

МЕЖПЛАНЕТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ И ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫЕ МАГНИТОСФЕРНЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ

Крякунова О.Н.¹, Сейфуллина Б.Б.¹, Белов А.В.², Абунин А.А.², Абунина М.А.², Шлык Н.С.², Цепакина И.Л.¹, Николаевский Н.Ф.¹

¹Институт ионосферы, г. Алматы, Казахстан

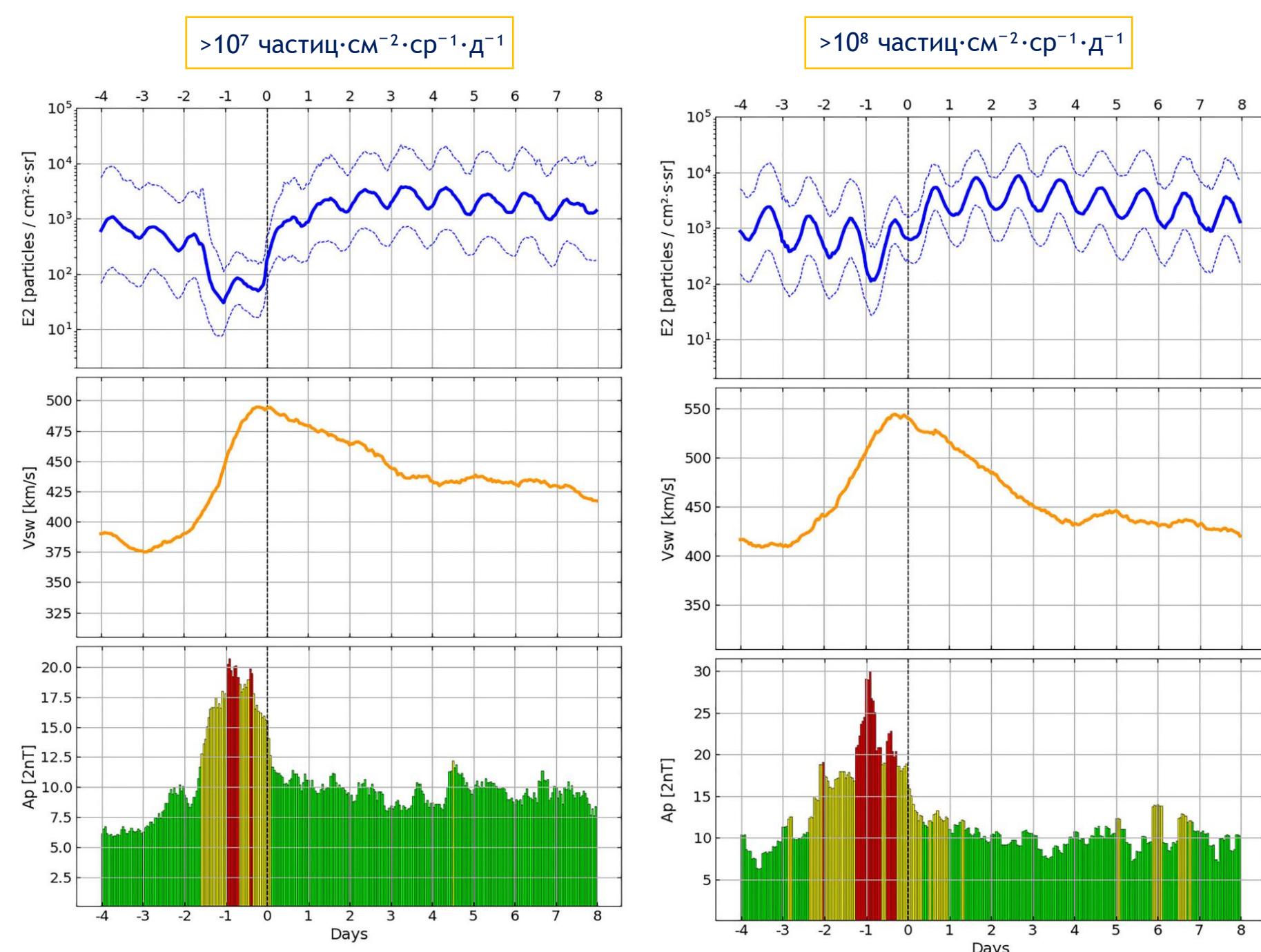
²Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкина, г. Москва, г. Троицк, Россия

krolganik@yandex.ru

По данным за 35 лет (1987-2021 гг.) измерений потоков магнитосферных электронов с энергией >2 МэВ на геостационарных орбитах, скорости солнечного ветра и геомагнитной активности составлен каталог электронных возрастаний, в которых флюенс электронов превышает 10^8 частиц· $\text{см}^{-2}\cdot\text{ср}^{-1}\cdot\text{день}^{-1}$. Для событий этого каталога рассчитаны средние характеристики электронных возрастаний и параметров межпланетной и околоземной среды. Средняя продолжительность электронного возрастания составляет 5 дней, а максимальное по длительности возрастание продолжалось 24 дня. По рассчитанным средним значениям флюенса электронов, скорости солнечного ветра и Ар-индекса геомагнитной активности в день электронного возрастания и в предыдущие дни получено типичное поведение этих параметров во время электронного возрастания и перед ним. Рассчитаны средние характеристики электронных возрастаний и параметров межпланетной и околоземной среды перед большими электронными возрастаниями, когда флюенс превышает $3 \cdot 10^8$, $5 \cdot 10^8$ и 10^9 частиц· $\text{см}^{-2}\cdot\text{ср}^{-1}\cdot\text{день}^{-1}$. Перед большими возрастаниями магнитосферных электронов наблюдаются значительные межпланетные и магнитосферные возмущения, и их мощность растет с увеличением порога флюенса.

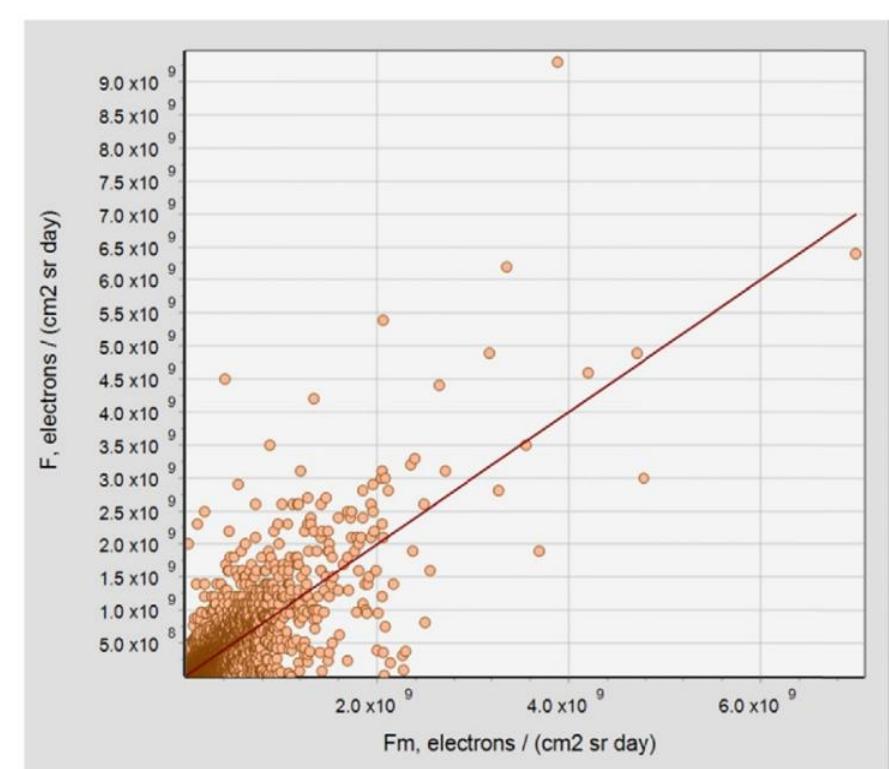
Наибольший полный флюенс за все время наблюдений (1987-2021 гг.) зарегистрирован для события 28 июля - 5 августа 2004 года и составляет 2.6×10^{10} частиц· $\text{см}^{-2}\cdot\text{ср}^{-1}\cdot\text{день}^{-1}$. Это событие выделяется как самое интенсивное по флюенсу за весь исследуемый период.

Поток высокозергичных электронов, скорость солнечного ветра и геомагнитные индексы Kp и Dst 26 июля - 7 августа 2004 г.

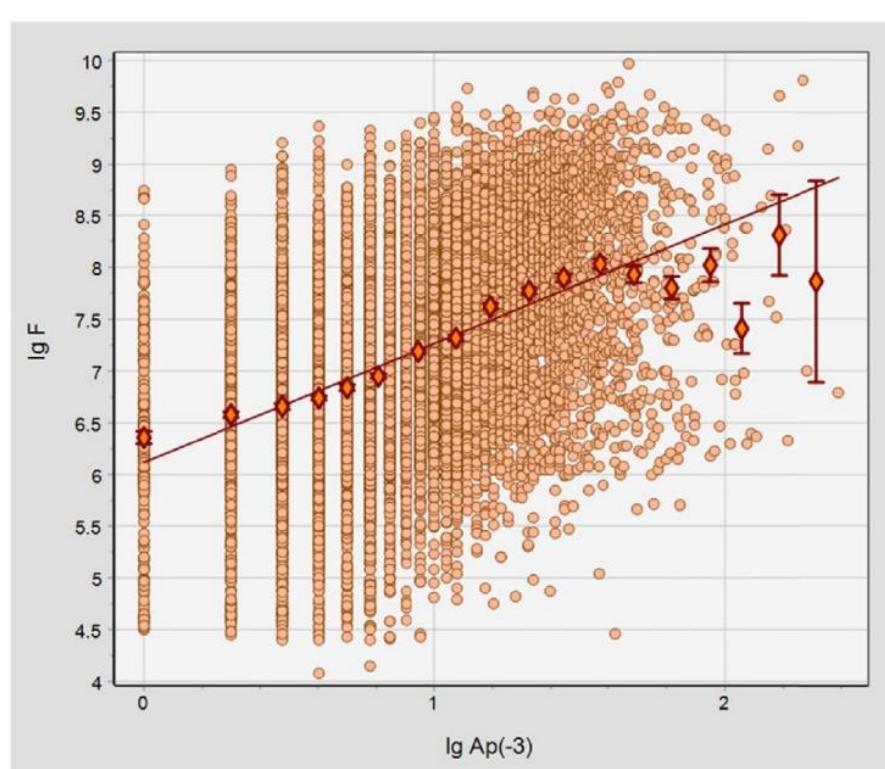


Поведение почасовых средних значений потока высокозергичных электронов, скорости солнечного ветра и индекса геомагнитной активности Ap, рассчитанное методом наложения эпох для событий возрастания потока электронов с различным флюенсом ($>10^7$ и $>10^8$ частиц· $\text{см}^{-2}\cdot\text{ср}^{-1}\cdot\text{день}^{-1}$). Пунктирные линии на верхней панели показывают диапазон 2σ-ошибки.

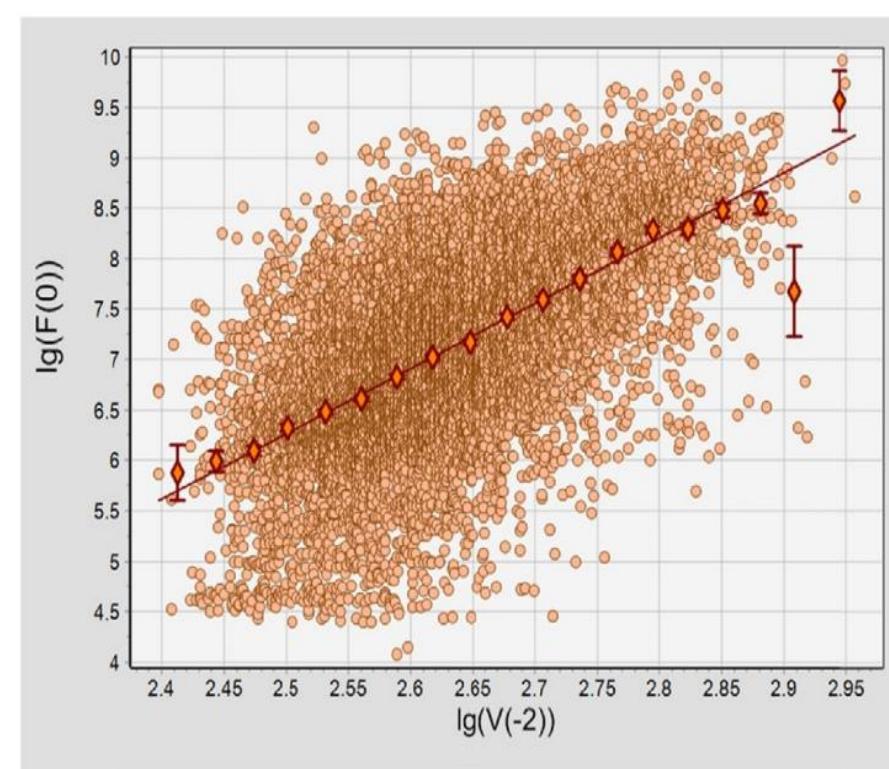
Рассчитаны коэффициенты корреляции между суточным флюенсом электронов, скоростью солнечного ветра и Ар-индексом геомагнитной активности с различными временами запаздывания, а также между флюенсами электронов, рассчитанными в соседние дни. Получено, что флюенс высокозергичных магнитосферных электронов слабо связан с уровнем геомагнитной активности в тот же день, но коррелирует с Ар-индексом геомагнитной активности, наблюдавшимся на 2-3 дня ранее. Суточный флюенс высокозергичных магнитосферных электронов достаточно тесно связан со скоростью солнечного ветра, особенно со скоростью, измеренной на 2 дня ранее.



Зависимость между измеренным флюенсом высокозергичных электронов (>2 МэВ) и флюенсом, рассчитанным по трёхпараметрической модели. Прямая линия соответствует линейной регрессии



Зависимость между флюенсом электронов и индексом геомагнитной активности Ap, измеренным за 3 дня до события

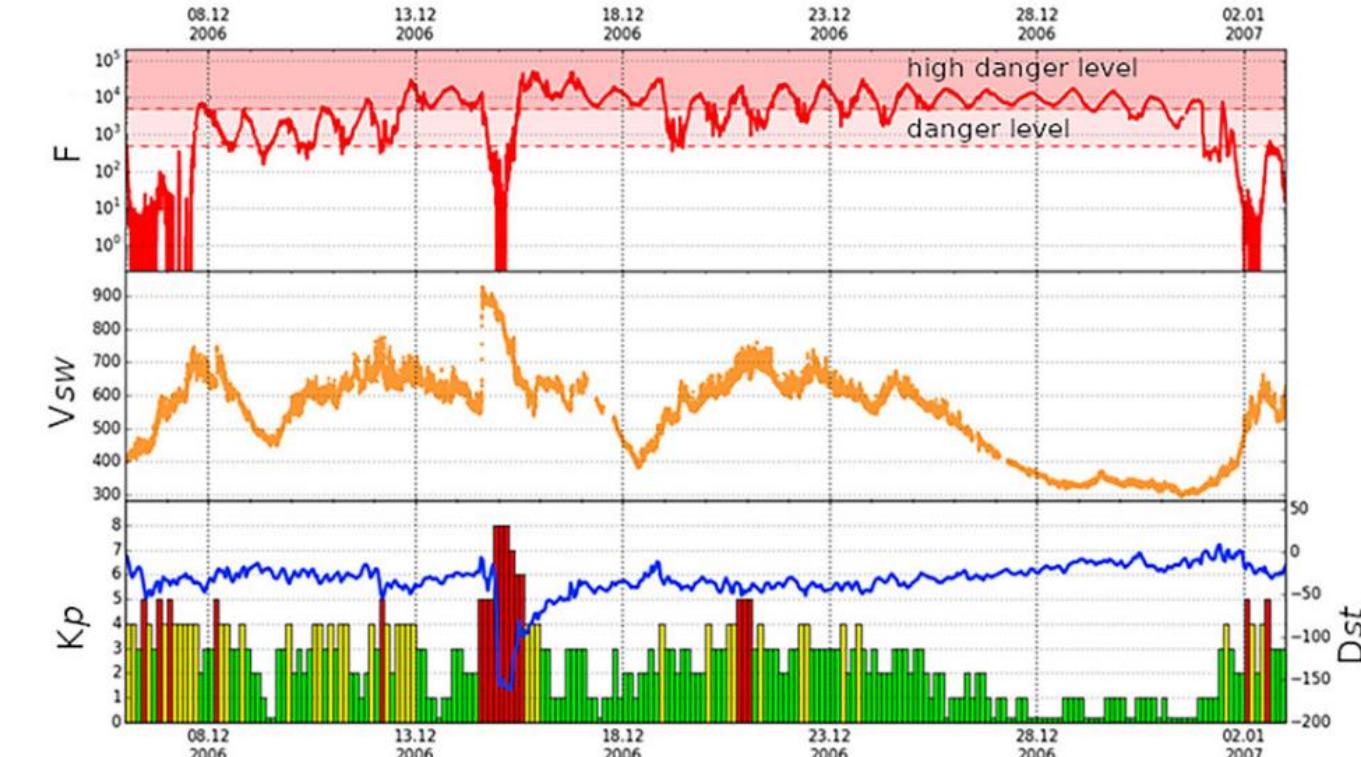


Зависимость между флюенсом текущего дня F(0) и флюенсом предыдущего дня F(1) в случае степенного представления

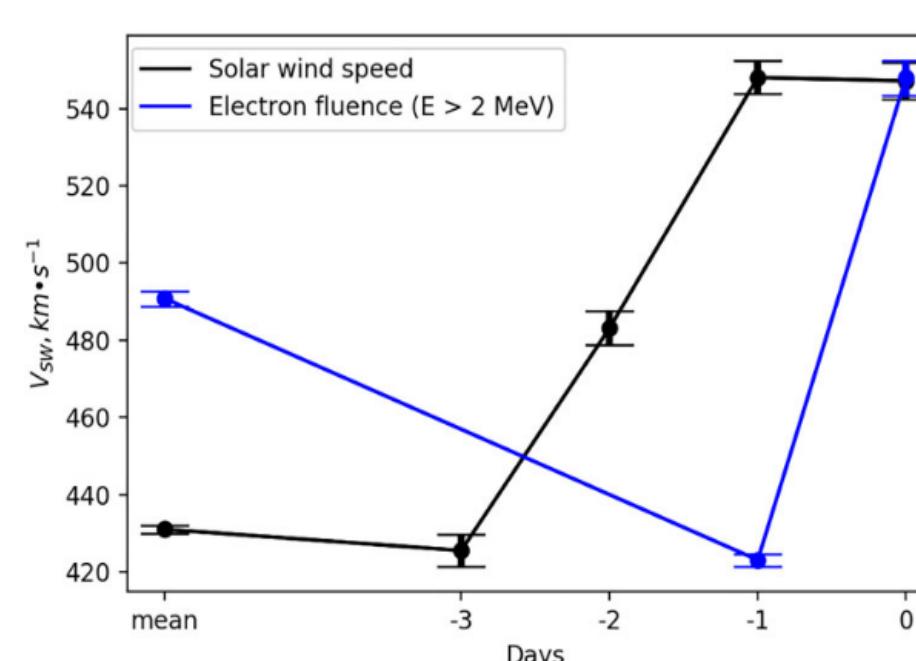
Parameter	0 day	-1 day	-2 day	-3 day	-4 day
Electron fluence	—	0.792 ± 0.005	0.55 ± 0.01	—	—
Ap-index	0.03 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.30 ± 0.01	0.32 ± 0.01	0.29 ± 0.01
Solar wind speed	0.24 ± 0.01	0.37 ± 0.01	0.43 ± 0.01	0.38 ± 0.01	—

Корреляция между флюенсом электронов и скоростью солнечного ветра со сдвигом на 2 дня в случае степенного представления

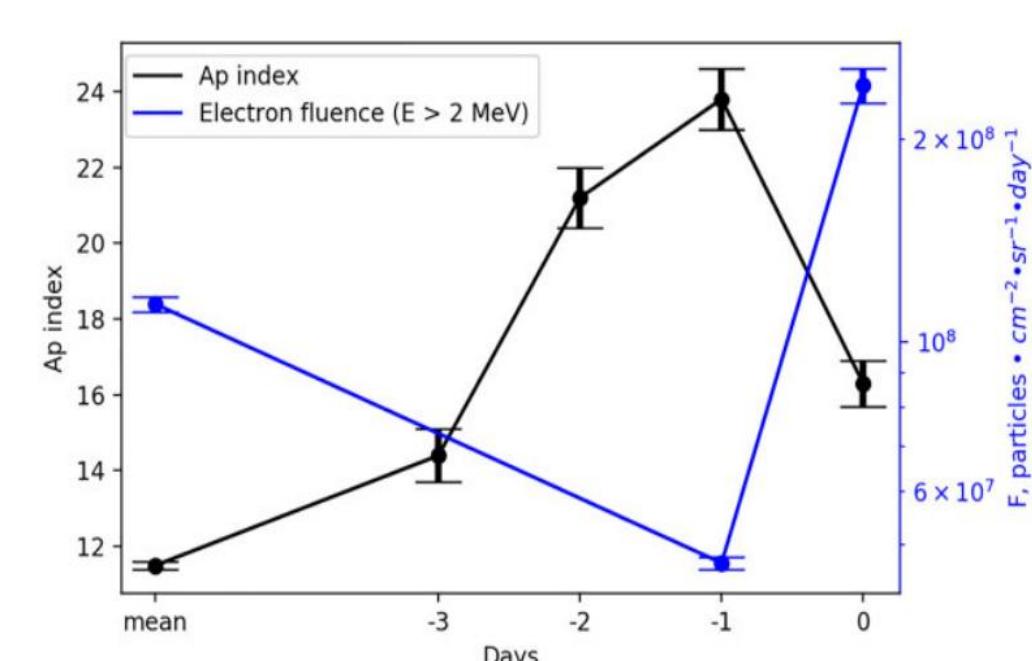
Длительность возрастаний потока высокозергичных электронов (>2 МэВ) обычно длится несколько дней. Однако встречаются исключительно продолжительные события. Наиболее продолжительное возрастание потока электронов было зафиксировано с 8 по 31 декабря 2006 года. Его продолжительность составила 24 дня, что делает его самым продолжительным событием за весь период наблюдений.



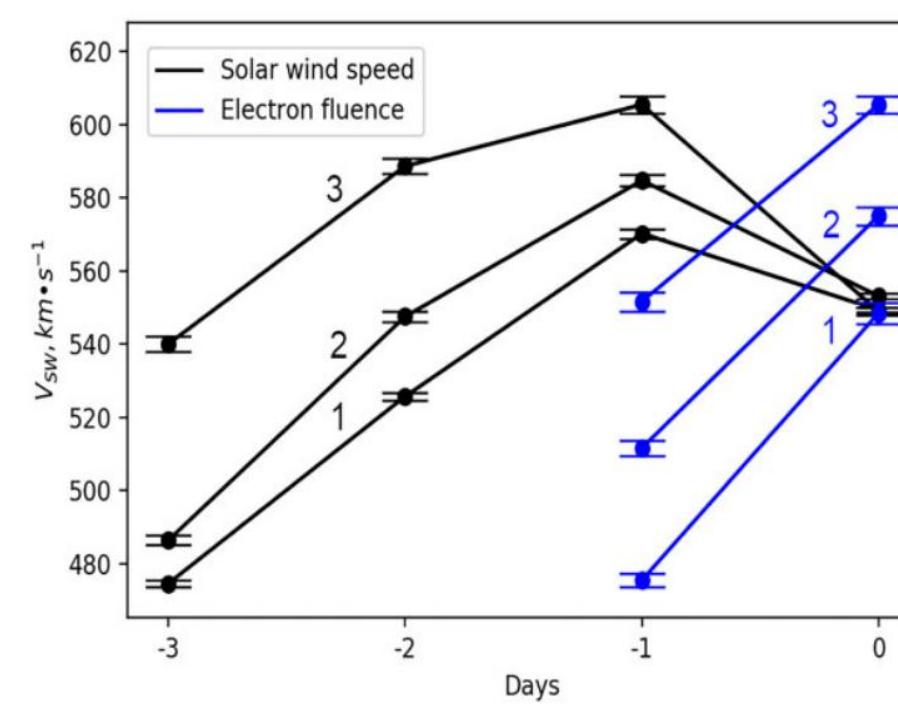
Поток высокозергичных электронов, скорость солнечного ветра и геомагнитные индексы Kp и Dst 8-31 декабря 2006 г.



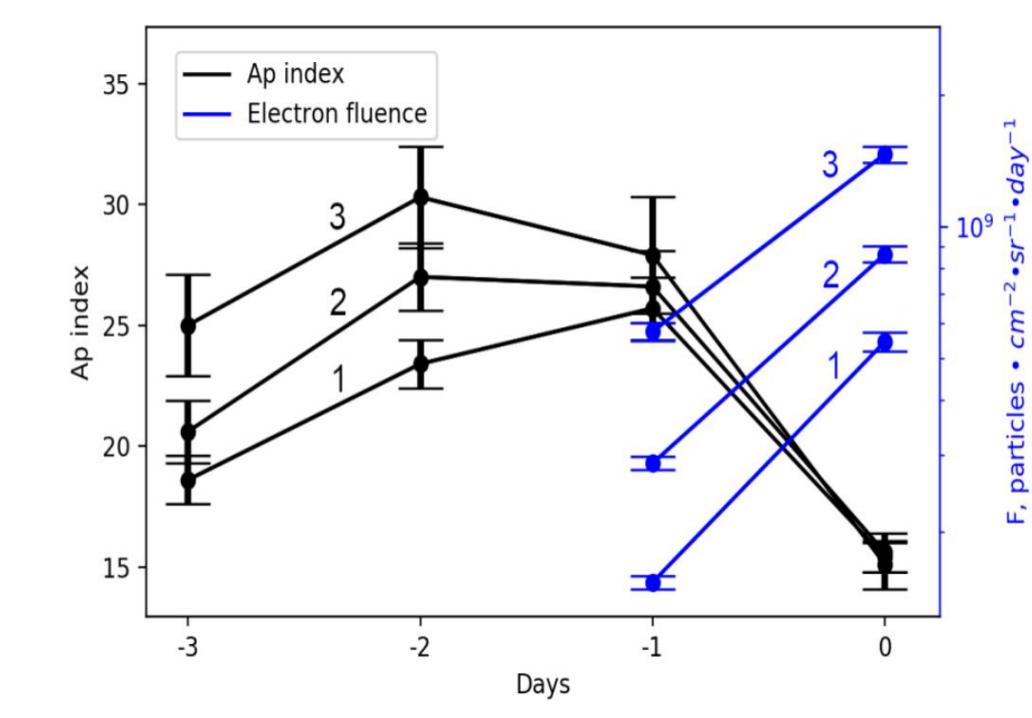
Поведение усредненной скорости СВ и суточного потока магнитосферных электронов до начала усиления потока электронов



Поведение усредненного Ар-индекса геомагнитной активности и суточного потока магнитосферных электронов до начала усиления потока электронов



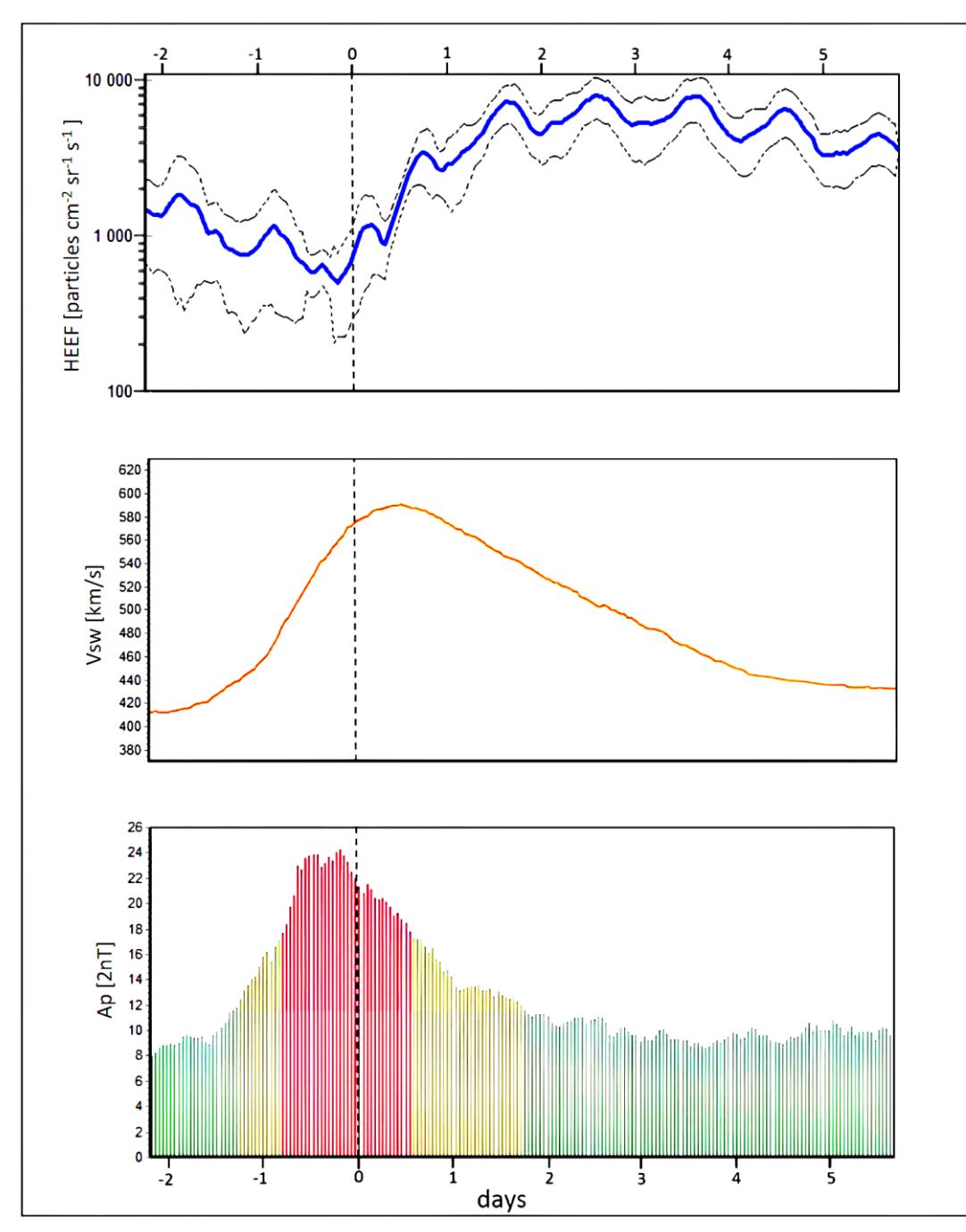
Поведение усредненной скорости СВ и суточного потока магнитосферных электронов до начала усиления потока электронов с различными порогами: (1) $>3 \times 10^8$, (2) $>5 \times 10^8$ и (3) $>10^9$ частиц· $\text{см}^{-2}\cdot\text{ср}^{-1}\cdot\text{день}^{-1}$



Поведение усредненного Ар-индекса геомагнитной активности и суточного потока магнитосферных электронов до начала усиления потока электронов с различными порогами: (1) $>3 \times 10^8$, (2) $>5 \times 10^8$ и (3) $>10^9$ частиц· $\text{см}^{-2}\cdot\text{ср}^{-1}\cdot\text{день}^{-1}$

Для событий каталога электронных возрастаний определены возмущения межпланетного пространства, после которых начинаются возрастания высокозергичных электронов. Для этих межпланетных возмущений определены их солнечные источники. Получено, что более, чем в половине событий электронных возрастаний солнечным источником межпланетных возмущений перед возрастаниями электронов являются высокоскоростные потоки солнечного ветра из корональных дыр. В 97.2% событий высокоскоростные потоки солнечного ветра из корональных дыр являлись одним из солнечных источников возмущений, в формировании которых также участвовали корональные выбросы массы после солнечных вспышек и исчезновений волокон.

Солнечные источники межпланетных возмущений, после которых на геостационарной орбите наблюдаются возрастания потоков высокозергичных магнитосферных электронов с энергией >2 МэВ, могут представлять собой как высокоскоростные потоки (HSSs) из корональных дыр (CHs), так и корональные выбросы массы (CMEs), возникающие после солнечных вспышек (SFs) и распадающихся вспышек (DSFs).



Поведение почасовых средних значений потока высокозергичных электронов (HEEF), скорости солнечного ветра и индекса Ap, рассчитанное методом наложения эпох для событий возрастания HEEF с флюенсом $>10^8$ частиц· $\text{см}^{-2}\cdot\text{ср}^{-1}\cdot\text{день}^{-1}$ после прихода высокоскоростных потоков (HSSs) из корональных дыр (CHs) в 1995-2023 гг. Пунктирные линии на верхней панели обозначают границы 2σ-ошибки.

Group	V _{max}	B _{max}	B _{z min}	Dst _{min}	Kp _{max}	Ap _{max}
CH	642.5 ± 5.1	12.78 ± 0.26	-6.28 ± 0.18	-43.47 ± 1.23	4.86 ± 0.06	48.63 ± 1.59
CME	621.5 ± 33.5	23.38 ± 2.77	-13.25 ± 1.72	-101.00 ± 13.60	6.34 ± 0.37	114.3 ± 20.3

