



Солнечные протонные события

1970 – 2024 гг.

(55 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/>



Ю.П. Логачев, Г.А. Базилевская, Э.В. Ващенко, Е.И. Дайбог, В.Н. Ишков,
Л.Л. Лазутин, Л.В. Мирошниченко, М.Н. Назарова, И.Е. Петренко,
А.Г. Ступин, Г.М. Сурова, О.С. Яковчук

Каталог

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

Москва – 2016

Ю.П. Логачев, Г.А. Базилевская, И.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.)

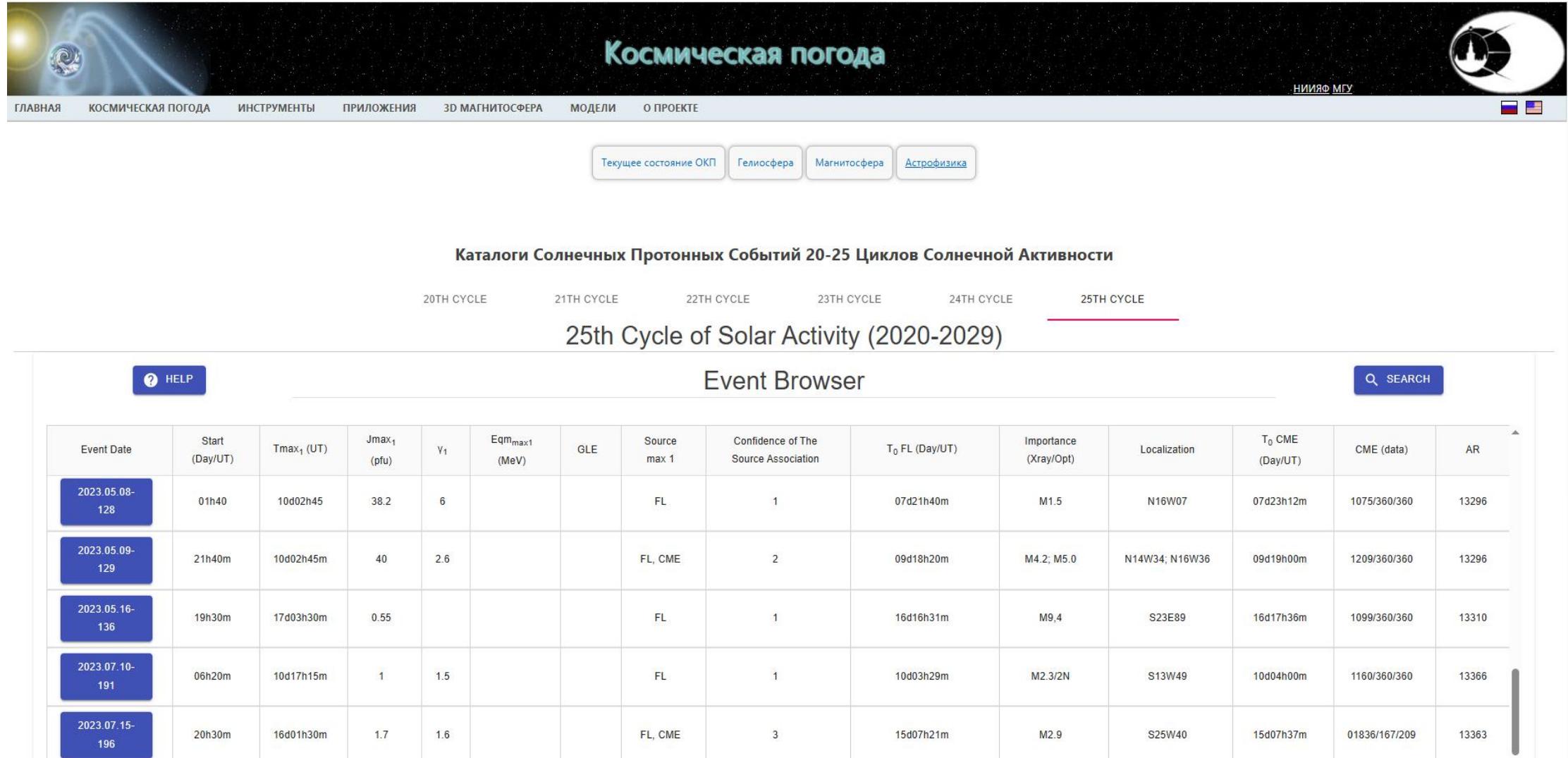
Москва – 2022

Каталоги циклов 23 и
24 в pdf формате

На сайте Центра данных оперативного космического мониторинга НИИЯФ МГУ

[<http://smdc.sinp.msu.ru>] в разделе «Космическая погода» помещен электронный вариант Каталогов

СПС 24 и 25 циклов СА [http://swx.sinp.msu.ru/apps/sep_events_cat/index.php?gcm=1&lang=en]



Космическая погода

НИИЯФ МГУ

ГЛАВНАЯ КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА ИНСТРУМЕНТЫ ПРИЛОЖЕНИЯ 3Д МАГНИТОСФЕРА МОДЕЛИ О ПРОЕКТЕ НИИЯФ МГУ

Текущее состояние ОКП Гелиосфера Магнитосфера Астрофизика

Каталоги Солнечных Протонных Событий 20-25 Циклов Солнечной Активности

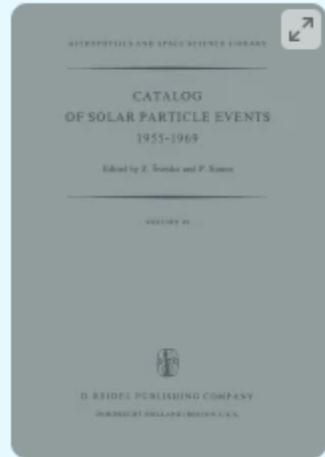
20TH CYCLE 21TH CYCLE 22TH CYCLE 23TH CYCLE 24TH CYCLE 25TH CYCLE

25th Cycle of Solar Activity (2020-2029)

Event Browser

Event Date	Start (Day/UT)	Tmax ₁ (UT)	Jmax ₁ (pfu)	Y ₁	Eqmax ₁ (MeV)	GLE	Source max 1	Confidence of The Source Association	T ₀ FL (Day/UT)	Importance (Xray/Opt)	Localization	T ₀ CME (Day/UT)	CME (data)	AR
2023.05.08-128	01h40	10d02h45	38.2	6			FL	1	07d21h40m	M1.5	N16W07	07d23h12m	1075/360/360	13296
2023.05.09-129	21h40m	10d02h45m	40	2.6			FL, CME	2	09d18h20m	M4.2; M5.0	N14W34; N16W36	09d19h00m	1209/360/360	13296
2023.05.16-136	19h30m	17d03h30m	0.55				FL	1	16d16h31m	M9.4	S23E89	16d17h36m	1099/360/360	13310
2023.07.10-191	06h20m	10d17h15m	1	1.5			FL	1	10d03h29m	M2.3/2N	S13W49	10d04h00m	1160/360/360	13366
2023.07.15-196	20h30m	16d01h30m	1.7	1.6			FL, CME	3	15d07h21m	M2.9	S25W40	15d07h37m	01836/167/209	13363

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. Obrikko](#), [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.

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

СПС 1970-1979 гг. С.Т. Акиньян (ИЗМИРАН), Г.А. Базилевская (ФИАН), Э.В. Ващенюк (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. Ващенюк (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. Ващенюк (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)

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.

Данная работа анализирует **только число солнечных протонных событий 1970-2024 гг.**

J10 - СПС с потоком протонов с $E > 10$ МэВ в максимуме временного профиля $\geq 1 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ср}^{-1}$

J100 - СПС, в которых зарегистрированы протоны с $E > 100$ MeV

GLE – СПС, зарегистрированные наземными нейтронными мониторами

Event 2000.07.14 – (2000-196) – GLE-59

№ 372

Particle event: To($E_p > 10$ MeV) – 14d10^b

Tmax₁($E_p > 10$ MeV) – 14d18^b, Jmax₁($E_p > 10$ MeV) – 7.2·10³ cm².s.sr

Tmax₂($E_p > 10$ MeV) – 15d13^b, Jmax₂($E_p > 10$ MeV) – 1.8·10⁴ cm².s.sr

Duration of the event – 2 days

Quasimaximal energy of protons in the event – Eqm₁ = 2160 MeV

– Eqm₂ = 630 MeV

Sources: • solar flare 14d10^b03^a, X5.7/3B, N22W07, AR9077

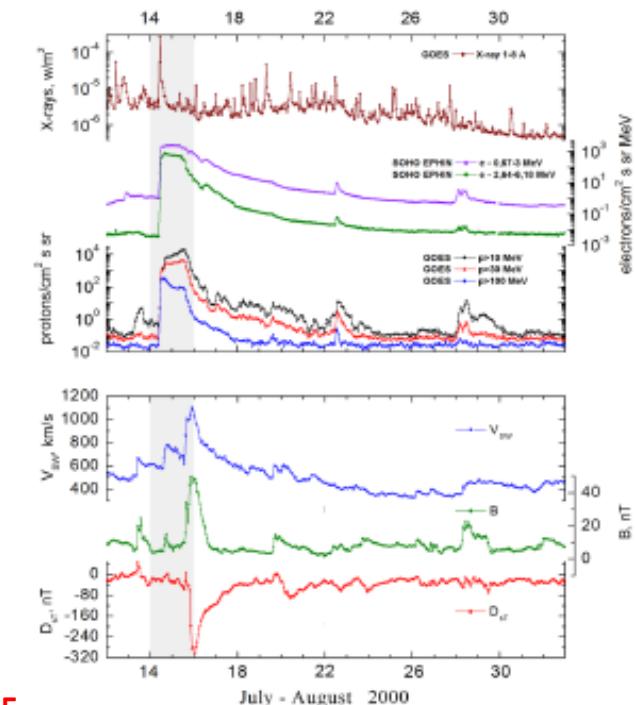
○ solar flare 15d08^b20^a, M1.3/SF, N16W12, AR9077

Main X-ray burst 1-8 Å: onset – 14d10^b03^a, max – 14d10^b24^a, $\Phi = 0.75 \text{ J/m}^2$

CME: 14d10^b54^a, $V = 1674 \text{ km/s}$, $\Delta\phi = 360^\circ$, $dA = 273^\circ$

▲ SC 14d15^b32^a, ▲ SC 15d14^b37^a

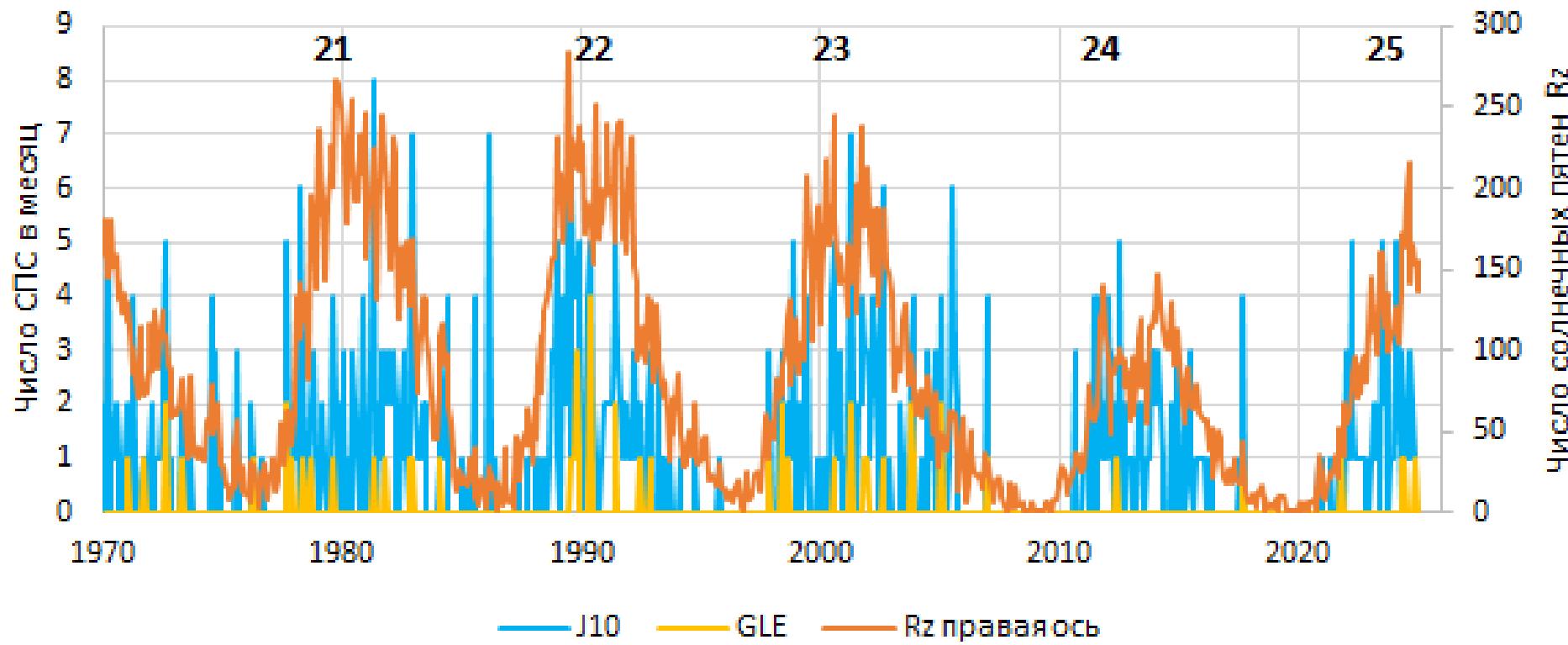
Particle fluxes and associated phenomena



208

Титульный лист события 14
07 2000 г.

Число солнечных протонных событий и Rz

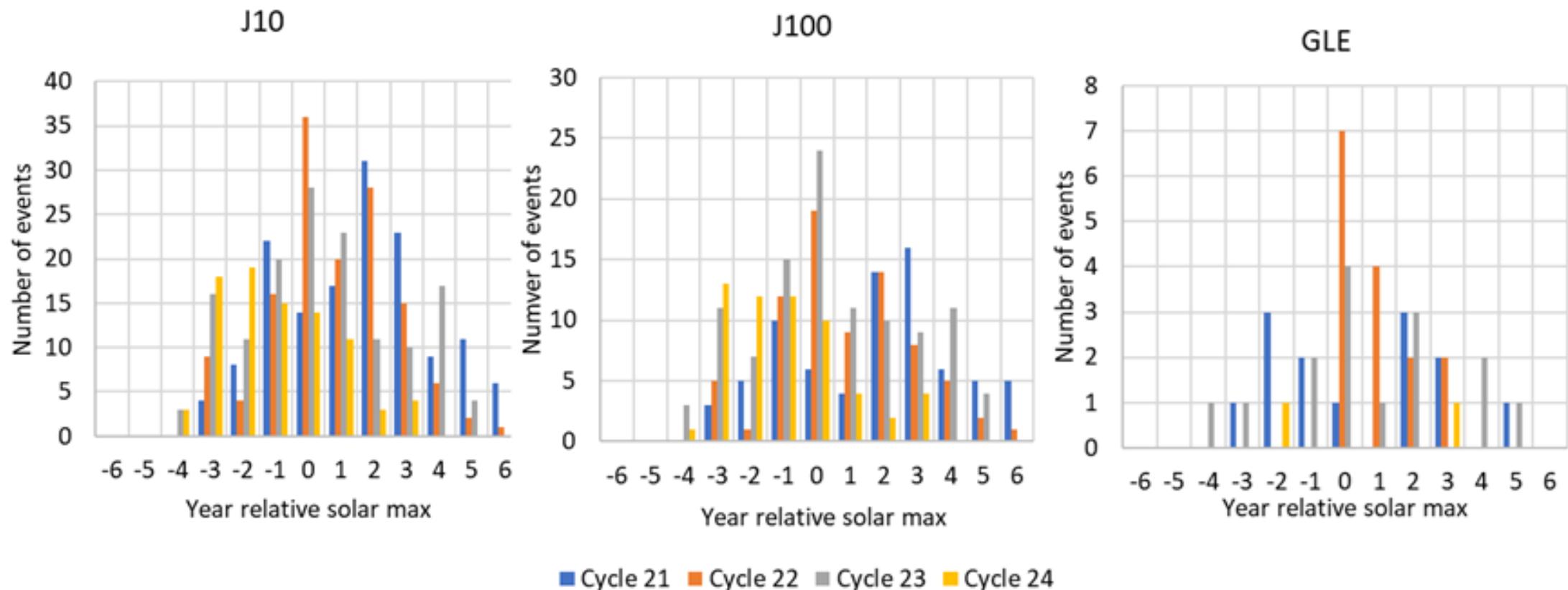


J10 - СПС с потоком протонов с $E > 10$ МэВ в максимуме временного профиля $\geq 1 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ср}^{-1}$

GLE – СПС, зарегистрированные наземными нейтронными мониторами

Rz – число солнечных пятен (<http://www.sidc.be/silso/datafiles>)

Распределение СПС по годам внутри 11-летнего солнечного цикла



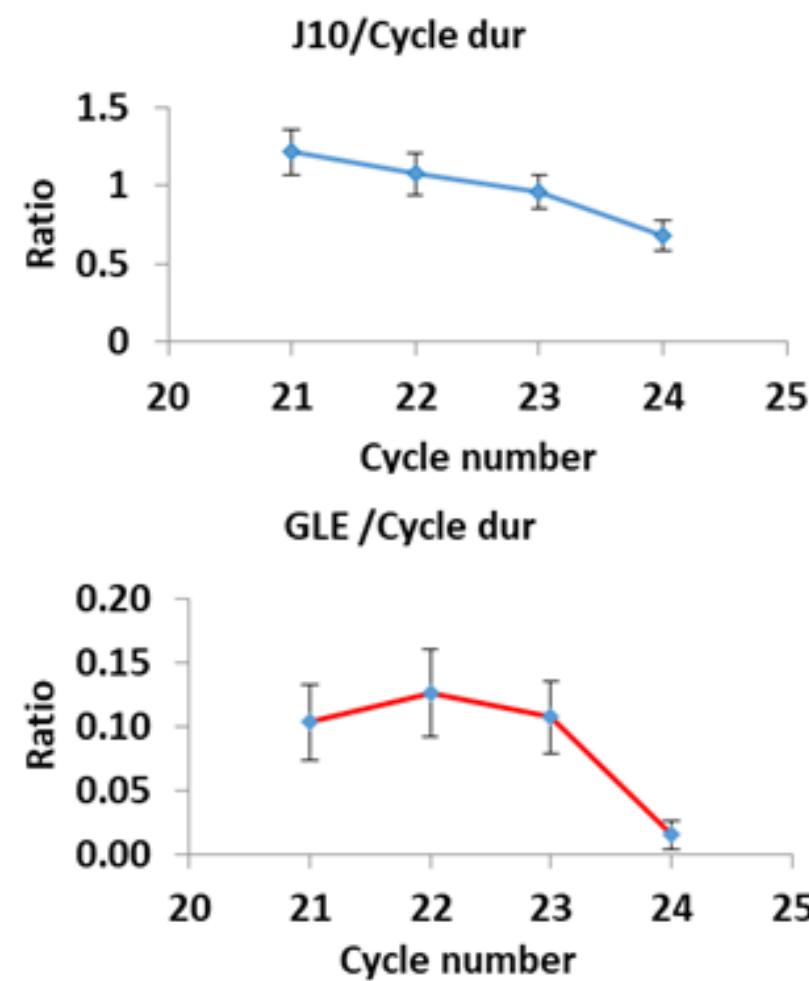
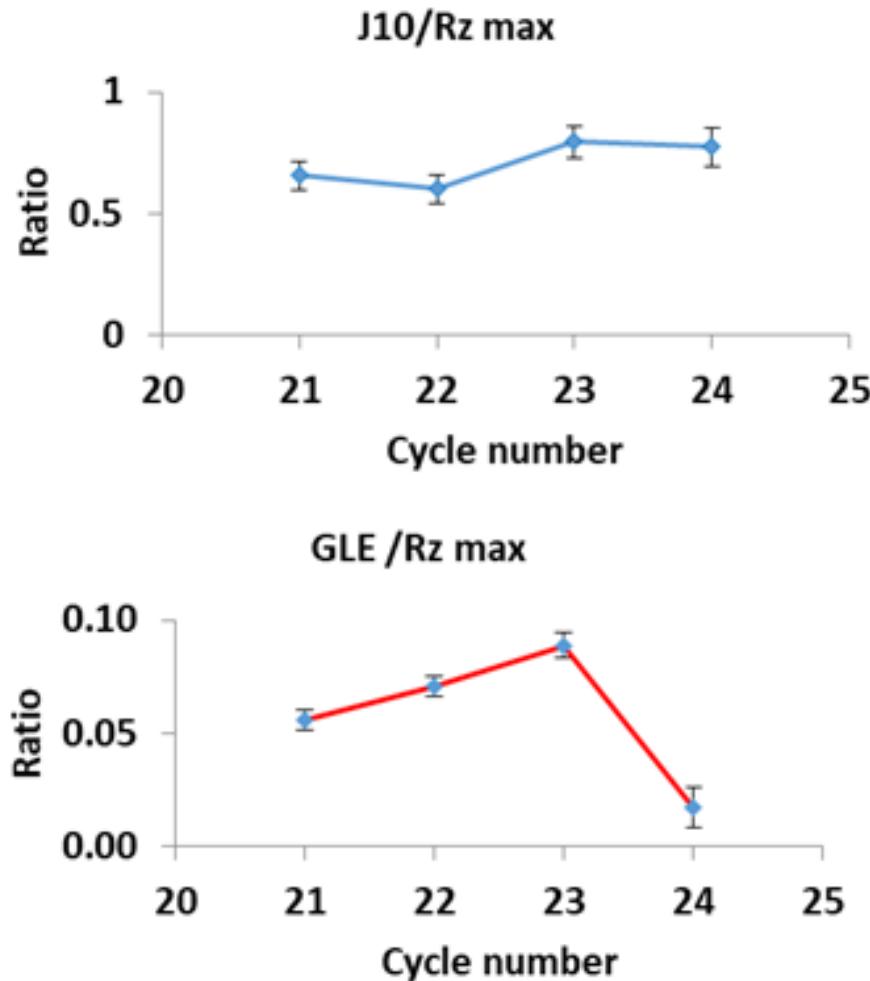
Распределение числа СПС внутри 11-летнего цикла меняется от цикла к циклу: максимум наблюдался в интервале ± 2 года относительно максимума Rz, но в среднем число СПС максимально в год максимума.

Число событий СКЛ в Каталогах

Cycle	Rz max	Cycle duration, mon	J10	J100	GLE
21	232.9	126	153	79	13
22	212.5	119	128	71	15
23	180.3	148	143	105	16
24	116.4	132	90	59	2
25 (2020-2024) Preliminary			66	28	4

С 1970 по 2024 гг.
Каталоги содержат 570
событий с энергией
солнечных протонов
 $E \geq 10$ МэВ и потоком в
максимуме временного
профиля
 $J10 \geq 1 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ ср}^{-1}$

Отношение числа СПС к максимальному числу солнечных пятен и к длительности солнечного цикла



Число событий J10 в циклах 21-24 практически пропорционально максимальному числу солнечных пятен. Величина отношения J10/Cycle duration больше зависит от числа СПС, чем от длительности цикла. Цикл 24 был средним по длительности, но слабым по числу СПС. Это ярко проявилось в отношениях числа GLE на нижних панелях рисунка.

Корреляция между числом СПС и
возможными источниками ускоренных
частиц – вспышками и корональными
выбросами массы (КВМ)

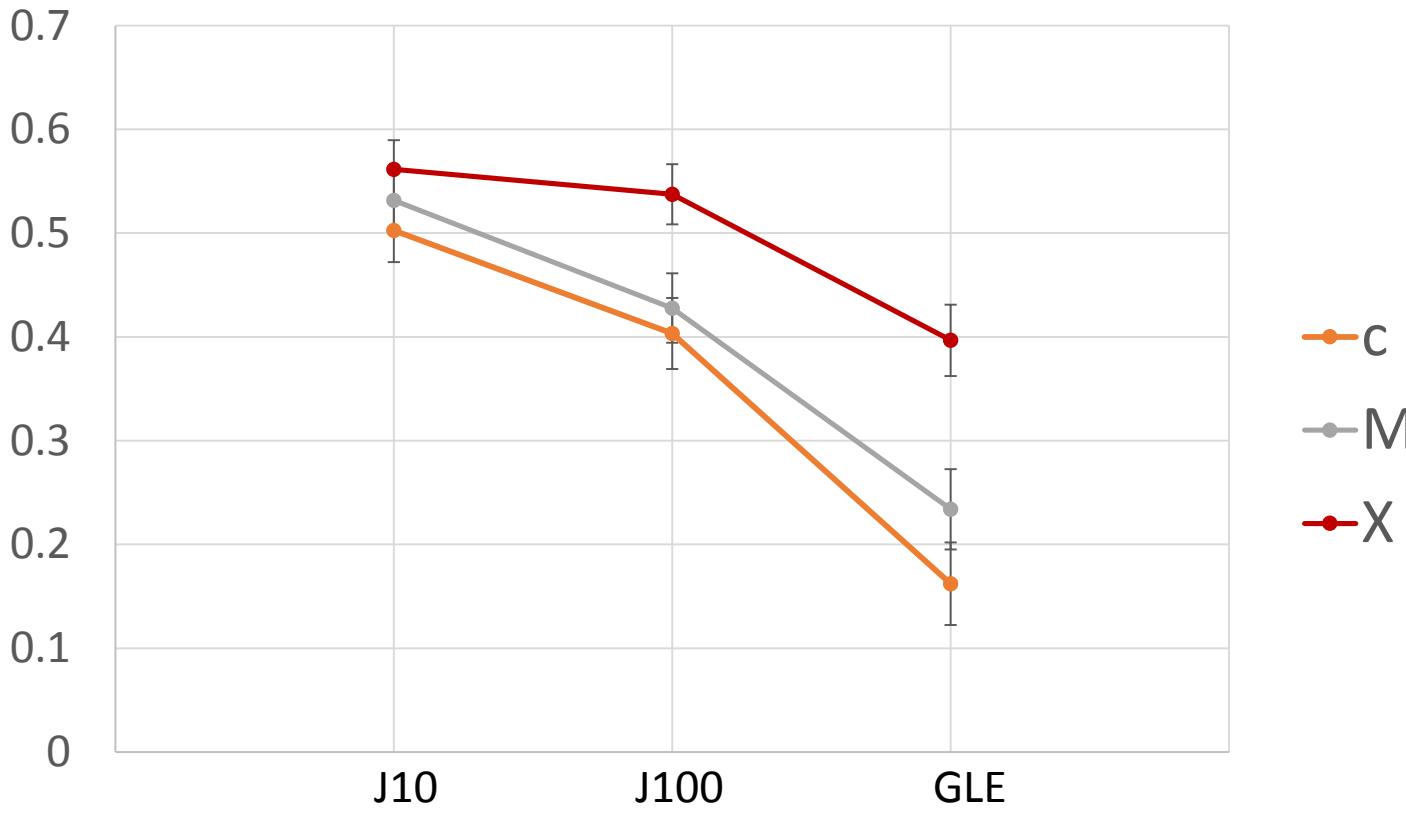
Коэффициенты корреляции между числом СПС в год за 1970-2024 и параметрами солнечной и межпланетной активности

	С с 1974	М с 1974	Х с 1974	Нα+V1000 с 1997	Нα+V500 с 1997	Rz с 1970
J10	0.85± 0.04	0.82± 0.05	0.84± 0.04	0.89± 0.04	0.89± 0.04	0.87± 0.03
J100	0.76± 0.06	0.71± 0.07	0.75± 0.06	0.79± 0.08	0.77± 0.08	0.72± 0.09
GLE	0.44± 0.11	0.61± 0.09	0.71± 0.07	0.55± 0.10	0.44± 0.16	0.54± 0.14

Корреляция J10 и J100 со всеми индексами одинаковая, но для J100 несколько меньшая, чем для J10 (синдром общей солнечной активности). Для GLE зависимость от общей солнечной активности меньше, чем для J10 и J100, но явно ощущается влияние вспышек классов М и Х. Корреляция J10 и J100 с КВМ даже выше, чем со вспышками, а для GLE связь с КВМ заметно меньше, чем со вспышками

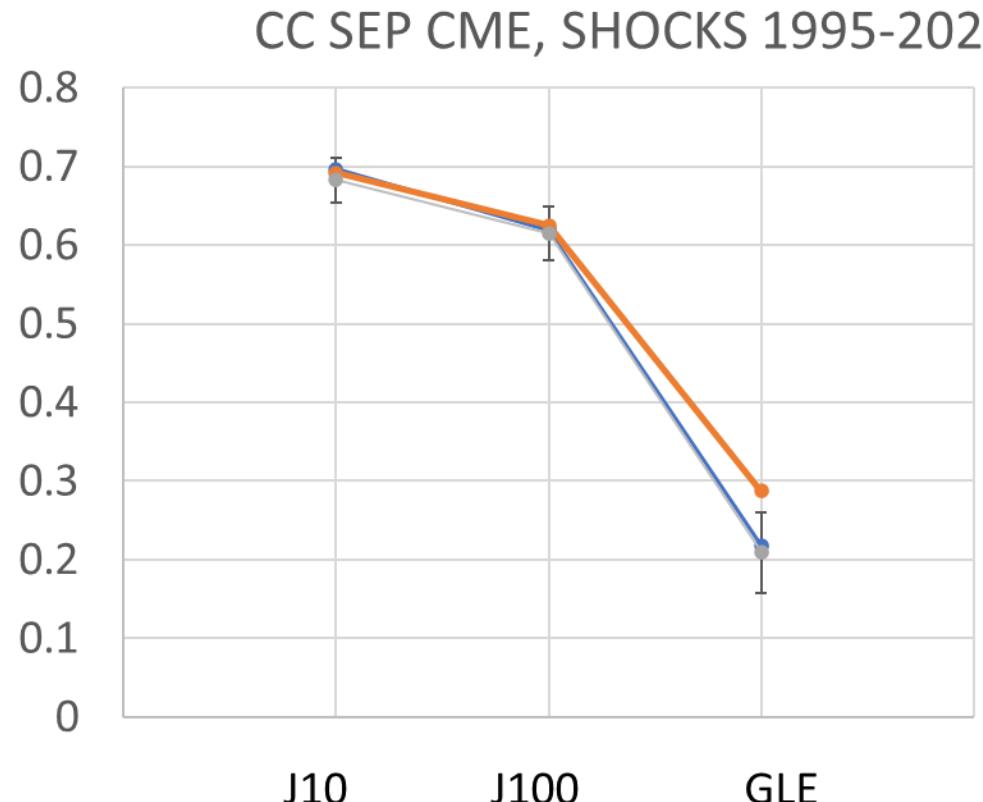
Корреляция числа СПС (месячные значения) с рентгеновскими вспышками

CC SEP & X-RAY BURSTS 1975-2924



Число всех СПС коррелирует со вспышками, но связь событий GLE с классом X заметно более тесная, чем со вспышками классов С и М. Связь СПС со вспышками ослабевает с ростом энергии частиц.

Корреляция числа СПС (месячные значения) с корональными выбросами массы (КВМ)



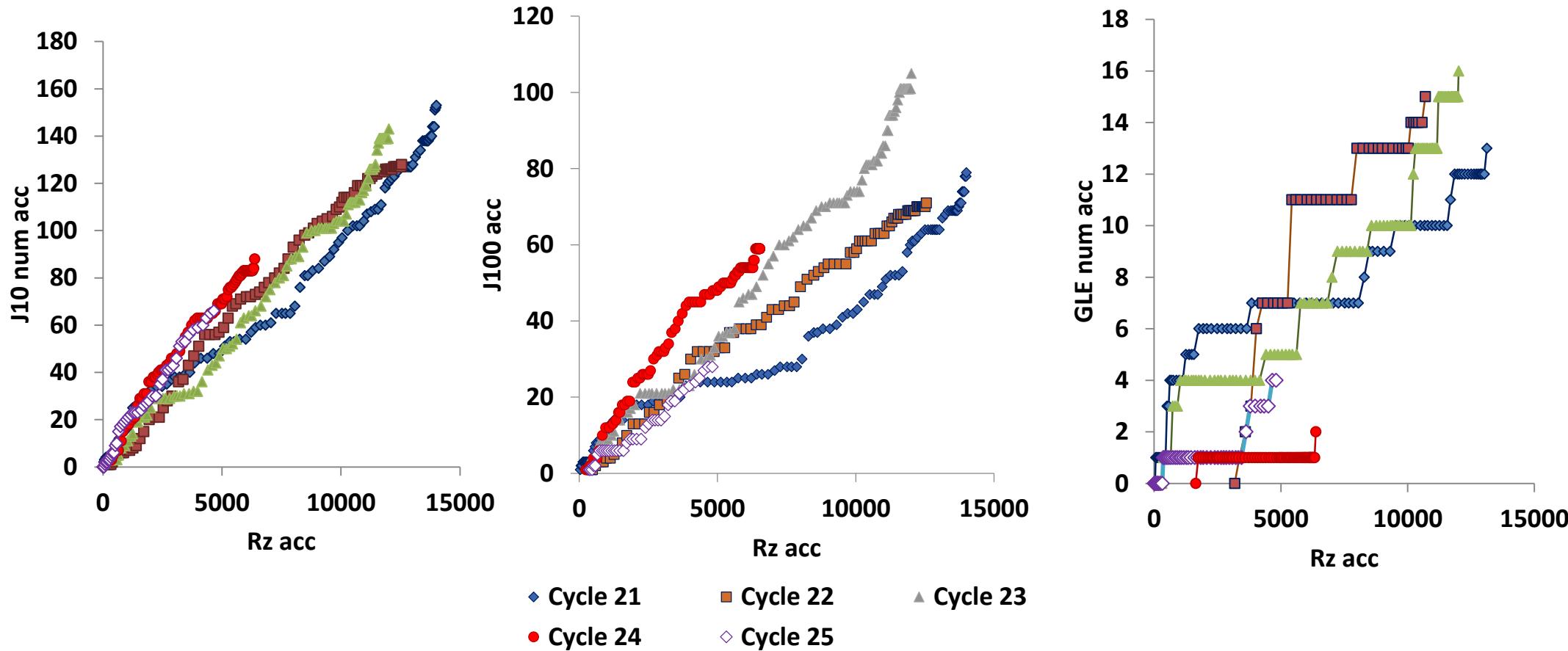
Отобраны КВМ типа
ГАЛО с начальной
скоростью $V > 500$
км/с и > 1000 км/с

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

Источник данных о КВМ: https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list

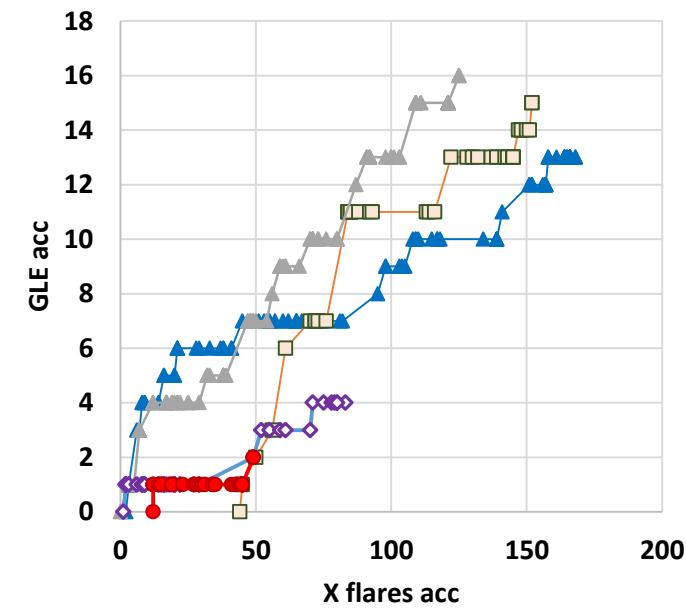
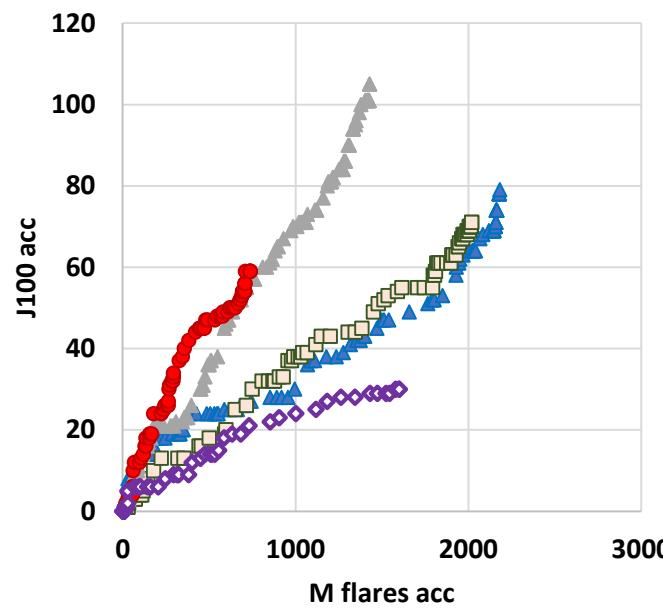
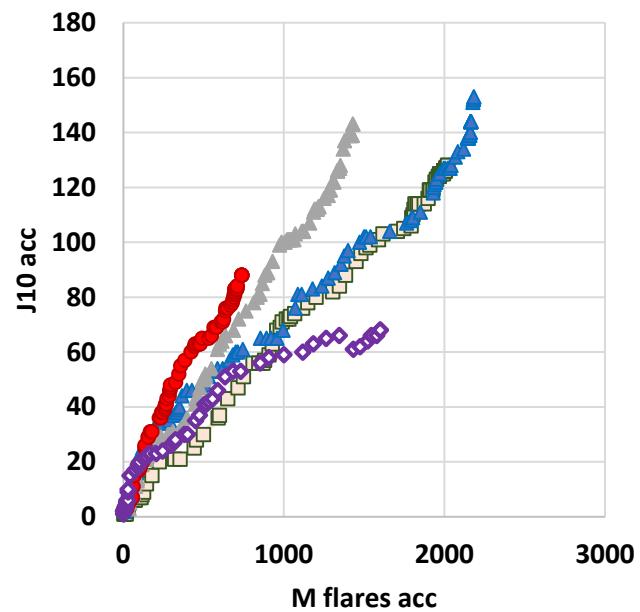
Регрессия между накопленными
месячными числами СПС и
накопленными числами Rz, вспышек и
КВМ отражает связь между СПС и этими
параметрами на разных фазах
солнечного цикла

Накопленное число СПС в зависимости от накопленного Rz



Регрессия между J10 и Rz почти не меняется в течение цикла и практически одинакова для циклов 21-25, что подтверждает вывод о том, что J10 отражает общий уровень солнечной активности. Для J100 это сохраняется только при малых Rz в начале цикла. На правой панели виден дефицит GLE событий в циклах 23 и 24.

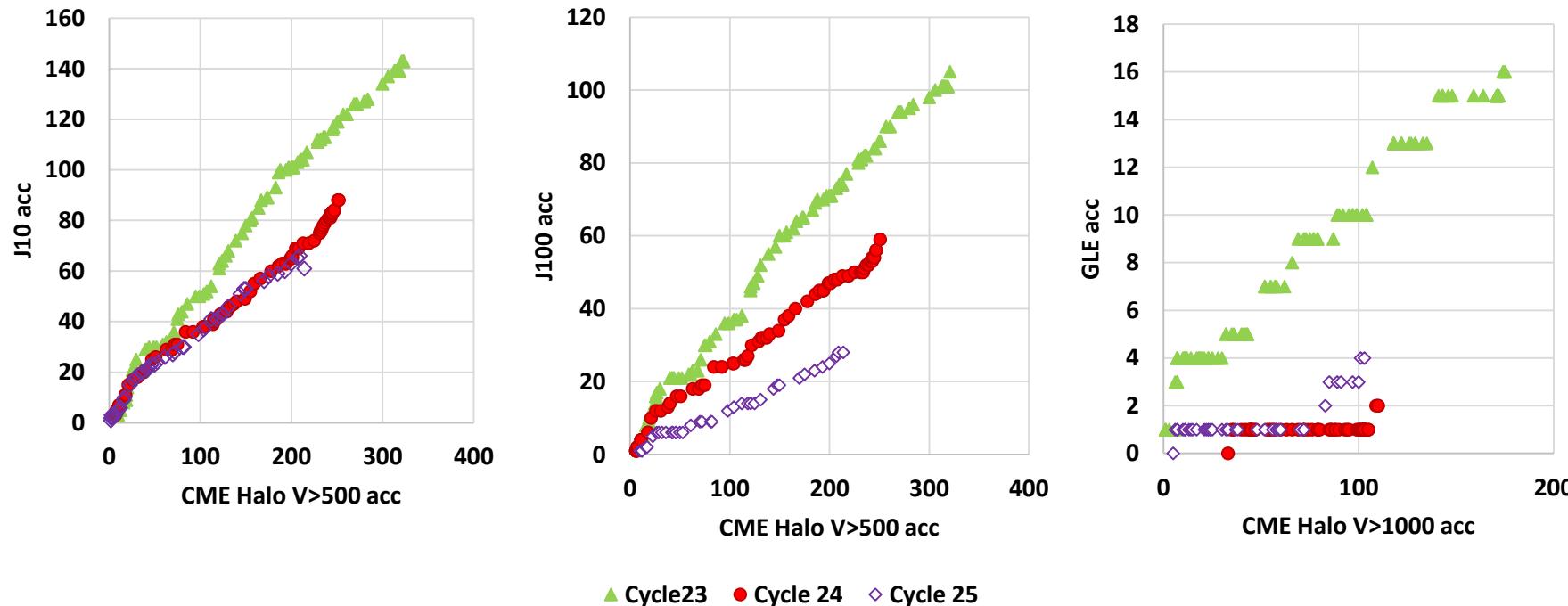
Накопленное число СПС в зависимости от накопленного числа рентгеновских вспышек



▲ Cycle 21 □ cycle 22 ▲ Cycle 23
● Cycle 24 ♦ Cycle 25

Регрессия между числом СПС и числом рентгеновских вспышек показывает дефицит СПС по сравнению с числом вспышек. Для J10 и J100 он мало заметен в циклах 21 – 24 при слабой вспышечной активности M класса, но заметно усилился в цикле 25. Рост числа GLE сильно отстает от числа вспышек класса X в циклах 24 и 25.

Накопленное число СПС в зависимости от накопленного числа КВМ



Не наблюдается дефицита событий J10 по отношению к числу КВМ типа гало и начальной скоростью $V > 500$ км/с, однако он имеет место для J100. События GLE практически не коррелируют с числом КВМ типа гало и начальной скоростью $V > 1000$ км/с.

Заключение

- Каталоги солнечных протонных событий (1970-2024 гг.) содержат информацию о 570 событиях, в которых зарегистрированы солнечные протоны с энергией $E_p \geq 10$ МэВ и потоком $\geq 1 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ср}^{-1}$ в максимуме временного профиля события.
- Получен однородный ряд месячных значений числа событий с $E_p \geq 10$ МэВ (J10), $E_p \geq 100$ МэВ (J100) и событий, зарегистрированных на нейтронных мониторах (GLE). Число событий J10 в циклах 21-24 пропорционально максимальному значению числа пятен Rz.
- Коэффициенты корреляции годового числа событий J10 и J100 с Rz, числом вспышек C, M и X класса, а также с числом KVM типа гало и начальной скоростью $V > 500$ км/с одинаковы и отражают общий уровень солнечной активности. События типа GLE сильнее связаны со вспышками, чем с KVM.
- Регрессия между накопленными числами СПС и накопленными числами Rz, вспышек и KVM отражает связь между СПС и этими параметрами на разных фазах солнечного цикла. Показано, что (1) события J10 тесно связаны с Rz на протяжении всего цикла; (2) рост числа J10 и J100 отстает от роста числа вспышек класса M по мере развития цикла 25, но нет дефицита событий J10 по отношению к числу KVM типа гало и начальной скоростью $V > 500$ км/с; (3) существенный дефицит событий GLE по отношению ко всем параметрам в циклах 24 и 25.