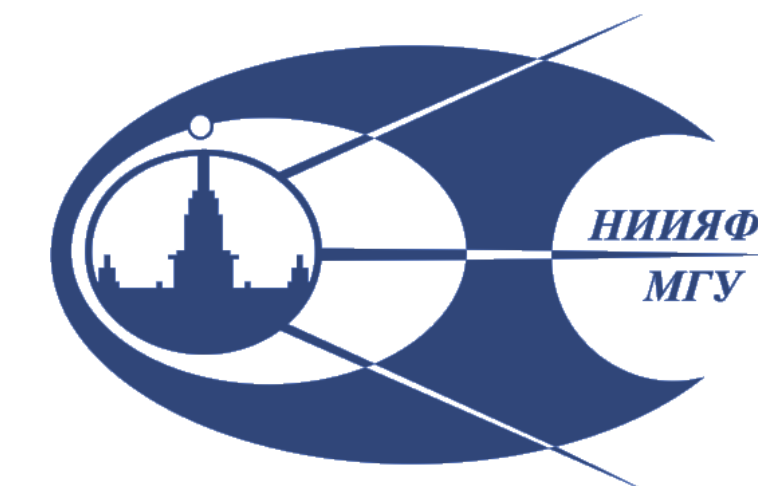


Воздействие высокоскоростных потоков солнечного ветра на магнитосферу Земли в зависимости от сектора межпланетного магнитного поля



Оганов С. А. Калегаев В. В. Власова Н. А.

НИИЯФ имени Д. В. Скобелына МГУ

Введение

Магнитосфера Земли находится под постоянным воздействием межпланетной среды, ответной реакцией на которое являются геомагнитные возмущения.

Интенсивность этих процессов определяется динамическим давлением солнечного ветра и направлением и напряженностью межпланетного магнитного поля. В результате, воздействие межпланетной среды меняется в зависимости от солнечной активности и от фазы солнечного цикла. На спаде солнечного цикла геомагнитные возмущения, как правило, связаны с приходом в околоземное космическое пространство рекуррентных высокоскоростных потоков солнечного ветра из корональных дыр. В зависимости от расположения корональной дыры относительно солнечного магнитного экватора потоки высокоскоростного солнечного ветра могут приносить магнитное поле, ориентированное, преимущественно, к Солнцу, или от Солнца.

Выбор исследуемых промежутков

Было проанализировано взаимодействие магнитосферы Земли с солнечным ветром в двух выбранных промежутках времени: 01.11.2016 - 01.04.2017 и 07.07.2019 - 01.11.2019. Оба этих периода характеризуются фазой минимума солнечной активности, что позволяет легко идентифицировать переходы между секторами межпланетного магнитного поля.

В рассматриваемые периоды наблюдались рекуррентные высокоскоростные потоки солнечного ветра, также периодическая структура в профиле скорости солнечного ветра, связанная с ярко выраженными секторами межпланетного магнитного поля в минимуме солнечной активности.

Выбранные промежутки времени позволяют сравнить влияние высокоскоростных потоков солнечного ветра и секторной структуры межпланетного магнитного поля на магнитосферу Земли.

Первый временной промежуток

На протяжении всего временного интервала с начала ноября 2016 года по конец февраля 2017 года на Солнце наблюдались две корональные дыры в разных полушариях. Они стали источником двух потоков высокоскоростного ветра, которые приходят на Землю с периодом в 27 дней, в течение нескольких Кэррингтоновских оборотов Солнца (см. Рис. 1). Гелиоширотные различия в положении корональных дыр определили противоположные полярности их магнитного поля.

На Рис. 1 представлены временные профили Dst индекса и потоков захваченных электронов с энергией больше 2 МэВ на геостационарной орбите. Эти рисунки демонстрируют, как магнитосфера реагирует на приход высокоскоростного потока. Высокоскоростной поток вызывает геомагнитное возмущение и характерные изменения в потоке захваченных электронов. Сравнение соседних периодов геомагнитной активности показывает, что они не связаны с секторной структурой межпланетного магнитного поля.

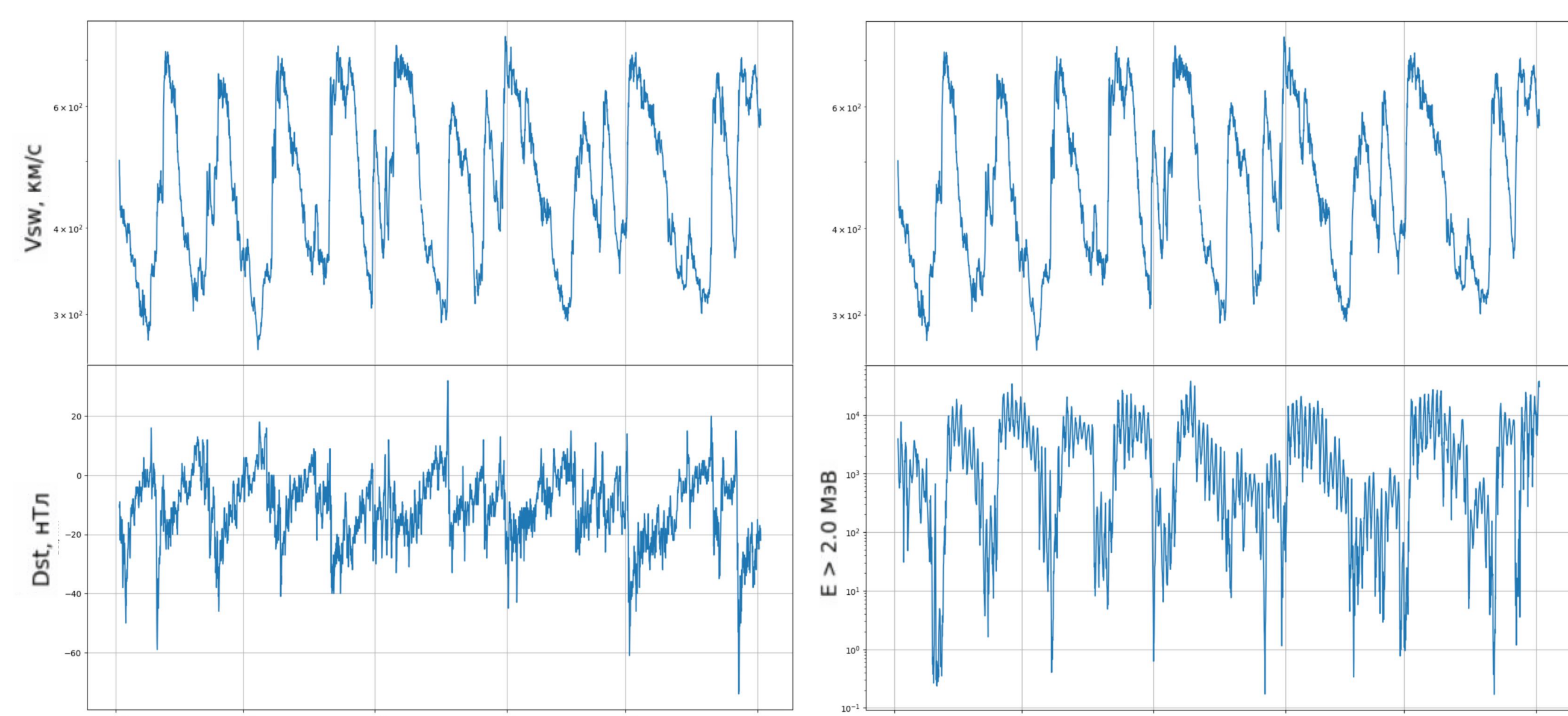


Рисунок 1. Временные профили скорости солнечного ветра, Dst-индекса, потока электронов с $E > 2$ МэВ

На Рис. 2 представлены компонента B_x межпланетного магнитного поля и временной профиль функции связи Ньюела ($\frac{d\Phi}{dt}$), где Φ - магнитный поток через доли хвоста магнитосферы.

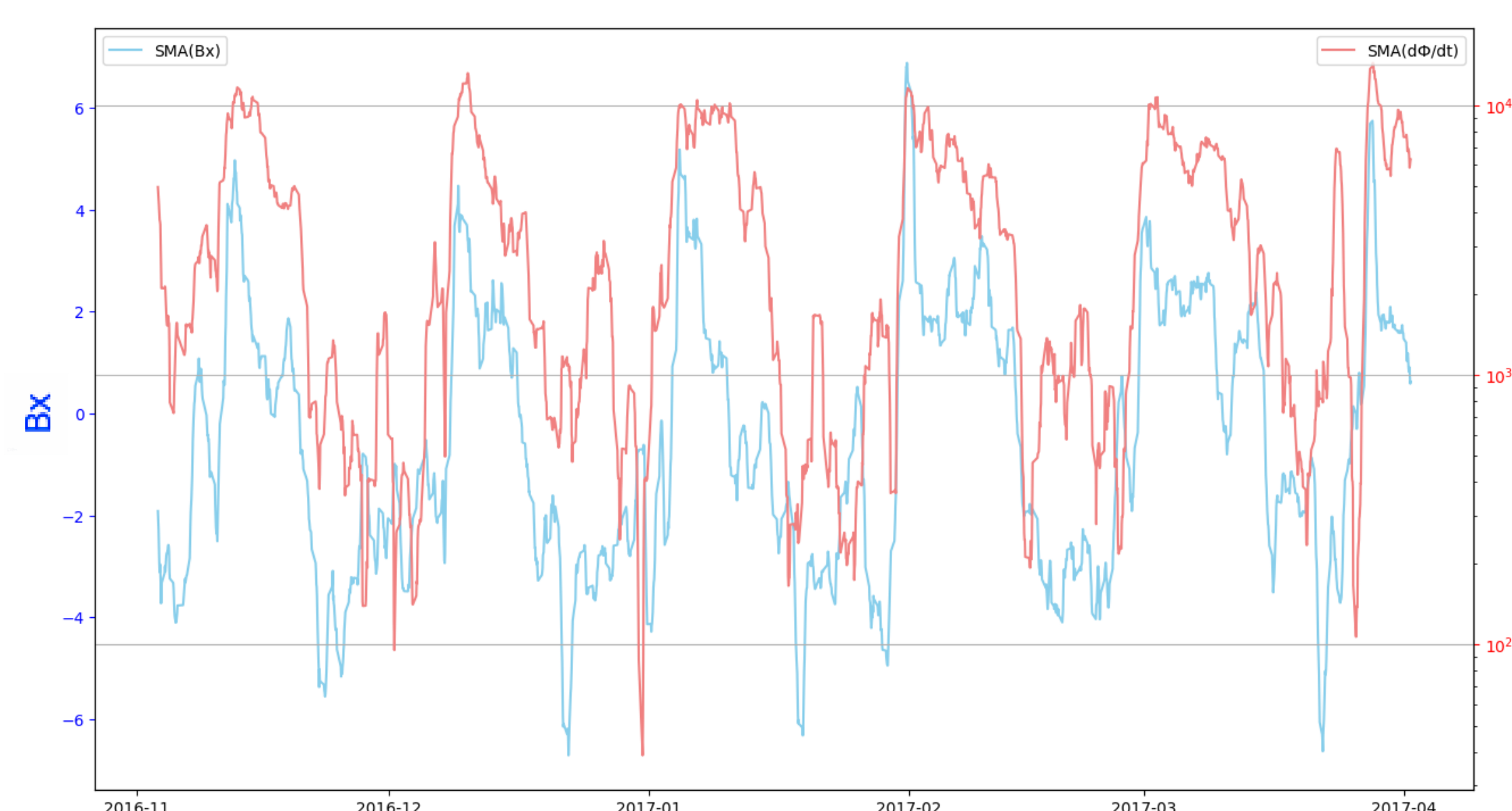


Рисунок 2. Временные профили скорости солнечного ветра, Dst-индекса, потока электронов с $E > 2$ МэВ

Функция связи

Функция связи вычисляется по формуле:

$$\frac{v^{4/3} B_T^{2/3} \sin^{8/3}(\frac{\theta}{2})}{\sqrt{1 + (B_x/B_z)^2}}$$

где v - скорость солнечного ветра, B_T - поперечная компонента межпланетного магнитного поля, $\theta = \arctan\left(\frac{B_y}{B_z}\right)$ (Newell et al., 2007).

Однако функция связи демонстрирует значительные вариации, проявляющиеся с периодичностью 27 дней. Наблюдается корреляция между темпом поступления энергии в магнитосферу и компонентой B_x межпланетного магнитного поля. Этот результат можно интерпретировать таким образом, что, темп поступления энергии в магнитосферу зависит от направления компоненты B_x и достигает максимума при положительных значениях. Другим объяснением может быть более высокое, в среднем, давление солнечного ветра истекающего из одной из корональных дыр.

Второй временной промежуток

На втором временном отрезке, с 7 июля 2019 года по 1 ноября 2019 года, мы наблюдаем только один высокоскоростной поток солнечного ветра. Закономерно, также наблюдается отклик магнитосферы Земли, как показано на Рис. 3.

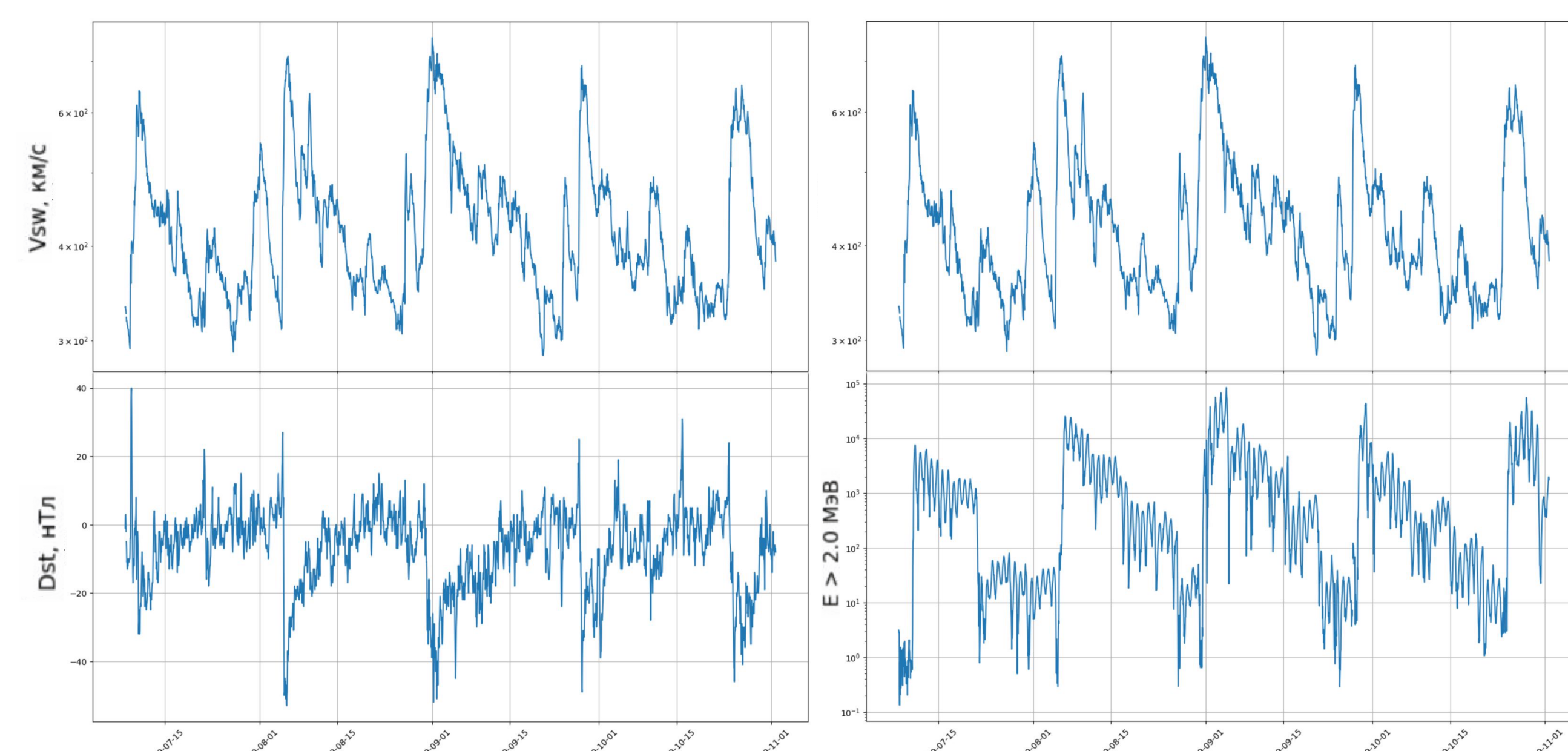


Рисунок 3. Временные профили скорости солнечного ветра, Dst-индекса, потока электронов с $E > 2$ МэВ

Важно отметить, что функция связи, как видно на Рис. 4, продолжает демонстрировать корреляцию с компонентой B_x межпланетного магнитного поля, подобно первому случаю. Отсутствие корональной дыры в южном полушарии означает более высокое, в среднем, давление солнечного ветра в высокоскоростном потоке, истекающем из северной КД.

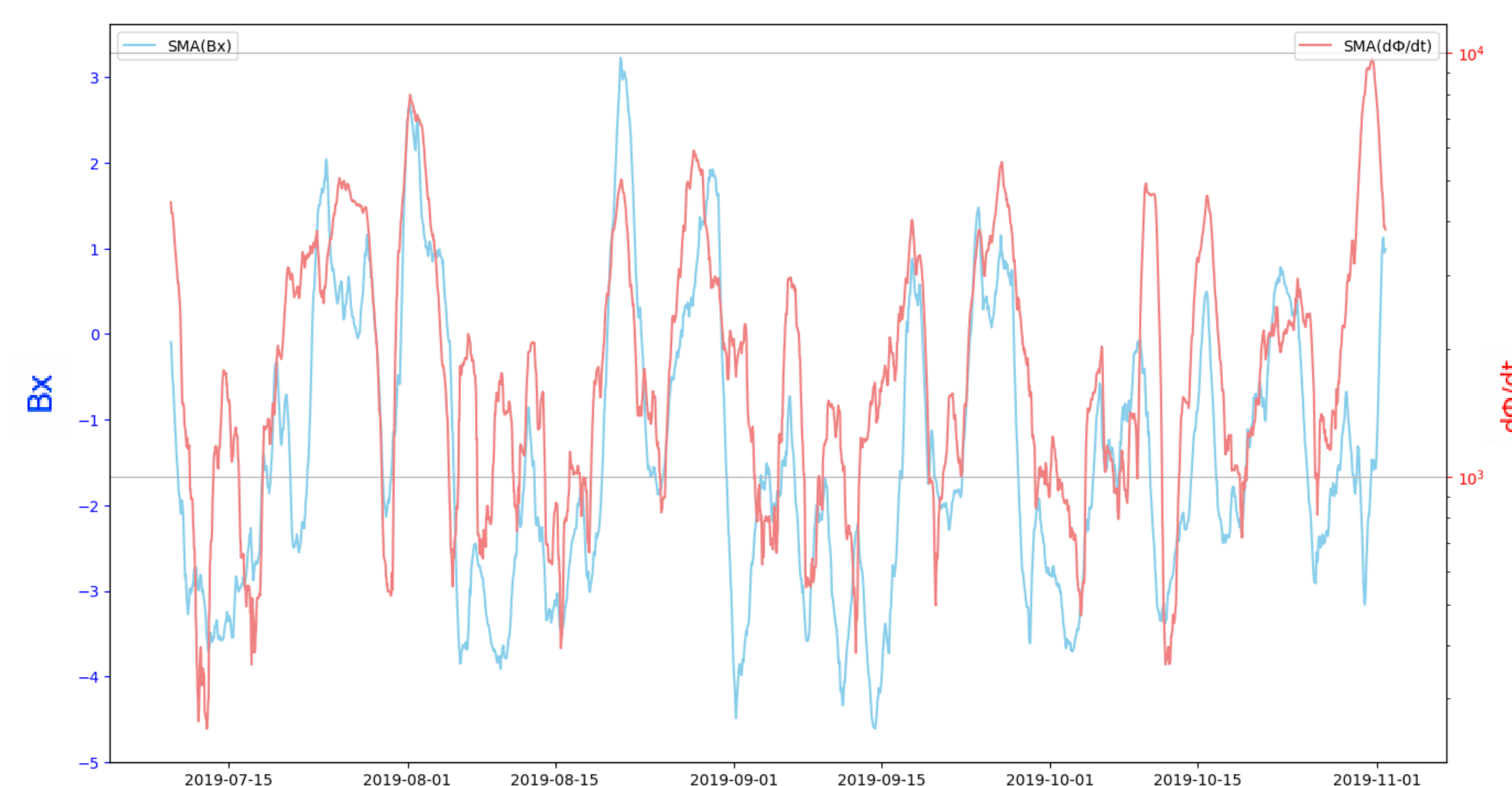


Рисунок 4. Временные профили скорости солнечного ветра, Dst-индекса, потока электронов с $E > 2$ МэВ

Результаты

- Определены два временных интервала (01.11.2016 - 01.02.2017 и 07.07.2019 - 01.11.2019) в период минимума солнечной активности с ярко выраженной секторной структурой межпланетного магнитного поля.
- Показано, что функция связи коррелирует с компонентой B_x межпланетного магнитного поля. В секторах с положительным направлением B_x компоненты межпланетного магнитного поля наблюдается увеличение темпа поступления энергии в магнитосферу, что связано с более высоким давлением соответствующего потока солнечного ветра.

Ссылки

- Центр анализа космической погоды НИИЯФ МГУ, <https://swx.sinp.msu.ru/>
- A nearly universal solar wind-magnetosphere coupling function inferred from 10 magnetospheric state variables, Newell, P. T., T. Sotirelis, K. Liou, C.-I. Meng, and F. J. (2007)

Дополнительная информация

