



# Солнечные космические лучи и жесткое рентгеновское излучение солнечных вспышек в первой половине 2024 г. по данным экспериментов на спутниках Московского университета формата кубсат

*Богомолов А.В., Богомолов В.В., Июдин А.Ф., Еремеев В.Е.,  
Зайко Ю.К., Калегаев В.В., Мягкова И.Н., Оседло В.И.,  
Перетяцько О.Ю., Свертилов С.И., Яшин И.В.*

Солнечные космические лучи (СКЛ) представляют интерес как с фундаментально-научной, так и с прикладной точек зрения, как один из факторов космической погоды. В настоящем докладе рассматриваются результаты наблюдений СКЛ с помощью спутников типа кубсат с регистрирующей аппаратурой Московского университета, выведенных 27 июня 2023 г. на солнечно-синхронную орбиту высотой ~550 км и наклоном  $98^\circ$ . Это спутник **Авион** формата 6U, а также несколько кубсатов проекта **Монитор** формата 3U. В качестве полезной нагрузки на каждом из них установлены сцинтилляционные детекторы для регистрации жесткого рентгеновского и гамма-излучения и заряженных частиц. Они позволяют, в том числе, проводить мониторинг потоков СКЛ по заполнению областей полярных шапок солнечными частицами, а также наблюдать в жестком рентгеновском излучении солнечные вспышки, с которыми связаны эти потоки СКЛ.

# Первые кубсаты с приборами НИИЯФ МГУ

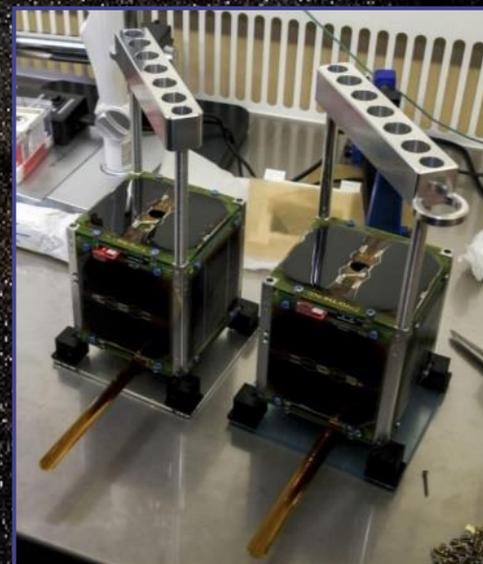
2018 г. Научно-образовательные спутники СириусСат-1 и СириусСат-2. Формат 1U+. Запуск с МКС. Полезная нагрузка: детектор гамма-излучения и электронов на основе комбинации CsI(Tl)+пластический сцинтиллятор.

2019 г. Кубсаты ВДНХ-80 и АмурСат. Формат 3U

2020 г. Кубсаты Норби и Декарт. Формат 6U.

Запущены на полярную орбиту. Результаты включают наблюдение инжекции солнечных энергичных частиц в области полярных шапок, вариаций потоков электронов во внешнем РПЗ, связанных с явлениями космической погоды.

Полезная нагрузка – сцинтилляционный детектор ДеКоР эффективной площадью  $18\text{см}^2$ .



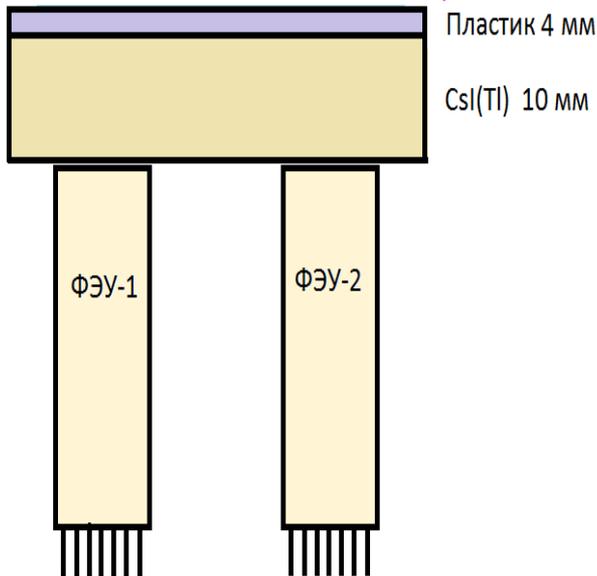
# Аппаратура ДеКоР (детектор космической радиации)



## Технические характеристики

Регистрируемые типы частиц	Гамма-кванты, электроны
Диапазон энерговывделений	0.1 – 2 МэВ
Эффективная площадь	18 см <sup>2</sup>
Динамический диапазон:	
Мониторинг общего потока	0-1000 см <sup>-2</sup>
Спектрально-временной анализ	0-25 см <sup>-2</sup>
Временное разрешение	20 мкс
Габаритные размеры	102x90x36 мм
Масса	370 г
Напряжение питания	7.5 В
Энергопотребление детектора	<1.2 Вт
Энергопотребление цифрового узла	0.1 Вт

Входное окно (0.1мм Al + 0.1 мм полимер)



## 27 июня 2023 г. состоялся успешный запуск кубсатов: Авион, Монитор-2 (Орион), Монитор-3, Монитор-4, UTMN-2.

Параметры орбиты: Солнечно-синхронная, ~550км, 98град.

На каждом из этих кубсатов в качестве полезной нагрузки установлен модифицированный детектор **ДеКоР-2**.

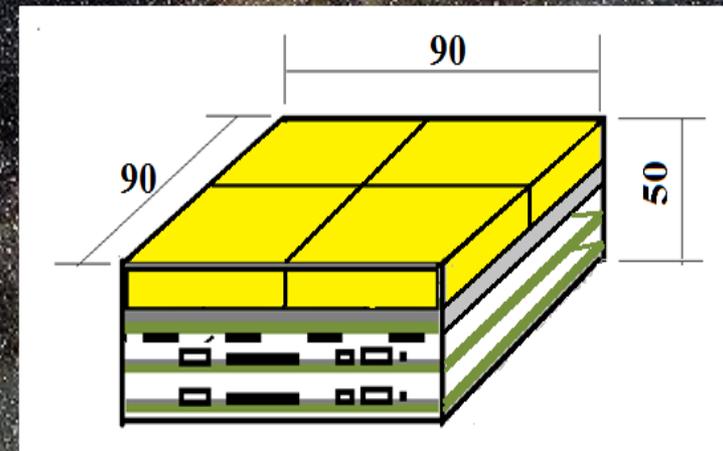
От своих предшественников приборы унаследовали:

- Комбинированный детектор из пластического сцинтиллятора и кристалла, позволяющий отдельно регистрировать электроны и гамма-кванты.
- Сочетание мониторинговых и событийных данных, накапливаемых в памяти прибора.

По сравнению с ДеКоР-1 в приборе ДеКоР-2

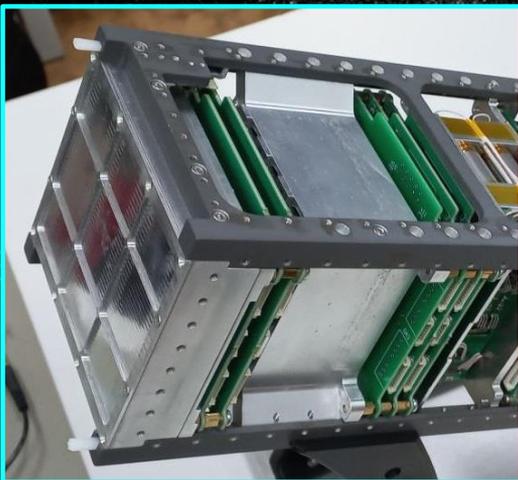
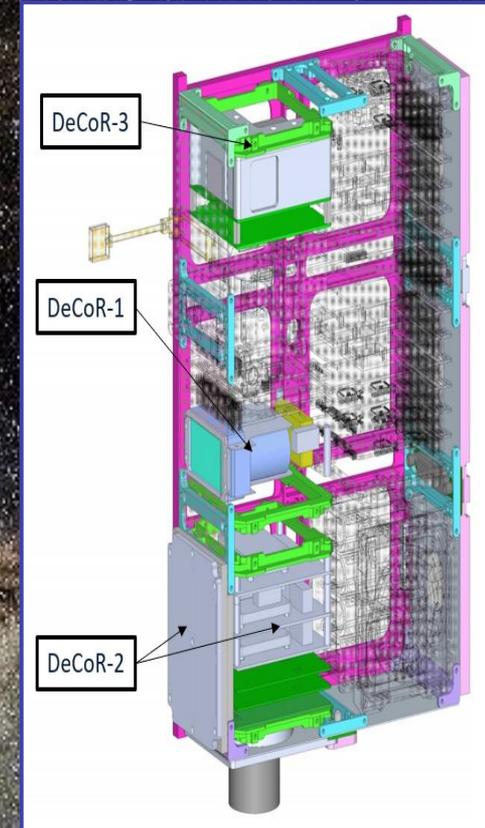
- чувствительная площадь увеличена до **64 см<sup>2</sup>** за счет большего размера сцинтиллятора
- порог по энергии снижен до **20 кэВ**
- Используются полупроводниковые фотоприемники (SiPM) вместо ФЭУ.

На спутниках «Авион» и «Орион» также установлены спектрометрические приборы **ДеКоР-3** на основе сцинтиллятора большей толщины (40 мм).



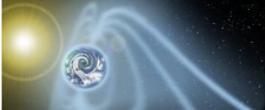
# Параметры кубсатов для наблюдения жесткого рентгеновского и гамма-излучения

Название проекта	Формат	Частотный диапазон связи	Возможный объем передаваемой информации,	Приборы
АВИОН	6U	УКВ, <b>S</b>	~ 100 Мб/сутки	ДеКоР-1, ДеКоР-2, ДеКоР-3
Монитор-2	3U	УКВ, <b>S</b>	~ 100 Мб/сутки	ДеКоР-2, ДеКоР-3
Монитор-3	3U	УКВ	~ 0.3 Мб/сутки	ДеКоР-2
Монитор-4	3U	УКВ	~ 0.3 Мб/сутки	ДеКоР-2
UTMN-2	3U	УКВ	~ 0.3 Мб/сутки	ДеКоР-2



# Информация со спутников доступна на сайте космической погоды НИИЯФ МГУ по адресу <https://swx.sinp.msu.ru>

← → ↻ <https://swx.sinp.msu.ru/tools/davisat.php?gcm=1> 🔍 📄 ⚙️ 🏠 🌐



## Космическая погода



НИИЯФ МГУ

🇷🇺 🇺🇸

ГЛАВНАЯ КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА ИНСТРУМЕНТЫ ПРИЛОЖЕНИЯ 3D МАГНИТОСФЕРА МОДЕЛИ О ПРОЕКТЕ

[IDA](#) [DaVisAT](#) [SatTV](#) [SunView](#) [LShellFlux](#) [SynopticMaps](#) [FTP](#) [DaVisAT 2](#)

### Анализ и визуализация данных (Data Visualisation and Analysis Tool, DaVisAT)

[Full window mode](#)

 Charts  Data table

## Welcome to Data Visualisation and Analysis Tool (DaVisAT)

Data Visualisation and Analysis Tool allows you to build charts from data catalogue available at SINP MSU. It contains data from a number of satellites, ground measurements and model calculations.

To start using Data Visualisation and Analysis Tool open catalogue with  button on bottom of the page. Select satellites (Stations in the left panel), instruments and channels. Put them on one or many charts (add axis if you need) and close catalogue.

Select interval using widget marked by  icon on bottom of the page.

Choose appropriate resolution for plotting data using widget marked by  icon on bottom of the page.

Plot data by pressing  icon on bottom of the page.

You can customize charts selecting data from menu  and setting some data plotting options. Also you can choose height of the charts  and their layout .

You can save your work in browser local storage or on disk (click on ) and load previously saved templates.

Use undo (click on ) redo (click on ) and erase (click on ) when editing.

              2020-04-08 10:50:00 - 2020-04-08 12:50:00   Auto   One column   400 

2022 © Центр анализа космической погоды НИИЯФ МГУ

# Выбор параметров для визуализации...

The interface is divided into two main sections: 'Sources' and 'Charts'.

**Sources:**

- Stations:** Amursat, Vdnh80, Norbi, Dekart, Monitor-1, Monitor-2, Monitor-3, Monitor-4, Utmn-2, **Avion** (selected), Ground Data, Applications.
- Instruments:** AVION monitoring1\_flux, AVION monitoring2-1\_flux, AVION monitoring2-2\_flux, AVION monitoring3\_flux, **Orbit** (selected).
- Channels:** Latitude [°], Longitude [°], Altitude [km], X (GEO) [km], Y (GEO) [km], Z (GEO) [km], Magnetic latitude [°], Magnetic longitude [°], MLT [h], **L [R<sub>e</sub>]** (selected), B [G], IGRF Bx [nT].

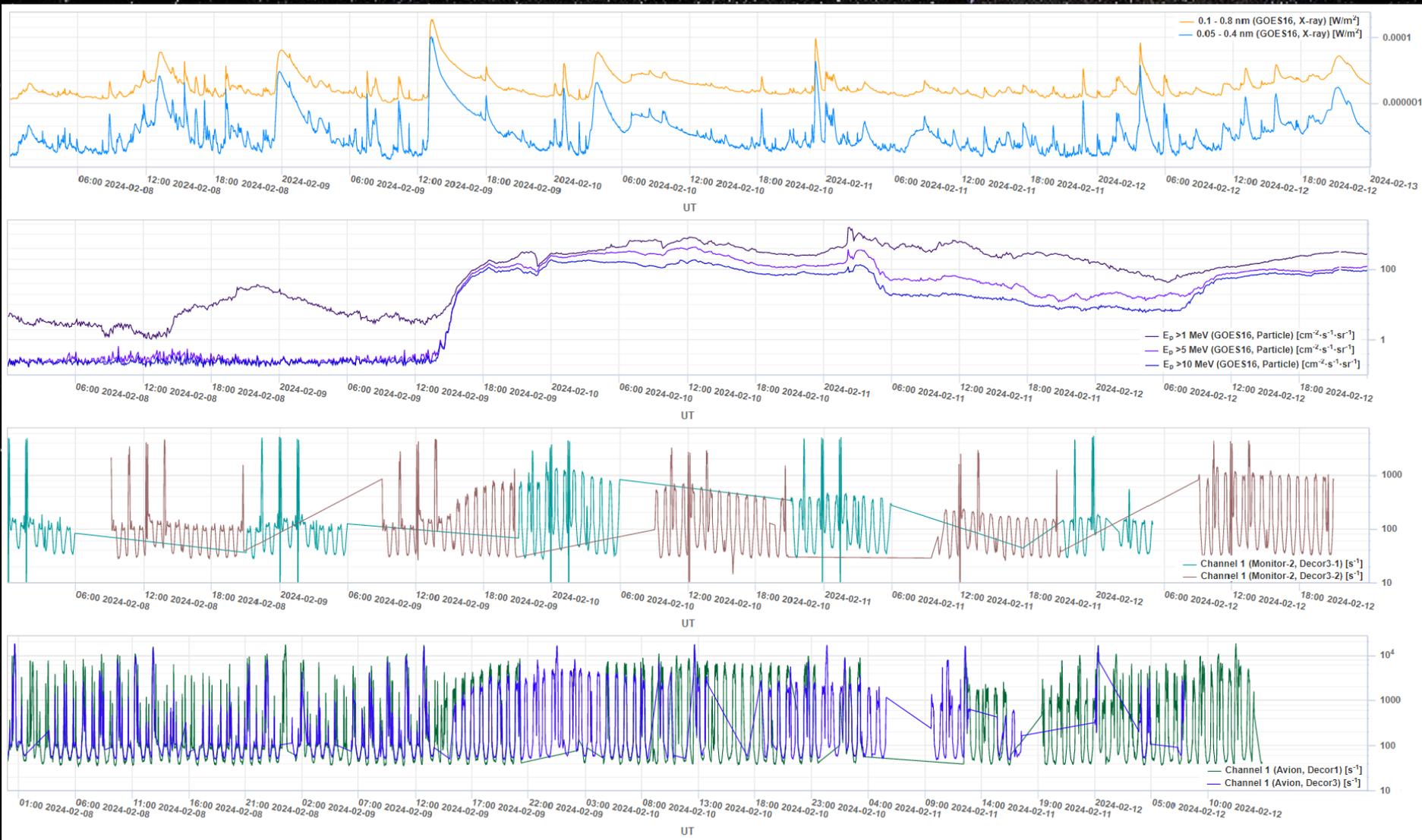
**Charts:**

- Chart #1:** Y Axis #1. Includes checked items: Gamma >50 keV + Electrons >300 keV (Avion, Decor1) [cm<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>·sr<sup>-1</sup>], Gamma >50 keV + Electrons >300 keV (Avion, Decor3) [cm<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>·sr<sup>-1</sup>], Gamma >50 keV + Electrons >300 keV (Avion, Decor2-1) [cm<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>·sr<sup>-1</sup>], Gamma >50 keV + Electrons >300 keV (Avion, Decor2-2) [cm<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>·sr<sup>-1</sup>], L (Avion) [R<sub>e</sub>], Shad (Avion) [].
- Chart #2:** (empty)
- Chart #3:** (empty)

Buttons at the bottom: Close, Close and Plot, Clean.

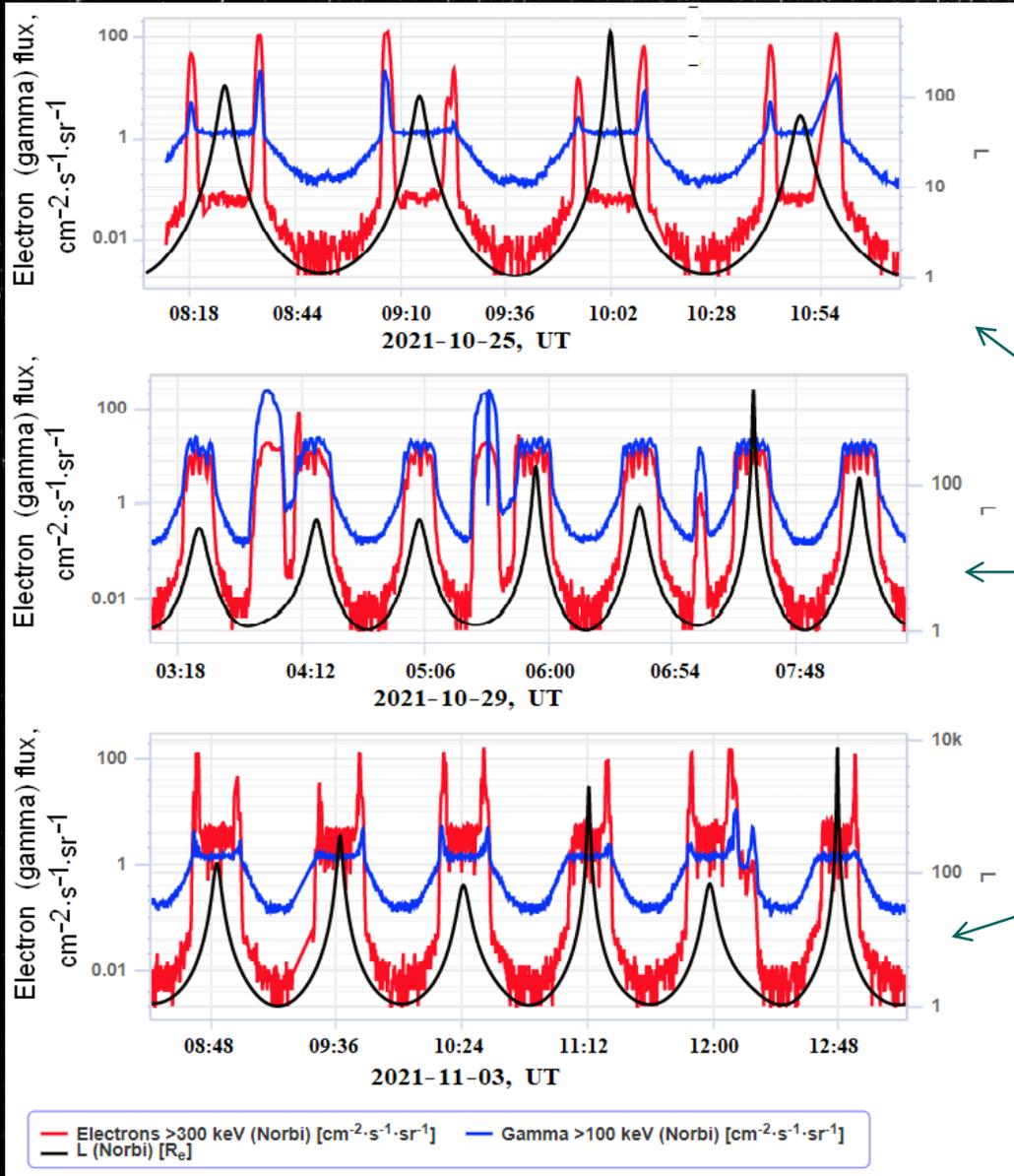
Доступны данные GOES (1мин рентген, протоны), ACE, Электро\_Л, спутников с аппаратурой МГУ (Коронас, Вернов, Ломоносов и др), в том числе кубсатов, а также Kp, Dst и других индексов. Можно строить графики, а также получить данные в текстовом виде.

# Пример: данные за несколько дней февраля 2024 г.



Верхняя панель – HXR GOES16, далее – протоны  $>1$ ,  $>5$  и  $>10$  МэВ (GOES16), затем информация с кубсатов Монитор-2 и Авион (несколько параметров).

# Наблюдение инъекции солнечных энергичных частиц в области полярных шапок. Данные кубсата НОРБИ.



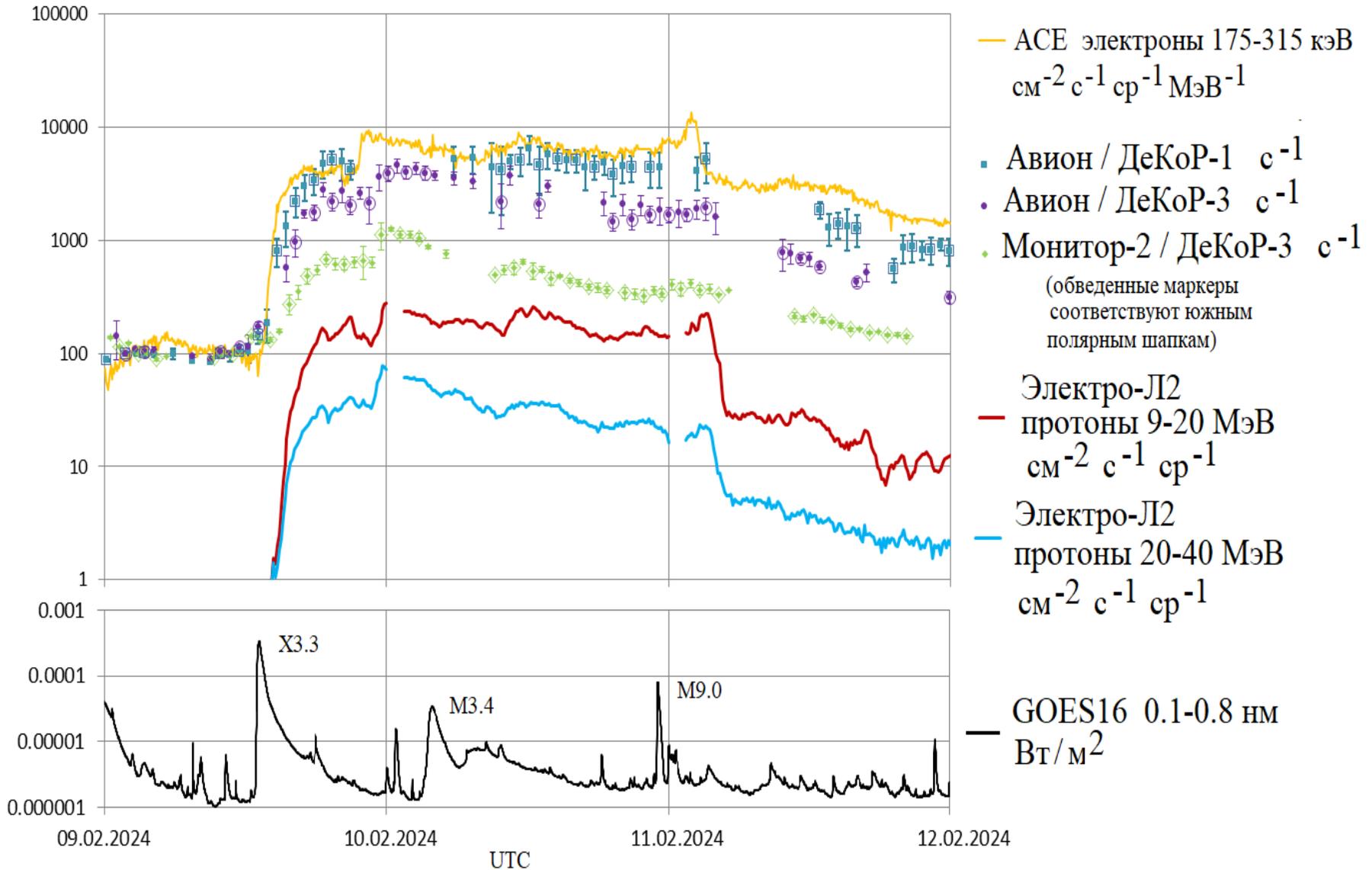
В 2021 г. спутник НОРБИ наблюдал возрастание потоков заряженных частиц в полярных шапках, в обоих каналах мониторинга: регистрация электронов  $E > 300$  кэВ в пластике и регистрация гамма-квантов  $E > 100$  кэВ (в том числе тормозного излучения электронов с энергией  $>$  сотен кэВ в CsI(Tl)).

25 октября – до вспышек. Виден широтный ход, РПЗ, потоки в шапках, меньшие, чем в поясах.

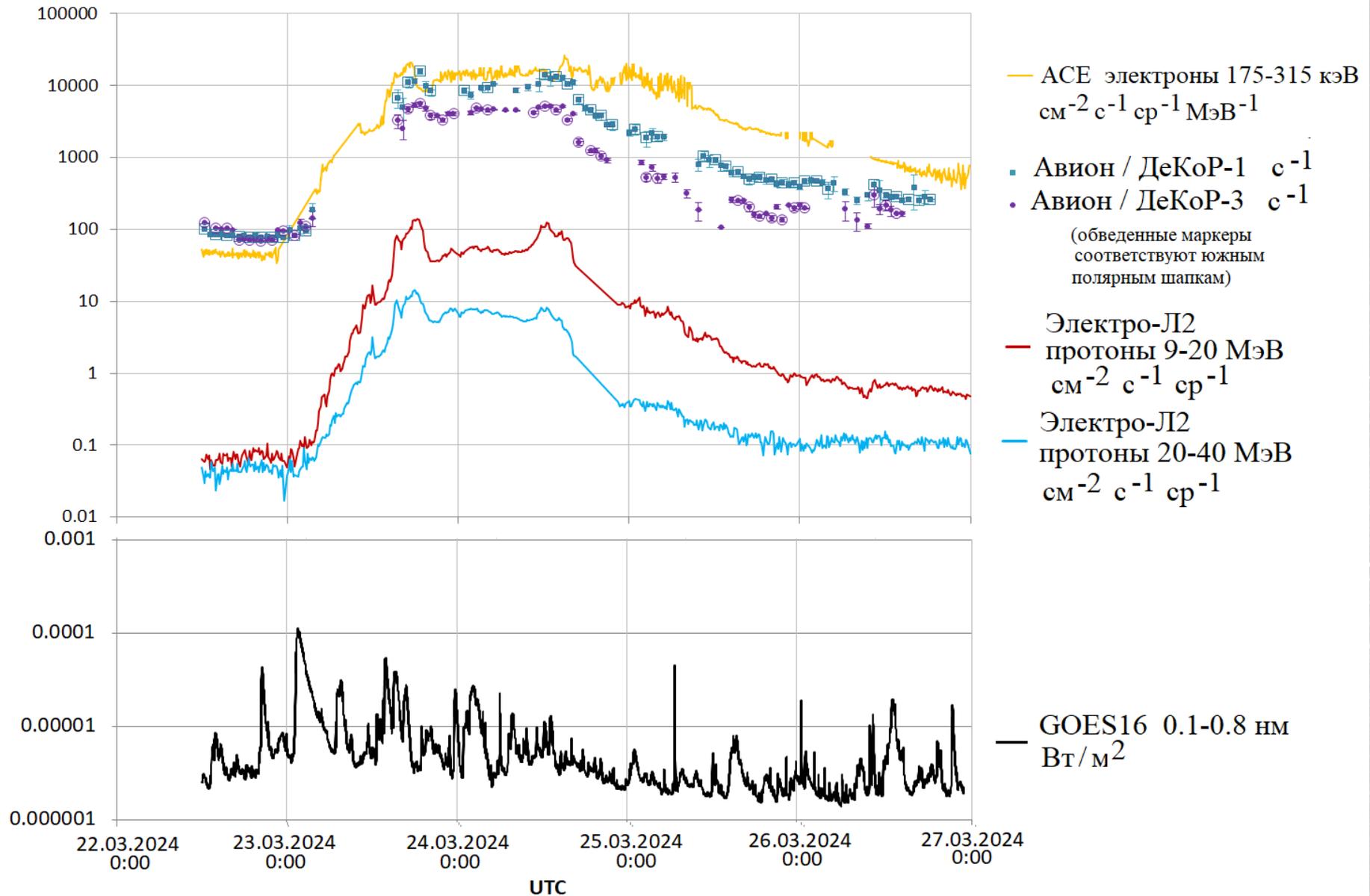
29 октября – после 1-й вспышки. В шапках темпы счета значительно увеличились и стали такими же, как и во внешнем поясе. Эти изменения вызваны заполнением полярных шапок энергичными солнечными электронами и протонами, ускоренными во вспышках.

3 ноября – после вспышек, но до ускорения вследствие КВМ. Снижение счета в шапках за счет общего уменьшения потоков СКЛ. Периодичность, видимая в шапках, связана со вращением аппарата и указывает на сильную анизотропию пич-углового распределения частиц.

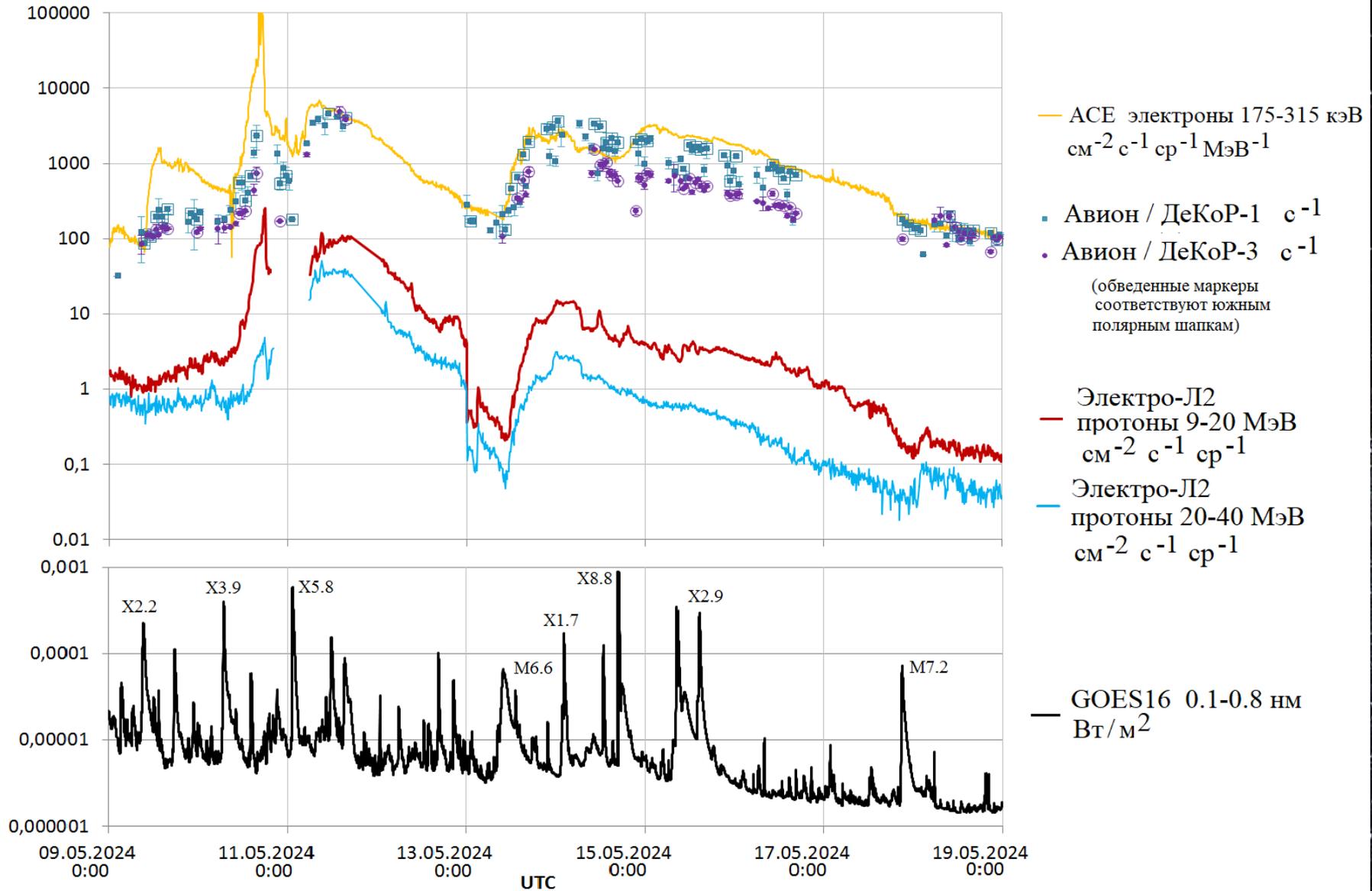
# 9-12 февраля 2024 г.



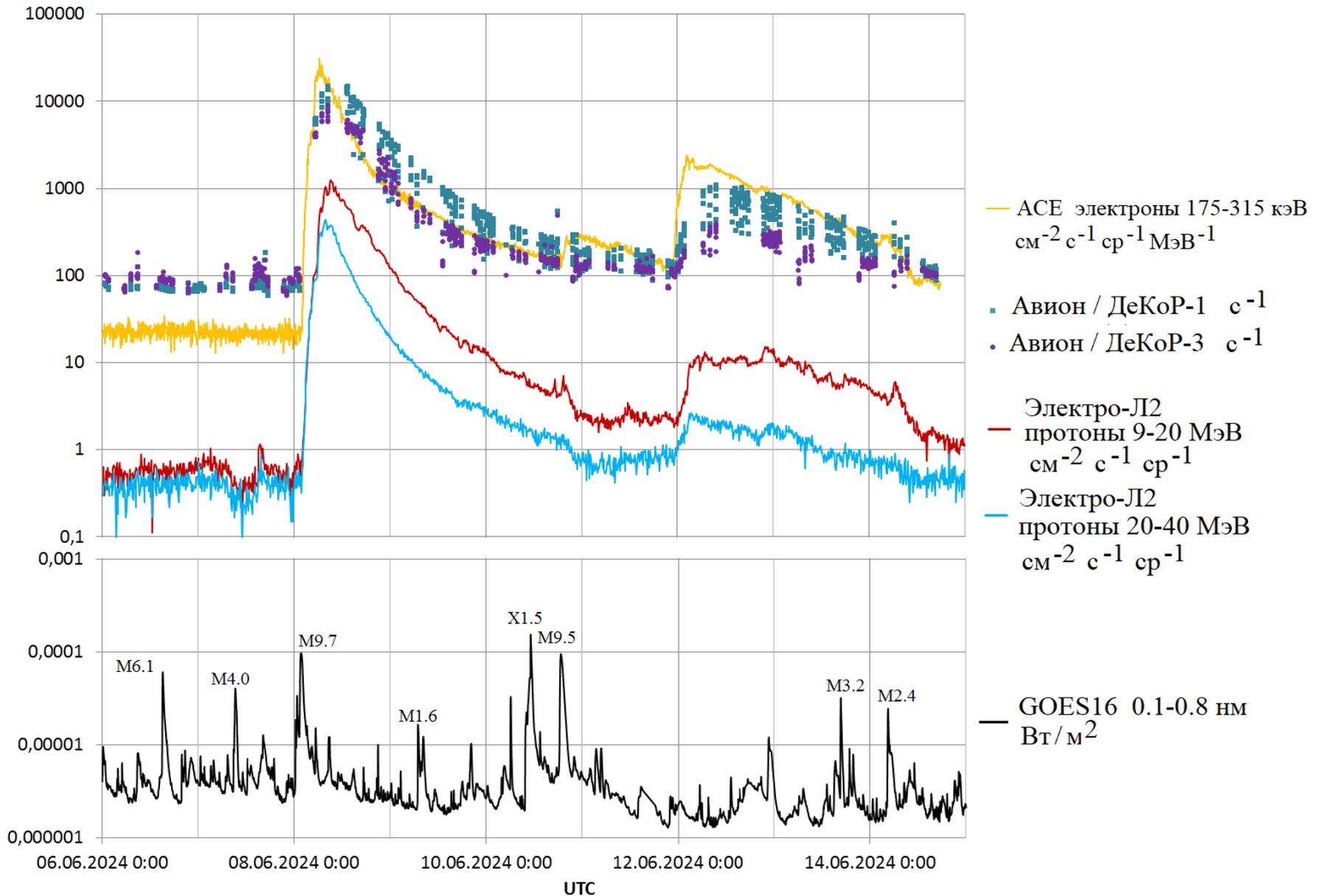
# 22-27 марта 2024 г.



9-19 мая 2024 г.



6-15 июня 2024 г.



## Список вспышек, наблюдавшихся в жестком рентгеновском излучении на кубсатах группировки МГУ

№	Дата	Время GOES	Класс	Кубсат	Время HXR	Длительность
1	2023-09-19	20:01-20:14-20:21	M4.0	<u>Авион</u>	20:09-20:10	> 1 мин. (виден только конец)
2	2023-10-01	03:21-03:24-03:30	C9.3	<u>Авион</u>	03:23-03:23	10 сек.
3	2023-11-02	12:18-12:22-12:26	M1.6	<u>Авион</u>	12:22-12:22	< 20 сек.
4	2023-12-14	16:47-17:02-17:12	X2.8	<u>Авион</u>	16:56-17:06	10 мин.
5	2023-12-15	07:03-07:15-07:23	M6.3	Монитор-4	07:09-07:16	7 мин.
6	2024-01-04	01:10-01:16-01:22	M1.1	<u>Авион</u>	01:12-01:14	2 мин.
7	2024-01-29	03:54-04:38-05:15	M6.8	<u>Авион</u>	04:16-04:21	5 мин.
8	2024-02-05	06:10-06:22-06:26	M1.4	<u>Авион</u>	06:20-06:21	50 сек.
9	2024-02-08	18:56-19:02-19:06	M1.3	<u>Авион</u>	19:01-19:02	25 сек.
10	2024-02-09	12:53-13:14-13:32	X3.3	<u>Авион</u>	13:04-13:07	3 мин.
11	2024-02-16	06:17-06:32-06:40	X2.5	<u>Авион</u>	06:50-06:52	1мин 15 сек
12	2024-02-21	22:52-23:07-23:14	X1.8	<u>Авион</u>	23:04-23:09	5 мин.
13	2024-02-22	22:08-22:34-22:43	X6.3	<u>Авион</u>	22:25-22:42	17 мин.
14	2024-03-26	00:28-00:36-00:40	M1.8	<u>Авион</u>	00:35-00:36	40 сек.
15	2024-03-30	21:01-21:16-22:15	M9.4	<u>Авион</u>	21:12-21:13	1 мин.
16	2024-05-09	11:52-11:56-12:02	M3.1	<u>Авион</u>	11:54-11:54	40 сек.
17	2024-06-09	06:49-07:01-07:16	M1.6	<u>Авион</u>	06:57-06:59	2 мин.

2024-02-09

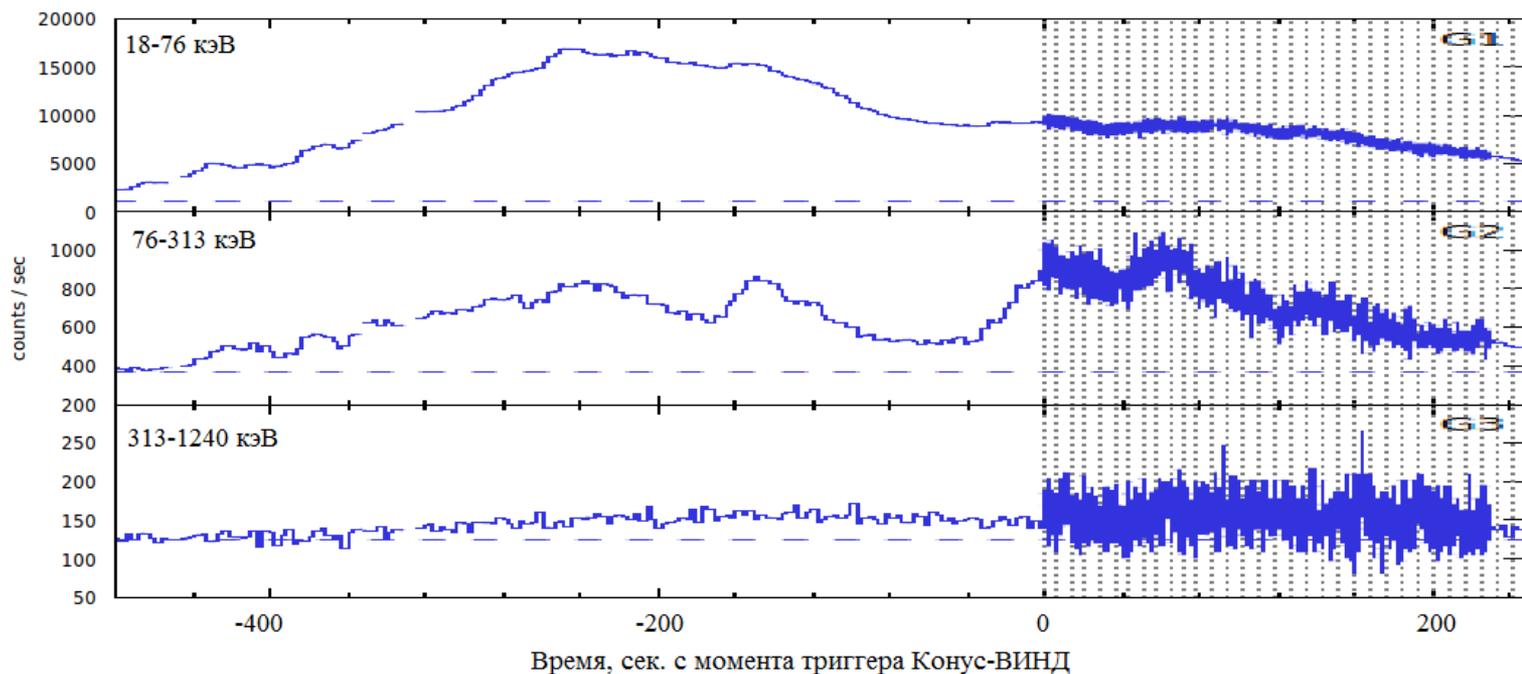
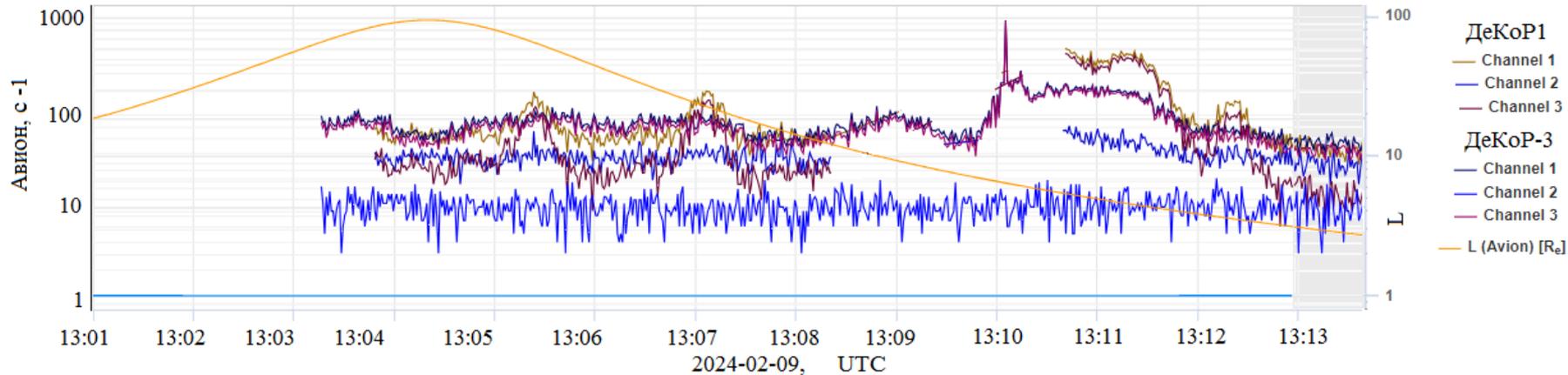
12:53-13:14-13:32

X3.3

Авион

13:04-13:07

3 мин.



2024-03-26

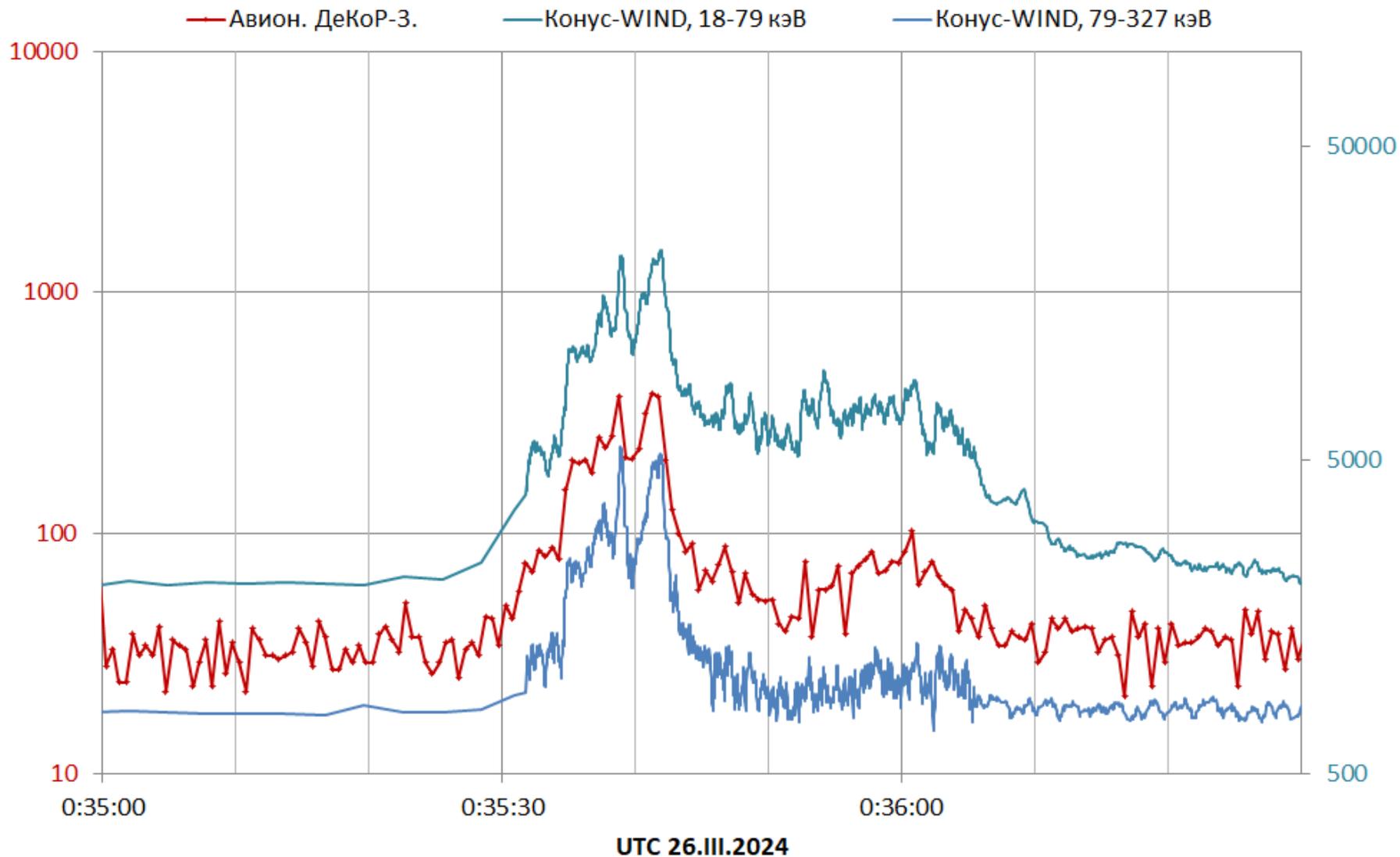
00:28-00:36-00:40

M1.8

Авион

00:35-00:36

40 сек.



2024-05-09

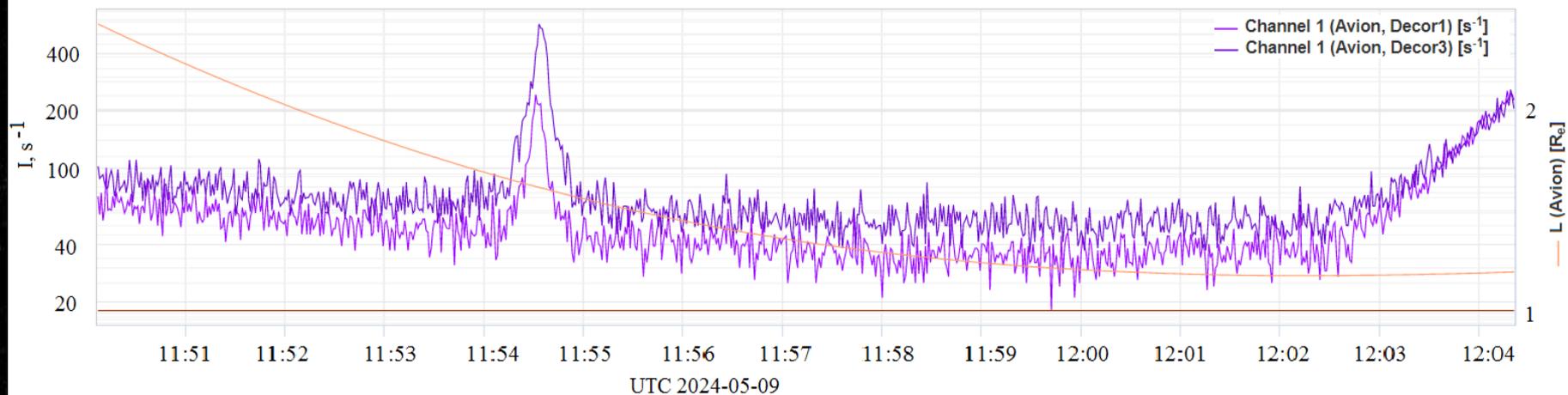
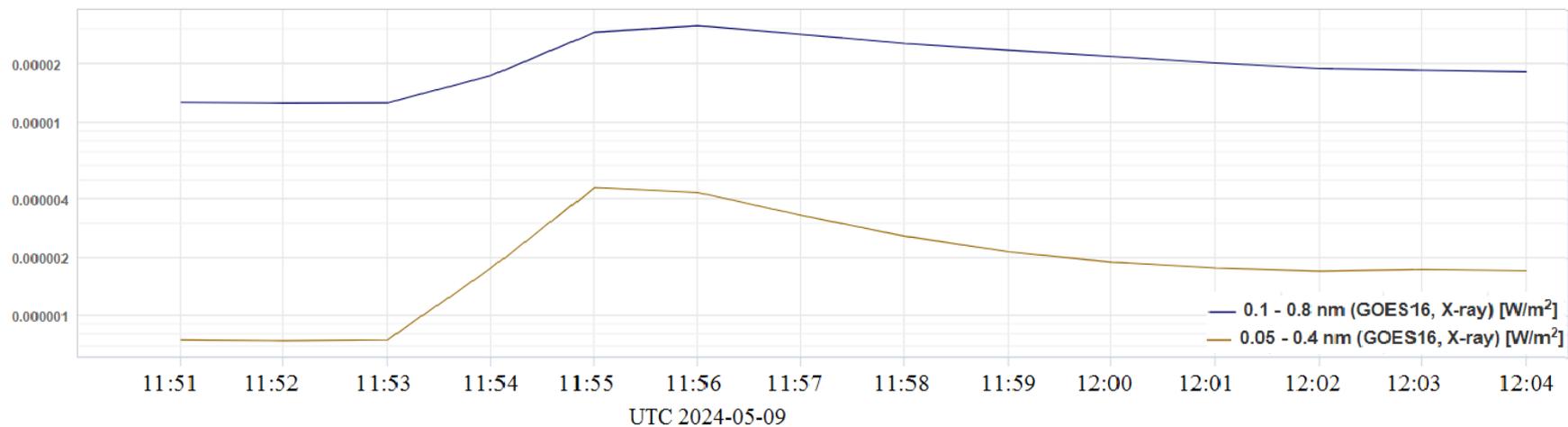
11:52-11:56-12:02

M3.1

Авион

11:54-11:54

40 сек.



2024-06-09

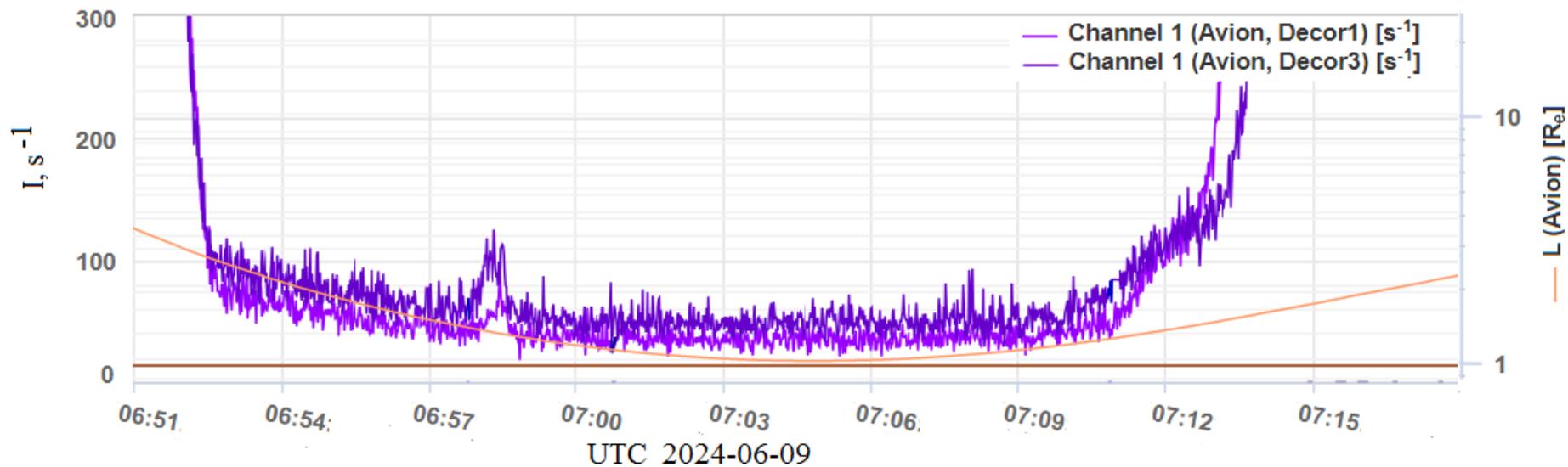
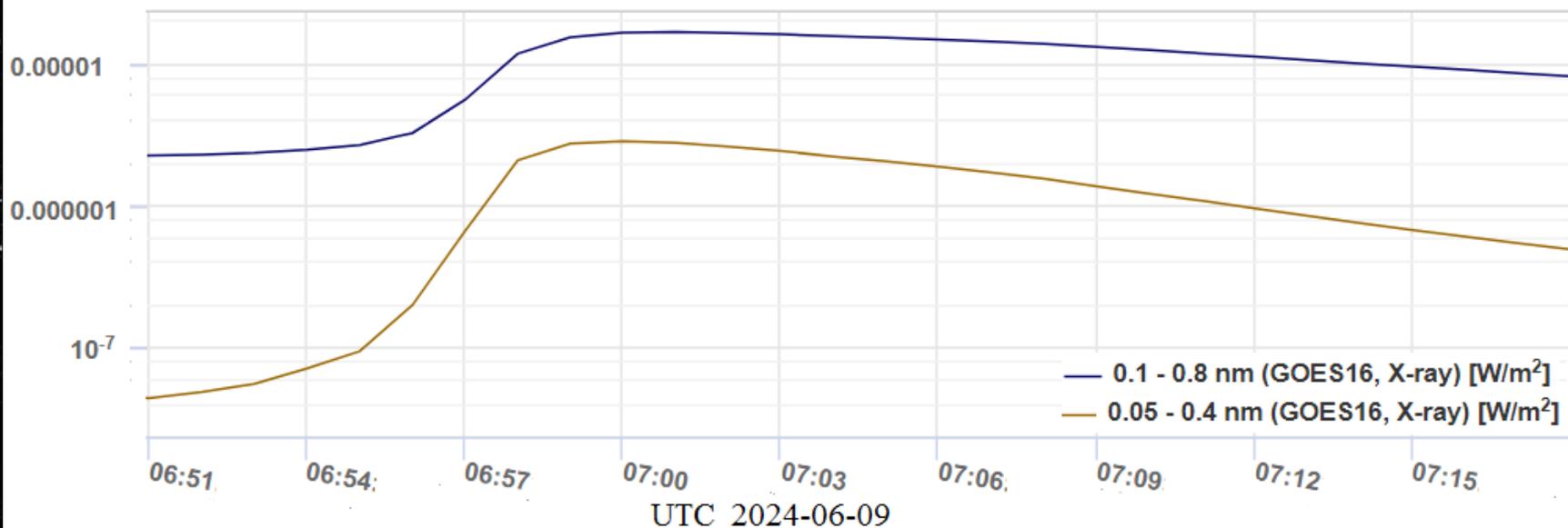
06:49-07:01-07:16

M1.6

Авион

06:57-06:59

2 мин.



# Заключение

Для нескольких периодов прихода СКЛ в первой половине 2024 г. с помощью детекторов, установленных на кубсатах группировки МГУ, были получены данные о потоках электронов с энергией  $E > 300$  кэВ.

Различие в скоростях счета северной и южной полярных шапок указывают на моменты анизотропии электронов СКЛ.

Подобные данные с кубсатов могут быть использованы в задачах радиационной безопасности и прогноза космической погоды, при условии обеспечения непрерывных измерений.

Одновременно с мониторингом электронов СКЛ проводились наблюдения жесткого рентгеновского излучения солнечных вспышек, в том числе в периоды наблюдения СКЛ. В настоящее время каталог вспышек HXR насчитывает 17 событий класса C, M и X.

В условиях ограниченных ресурсов кубсатов целесообразно:

- 1) Использовать несколько кубсатов для увеличения экспозиции (больше вероятность наблюдений не в тени и не в поясах) и для подтверждения особенностей временного профиля вспышки.
- 2) Использовать память кубсатов с возможностью выбора периода времени, за который нужно сбросить информацию в первую очередь.
- 3) Стабильная ориентация аппарата.
- 4) Управление командами с Земли вплоть до перепрошивки программного обеспечения в процессе полета.
- 5) Использование триггерного режима (всплесковой ячейки) для подробного мониторинга и спектральной информации.

***Спасибо за внимание!***

