СРЕДНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗРАСТАНИЙ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫХ МАГНИТОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В 1987-2021 ГОДАХ

Крякунова О.Н.[1,2*], Белов А.В.[3], Абунин А.А.[3], Цепакина И.Л.[1], Сейфуллина Б.Б.[1], Абунина М.А.[3], Николаевский Н.Ф.[1], Шлык Н.С.[3]

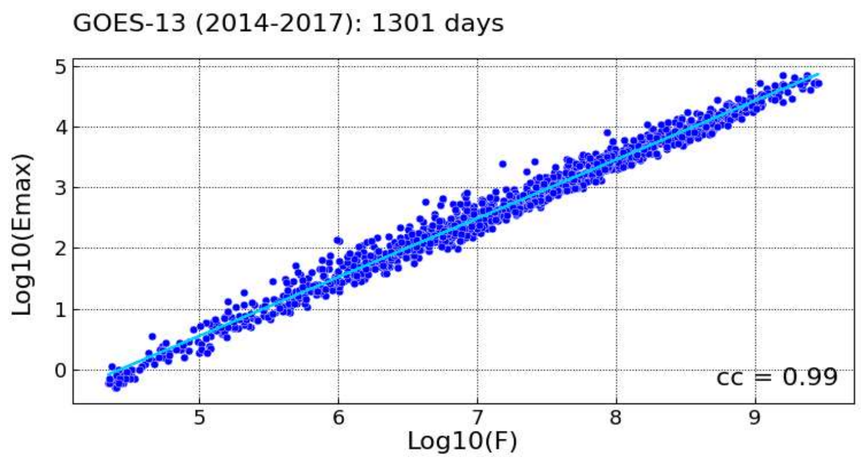
[1]Институт ионосферы, г. Алматы, Казахстан

[2]Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва, Россия

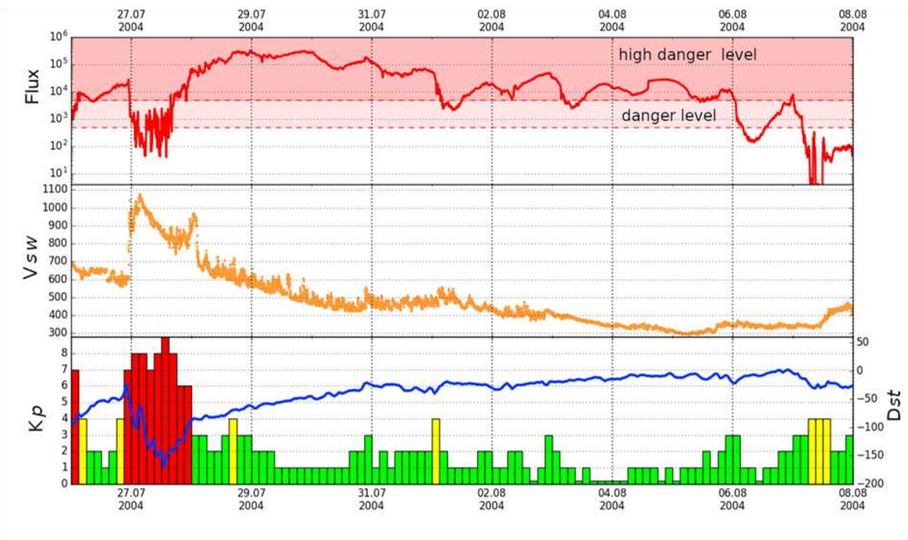
[3]Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН, г. Троицк, г. Москва, Россия

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$^{-2}$·стер$^{-1}$·день$^{-1}$. Для событий этого каталога рассчитаны средние характеристики электронных возрастаний и параметров межпланетной и околоземной среды: среднее значение флюенса во время электронных возрастаний, средний суммарный флюенс в событиях, средняя продолжительность электронных возрастаний. Максимальные значения суточного флюенса электронов и общего флюенса за весь период возрастания наблюдались во время события 28 июля – 5 августа 2004 г. Средняя продолжительность электронного возрастания составляет 4.3 дня, а максимальное по длительности возрастание продолжалось 22 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 $3\cdot10^8$, $5\cdot10^8$ и 10^9 частиц·см$^{-2}$·стер$^{-1}$·день$^{-1}$. Перед большими возрастаниями магнитосферных электронов наблюдаются значительные межпланетные и магнитосферные возмущения, и их мощность растет с увеличением порога флюенса.

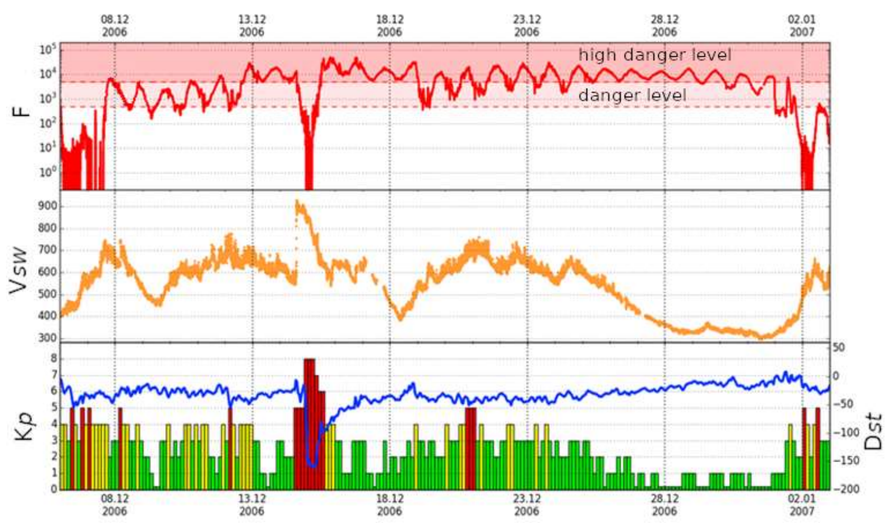
Максимальный среднечасовой поток электронов в определенный день хорошо коррелирует со среднесуточным флюенсом. Коэффициент корреляции составляет 0,99. Показана вязь между логарифмом максимального среднечасового потока электронов и логарифмом суточного флюенса электронов с энергией > 2 МэВ по данным GOES-13 за период 2010-2017 гг. (1301 день с полными данными измерений)



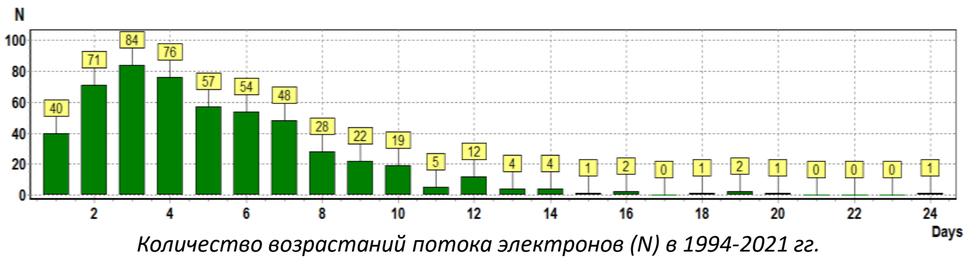
Максимальный суммарный флюенс за 1987-2021 гг. относится к событию 28 июля – 5 августа 2004 г. и составляет $2.6\cdot10^{10}$ частиц·см$^{-2}$·стер$^{-1}$·, причем это событие является самым большим по величине флюенса за весь рассмотренный период.



Самое длительное возрастание за всю историю измерений электронов длилось 22 дня и наблюдалось с 10 по 31 декабря 2006 г.



Показано распределение возрастаний потока электронов с различными длительностями в 1987-2021 гг. Цифры над столбцами гистограммы показывают количество событий (N) с соответствующей длительностью.



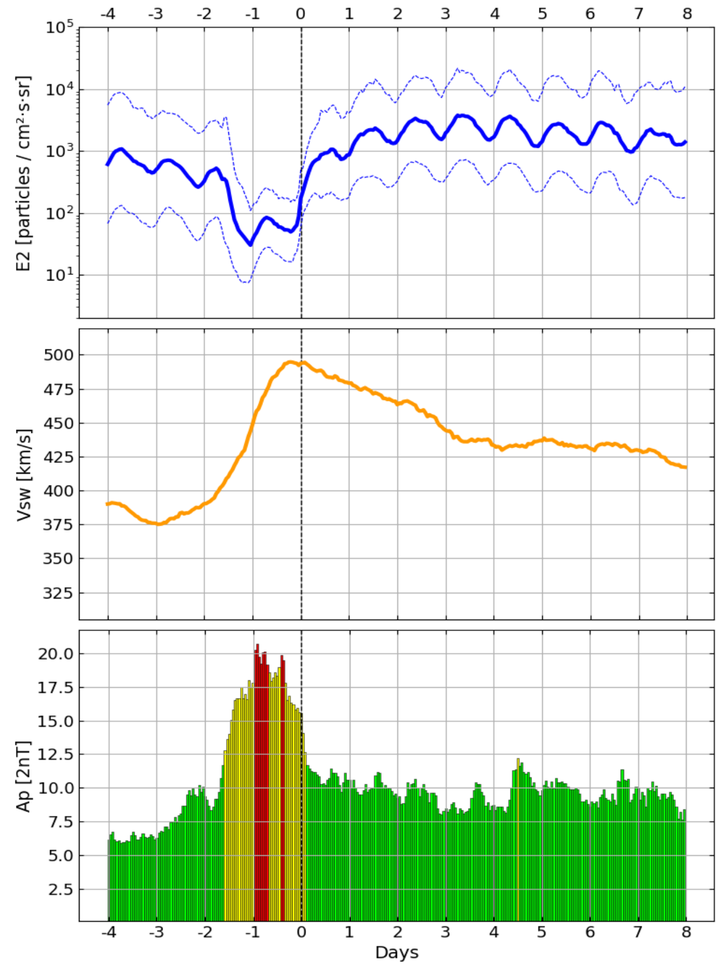
Количество возрастаний потока электронов (N) в 1994-2021 гг. в зависимости от продолжительности событий

Пример данных из каталога возрастания потока электронов

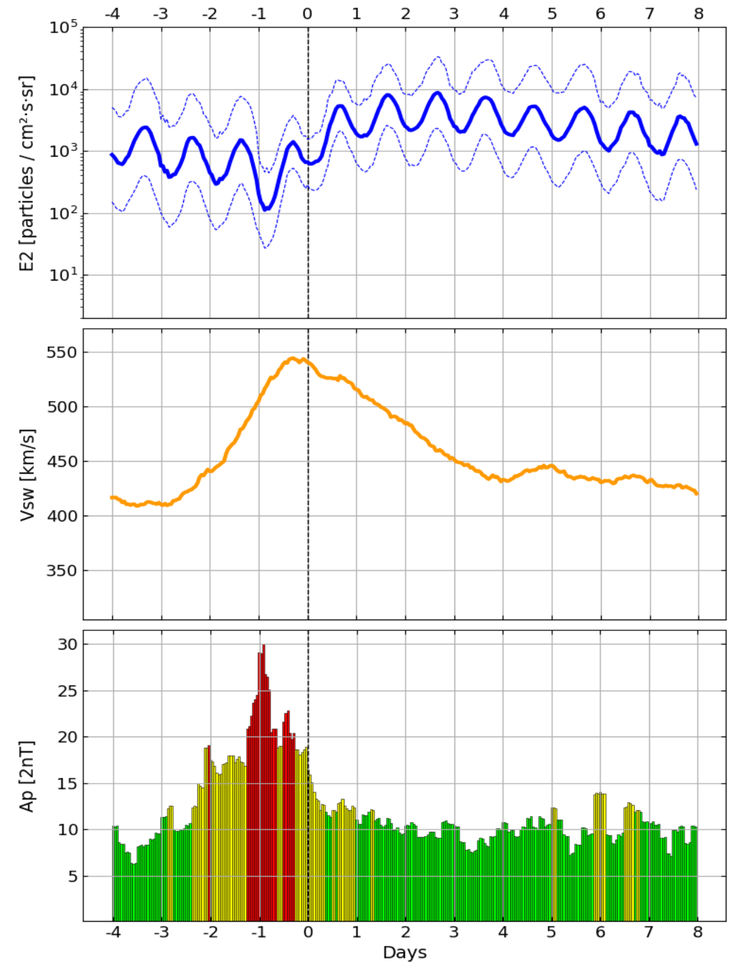
Дата начала	Дата окончания	Максимальный флюенс, частиц·см$^{-2}$·стер$^{-1}$·день$^{-1}$	Полный флюенс, частиц·см$^{-2}$·стер$^{-1}$·день$^{-1}$	Продолжительность, дни
1987.06.28	1987.06.28	$1.30\cdot10^8$	$1.30\cdot10^8$	1
1987.07.19	1987.07.19	$1.70\cdot10^8$	$1.70\cdot10^8$	1
1987.08.14	1987.08.18	$4.30\cdot10^8$	$1.16\cdot10^9$	5
1987.08.28	1987.08.29	$1.90\cdot10^8$	$3.10\cdot10^8$	2
1987.09.01	1987.09.04	$1.30\cdot10^9$	$2.90\cdot10^9$	4
1987.09.12	1987.09.20	$5.50\cdot10^8$	$2.76\cdot10^9$	9

Полный каталог доступен по ссылке http://ionos.kz/files/corr_e2_events_1987-2021.txt

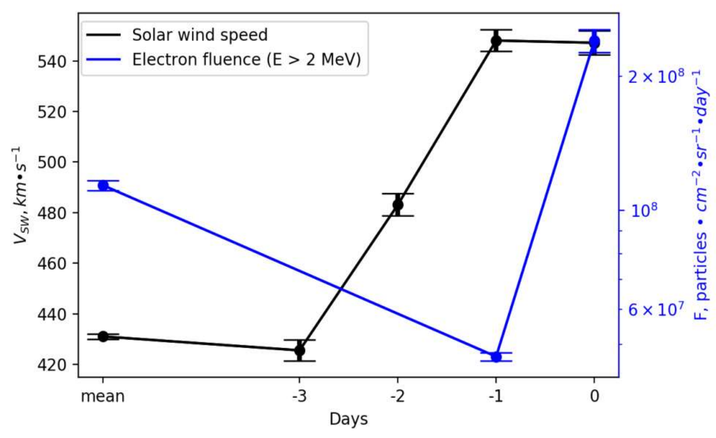
Типичное поведение скорости солнечного ветра и Ар-индекса геомагнитной активности перед электронным возрастанием и во время его начала



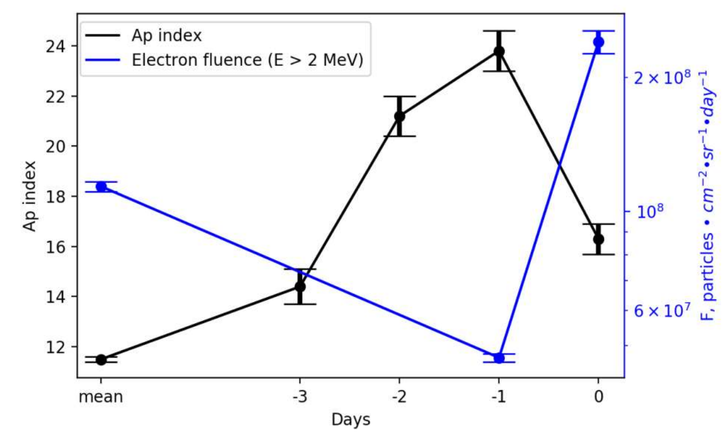
Поведение усредненного по часам потока высокоэнергетических электронов (пунктирные линии соответствуют погрешности 2 σ), скорости солнечного ветра и Ар-индекса геомагнитной активности, полученных методом суперпозиции эпох для событий возрастания потока электронов с флюенсом > 10^7 частиц·см$^{-2}$·стер$^{-1}$·день$^{-1}$ в 2010-2017 гг.



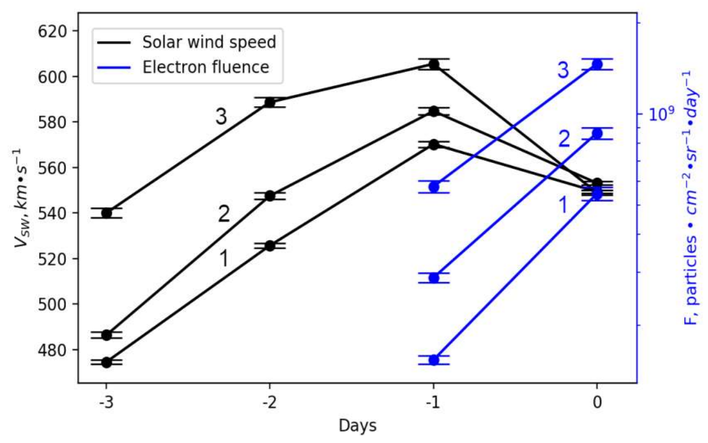
Поведение усредненного по часам потока высокоэнергетических электронов (пунктирные линии соответствуют погрешности 2 σ), скорости солнечного ветра и Ар-индекса геомагнитной активности, полученных методом суперпозиции эпох для событий возрастания потока электронов с флюенсом > 10^8 частиц·см$^{-2}$·стер$^{-1}$·день$^{-1}$ в 2010-2017 гг.



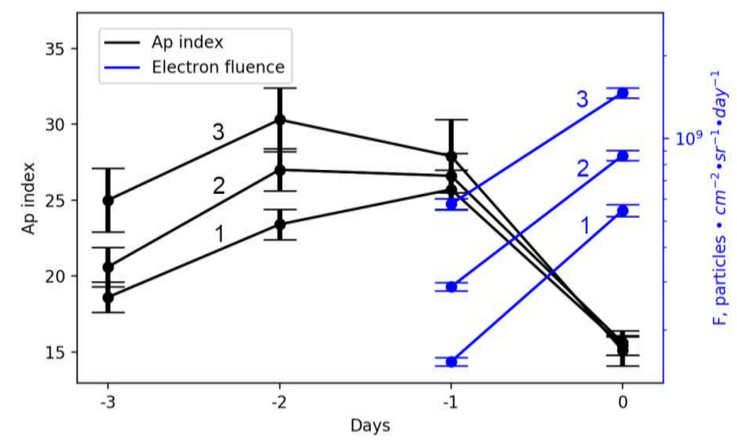
Поведение усредненной скорости SW и суточного флюенса магнитосферных электронов перед началом возрастания потока электронов



Усреднённое поведение Ар-индекса геомагнитной активности и флюенса магнитосферных электронов вблизи начала электронных возрастаний



Поведение усредненной скорости SW и суточного флюенса магнитосферных электронов перед началом возрастания потока электронов с различными порогами: (1) > $3\cdot10^8$, (2) > $5\cdot10^8$ и (3) > 10^9 частиц·см$^{-2}$·стер$^{-1}$·день$^{-1}$



Поведение усредненного Ар-индекса геомагнитной активности и суточного флюенса магнитосферных электронов перед началом возрастания потока электронов с различными порогами: (1) > $3\cdot10^8$, (2) > $5\cdot10^8$ и (3) > 10^9 частиц·см$^{-2}$·стер$^{-1}$·день$^{-1}$

Параметр/день	Среднее значение за все дни	–3	–2	–1	0
F, ·10^7 частиц·см$^{-2}$·стер$^{-1}$·день$^{-1}$	11.4±0.3			4.7±0.1	24.1±1.4
V, км/с	431±1	425.5±4.1	483.1±4.4	548.1±4.3	547.2±4.8
Ар, 2 нТл	11.5±0.1	14.4±0.7	21.2±0.8	23.8±0.8	16.3±0.6

Результаты усреднения по 596 событиям каталога. Средние величины ключевых параметров электронных возрастаний в 1987-2021 гг. (порог 10^8 частиц·см$^{-2}$·стер$^{-1}$·день$^{-1}$)