

Всероссийская конференция Магнетизм и активность Солнца - 2022
22-26 августа 2022 г.

ИСТОЧНИКИ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В СОБЫТИЯХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Базилевская Г.А.¹, Дайбог Е.И.², Логачев Ю.И.²

¹ФИАН, Россия, г. Москва, bazilevskayaga@lebedev.ru

²НИИЯФ, Россия, г. Москва, daibog@srd.sinp.msu.ru , logachev@srd.sinp.msu.ru

Солнечное протонное событие (СПС) – увеличение в межпланетной среде потоков солнечных космических лучей (СКЛ) - в результате взрывного энерговыделения на Солнце.

Одна из главных задач изучения СПС – определение их источника.

Главными факторами, инициирующими СПС, являются солнечная вспышка и выброс корональной массы (СМЕ), вклад которых в ускорение заряженных частиц до сих пор остается дискуссионным

Рассмотрение временных профилей СПС позволяет выделить события с гладким временным ходом, предполагающим ускорение частиц на Солнце и их распространение в межпланетной среде под действием диффузии и конвекции.

Однако во многих случаях временной профиль потоков СКЛ с энергиями $< \sim 30$ МэВ указывает на наличие дополнительных частиц, причем максимум этих потоков достигается в момент **SC (sudden commencement) - внезапного начала геомагнитной бури, которое как правило ассоциируется с приходом на Землю ударной волны (Cane and Richardson, 2003).**

Совпадение времени максимума потока частиц с прохождением фронта волны свидетельствует о локальном источнике ускорения.

Не удастся однозначно найти определенный источник для ~35% СПС ($J \geq (10 \text{ МэВ}) \geq 1$). Большинство этих событий – слабые.

Среди них есть события, потоки которых коррелируют с вариацией межпланетных параметров: **B, V, Dst, температурой и плотностью плазмы солнечного ветра.**

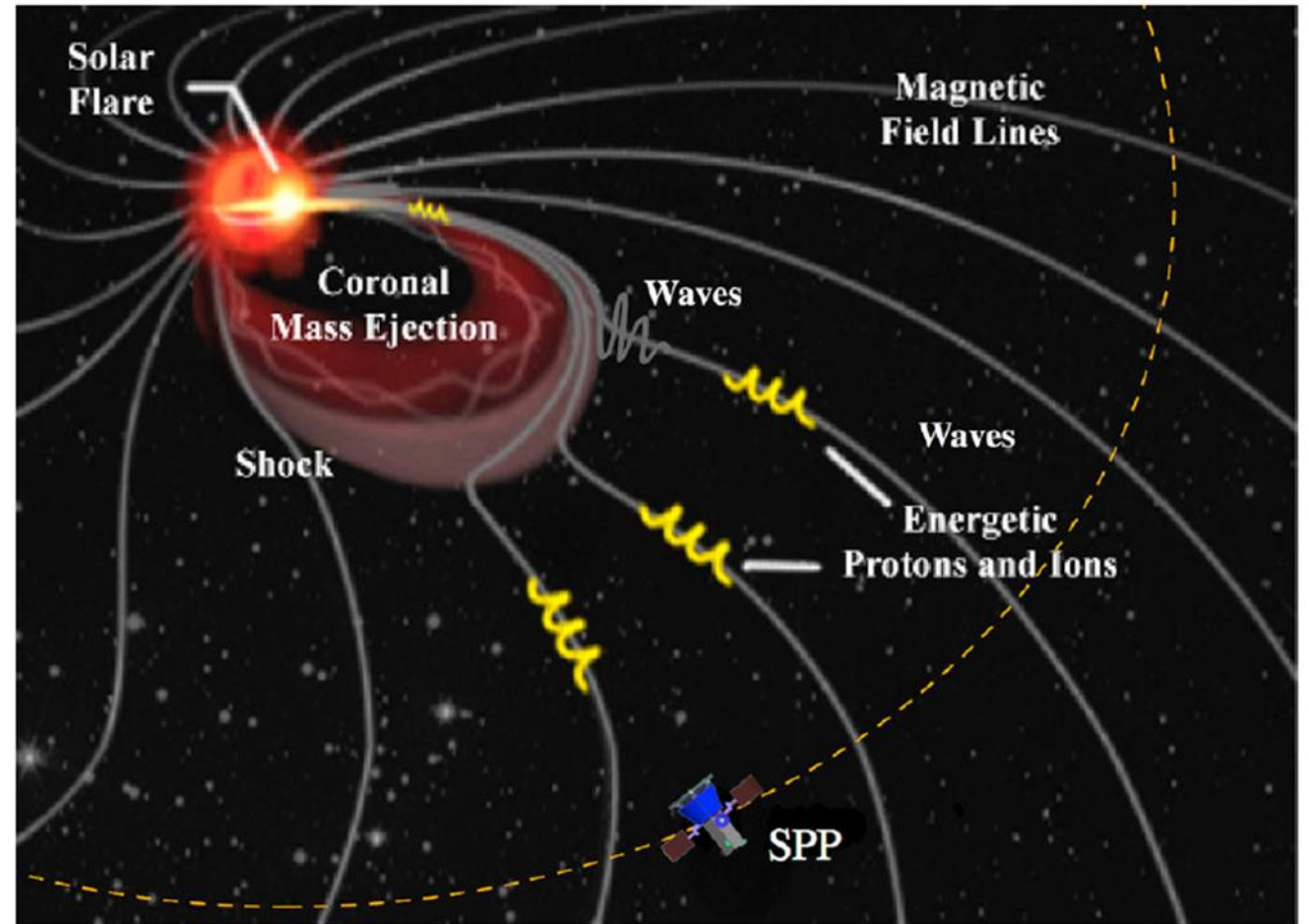
Задача данной работы:

Могут ли слабые СПС быть частицами, ускоренными в межпланетной среде (Energetic Storm Particles, ESP**)?**

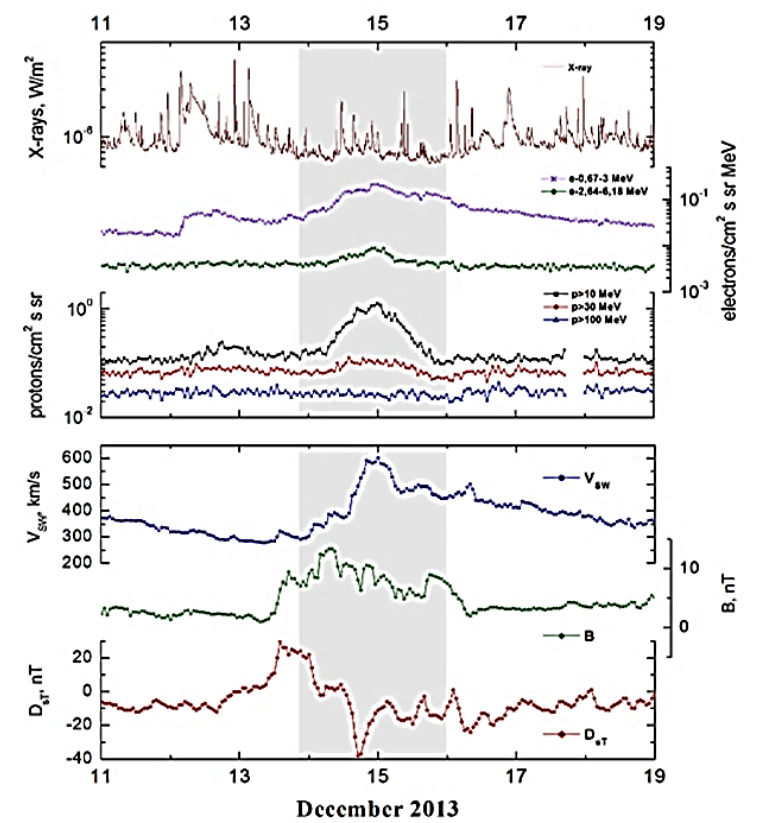
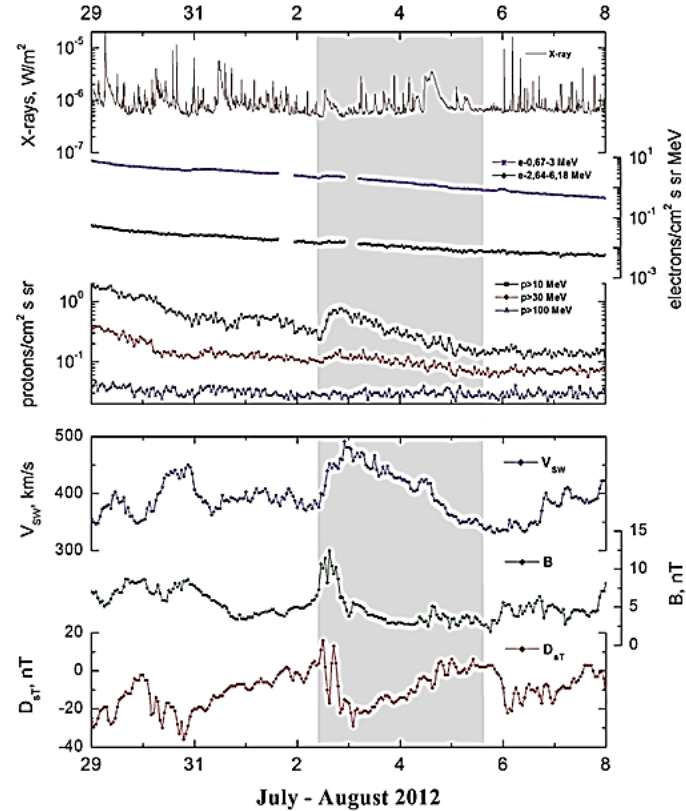
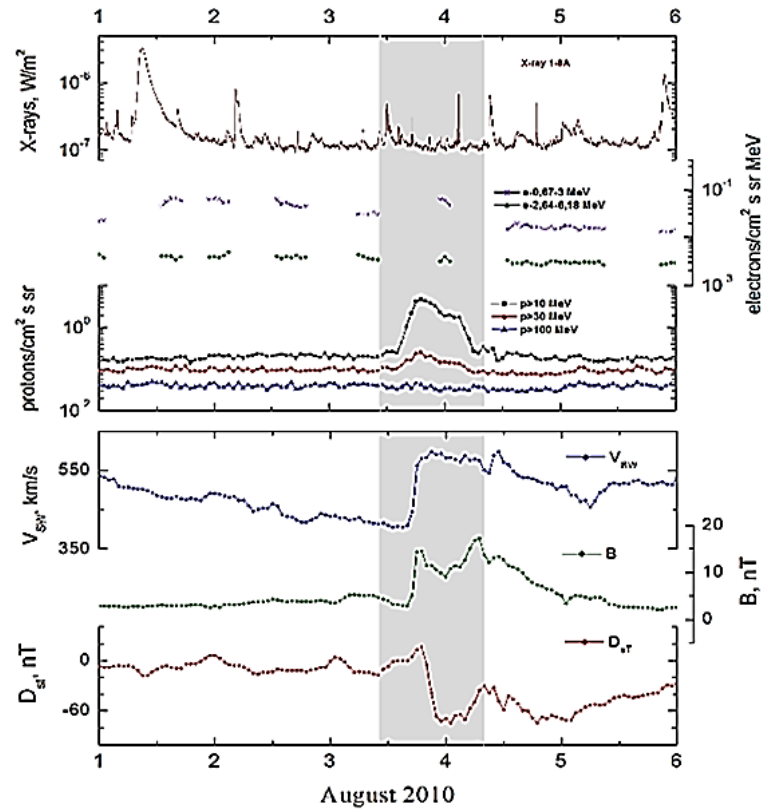
Что такое ESP?

Межпланетная ударная волна, движущаяся от Солнца, ускоряет частицы, некоторые из которых убегают вперед и могут быть зарегистрированы наблюдателем.

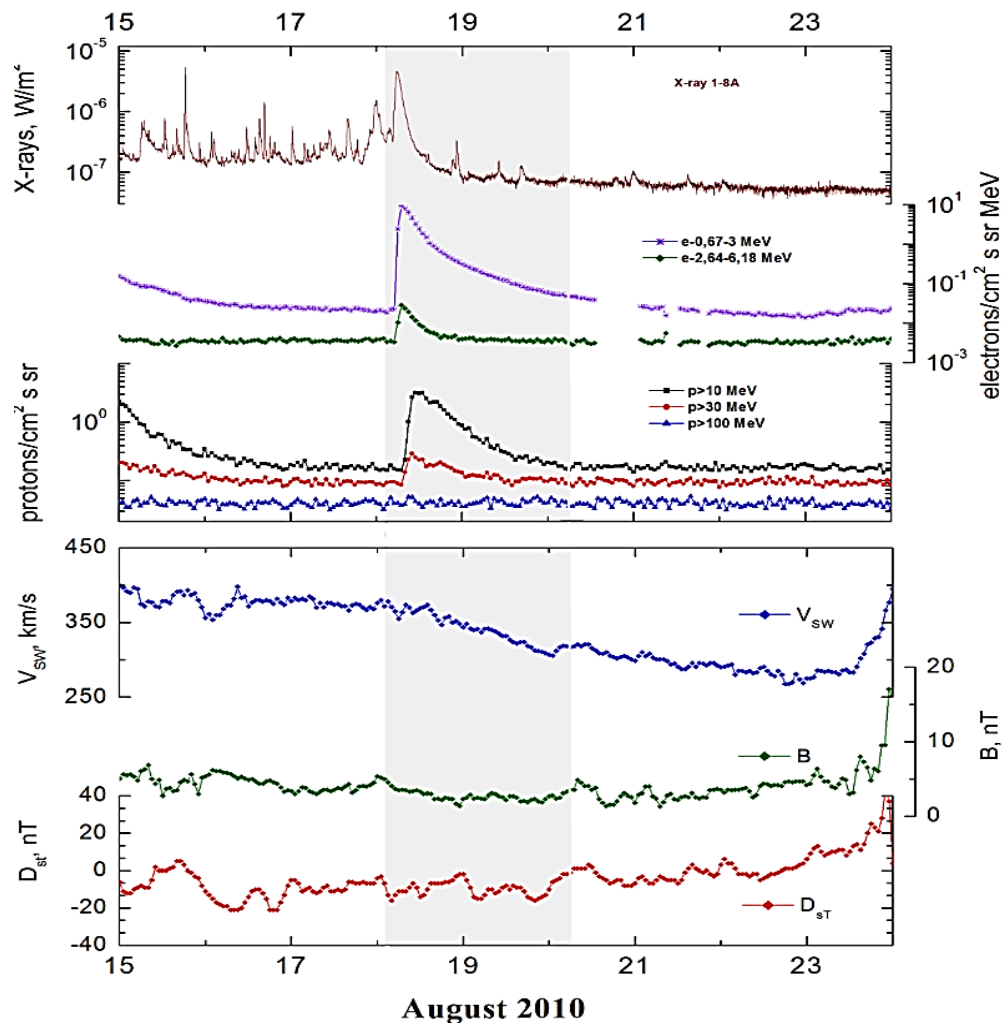
В случае значительных СПС мы наблюдаем ESP как дополнительные потоки частиц на временном профиле СПС.



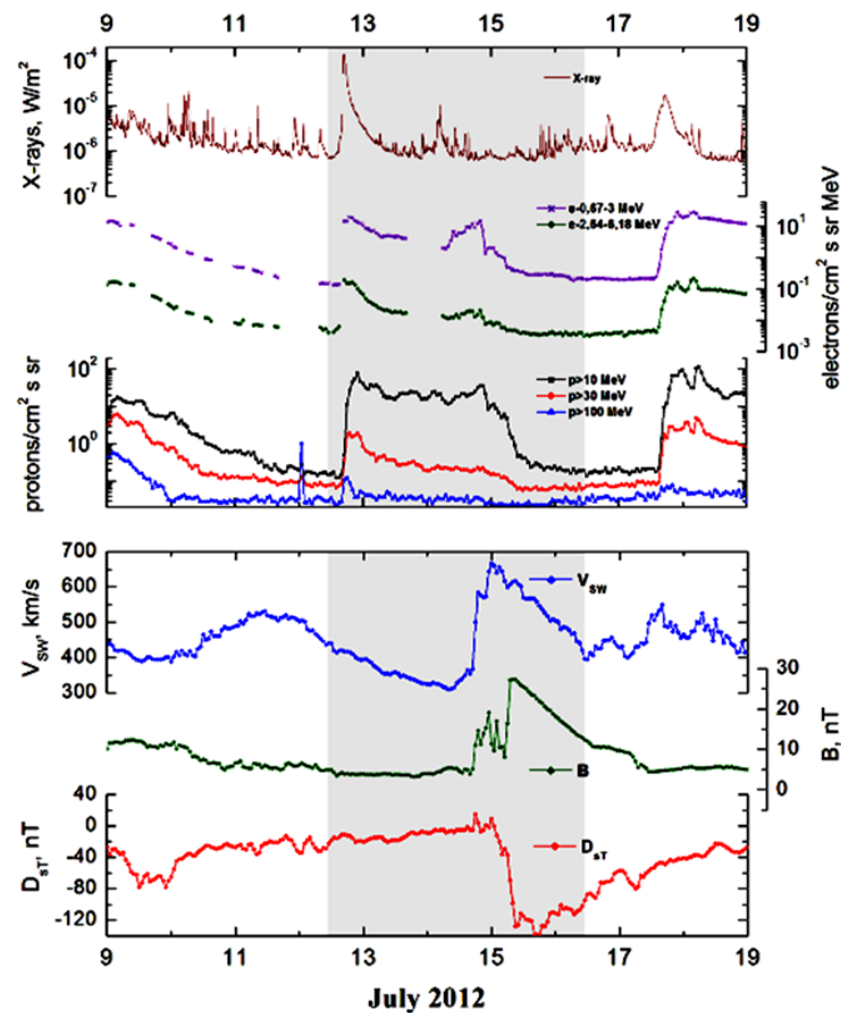
Примеры слабых солнечных протонных событий, коррелировавших с B , V , Dst



В большинстве случаев ESP наблюдаются на фоне частиц, ускоренных на Солнце. Однако иногда они наблюдаются и как изолированные события, в которых трудно отождествить вклад солнечных частиц



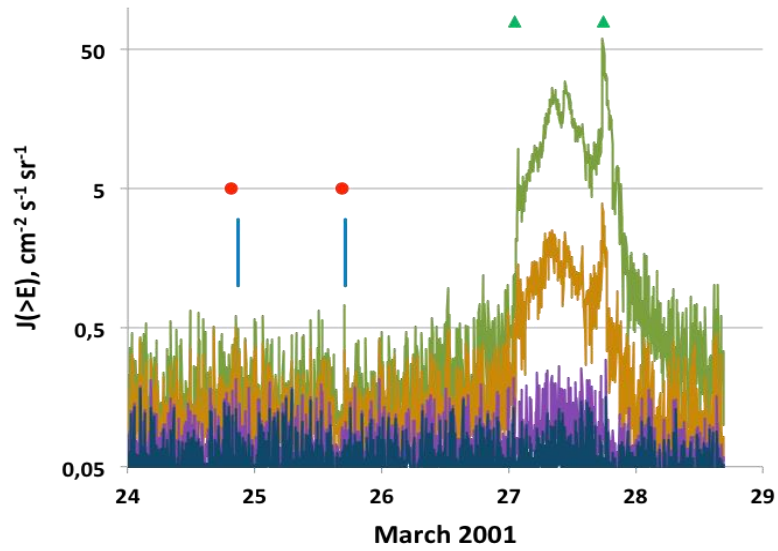
Событие СПС без ESP



Событие СПС с ESP

Event 2001.03.26

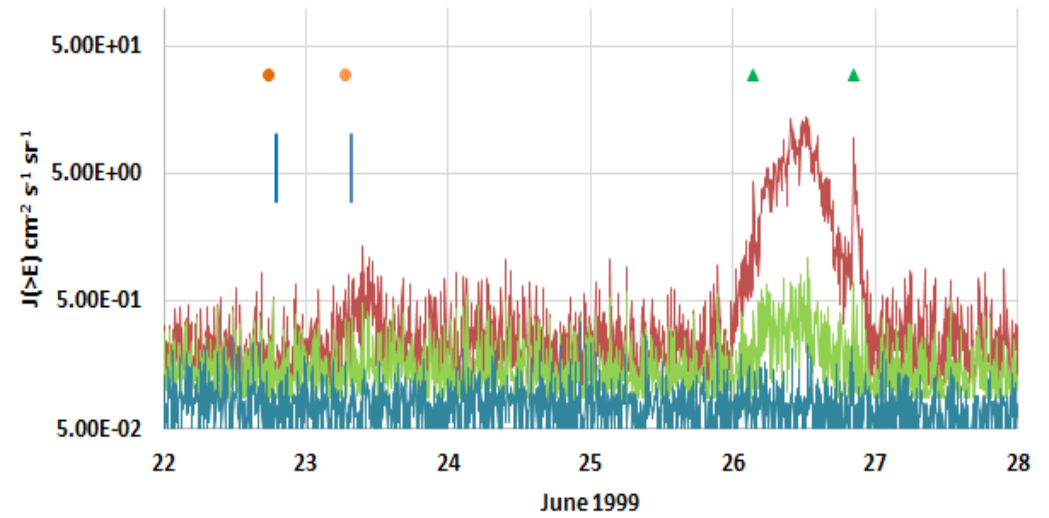
GOES 10



- >5
- >10
- >30
- >50
- Flare
- CME
- SC

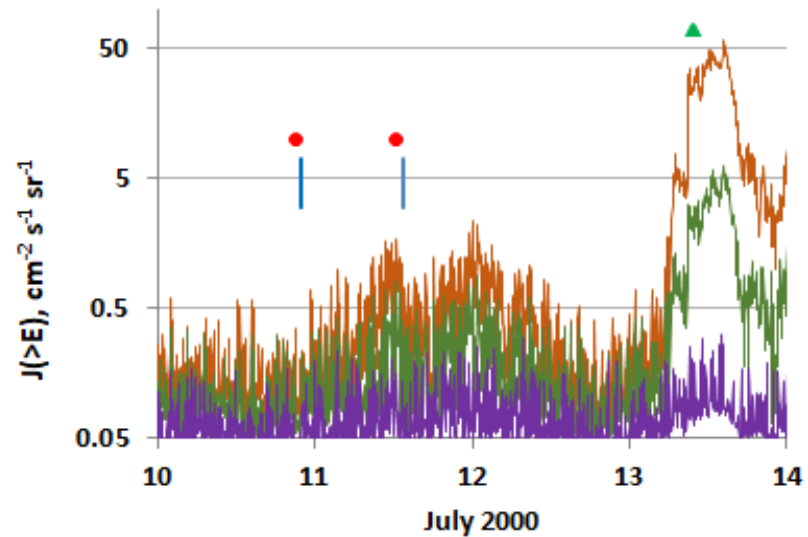
Event 1999.06.25

GOES protons



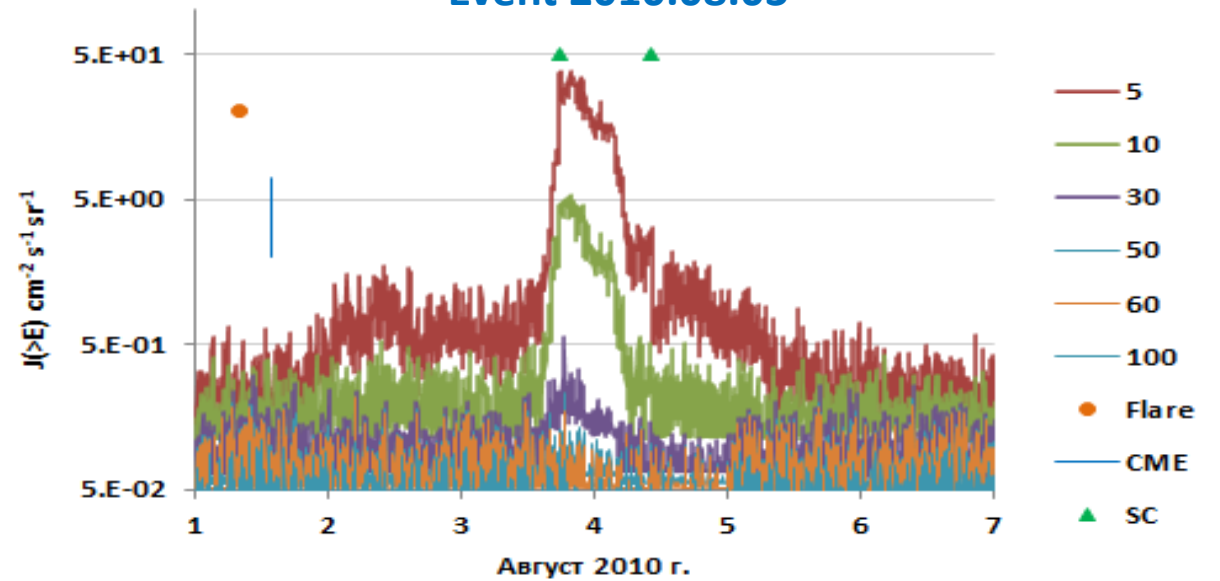
- >5 MeV
- >10 MeV
- >30 MeV
- CME
- Flare
- SC

Event 2000.07.13



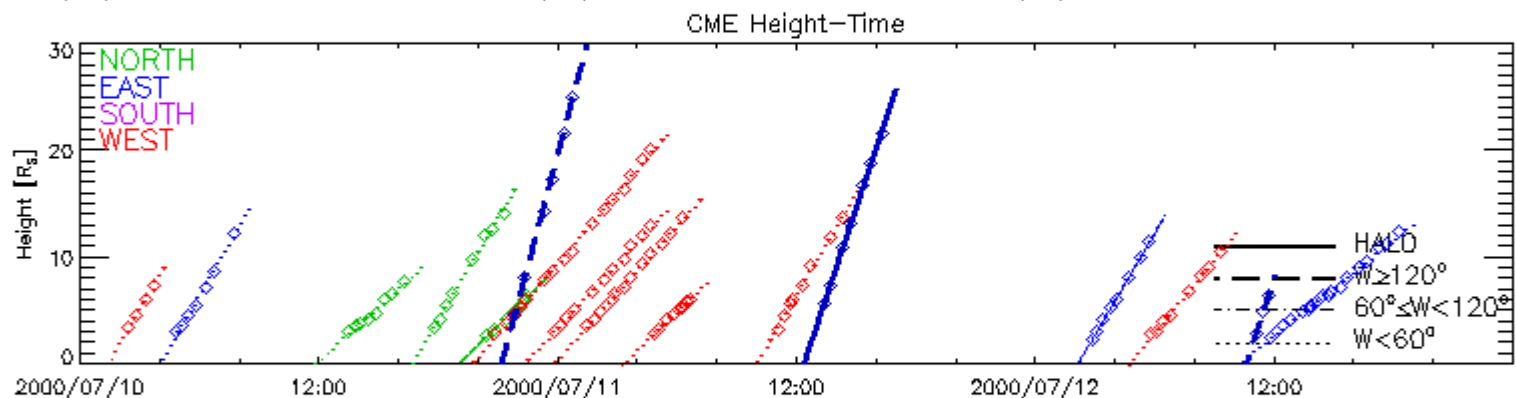
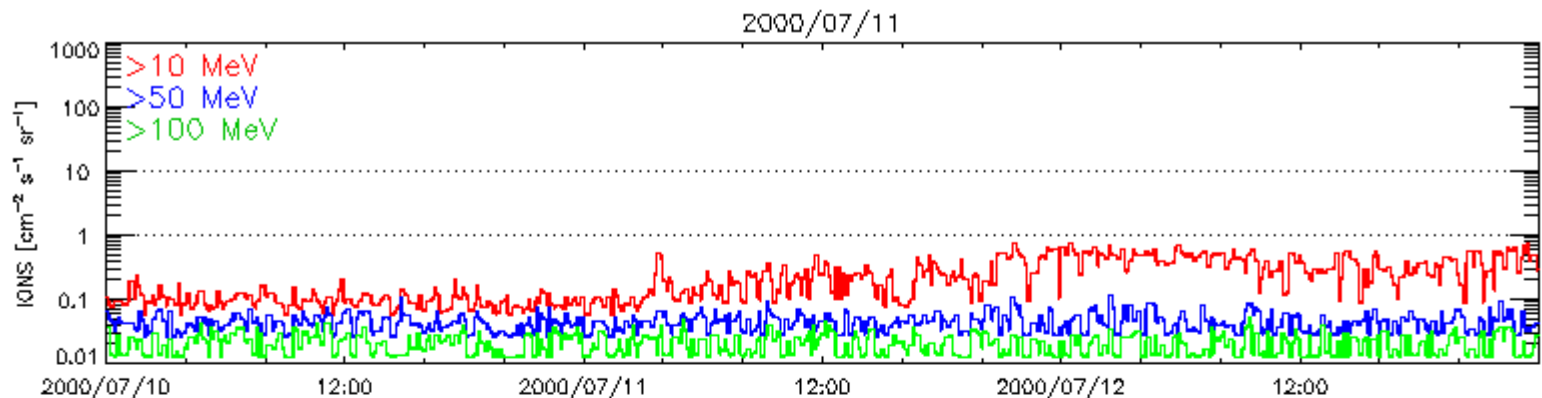
- >5
- >10
- >30
- Flare
- CME
- Shock

Event 2010.08.03

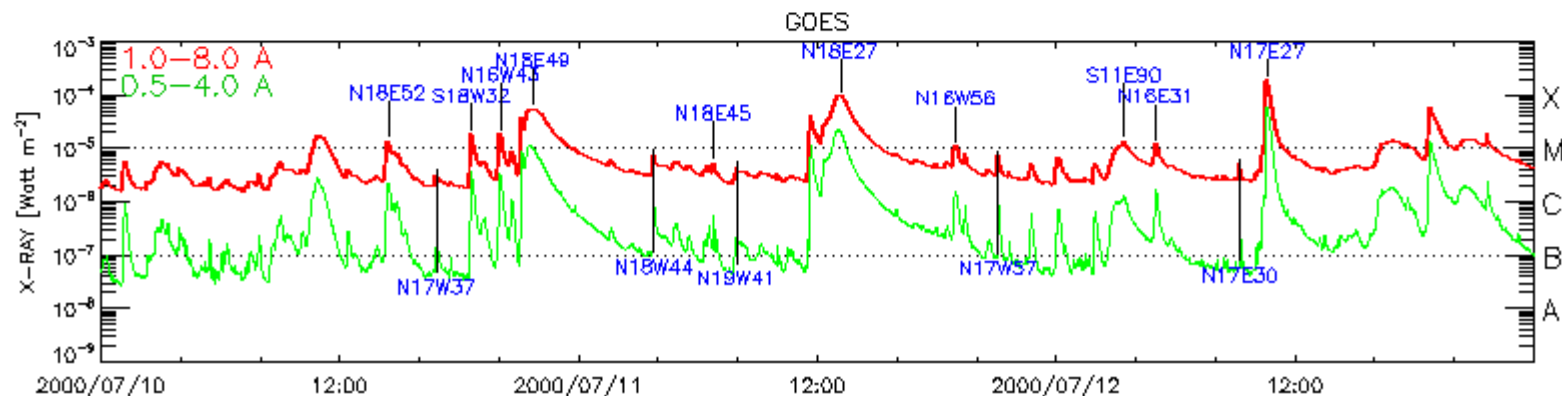


- 5
- 10
- 30
- 50
- 60
- 100
- Flare
- CME
- SC

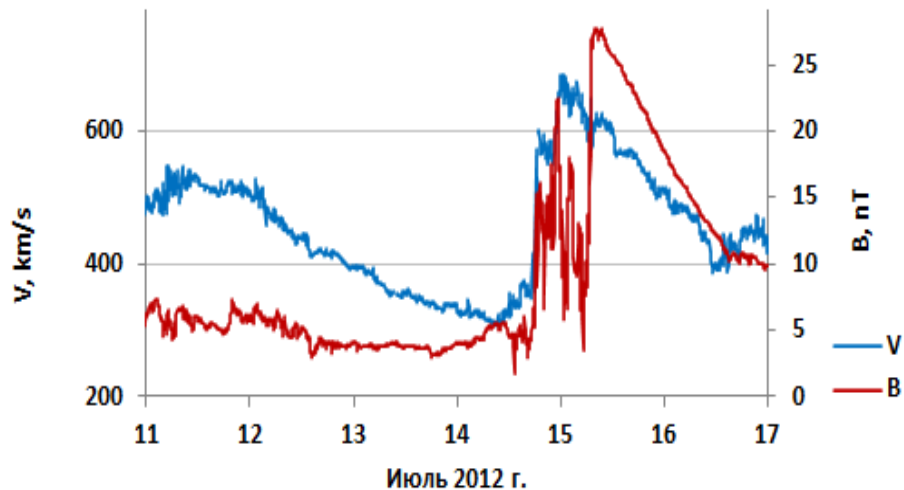
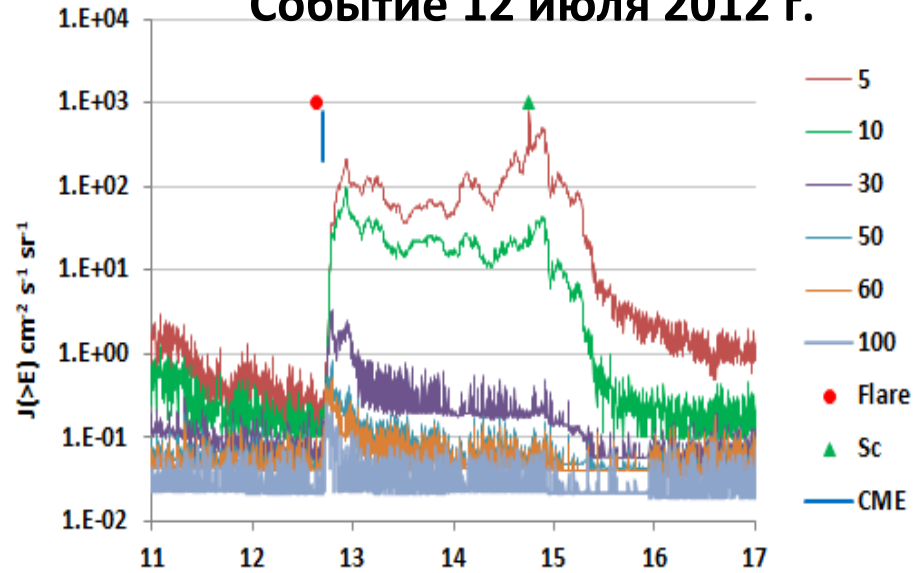
Вспышка: 2000 07 10,
 21:05-22:27, M5.7, N18E49
 Type II: 10d 22:00-23:30,
 14000-1000 kHz
 CME 2000 07 10, 21:50 UT,
 V=1352 km/s, PA=67, W=289



Вспышка: 2000 07 11,
 12:12-13:35, X1.0, N18 E27
 Type II: 11d 13:00 -13:30,
 12000-1000 kHz
 CME 2000 07 11, 13:27 UT,
 V=1078 km/s, PA=63, W= 360



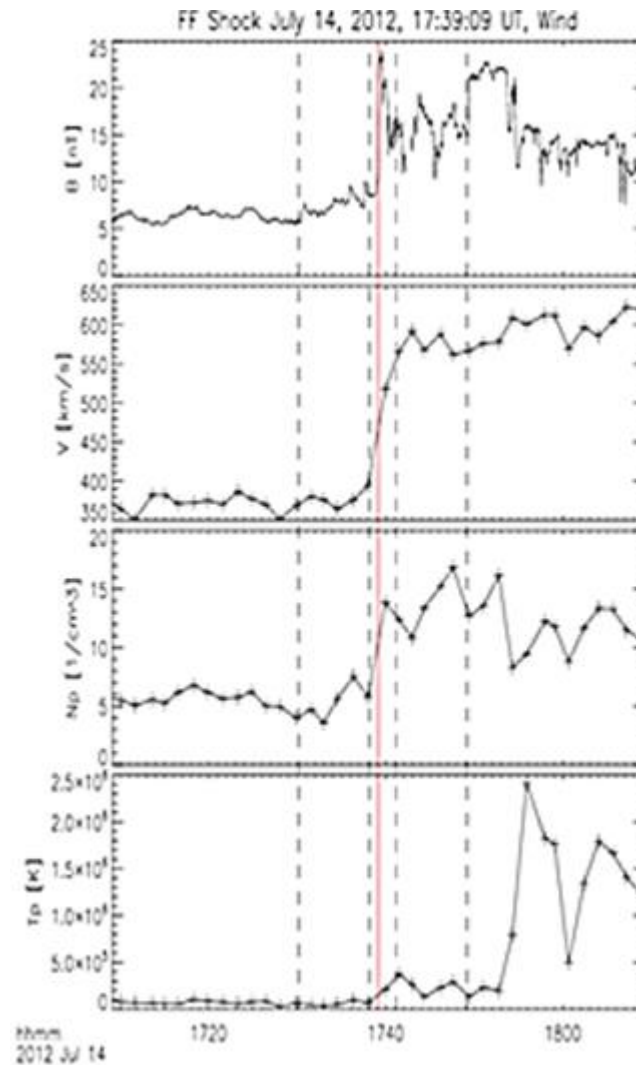
Событие 12 июля 2012 г.



Flare 12d15h18m, 2B/X1.4, S14W01

CME: 12d16h48m, V= 0885 km/s, $\Delta\phi = 360^\circ$, dA= 158 $^\circ$

▲ SC 14d18h09m



Особенности ESP

- Рост потоков частиц до SC
- Наличие ударных волн, сопровождающих вариации временного профиля СПС.
- Максимум потока частиц совпадает с временем прихода ударной волны, инициированной КВМ в энерговыведении на Солнце за десятки часов до этого.

Поиск источников событий малой мощности

- **Отбор изолированных СПС, коррелирующих с параметрами B , V , Dst .**
- **Поиски ударных волн, зарегистрированных во время СПС**
- **Поиски СМЕ и вспышки на Солнце за десятки часов до наблюдения СПС**

Главная неопределенность нашего подхода связана с плохой точностью оценки времени распространения СМЕ от Солнца до земного наблюдателя.

В межпланетной среде СМЕ могут двигаться с ускорением или замедлением; они подвергаются влиянию солнечного ветра и структур межпланетного магнитного поля.

Кроме того, СМЕ наблюдается в картинной плоскости, что вносит неопределенность в определение скорости его распространения.

Поэтому точность определения времени прихода СМЕ на орбиту Земли разными исследователями оценивается с большим разбросом, максимальная ошибка - 17.7 ± 0.85 час. (Vourlidas et al., 2019).

Мы рассматривали все CME по данным (LASCO) за 6 дней до рассматриваемого события СКЛ и оценивали их время распространения до орбиты Земли.

Отбирались CME, пришедшие к наблюдателю в разумных пределах от времени максимума временного профиля события с учетом точности определения времени распространения CME.

Для подтверждения связи найденного CME с событием ESP, мы искали подходящую ударную волну в базах данных (<http://ipshocks.fi/database>) и подтверждение связи межпланетного CME (ICME) по каталогу (Richardson and Cane) с событием на Солнце.

Во всех случаях найденному CME соответствовала вспышка на Солнце.

Критерии отбора

Рассмотрены все КВМ за 6 суток, предшествовавших приходу к Земле ударной волны. Выбраны те, которые предположительно могли достигнуть Земли в пределах ± 1 сутки относительно зарегистрированной ударной волны (Sc)

Event 1999 06 25							
CME – candidates							
Y	MO	D_CME	H_CME	Min_CME	V	PA	W
1999	6	19	12	30	262	306	65
1999	6	19	19	31	318	278	42
1999	6	19	22	30	274	278	48
1999	6	20	4	21	352	284	46
1999	6	22	18	54	1133	360	360
1999	6	23	6	6	579	264	154
1999	6	23	7	31	1006	360	360
1999	6	24	0	54	503	256	98
1999	6	24	13	31	975	360	360
1999	6	24	22	30	476	347	85

Event 2000 07 13**CME – candidates**

Y	MO	D_CME	H_CME	Min_CME	V	PA	Wide
2000	7	8	17	42	506	57	18
2000	7	9	11	26	507	169	173
2000	7	9	17	28	512	94	146
2000	7	9	18	50	524	294	10
2000	7	9	18	50	683	294	10
2000	7	9	21	50	562	83	19
2000	7	10	2	26	597	285	12
2000	7	10	21	50	1352	67	289
2000	7	11	11	6	745	256	43
2000	7	11	13	27	1078	360	360
2000	7	12	2	50	708	96	90
2000	7	12	20	30	820	281	101

Заключение

- **Некоторые слабые солнечные протонные события, регистрируемые земным наблюдателем, являются ESP частицами, ускоренными ударной волной в межпланетном пространстве.**
- **Им можно сопоставить вспышку на Солнце и СМЕ за десятки часов до наблюдаемого СПС, которые обеспечивают инжекцию частиц в процесс их последующего ускорения в межпланетном пространстве**