КЛАССИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ВОЗРАСТАНИЙ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОНОВ В 25 СОЛНЕЧНОМ ЦИКЛЕ

Дмитриев А.В.[1], Базилевская Г.А[2], Власова Н.А.[1], Гинзбург Е.А.[3], Дайбог Е.И.[1], Калегаев В.В.[1,4], Капорцева К.Б.[1,4], Логачев Ю.И.[1], Мягкова И.Н.[1], Суворова А.В.[1]

1. НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия, dalex@srd.sinp.msu.ru

2. ФИАН, г. Москва, Россия

3. ИПГ, г. Москва, Россия

4. Физический факультет МГУ, г. Москва, Россия

Работа выполнена в рамках темы г/б НИР НИИЯФ 2.1, № г/р 122071200023-6.

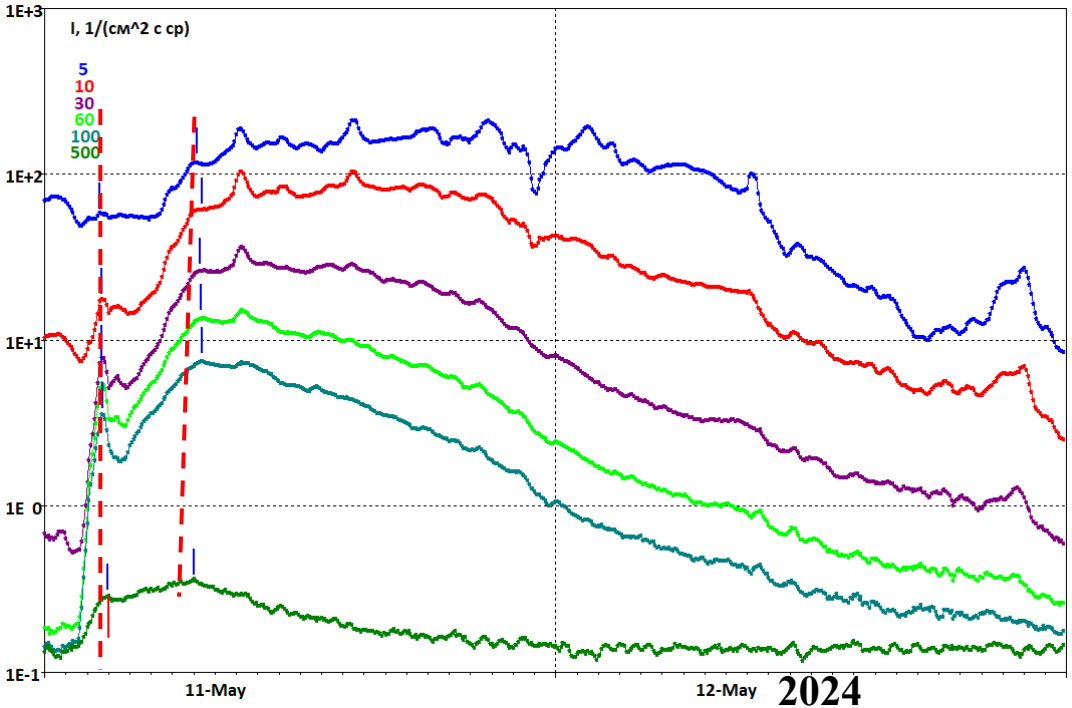
С использованием данных:

Каталог СПС НИИЯФ МГУ https://swx.sinp.msu.ru/apps/sep_events_cat/

Центр данных оперативного космического мониторинга НИИЯФ МГУ http://smdc.sinp.msu.ru

Временные профили СКЛ на **минутном масштабе** имеют сложную структуру.

Возрастания СКЛ вызваны различными источниками на солнце и в солнечном ветре



Рассмотрены следующие причины возрастаний

1. Солнечные вспышки в рентгеновском излучении (SF) – как признак взрывного энерговыделения на Солнце (быстрое ускорение)

2. Межпланетные ударные волны (МУВ) и переходная область за ними

3. Межпланетные облака (МО) и МО, содержащие внутри МУВ (МО+МУВ)

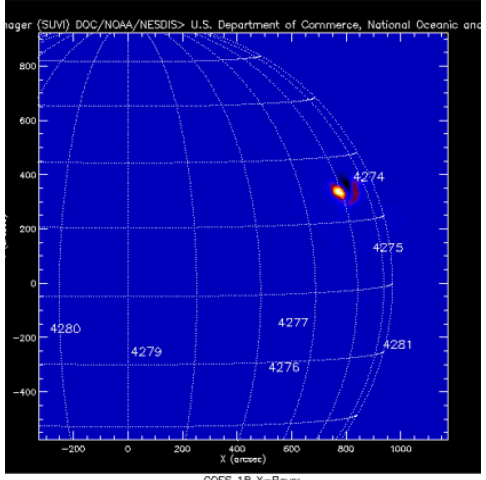
4. Межпланетные каналы (МК) – межпланетные плазменные трубки, связывающие Землю непосредственно с областью ускорения

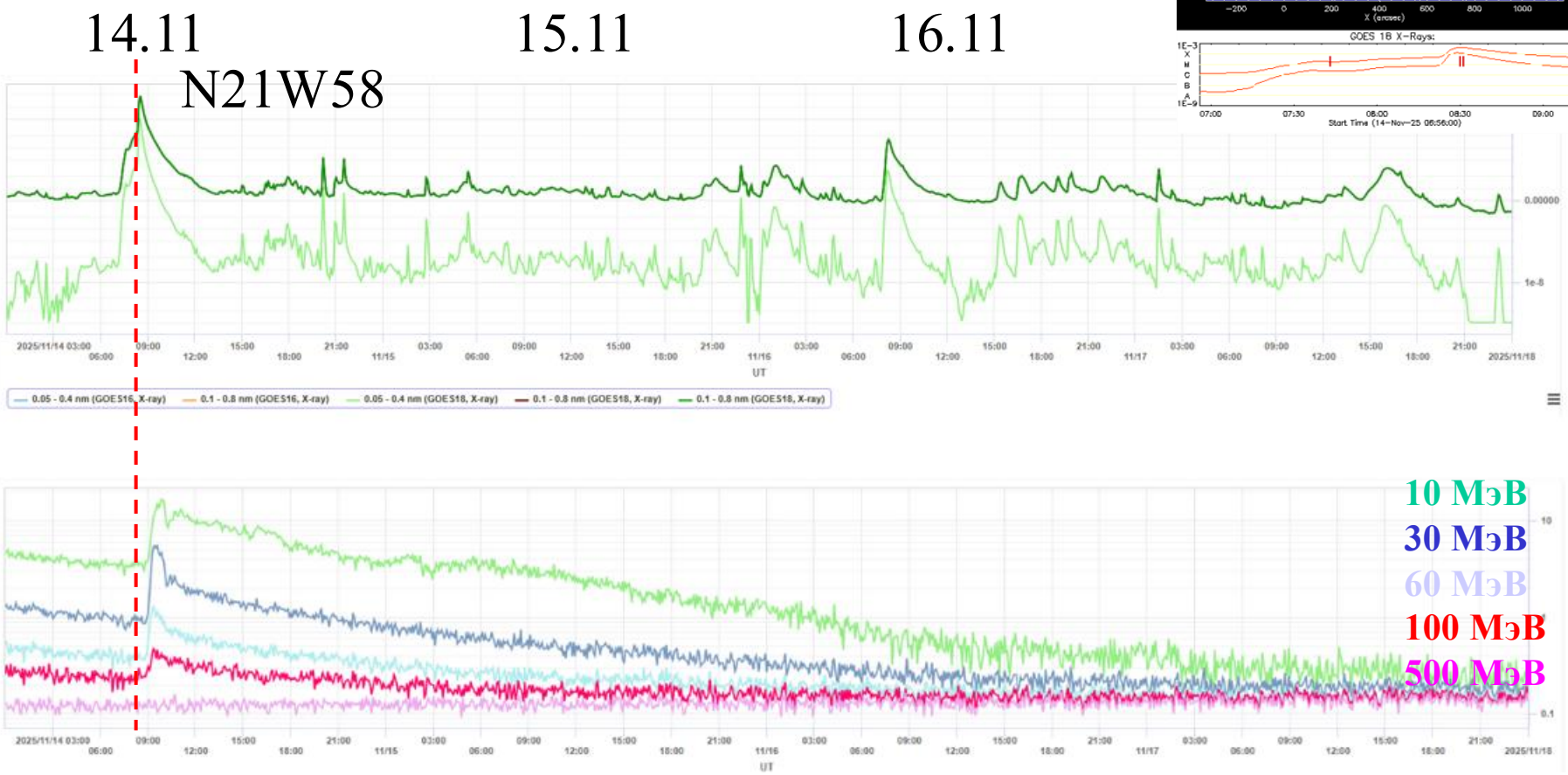
Рассмотрено 70 СПС в 25-м солнечном цикле 2022-2025 гг.,

во время которых проанализировано 123 пиковых

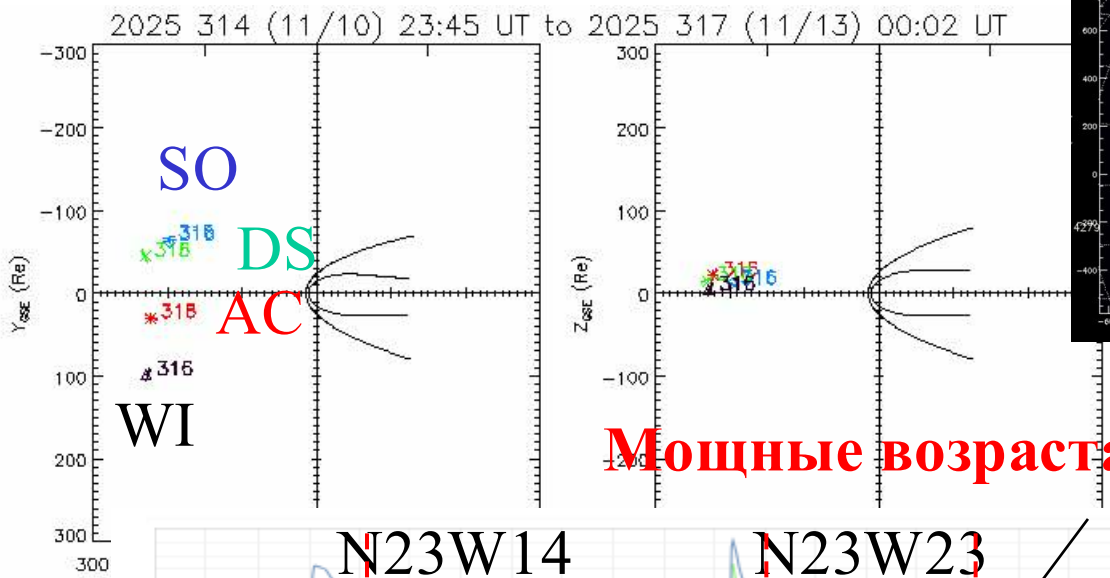
возрастаний протонов **>30 МэВ**

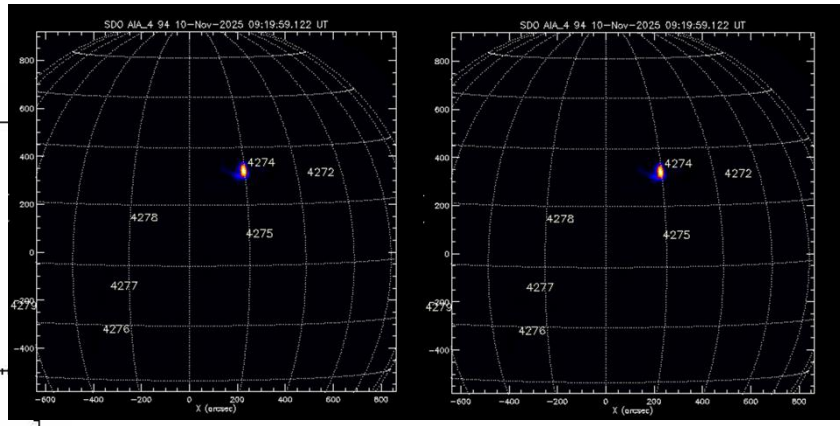
Пример СКЛ от X вспышки в ноябре 2025 г.



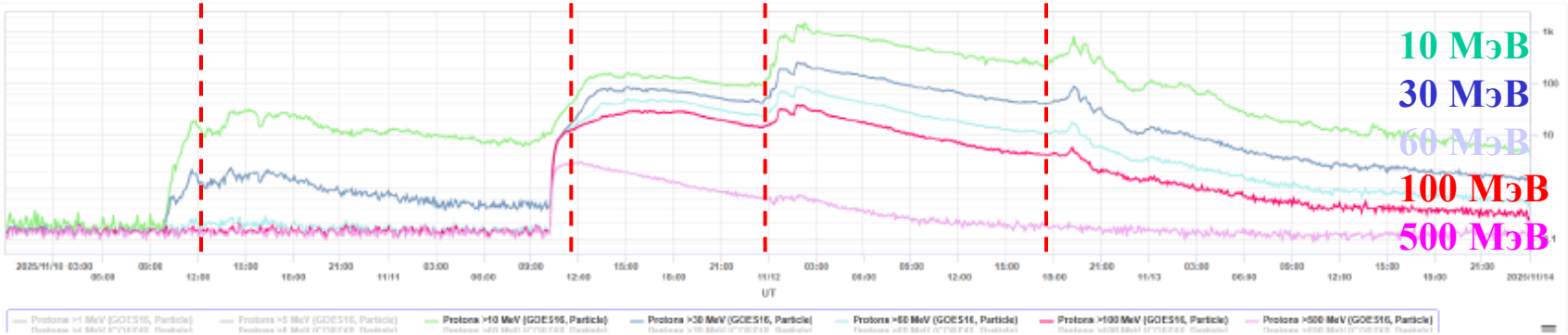


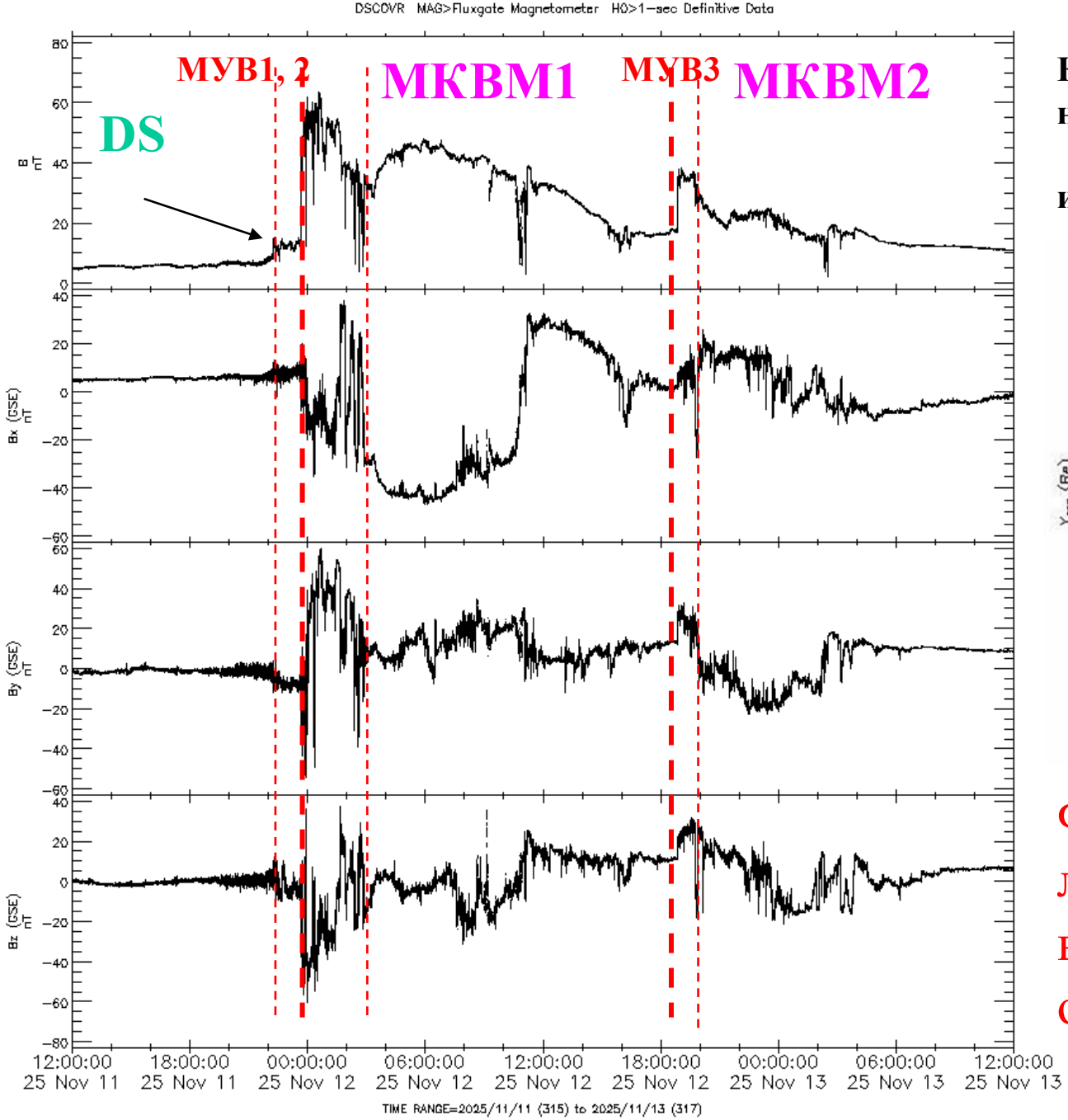
События СКЛ 10 – 13 ноября 2025





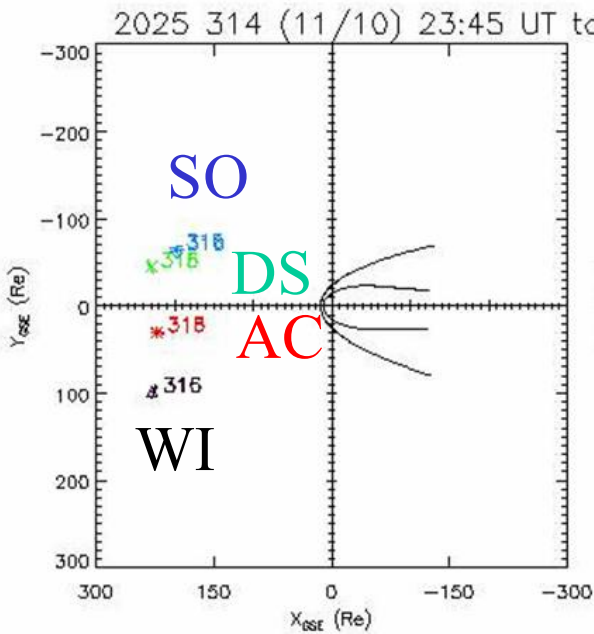
Мощные возрастания СКЛ без X-вспышек



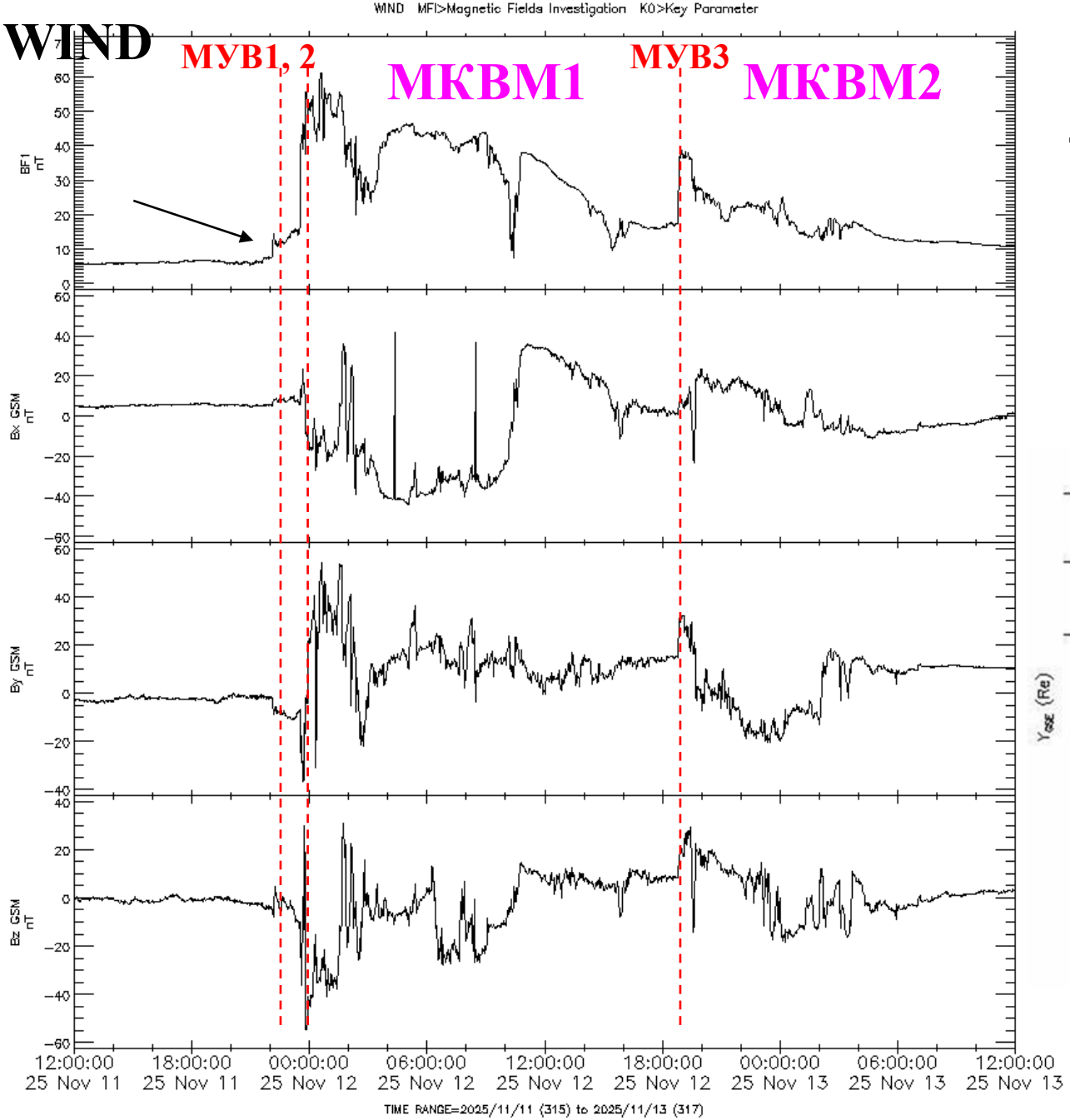


КА DSCOVR находится недалеко от SOHO

и наблюдает 3 МУВ!



Формирование локальных возрастаний СКЛ в области sheath

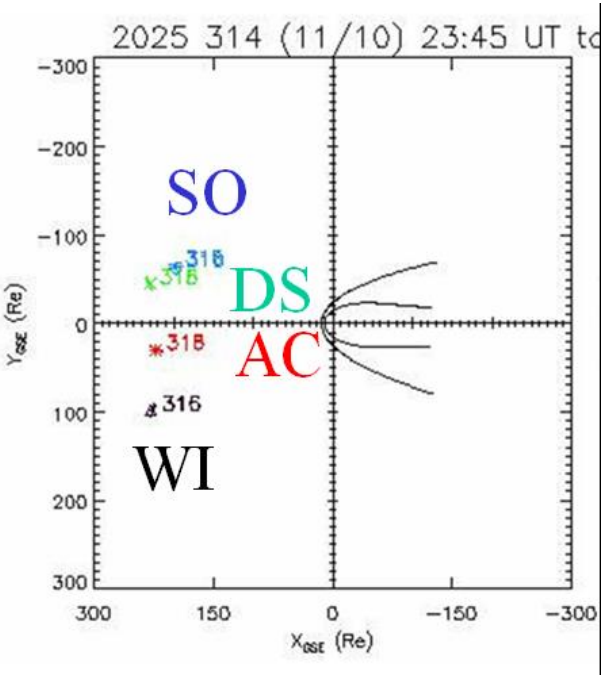


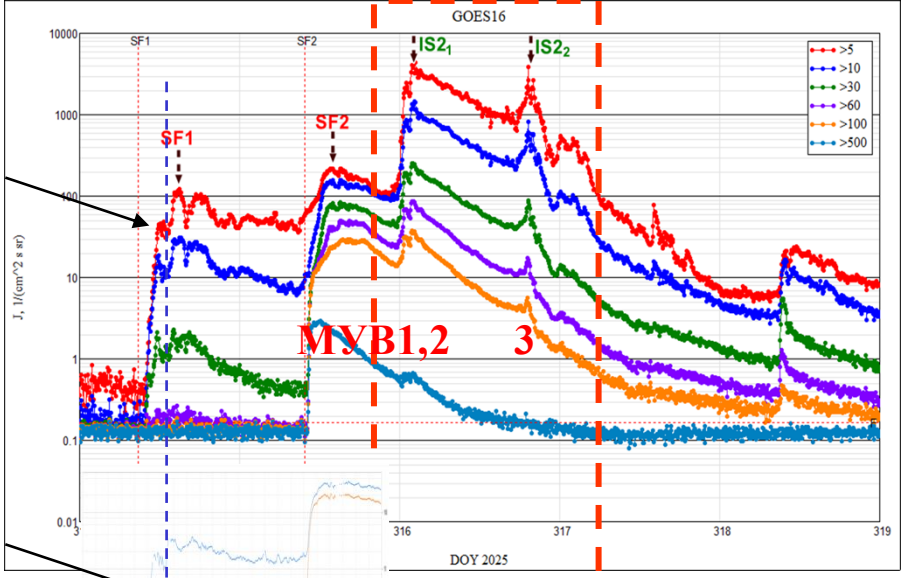
КА WIND находится далеко от SOHO и DSCOVR

и тоже наблюдает 3 МУВ!

Но раньше на ~20 мин!

Фронты МУВ наклонены

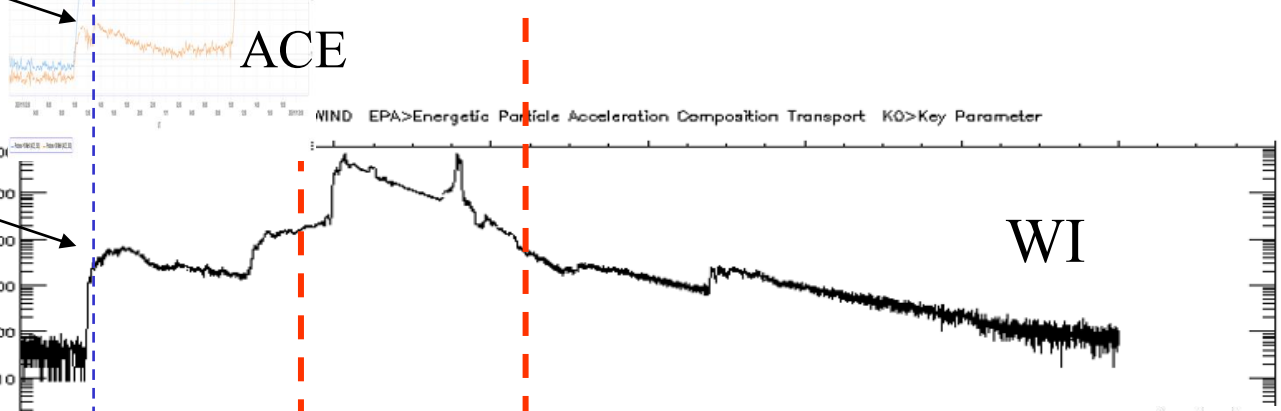


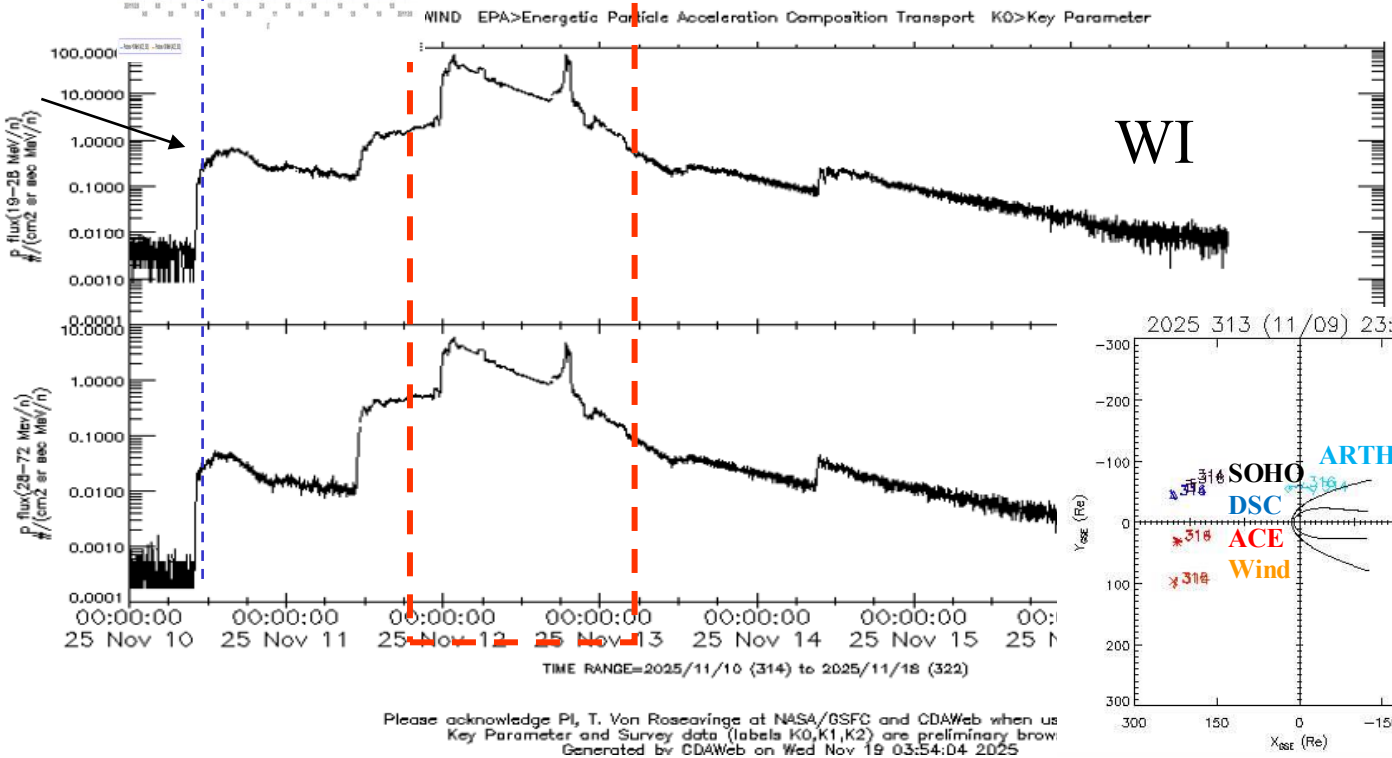


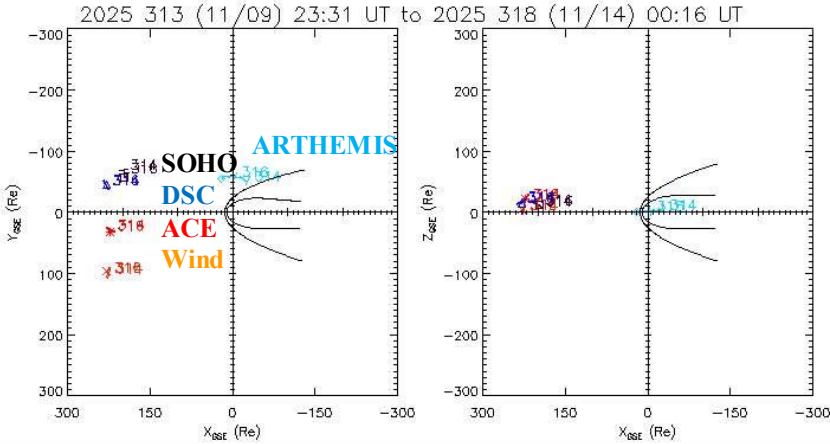
Вариации потоков СКЛ на WIND близки к данным КА GOES и связаны с ударными волнами МУВ1,2 и МУВ3, наблюдаемыми 12.11.2025 (DOY 316)

Однако, на WIND отсутствуют тонкие вариации СКЛ 10 ноября, которые наблюдаются на GOES, SOHO и ACE.

Сильная поперечная неоднородность!

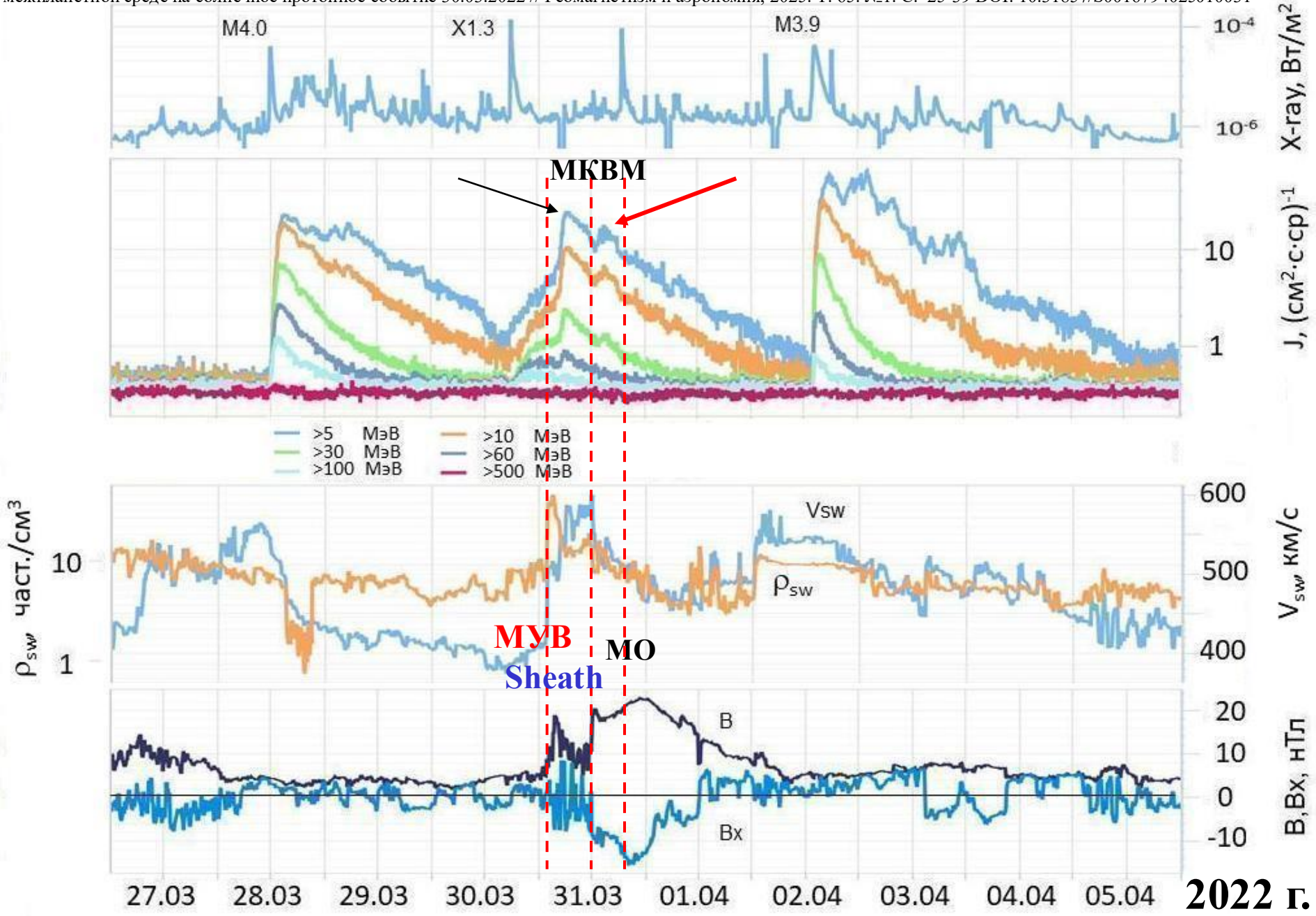






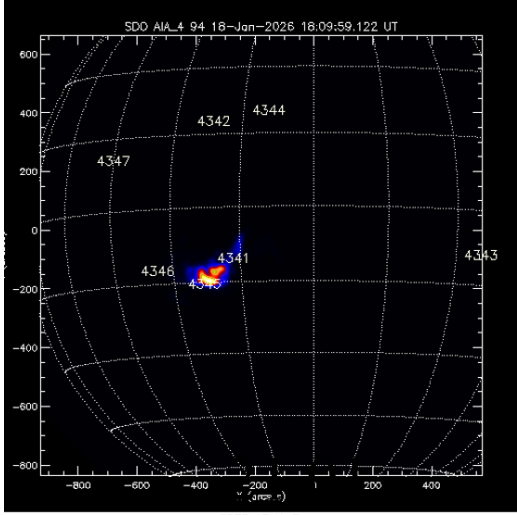
Повышенные потоки СКЛ в магнитном облаке

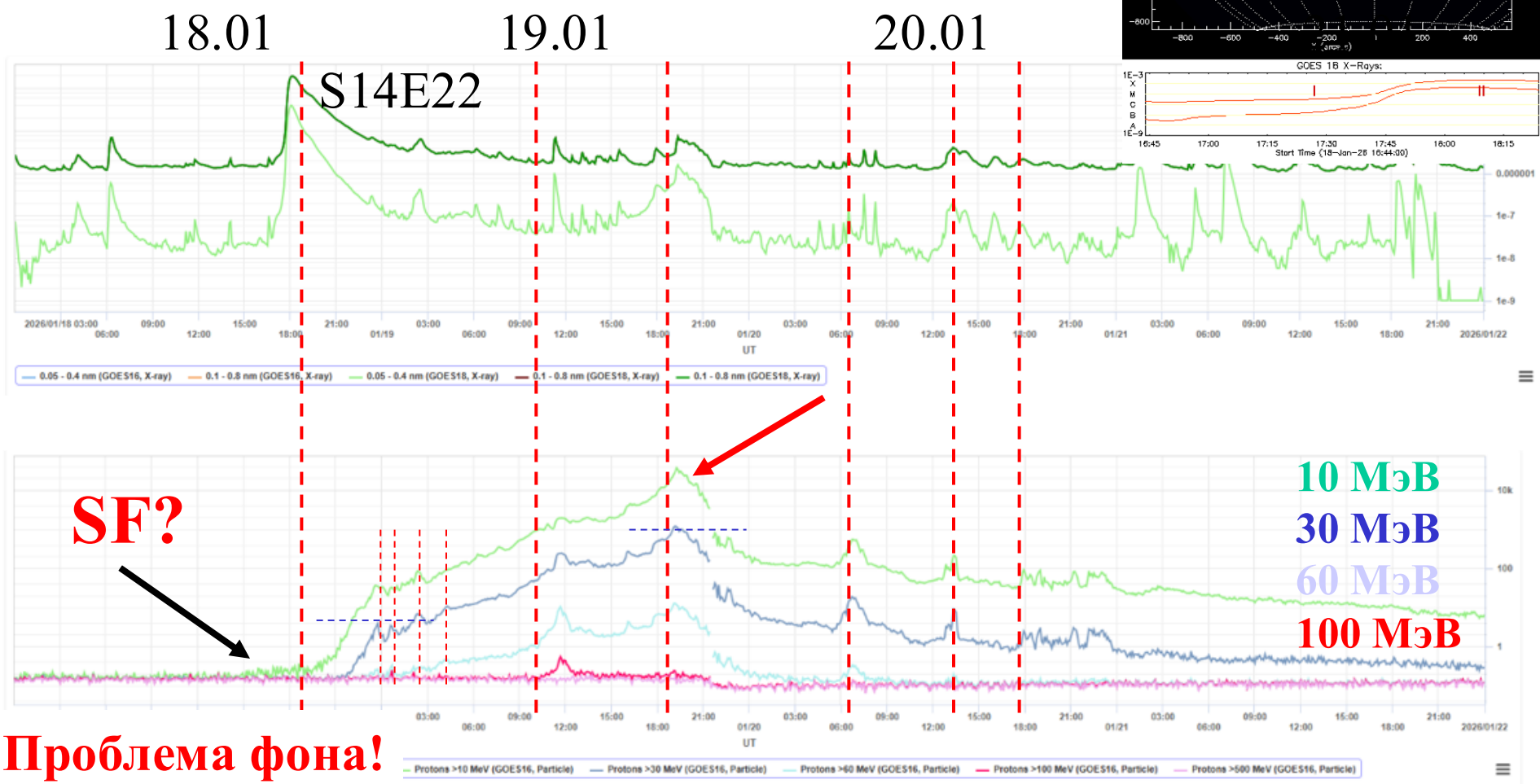
Власова Н.А., Базилевская Г.А., Гинзбург Е.А., Дайбог Е.И., Калегаев В.В., Капорцева К.Б., Логачев Ю.И., Мягкова И.Н. Влияние процессов на Солнце и в межпланетной среде на солнечное протонное событие 30.03.2022 // Геомагнетизм и аэрономия, 2025. Т. 65. №1. С. 25-39 DOI: 10.31857/S0016794025010031



Событие СКЛ 18 – 20 января 2026 г. от восточной вспышки

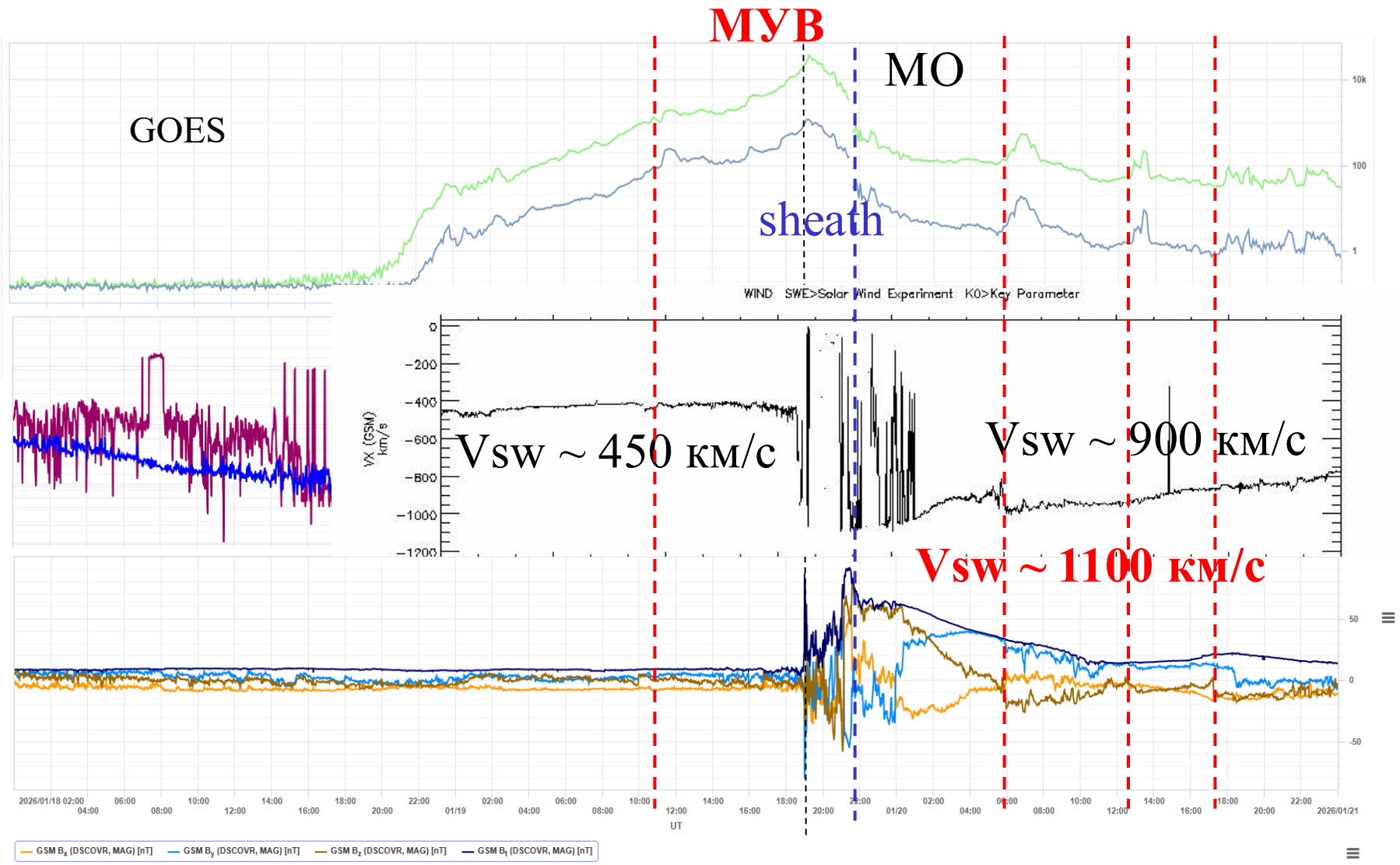
Возрастание СКЛ до >100 МэВ на МУВ на 2 порядка без X-вспышки!



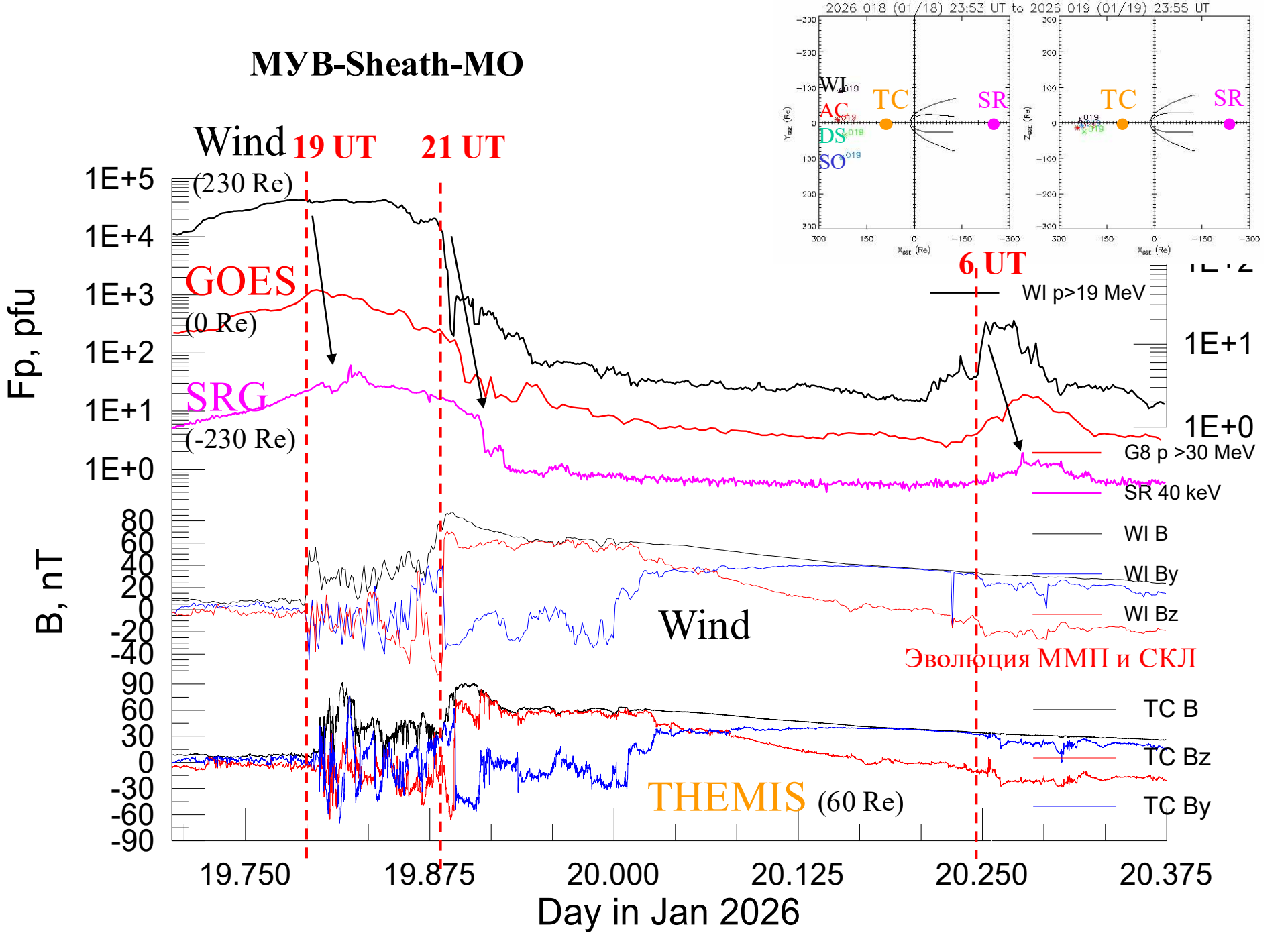


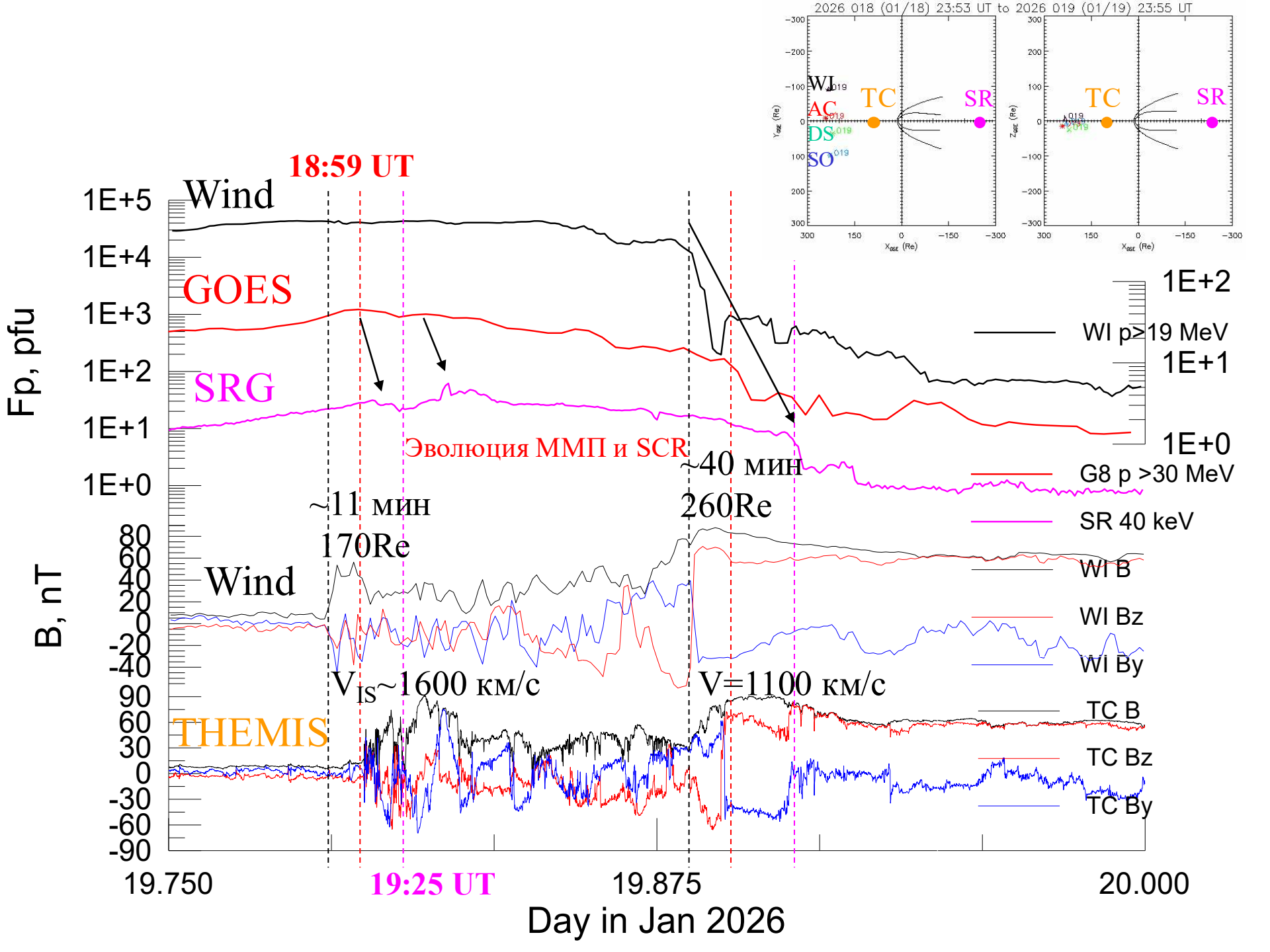
Проблема фона!

Разрывы в СВ и ММП



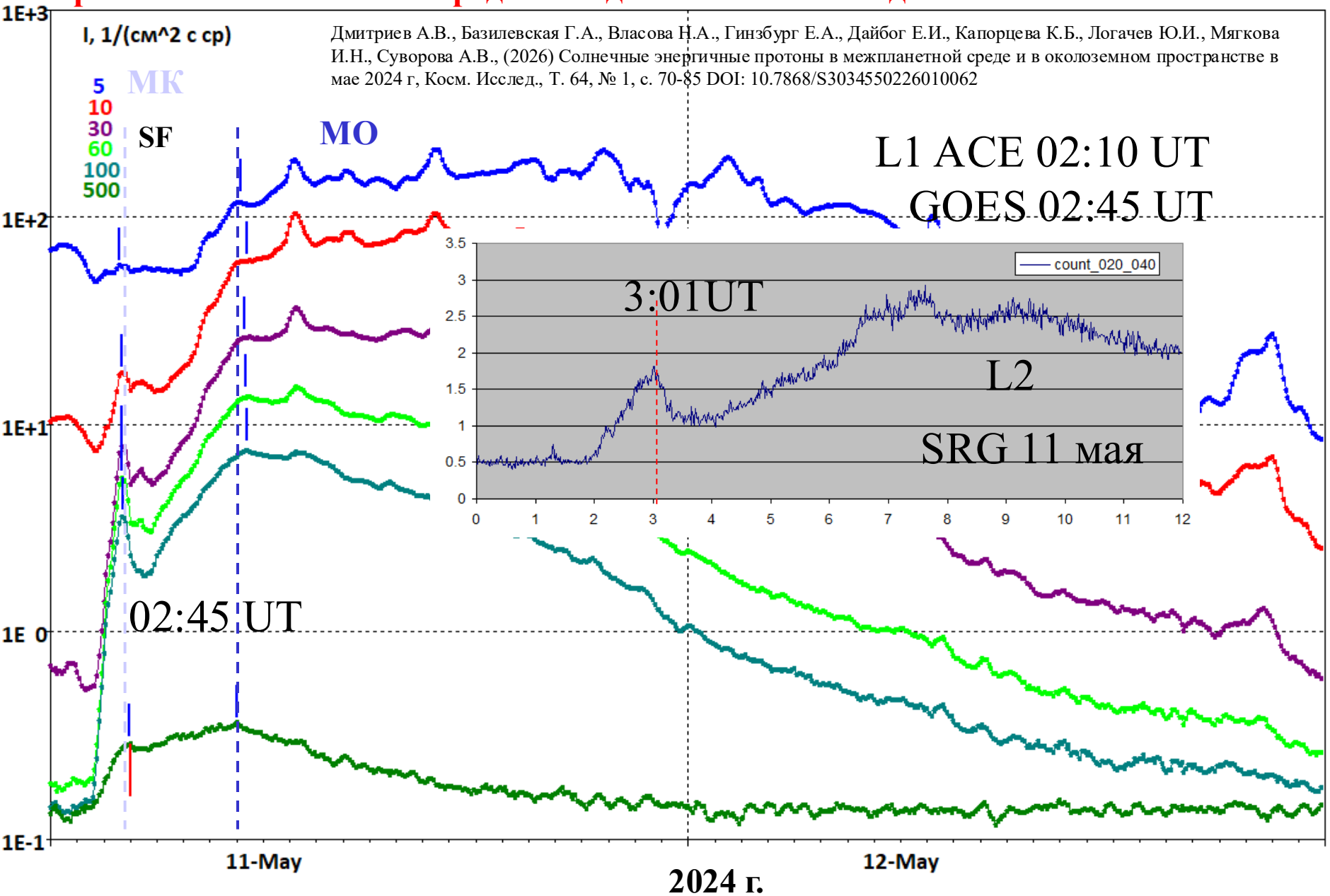
18.01 19.01 20.01


МУВ-Sheath-MO
Wind
19 UT
21 UT
6 UT
(230 Re)
GOES
(0 Re)
SRG
(-230 Re)
Fp, pfu
1E+5
1E+4
1E+3
1E+2
1E+1
1E+0
WI p>19 MeV
G8 p >30 MeV
SR 40 keV
WI B
WI By
WI Bz
B, nT
Wind
Эволюция ММП и СКЛ
TC B
TC Bz
TC By
THEMIS (60 Re)
19.750
19.875
20.000
20.125
20.250
20.375
Day in Jan 2026
2026 018 (01/18) 23:53 UT to 2026 019 (01/19) 23:55 UT
WI
AC
DS
SO
TC
SR
TC
SR


2026 018 (01/18) 23:53 UT to 2026 019 (01/19) 23:55 UT
WI
AC
DS
SO
TC
SR
TC
SR
18:59 UT
Wind
GOES
SRG
Эволюция ММП и SCR
~40 мин
260Re
~11 мин
170Re
Wind
V_{IS}~1600 км/с
V=1100 км/с
THEMIS
Fp, pfu
B, nT
1E+5
1E+4
1E+3
1E+2
1E+1
1E+0
80
60
40
20
0
-20
-40
90
60
30
0
-30
-60
-90
1E+2
1E+1
1E+0
WI p>19 MeV
G8 p >30 MeV
SR 40 keV
WI B
WI Bz
WI By
TC B
TC Bz
TC By
19.750
19:25 UT
19.875
20.000
Day in Jan 2026

К4.1. Межпланетный канал (МК) обеспечивает приход протонов непосредственно из области ускорения на Солнце.

Проблема: МК является предметом дальнейших исследований



Выводы:

В результате анализа 70 интервалов СПС в 2002-2025 гг. обнаружено 120 пиков возрастаний протонов

Из них 44 нарастания имеют диффузионные профили от СВ, причем для протонов >5, >10 и >30 МэВ обнаружена сильная примесь от ускорения на МУВ

			Дисперс.	Бездисперсионные		
Год	**СПС**	**Пики**	**SF**	**МУВ**	**МО**	**МК**
2021	3	4	1	3		
2022	13	17	5	2	8	2
2023	14	25	11	7	6	1
2024	28	52	16	22	8	6
2025	12	22	11	9	2	
Сумма	**70**	**120**	**44**	**43**	**24**	**9**

Комплексная структура возрастаний протонов определяется сильной возмущенностью гелиосферы во время солнечного максимума

Проблемы:

- Формирование локальных возрастаний СКЛ в связи с МКВМ: где и как?

- Начало ускорения

Необходимы измерения высокоэнергичных протонов с высокой чувствительностью (низкий фон) в диапазоне от 10^{-5} до 10^{3} (см^{2} с ср МэВ)$^{-1}$

т.е. в межпланетной среде (L1, Луна, L2)

Спасибо за внимание!