

# МЕЖПЛАНЕТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ И ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫЕ МАГНИТОСФЕРНЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ

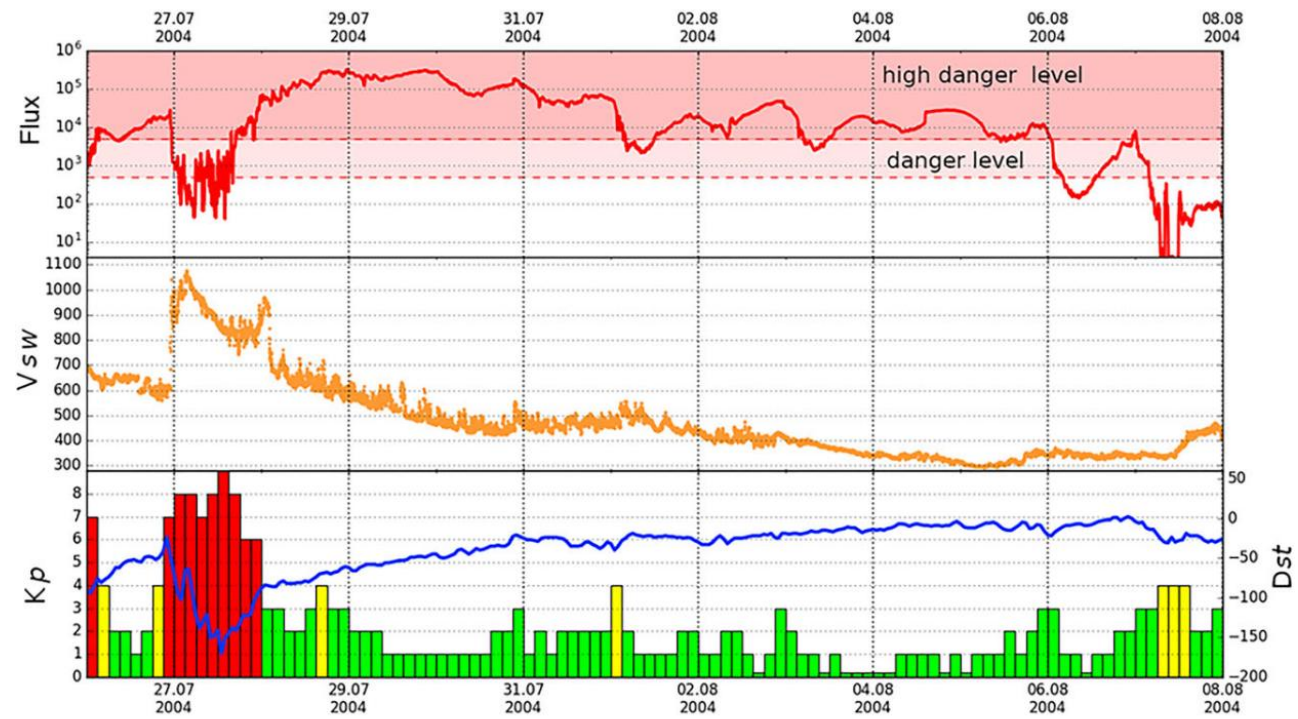
Крякунова О.Н.<sup>1</sup>, Сейфуллина Б.Б.<sup>1</sup>, Белов А.В.<sup>2</sup>, Абунин А.А.<sup>2</sup>, Абунина М.А.<sup>2</sup>, Шлык Н.С.<sup>2</sup>, Цепакина И.Л.<sup>1</sup>, Николаевский Н.Ф.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова, г. Москва, г. Троицк, Россия  
krolganik@yandex.ru

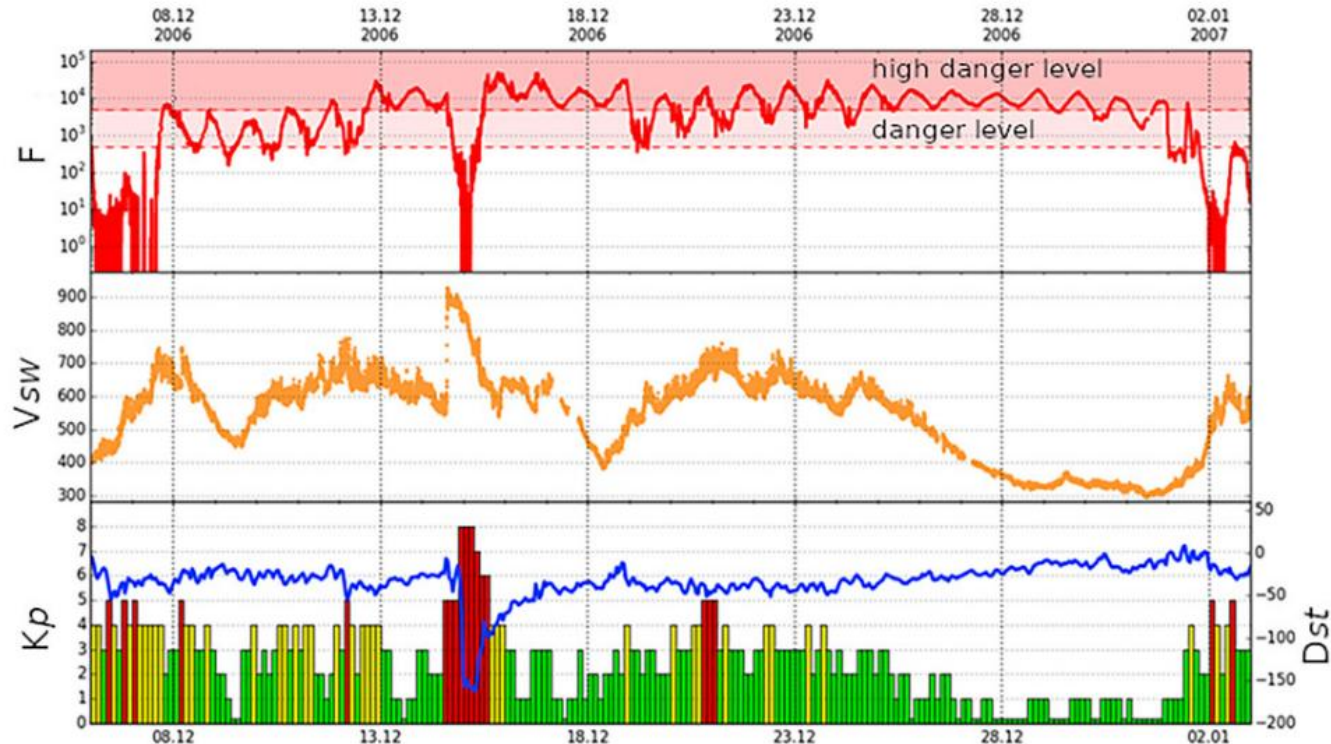
По данным за 35 лет (1987-2021 гг.) измерений потоков магнитосферных электронов с энергией >2 МэВ на геостационарных орбитах, скорости солнечного ветра и геомагнитной активности составлен каталог электронных возрастаний, в которых флюенс электронов превышает  $10^8$  частиц·см<sup>-2</sup>·стер<sup>-1</sup>·день<sup>-1</sup>. 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·см<sup>-2</sup>·стер<sup>-1</sup>·день<sup>-1</sup>. Перед большими возрастаниями магнитосферных электронов наблюдаются значительные межпланетные и магнитосферные возмущения, и их мощность растёт с увеличением порога флюенса.

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

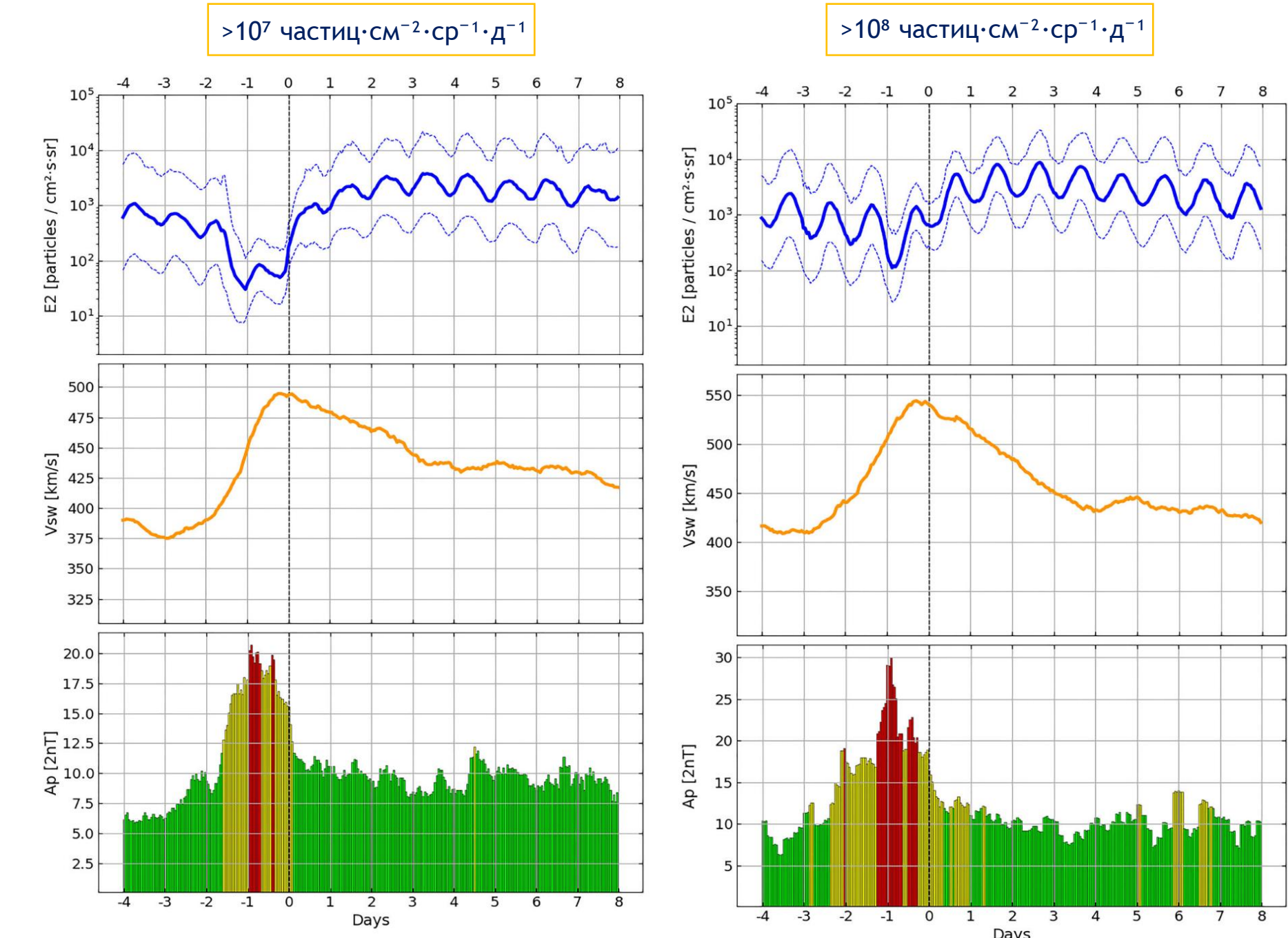


Поток высокоэнергичных электронов, скорость солнечного ветра и геомагнитные индексы Kp и Dst 26 июля - 7 августа 2004 г.

Длительность возрастаний потока высокоэнергичных электронов (>2 МэВ)обычно длятся 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.

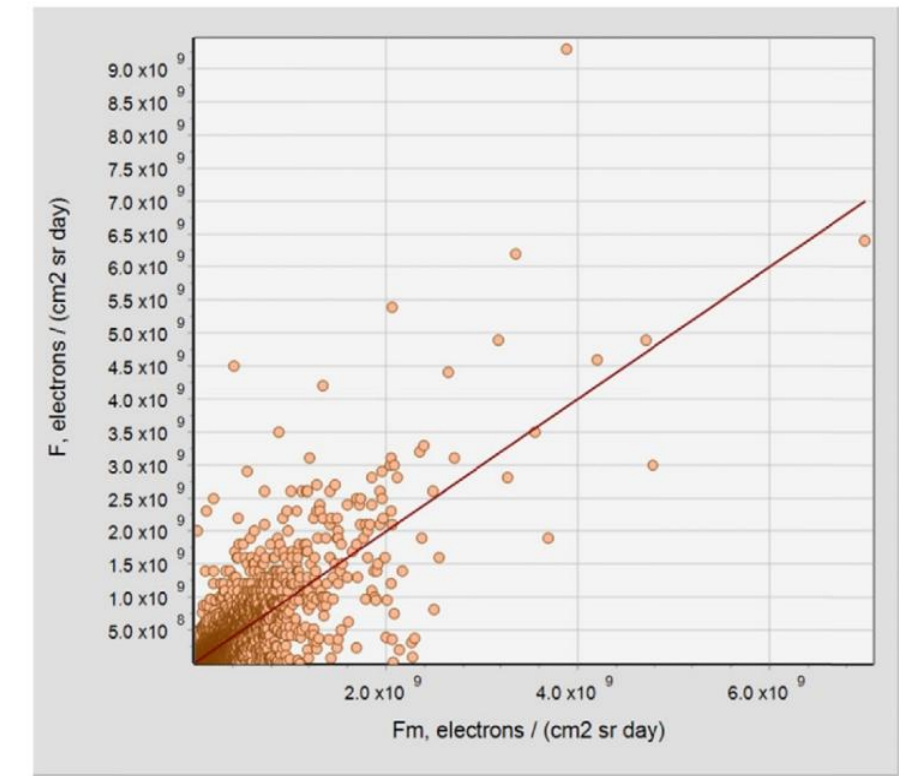


Поток высокоэнергичных электронов, скорость солнечного ветра и геомагнитные индексы Kp и Dst 8-31 декабря 2006 г.

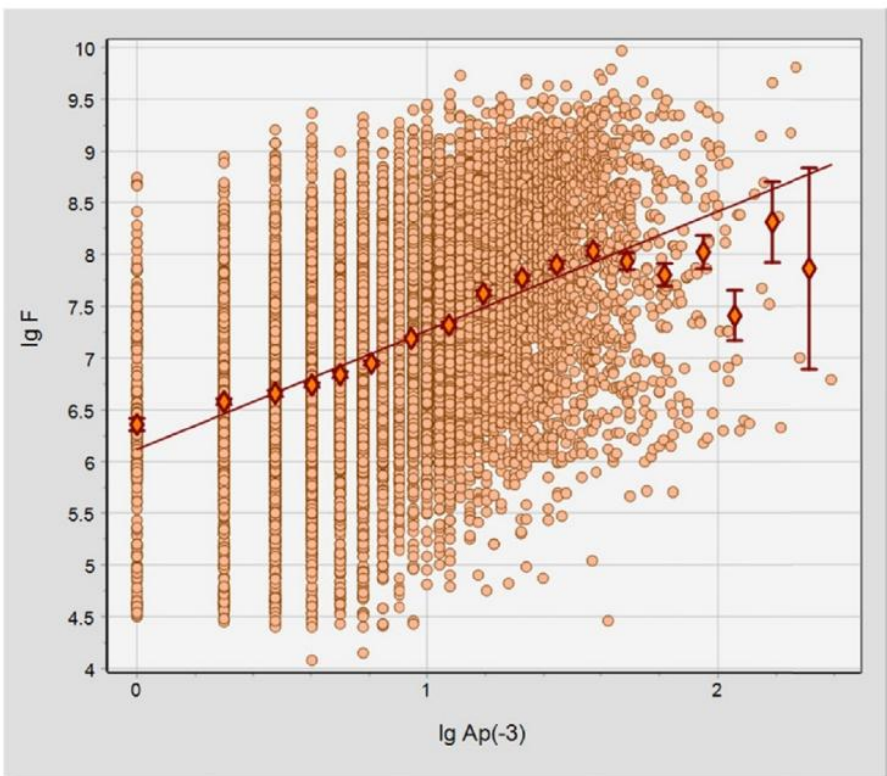


Поведение почасовых средних значений потока высокоэнергичных электронов, скорости солнечного ветра и индекса геомагнитной активности Ap, рассчитанное методом наложения эпох для событий возрастания потока электронов с различным флюенсом (>10<sup>7</sup> и >10<sup>8</sup> частиц·см<sup>-2</sup>·ср<sup>-1</sup>·д<sup>-1</sup>) в 2010-2017 гг. Пунктирные линии на верхней панели показывают диапазон 2σ-ошибки.

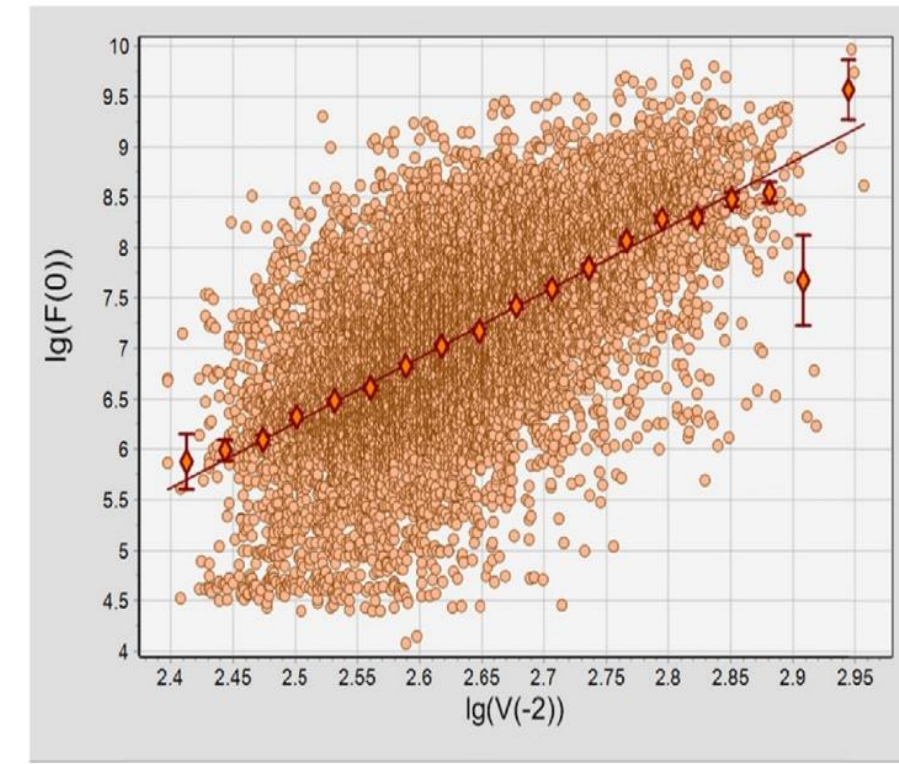
Рассчитаны коэффициенты корреляции между суточным флюенсом электронов, скоростью солнечного ветра и Ар-индексом геомагнитной активности с различными временами запаздывания, а также между флюенсами электронов, рассчитанными в соседние дни. Получено, что флюенс высокоэнергичных магнитосферных электронов 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 высокоэнергичных магнитосферных электронов достаточно тесно связан со скоростью солнечного ветра, особенно со скоростью, измеренной на 2 дня ранее.



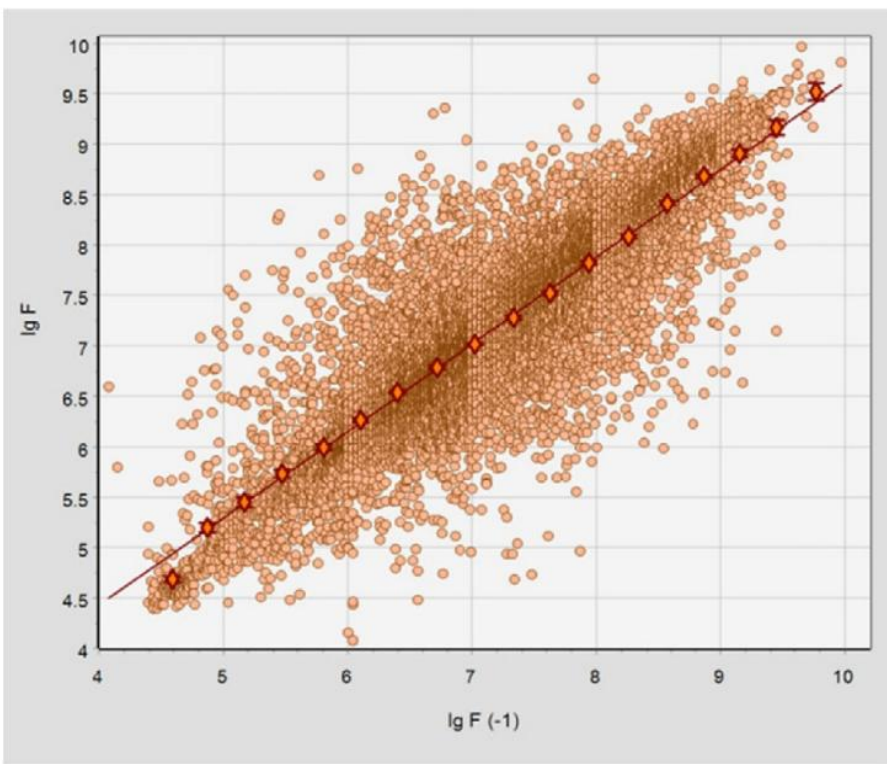
Зависимость между измеренным флюенсом высокоэнергичных электронов (>2 МэВ) и флюенсом, рассчитанным по трёхпараметрической модели. Прямая линия соответствует линейной регрессии



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

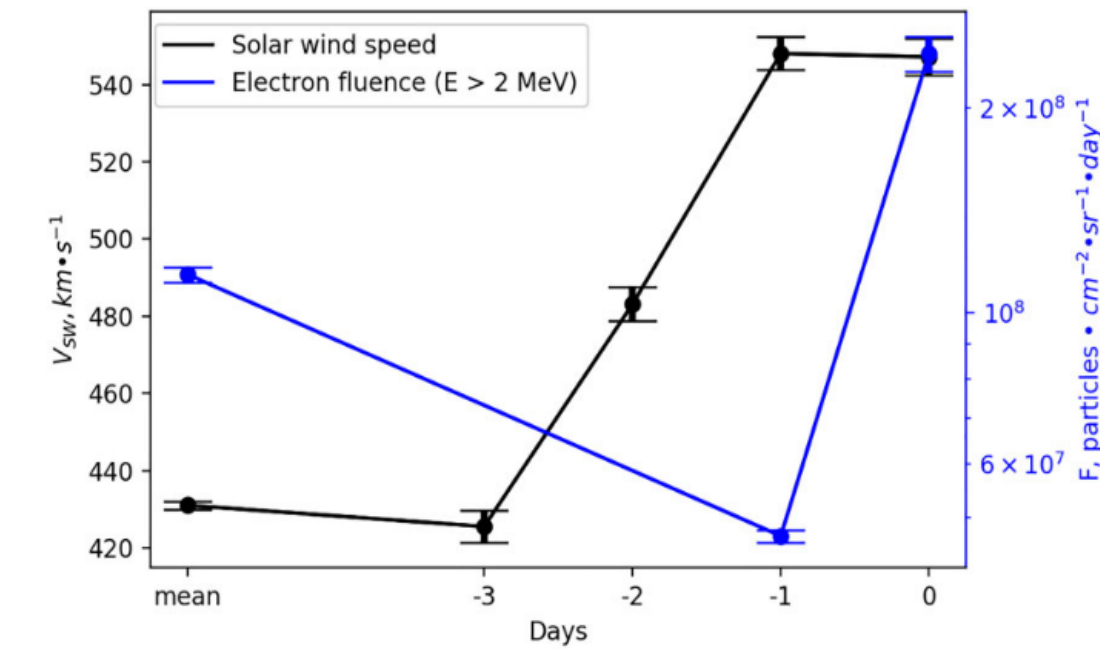


Корреляция между флюенсом электронов и скоростью солнечного ветра со сдвигом на 2 дня в случае степенного представления

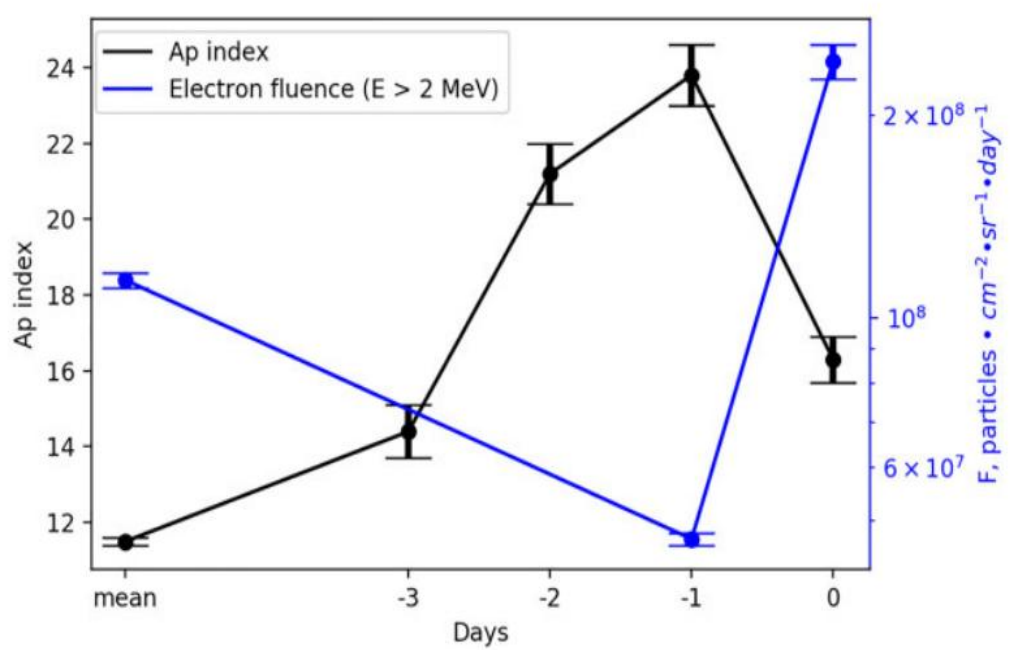


Зависимость между флюенсом текущего дня F(0) и флюенсом предыдущего дня F(1) в случае степенного представления

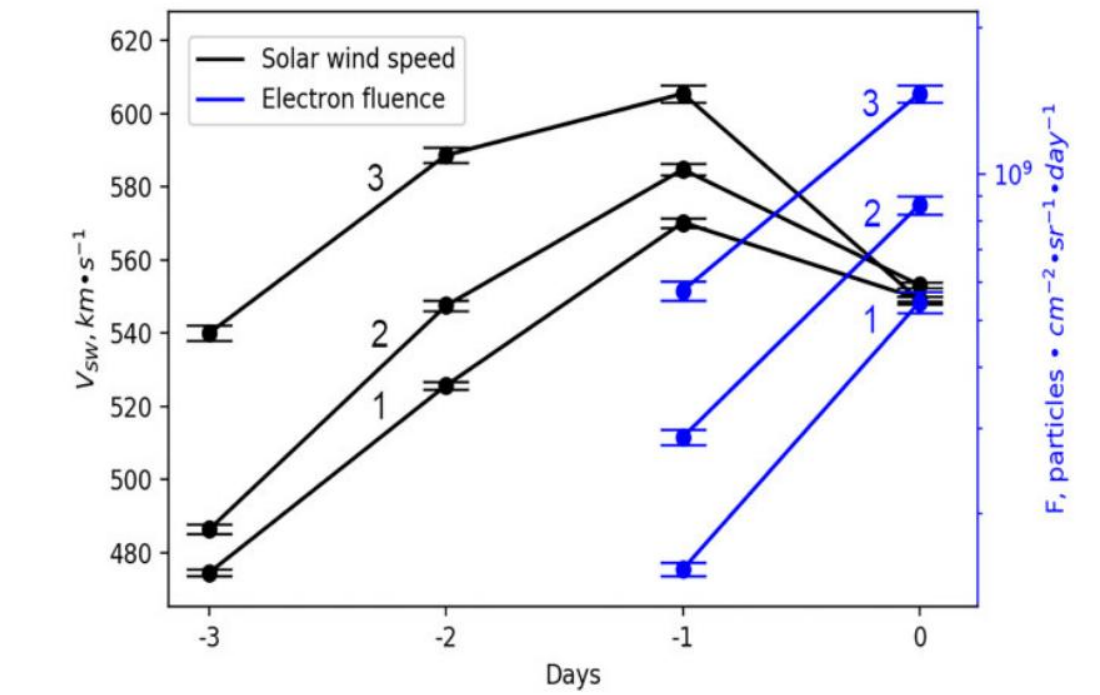
Correlation coefficients between the electron fluence and various parameters.					
Parameter	0 day	-1 day	-2 day	-3 day	-4 day
Electron fluence	—	0.792 ± 0.005	0.55 ± 0.01	—	—
Ap-index	0.03 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.30 ± 0.01	0.32 ± 0.01	0.29 ± 0.01
Solar wind speed	0.24 ± 0.01	0.37 ± 0.01	0.43 ± 0.01	0.38 ± 0.01	—



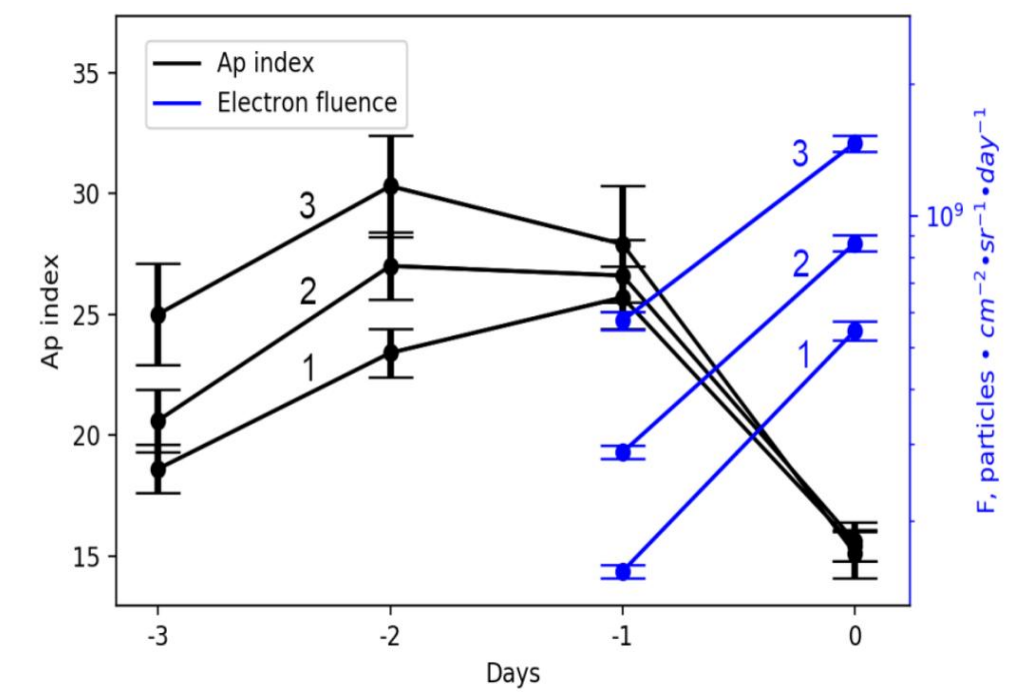
Поведение усредненной скорости СВ и суточного потока магнитосферных электронов до начала усиления потока электронов



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



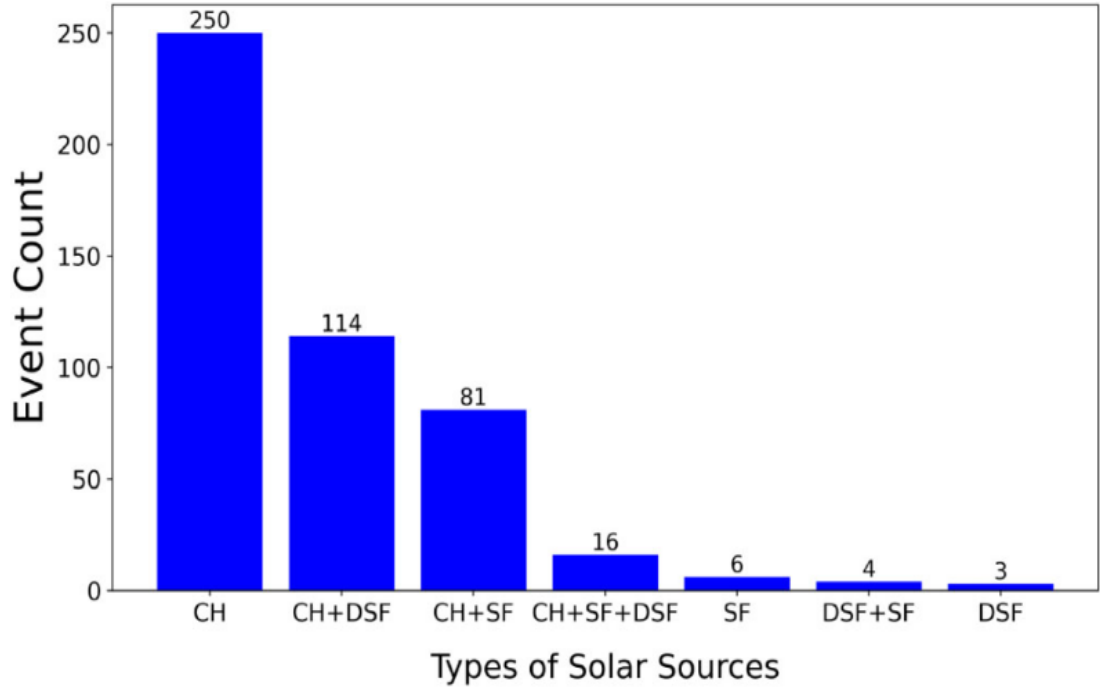
Поведение усредненной скорости СВ и суточного потока магнитосферных электронов до начала усиления потока электронов с различными порогами: (1) >3 × 10<sup>8</sup>, (2) >5 × 10<sup>8</sup> и (3) >10<sup>9</sup> частиц см<sup>-2</sup> ср<sup>-1</sup> д<sup>-1</sup>



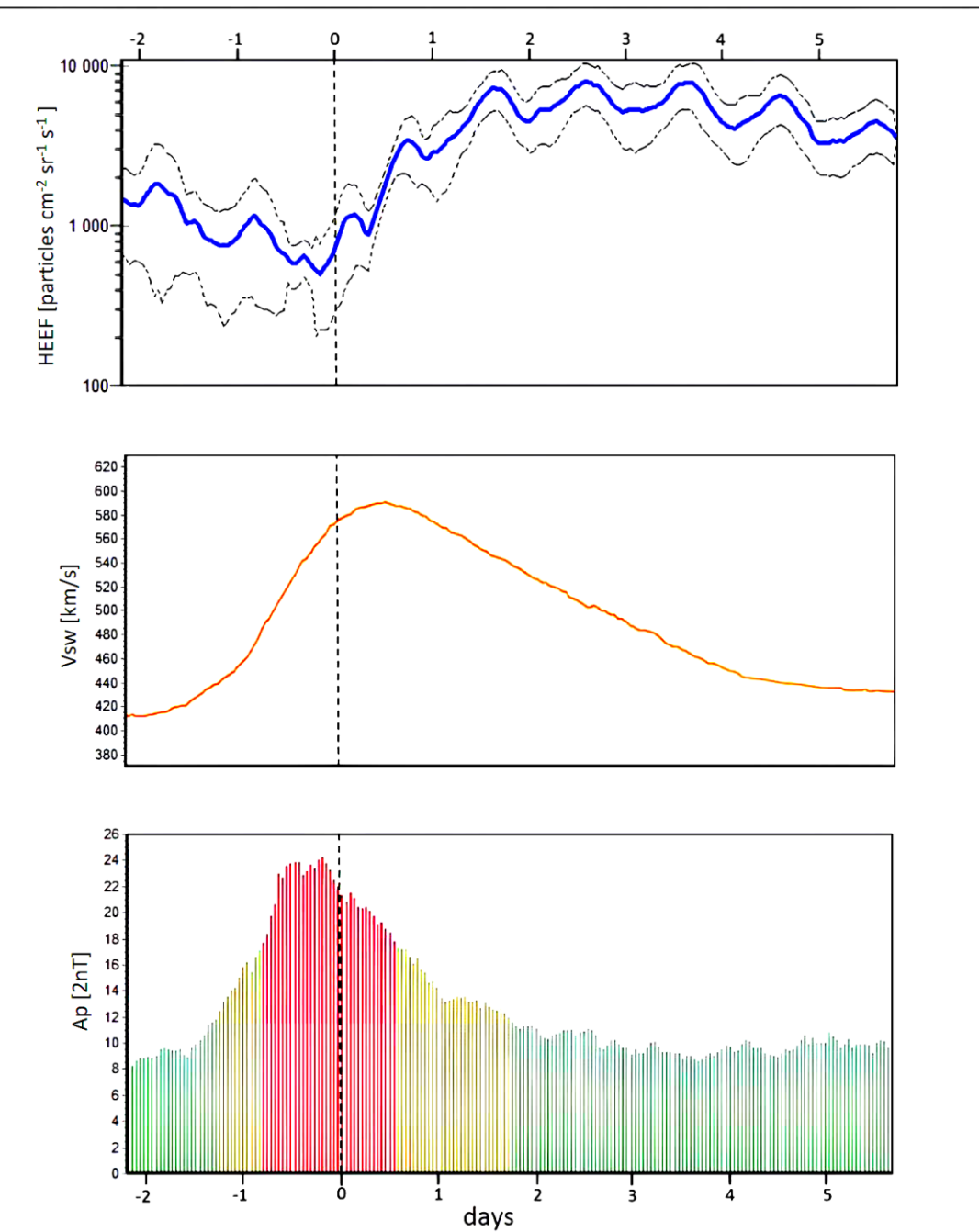
Поведение усредненного Ар-индекса геомагнитной активности и суточного потока магнитосферных электронов до начала усиления потока электронов с различными порогами: (1) >3 × 10<sup>8</sup>, (2) >5 × 10<sup>8</sup> и (3) >10<sup>9</sup> частиц см<sup>-2</sup> ср<sup>-1</sup> д<sup>-1</sup>

Для событий каталога электронных возрастаний определены возмущения межпланетного пространства, после которых начинаются возрастанья высокоэнергичных 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 масс после солнечных вспышек и исчезновений волокон.

Солнечные источники межпланетных возмущений, после которых на геостационарной орбите наблюдаются возрастанья потоков высокоэнергичных 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).



Распределение количества событий возрастания потока электронов после различных межпланетных возмущений в зависимости от типа их солнечных источников



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

Group	V <sub>max</sub>	B <sub>max</sub>	B <sub>z</sub> min	Dst <sub>min</sub>	K <sub>p</sub> max	Ap <sub>max</sub>
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



Scan for Details