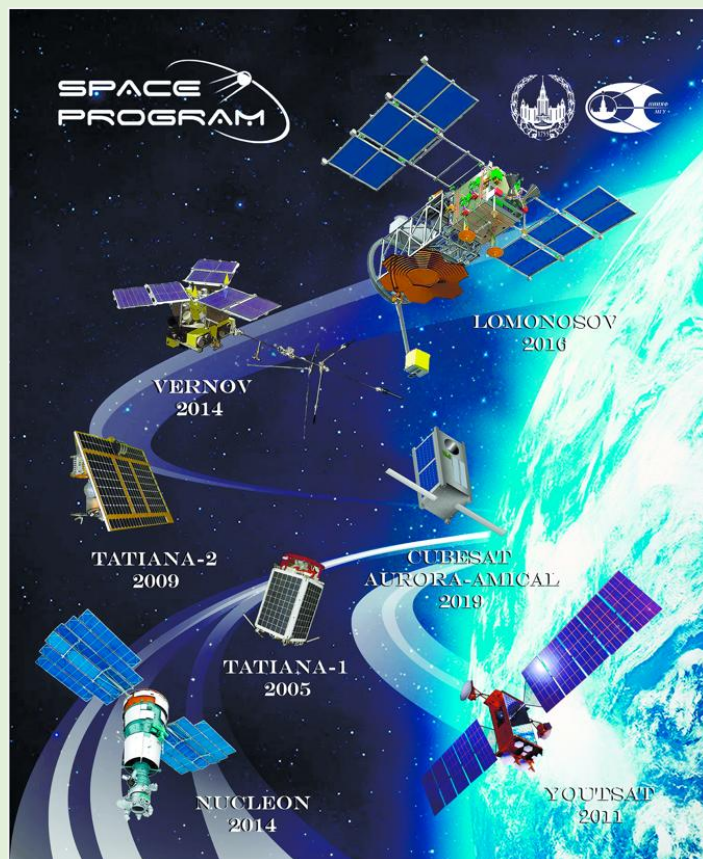


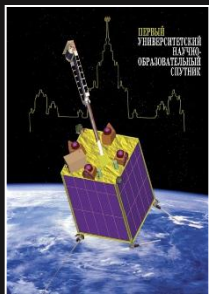


Наблюдения солнечных космических лучей с помощью наноспутников формата КУБСАТ



Докладчик:
А. В. Богомолов
НИИЯФ МГУ

Космическая программа МГУ



Татьяна
2005



Татьяна-2
2009



Ютсат
2011



Вернов
2014



Нуклон
2014

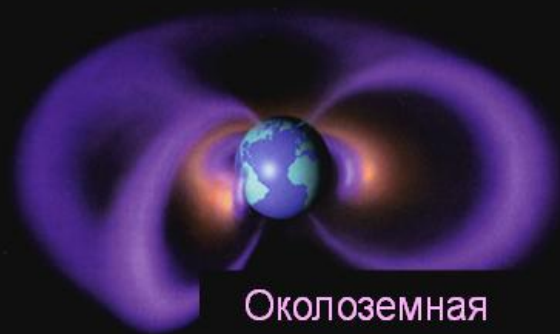
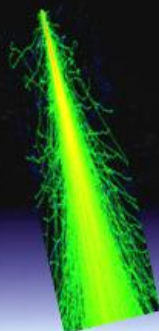


Ломоносов
2016

Космические лучи
галактического и
внегалактического
происхождения



Космические
гамма-всплески



Околоземная
радиация

Атмосферные
световые транзиенты



Атмосферные свечения



Солнечные
вспышки, СКЛ



Спутник «Университетский-ТАТЬЯНА»

20.01.2005 г. – 7.03.2007 г.

Круговая орбита, высота ~1000 км, наклонение 83 град.

Масса спутника ~32 кг.

Детекторы для регистрации частиц:

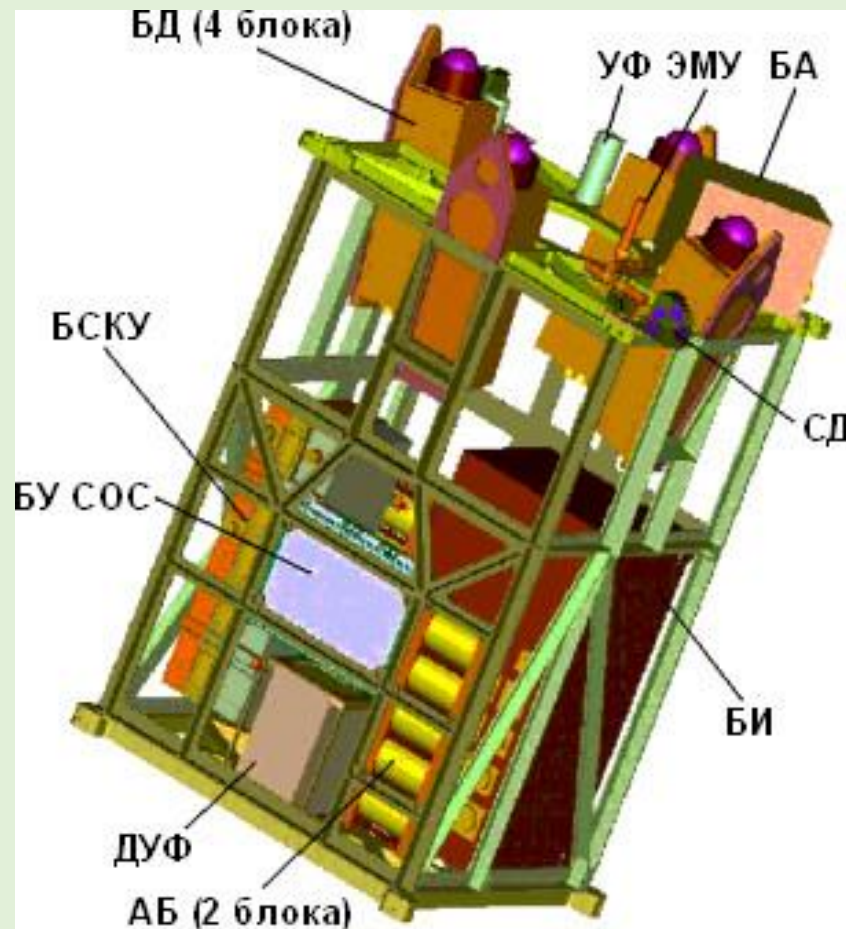
1) Полупроводниковые детекторы 300 и 1000 мкм Si

- электроны >70 keV,
- электроны 0.3 - 6 MeV
- электроны 0.7-0.9 MeV
- протоны 2 - 14 MeV
- протоны 7-15 MeV

2) Сцинтилляционный детектор

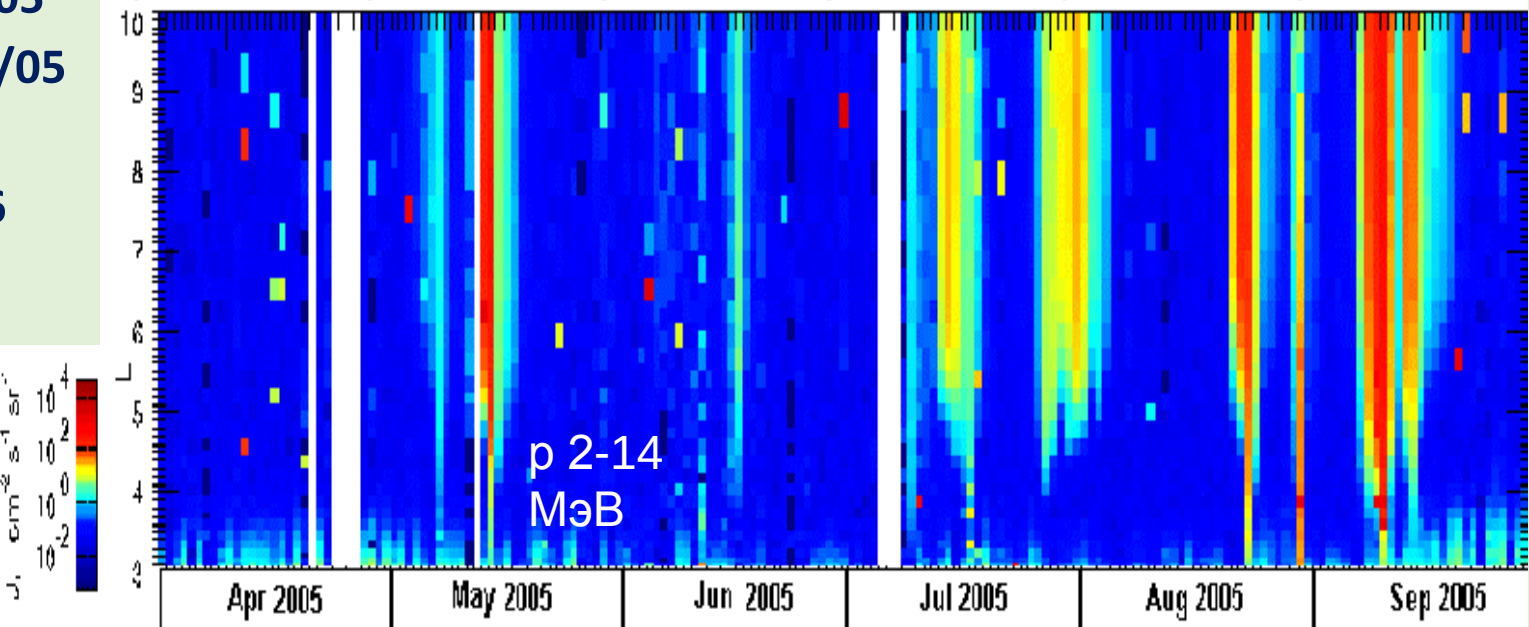
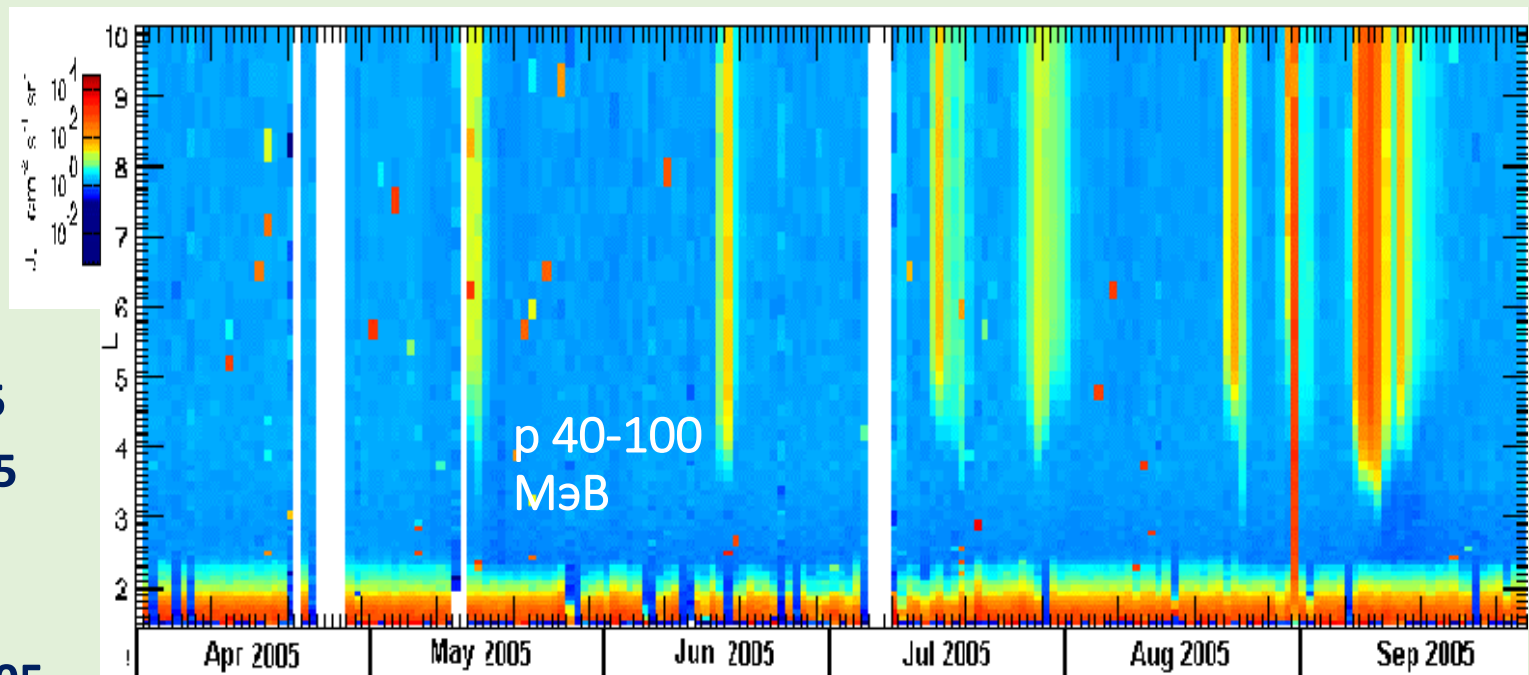
- протоны 40-100 MeV
- электроны >3. 5 MeV

*Первые результаты исследований космической среды на спутнике Университетский – Татьяна
/ В. А. Садовничий, М. И. Панасюк, С. Ю. Бобровников
и др. // Космические исследования. — 2007.
— Т. 45, № 4. — С. 291–305.*

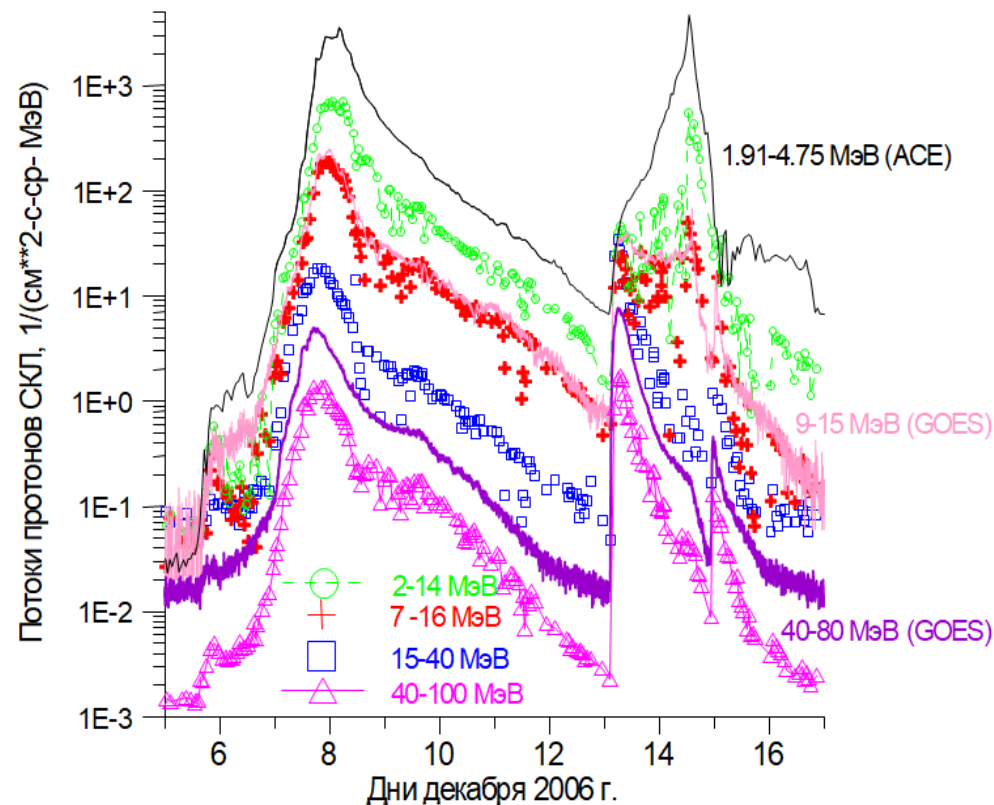
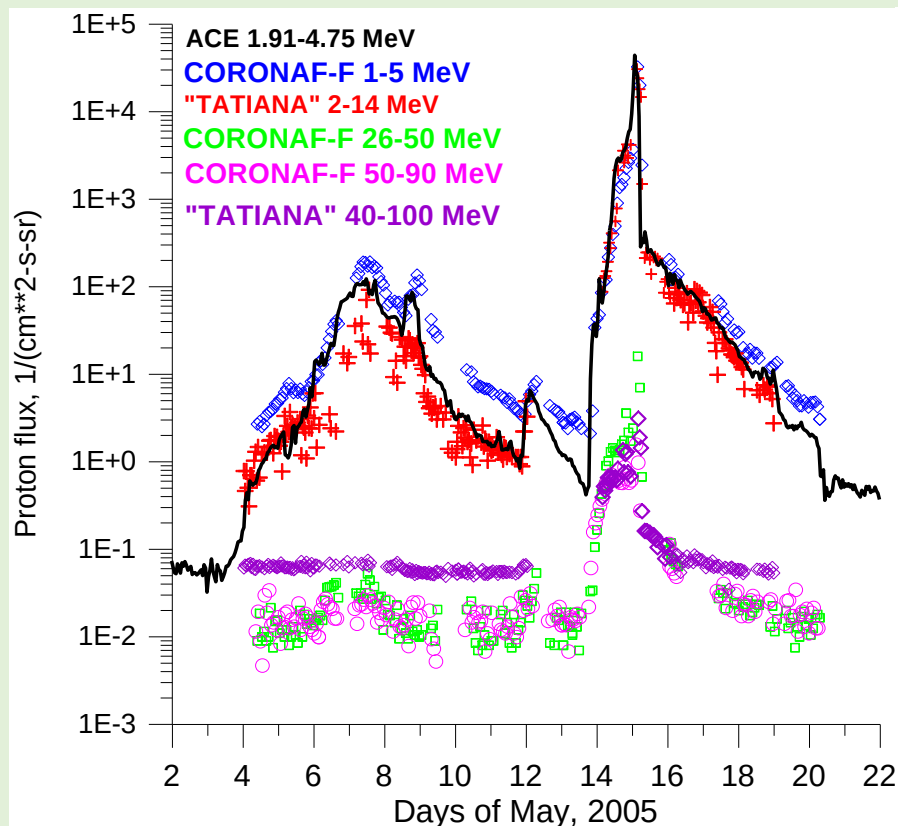


События СКЛ в 2005-2006 гг.

1. 20 – 26/01/05
2. 05 – 20/ 05/05
3. 16-19 /06/05
4. 13-21 /07/05
5. 26/07– 6/08/05
6. 22/08/– 3/09/05
7. 07-20/05
8. 05 – 17/12/06



Наблюдение солнечных протонов в мае 2005 г. и в декабре 2006 г.



Эксперимент на спутнике «Татьяна» продемонстрировал, что на малых КА с круговой полярной орбитой возможно успешное изучение СКЛ по измерениям вариаций потоков частиц в полярных шапках.

I. N. Myagkova, M. I. Panasyuk, L. L. Lazutin, E. A. Muravieva, L. I. Starostin, T. A. Ivanova, N. N. Pavlov, I. A. Rubinshtein, N. N. Vedenkin, and N. A. Vlasova. December 2006 solar extreme events and their influence on the near-earth space environment: Universitetskiy-Tatiana satellite observations. Advances in Space Research, 43(4):489–494, 2009.



Проект Московского университета

«**Универсат-СОКРАТ**»

(**С**истема **О**повещения **К**осмической
Радиационной, **А**стероидной и **Т**ехногенной опасности)

Цель проекта:

Создание космической группировки малых спутников для мониторинга в реальном времени в околоземном космическом пространстве, обнаружения и оперативного прогноза природных и техногенных космических угроз:

- радиационной обстановки;**
- потенциально – опасных объектов естественного (астероиды, метеоры) и техногенного происхождения (космический мусор) ;**
- электромагнитных транзиентов.**

Первый этап:

Запущено 5 июля 2019 г.

3 спутника типа кубсат 3U:

- СОКРАТ
- АмурСат
- ВДНХ-80



Полезная нагрузка:

- детектор космической радиации ДЕКОР (АмурСат, ВДНХ-80);
- детектор УФ излучения АУРА (ВДНХ-80);
- Дозиметр СОКРАТ-Р (СОКРАТ)
- технологические эксперименты с источником высокого напряжения (СОКРАТ) и фотоэлектронным преобразователем (АмурСат)



Второй этап:

Запущено 28 сентября 2020 г.

3 спутника типа кубсат:

- ДЕКАРТ (6U)
- НОРБИ (6U)
- Ярило-2 (1.5U)

Орбита: H~550км, 98град.



КА ДЕКАРТ

В состав полезной нагрузки входят:

- ДЕКАРТ: три прибора ДеКоР, направленных взаимно ортогонально, детектор УФ излучения АУРА-2;
- НОРБИ (разработка совместно с НГУ): прибор ДеКоР
- Ярило-2 (разработка совместно с МГТУ им. Баумана): прибор ДеКоР

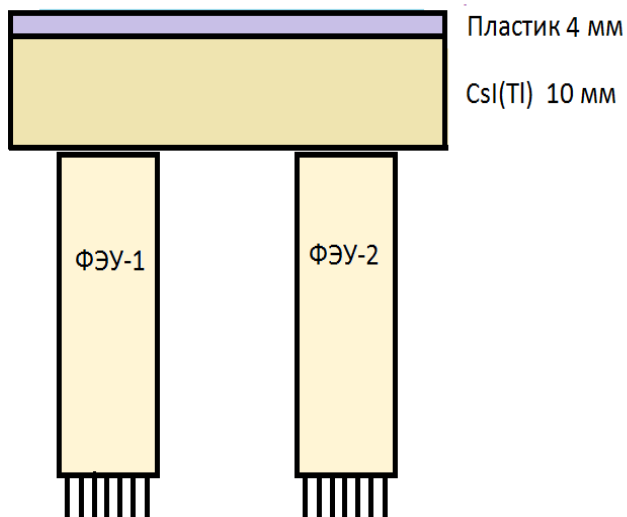


Аппаратура ДеКоР (детектор космической радиации)



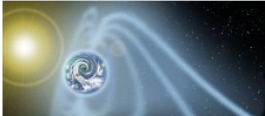
Технические характеристики прибора ДеКоР

Входное окно (0.1мм Al + 0.1 мм полимер)



Регистрируемые типы частиц	Гамма, электроны
Диапазон энерговывделений	0.1 – 2 МэВ
Эффективная площадь	18 см ²
Динамический диапазон:	
Мониторинг общего потока	0-1000 см ⁻²
Спектрально-временной анализ	0-25 см ⁻²
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

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



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 данных для визуализации...

Sources		
Stations	Instruments	Channels
Meteor M1 [35865] >	VDNH-80 monitoring flux >	☒ Gamma >100 keV
Meteor M2 [40069] >	Orbit >	☒ Electrons >300 keV
Meteor M22 >		
Vernov [40070] >		
Siriussat-1 [43595] >		
Siriussat-2 [43596] >		
Amical >		
Amursat >		
Vdnh80 >		
Norbi >		
Arctica M1 >		
Dekart >		

Charts	
 Chart #1	
 Y Axis #1	
☒ Gamma >100 keV (Vdnh80)	
☒ Electrons >300 keV (Vdnh80)	
☒ L (Vdnh80) [R _e]	
+ Add New Y Axis	
+ Add New Chart	

Close



Close and Plot

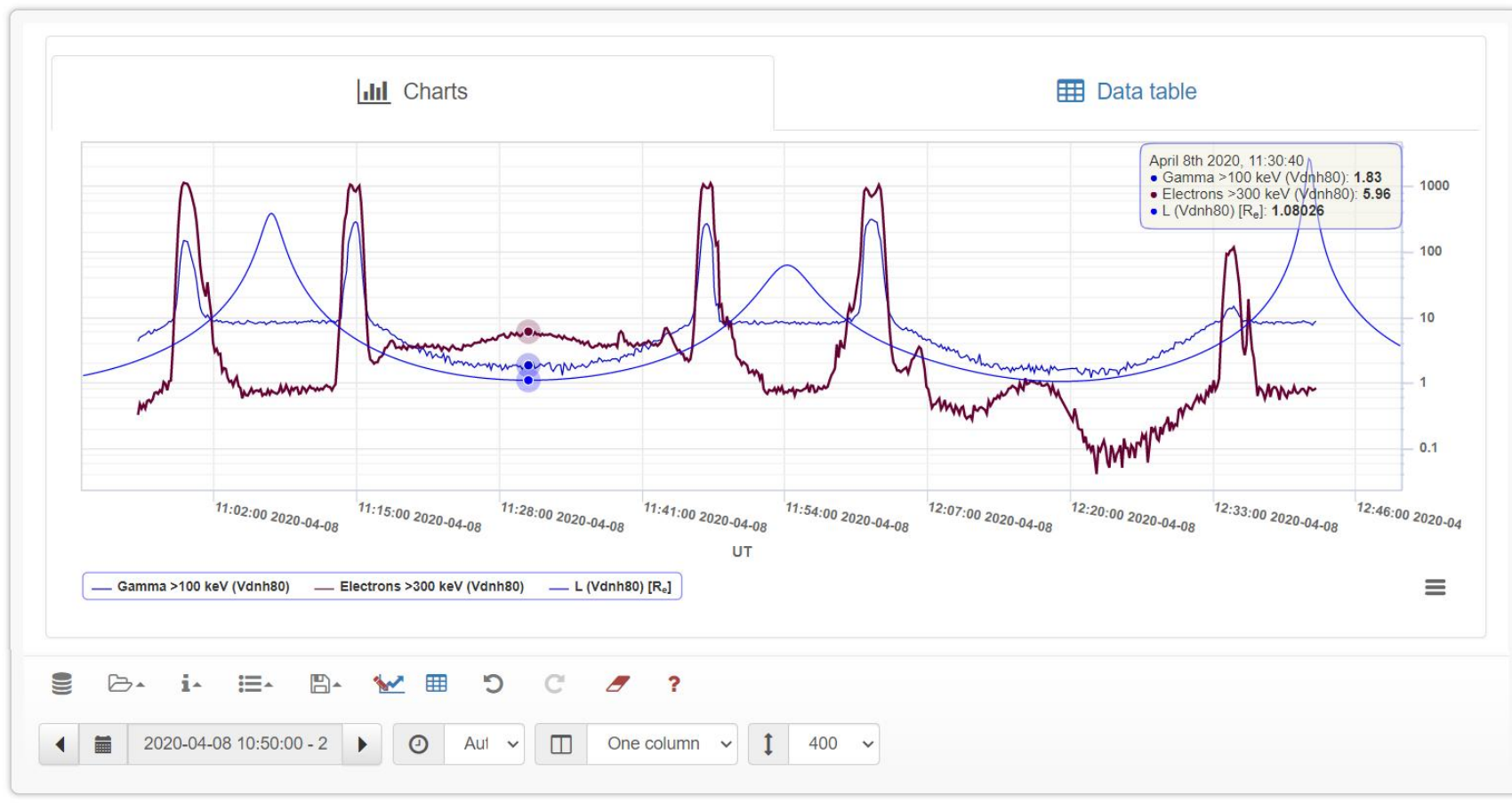
 Clean



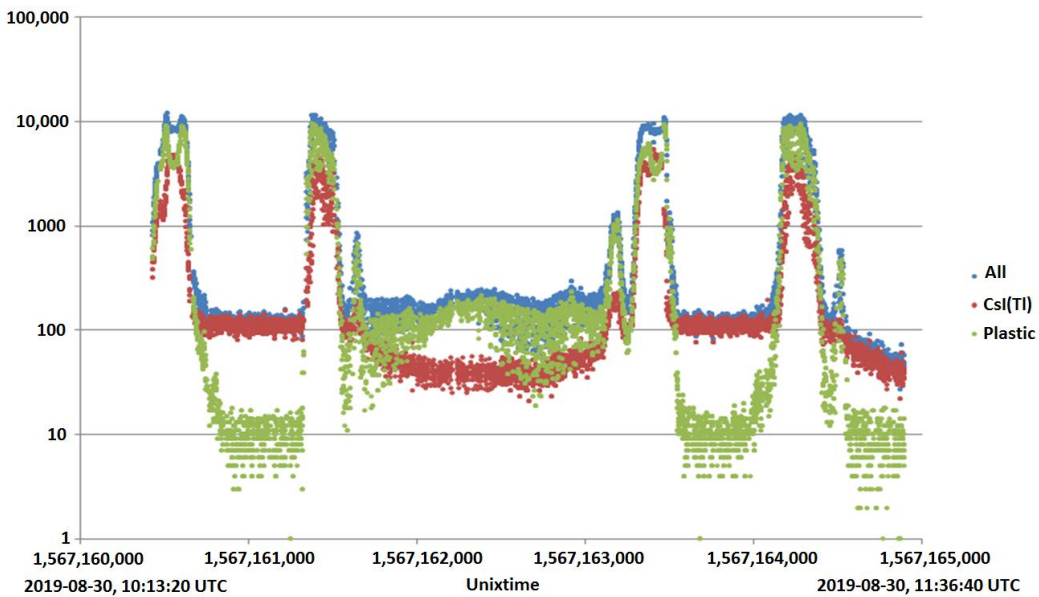
[IDA](#)
[DaVisAT](#)
[SatTV](#)
[SunView](#)
[LShellFlux](#)
[SynopticMaps](#)
[FTP](#)
[DaVisAT 2](#)

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

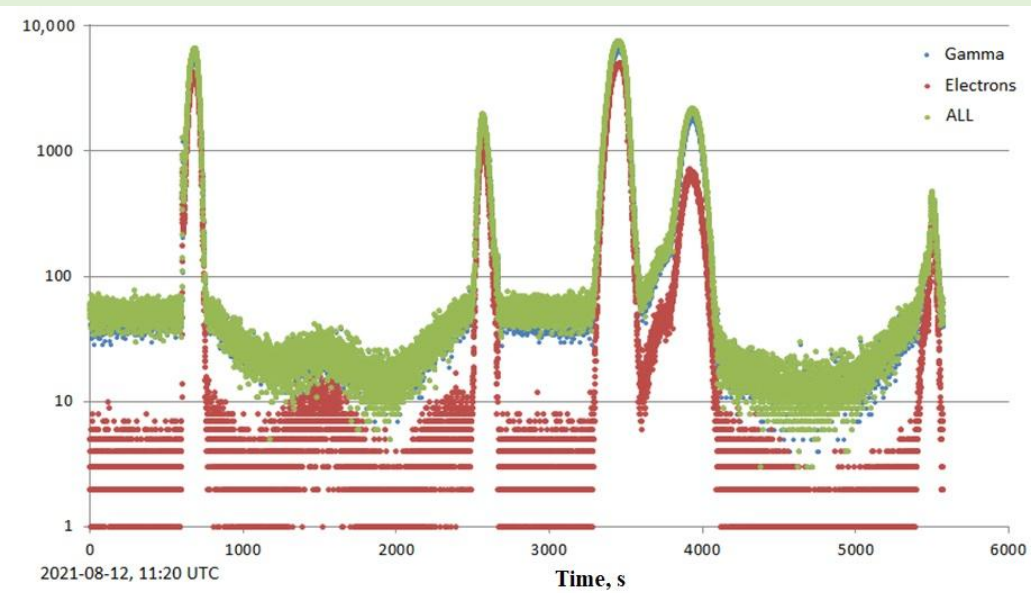
[Full window mode](#)



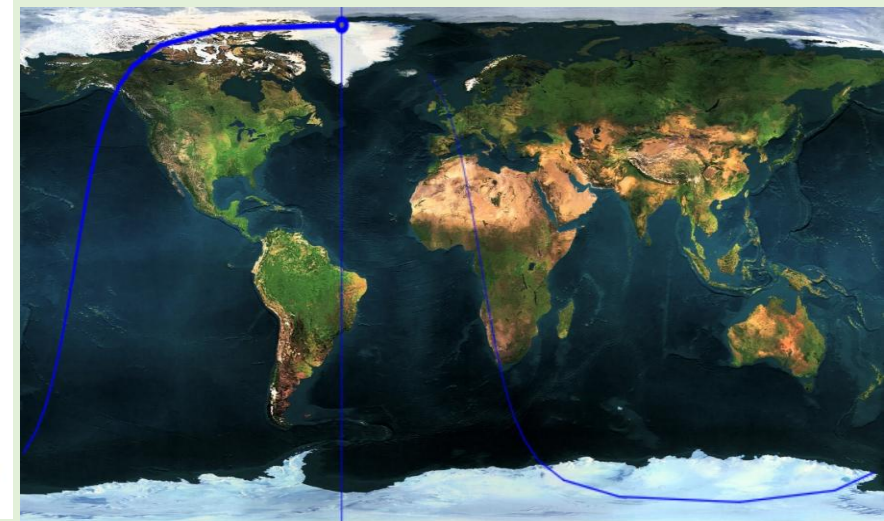
Субрелятивистские электроны в области геомагнитного экватора



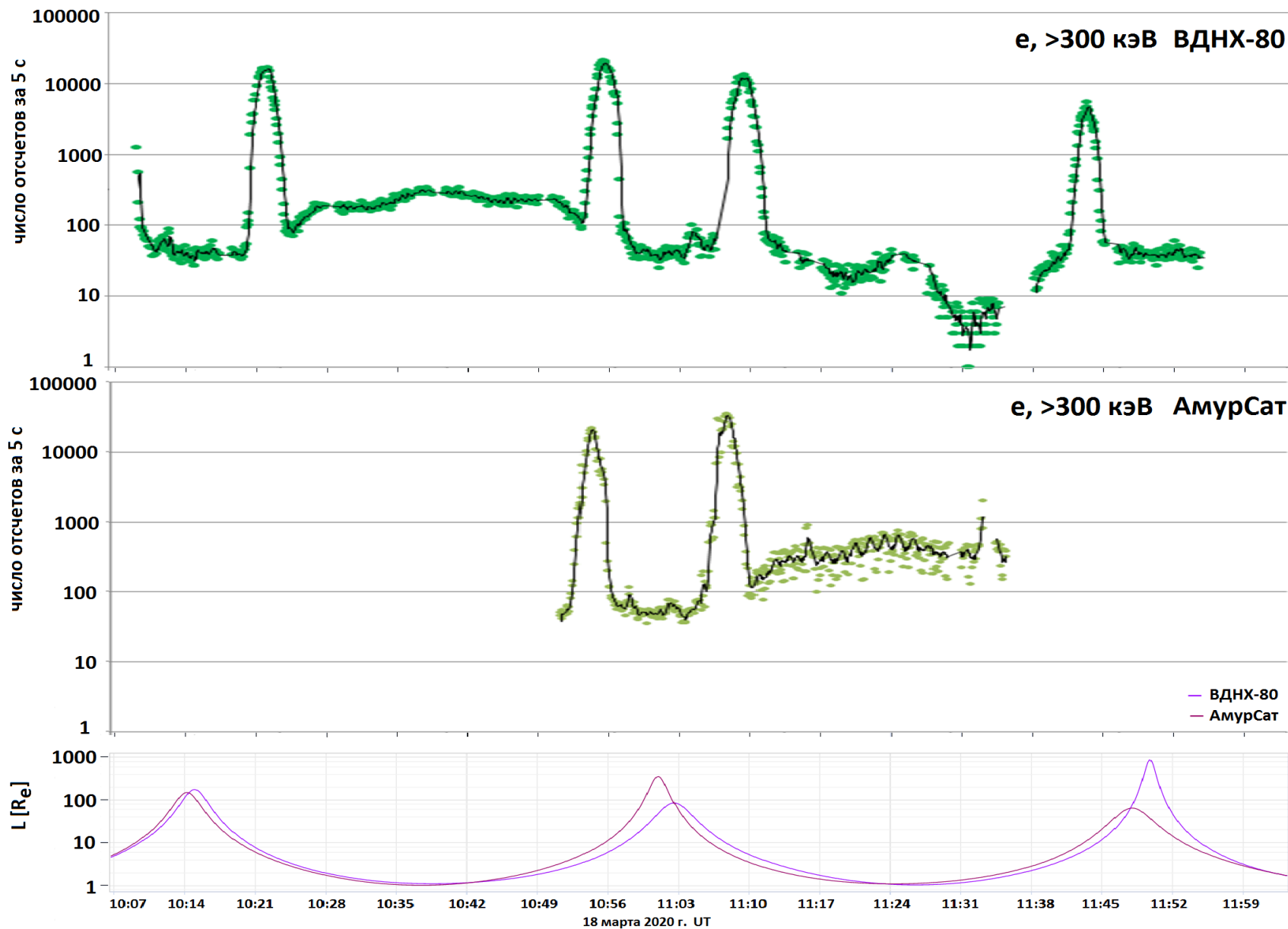
АмурСат, 30 августа 2019 г.



ДЕКАРТ, 12 августа 2021 г.

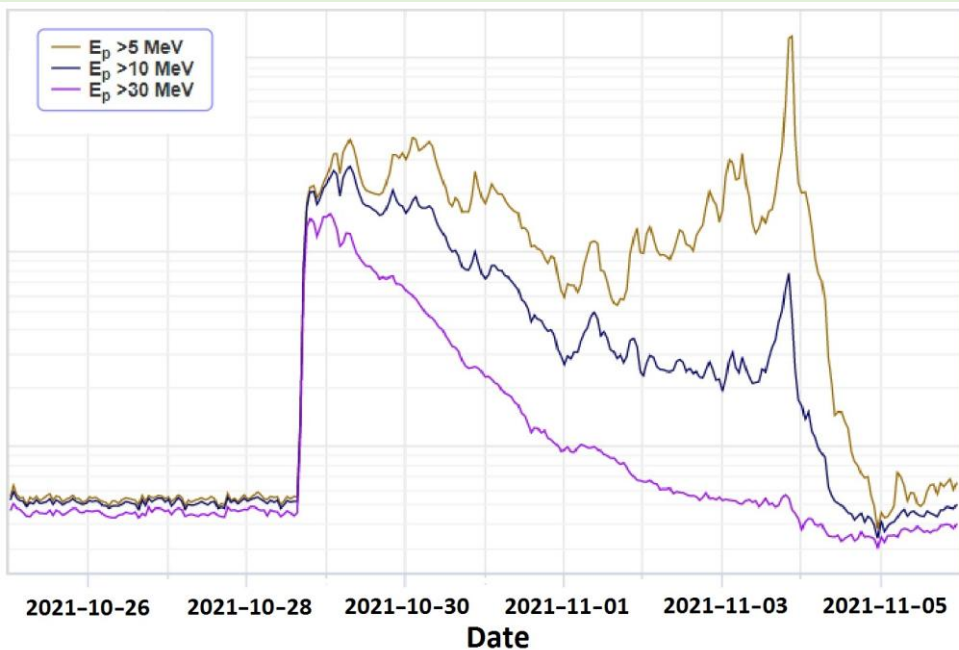


Пример последовательного пролета одной и той же области спутниками ВДНХ-80 и АмурСат

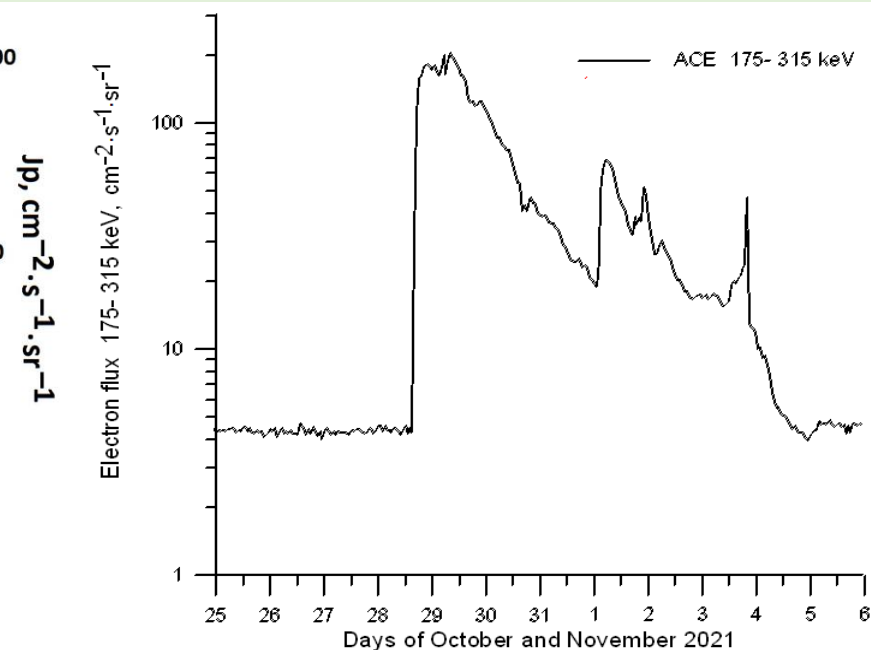


Наблюдение инъекции солнечных энергичных частиц в области полярных шапок.

Данные GOES



Данные ACE

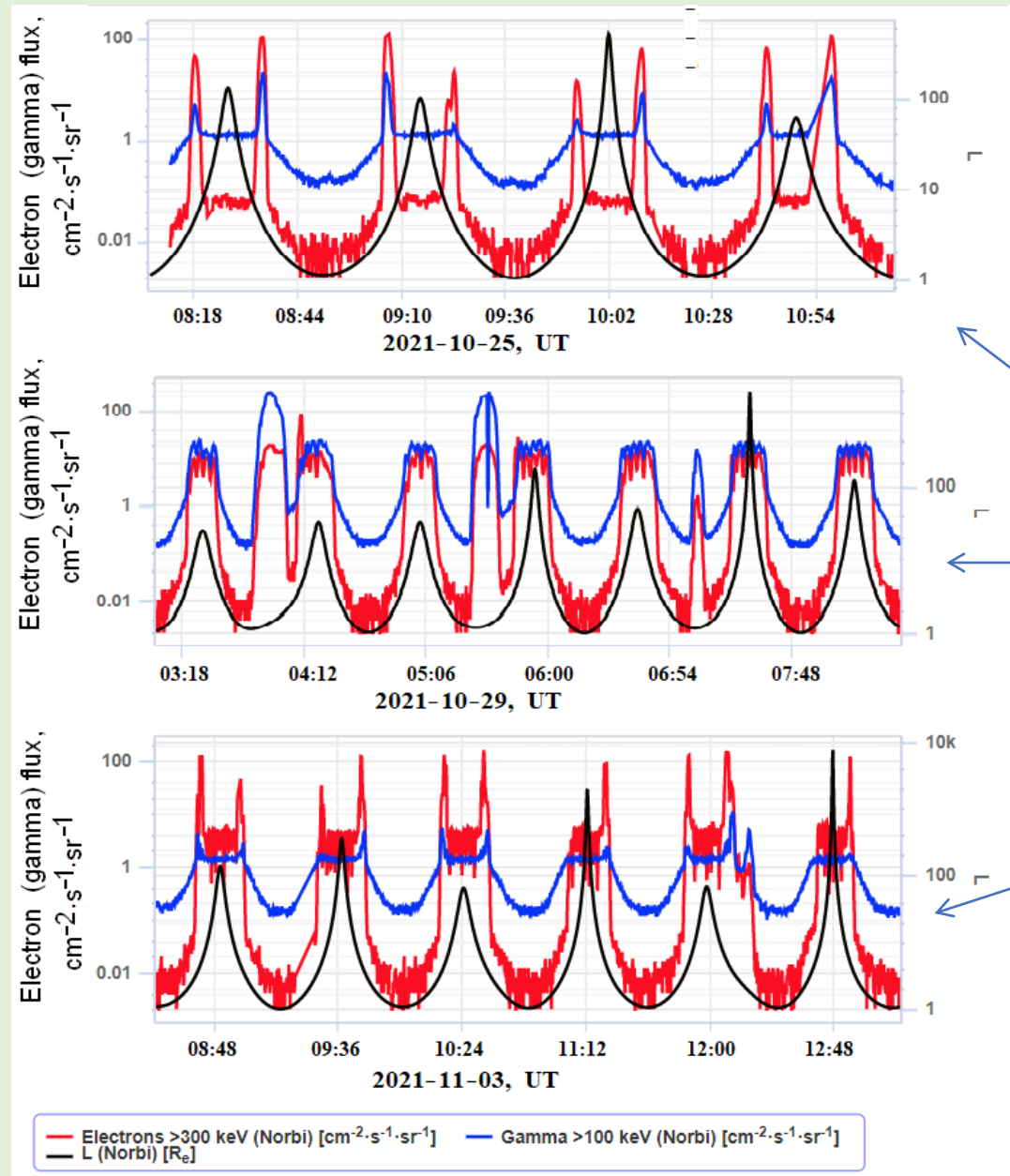


Источник ускорения частиц: вспышка **28.10.2021** г., класс X1, 15:17 UTC, AO12887, S28W01. Наблюдалось резкое повышение счета протонов в широком диапазоне энергий (GOES) и субрелятивистских электронов (ACE).

Второе возрастание потока СКЛ наблюдалось 1.11.2021 г. Оно было связано со вспышкой класса M1.5, 1.11.2021г., 01:45 UTC, также в AO12887.

Днем позже, 2 ноября, в AO12887 снова произошла вспышка (класс M1.7). С ней был связан KBM. Этот KBM оказался так называемым «каннибалом», поглотившим более медленные KBM от предыдущих вспышек. Такой KBM может дополнительно ускорять протоны и электроны СКЛ. В результате около полуночи с 3 на 4 ноября наблюдалось кратковременное возрастание потоков СКЛ, как по данным ACE, так и по данным GOES.

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



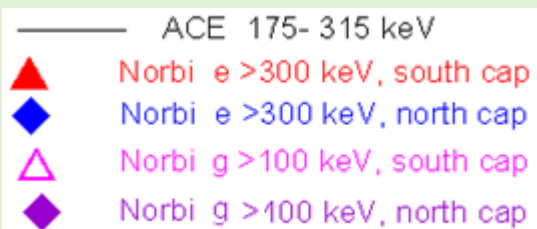
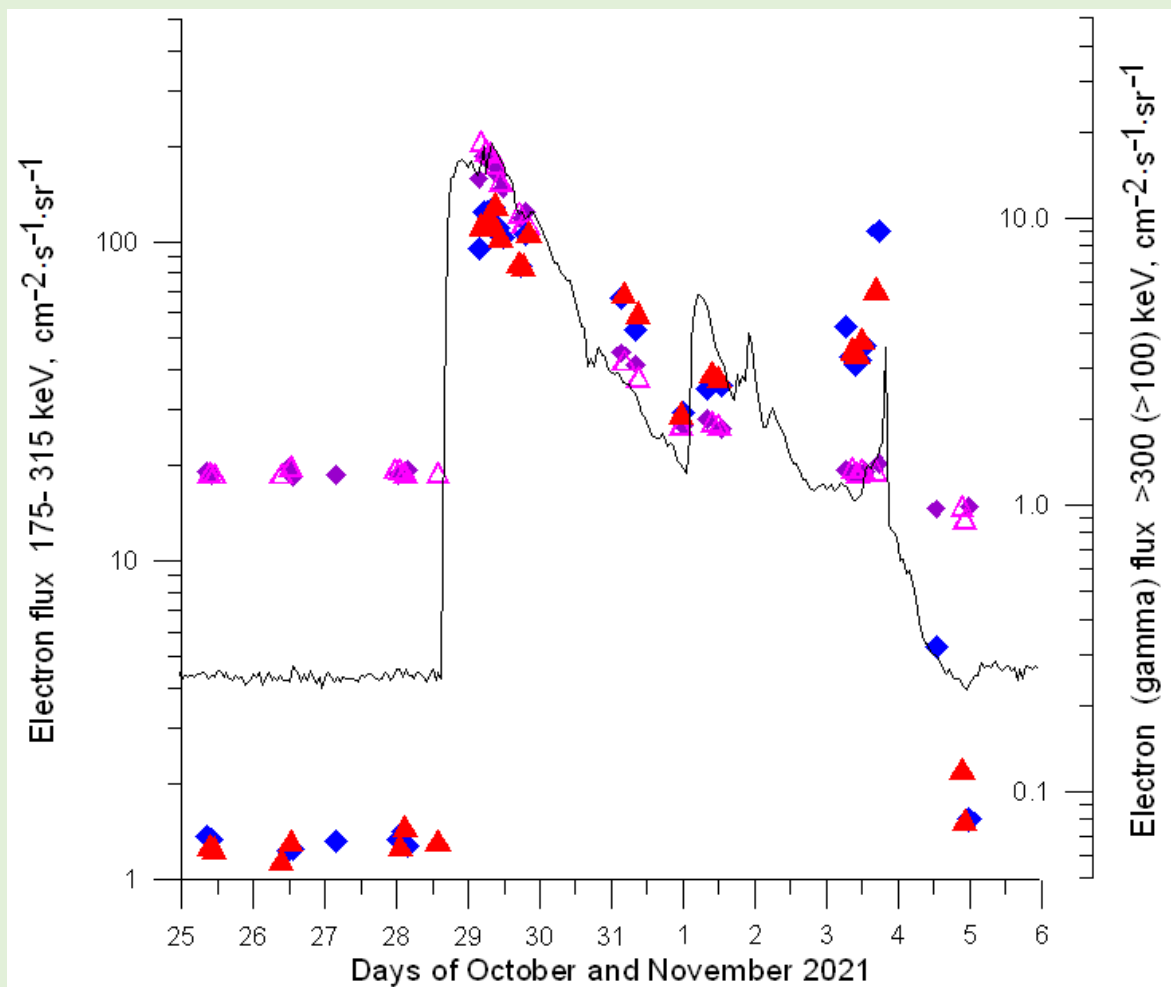
В это время прибор ДеКоР на спутнике НОРБИ наблюдал возрастание потоков заряженных частиц в полярных шапках, в обоих каналах мониторинга: регистрация электронов $E > 300$ кэВ в пластике и регистрация гамма-квантов $E > 100$ кэВ (в том числе тормозного излучения электронов с энергией > 100 кэВ в CsI(Tl)).

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 pitch-углового распределения частиц.

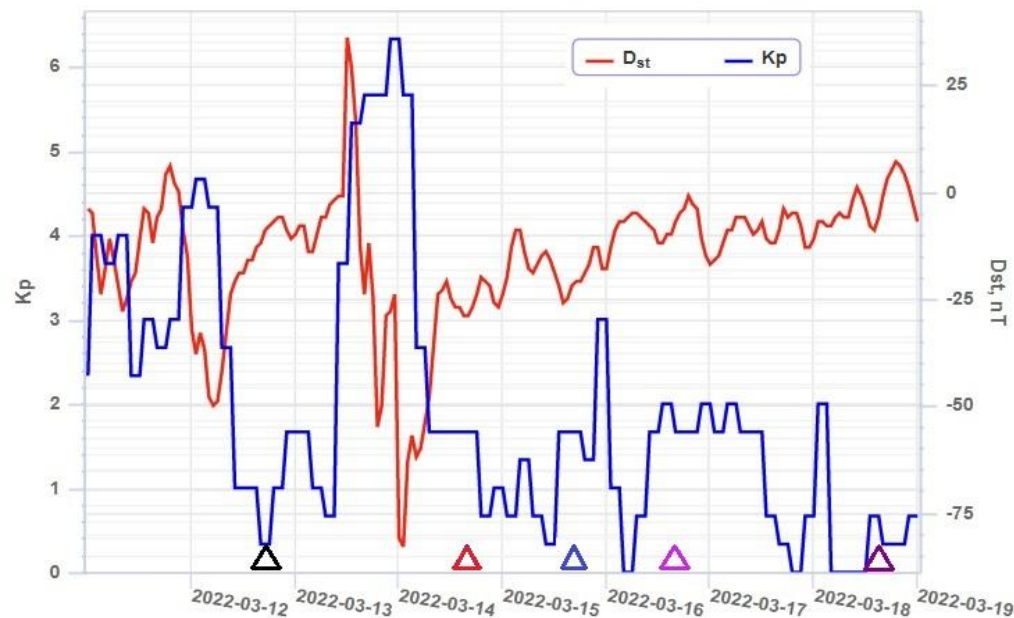
Потоки заряженных частиц в полярных шапках в период с 25 октября 2021 г. по 6 ноября 2021 г. по данным НОРБИ/ДеКоР и АСЕ/ЕРАМ.



Соответствие между зависимостями ДеКоР НОРБИ и АСЕ в целом хорошее. Это означает, что субрелятивистские и релятивистские электроны вносят значительный вклад в оба канала ДеКоР и эффективно заполняют полярные шапки.

В данных АСЕ и НОРБИ есть расхождения. На НОРБИ наблюдаются интенсивные возрастания 31 октября и 3 ноября (до пика, вызванного КВМ), которые не видны на кривой АСЕ. Эти особенности могут быть связаны с локальным увеличением потока солнечных протонов 31 октября и началом роста потока протонов около 18.00 UT 3 ноября. Это отражает тот факт, что полярные шапки заполняют не только электроны, но и солнечные протоны.

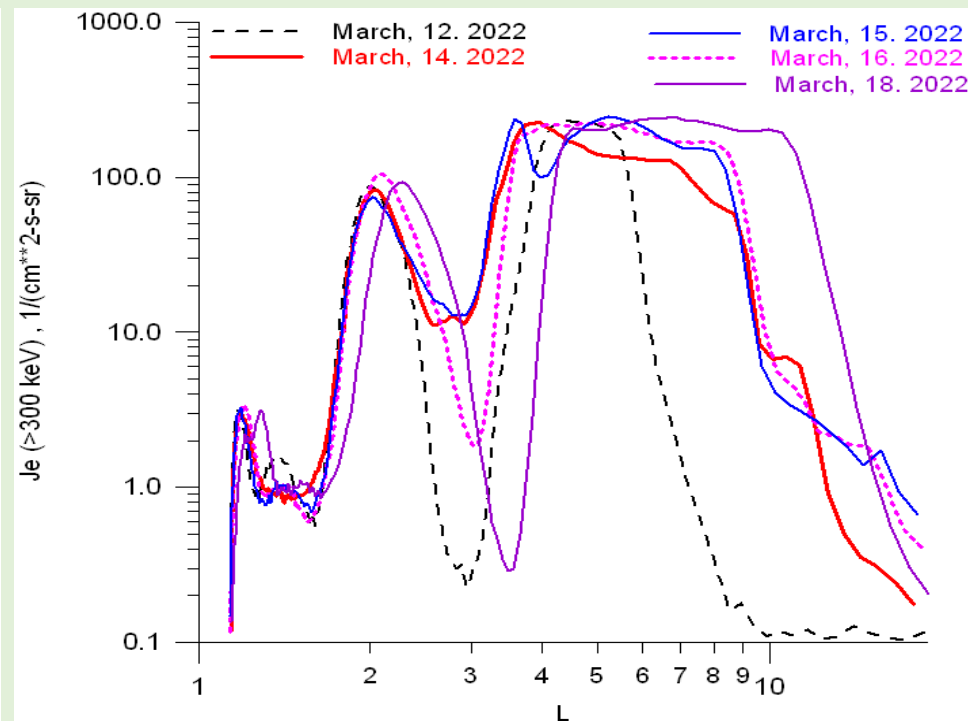
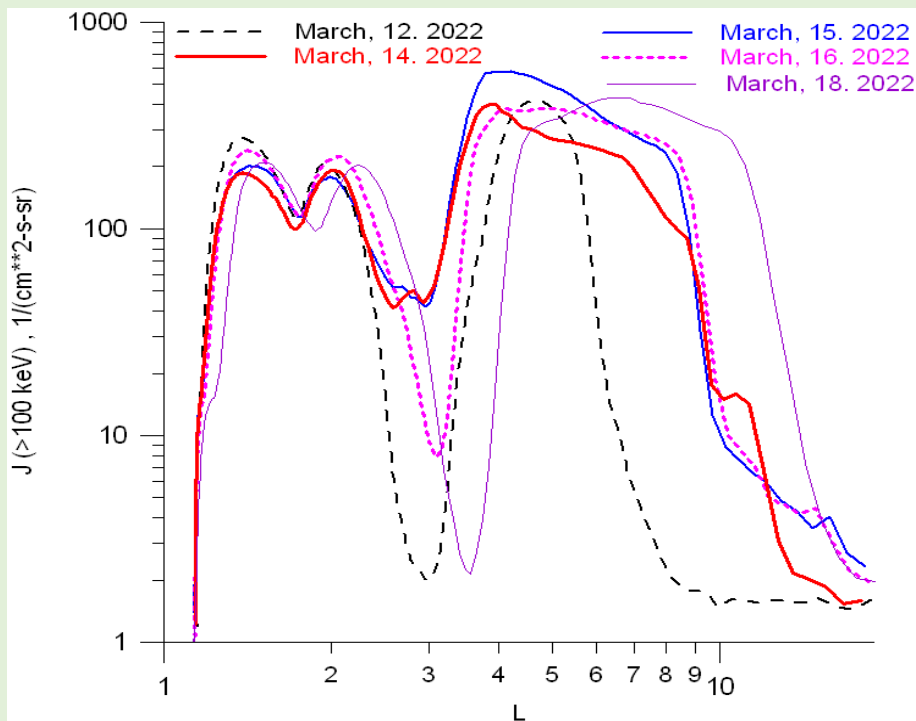
Наблюдение вариаций потоков электронов во внешнем РПЗ, связанных с явлениями космической погоды. Пример: март 2022 г.



В марте 2022 г. к Земле пришел высокоскоростной поток солнечного ветра с максимальной скоростью ~ 500 км/с и плотностью ~ 10 частиц/см³, который вызвал магнитную бурю с максимальной Kp=6 и Dst=-83 нТл.

Треугольниками показаны моменты измерений на спутнике Декарт 12, 14, 15, 16 и 18 марта.

Потоки электронов >300 кэВ, измеренные прибором ДеКоР на спутнике ДЕКАРТ на различных L в марте 2022 г.



Потоки электронов с энергией > 300 кэВ.

Тормозное гамма-излучение с $E > 100$ кэВ.

На графиках показаны потоки электронов >300 кэВ, измеренные на спутнике Декарт 12, 14, 15, 16 и 18 марта в зависимости от L .

На рисунках видно, что во время восстановительной фазы магнитной бури (14 и 15 марта) внешний пояс заметно расширился - его полярная граница сместилась от $L=9$ до $L>15$, а ее максимум сместился ближе к Земле, к меньшим L - от $L=4,5$ до 3,5. Экваториальная граница пояса стала возвращаться в исходное положение, а полярная осталась на прежнем месте. 18 марта внешний пояс, оставаясь широким (L от 4 до 10), сместился дальше от Земли, максимум наблюдался на $L=6,5-7$.

БУДУЩИЕ МИССИИ

В 2022 г. планируются к запуску:

«Авион»: 6U кубсат с комплексом **ДеКоР** из трех приборов (мониторинг космической радиации, астрофизических и атмосферных гамма-всплесков и солнечных вспышек).

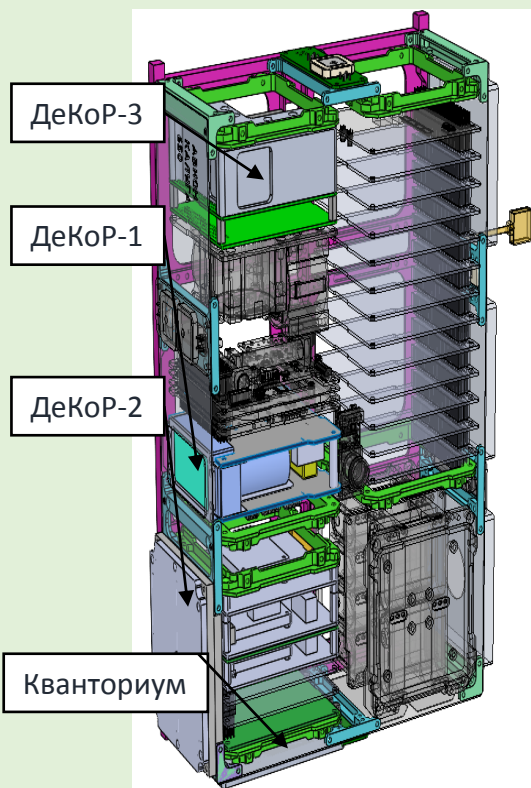
Проект «Монитор»: запуск нескольких 3U кубсатов с приборами **ДеКоР-2** и **КОДИЗ** (мониторинг космической радиации, исследование астрофизических и атмосферных гамма-всплесков, образовательная программа)



Авион



Общие характеристики полезной нагрузки «ДеКоР» на спутнике *Авион*

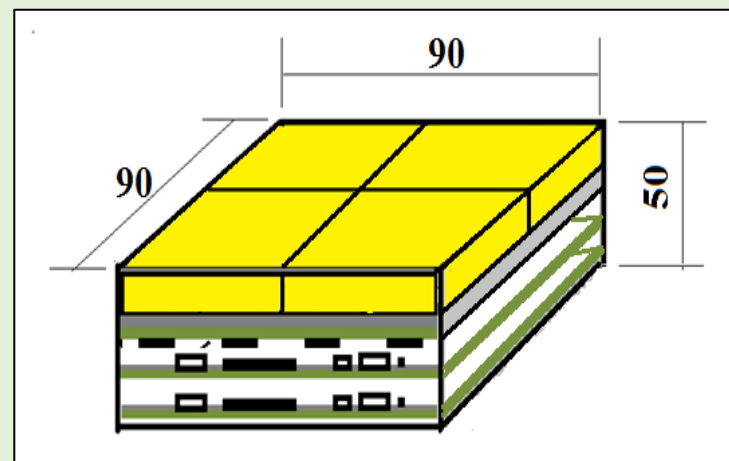


- Три детекторных узла, причем каждый детекторный узел может включаться и функционировать независимо от других узлов.
- Режимы работы – круглосуточный или в заданном временном интервале.
- Каждый детекторный узел формирует данные двух типов: мониторинговые (скорости счета) и массивы подробных данных о каждом случае взаимодействия
- суточный объем накапливаемой измерительной информации – до 300 Мбайт на каждый детекторный узел
- Полезная нагрузка не требует специальной ориентации КА. Оптимальная угловая скорость вращения МКА - не более $2^\circ/\text{с}$.

Отличия ДеКоР-2 от ДеКоР-1:

Эффективная площадь больше в 4 раза за счет большего размера сцинтиллятора,

использования полупроводниковых фотоприемников (SiPM) вместо ФЭУ.



Проект «Монитор» - запуск кубсатов 3U для мониторинга радиационного состояния околоземного космического пространства в режиме реального времени.

- Расширение группировки наноспутников с возможностью оперативного сброса научной информации на **распределенную систему наземных станций на базе образовательных учреждений.**

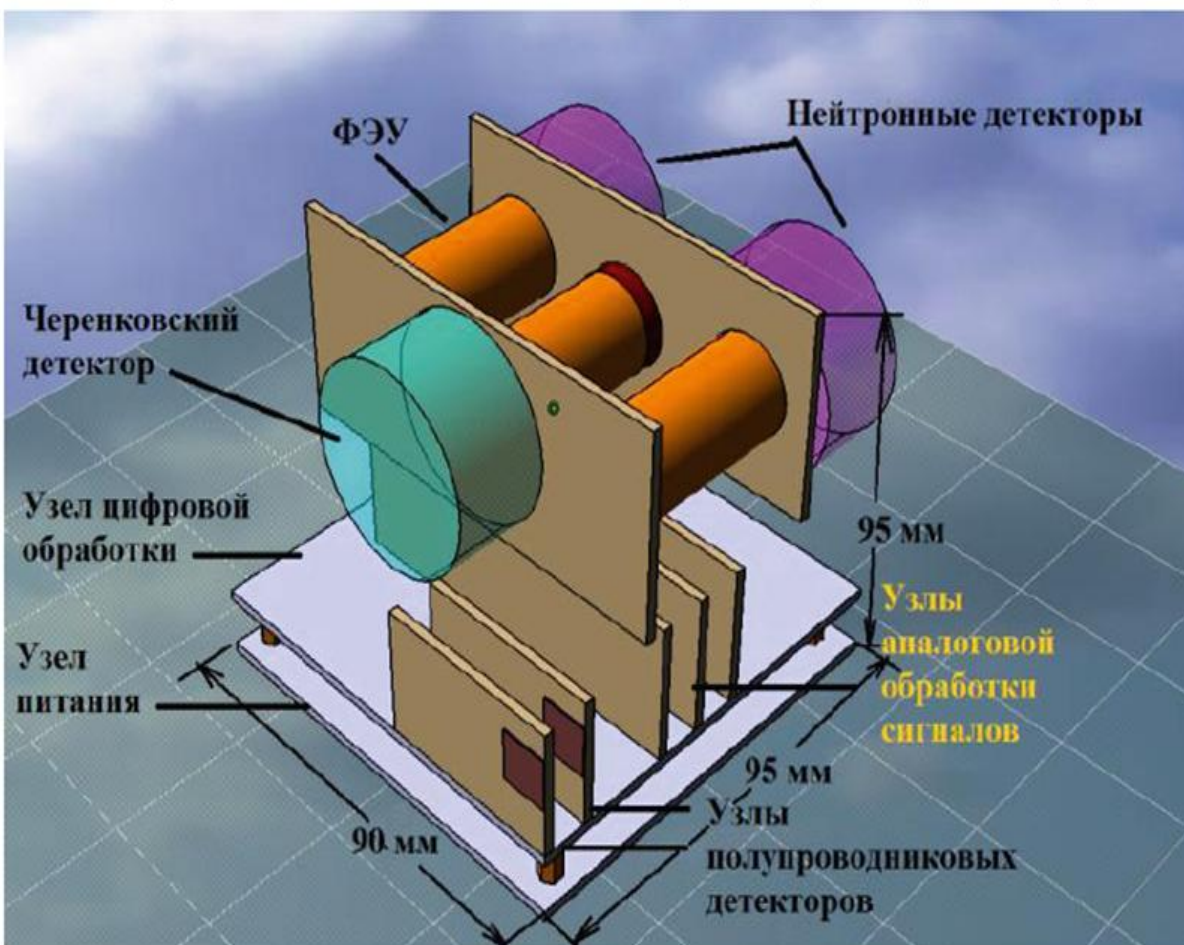
Помимо приборов **ДеКоР-2** на эти спутники будет устанавливаться прибор **КОДИЗ** – набор детекторов космических частиц высоких энергий:

Черенковский детектор (протоны >500 МэВ),

полупроводниковый телескоп,

детектор нейтронов (пластический сцинтиллятор, активированный Li6)

Схема расположения основных узлов прибора **КОДИЗ**



Параметры КубСатов МГУ (действующих и проектов)

Название проекта, формат	Дата запуска	Параметры орбиты	Частотный диапазон связи	Средний объем передаваемой информации, Мб/сутки	Приборы НИИЯФ МГУ	Временное разрешение мониторинга	Наличие пособытийной записи	Возможность изменения алгоритмов в полете
АмурСат 3U	5/7/2019	550км, 98град.	УКВ	~ 0.3	ДеКоР	5с	Не используется	Нет
ВДНХ-80 3U	5/7/2019	550км 98град.	УКВ	~ 0.3	ДеКоР, АУРА	5с	Не используется	Нет
НОРБИ 6U	28/9/2020	550км, 98град.	УКВ	~ 0.3	ДеКоР	5с	Не используется	Нет
ДЕКАРТ 6U	28/9/2020	550км, 98град.	УКВ	~ 0.3	ДеКоР (3 шт.)	0.5с	нет	Нет
АВИОН 6U	[2022]	~550км, ~98град.	УКВ, S	~ 200	ДеКоР, ДеКоР-2, ДеКоР-3	1с	есть	Есть
Монитор, несколько спутников 3U	[2022]	~550км, ~98град.	УКВ	~ 1 с каждого спутника	ДеКоР-2, КОДИЗ, АУРА, СУП	1с	есть	Есть

Спасибо за внимание!

