

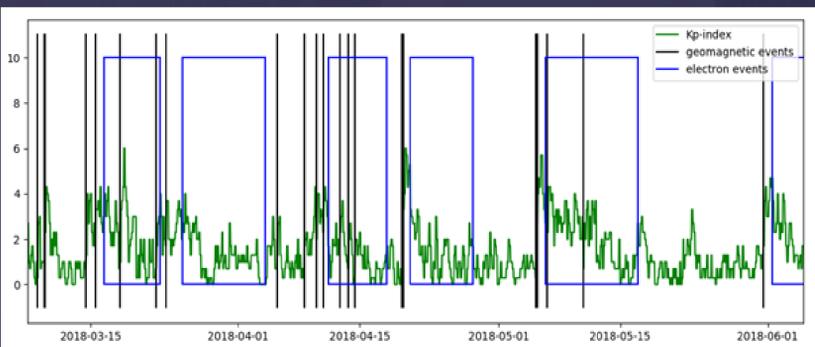
ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ЭЛЕКТРОННЫХ ВОЗРАСТАНИЙ С МЕЖПЛАНЕТНЫМИ И ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ В 1994-2020 ГГ.

Сейфуллина Б.Б.¹, Крякунова О.Н.¹, Белов А.В.², Цепкина И.Л.¹, Абунина М.А.², Абунин А.А.², Андреев А.Б.¹, Шлык Н.С.²

¹Институт ионосферы, Алматы, Казахстан, ² ИЗМИРАН, Троицк, Россия

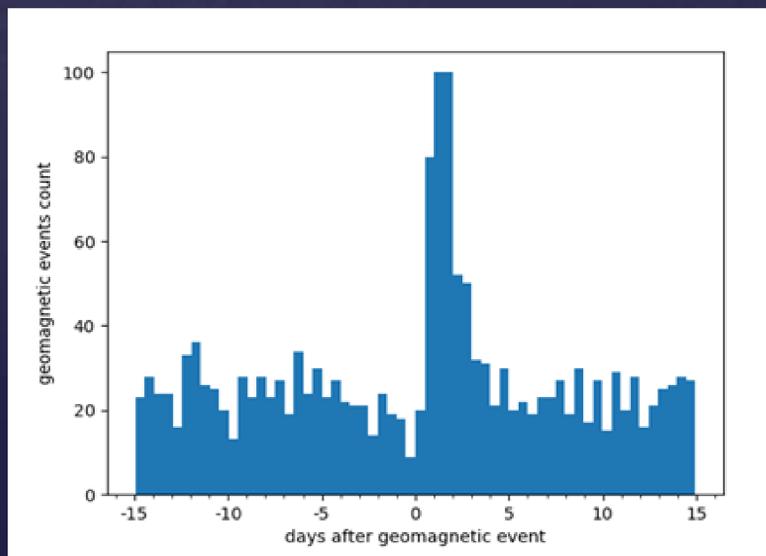
Для изучения связи возрастаний высокоэнергичных магнитосферных электронов с энергией >2 МэВ на геостационарной орбите с солнечными, межпланетными и геофизическими характеристиками в 1994-2020 гг. использованы различные параметры солнечной и межпланетной активности, а также измерения высокоэнергичных электронов на спутниках GOES. Создан каталог электронных событий, в которых флюенс превышает 10^8 электронов·см⁻²·стер⁻¹·день⁻¹, где приведены характеристики возрастаний высокоэнергичных магнитосферных электронов, для которых рассчитано время запаздывания возрастания потока электронов относительно начала геомагнитного возмущения и возрастания скорости солнечного ветра. Показано, что опасное возрастание электронов на геостационарной орбите наблюдается с запаздыванием около 1-2 дней после прихода ударной волны в околоземное космическое пространство и возрастания скорости солнечного ветра. Исследована связь времени запаздывания электронных событий. Получено распределение количества электронных событий в зависимости от их длительности.

Обработаны часовые значения Kp-индексов данные с 1994 по 2020. Для пороговой величины $k_{tr}=2$ количество возрастаний Kp-индексов составляет 1680 событий. Для каждой пары событий электронного и геомагнитного возрастания из данных таблиц определена разность между временами начала электронного и геомагнитного возрастания.



Фрагмент временного ряда Kp-индексов, с отмеченными периодами электронного возрастания и автоматически выделенными событиями геомагнитного возрастания

Ниже приведено распределение количества пар таких событий в зависимости разности их времен, то есть от задержки начала электронного возрастания относительно геомагнитного возрастания.



Распределение времен запаздывания начала электронного возрастания относительно геомагнитного возрастания.

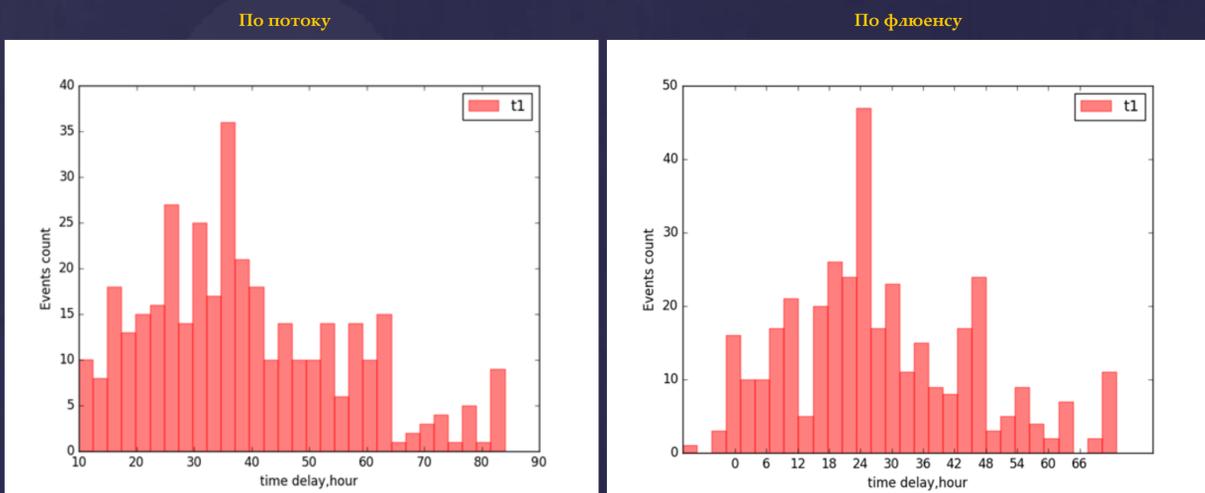
Средняя суточная вероятность геомагнитного события идентифицированного по приведенному алгоритму составляет 5.2%, тогда как средняя вероятность для пика с 0 до 4 суток составляет 12.9% при максимуме 24%, т.е. превышает в пять раз среднюю вероятность. Из 378 событий электронного возрастания в пике распределения от 0 до 4 суток содержится 256 событий превышающих средний уровень 55 событий в сутки. Это свидетельствует о наличии причинно-следственной связи между данными типами событий.

Каталог содержит сведения об электронных событиях за все время измерений электронов спутниками серии GOES и состоянии околоземной и межпланетной среды.

Таблица А.1 – Каталог электронных возрастаний с характеристиками межпланетной и околоземной среды в 1994 – 2020 гг.

№	Начало электронного возрастания	Окончание электронного возрастания	A_{max} электроны·см ⁻² ·стер ⁻¹ ·день	S_{max} электроны·см ⁻² ·стер ⁻¹ ·день	Т. дни	Время начала электронного возрастания	Время окончания электронного возрастания	Продолжительность электронного возрастания (в часах)	Начало геомагнитного возмущения	Окончание геомагнитного возмущения	V_{sw} км/с	Время возрастания V'	Время запаздывания электронного возрастания от начала геомагнитного возмущения Δt_1 , час	Время запаздывания электронного возрастания от начала возрастания солнечного ветра Δt_2 , час	Геомагнитная обстановка	Источник геомагнитного возмущения	Фобус-эффект
1	1994.01.02	1994.01.04	180000000	200000000	2	01.02.13.00	01.04.02.00	48	12.31.04	01.03.20	650	01.01.15	57	22	МББ	-	0
2	1994.01.04	1994.01.06	110000000	110000000	1	01.04.14.00	01.05.01.00	-11	0	0	0	0	-	-	МББ	-11-	0
3	1994.01.12	1994.01.14	260000000	260000000	1	01.12.15.00	01.14.04.00	82	01.11.13	01.13.20	770	01.11.14	26	25	МББ	-	0
4	1994.01.14	1994.01.22	610000000	260000000	7	01.14.14.00	01.22.01.00	179	01.11.13	01.20.01	0	0	-	-	МББ	-11-	0
5	1994.02.07	1994.02.19	880000000	477000000	12	01.02.07.10	02.19.01.00	271	02.04.13	02.16.10	800	0	-	-	УМБ	-	0
6	1994.03.22	1994.02.28	910000000	208000000	4	02.22.14.00	02.28.01.00	155	02.21.07	02.22.14	900	02.21.07	31	31	ОМБ	-	0%
7	1994.02.28	1994.02.28	880000000	477000000	12	02.28.12.10	02.28.23.00	-11	0	0	0	0	-	-	Воз. обс.	-11-	0
8	1994.03.08	1994.03.21	3100000000	1999000000	12	03.08.12.00	03.21.02.00	314	03.06.20	03.18.06	770	03.06.20	40	40	БМБ	-	0
9	1994.03.22	1994.03.28	3400000000	1500000000	6	03.22.13.00	03.28.04.00	-11	03.20.16	03.25.19	0	0	-	-	МББ	-	0
10	1994.04.03	1994.04.17	2500000000	2910000000	14	04.03.14.00	04.17.02.00	320	04.02.06	04.15.23	0	0	-	-	БМБ	-	5% на долинах станицх
11	1994.04.19	1994.04.24	3400000000	1230000000	5	04.19.10.00	04.24.02.00	130	04.16.02	04.19.01	0	0	-	-	ОМБ	-11-	5% на долинах станицх
12	1994.05.02	1994.05.14	2700000000	1662000000	12	05.02.21.00	05.14.02.00	272	05.01.10	05.01.12	820	05.01.12	35	35	УМБ	-	0
13	1994.05.15	1994.05.23	1300000000	602000000	8	05.15.13.00	05.23.23.00	204	05.14.01	05.17.01	800	05.14.12	36	25	УМБ	-	Помещение до 2%
14	1994.05.29	1994.06.18	1300000000	1252000000	19	05.29.10.00	06.18.23.00	490	05.28.10	06.04.02	800	05.28.10	24	24	БМБ	-	Помещение до 2%
15	1994.06.21	1994.06.26	3200000000	1210000000	5	06.21.13.00	06.26.01.00	110	06.19.07	06.20.23	780	0	-	-	МББ	-	0
16	1994.06.29	1994.07.07	1000000000	3750000000	7	06.29.18.00	07.18.01.00	180	06.28.16	07.02.23	780	06.28.16	26	26	УМБ	-	Помещение до 2%
17	1994.07.16	1994.07.21	1400000000	4820000000	6	07.16.14.00	07.21.14.00	179	07.15.19	07.17.02	820	07.15.10	19	28	УМБ	-	Помещение до 2%
18	1994.07.21	1994.07.23	1400000000	4820000000	6	07.21.17.00	07.23.21.00	-11	0	0	0	0	-	-	Воз. обс.	-11-	до 2%
19	1994.07.29	1994.07.30	1000000000	1000000000	1	07.29.14.00	07.30.04.00	36	0	0	0	0	-	-	Воз. обс.	-	0
20	1994.08.13	1994.08.20	800000000	2940000000	7	08.13.05.00	08.20.23.00	166	08.12.00	08.15.01	700	08.12.20	29	9	МББ	-	0
21	1994.08.07	1994.09.20	1500000000	6080000000	12	08.07.16.00	09.20.23.00	299	09.07.01	09.10.07	750	09.07.01	15	15	УМБ	-	0
22	1994.10.03	1994.10.11	2000000000	6580000000	8	10.03.15.00	10.11.02.00	180	10.02.14	10.08.19	750	10.02.15	25	24	БМБ	-	Помещение до 2%
23	1994.10.23	1994.10.29	860000000	3280000000	5	10.23.11.00	10.29.03.00	132	10.22.07	10.25.07	0	0	-	-	УМБ	-	0
24	1994.10.30	1994.11.06	720000000	2190000000	5	10.30.15.00	11.06.05.00	158	10.28.23	11.02.13	700	10.29.15	40	24	БМБ	-	0
25	1994.11.28	1994.12.05	2600000000	1120000000	6	11.28.13.00	12.05.23.00	178	11.28.04	12.03.01	0	0	-	-	МББ	-	0
26	1994.12.08	1994.12.10	1400000000	2800000000	2	12.08.13.00	12.10.03.00	36	12.06.04	12.07.22	700	12.06.01	57	60	МББ	-	0
27	1994.12.25	1994.12.26	2100000000	2100000000	1	12.25.14.00	12.26.23.00	34	12.23.21	12.26.23	0	0	-	-	МББ	-	0
28	1995.01.04	1995.01.10	2900000000	1460000000	7	01.04.12.00	01.10.23.00	154	01.02.13	01.05.22	700	01.02.05	47	55	МББ	-	0
29	1995.01.30	1995.02.06	1200000000	3310000000	8	01.30.14.00	02.06.14.00	154	01.29.01	02.04.17	720	01.29.08	37	30	УМБ	-	0
30	1995.02.13	1995.02.15	1200000000	2090000000	3	02.13.15.00	02.15.10.00	113	02.11.04	02.15.20	700	02.11.14	59	49	УМБ	-	3% (т)
31	1995.02.18	1995.02.22	1800000000	2900000000	2	02.18.14.00	02.22.04.00	132	0	0	450	0	-	-	Слаб. воз. обс.	-11-	-
32	1995.03.01	1995.03.04	1700000000	3900000000	4	03.01.10.00	03.04.18.00	80	02.27.02	02.03.16	680	02.28.14	56	20	УМБ	-	0
33	1995.03.11	1995.03.12	1500000000	1500000000	1	03.11.12.00	03.12.08.00	216	03.09.15	03.14.22	780	03.09.19	45	41	УМБ	-	0

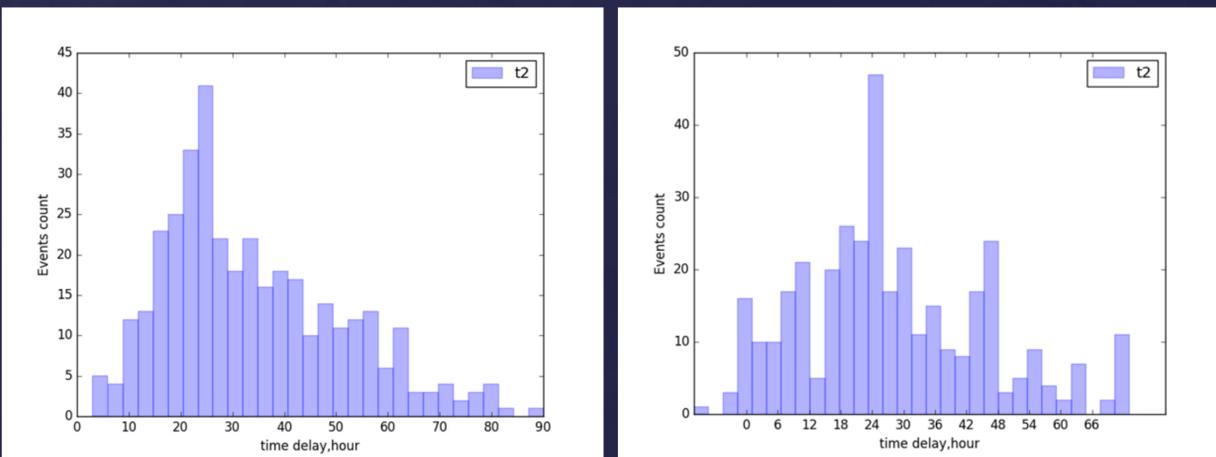
Для анализа и определения времен запаздывания начала электронных возрастаний относительно геомагнитных возмущений и возрастаний скорости солнечного ветра было взято из таблицы время начала электронного возрастания, начало геомагнитного возмущения и время возрастания скорости солнечного ветра в виде месяц, день, час. Ниже на рисунках распределение, по ординате количество событий за весь период и по абсциссе время запаздывания в часах. Данные графики были построены по 484 событиям в таблице электронных возрастаний с характеристиками межпланетной и околоземной среды в 1994 – 2020 гг.



Δt_1 время запаздывания электронного возрастания от начала геомагнитного возмущения
 $\Delta t_1 \text{ mean} = 35 - 40$ часов (~1,5 сутки).

$\Delta t_1'$ время запаздывания электронного возрастания от начала геомагнитного возмущения
 $\Delta t_1' \text{ mean} = 24 - 26$ часов (~1 сутки).

Из распределения определили наиболее максимальное время запаздывания электронного возрастания от начала геомагнитного возмущения. В основном геомагнитные и межпланетные возмущения наблюдались до начала электронного возрастания.



Δt_2 время запаздывания электронного возрастания от начала возрастания солнечного ветра.
на $\Delta t_2 \text{ mean} = 20-26$ часов (~1 суток).

$\Delta t_2'$ время запаздывания электронного возрастания от начала возрастания солнечного ветра.
 $\Delta t_2' \text{ mean} = 24-26$ часов (~1 суток).

Распределение показывает время запаздывания электронного возрастания от начала возрастания солнечного ветра. Определен максимальный пик. Скорость солнечного ветра также может являться предвестником опасного повышения электронного возрастания.