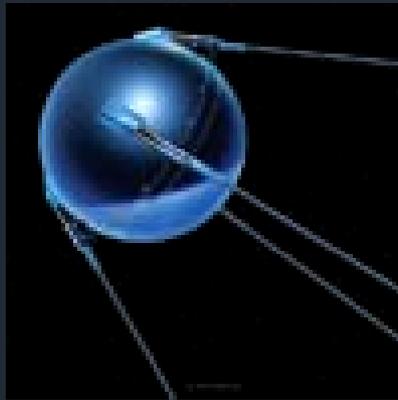


# Мониторинг космической радиации в экспериментах Московского университета.



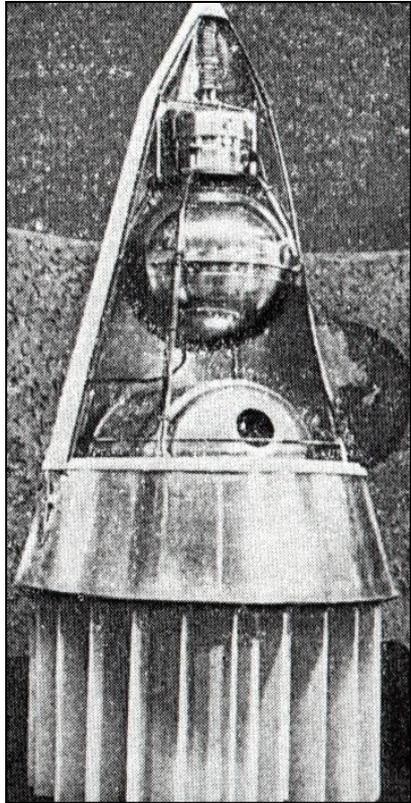
*НИИЯФ МГУ - 75*

1957: начало космической эры

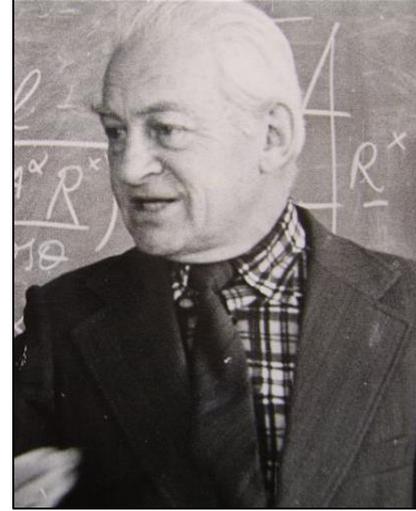


Space era, since 1957

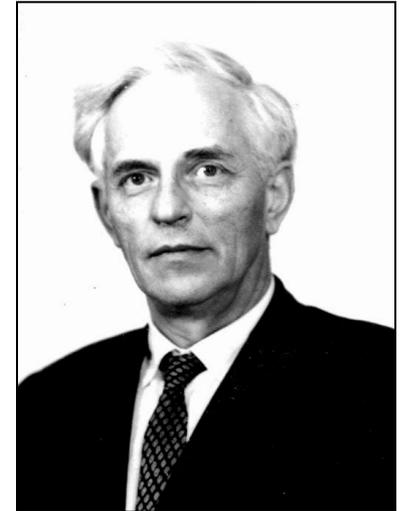
# Первый физический эксперимент в космосе (ноябрь, 1957)



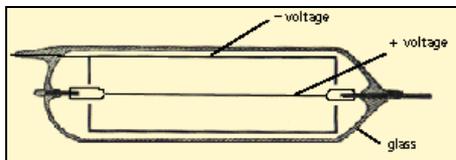
**С.Н. Вернов**



**Н.Л. Григоров**



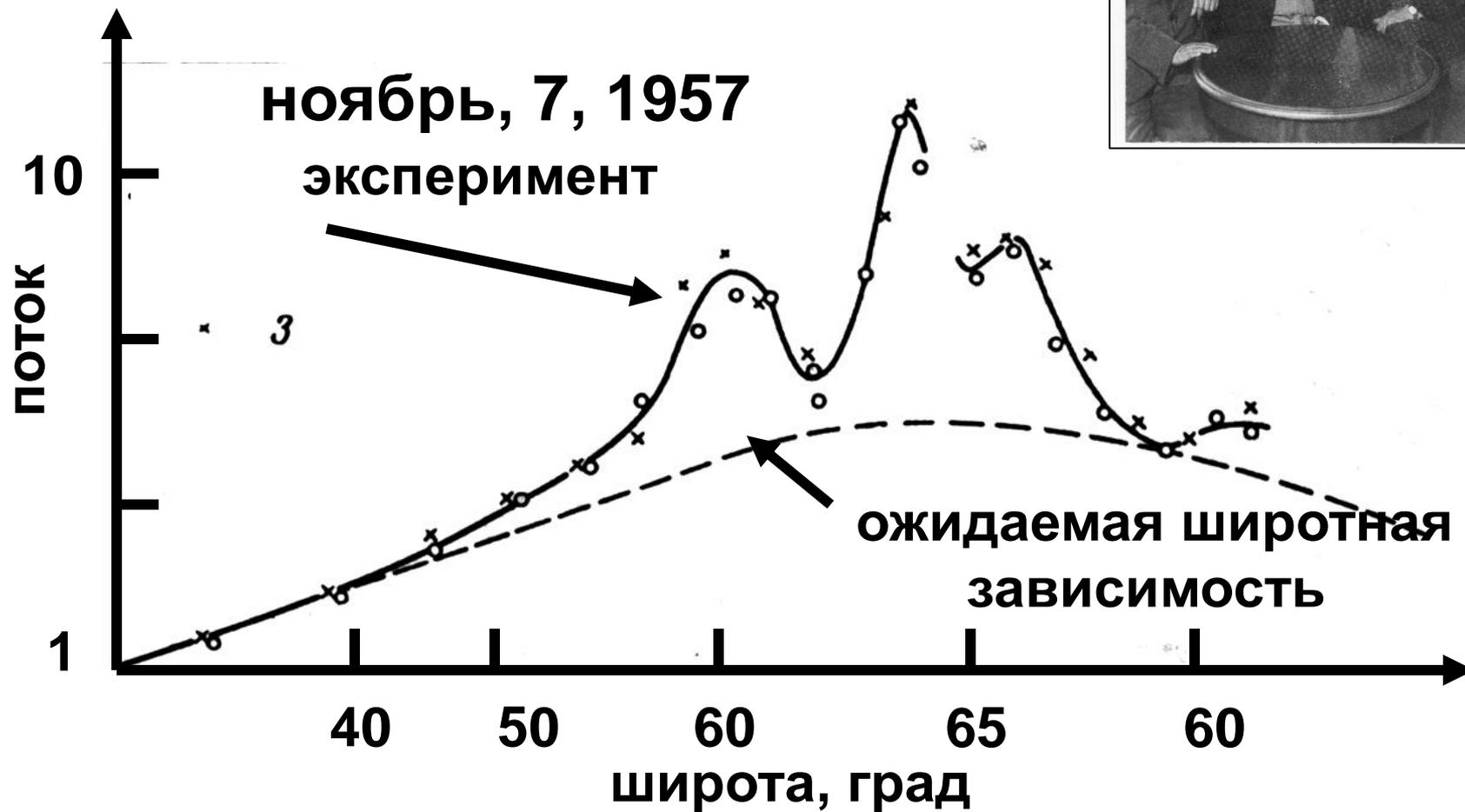
**А.Е. Чудаков**



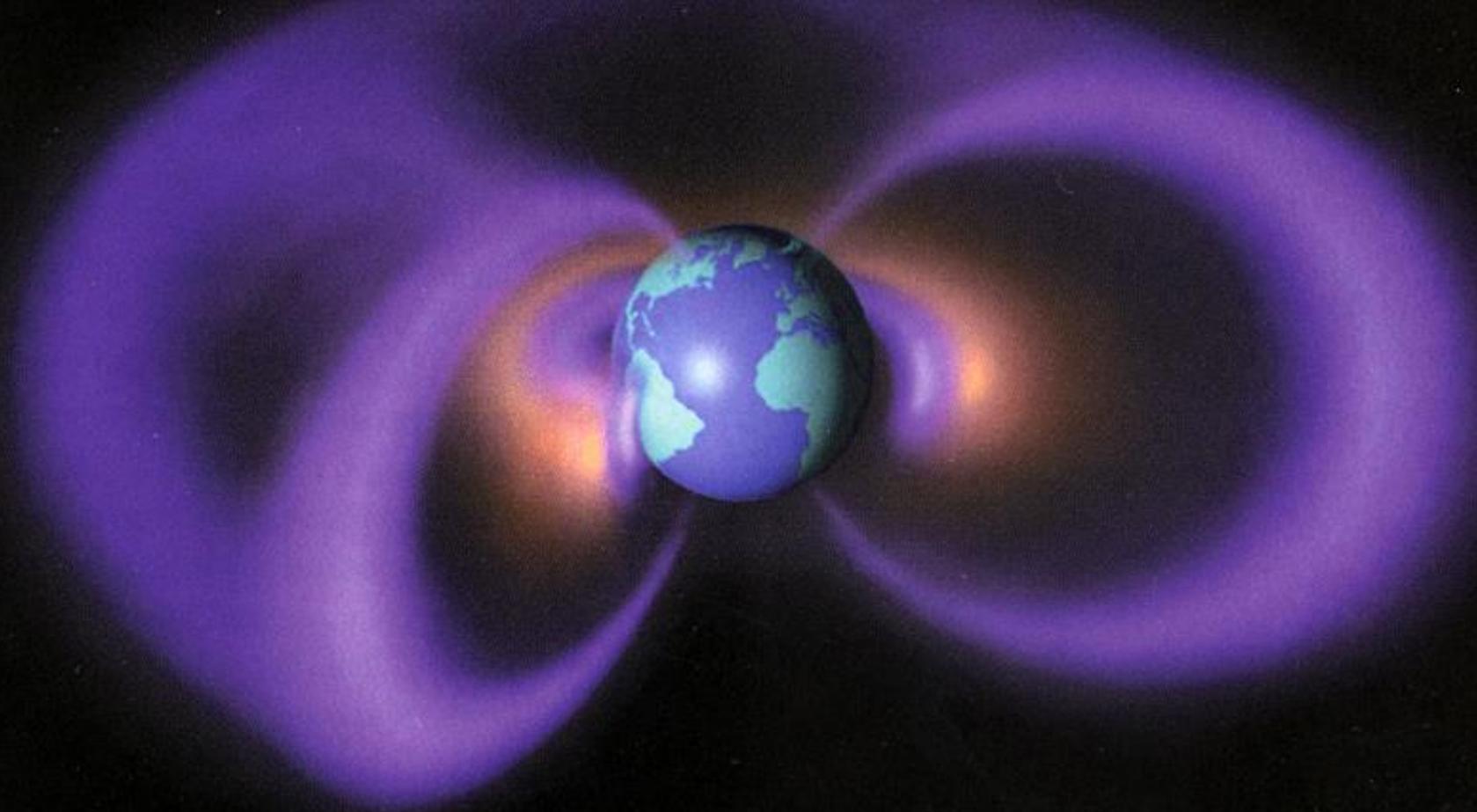
**Ю.И. Логачев**



# Первые измерения КЛ в космосе



# Радиационные пояса Земли

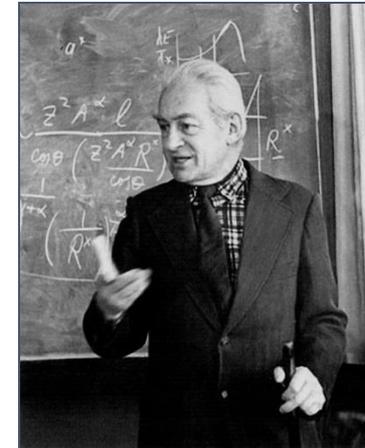


# Эксперименты «Протон»

1965 – 1968



S. Vernov

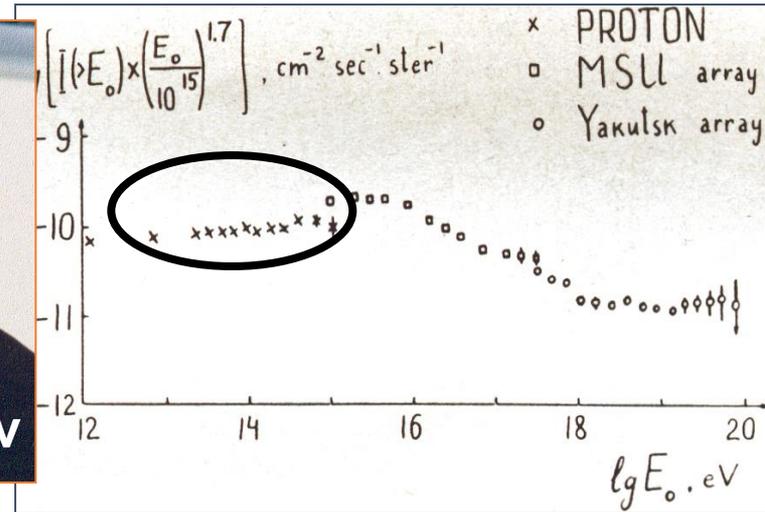
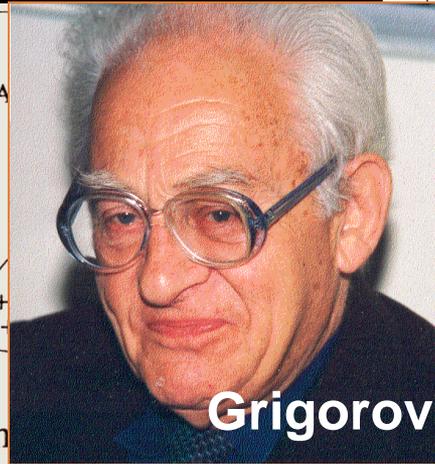
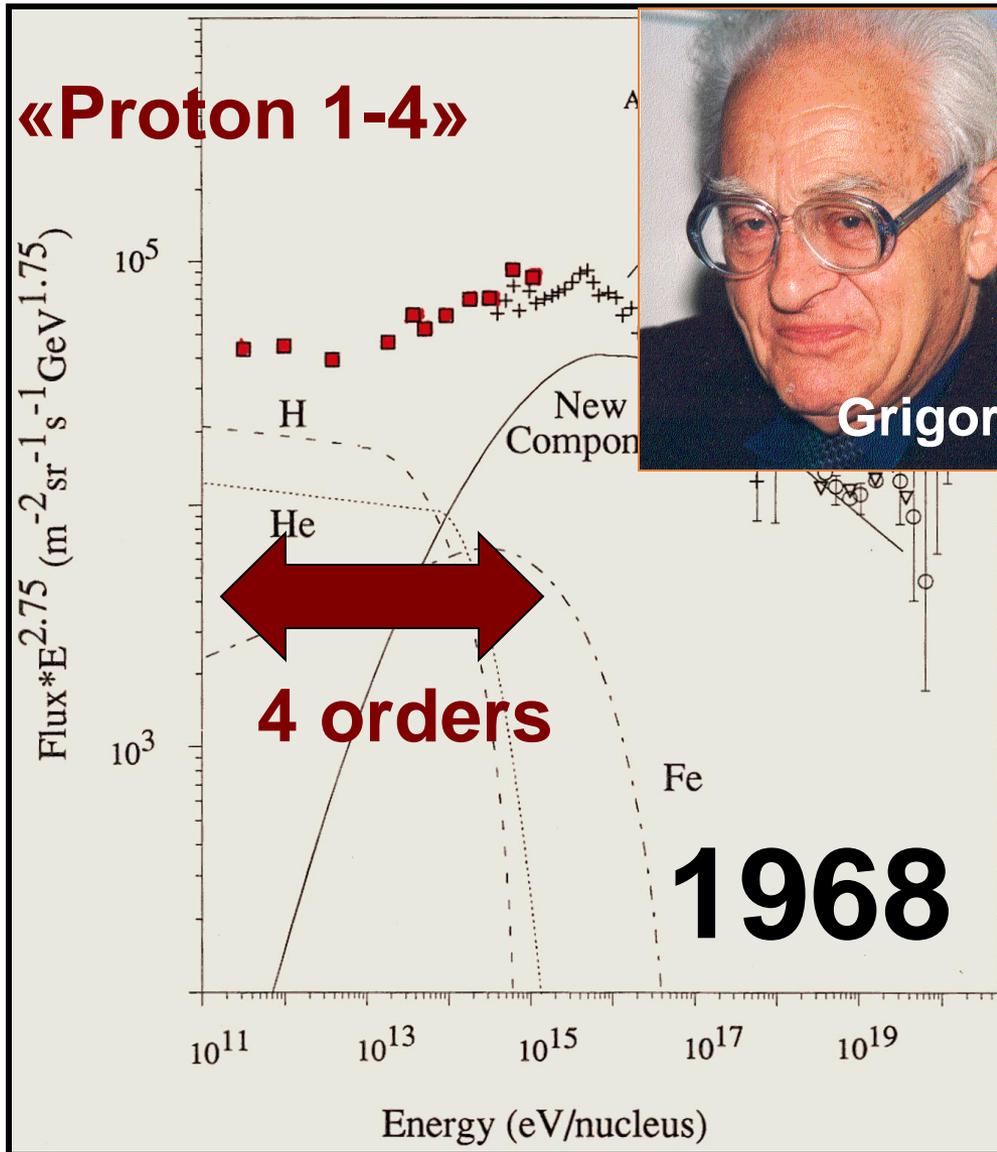


N. Grigorov

**Масса полезной  
нагрузки : 20 тонн**

**Ракета Челомея (UR- 500, 1965), названная «Протон»**

# Результаты «Протона» (>50 лет назад)



## Спектр всех частиц

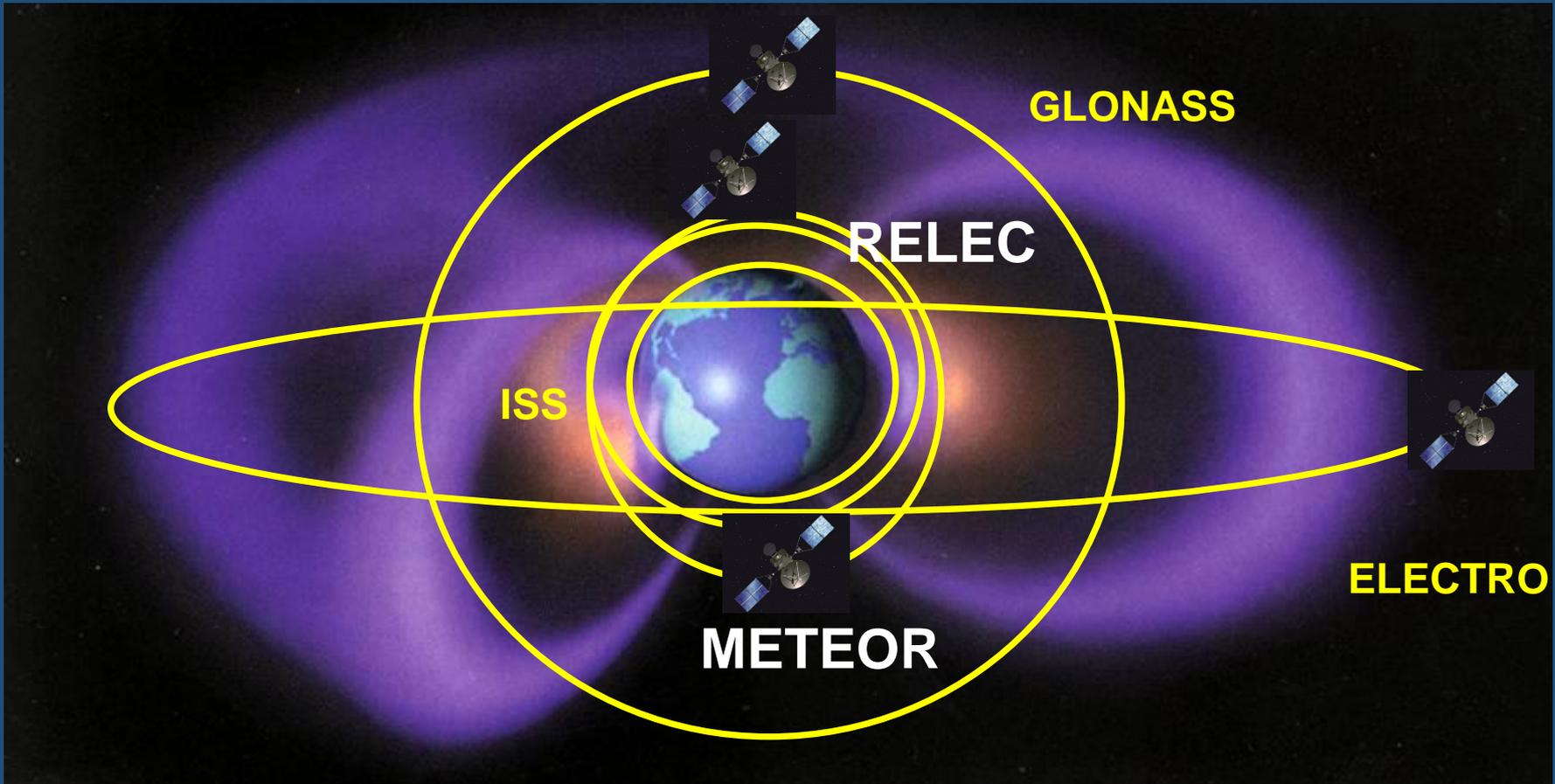
Впервые спектр всех частиц космических лучей был измерен в прямых экспериментах в диапазоне  $10^{11}$ - $10^{15}$  эВ



**Михаил Игоревич Панасюк  
(14.08.1945 – 03.11.2020)**



# Эксперименты МГУ по осуществлению мониторинга космической радиации



# Космическая программа МГУ: эксперименты на борту специализированных КА



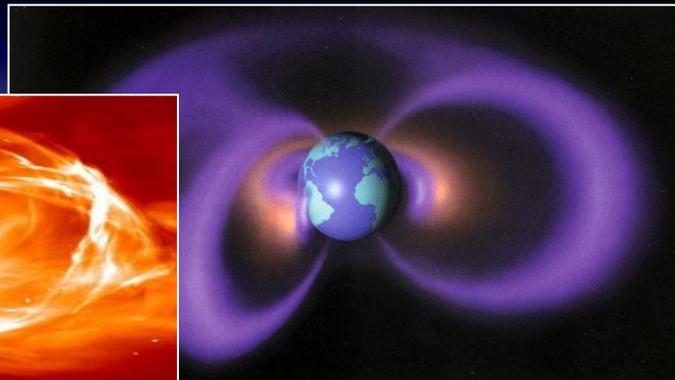
Глонасс  
с 90-х гг.



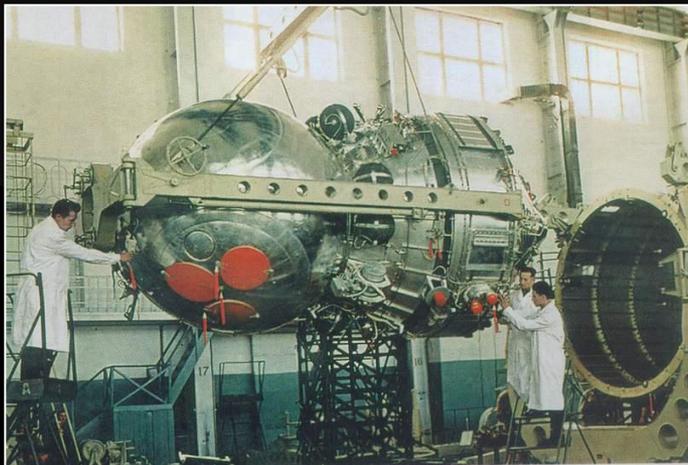
Метеор-М-1, Метеор-М-2,  
Метеор-М2-2 с 2009 г.



Электро-Л-1, Электро-Л-2  
с 2011 г.



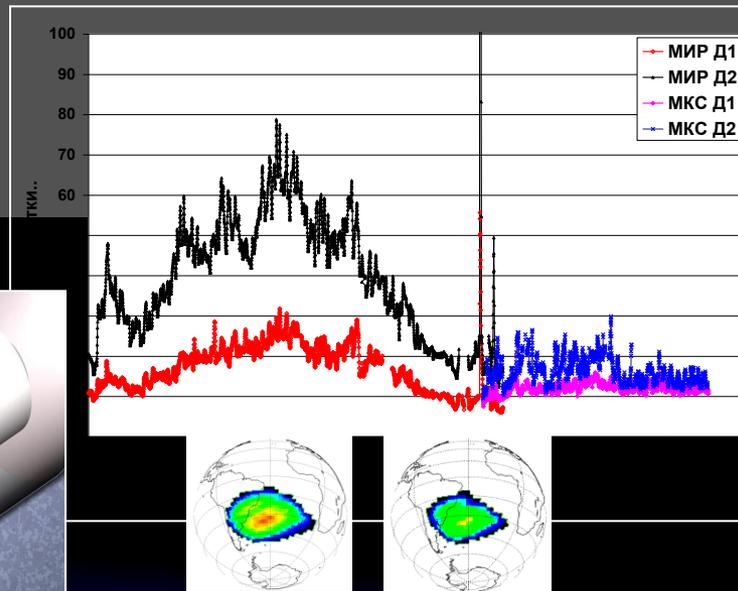
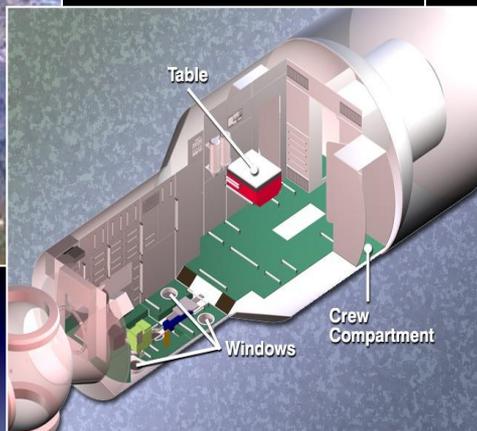
# Космическая программа МГУ: эксперименты на борту КА серии «Космос» 2005 – 2014 гг.



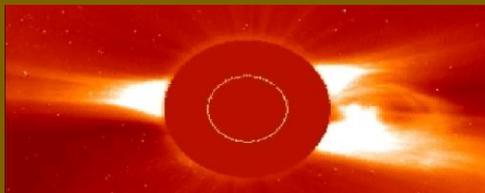
## Спутники серии «Космос»

С 2005 г. по н.в. аппаратура НИИЯФ МГУ  
была установлена на 8-ми КА серии «Космос».  
Аппаратура НИИЯФ МГУ осуществляла постоянный дозиметрический  
контроль радиации.

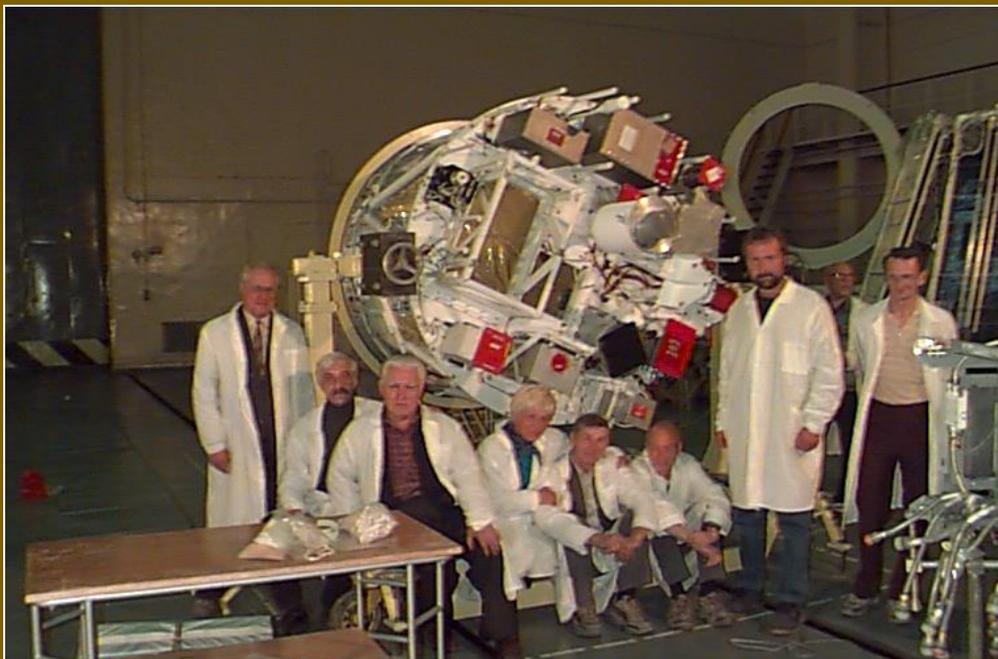
# Космическая программа МГУ: эксперименты на борту МКС



Начиная с 2001г. на борту МКС работает Система радиационного контроля, разработанная и изготовленная в НИИЯФ МГУ



# КОРОНАС - Ф (30.07.2001)



## *эксперименты НИИЯФ:*

1. X-ray (SPR-N)
2. SEP (MKL, SKI)
3. Neutrons, gamma (SONG)



# Электро-Л1, Л2



## Электро-Л1

**Запуск:** 20 января, 2011

**Параметры  
геостационарной  
орбиты:**

- Период обращения  
86164 s;
- Долгота точки положения  
76° E.L.;

**Масса** — 1766 кг

**Детекторы частиц:**  
СКИФ-6, СКЛ-Е (НИИЯФ  
МГУ)

## Электро-Л2

**Запуск:** 20 января, 2011

**Параметры  
геостационарной  
орбиты:**

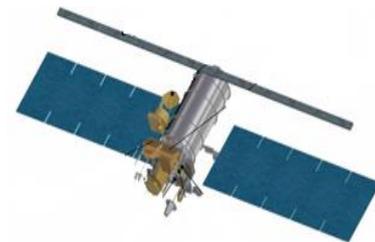
- Период обращения  
86164 s;
- Долгота точки положения  
77.8° E.L.;

**Масса** — 1855 кг

**Детекторы частиц:**  
СКИФ-6, СКЛ-Е (НИИЯФ  
МГУ)



# Метеор-М



## Метеор-М1

Запуск 17 сентября, 2009

Высота орбиты ~ 832 км  
(солнечно-синхронная)

Орбитальный период – 101.3  
мин  
наклонение ~ 98.068°

Масса — 2700 кг

**Детекторы частиц:**  
МСГИ-М, СКЛ-М (НИИЯФ  
МГУ)

:

## Метеор-М2

Запуск 08 июля, 2014

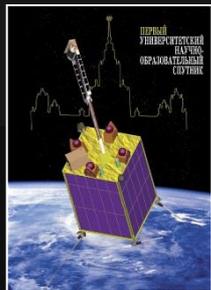
Высота орбиты ~ 825 км  
(солнечно-синхронная)

Орбитальный период – 101.4  
мин  
наклонение ~ 98.8°

Масса — 2700 кг

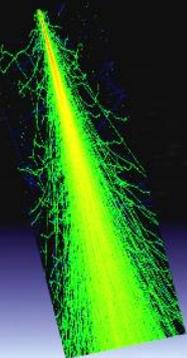
**Детекторы частиц:**  
МСГИ-М, СКЛ-М (НИИЯФ  
МГУ)

# Космическая программа МГУ: основные цели



Татьяна  
2005

Космические лучи  
галактического и  
внегалактического  
происхождения



Татьяна-2  
2009



Ютсат  
2011



Космические  
гамма-всплески



Рэлек  
2014

Атмосферные  
световые транзиенты



Нуклон  
2014



Околоземная  
радиация



Ломоносов  
2016



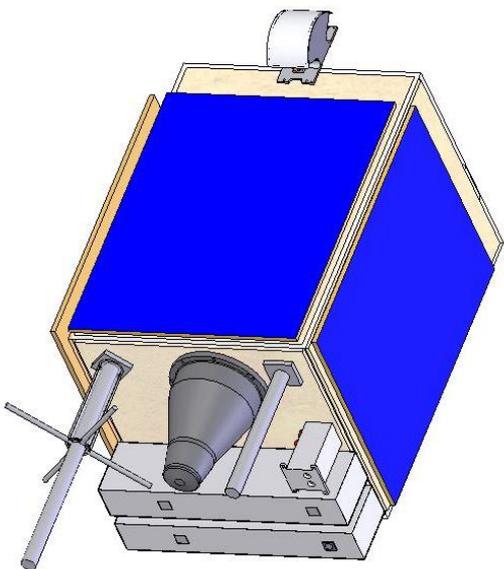
Атмосферные свечения



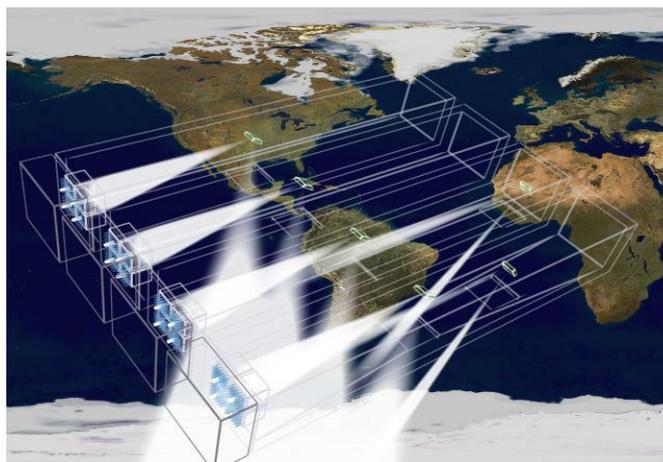
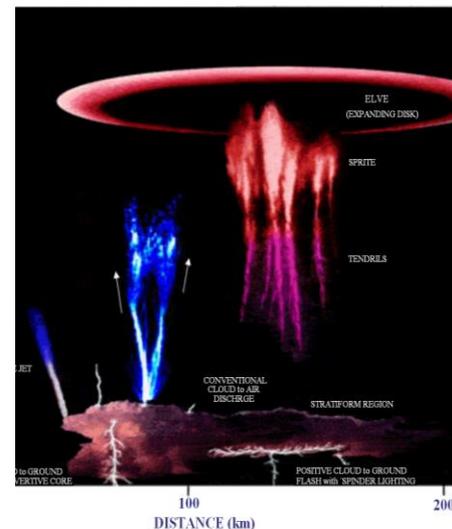
# «Татьяна - Университетский»



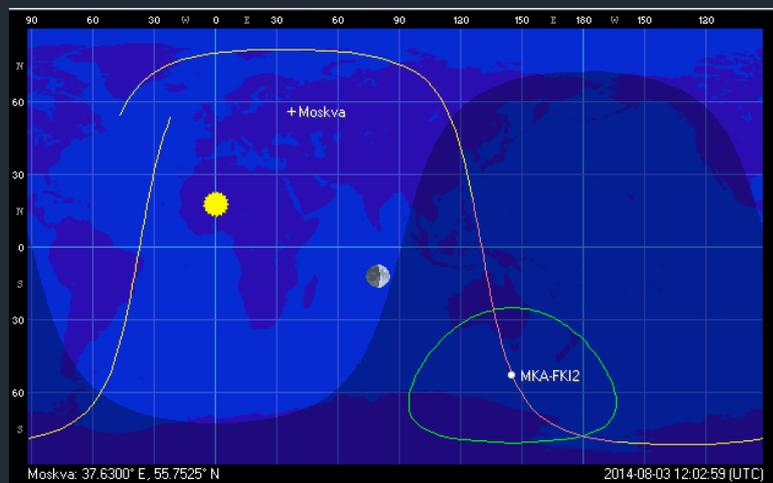
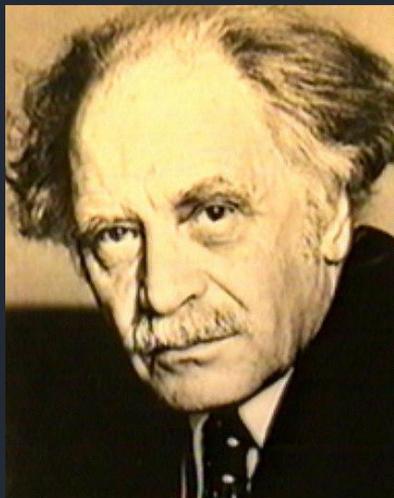
## Микроспутник «Татьяна –2»



Совместный проект МГУ,  
консорциума университетов Южной  
Кореи  
и Университета г. Пуэбло, Мексика



# Спутник «Вернов» с комплексом научной аппаратуры РЭЛЕК был выведен на орбиту 8 июля 2014 г.



**MKA- 2 (РЭЛЕК)**

**Norad: 40070U**

**Inter. ID: 14037B**

**Запуск.: 2014**

**.07.08**

**Период: 99.2 мин.**

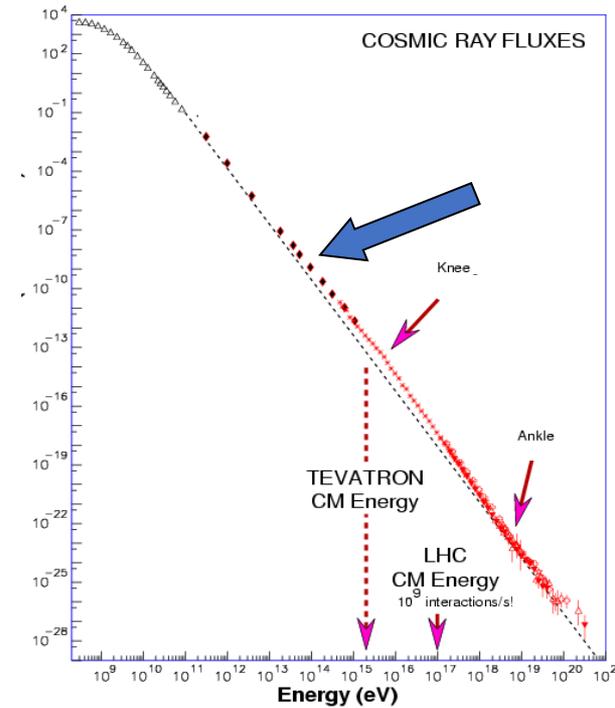
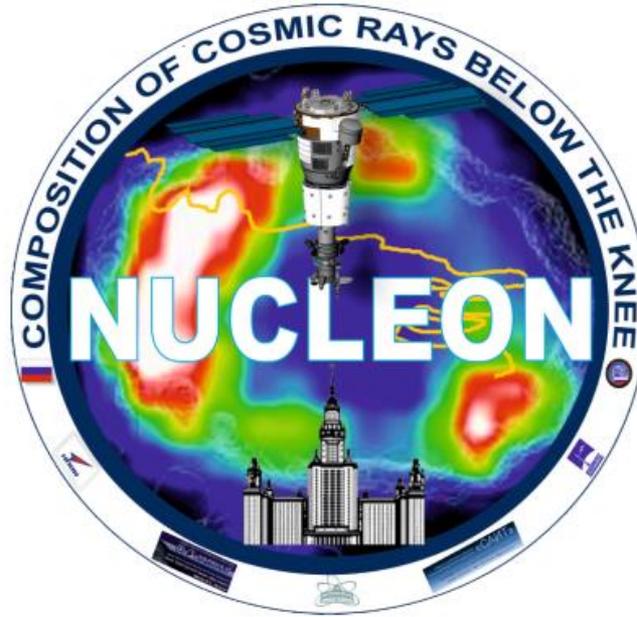
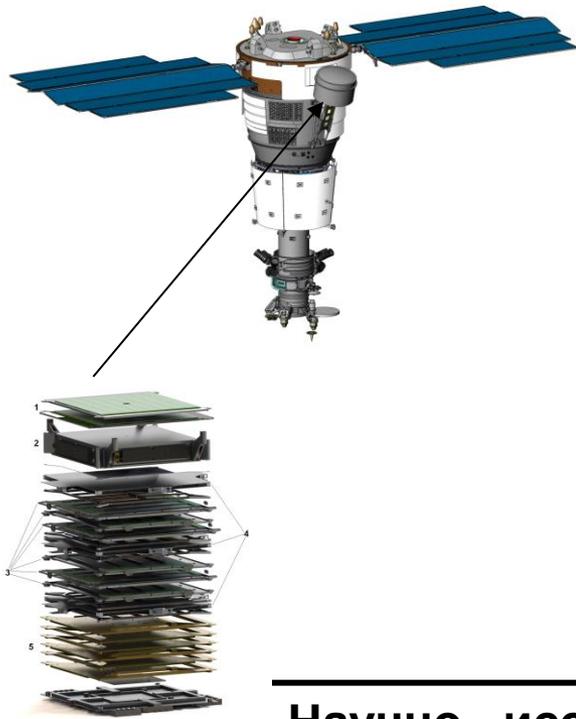
**Наклонение: 98.4°**

**Апогей: 819 км**

**Перигей: 621 км**



# 26 декабря 2014 года запущен спутник «Ресурс-П» С аппаратурой НУКЛОН для изучения состава высокоэнергичных космических лучей



Научно –исследовательский институт ядерной физики им.  
Д.В. Скобельцына  
Московский государственный университет им. М.В.  
Ломоносова

# Космический аппарат «Ломоносов»



**Проект реализуется в рамках программы развития МГУ**  
*Проект поддержан Президентом РФ (№ Пр-1796 от 21.06.2010) и утвержден*  
*перечнем поручений Президента РФ (Пр-22, пункт 14).*  
**Проект в части эксперимента ТУС осуществляется в рамках ФКП России**

проект Московского университета «Универсат-СОКРАТ»  
(Система Оповещения Космической  
Радиационной, Астероидной и Техногенной опасности)



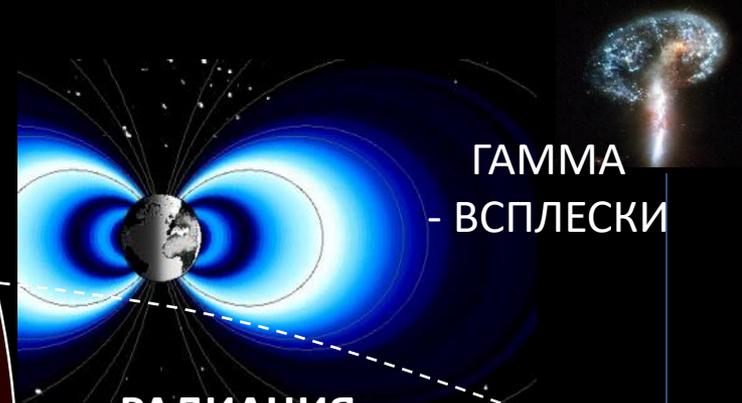
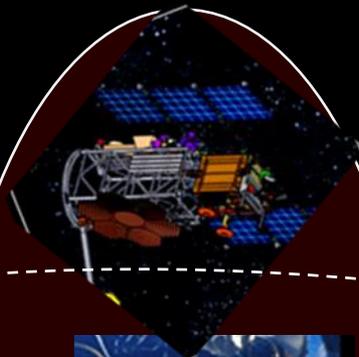
***Создание космической группировки малых спутников  
для мониторинга, обнаружения и оперативного  
прогноза природных и техногенных космических угроз***

# Космические угрозы

СОЛНЕЧНЫЕ  
ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫЕ ЧАСТИЦЫ

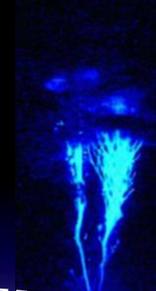


АСТЕРОИДЫ,  
КОСМИЧЕСКИЙ  
МУСОР

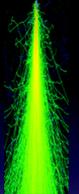


ГАММА  
- ВСПЛЕСКИ

РАДИАЦИЯ



ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ  
ТРАНЗИЕНТЫ



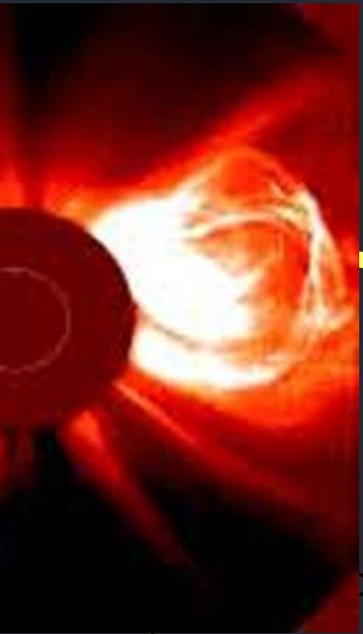


# Цель проекта

*Создание группировки спутников для мониторинга в реальном времени в околоземном космическом пространстве:*

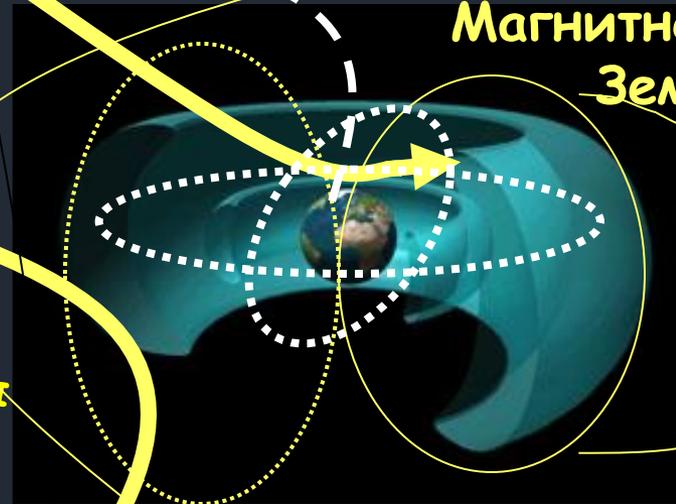
- радиационной обстановки ;
- потенциально – опасных объектов естественного (астероиды, метеоры) и техногенного происхождения (космический мусор) ;
- электромагнитных транзиентов.

# Космическая радиация в окрестности Земли



Галактические  
космические лучи

Солнечные  
энергичные частицы

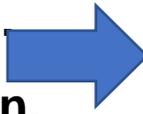


Магнитное поле  
Земли

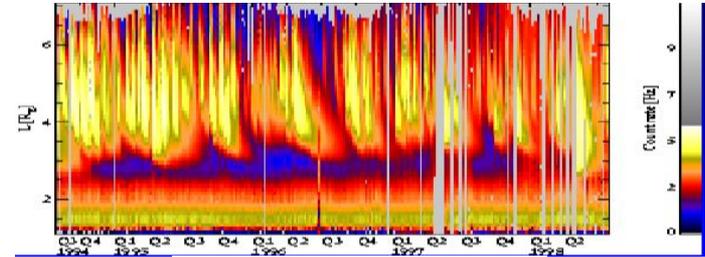
Радиационные  
пояса

# Models of Earth's radiation belts

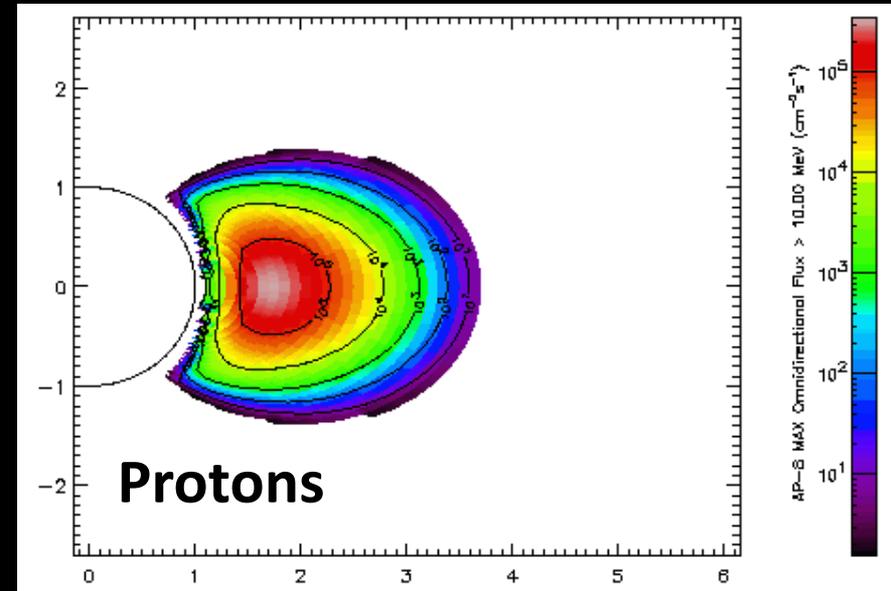
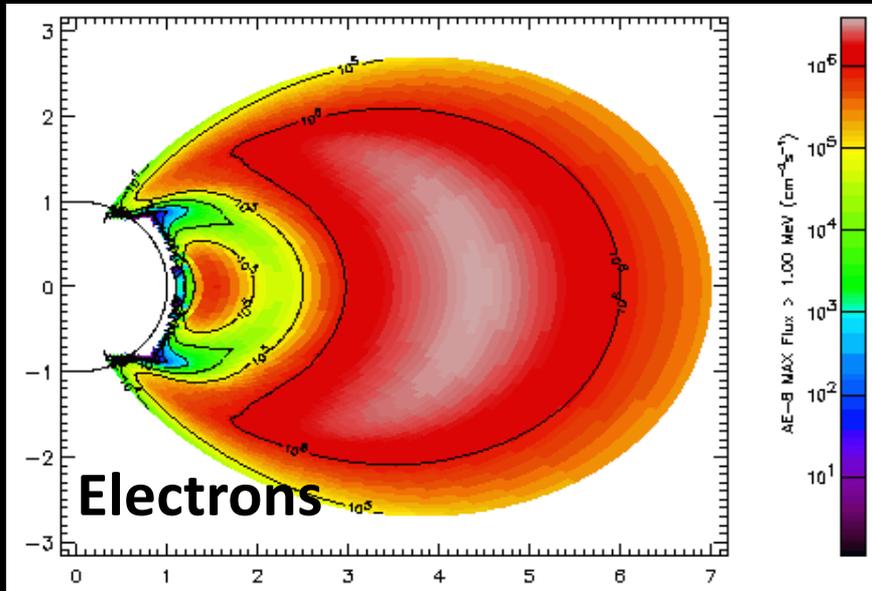
NASA AP8/AE8 – 1970 -  
NASA AP9/AE9 – modern.  
SINP MSU– 1980'



Variations of  
RF particle  
flux

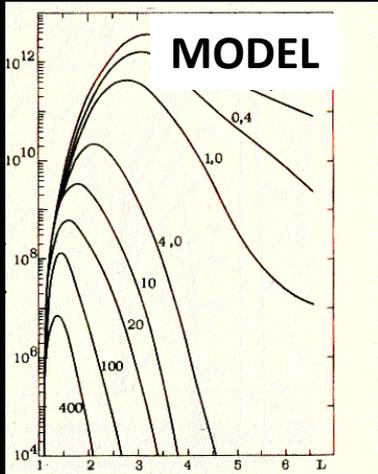


Highly dynamic!

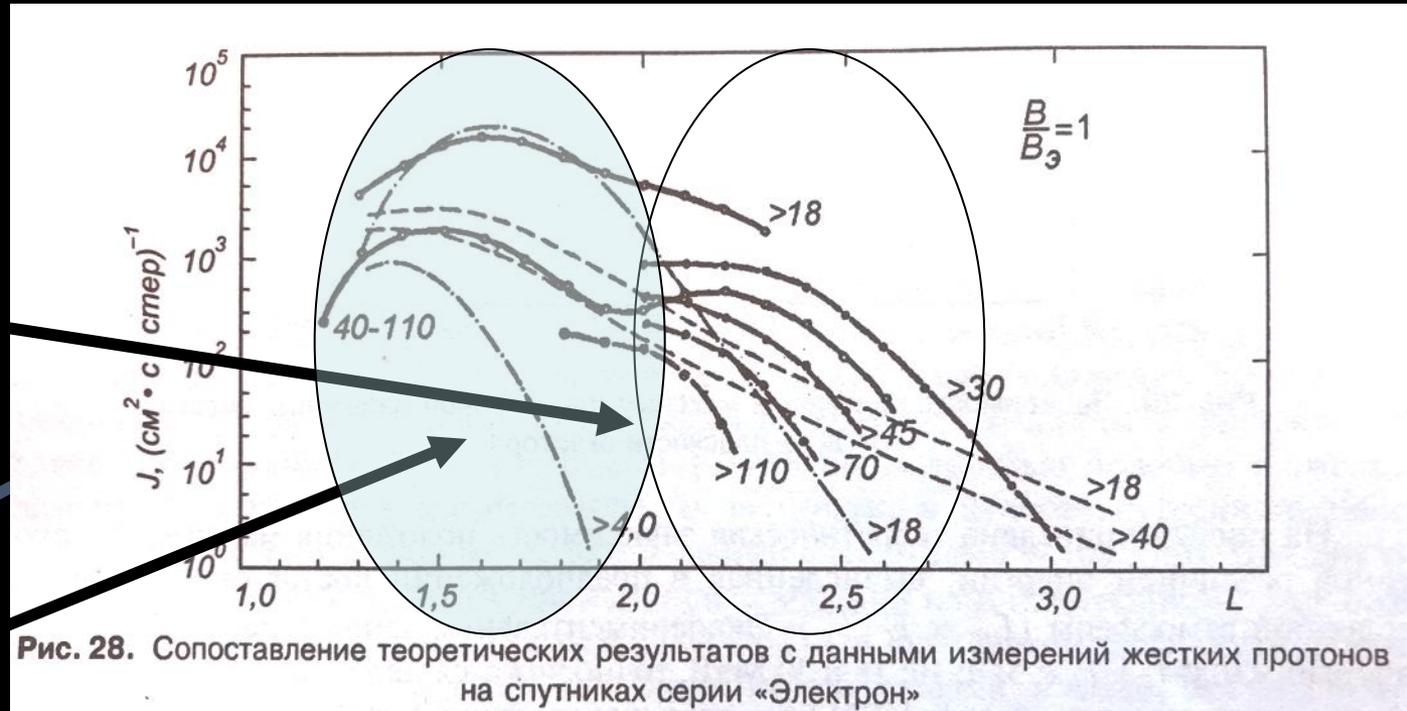


RF quasi-stationary models describe the spatial and energy distribution of protons with energies  $> 10$  MeV (on the right) and electrons with energies  $> 1$  MeV (on the left). In reality, particle flux are extremely dynamic (top right).

# Proton Radiation Belt Variations(>18 MeV)



## "ELECTRON" SATELLITE DATA (1964)



Radial diffusion  
of SEP

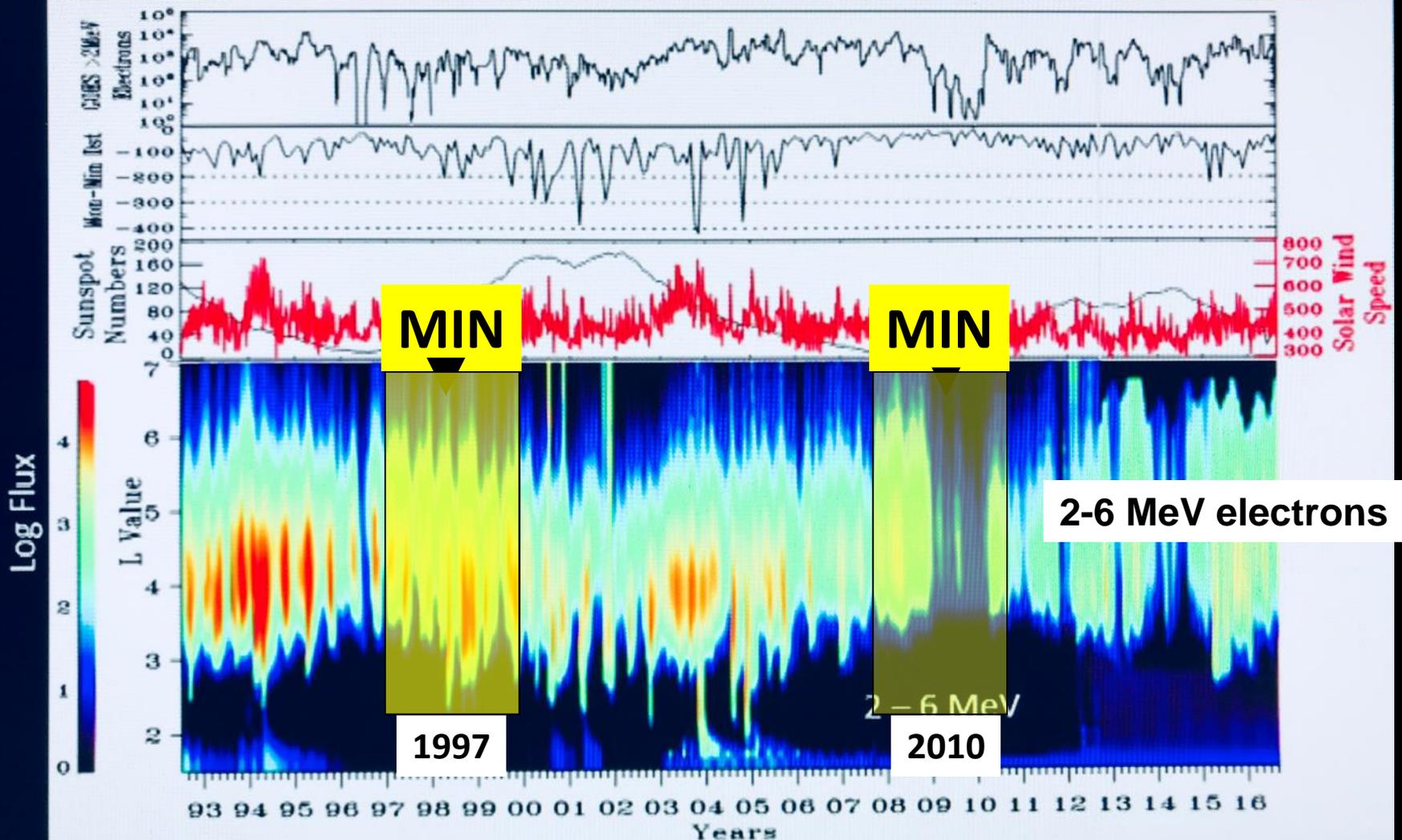
CRAND  
Neutron's  
albedo decay

**The real danger for LEO satellites!**

# Outer electron belt variations (2-6 MeV)

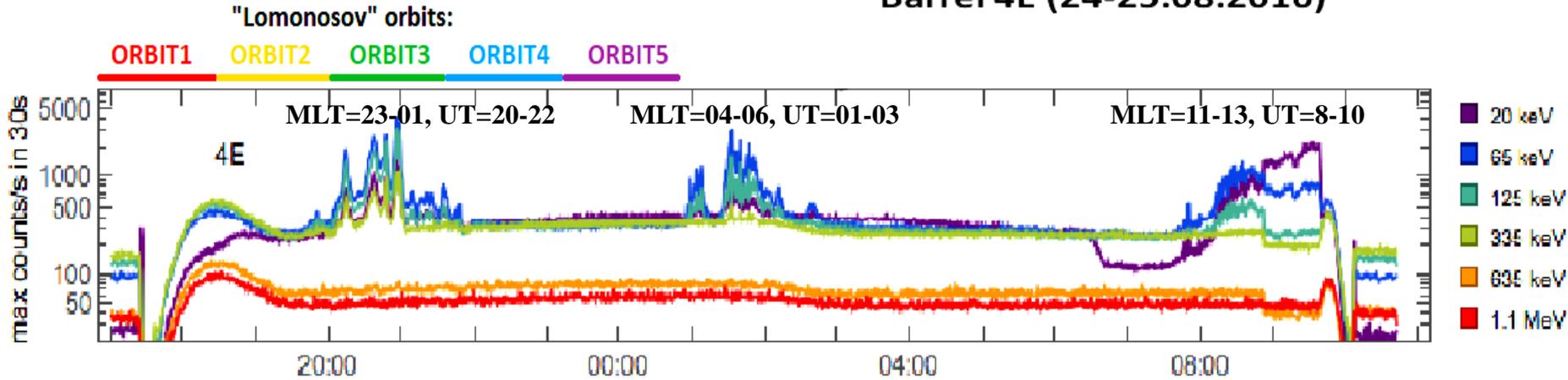
SAMPEX

Van Allen Probes



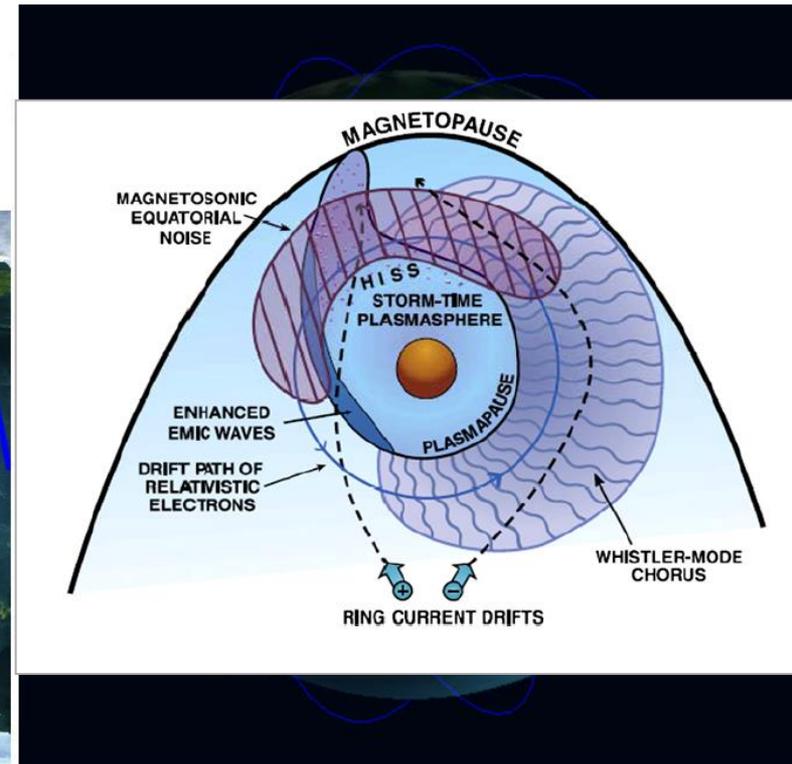
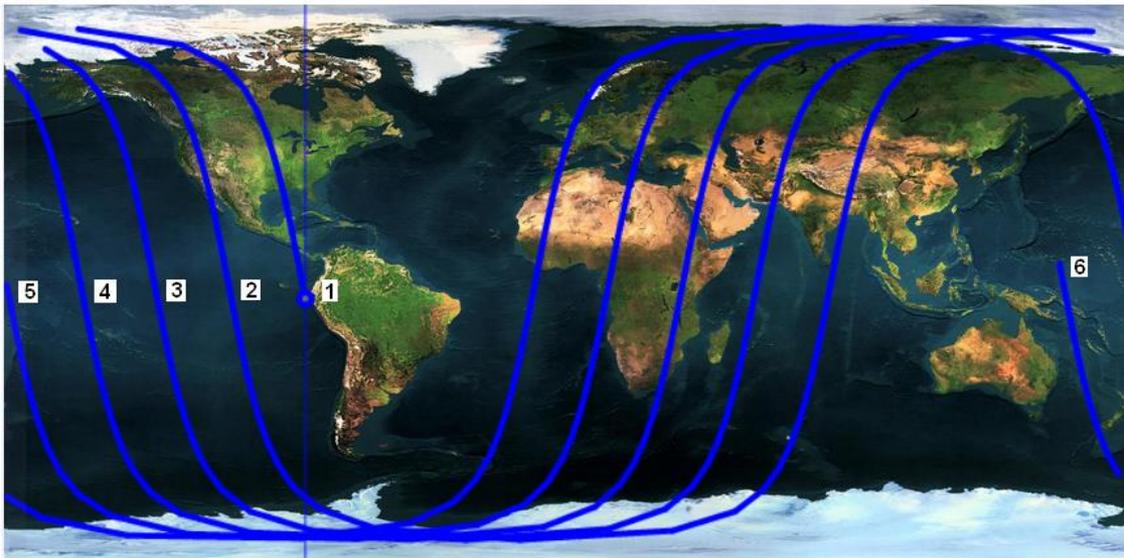
# 24 августа 2016, Пять последовательных витков спутника «Ломоносов» во время миссии БАРРЕЛ 4E (L=5.6)

Barrel 4E (24-25.08.2016)



"Lomonosov"

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| 1 - 24 Aug 16:50 | 4 - 24 Aug 21:35 |
| 2 - 24 Aug 18:25 | 5 - 24 Aug 23:10 |
| 3 - 24 Aug 20:00 | 6 - 25 Aug 00:45 |





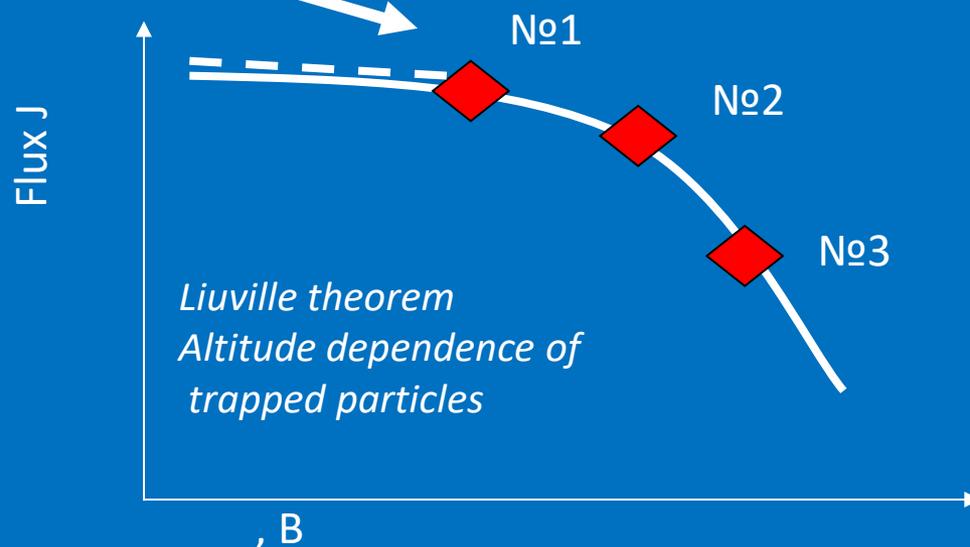
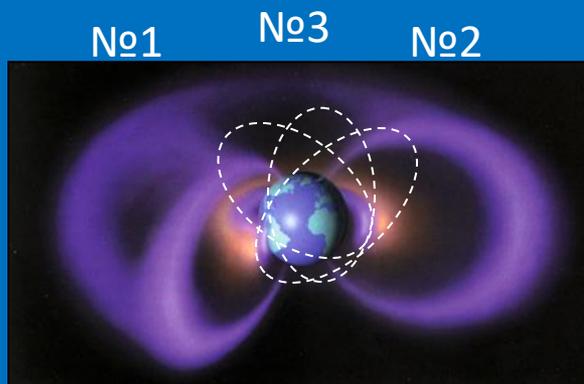
# Задачи мультиспутниковой группировки

- - 1) последовательный пролет одной и той же области близко расположенными спутниками, что позволит наиболее надежно разделить пространственные и временные эффекты;
- - 2) одновременные измерения на разных L-оболочках, что необходимо для восстановления динамической картины распределения потоков захваченных частиц в широком диапазоне орбит, что, в частности, позволит наблюдать смещение максимумов радиационных поясов во время геомагнитных возмущений;
- - 3) одновременные измерения на одной высоте однотипными приборами, расположенными на нескольких спутниках, смещенных по долготе друг относительно друга, что позволит оценить влияние фактора локального времени на динамику потоков частиц.

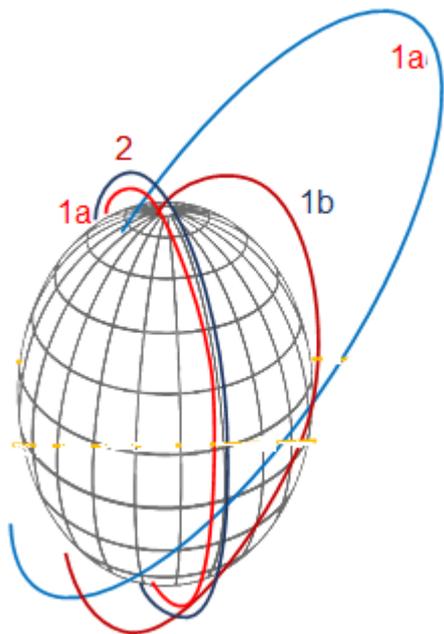
# Концепция группировки малых спутников для мониторинга космической радиации в околоземном пространстве

Проект мульти-спутниковой группировки МГУ подразумевает :

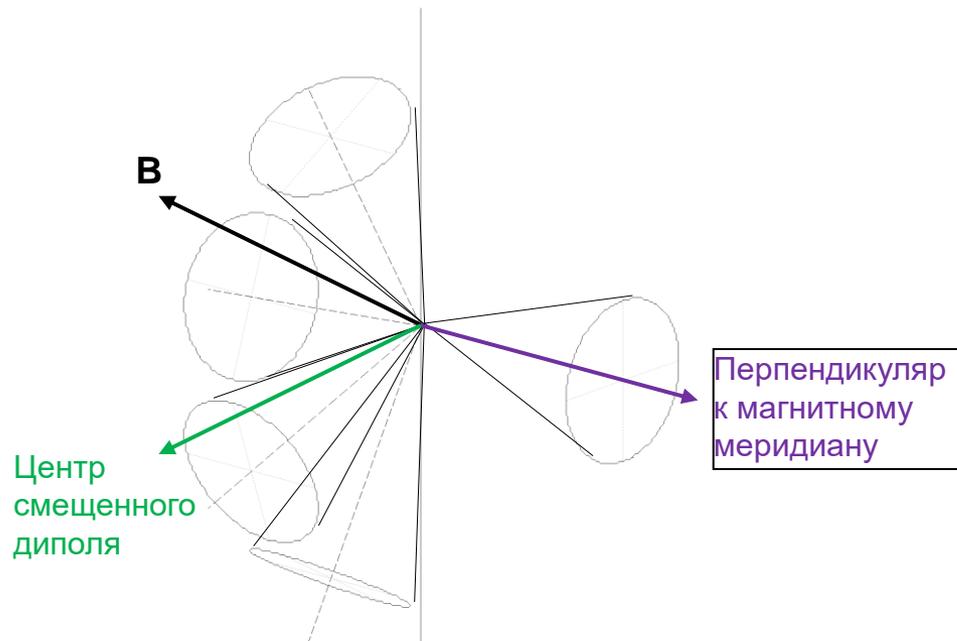
- использование группы низко-высотных дешевых спутников с орбитами, позволяющими перекрывать внутренние области радиационных поясов.
- измерения все-направленных потоков захваченных частиц в сочетании с модельной интерполяцией и экстраполяцией измеренных потоков за пределы внутренних областей радиационных поясов



# Система мониторинга космических угроз: орбиты



Орбиты спутников мониторинга околоземной радиации



Возможная ориентация детекторов заряженных частиц

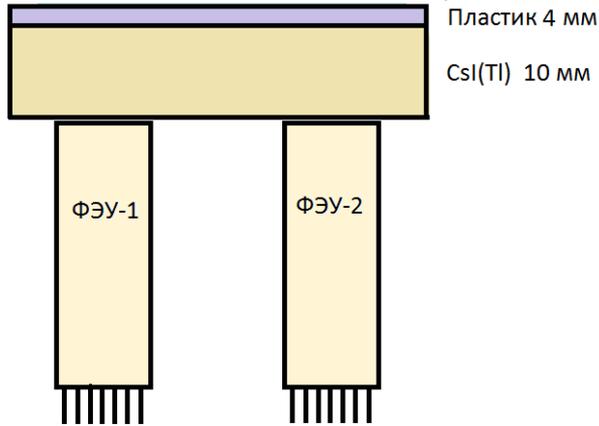
1. 1–3 малых/сверхмалых КА для мониторинга радиации на орбите высотой 700 – 8000...10000 км, наклоном  $63.4^\circ$ , с аргументом перигея  $\approx 310^\circ$ .
2. КА на низкой полярной круговой орбите, несущий детекторы заряженных частиц, ЭМ транзиентов и оптические камеры, имеющий возможность оперативно сбрасывать информацию на Землю. Малые космические аппараты системы «Универсат» с полным или частичным составом КНА: наноспутники с детекторами заряженных частиц и ЭМ транзиентов, различные КА, ассоциированные с системой «Универсат» и имеющие на борту детекторы заряженных частиц и ЭМ транзиентов.

# Аппаратура ДЕКОР (детектор космической радиации)



## Технические характеристики прибора ДеКоР

Входное окно (0.1мм Al + 0.1 мм полимер)

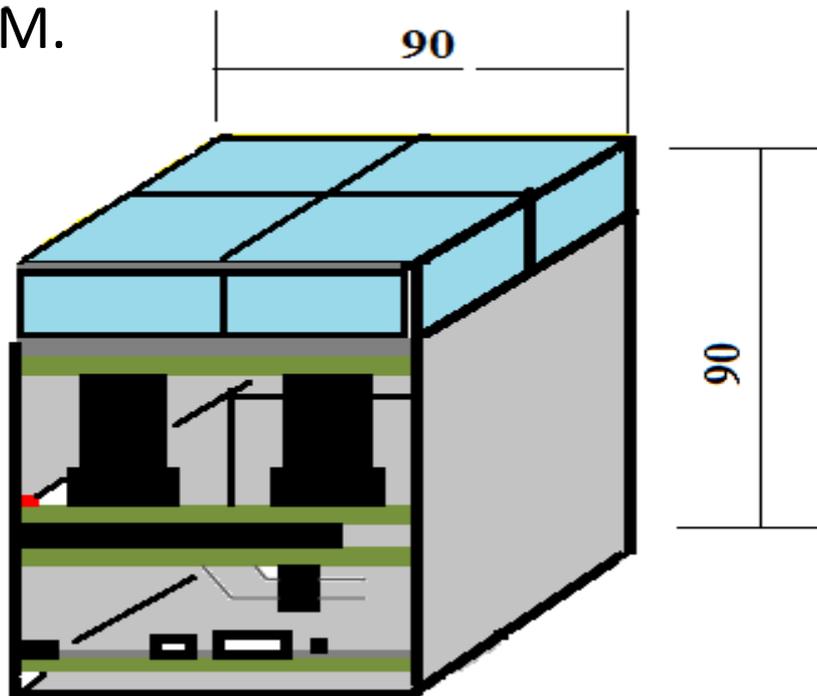


Регистрируемые типы частиц	Гамма, электроны
Диапазон энерговывделений	0.1 – 2 МэВ
Эффективная площадь	18 см <sup>2</sup>
Динамический диапазон:	
Мониторинг общего потока	0-1000 см <sup>-2</sup>
Спектрально-временной анализ	0-25 см <sup>-2</sup>
Временное разрешение	20 мкс
Габаритные размеры	102x90x36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

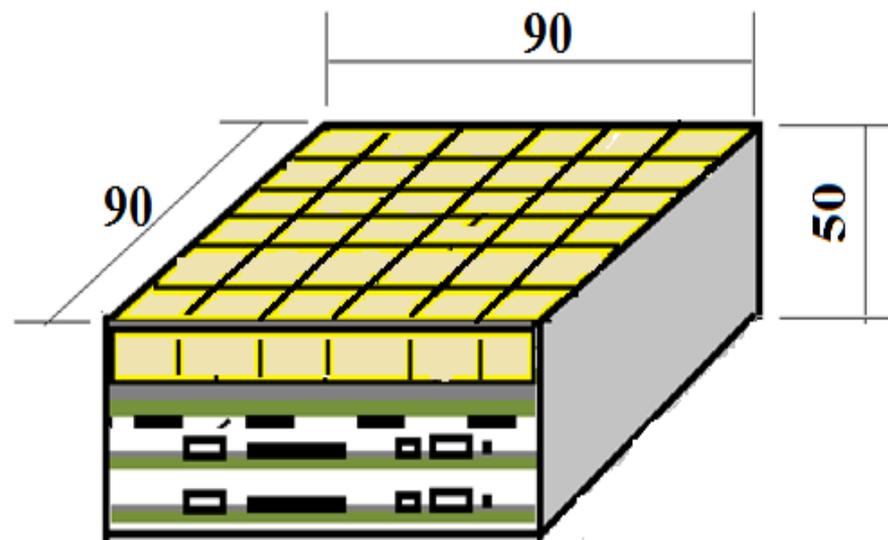
## Варианты реализации прибора ДеКоР-2:

### 1) Простой вариант

В качестве детектора используется 4 сцинтилляционных кристалла CsI(Tl) 45x45x10 мм, просматриваемых 4-мя ФЭУ или SiPM.

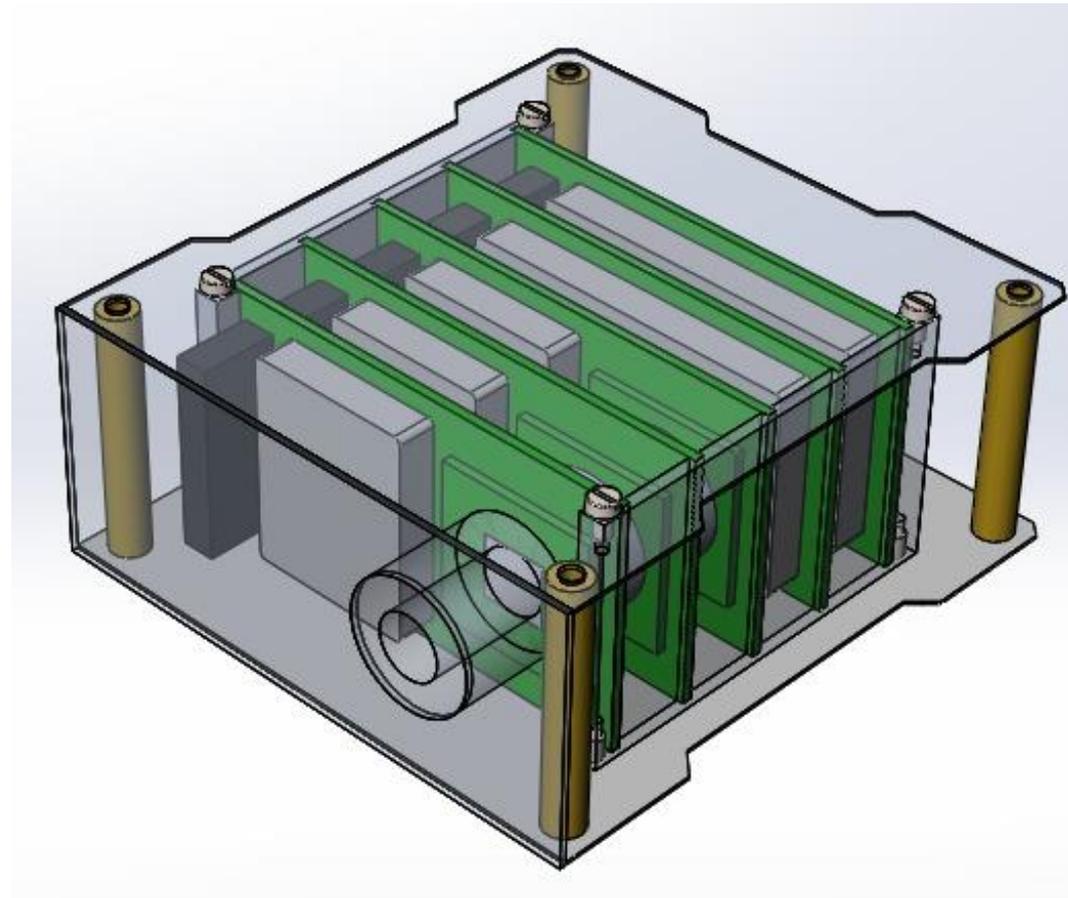


2) Многопиксельный вариант  
Детектор состоит из набора отдельных сцинтилляционных пикселей (Ce:GAGG - дорогой вариант или CsI(Tl) - дешёвый) размером 15-20 мм, просматриваемых несколькими SiPM



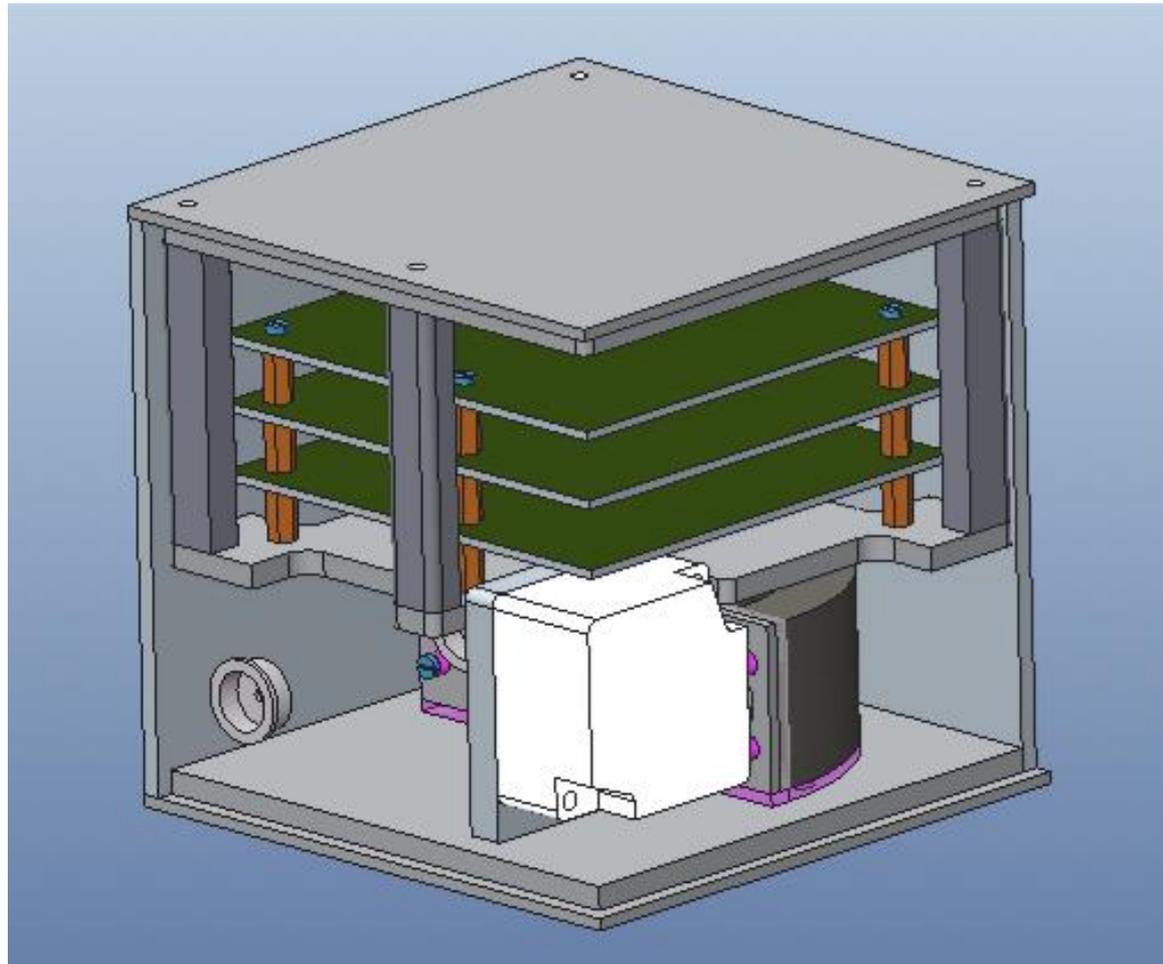
# Универсальный спектрометр нового поколения

- Размер  $\leq 1/2U$  CubeSat
- Цифровой интерфейс
- Собственная память 1Гб
- Возможность настройки и программирования в полёте
- Планируется к запуску в 2021 г.



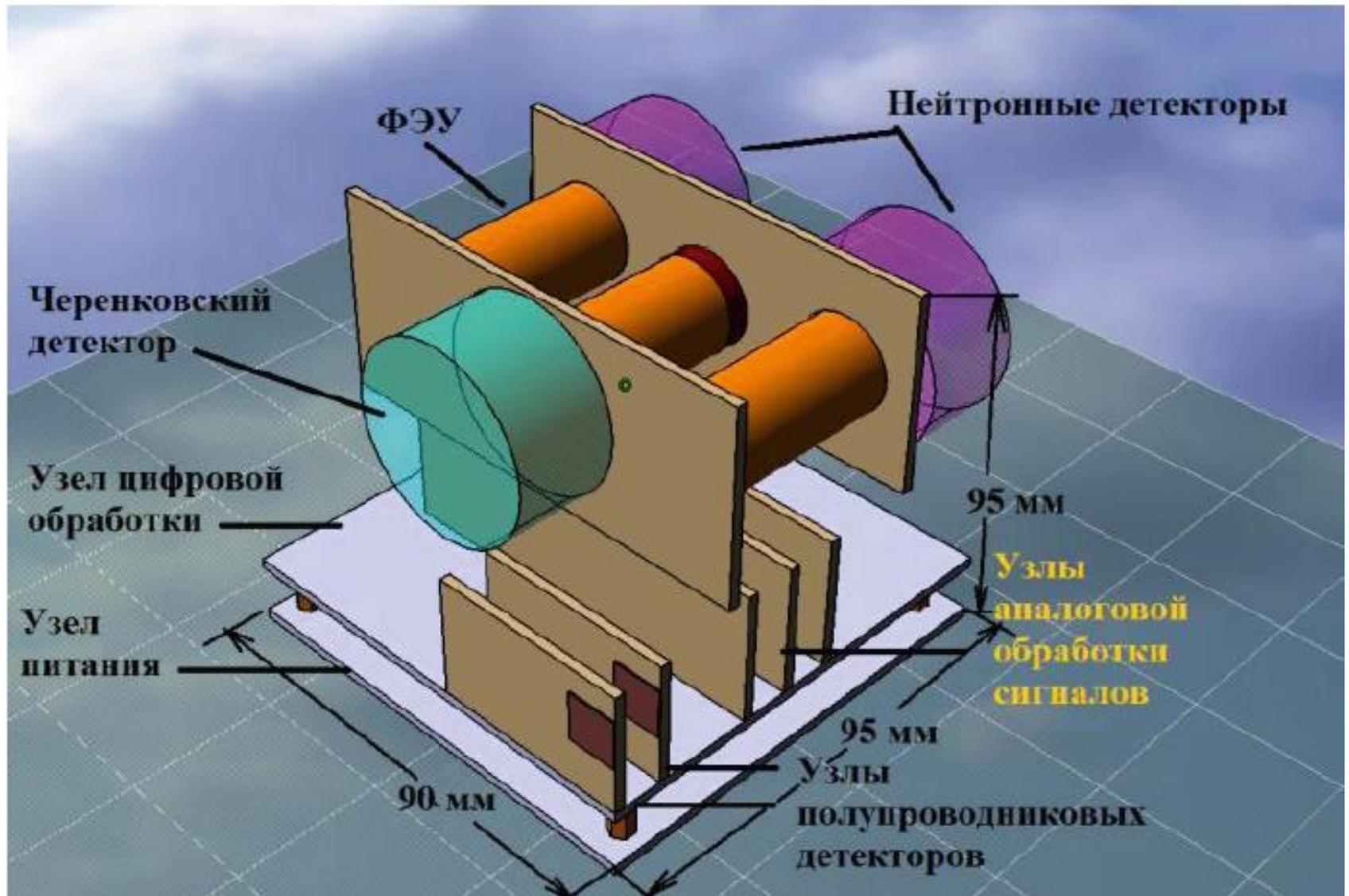
# Анализатор заряженных частиц низких энергий нового поколения

- Размер 1U CubeSat
- Цифровой интерфейс



# Внешний вид детектора КОДИЗ

Схема расположения основных узлов прибора



## Научно-образовательные спутники «СириусСат-1,2»



**Два научно-образовательных спутника «СириусСат-1» и «СириусСат-2», выполненные в формате кубсат 1U format, были запущены 15 августа 2018 г. с МКС во время выхода космонавтов в открытый космос**



# Первый этап летных испытаний Универсат-СОКРАТ



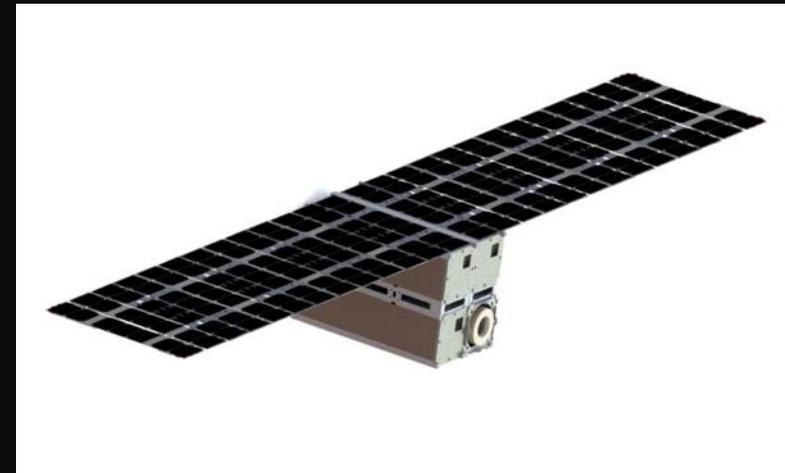
Запущено 5 июля 2019 г.

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)

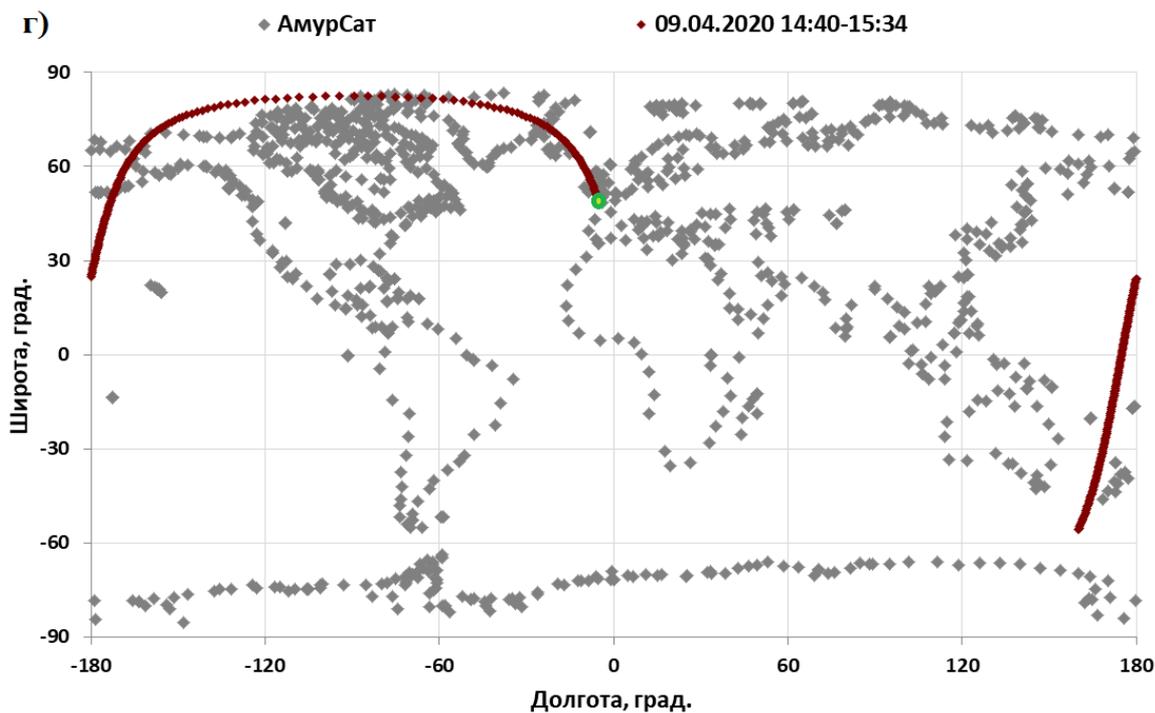
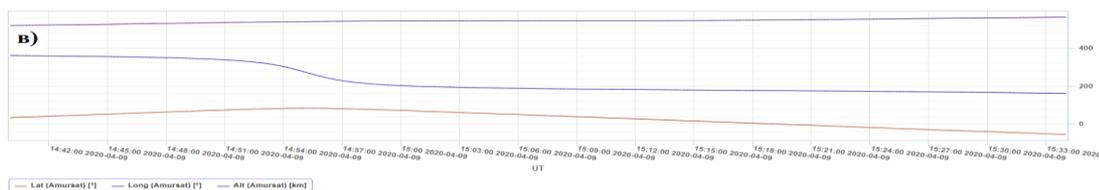
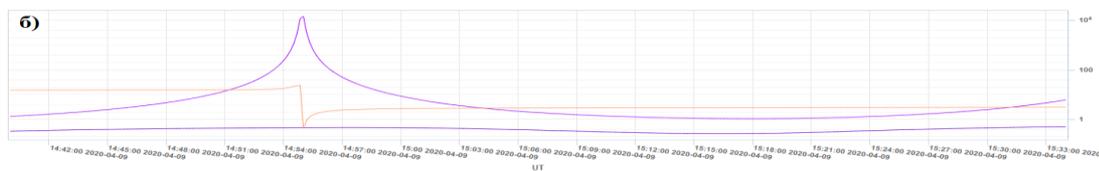
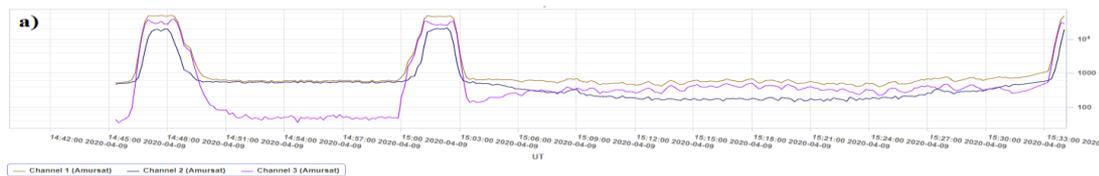


# Пилотная миссия 3U кубсатов

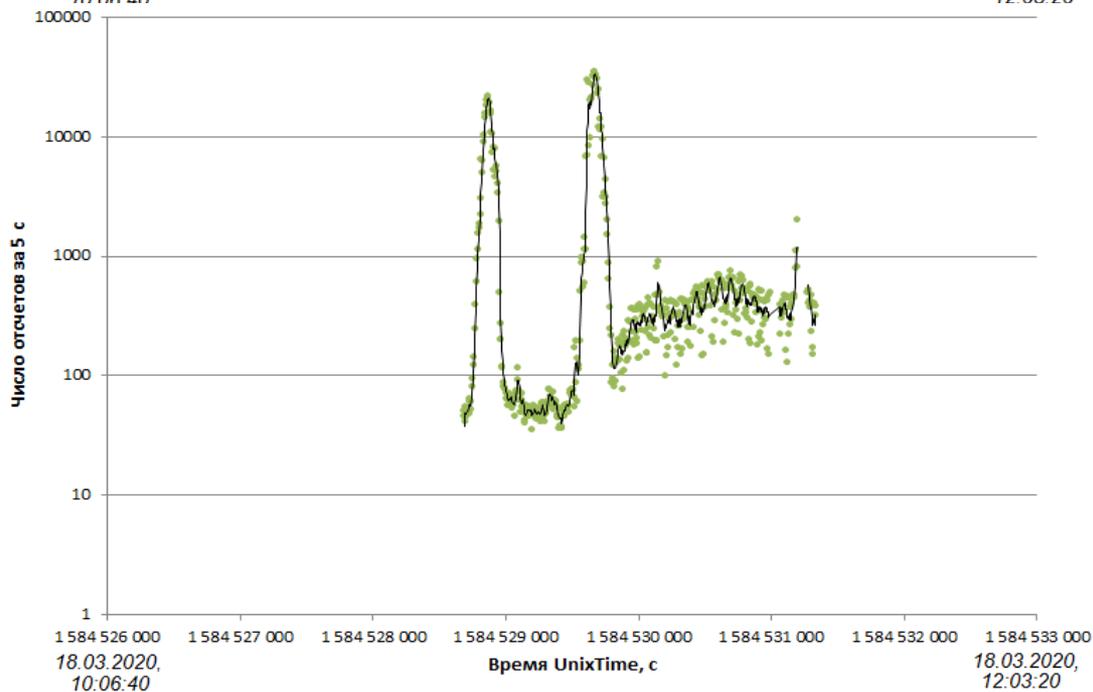
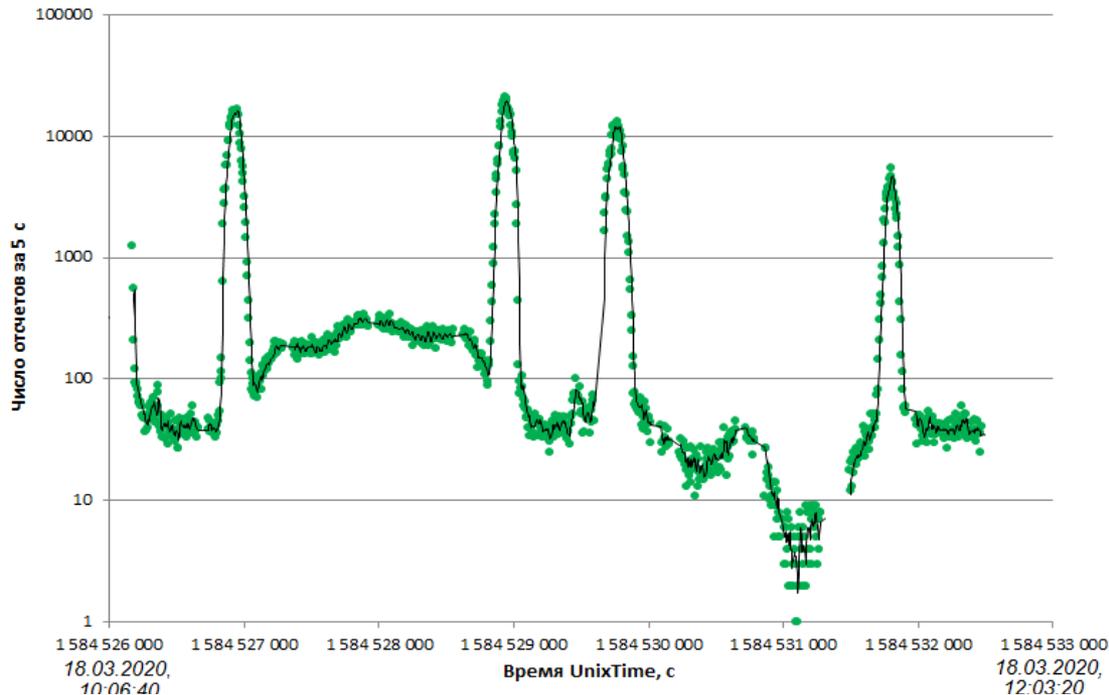


# ПЕРВЫЙ ОПЫТ ЛЕТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АППАРАТУРЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА КОСМИЧЕСКОЙ РАДИАЦИИ И УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В СОСТАВЕ НАНО-СПУТНИКОВ КЛАССА КУБСАТ, ЗАПУЩЕННЫХ В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА «УНИВЕРСАТ-СОКРАТ»

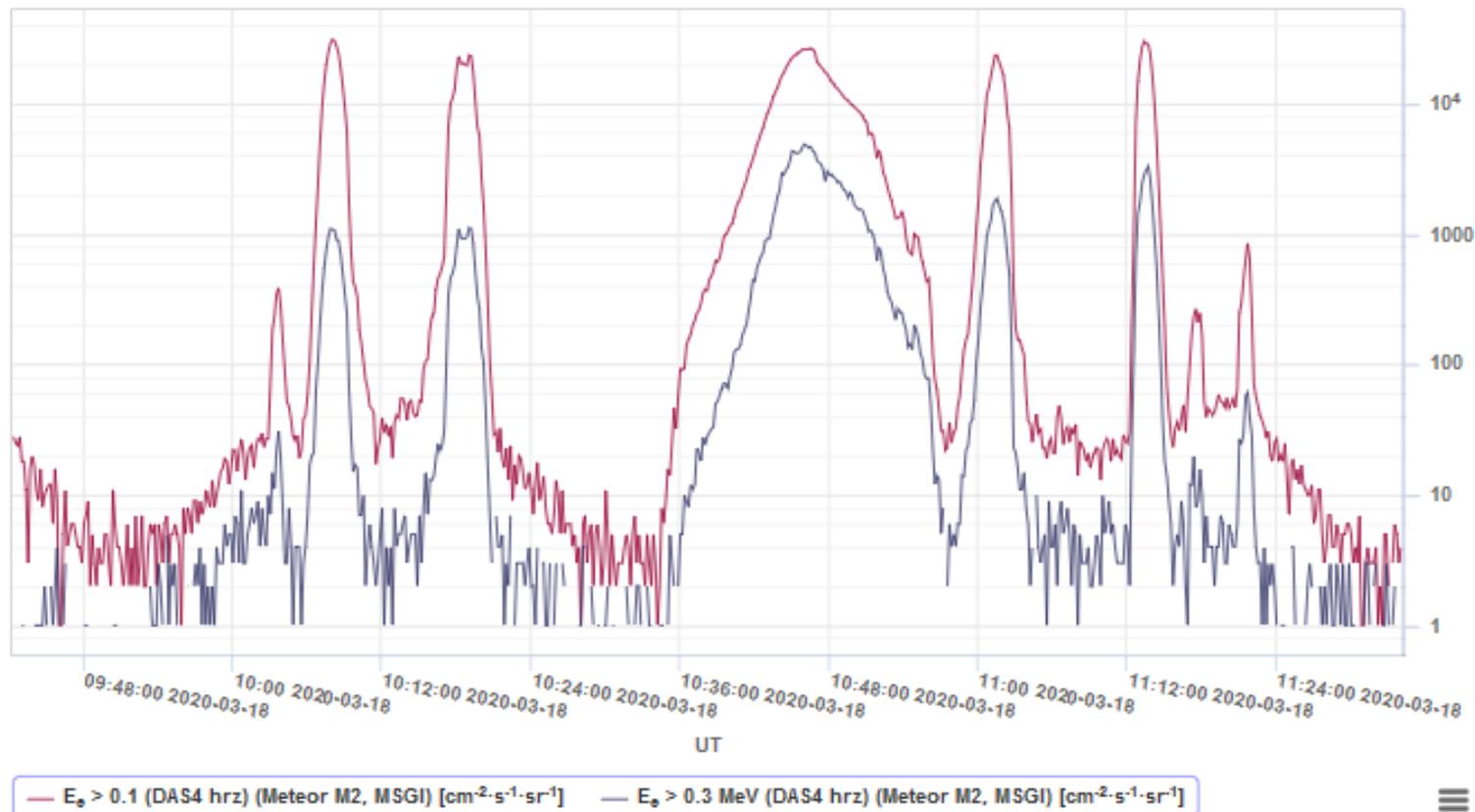




Временные зависимости выходных показаний прибора ДеКОР спутника АмурСат, измеренные 9 апреля 2020 г. 14:45 – 15:34 (панель а), соответствующие временные зависимости геомагнитных параметров  $L$ ,  $B$ ,  $MLT$  (панель б) и географических координат (широта, долгота, высота) (панель в). Карта с изображением траектории - панель г. Зеленой точкой отмечено место старта (14:45)



А: временной ход скорости счета электронов с энергией  $>300$  кэВ, записанный в мониторинговом режиме работы прибора ДеКор на спутнике «ВДНХ-80» 18 марта 2020 г., Б: аналогичные показания прибора ДеКор на спутнике «АмурСат



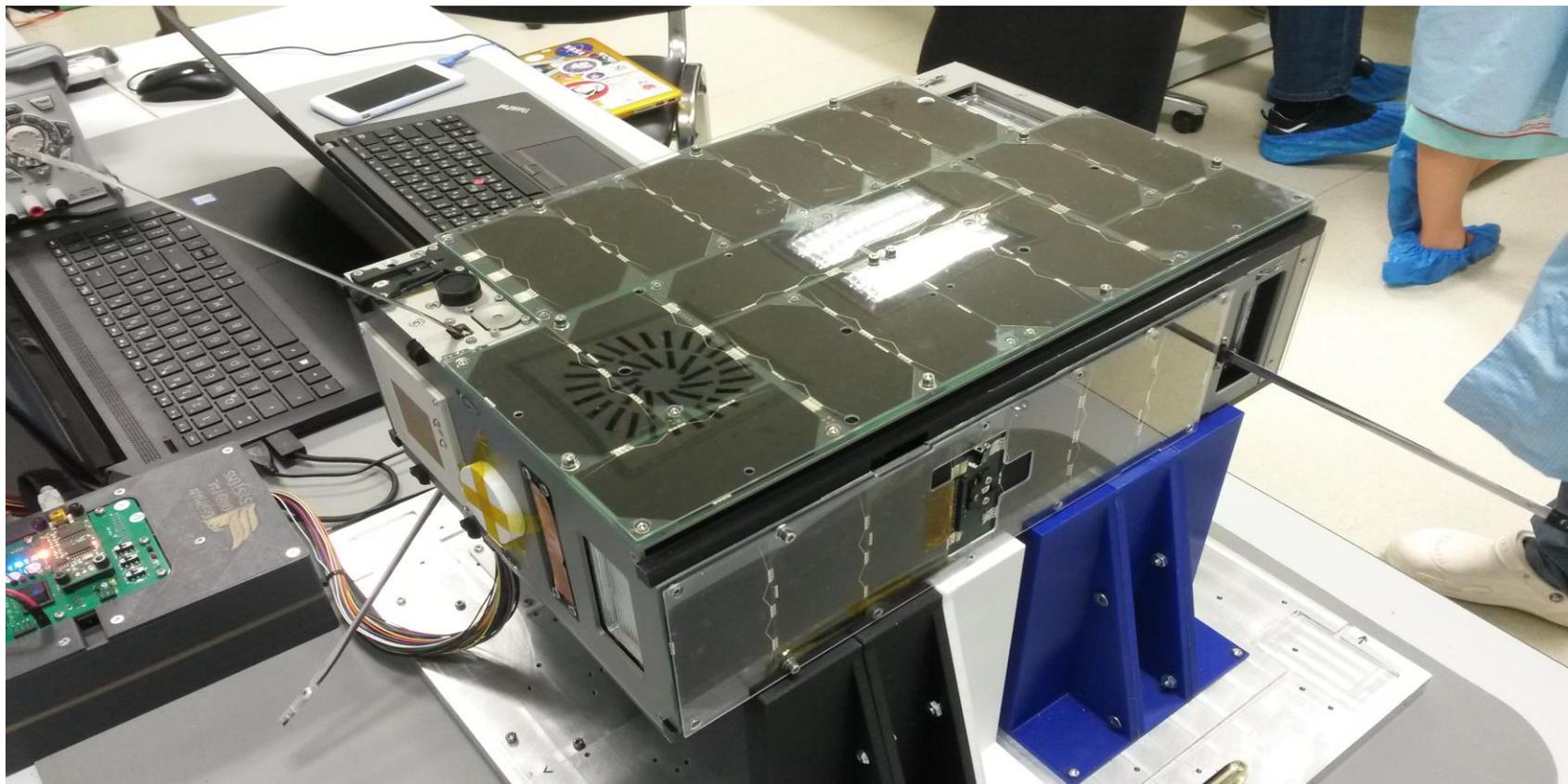
Потоки электронов с энергиями  $>100$  кэВ (красная кривая) и  $>300$  кэВ (синяя кривая), измеренные прибором МСГИ на спутнике Метеор М2 18 марта 2020 г.

**В сентябре 2020 г. осуществлен успешный запуск еще трех КА типа кубсат:**

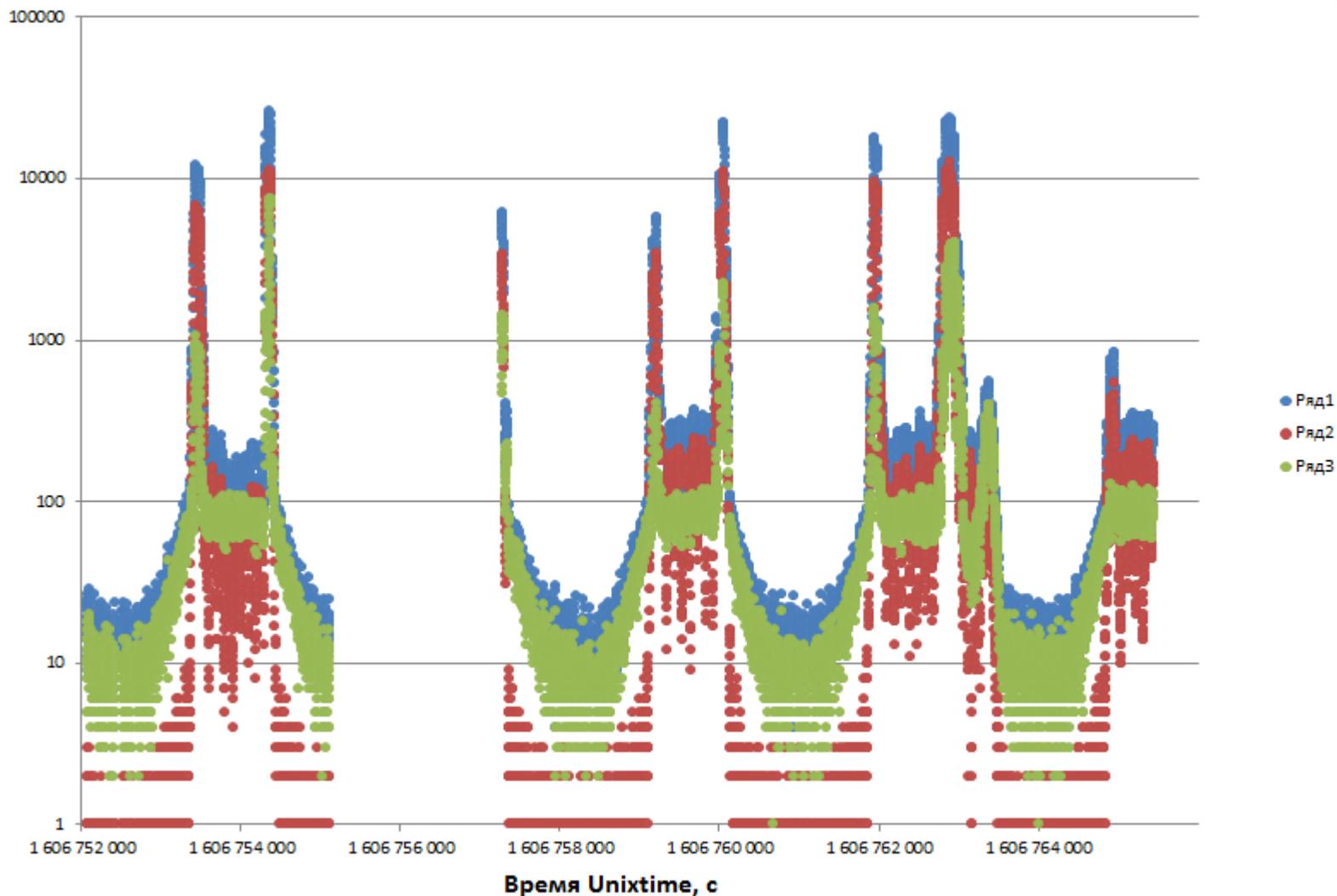
**– спутник «ДЕКАРТ» формата 6U имеет в составе три прибора типа ДеКоР, а также усовершенствованный фотометр типа АУРА - АУРА-2.**

**- - спутник формата 6U, разрабатываемый совместно с Новосибирским государственным университетом имеет в составе прибор ДеКоР**

**- КА формата 1.5U, разрабатываемом совместно с Московским государственным техническим университетом им. Н.Э. Баумана имеет в составе прибор ДеКоР**



**КА ДЕКАРТ**



Скорости счета гамма-квантов и электронов вдоль орбиты спутника «Норби» 7 декабря 2020 г.

# БУДУЩИЕ МИССИИ

**В 2021 планируются к запуску:**

**6U кубсат «Авион-Калуга-650» с аппаратурой ДеКоР (мониторинг космической радиации, астрофизических и атмосферных гамма-всплесков и солнечных вспышек)**

**два 3U кубсата с приборами ДеКоР-2 и КОДИЗ (мониторинг космической радиации и образовательная программа)**

**два 3U кубсата с приборами ДеКоР-2 (исследование астрофизических и атмосферных гамма-всплесков и отработка межспутниковой связи)**

# Созвездие кубсатов



*Созвездие работает как единый инструмент.*

- ✓ Может стать первым созвездием кубсатов для регистрации GRBs и TGFs

**Межспутниковая связь**  
позволяет:

- увеличить SNR: рассматриваются только те события, которые зарегистрированы по крайней мере на 2-х спутниках
- улучшить условия локализации (независимые измерения на каждом КА, триангуляция)
- Надежная связь (ни наземные, ни орбитальные системы связи не дают покрытия всего неба, здесь 1-4 спутника задействованы на регистрацию GRB – другие используются как ретрансляторы)





**Спасибо за  
внимание**