39-Я ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО КОСМИЧЕСКИМ ЛУЧАМ
г. Дубна, 29 июня - 03 июля 2026 года

Солнечные протонные события
1970 – 2025 гг.
(56 лет Каталогам СПС под редакцией Ю.И. Логачева)

Г.А. Базилевская (ФИАН), Ю.И. Логачёв (НИИЯФ), Н.А. Власова (НИИЯФ), Е.А. Гинзбург (ИПГ), Е.И. Дайбог (НИИЯФ), А.В. Дмитриев (НИИЯФ), В.В. Калегаев (НИИЯФ), К.Б. Капорцева (НИИЯФ), И.Н. Мягкова (НИИЯФ), А.В. Суворова (НИИЯФ)

Все Каталоги имеются в на сайтах МЦД России

http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/ и НИИЯФ МГУ https://swx.sinp.msu.ru/

Авторские коллективы составителей Каталогов солнечных протонных событий (СПС) под редакцией Ю.И. Логачева (НИИЯФ)

СПС 1970-1979 гг. С.Т. Акиньян (ИЗМИРАН), Г.А. Базилевская (ФИАН), Э.В. Вашенюк (ПГИ), В.Н. Ишков (ИЗМИРАН), Л.И. Мирошниченко (ИЗМИРАН), М.Н. Назарова (ИПГ), Н.К. Переяслова (ИПГ), И.Е. Погодин (НИИФ ЛГУ), А.И. Сладкова (НИИЯФ), В.А. Ульев (ААНИИ), И.М. Черток (ИЗМИРАН).

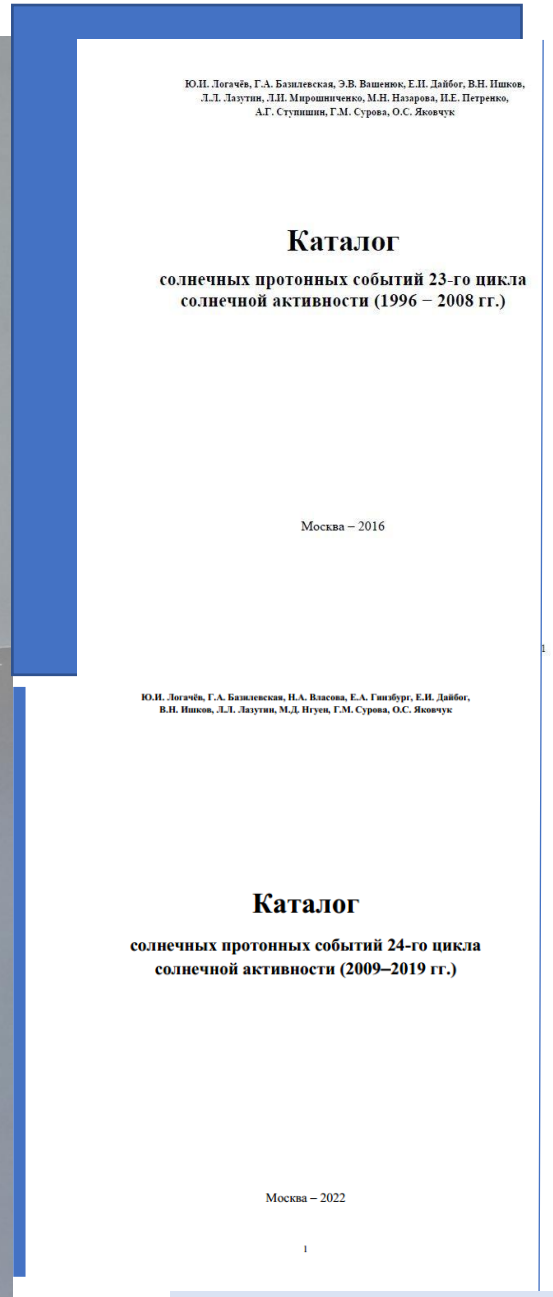
СПС 1980-1986 гг. Г.А. Базилевская (ФИАН), Э.В. Вашенюк (ПГИ), В.Н. Ишков (ИЗМИРАН), Л.И. Мирошниченко (ИЗМИРАН), М.Н. Назарова (ИПГ), Н.К. Переяслова (ИПГ), А.И. Сладкова (НИИЯФ), А.Г. Ступишин (СПб ГУ), В.А. Ульев (ААНИИ), И.М. Черток (ИЗМИРАН).

СПС 1987-1996 гг. А.И. Сладкова (НИИЯФ), Г.А. Базилевская (ФИАН), В.Н. Ишков (ИЗМИРАН), М.Н. Назарова (ИПГ), Н.К. Переяслова (ИПГ), А.Г. Ступишин (СПб ГУ), (В.А. Ульев (ААНИИ), И.М. Черток (ИЗМИРАН).

СПС 1996-2008 гг. Ю.И. Логачёв (НИИЯФ), Г.А. Базилевская (ФИАН), Э.В. Вашенюк (ПГИ), Е.И. Дайбог (НИИЯФ), В.Н. Ишков (ИЗМИРАН, ГЦ РАН), Л.Л. Лазутин (НИИЯФ), Л.И. Мирошниченко (ИЗМИРАН, НИИЯФ), М.Н. Назарова (ИПГ), И.Е. Петренко (ИПГ), А.Г. Ступишин (СПб ГУ), Г.М. Сурова (НИИЯФ), О.С. Яковчук (НИИЯФ)

СПС 2009-2019 гг. Ю.И. Логачёв (НИИЯФ), Г.А. Базилевская (ФИАН), Н.А. Власова (НИИЯФ), Е.А. Гинзбург (ИПГ), Е.И. Дайбог (НИИЯФ), В.Н. Ишков (ИЗМИРАН, ГЦ РАН), Л.Л. Лазутин (НИИЯФ), М.Д. Нгуен (НИИЯФ), Г.М. Сурова (НИИЯФ), О.С. Яковчук (НИИЯФ)

СПС 2020-2024 гг. Ю.И. Логачёв (НИИЯФ), Г.А. Базилевская (ФИАН), Н.А. Власова (НИИЯФ), Е.А. Гинзбург (ИПГ), Е.И. Дайбог (НИИЯФ), А.В. Дмитриев (НИИЯФ), В.В. Калегаев (НИИЯФ), К.Б. Капорцева (НИИЯФ), И.Н. Мягкова (НИИЯФ), А.В. Суворова (НИИЯФ)



Ю.И. Логачёв, Г.А. Базилевская, Э.В. Ващенюк, Е.И. Дайбог, В.Н. Ишков, Л.Л. Лазутин, Л.И. Мирошниченко, М.Н. Назарова, И.Е. Петренко, А.Г. Ступишин, Г.М. Сурова, О.С. Яковчук

Каталог

солнечных протонных событий 23-го цикла солнечной активности (1996 – 2008 гг.)

Москва – 2016

Ю.И. Логачёв, Г.А. Базилевская, Н.А. Власова, Е.А. Гинзбург, Е.И. Дайбог, В.Н. Ишков, Л.Л. Лазутин, М.Д. Нгуен, Г.М. Сурова, О.С. Яковчук

Каталог

солнечных протонных событий 24-го цикла солнечной активности (2009–2019 гг.)

Москва – 2022

1

Каталоги циклов 23 и 24 в pdf формате

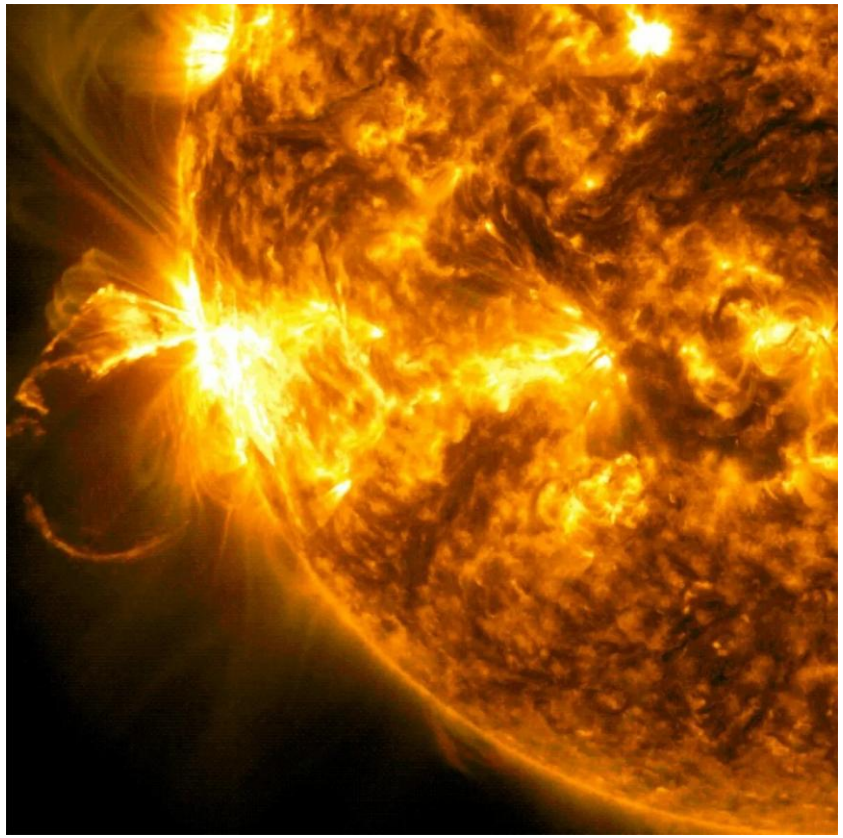
Почему нужен каталог

- Многообразие физических процессов, накладывающих отпечаток на свойства СКЛ
- Громадное количество наблюдаемых данных
- Перманентная активность Солнца, спорадически генерирующая энергичные заряженные частицы

X-ray Solar Flares
6-hr max: **M2** **0817 UT Jul01**
24-hr: **X1** **2050 UT Jun30**
explanation | more data

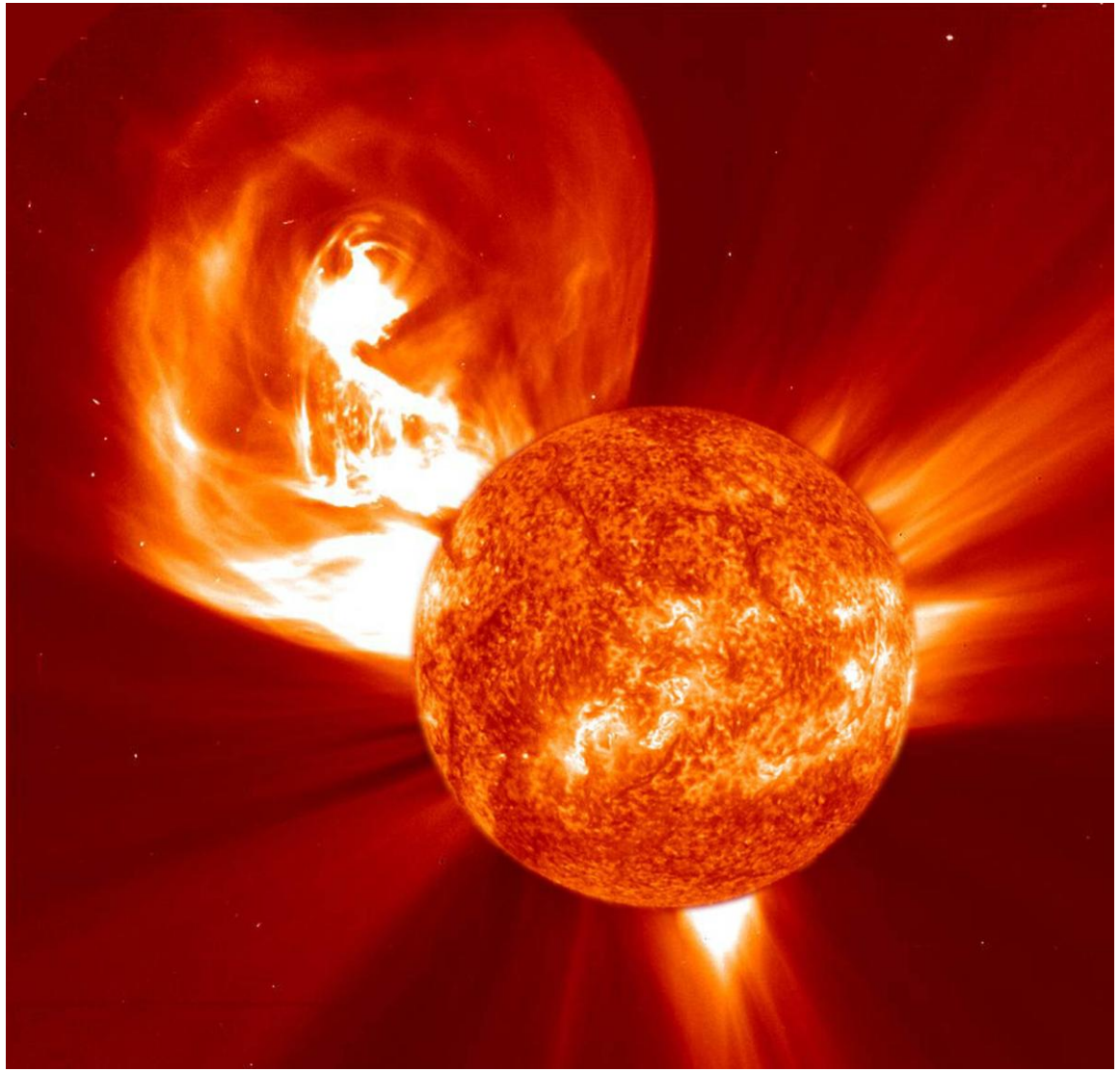
Updated: Today at: 1225 UT

Что такое солнечное протонное событие (СПС)

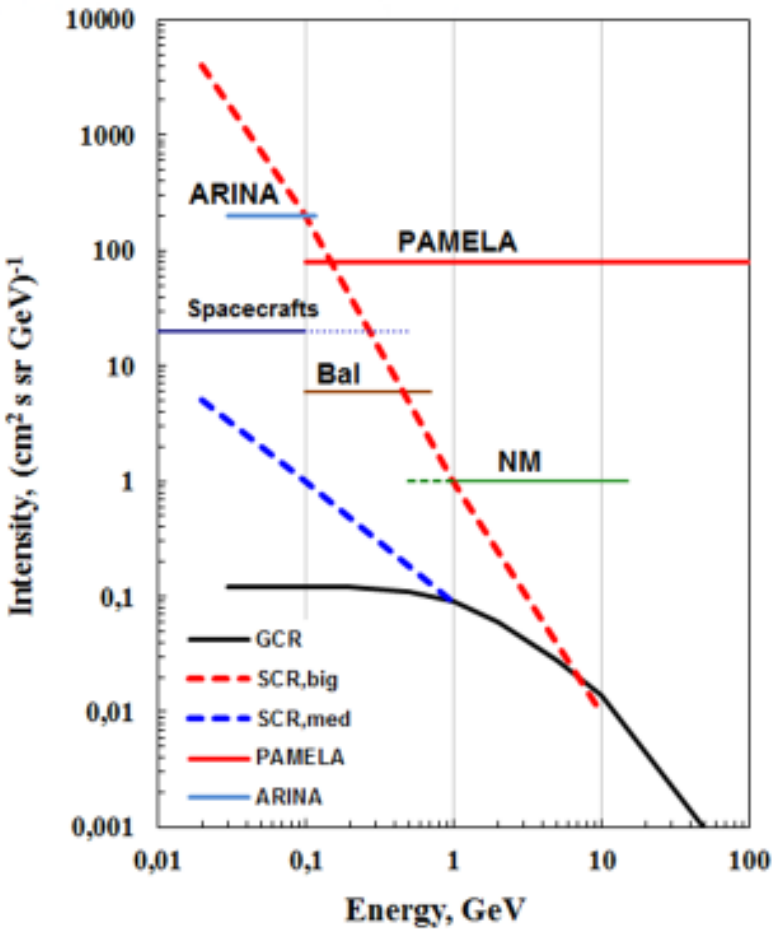


	Вспышка
Энергия	До 10^25 эрг
Интенсивность .	M >10^-5, X>10^-4 W/m2
Число за 11-летний цикл	>M+X: 1000 - 1700

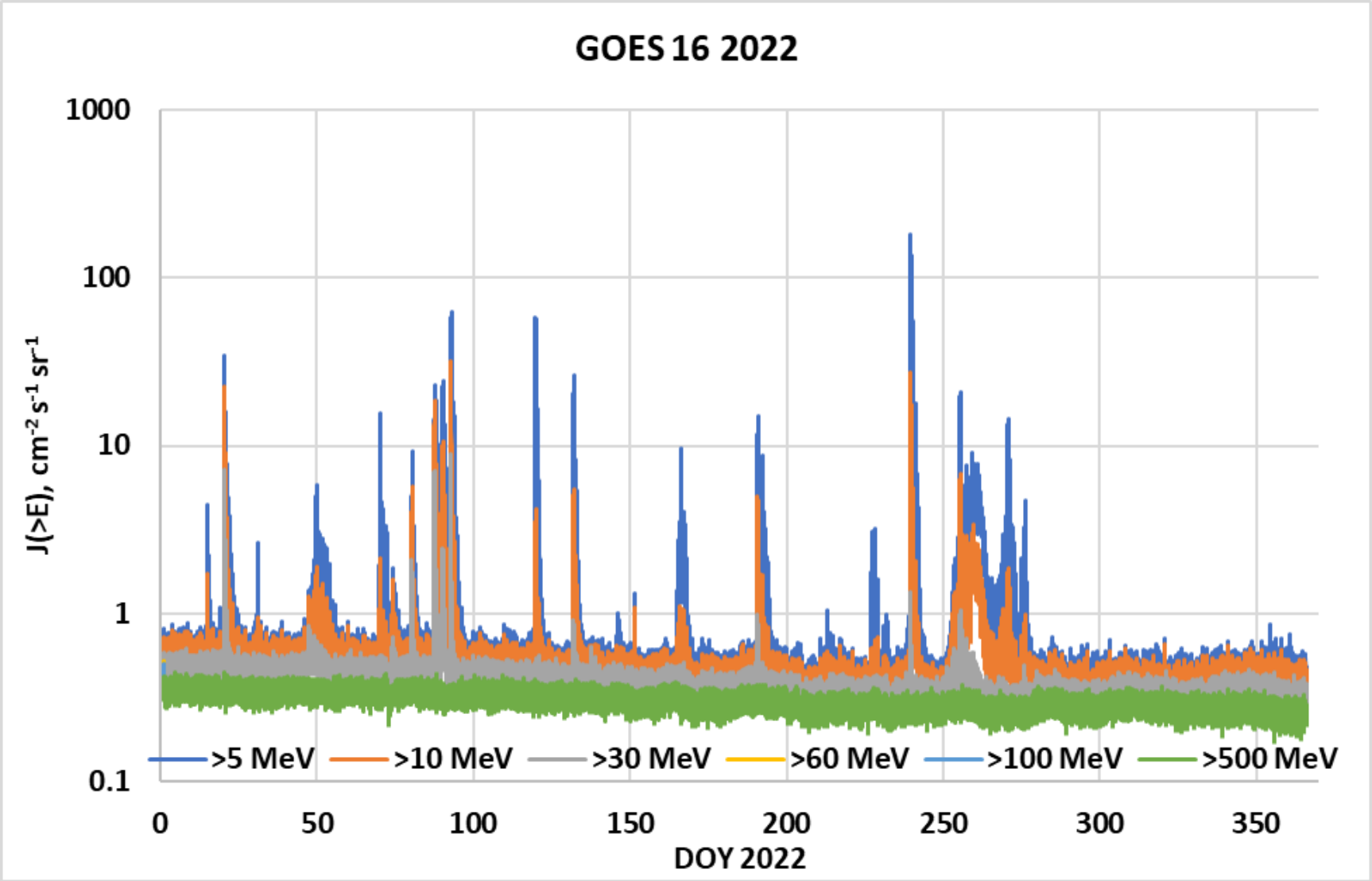
Что такое солнечное протонное событие (СПС)

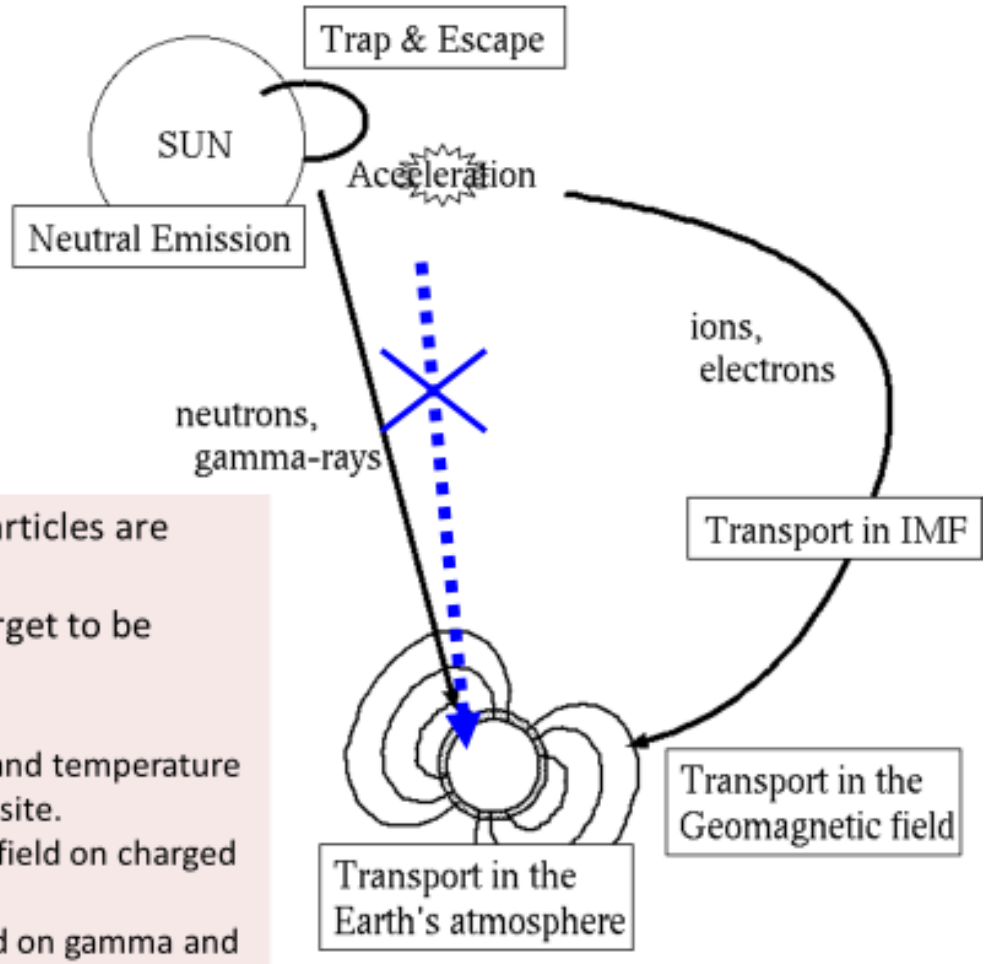


	КВМ
Энергия	До 10^26 эрг
Масса	До 10^11 тонн
Скорость	~200 км/с, до 3000 км/с
Число за 11-летний цикл >500 км/с	500-1000



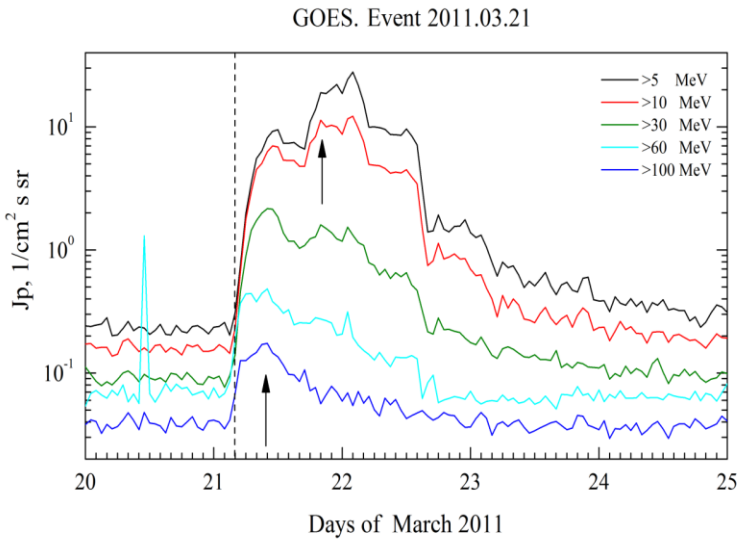
Это старая картинка. Теперь спектр СКЛ следует расширить в область меньших энергий до ~100 keV, т.е. как минимум, на 2 порядка. СКЛ занимают 5 порядков по энергии.

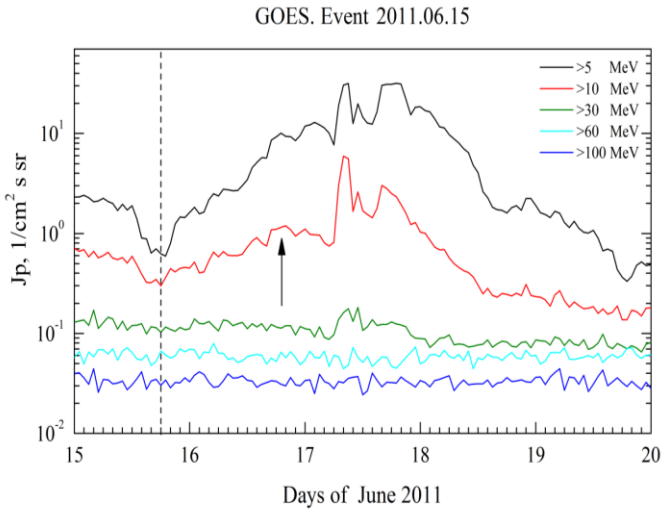

GOES 16 2022
1000
100
10
1
0.1
J(>E), cm-2 s-1 sr-1
>5 MeV
>10 MeV
>30 MeV
>60 MeV
>100 MeV
>500 MeV
0
50
100
150
200
250
300
350
DOY 2022

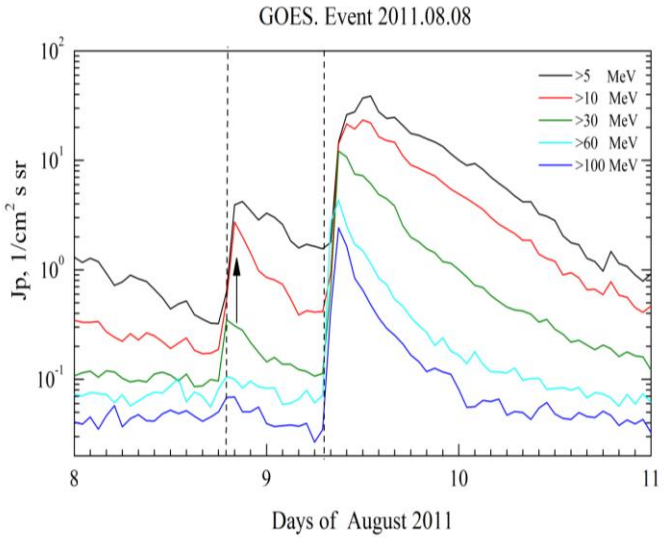


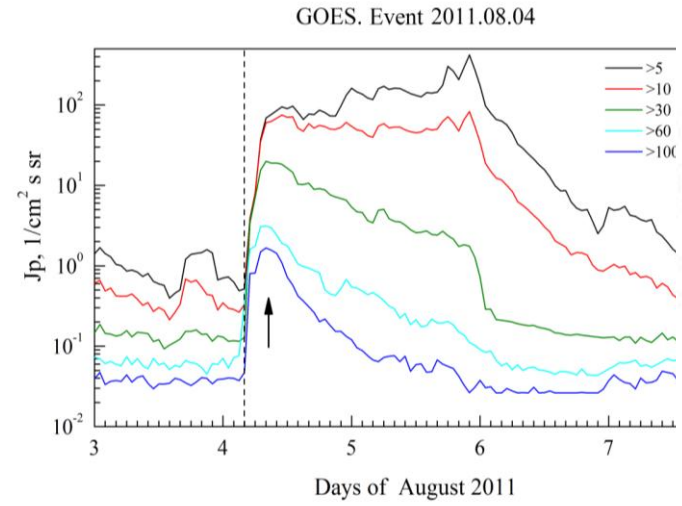
Modified from Sako, 2007

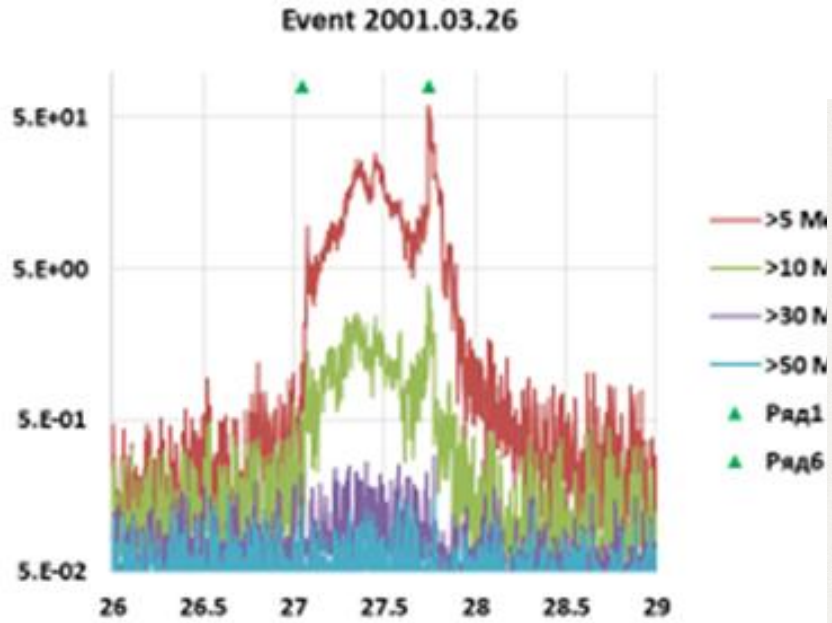
- - Accelerated charged particles are affected by magnetic field
  - neutral particles need target to be emitted..
- Protons give high statistics.
- Other ions give the chemical and temperature information of the acceleration site.
- Significant effect of magnetic field on charged particles everythere.
- No effect of the magnetic field on gamma and neutrons
-

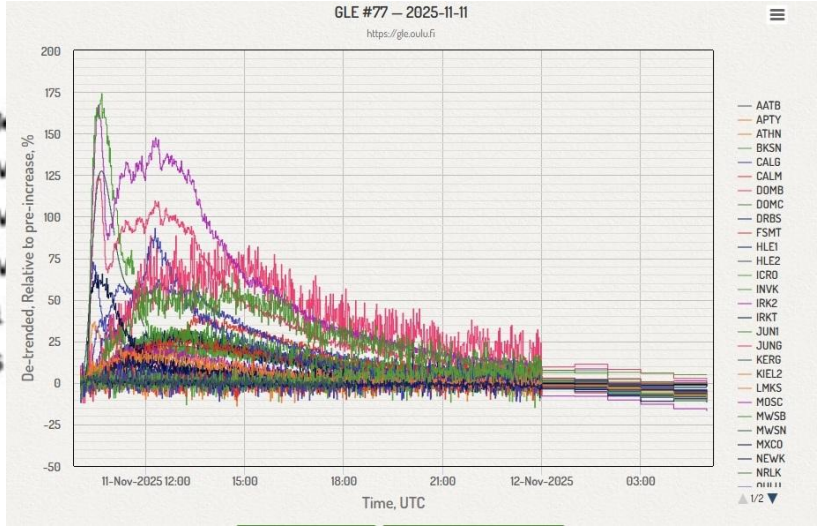

GOES. Event 2011.03.21
>5 MeV
>10 MeV
>30 MeV
>60 MeV
>100 MeV
Jp, 1/cm² s sr
Days of March 2011


GOES. Event 2011.06.15
>5 MeV
>10 MeV
>30 MeV
>60 MeV
>100 MeV
Jp, 1/cm² s sr
Days of June 2011

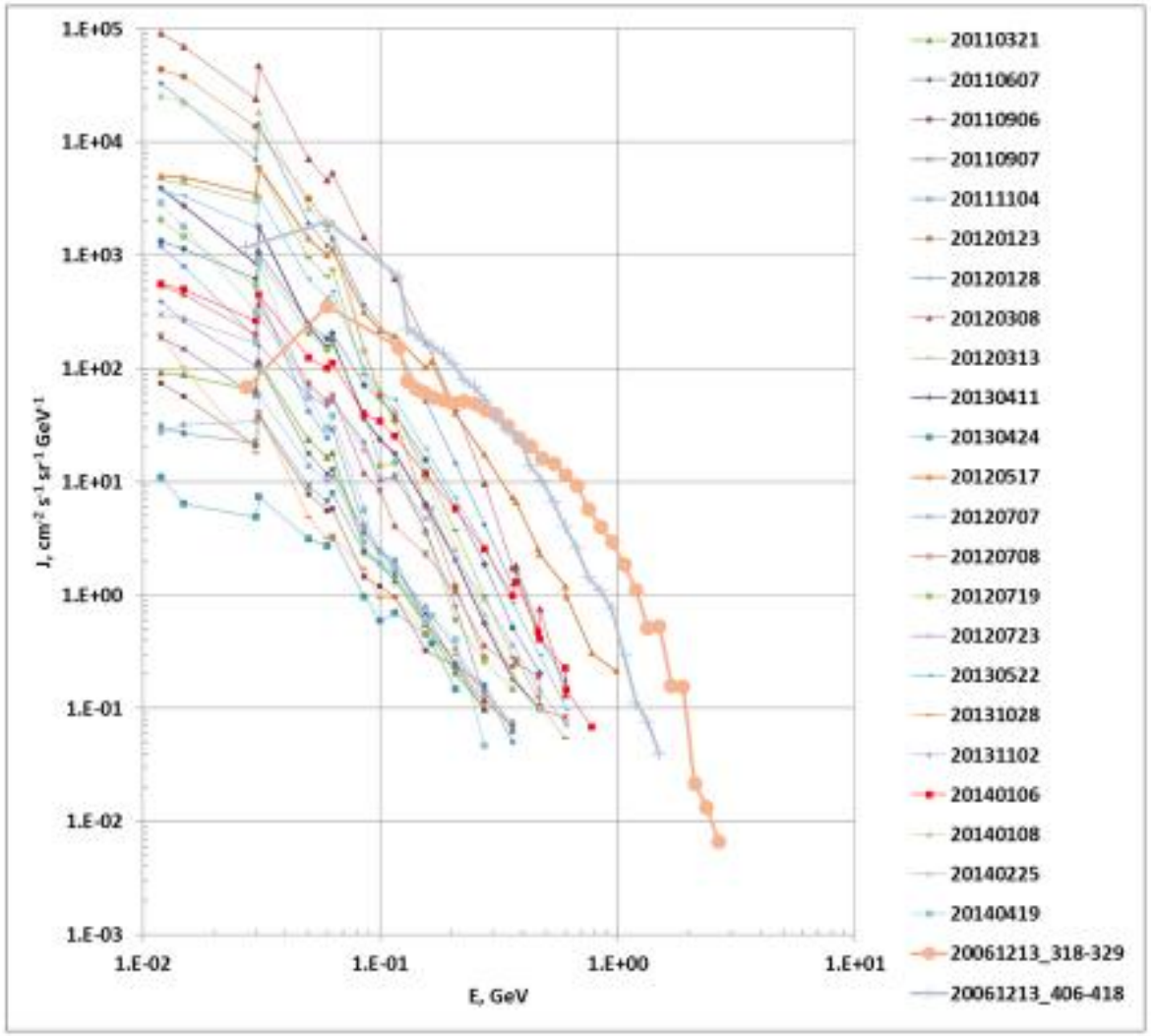

GOES. Event 2011.08.08
>5 MeV
>10 MeV
>30 MeV
>60 MeV
>100 MeV
Jp, 1/cm² s sr
Days of August 2011


GOES. Event 2011.08.04
>5
>10
>30
>60
Jp, 1/cm² s sr
Days of August 2011

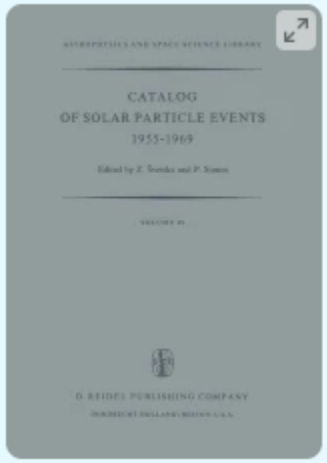

Event 2001.03.26
5.E+01
5.E+00
5.E-01
5.E-02
26
26.5
27
27.5
28
28.5
29
Ряд1
Ряд6


GLE #77 — 2025-11-11
https://gle.oulu.fi
De-trended, Relative to pre-increase, %
11-Nov-2025 12:00
15:00
18:00
21:00
12-Nov-2025
03:00
Time, UTC
AATB
APTY
ATHN
BKSN
CALG
CALM
DOMB
DOMC
DRBS
FSMT
HLE1
HLE2
ICRO
INVK
IRK2
IRKT
JUNI
JUNG
KERG
KIEL2
LMKS
MOSC
MWSB
MWSN
MXCO
NEWK
NRLK

Energy spectra of PAMELA +GOES, Dec.2006- Apr.2014.



Предшественник Каталогов Ю.И. Логачева



Catalog of Solar Particle Events 1955–1969

Prepared under the Auspices of Working Group 2 of the Inter-Union Commission on Solar-Terrestrial Physics

Book | © 1975

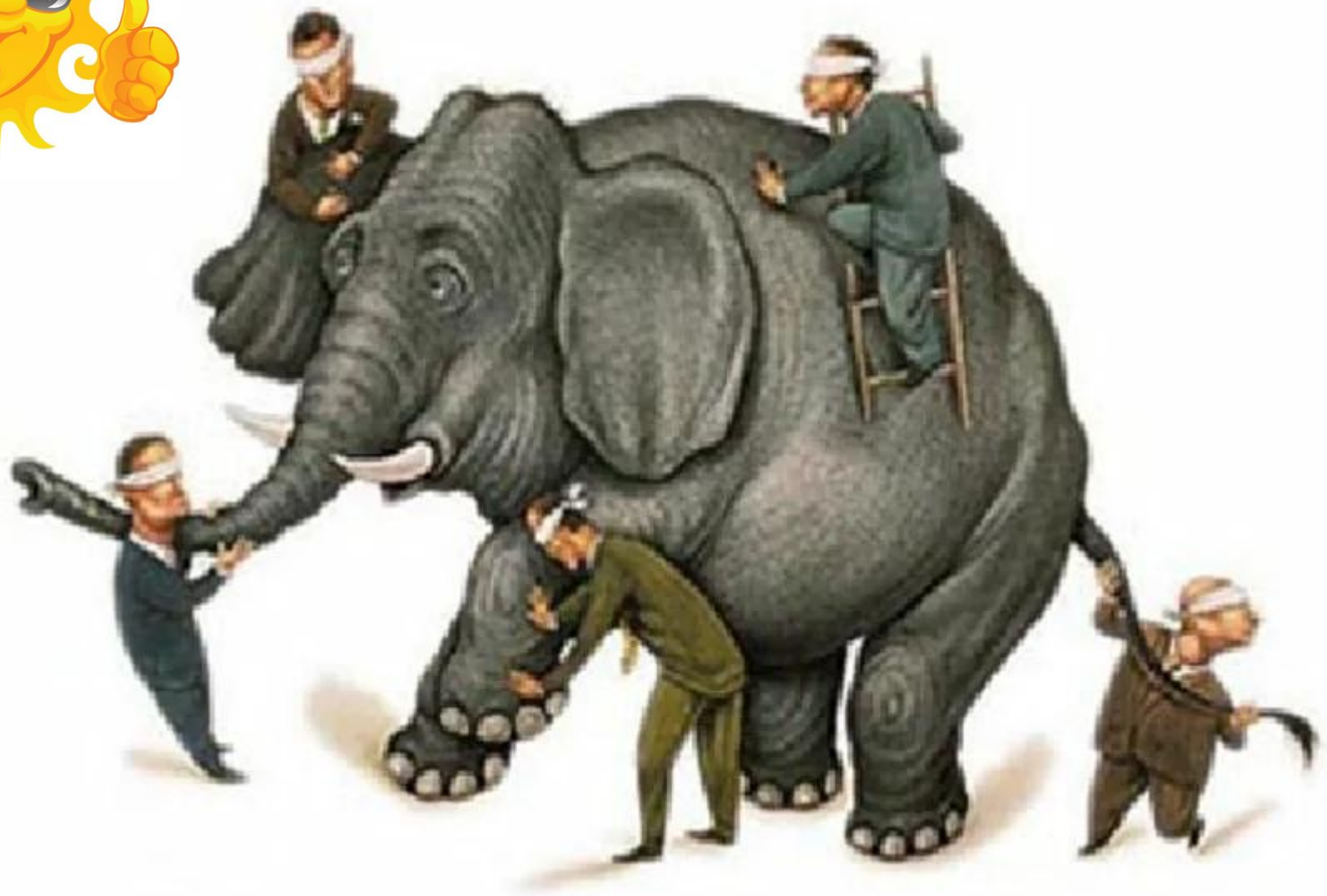
1st edition | View latest edition

Authors: H. W. Dodson , E. R. Hedeman , R. W. Kreplin , M. J. Martres , V. N. Obridko , M. A. Shea , D. F. Smart , H. Tanaka

Editors: Z. Švestka (Chairman), P. Simon

IMP 1-4, Pioneer 6-9, Mariner 4, etc. Explorer 12, 33, HEOS, Vela 4, Ven 2, 6, Zond, bal.

История группы Каталог и краткое описание Каталога



В начале 1980-х годов решением секции «Диагностика и прогнозирование солнечных протонных явлений» Совета «Физика солнечно-земных связей» АН СССР была создана межинститутская группа для изучения СПС и составления Каталога СПС, которую возглавил профессор НИИЯФ МГУ Юрий Иванович Логачев.

Отличительные особенности нашего каталога:

- Самый длинный ряд данных с охватом разных спутниковых, стратосферных и наземных измерений;
- Наличие таблиц потоков солнечных протонов разных энергий в максимуме временного профиля события и таблиц сопровождающего радиоизлучения;
- Наличие графиков временных профилей СПС, энергетических спектров максимумов потоков, частотных спектров радиоизлучения.

Содержание Каталогов

- Общая информация о событии – время начала и максимумов потоков солнечных протонов их квази-максимальная энергия, источники на Солнце.
- Графики временных зависимостей индукции ММП, скорости солнечного ветра и Dst индекса во время СПС
- Таблицы потоков солнечных протонов с E>10 МэВ в максимуме временного профиля по данным разных измерений.
- Графики энергетических спектров солнечных протонов в максимумах временного профиля.
- Графики потоков протонов нескольких энергий по данным разных космических аппаратов (КА).
- Таблицы характеристик сопутствующих электромагнитных излучений и частотный спектр радиоизлучения.
- Характеристики активных областей, в которых произошли протонные вспышечные события.

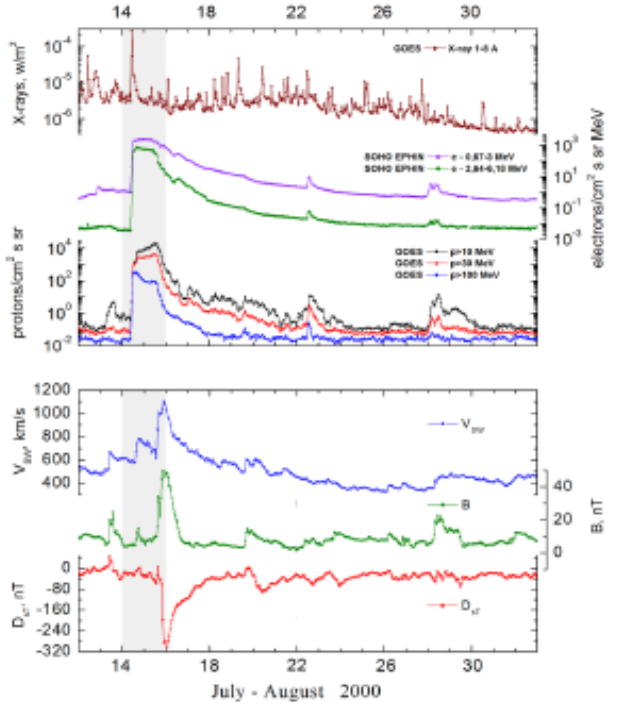
Подробное описание материалов Каталогов, а также список литературы, посвященной анализу протонных событий, включенных в Каталог, дано в начале каждого изданного Каталога.

Event 2000.07.14 – (2000-196) – GLE-59 **№ 372**

Particle event: To(Ep>10 MeV) – 14d10^h
Tmax$_1$(Ep>10 MeV) – 14d18^h, Jmax$_1$(Ep>10 MeV) – 7.2·10^3 cm^2.s.sr
Tmax$_2$(Ep>10 MeV) – 15d13^h, Jmax$_2$(Ep>10 MeV) – 1.8·10^4 cm^2.s.sr
Duration of the event – 2 days
Quasimaximal energy of protons in the event – Eqm$_1$ = 2160 MeV
– Eqm$_2$ = 630 MeV

Sources: • solar flare 14d10^{h}03^m, X5.7/3B, N22W07, AR9077
⊙ solar flare 15d08^{h}20^m, M1.3/SF, N16W12, AR9077
Main X-ray burst 1-8 Å: onset – 14d10^{h}03^m, max – 14d10^{h}24^m, Φ = 0.75 J/m^2
CME: 14d10^{h}54^m, V =1674 km/s, Δφ = 360°, dA = 273°
▲SC14d15^{h}32^m, ▲SC 15d14^{h}37^m

Particle fluxes and associated phenomena



208

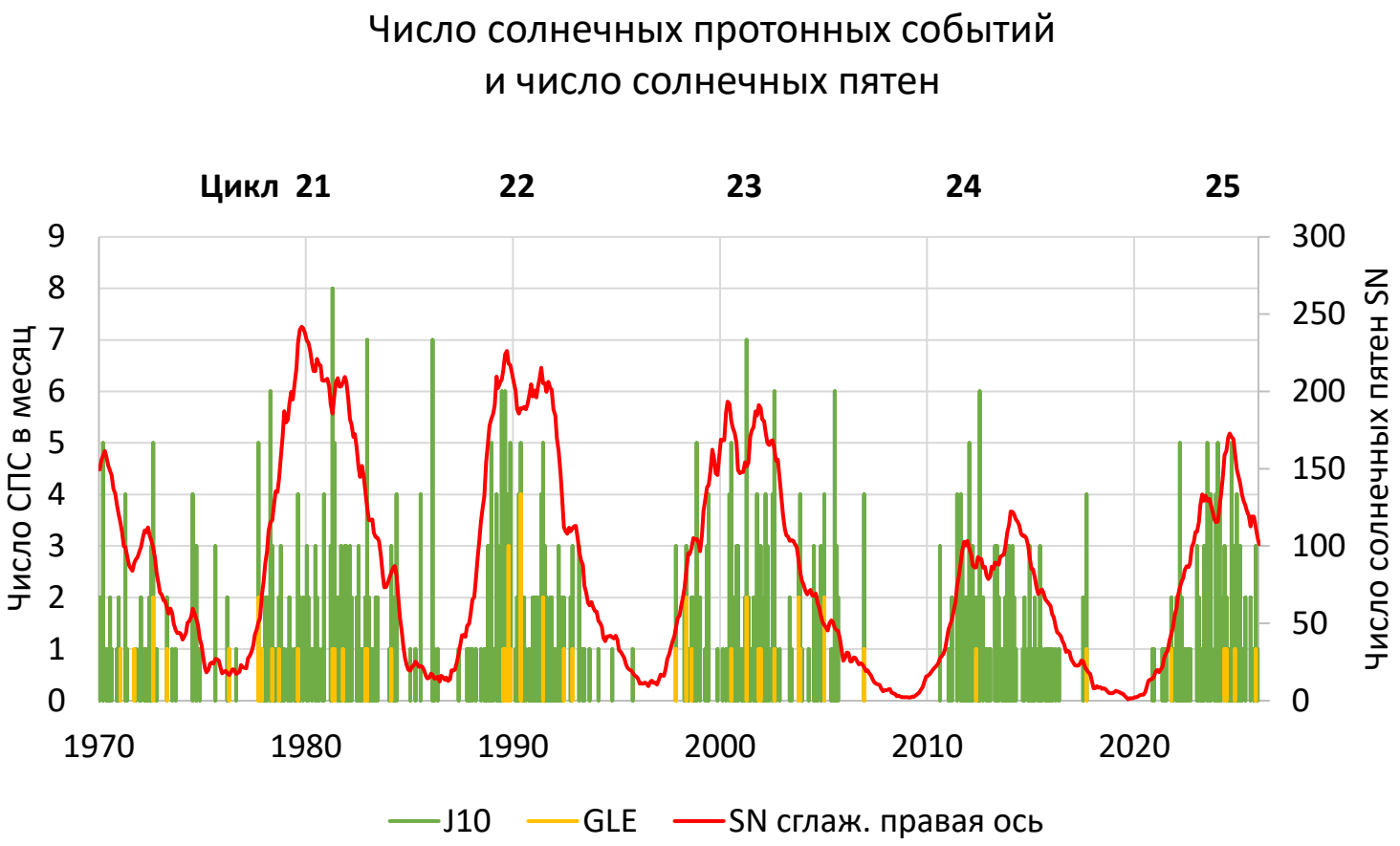
Титульный лист события 14 07 2000 г.

Инструменты для наблюдения солнечных протонных событий

Каталог, годы наблюдений СПС	Космические аппараты, Установки
1970 – 1979 (Цикл 20)	Метеор, Прогноз 1 – 7, Венера 11, 12, IMP 5, 6, 7, 8, NOAA 2, 3, баллоны, нейтронные мониторы, риометры
1980 – 1986 (Цикл 21)	Метеор, Прогноз 8, 10, Венера 13, 16, IMP 8, баллоны, нейтронные мониторы, риометры
1987 – 1996 (Цикл 22)	Метеор, IMP 8, GOES 6, 7, баллоны, нейтронные мониторы, риометры
1996 – 2008 (Цикл 23)	GOES-9 и GOES-10, МЕТЕОР-2, 3М, КОРОНАС-Ф, POES 15, 16, IMP 8, ACE, SOHO, STEREO-A, -B, PAMELA, баллоны, нейтронные мониторы
2009 – 2019 (Цикл 24)	GOES-15, Метеор-М1, -М2, Электро- Л1, -Л2, ACE, SOHO, POES, PAMELA, баллоны, нейтронные мониторы
2020 – 2026… (Цикл 25)	Метеор М2, Электро –Л2, GOES-16, 18, ACE, SOHO, нейтронные мониторы

Статистика событий

- Поведение в 11-летнем цикле солнечной активности
- Распределение СПС по величине потоков протонов
- Энергетические спектры
- Распределение источников по гелиодолготе



Временной ход месячного числа СПС с потоком протонов с *E* >10 МэВ в максимуме временного профиля ≥ 1 см$^{-2}$ с$^{-1}$ ср$^{-1}$, J10; СПС, зарегистрированных наземными нейтронными мониторами, GLE, (https://www.nmdb.eu/) и числа солнечных пятен SN (http://www.sidc.be/silso/datafiles).

Информация о цикле 25 – предварительная!

Число событий СКЛ в Каталогах

Cycle	SN max smo	J10>1 num	j>100 num	GLE num
21 1976-1986	232.9	153	79	13
22 1986-1996	212.5	128	71	15
23 1996-2008	180.3	143	105	16
24 2009-2019	116.4	100	59	2
25 (2020-2025)*	160.9	*95**	*38**	*5*

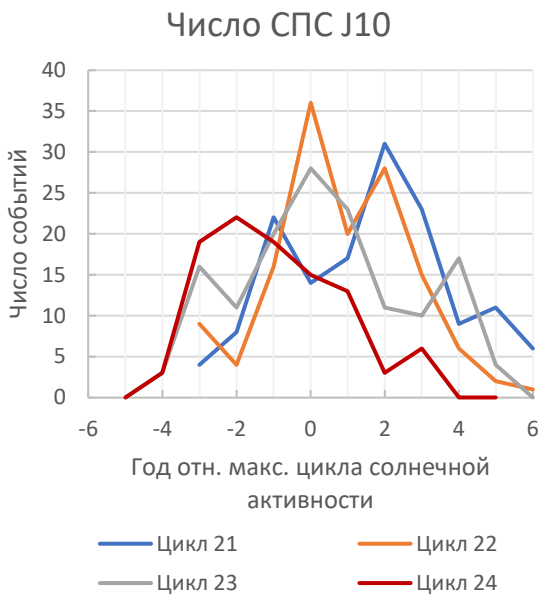
*Cycle 25 – first 6 years. Preliminary

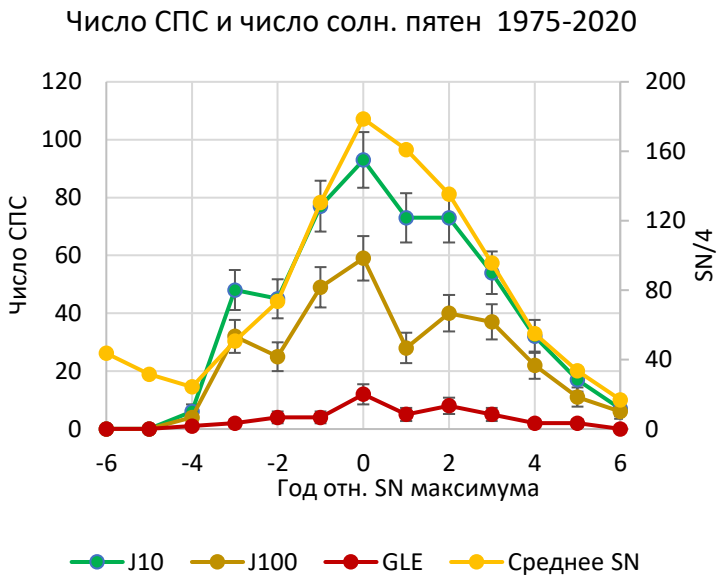
СПС J10:
В 1976-2019 гг. 524
в 1970 - 1976 гг. 55
= 579

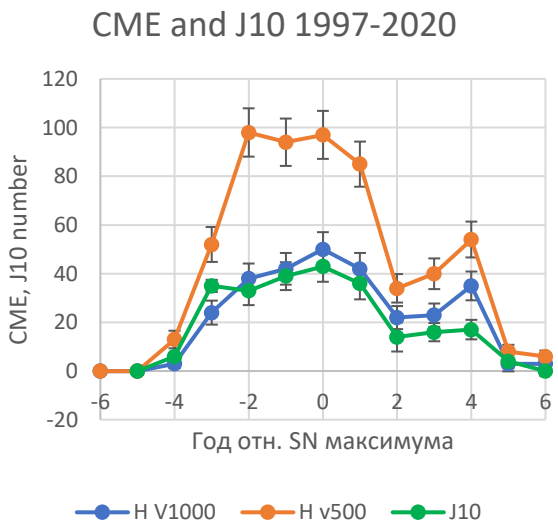
в 2020 -2025 г. 95*
= 674

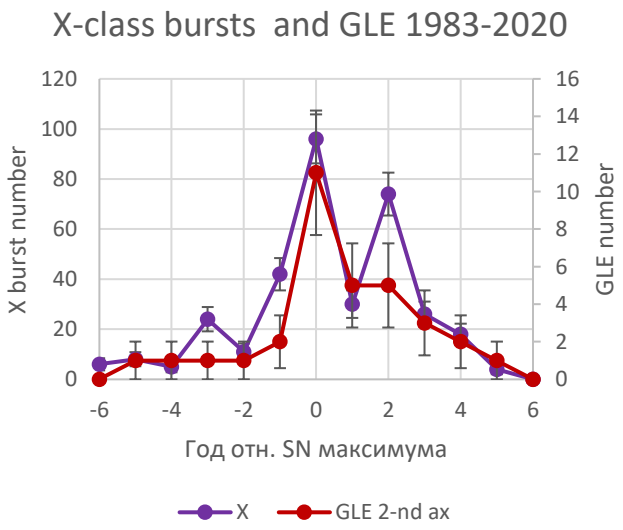
Вопрос: почему так мало GLE в цикле 24?

Информация о цикле 25 – предварительная



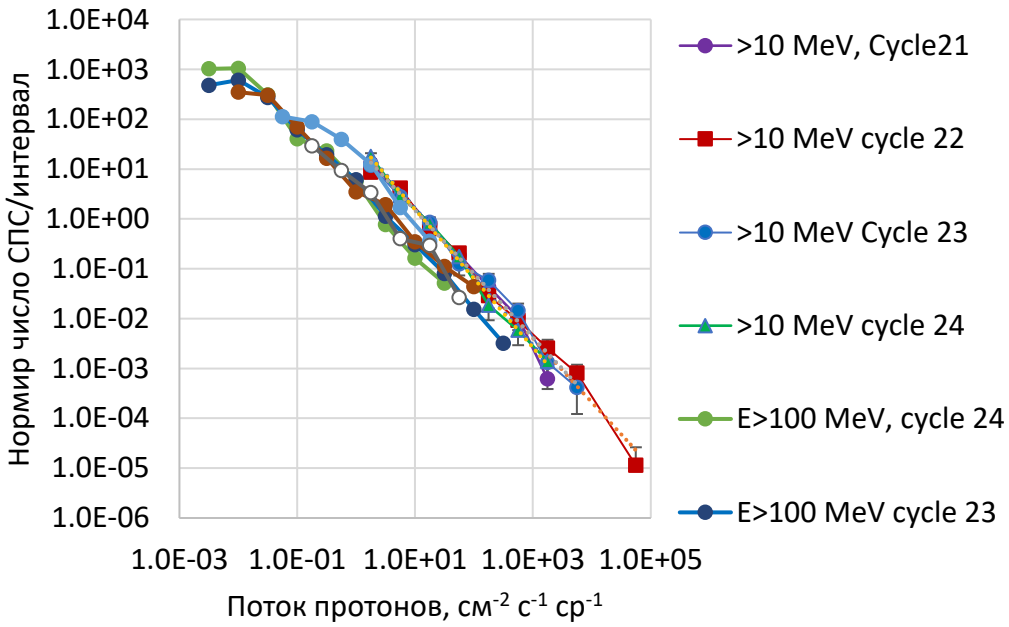






Почему макс. СПС в циклах 24 и 21 не совпадают с максимумом числа пятен?

Распределение СПС по величине макс потока, норм по суммарному числу событий



Van Hollebeke, Ma SUNG, and McDonald *Solar Physics* 41 (1975) 189-223. 20-80 MeV, α=1.10±0.05.

Kurt et al., 2004. 10 MeV, α=1.1-1.36

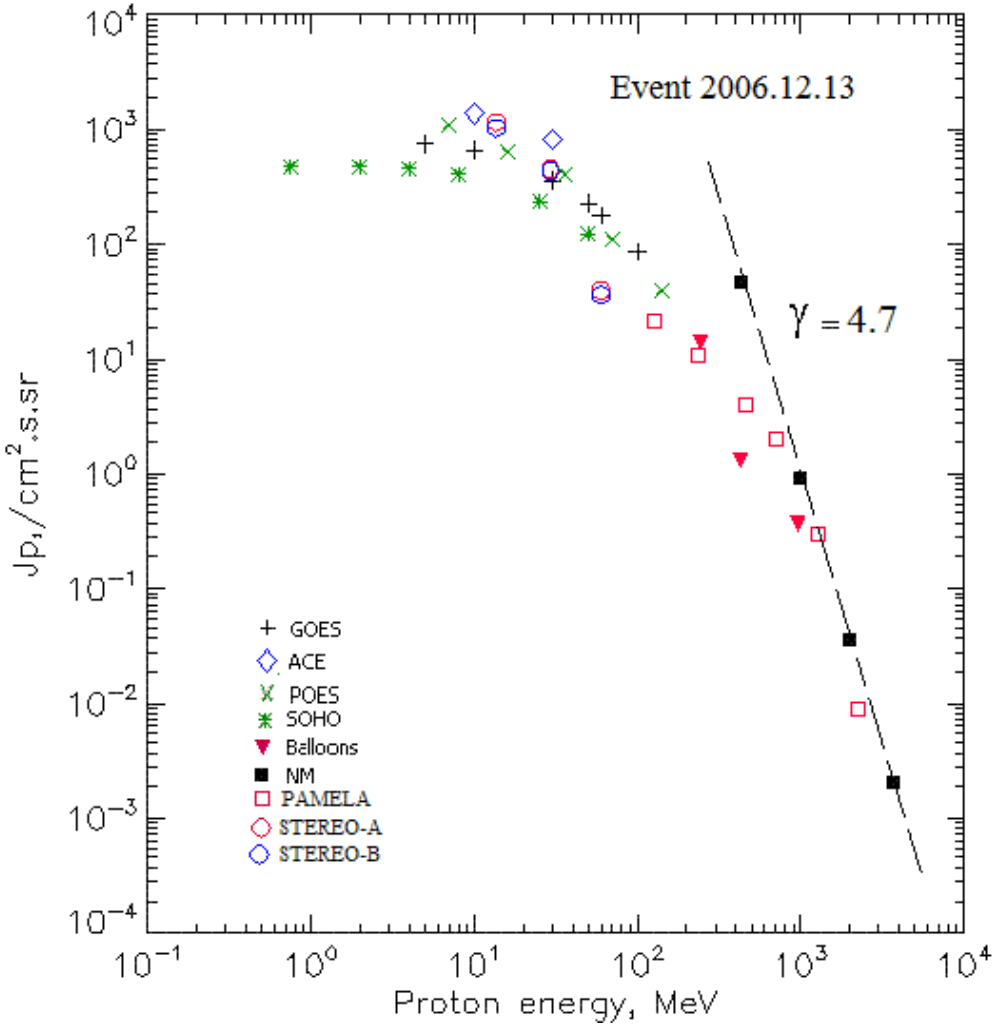
Belov et al. 2005, SoPh, 229, 135. 10 MeV, α=1.37±0.03 and 100 MeV α = 1.47±0.06.

$$dN/dJ=A\ J^{-\alpha}$$

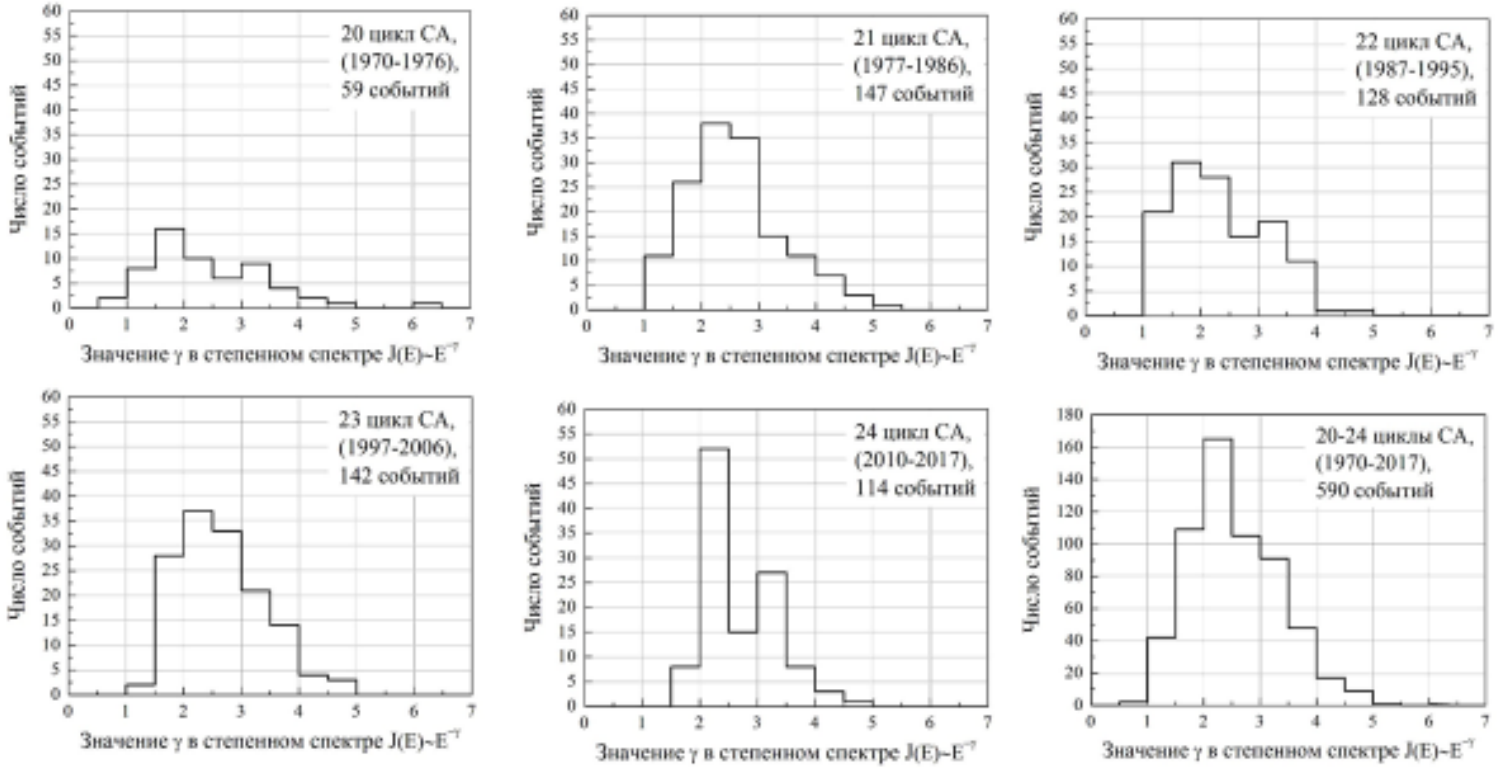
	α		α		N10/
	>10 MeV	N10	>100 MeV	N100	N100
cycle 21	**-1.38**	151			
cycle 22	**-1.29**	127	**-1.05**	16	2.40
cycle 23	**-1.27**	141	**-1.1**	66	1.55
cycle 24	**-1.39**	100	**-1.16**	41	1.75

Bruno et al. 2018		Miroshnichenko et al.,2001		
PAMELA		IC+NM+MET		
2006-2014		1942-1992		
>80MeV	N	>433 MeV	N	
α		α		
-1.04	26	**-1.18**	35	

При увеличении энергии протонов распределение становится более пологим


Event 2006.12.13
γ = 4.7
GOES
ACE
POES
SOHO
Balloons
NM
PAMELA
STEREO-A
STEREO-B
Jp,/cm².s.sr
Proton energy, MeV

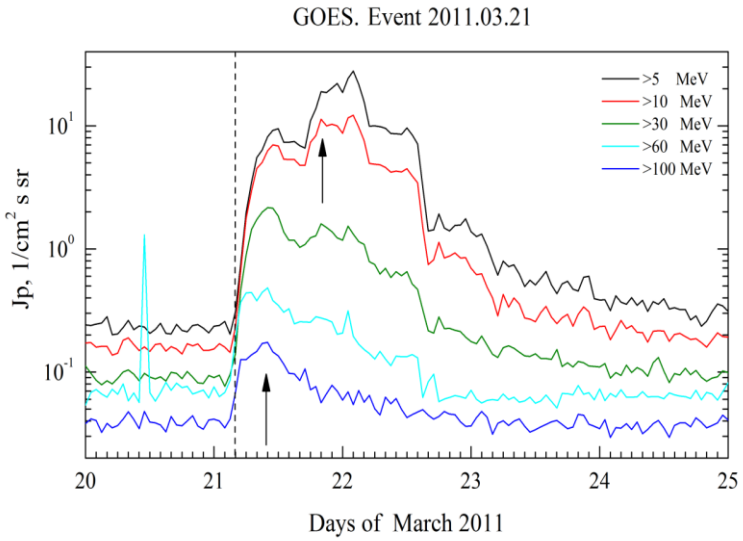
Распределения показателей интегральных энергетических спектров СПС для 20÷24 циклов СА и общего в1970 - 2019 г

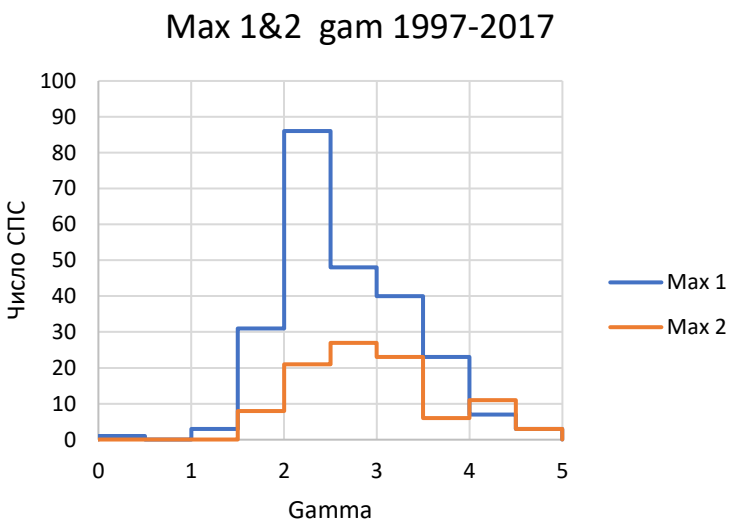


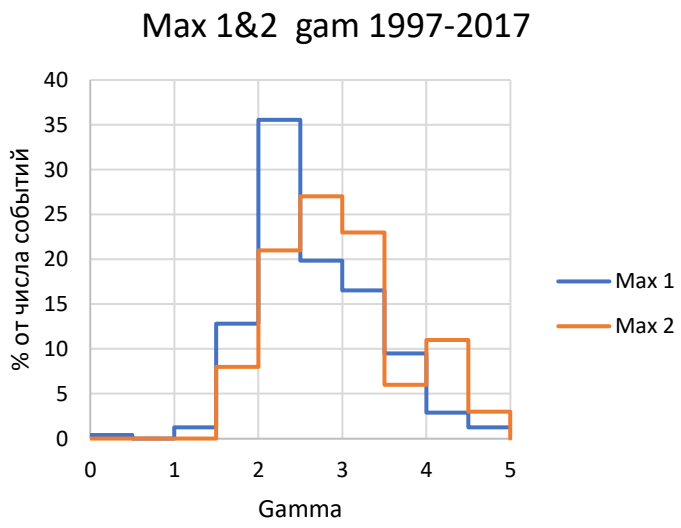
События с потоками Jp(>10 MeV) ≥ 1/см^2.с.стер., зарегистрированные вблизи Земли. Аппроксимация степенной функцией при E≤100 МэВ - Jp(E) ~ E$^{-\gamma}$. Точность значения γ составляла, как правило, γ ± 0.1

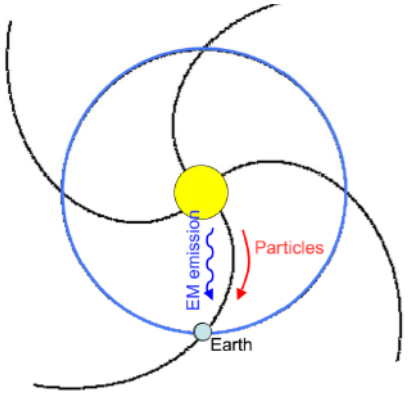
8

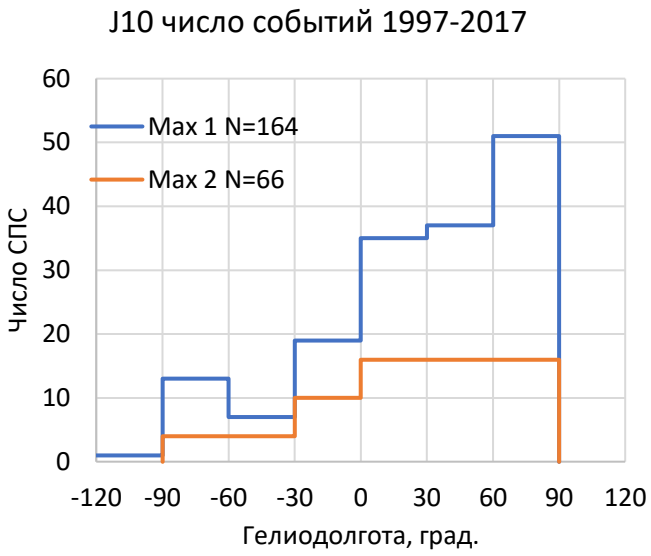
Перспективы работы с энергетическими спектрами: Исследовать диапазон E> 100 МэВ; зависимость от координат вспышки, от мощности СПС по потокам; связь с радиоизлучением


GOES. Event 2011.03.21
>5 MeV
>10 MeV
>30 MeV
>60 MeV
>100 MeV
Jp, 1/cm² s sr
10¹
10⁰
10⁻¹
20
21
22
23
24
25
Days of March 2011

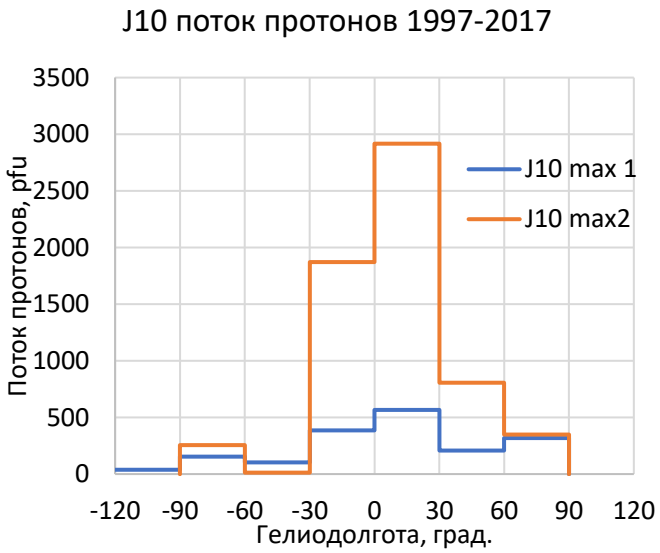

Max 1&2 gam 1997-2017
Число СПС
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
1
2
3
4
5
Gamma
Max 1
Max 2

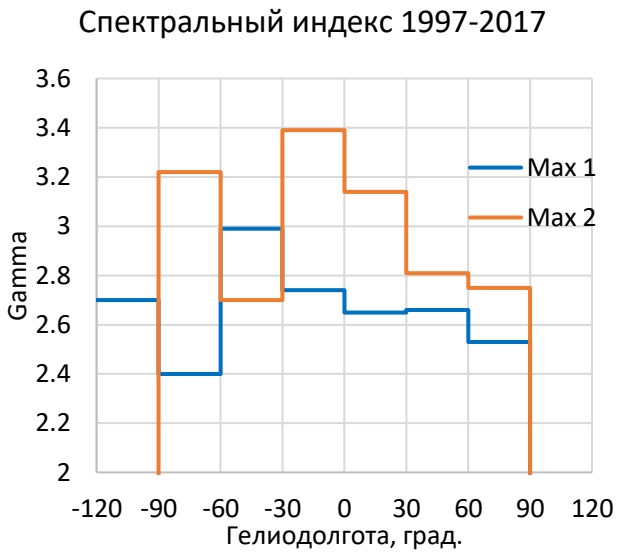

Max 1&2 gam 1997-2017
% от числа событий
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
1
2
3
4
5
Gamma
Max 1
Max 2

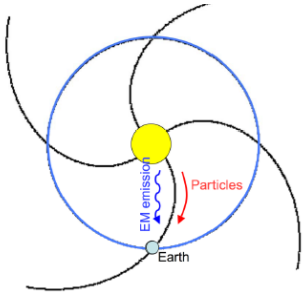




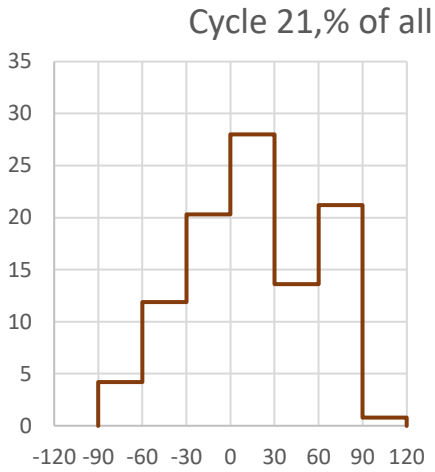
Max 2 наблюдается в ~ 30 % СПС, среди них больше восточных событий. Но средние потоки частиц в нем больше.

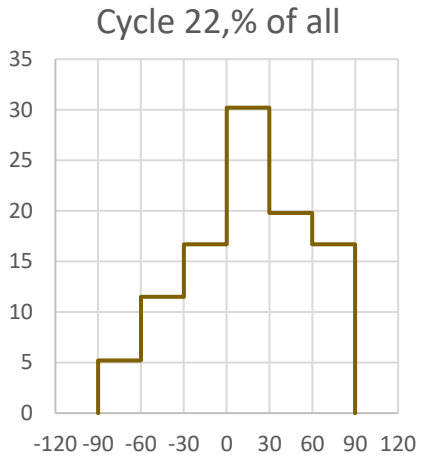


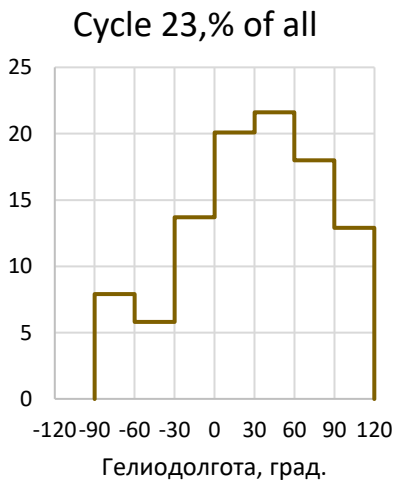


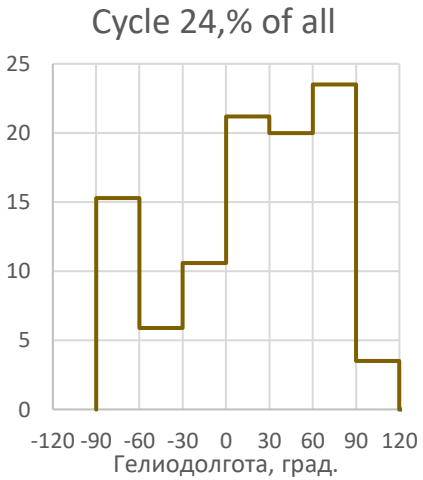


В циклах 23 и 24 максимум долготного распределения сдвигается к западу.

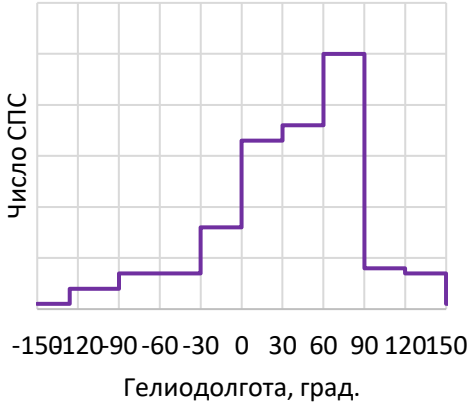


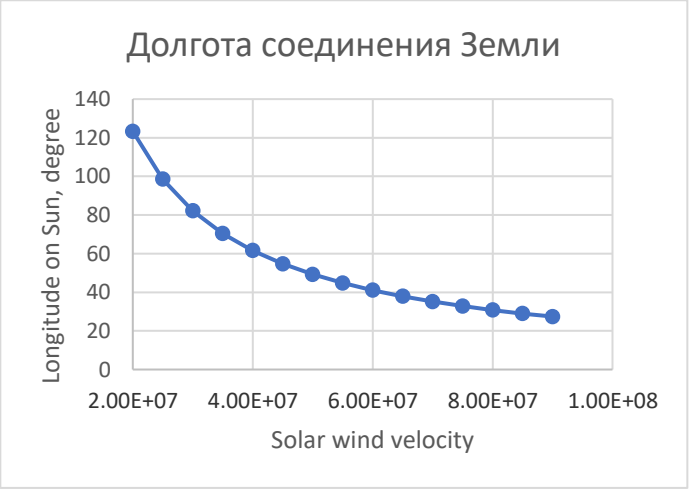






NASA J10>~10 pfu 1997-2025





Современное направление работы группы: СКЛ в межпланетной среде, модуляция потоков СКЛ структурами солнечного ветра. Работа в этом направлении ведется под руководством Н.А Власовой. Некоторые публикации на эту тему:

Власова Н.А., Базилевская Г.А., Гинзбург Е.А., Дайбог Е.И., Калегаев В.В., Капорцева К.Б., Логачев Ю.И., Мягкова И.Н. Потоки солнечных энергичных протонов в околоземном пространстве 13-23 марта 2023 г**.** // Космические исследования. 2024. Т. 62. № 2. С. 177-188.

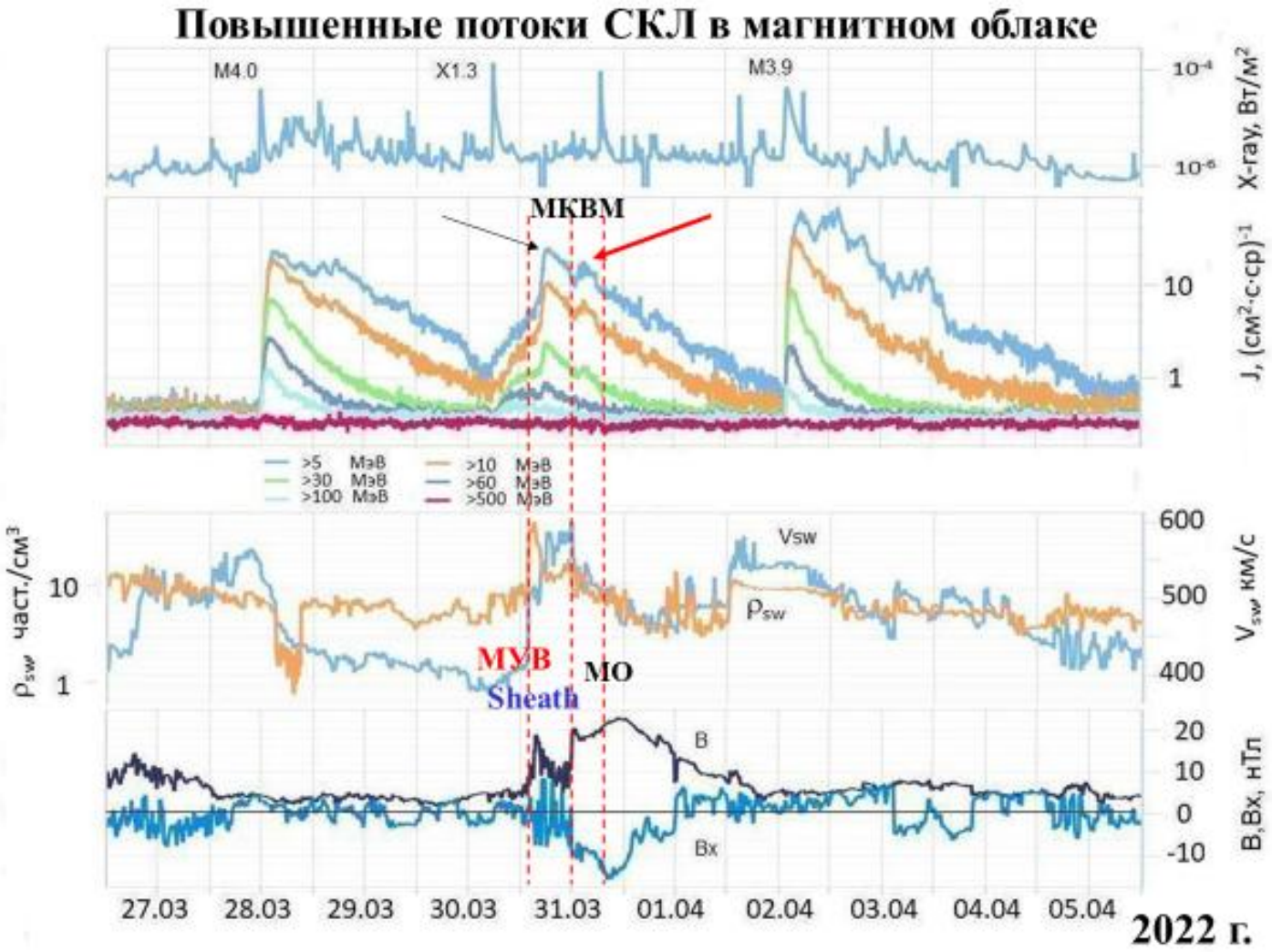
Базилевская Г.А., Власова Н.А., Гинзбург Е.А., Дайбог Е.И., Калегаев В.В., Капорцева К.Б., Логачев Ю.И., Мягкова И.Н. Некоторые особенности солнечного протонного события 27.08.2022 // Известия РАН. Сер.Физ. 2025.Т. 89. №6. С. 882–885.

Власова Н.А., Базилевская Г.А., Гинзбург Е.А., Дайбог Е.И., Дмитриев А.В., Калегаев В.В., Капорцева К.Б., Логачев Ю.И., Мягкова И.Н., Суворова А.В.65 Влияние области взаимодействия потоков солнечного ветра на протонное событие 27.08.2022 // Геомагнетизм и аэрономия. №5. С.569-581**.**

Власова Н.А., Базилевская Г.А., Гинзбург Е.А., Дайбог Е.И., Калегаев В.В., Капорцева К.Б., Логачев Ю.И., Мягкова И.Н. Влияние процессов на Солнце и в межпланетной среде на солнечное протонное событие 30.03.2022 // Геомагнетизм и аэрономия. 2025. Т. 65. №1. С. 25-39.

Дмитриев А.В., Базилевская Г.А., Власова Н.А., Гинзбург Е.А., Дайбог Е.И., Капорцева К.Б., Логачев Ю.И., Мягкова И.Н., Суворова А.В. Солнечные энергичные протоны в межпланетной среде и в околоземном пространстве 8–11 мая 2024 г. // Космические исследования, 2026. Т.64, с. 70–85.

Из доклада А. Дмитриева на этой конференции 29.06.2026



Власова Н.А., Базилевская Г.А., Гинзбург Е.А., Дайбог Е.И., Калегаев В.В., Капорцева К.Б., Логачев Ю.И., Мягкова И.Н. Влияние процессов на Солнце и в межпланетной среде на солнечное протонное событие 30.03.2022 // Геомагнетизм и аэрономия, 2025. Т. 65. №1. С. 25-39 DOI: 10.31857/S0016794025010031

Из доклада А. Дмитриева на этой конференции 29.06.2026

Проблемы:

- Определение начала ускорения на Солнце с точностью ~1 мин
- Природа вариаций СКЛ на межпланетных разрывах
- Природа формирования локальных возрастаний СКЛ в связи с МКВМ: где и как?

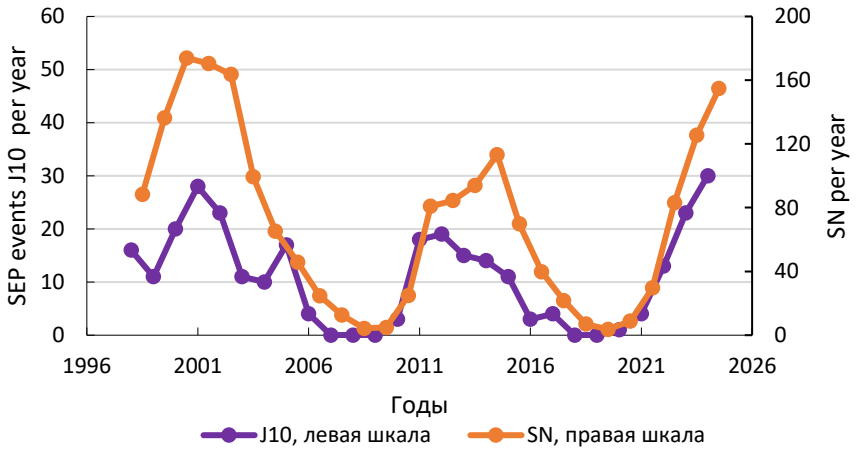
1. Для МУВ: Почему СКЛ иногда накапливаются перед/на МУВ, а иногда за ней, в переходной области (шисе)?
2. Для магнитного облака (МО): Почему в некоторых МО СКЛ накапливаются, и потоки их возрастают, а в других поток СКЛ, наоборот, падает?

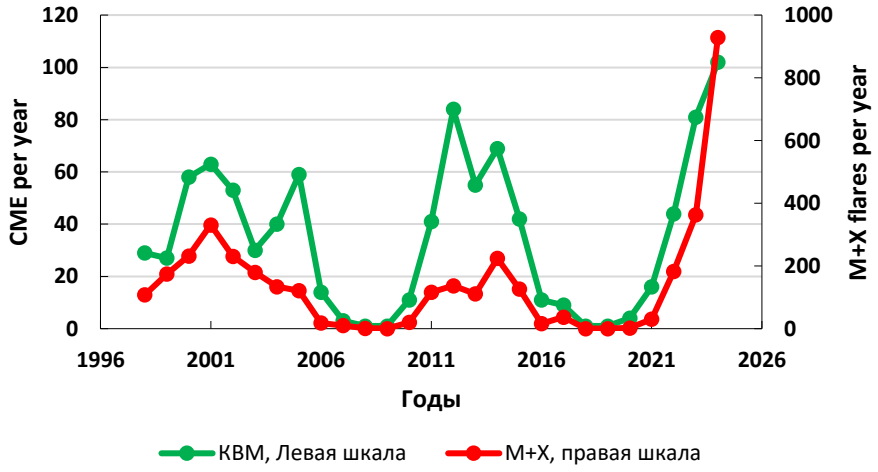
Задачи для измерения солнечных протонов:

- с энергиями от единиц до 500 МэВ
- с временным разрешением порядка минуты
- с высокой чувствительностью (низкий фон)
в широком дин. диапазоне от 10^{-5} до 10^{5} (см^{2} с ср МэВ)$^{-1}$
т.е. в межпланетной среде (L1, Луна, L2)

Основной дискуссионный вопрос в проблеме СКЛ – происхождение ускоренных частиц

Годовые значения числа солнечных пятен, вспышек, КВМ и СПС J10

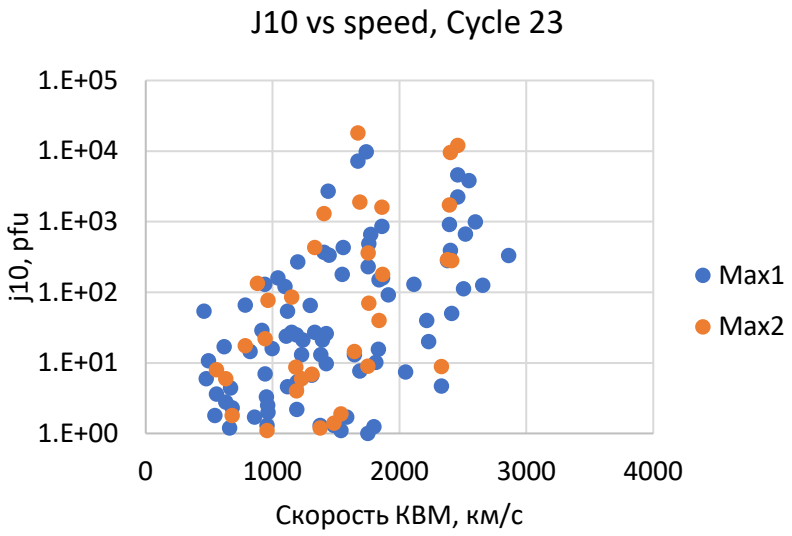


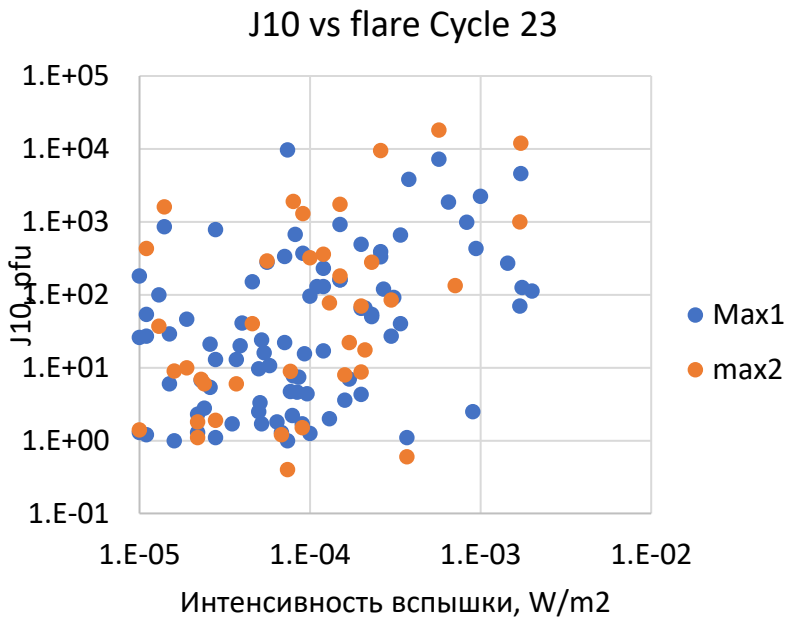


Сравнение временного хода

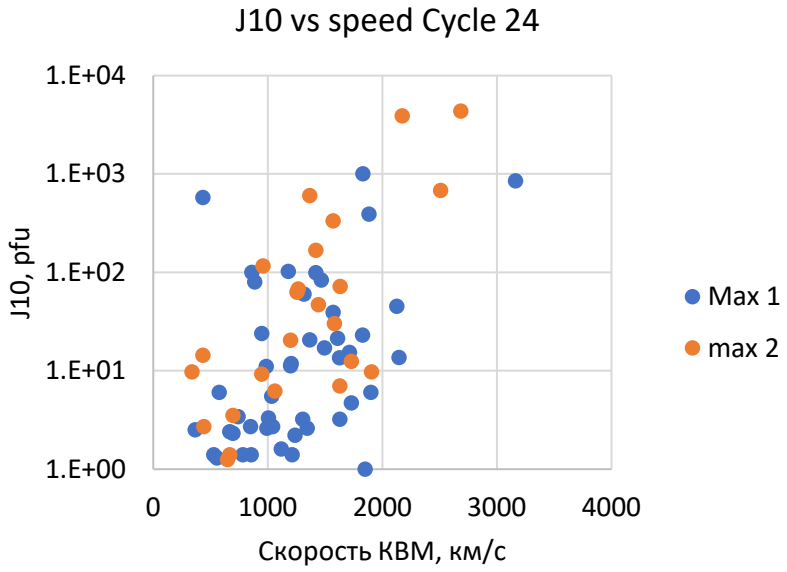
Проблемы: почему макс. число СПС в цикле 24 на 2 года раньше макс. числа пятен?

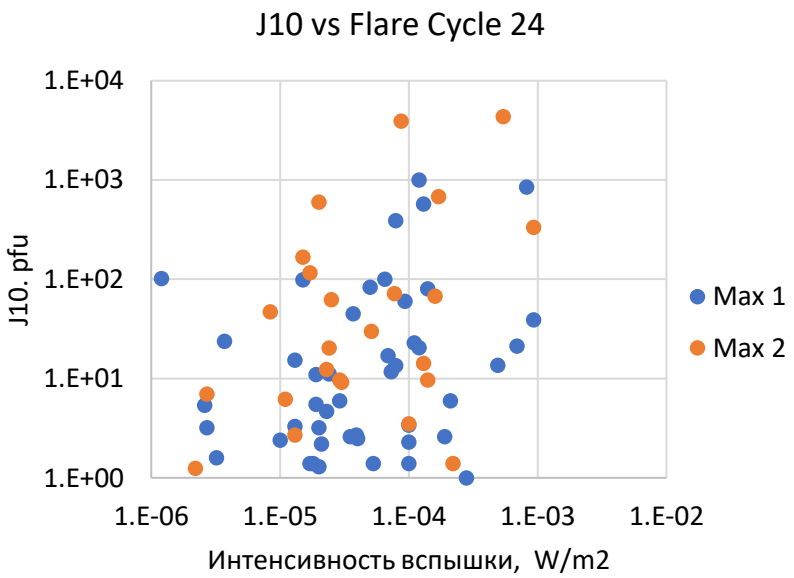
Почему рост вспышек класса M не отразился на числе СПС?



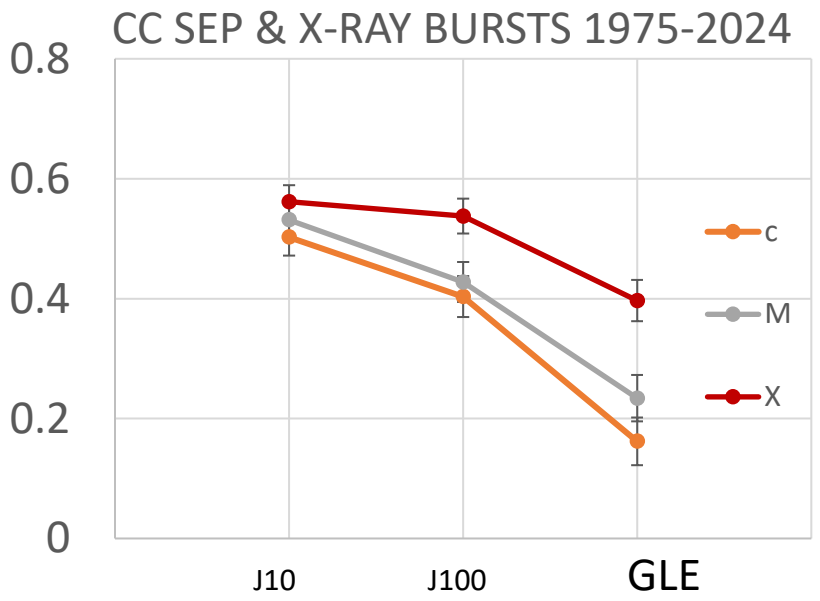


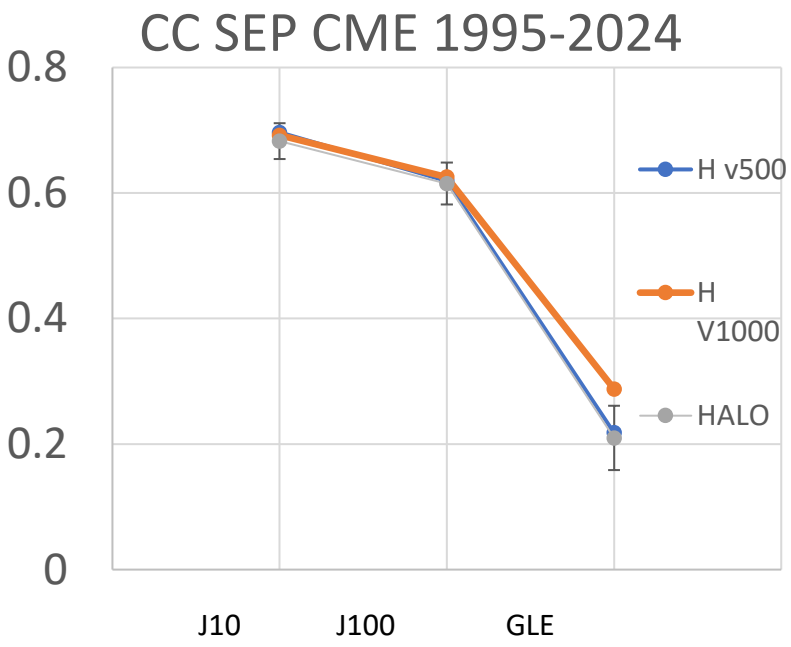
Коэфф. корреляции	Cycle 23	
	J10, flare	J10, speed
max1	0.22± 0.10	0.26± 0 20
max2	0.48± 0.12	0.36± 0.11
	Cycle 24	
max1	0.30± 0.12	0.39± 0.11
max2	0.34± 0.19	0.61± 0.14





Выделяется только CC (J10, speed, max2)





GLE гораздо слабее связаны с КВМ и ударными фронтами, чем J10 и J100

Вклад вспышки растет с увеличением энергии протонов

Цикл	Вспышки M	J10	Отношение
21	2182	153	14.26
22	2022	128	15.80
23	1440	143	10.07
24	738	100	7.38
25	1600	84	19.05

Цикл	Число вспышек X	Число событий GLE	Отношение
21	168	13	12.92
22	153	15	10.20
23	125	16	7.81
24	49	2	24.50
25	83	5	16.60

Половина или больше СПС связана со вспышками класса M.
Практически все СПС связаны с КВМ с начальной скоростью выше 500 км/с.
Число вспышек многократно превышает число СПС
Число КВМ находится в разумном согласии с числом СПС, учитывая, что часть КВМ не регистрируется.

Цикл	КВМ V500	СПС J10	Отношение
23	324	143	2.27±0.23
24	254	100	2.54±0.30
25	227	84	2.70±0.35

Информация о цикле 25 – предварительная!

СИНДРОМ
БОЛЬШОЙ
ВСПЫШКИ
НОВЫЕ
ГОРИЗОНТЫ
ДАЛЬНЕЙШИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ

Заключение

- Серия каталогов солнечных протонных событий (СПС) под редакцией Ю.И. Логачева охватывает самый длинный период наблюдений СПС.
- Изучение полученной информации только начинается и показывает много направлений для дальнейших исследований. Особенно перспективным является изучение характеристик СКЛ, наблюдаемых в межпланетном пространстве.
- До сих пор не найден необходимый и достаточный фактор, отвечающий за появление СПС. Нет однозначного соответствия между СПС и основными кандидатами в их источники – вспышками и КВМ.

- ❑ - Основной вклад в потоки протонов с E > 10 МэВ дает ускорение, связанное с КВМ.
- ❑ - Основной вклад в потоки протонов высоких энергий (~ >1 ГэВ) дают процессы, связанные с вспышкой.
- ❑ -Вспышка и процессы в короне определенно играют роль в генерации протонов с E>10МэВ – это видно по различию энергетических спектров в максимуме события в начальной фазе и во вторичных максимумах: первый максимум несет информацию о процессах вблизи Солнца, второй максимум, как правило, коррелирует со структурами солнечного ветра.

Спасибо за внимание!