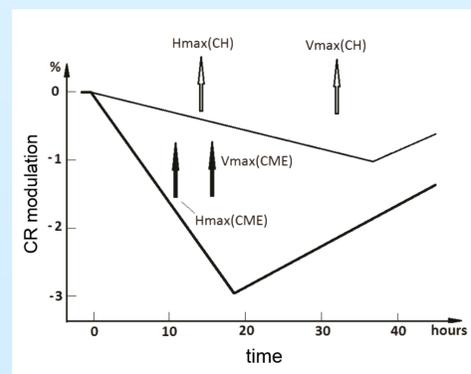


Рисунок 5 – Усредненные характеристики всех Форбуш-эффектов в 2007 г., вызванных высокоскоростными потоками солнечного ветра из корональных дыр, и Форбуш-эффектов, вызванных CME. По оси абсцисс – время от начала Форбуш-эффекта, по оси ординат – величина Форбуш-эффекта.

**3. Выводы.** Пример 2007 г. показывает, что даже при очень спокойном Солнце мы видим возмущения, способные создавать ФЭ – это CH. Мировая сеть НМ, обработанная GSM, позволяет исследовать малые эффекты. Отличительной особенностью ФЭ, создаваемых CH, является их большая продолжительность, минимум интенсивности космических лучей сильно запаздывает относительно напряженности ММП. События, связанные с корональными дырами, сильно отличаются от событий, обусловленных CME: меньшая продолжительность ФЭ, распределение времен: поздний минимум в КЛ, который близок ко времени максимума скорости солнечного ветра и запаздывает относительно максимума ММП. Большие отличия между рекуррентными и спорадическими ФЭ в анизотропии КЛ: для рекуррентных она значительно меньше, чем для спорадических, и ведет себя более плавно.