

МОНИТОРИНГ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИАЦИИ И АТМОСФЕРНЫХ ТРАНЗИЕНТОВ В ПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЯХ В МУЛЬТИ- СПУТНИКОВОМ ПРОЕКТЕ МГУ «УНИВЕРСАТ-СОКРАТ».



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



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.**



Космические угрозы

- Естественная и «техногенная» космическая среда создает серьезные риски для осуществления космических миссий как роботизированных, так и с участием человека.
- Риск определяется спецификой планируемых миссий – их продолжительностью, локализацией в космическом пространстве и параметрами орбит.
- Специфика природных условий в космическом пространстве (многообразие физических параметров радиационных полей, особенности баллистических траекторий природных космических объектов), а также последствия космической деятельности человека в космосе (загрязнение космического пространства техногенным мусором) создают, как правило, реальные трудности для их моделирования и расчетов рисков.
- Мониторинг в реальном времени космических природных и техногенных объектов - потенциальных угроз - представляет собой оптимальный и вследствие этого **эффективный способ снижения рисков, и мониторинг потенциальных угроз в реальном времени становится жизненно необходимым.**

Космические угрозы

СОЛНЕЧНЫЕ
ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫЕ ЧАСТИЦЫ

АСТЕРОИДЫ,
КОСМИЧЕСКИЙ
МУСОР

РАДИАЦИЯ

ГАММА
- ВСПЛЕСКИ

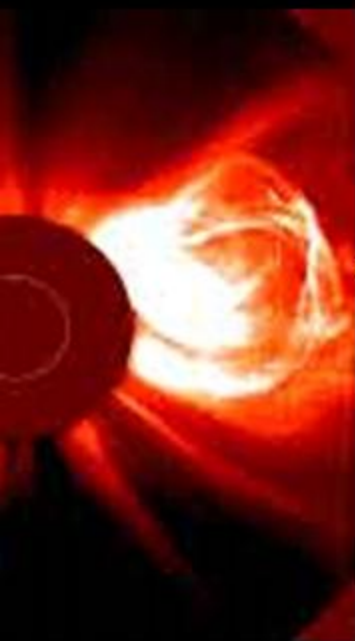
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ
ТРАНЗИЕНТЫ





1. РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ

Космическая радиация в окрестности Земли



Галактические
космические лучи

Солнечные
энергичные частицы

Магнитное поле
Земли

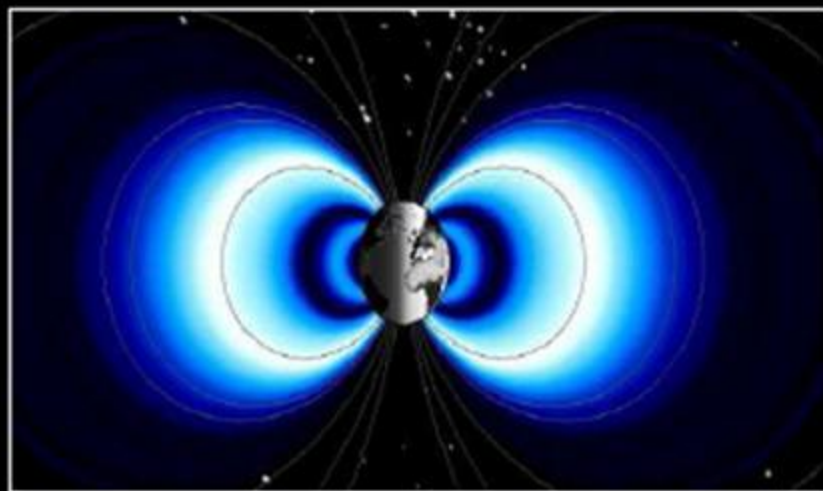
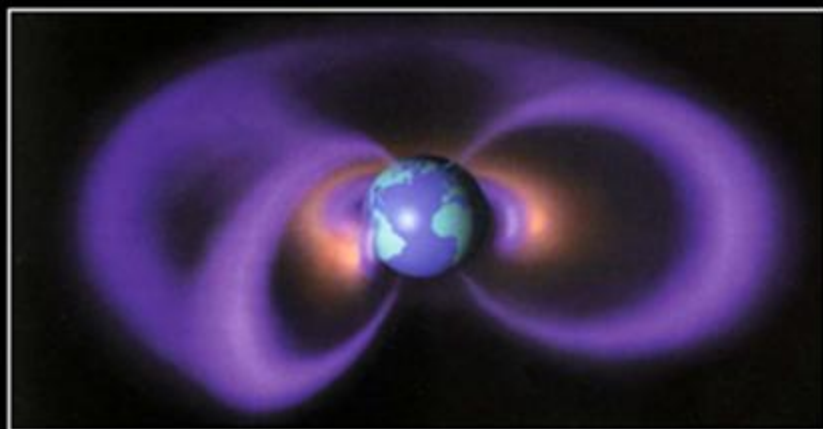
Радиационные
пояса



Динамика радиационных полей

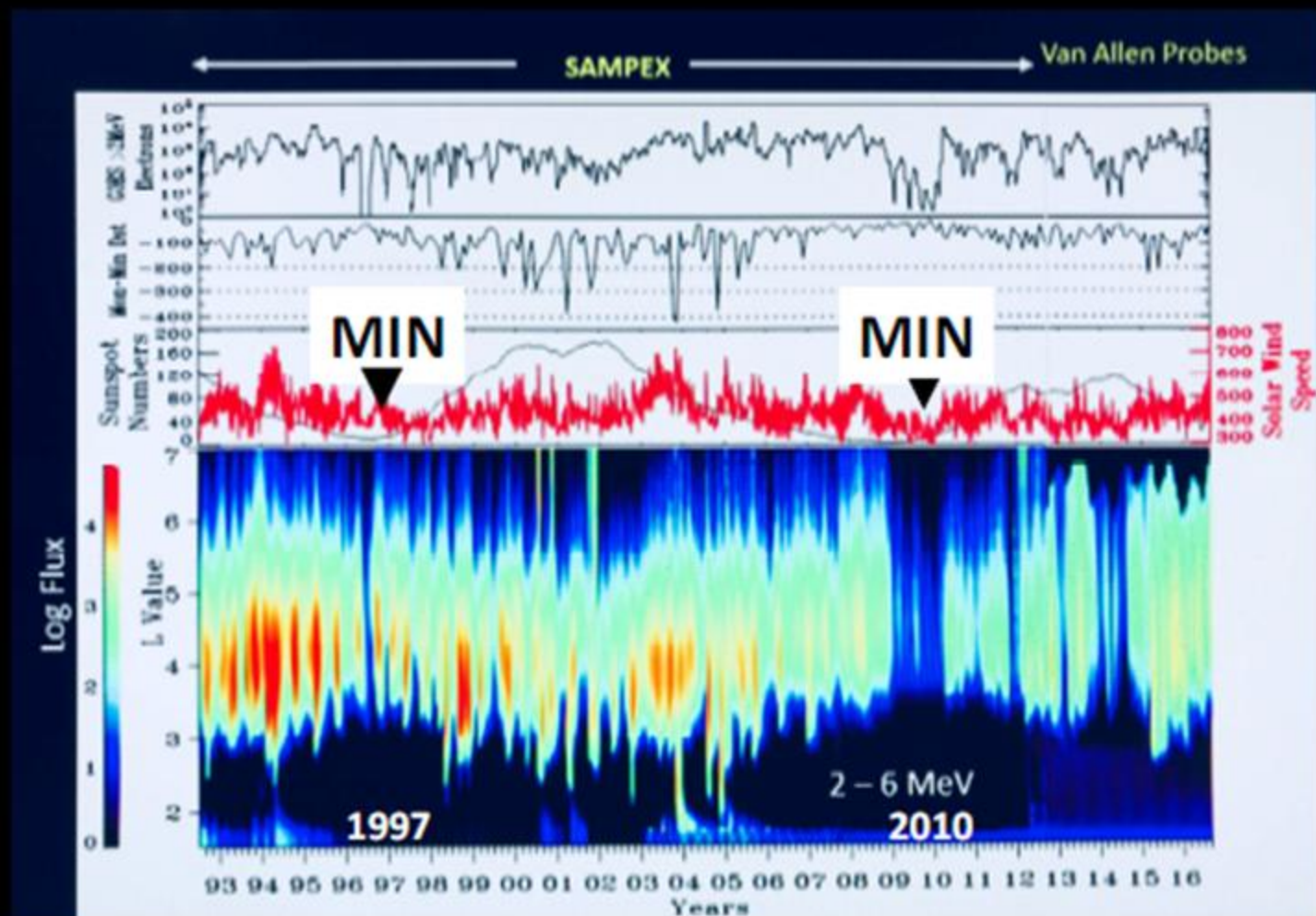
**Ограниченность моделей
радиационных полей и
современный
статус экспериментальных
данных**

Радиационная опасность вблизи Земли

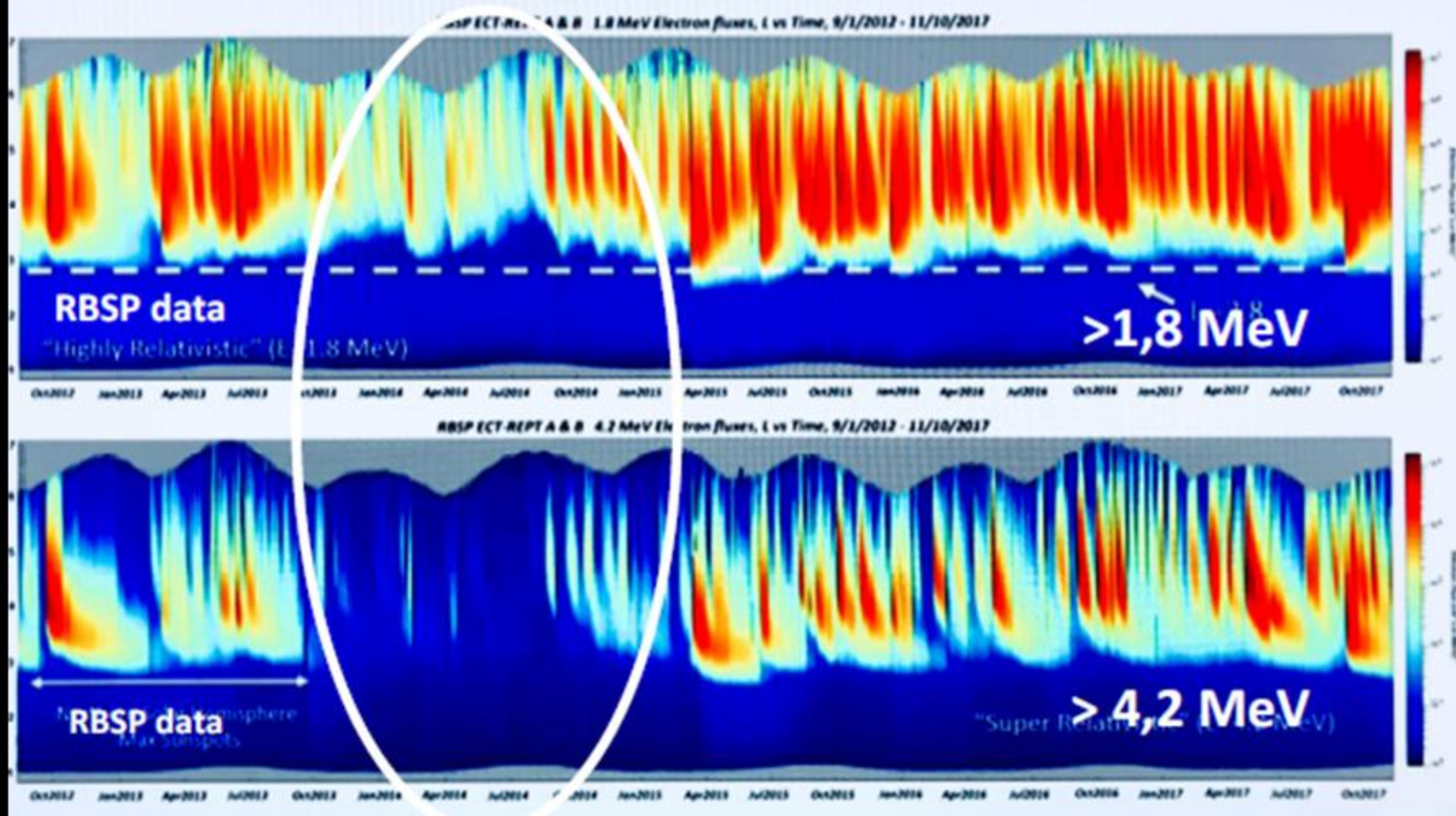


Изменение потоков частиц РПЗ происходит на шкале времени от миллисекунд до десятков лет

Вариации электронных РП (2-6 MeV)

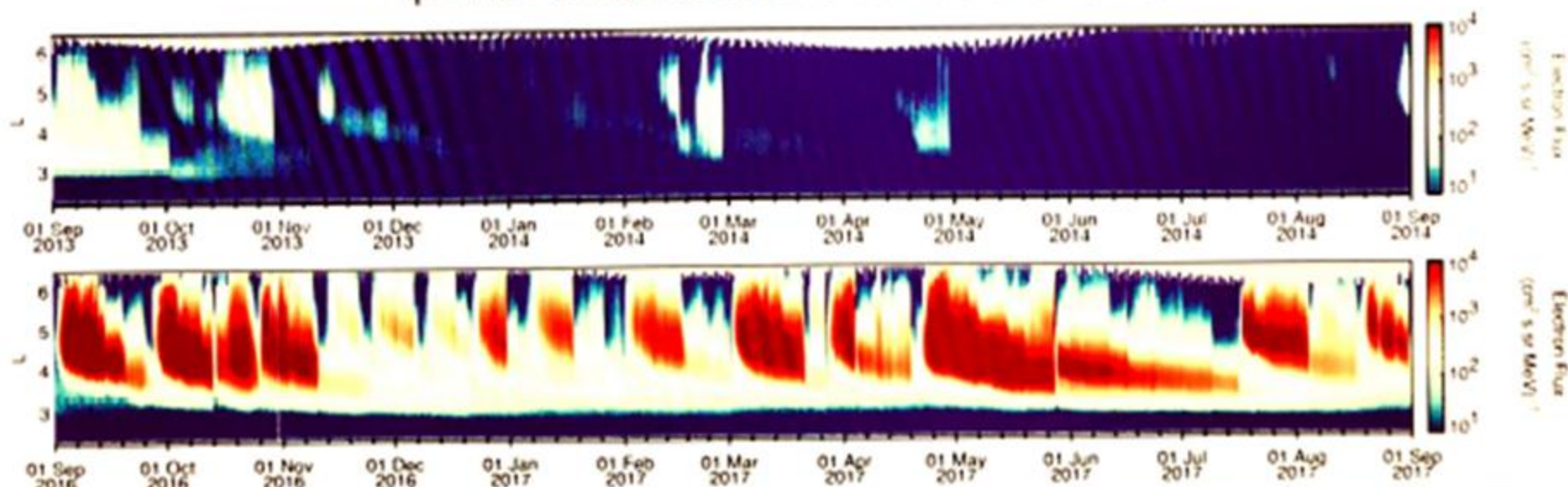


Вариации релятивистских электронов во внешнем РП



Вариации релятивистских электронов > 4,2 MeV во внешнем РП

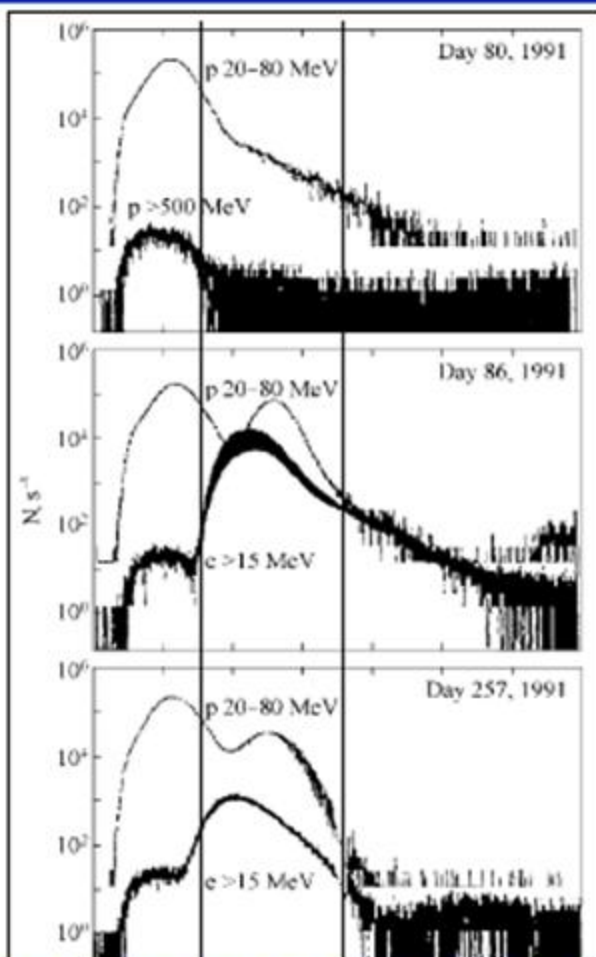
4.2 MeV electrons in the outer radiation belts



В течение 2-х лет (2013- 2014) во внешнем РП
не было электронов с $E > 4.2$ MeV !

Опасность для GPS, GEO – спутников в 2016-2017 г.г.

Быстрые вариации потоков релятивистских частиц в радиационных поясах Земли

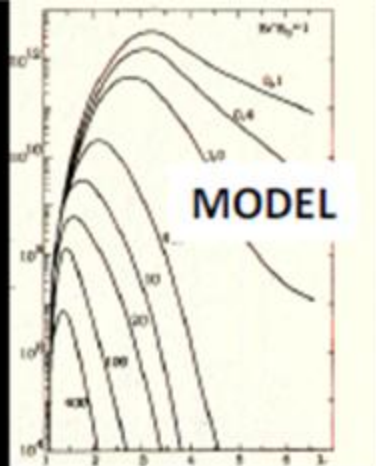


«CRESS – эффект»

Данные 1991 г. : в течение нескольких минут потоки электронов с энергией >15 МэВ и протонов с энергией > 20 МэВ возросли более, чем на порядок величины во время магнитной бури. В результате, на расстоянии 2-3 радиусов Земли сформировался новый пояс частиц, представляющий реальную угрозу для космических аппаратов

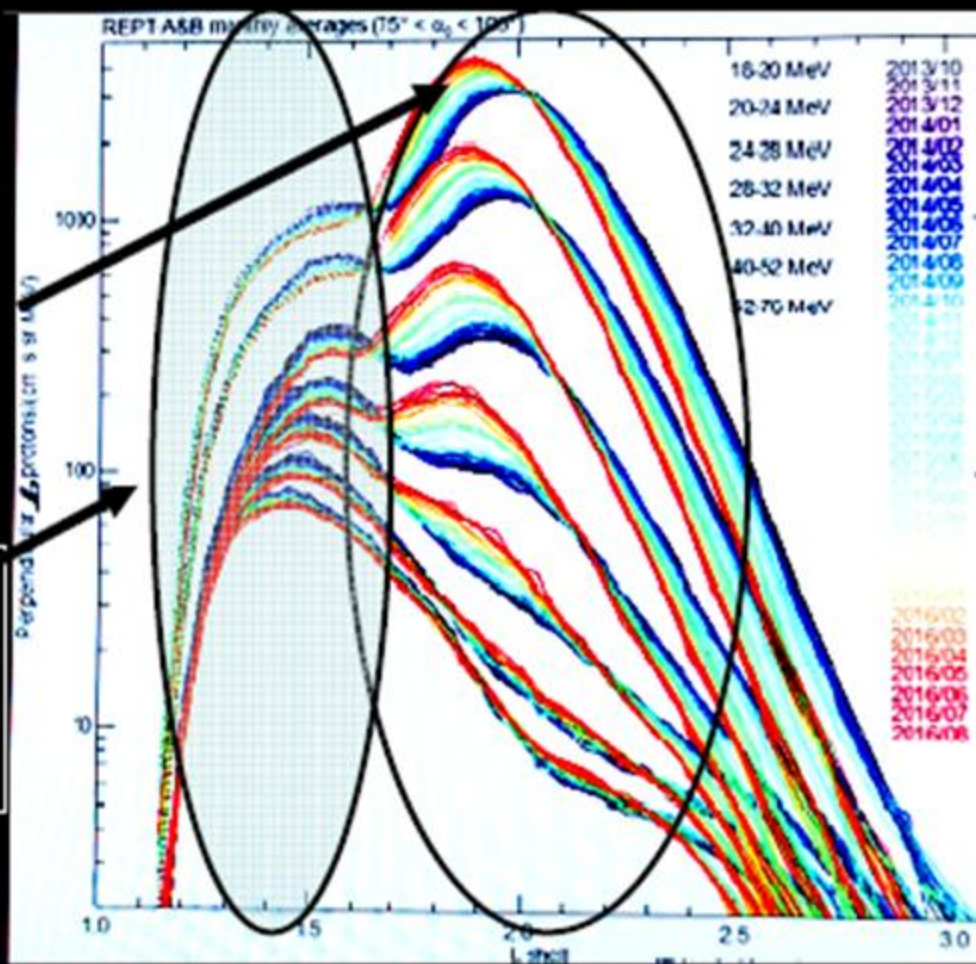
НЕОБХОДИМОСТЬ МОНИТОРИНГА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Вариации протонного пояса (>16 MeV)



Радиальная
диффузия
солнечных
протонов

CRAND
Распад
нейтронов
альbedo



2014

RBSP

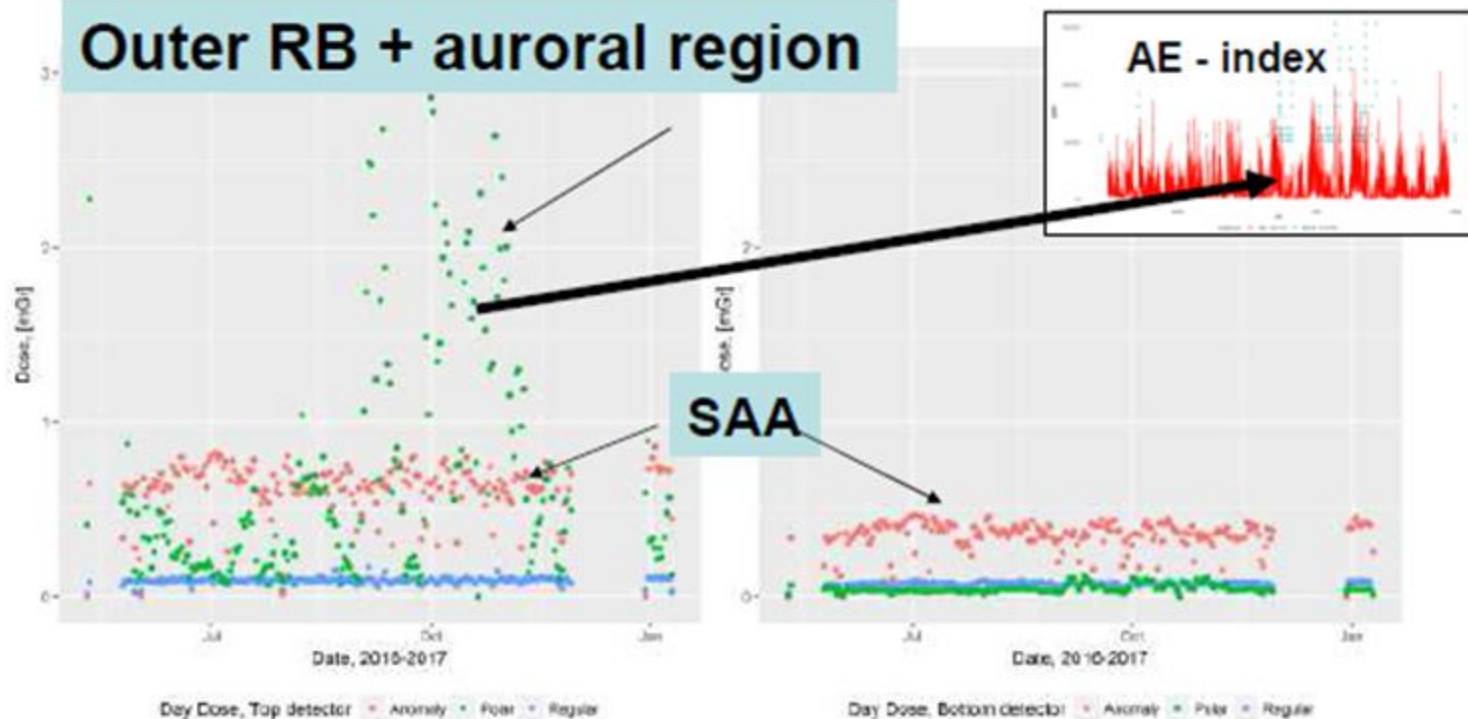
2016

Опасность для LEO- спутников в 2016

DEPRON/LOMONOSOV data



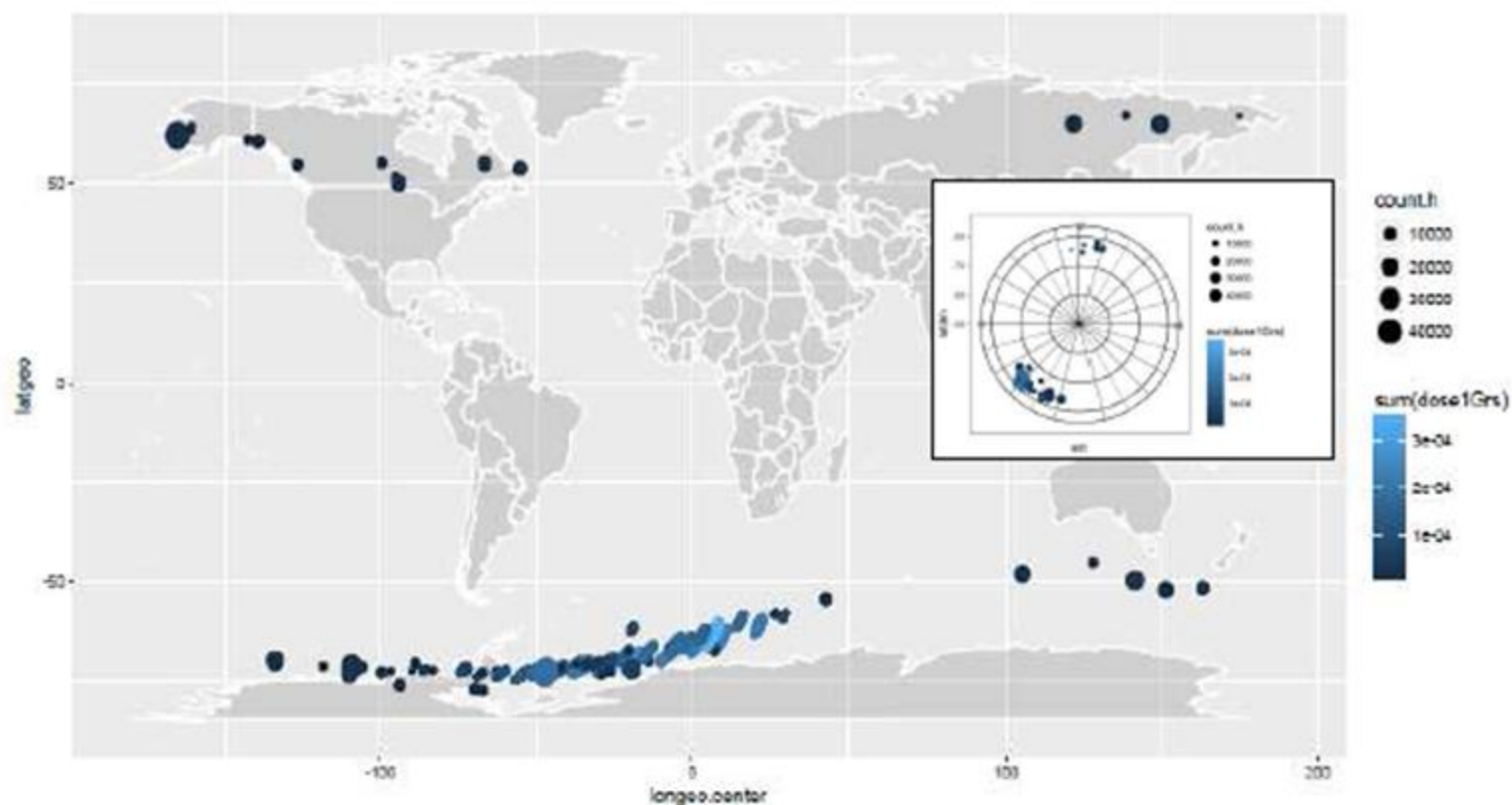
Outer RB + auroral region



Integral daily dose for 2 different time periods

Phenomenology of TREP's: spatial characteristics

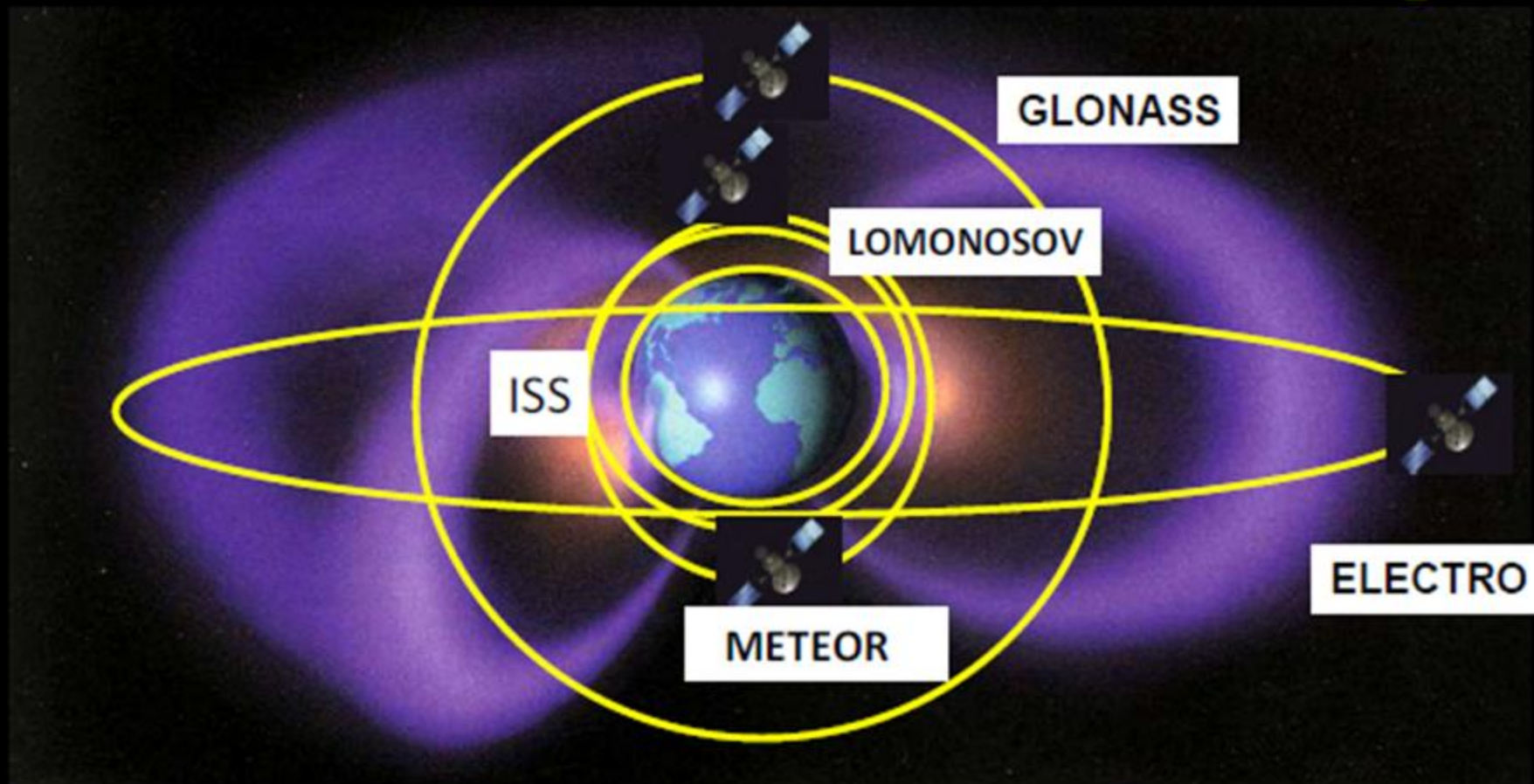
Observations in the evening and morning MLT sectors



**Ограниченность
локального
радиационного
мониторинга**

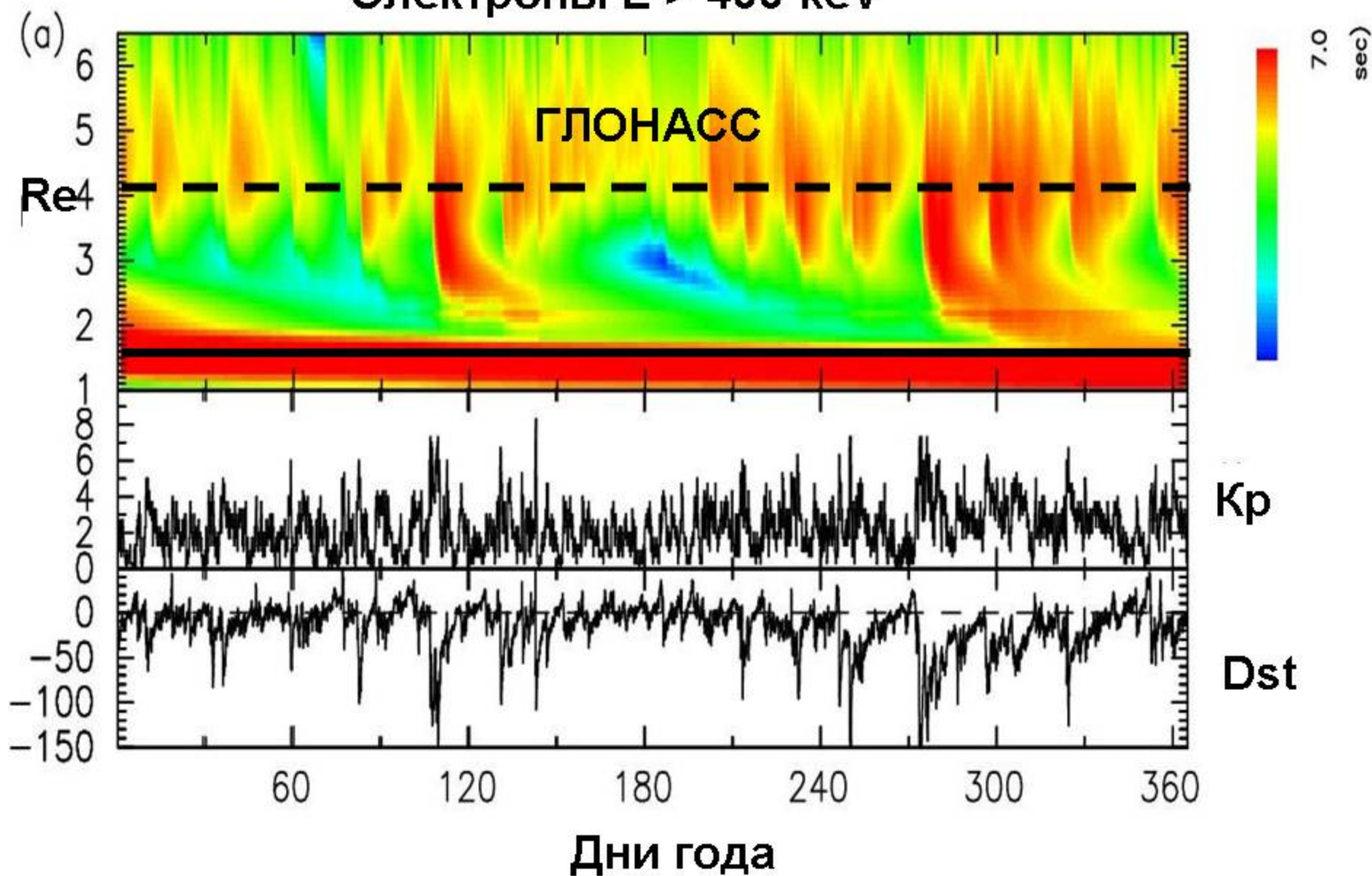


Moscow State University: space experiments directed for radiation monitoring

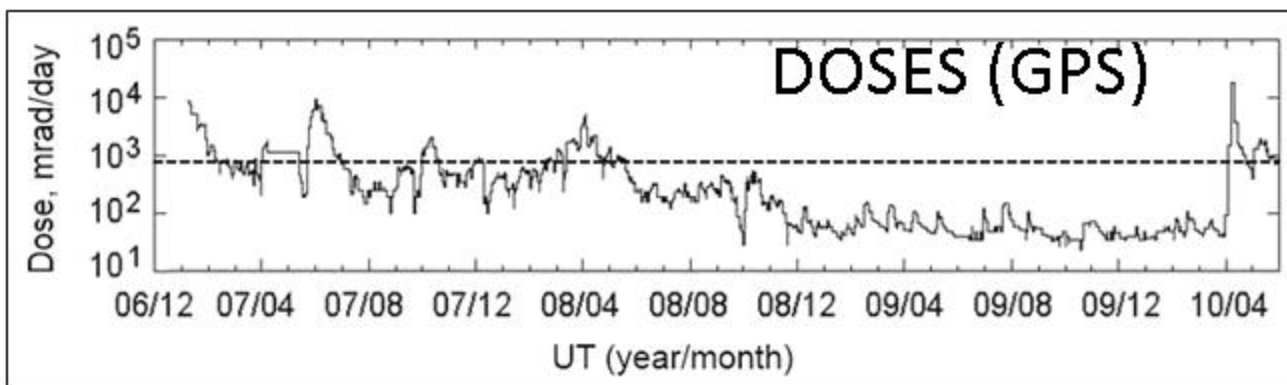
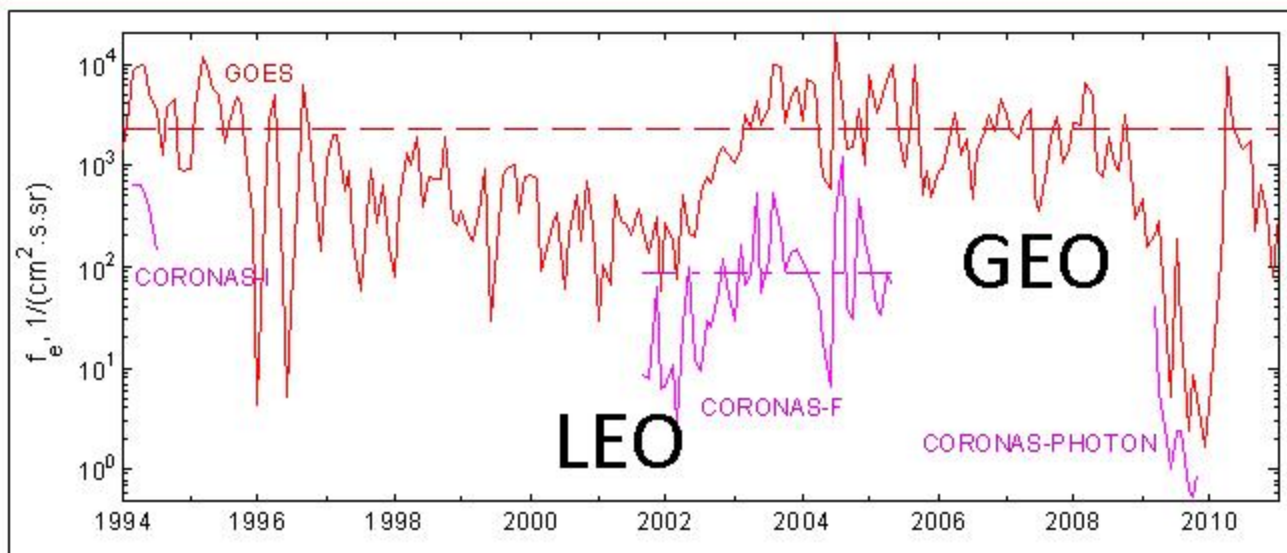


Динамика радиационного пояса

Электроны $E > 400$ keV



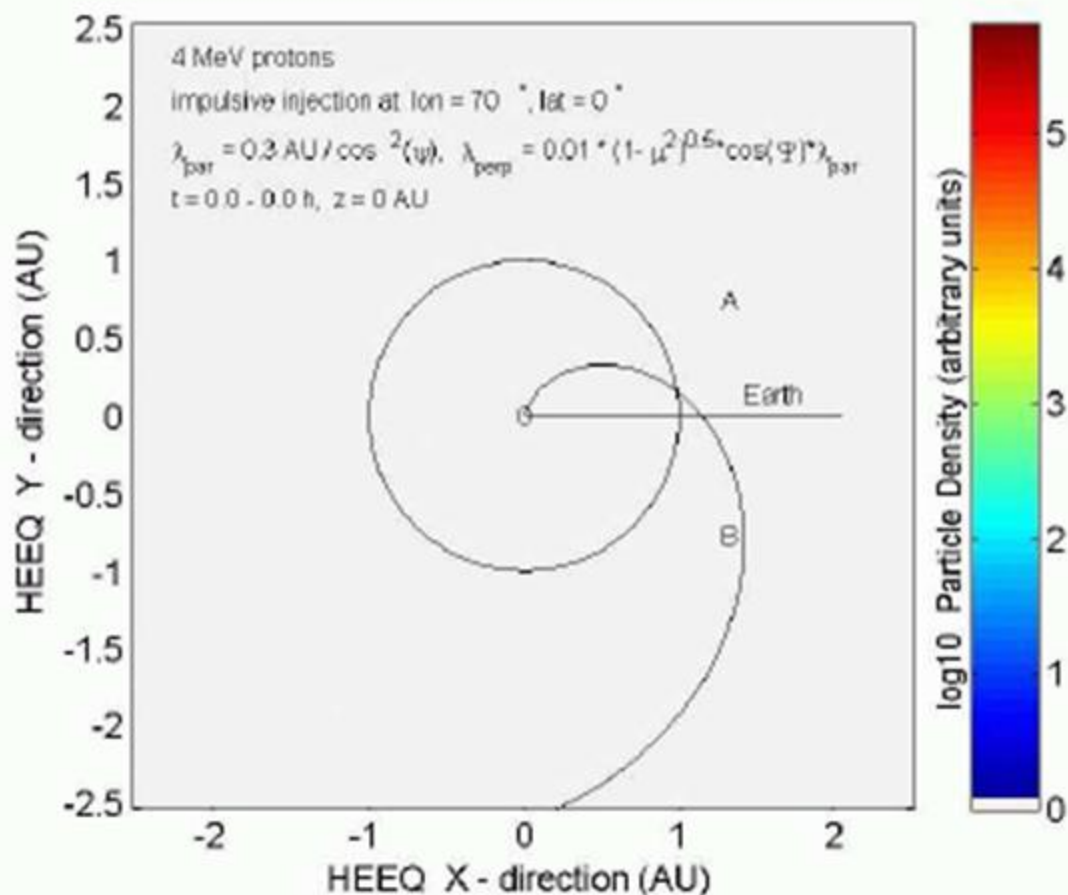
Long-term variations of Earth's radiation belts



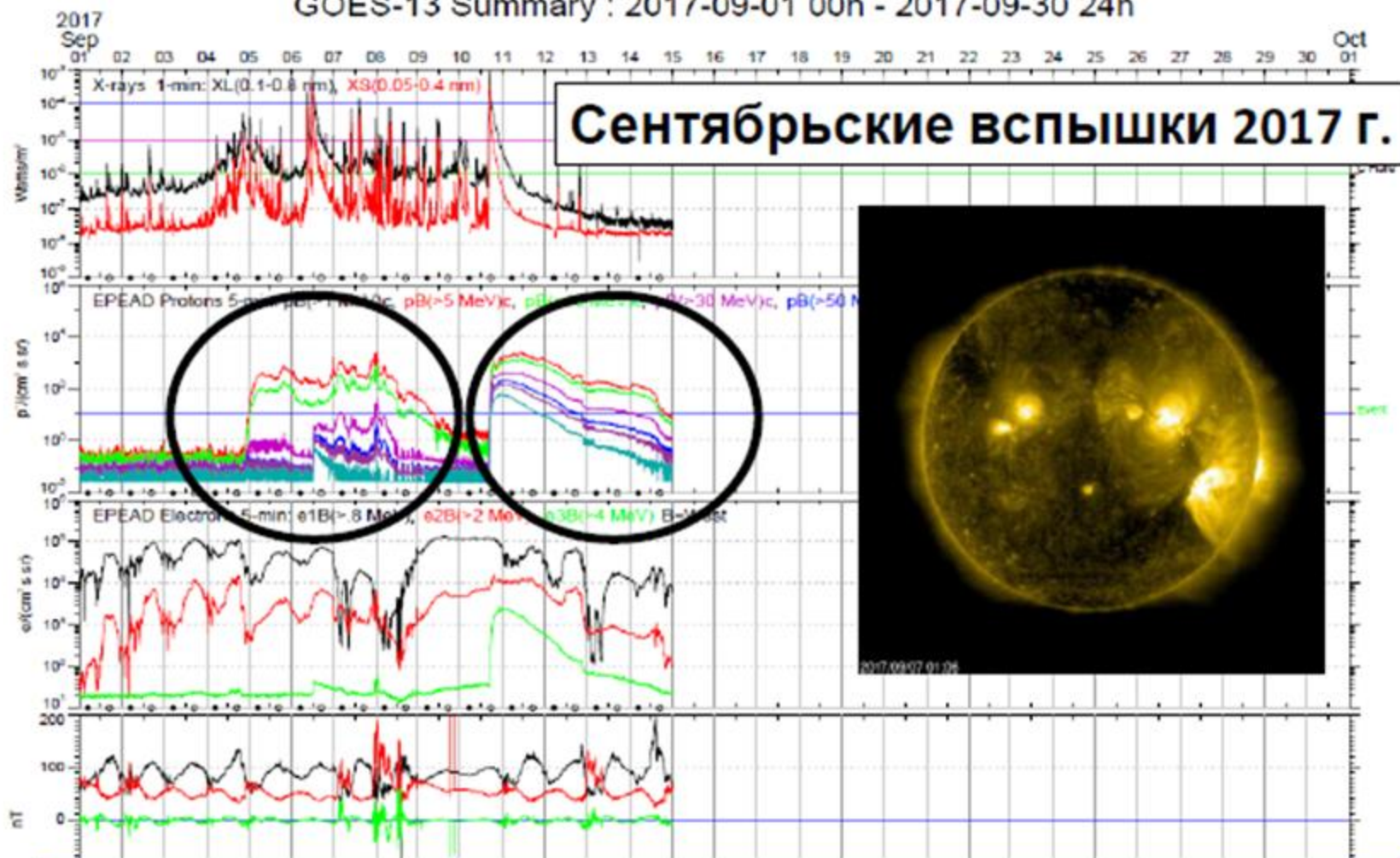
Вверху: вариации потоков релятивистских электронов на геостационарной орбите (GEO) и на малых высотах (LEO). Внизу: дозы радиации на орбите Глонасс (GPS). Пунктир – модельные расчеты.

Солнечные энергичные частицы

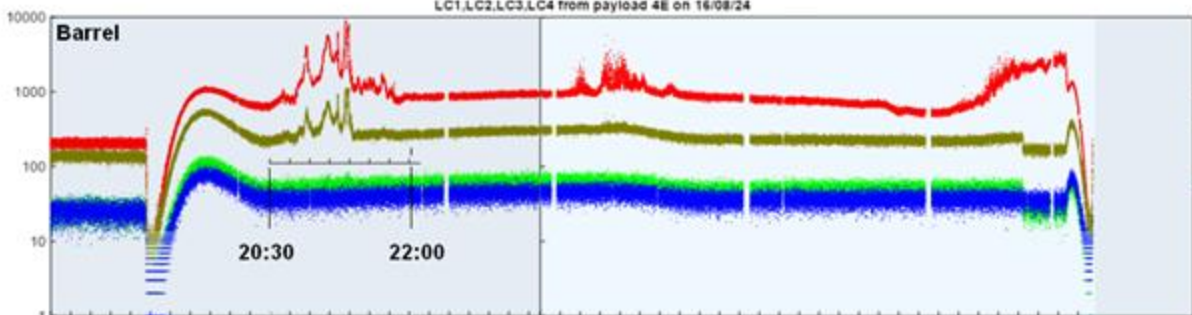
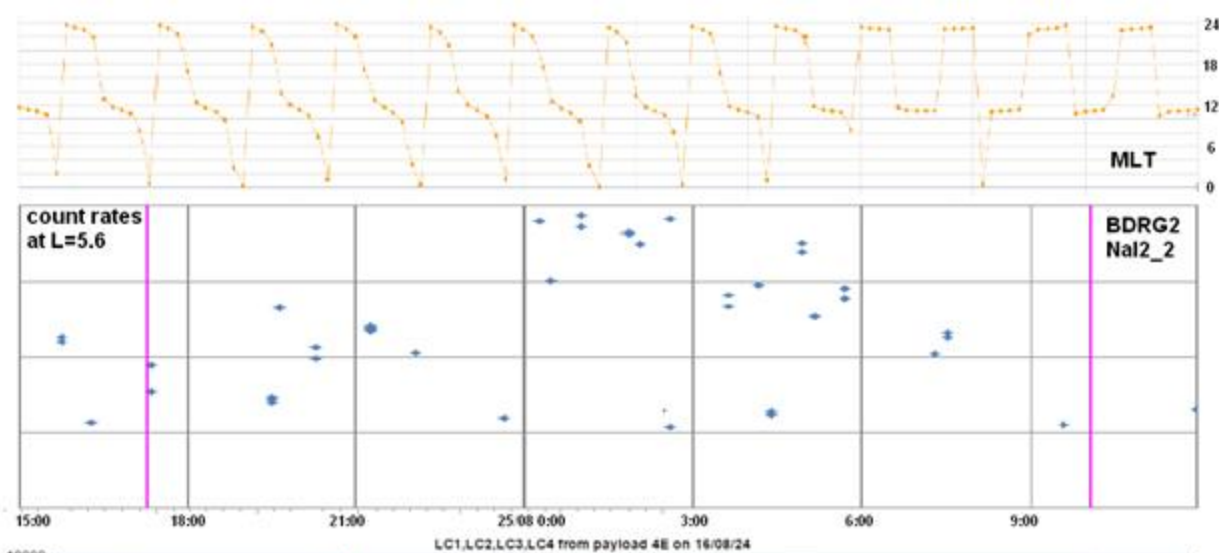
Прогноз СКЛ в настоящее время не обладает достаточной достоверностью и информативностью



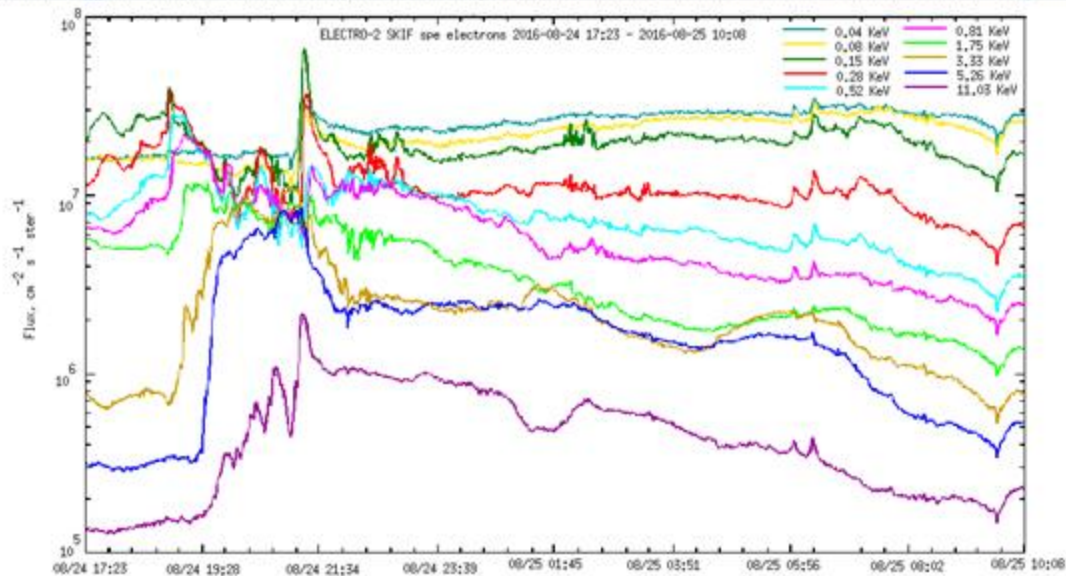
GOES-13 Summary : 2017-09-01 00h - 2017-09-30 24h



**НЕОБХОДИМОСТЬ многоспутникового МОНИТОРИНГА
В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ**

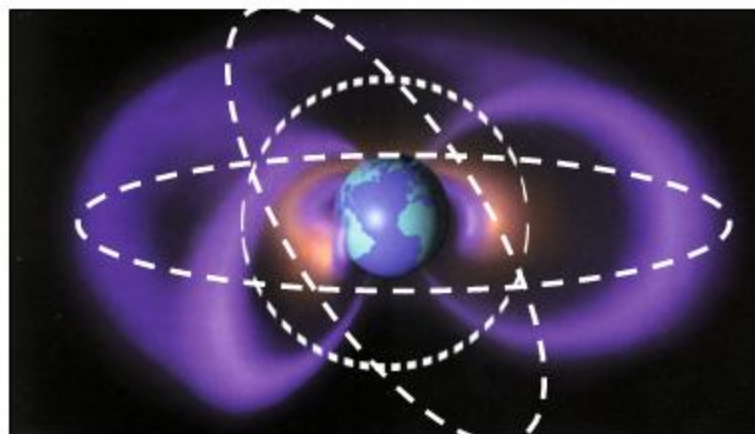


Пример
совместных
наблюдений
высыпаний
энергичных
электронов на
спутниках
«Метеор»
(совместно с ИПГ),
«Ломоносов» и в
баллонных
экспериментах
BARELL



**Предлагаемая группировка
орбитальных
КА и требования к параметрам
орбит**

Концепция группировки малых космических аппаратов для мониторинга радиационного окружения Земли



Цели:

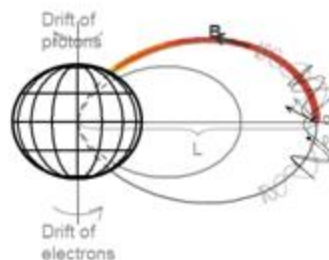
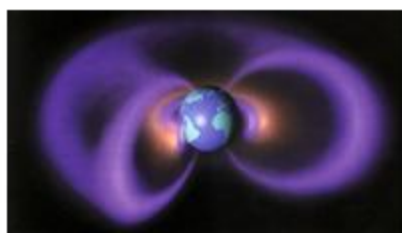
1. Оперативная (в реальном времени) оценка радиационных условий в околоземном космическом пространстве для оценки радиационных рисков выполнения космических миссий и выработки алертных сигналов для принятия решений по их управлению.
2. Верификация современных расчетных моделей полей радиации околоземного космического пространства.

Концепция группировки малых космических аппаратов для мониторинга радиационного окружения Земли



Проект МГУ группировки малых космических аппаратов для мониторинга радиационного окружения Земли предполагает:

- использование группировки низковысотных бюджетных космических аппаратов с параметрами орбит, охватывающих весь пространственный диапазон существования захваченной в магнитное поле радиации (радиационных поясов);
- Измерения всенаправленных потоков захваченных частиц с последующей модельной интерполяцией и экстраполяцией измеренных потоков на всю область радиационных поясов





2. Мониторинг космического мусора и крупных природных объектов

Успешный запуск первой в истории России широкопольной роботизированной оптической системы МАСТЕР-ШОК 28 апреля 2016 г. в составе космической обсерватории "ЛОМОНОСОВ" подтвердил правильность избранных принципов мониторинга космического пространства и автоматической обработки изображений.

**92% объектов
в околоземном
пространстве
- мусор**



Опасность космического мусора

По состоянию на 31 августа 2015 года общее количество находящихся в космическом пространстве и каталогизированных в базах данных Систем предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве космических объектов техногенного происхождения составило 17 тысяч 250 космических объектов. Из них 1 тысяча 362 космических объекта – это действующие космические аппараты, а остальные 15 тысяч 888 космических объектов – космический мусор.



Астероидная (метеорная) опасность

Объект считается потенциально опасным, если он пересекает орбиту Земли на расстоянии менее 0,05 а. е. (примерно 19,5 расстояний от Земли до Луны), и его диаметр превышает 100—150 метров. Объекты таких размеров достаточно крупны, чтобы вызвать беспрецедентные разрушения на суше, либо огромное цунами в случае падения в океан. События таких масштабов происходят примерно раз в 10 000 лет. На основе информации, полученной с космического телескопа WISE, ученые оценивают наличие 4700 ± 1500 потенциально опасных объектов с диаметром более 100 метров.



Мониторинг природных и техногенных опасных объектов в околоземном космическом пространстве

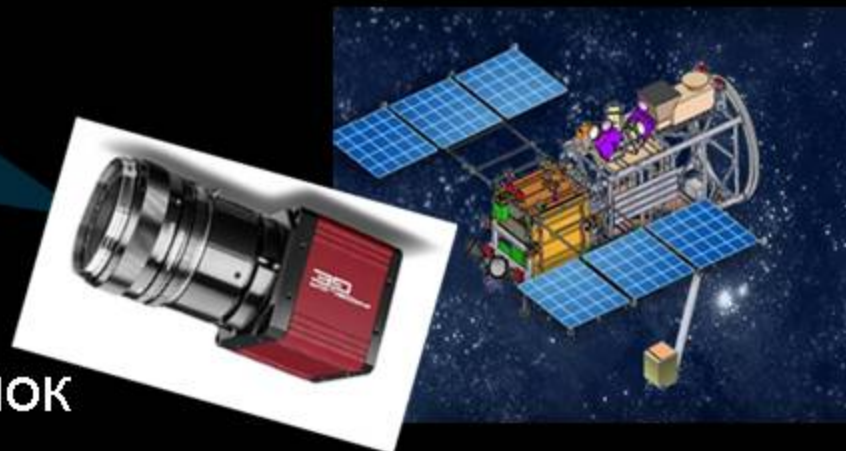


ШОК

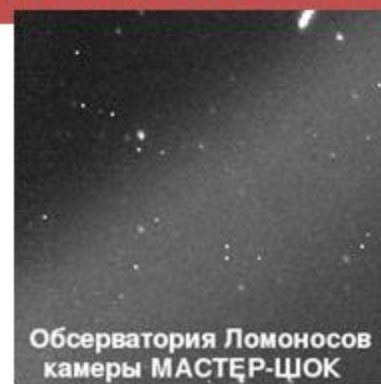
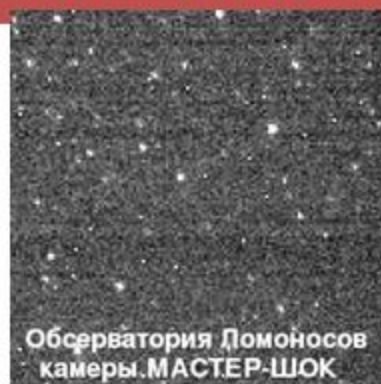
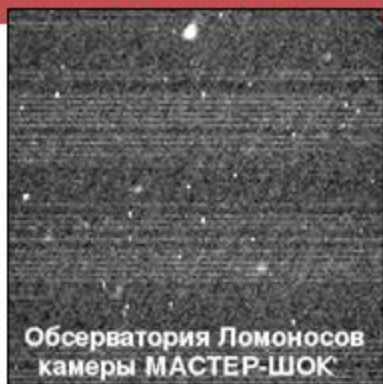
ЛОМОНОСОВ

МАСТЕР

Широкопольные оптические камеры ШОК :
2 мегapixel ПЗС матрицы 24*36 мм – 2 ш



Спутник ЛОМОНОСОВ: видеоклипы наблюдений объектов в околоземном космическом пространстве

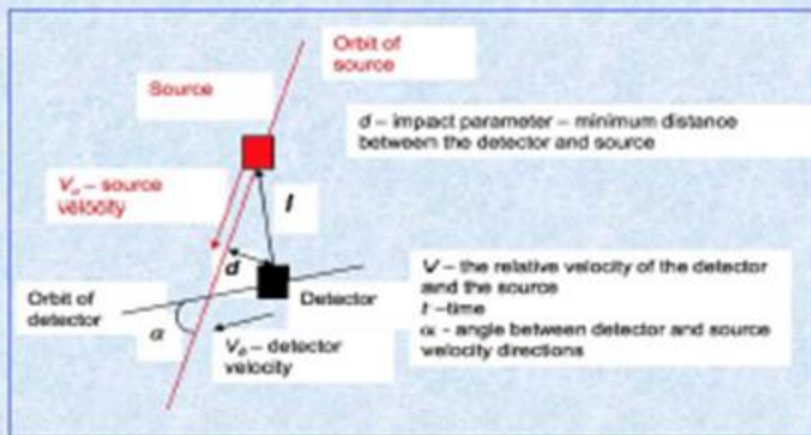


Техногенный радиоактивный мусор

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

- Десятки КА и их останки с ядерным веществом на борту еще летают в ближнем космосе
- Космические агентства планируют проводить в будущем эксперименты с источниками энергии или даже с ракетными двигателями тем или иным способом использующими ядерное топливо.

The detector and source are in crossing orbits



If the orbits are perpendicular in the detector coordinate system, the source velocity is equal to the orbital velocity (7.9 km/s).

3. Мониторинг электромагнитных транзиентов

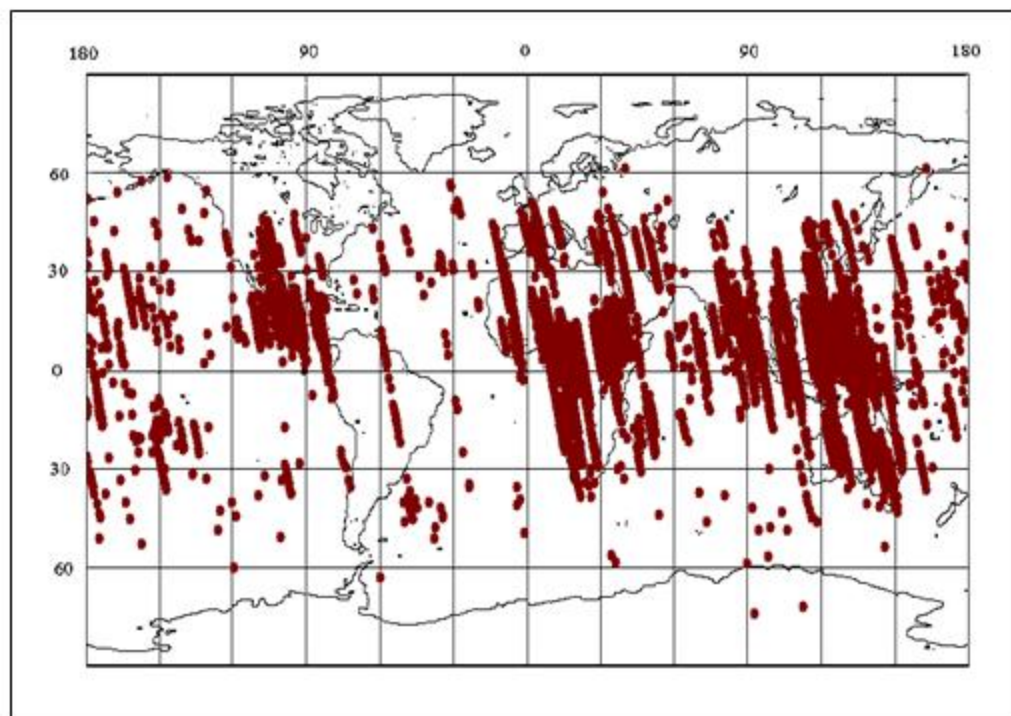


Транзиентные электромагнитные явления в верхней атмосфере (десятки км) наблюдаются в различных диапазонах длин волн – от гамма диапазона до инфракрасного. Транзиентные световые явления (TLE) – проявляются везде – от авроральных широт до экваториальных.



Результаты МГУ по транзиентным световым явлениям в атмосфере Земли

1. Географическое распределение демонстрирует глобальный характер явлений, как в грозовых областях, так и далеко за их пределами

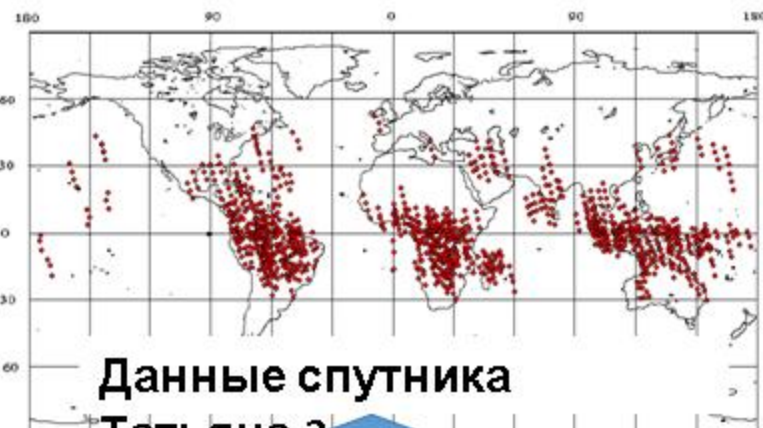


Данные спутника «Вернов»: наряду с известными экваториальными грозовыми регионами наблюдаются вспышки над океанами и в высоких широтах

Результаты МГУ по транзиентным явлениям в атмосфере Земли

2. УФ вспышки имеют очень широкое распределение по энергии (числу фотонов) от десятков джоулей до очень больших

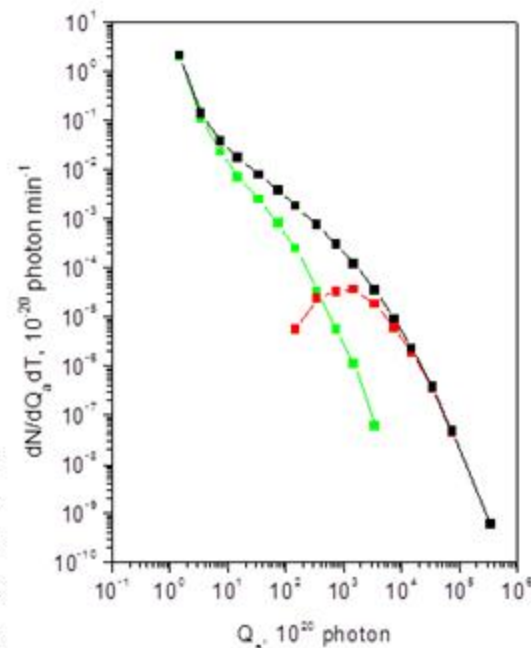
энергий 400 МДж



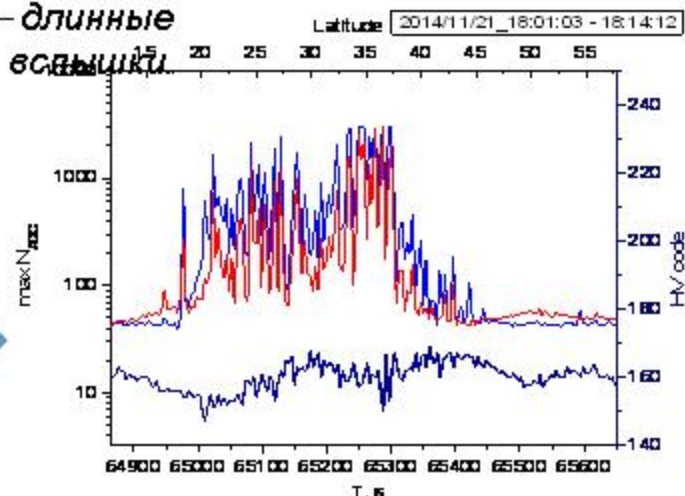
Данные спутника
Татьяна-2

3. Наблюдаются длительные серии вспышек на протяжении тысяч километров.

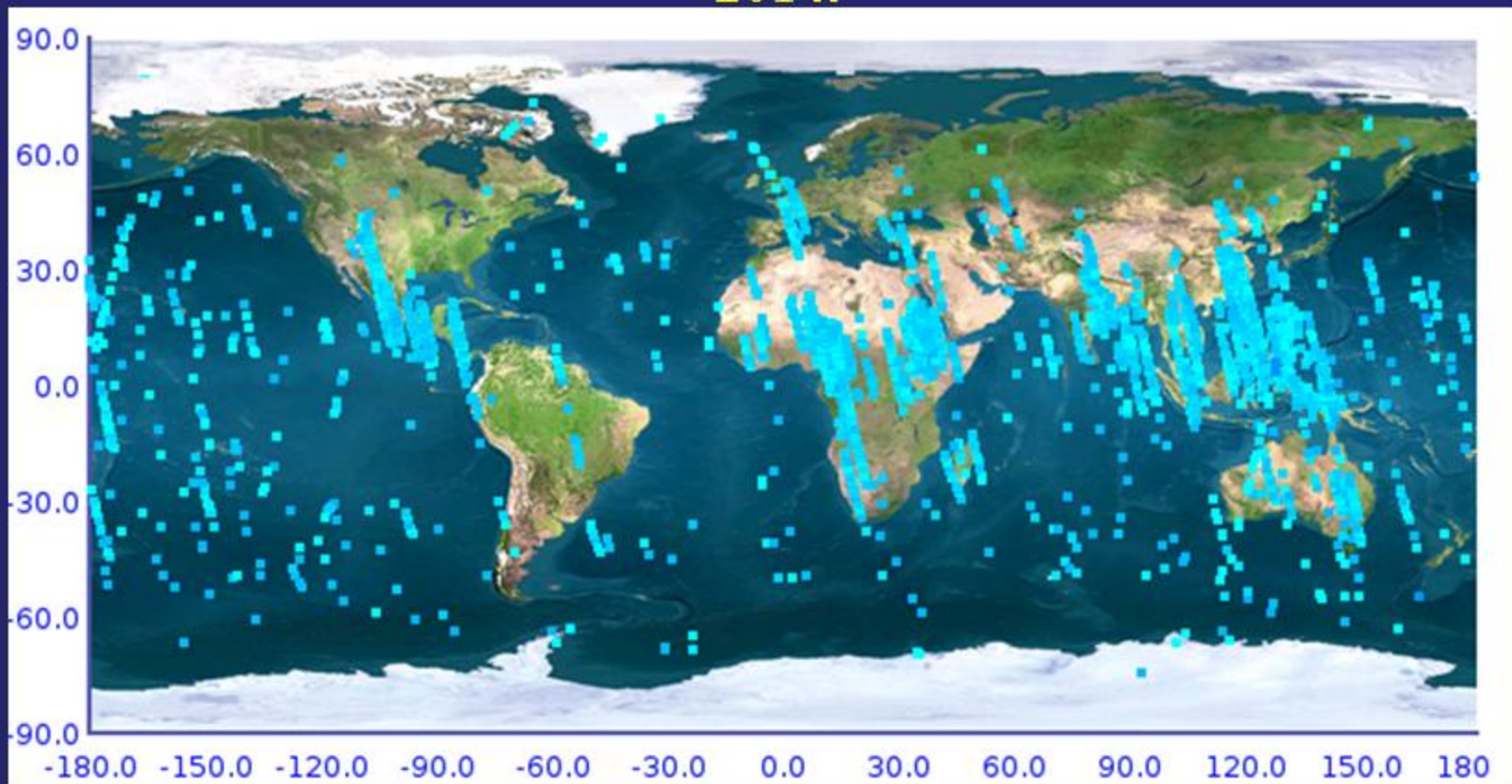
Пример серии вспышек в течение 8 мин (4000 км вдоль траектории спутника «Вернов»)



Данные спутника
«Вернов»
Черные точки – все
события
Зеленые – короткие
вспышки
Красные – длинные
вспышки

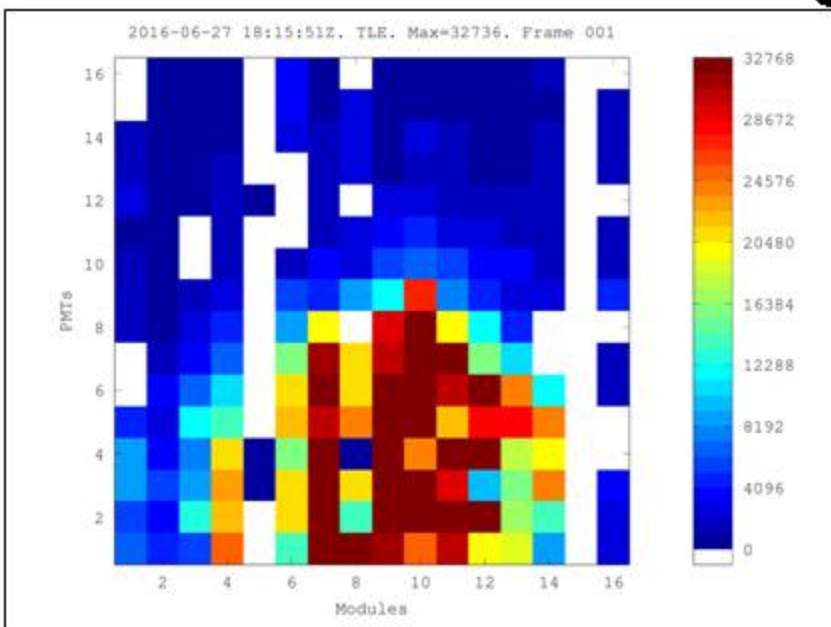


Карта географических координат оптических вспышек, наблюдаемых прибором ДУФ / РЭЛЕК с июля по декабрь 2014г



Наблюдается множество вспышек, в том числе серийных, над сушей в областях грозовой активностью, а также ряд вспышек в зоне высоких широт. Географическое положение области этих вспышек указывает на их возможную связь с высыпаниями электронов.

Результаты МГУ по транзиентным световым явлениям в атмосфере Земли



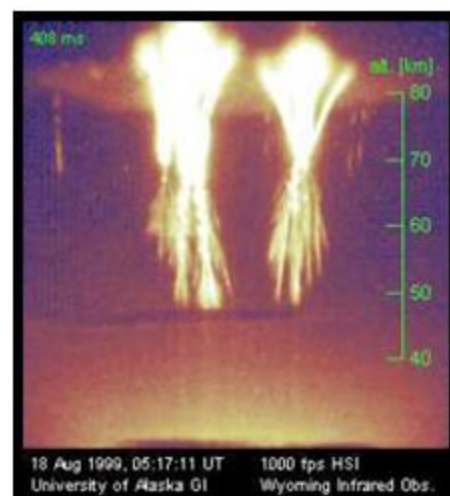
4. Мощные события имеют сложную пространственно-временную структуру и динамику, происходят в большом объеме верхней атмосферы (до 100 км по высоте и более 100 км в горизонтальном направлении)



80 км

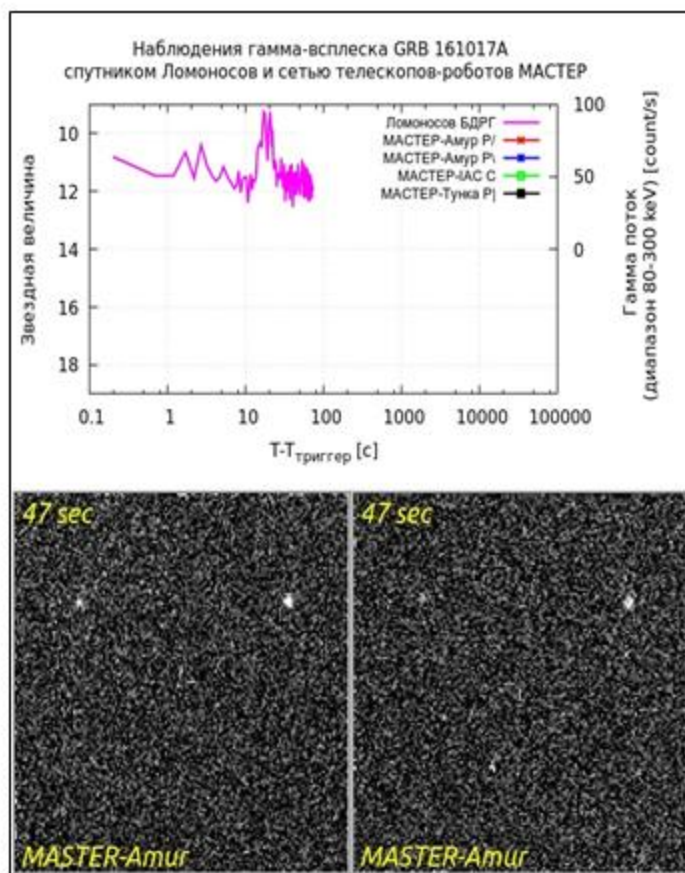


*Данные спутника «Ломоносов»
Мощная вспышка УФ излучения.
Ближайшая молния была на расстоянии
3500 км от наблюдаемого явления (по
данным сети WWLLN)!*



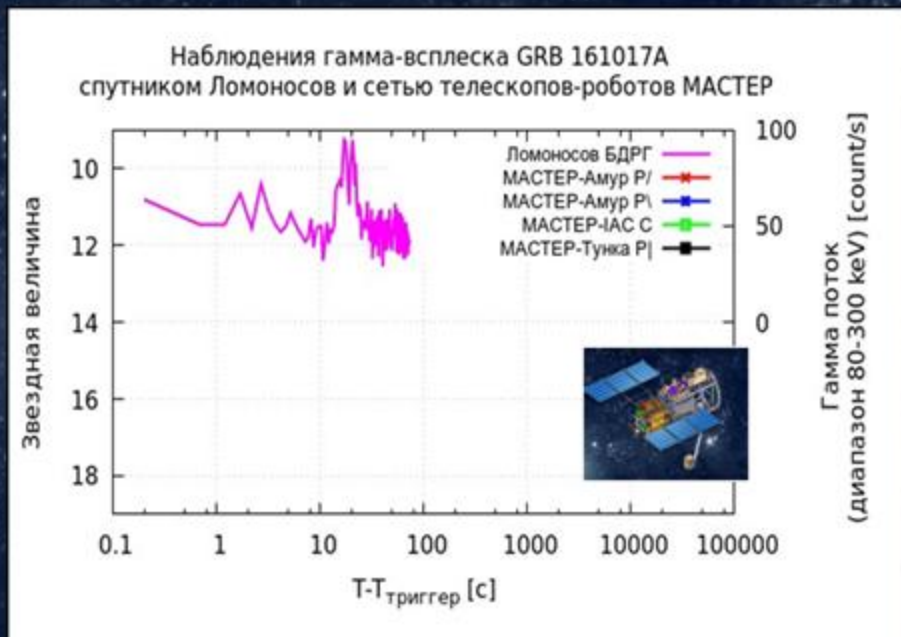
Гамма-всплески – потенциальная опасность из космоса.

Эффект воздействия редких мощных гамма-всплесков на атмосферу Земли может привести к катастрофическим последствиям и мало изучен

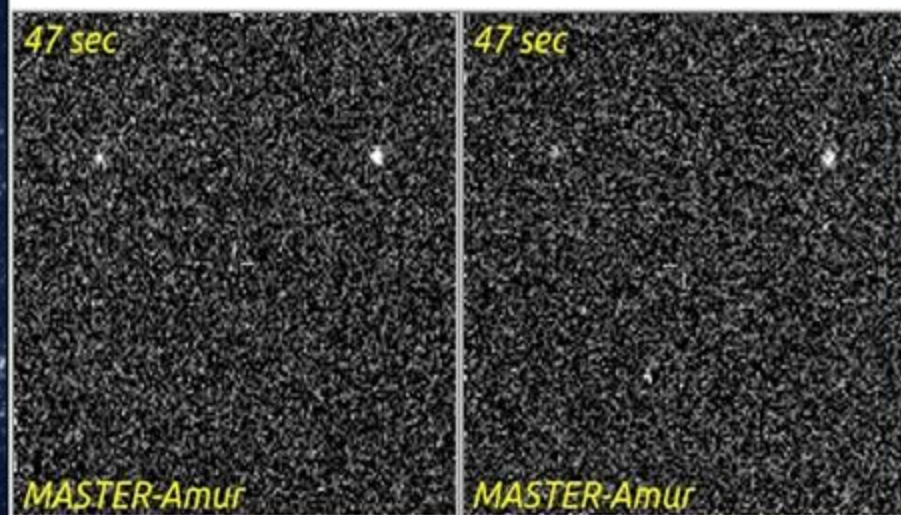


Одновременные наблюдения гамма-всплеска GRB 161017A 17 сентября 2016 г. в 17:52:17 UT на космической обсерватории «Ломоносов» в гамма-диапазоне и наземной «Мастер» в видимом.

Гамма-всплески –потенциальная опасность из космоса.

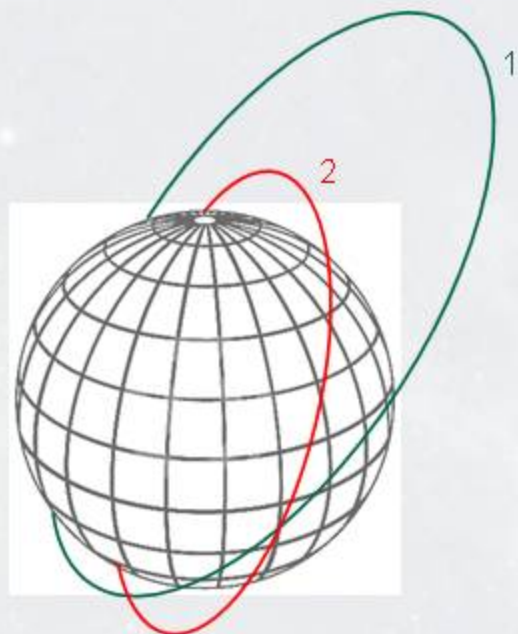


Одновременные наблюдения
гамма-всплеска GRB 161017A
17 сентября 2016 г.
в 17:52:17 UT на космической
обсерватории «Ломоносов»
в гамма-диапазоне и
наземной «Мастер» в видимом.

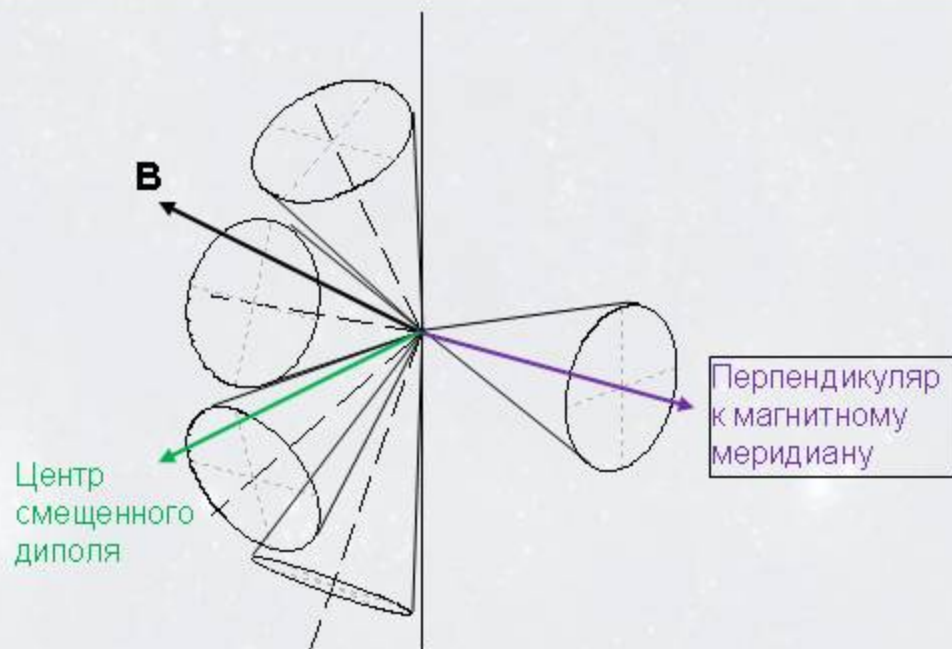


Эффект воздействия редких
мощных гамма-всплесков
на атмосферу Земли может
привести к катастрофическим
последствиям и мало изучен

Система мониторинга космических угроз: орбиты



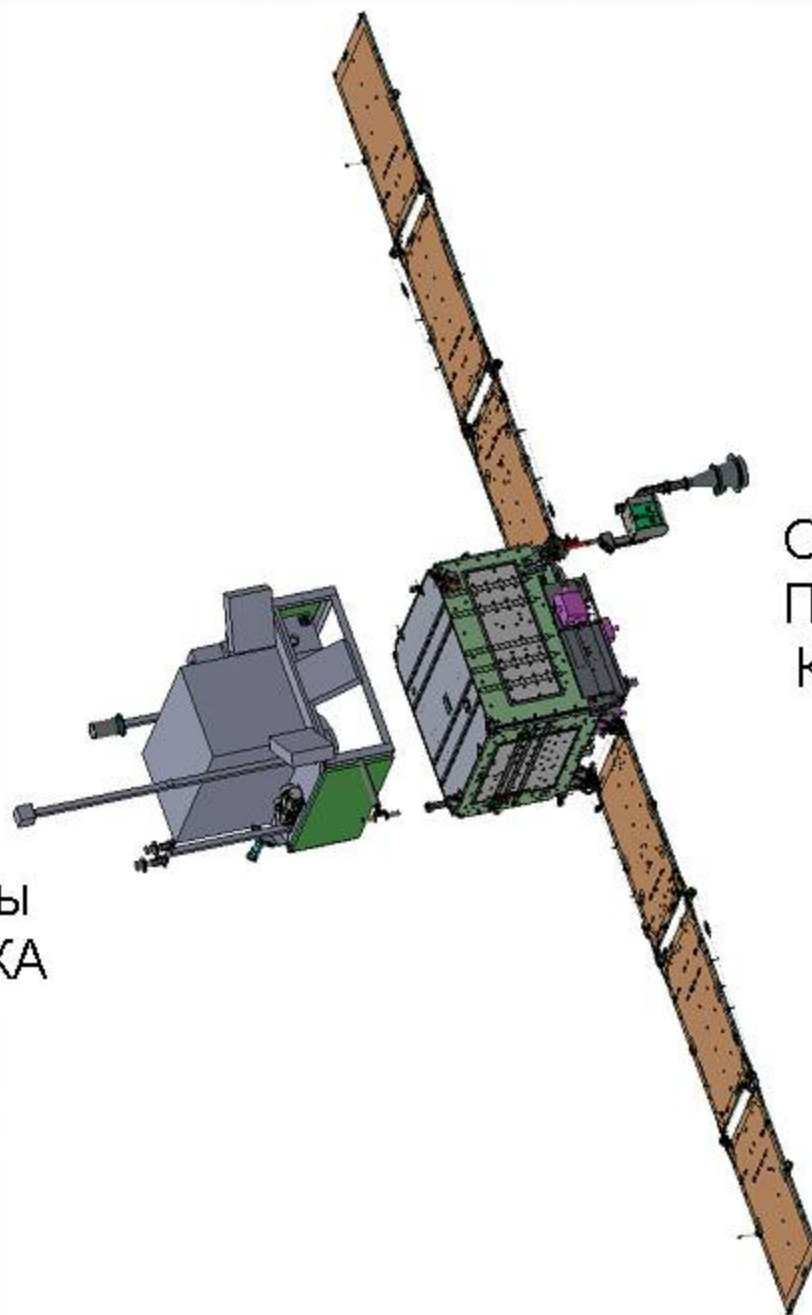
Орбиты спутников мониторинга околоземной радиации



Возможная ориентация детекторов заряженных частиц

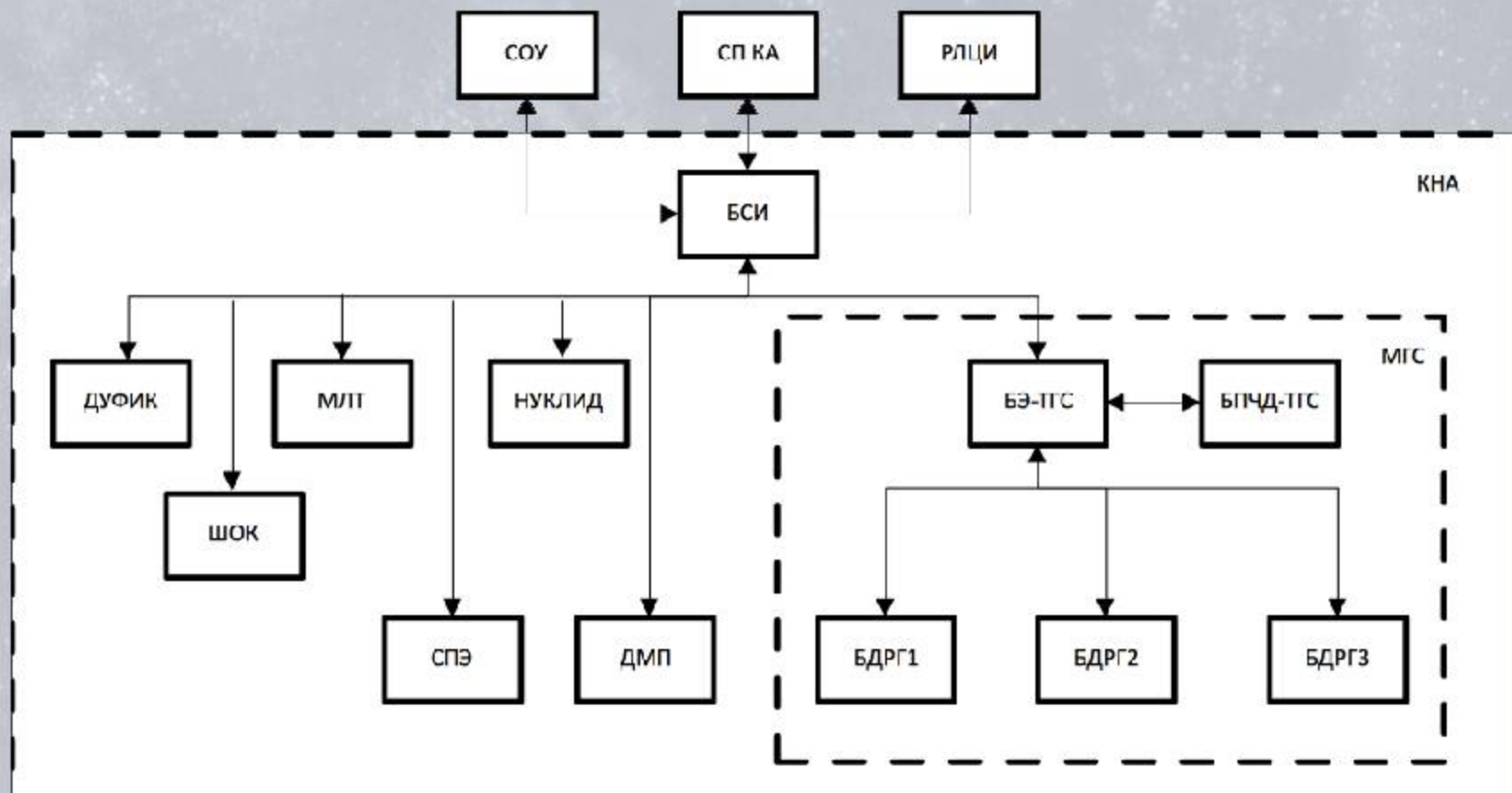
- 1–3 **малых/сверхмалых КА** для мониторинга радиации на орбите высотой 700 – 8000...10000 км, наклоном 63.4° , с аргументом перигея $\approx 310^\circ$.
- КА на низкой полярной круговой орбите**, несущий детекторы заряженных частиц, ЭМ транзиентов и оптические камеры, имеющий возможность оперативно 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.

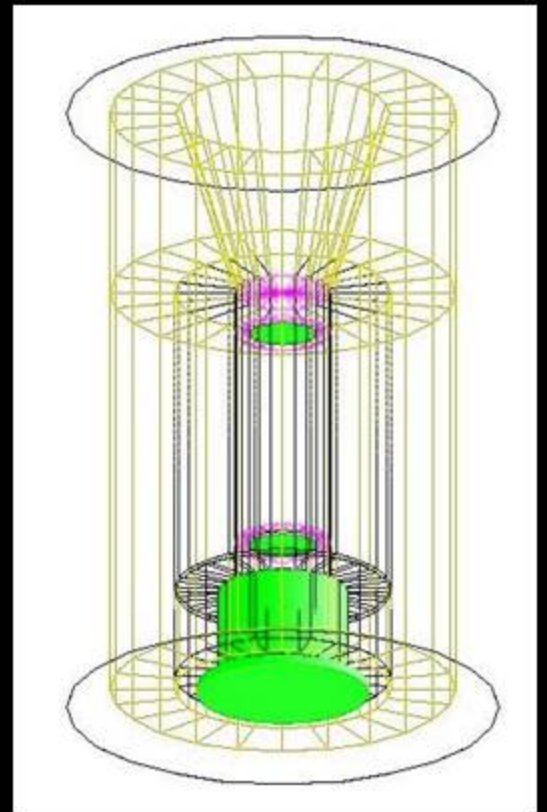
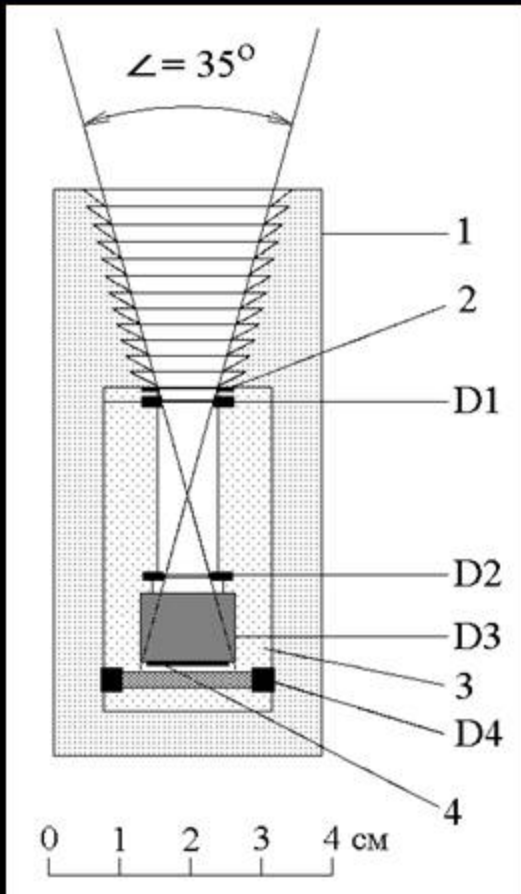
Комплекс
научной
аппаратуры
на малом КА



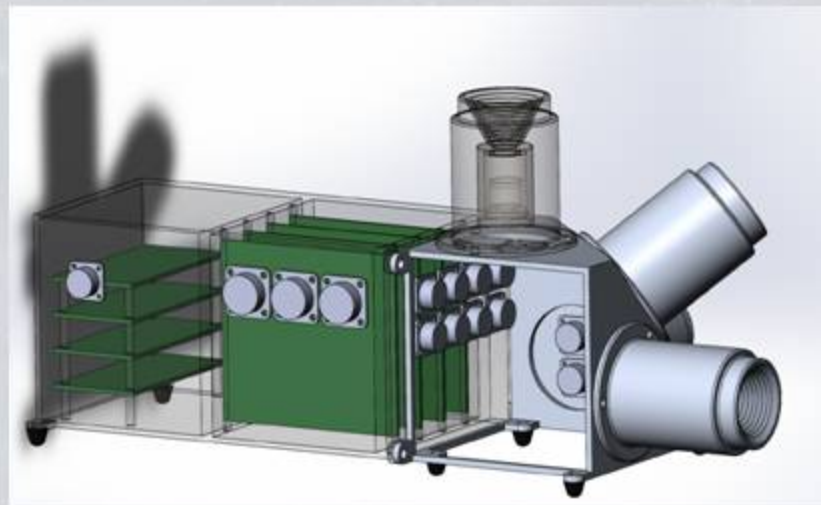
Служебная
Платформа малого
КА («Карат-200»)

Структура комплекса научной аппаратуры малого КА





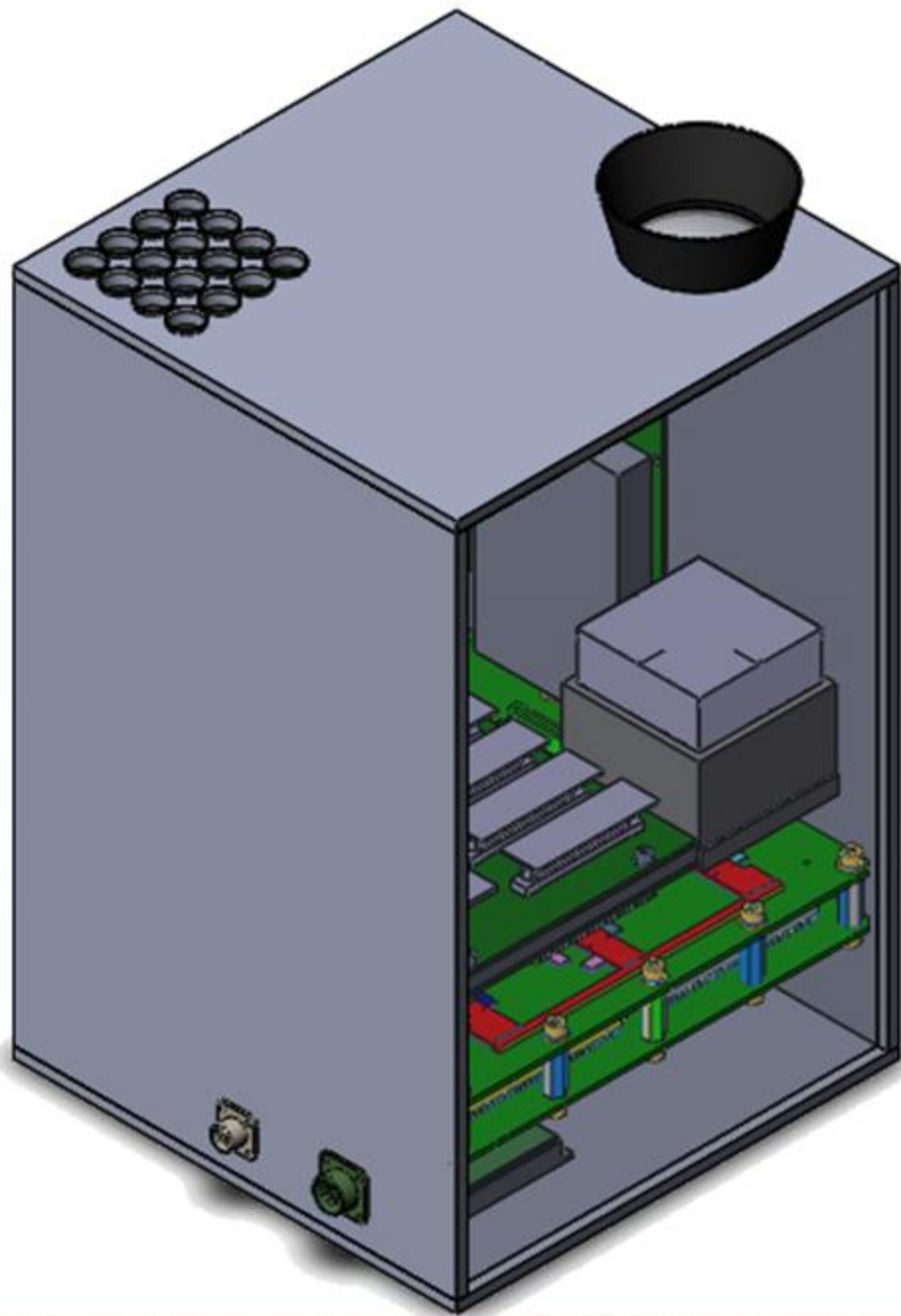
Группировка малых ИСЗ для радиационного мониторинга: детекторы



Предварительная 3d-модель детекторного блока с одним из первых вариантов конфигурации с 4 «телескопами» с отдельным дополнительным блоком обработки данных.

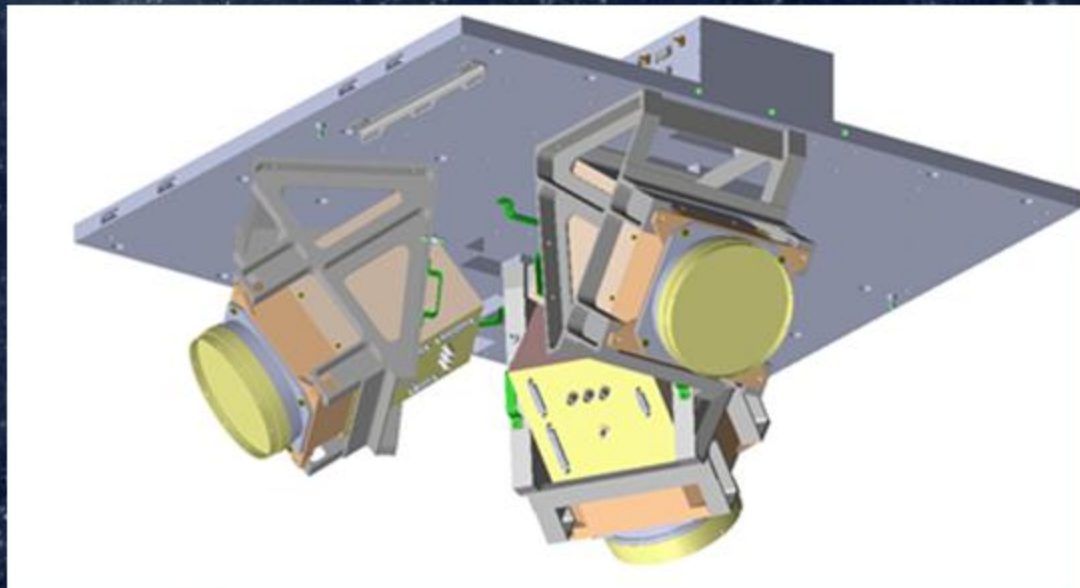
Масса одного детекторного блока: телескоп + электронные логические схемы обработки сигналов — ≤ 1 кг. Суммарная масса блока из 4 телескопов с общим блоком логики ≤ 6 кг (с отдельным дополнительным блоком обработки данных ≤ 10 кг). Энергопотребление $\leq 12(15)$ Вт.

Объём данных ≤ 10 Мбайт/сутки.



Общий вид прибора МЛТ

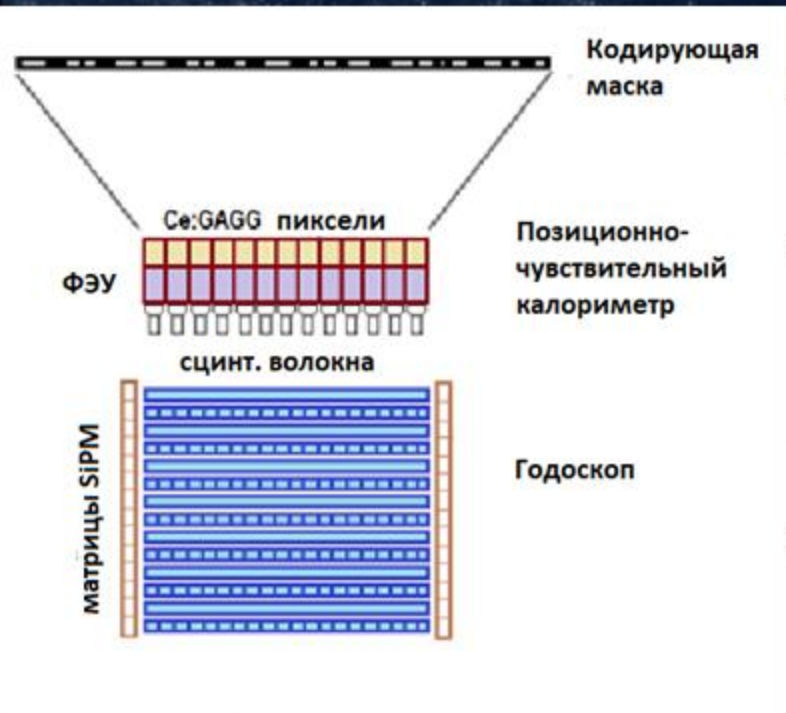
№	Диапазоны длин волн в каналах (нм)	Примечания
1.	240 – 400	
2.	270 – 380	UFS1, UFS2, KS11 фильтры для сравнения с экспериментами МГУ («Татьяна-Университетский», «Татьяна-2», «Верно»)»)
3.	> 600	
4.	762.7	Маркер TLE – линия поглощения атомарного кислорода
5.	777.4	Маркер молнии – наиболее яркая линия в спектре, используемая для регистрации молний в экспериментах LIS [9] и «Конвергенция» [10]
6.	500.1	Маркер молнии – яркая линия в спектре молнии и отсутствие линии в спектре спрайта [11]
7.	337	Линия 2PN – низкоширотный маркер, должна отсутствовать в спектре молнии согласно данным ISUAL
8.	391.4	1N+ – линия ионизованного атомарного азота
9.	427.8	N2+ присутствует в авроральном свечении, является маркером источников ионизации (поток энергичных заряженных частиц)
10.	470.9	
11.	690	Диапазон Мейнела – высокоширотный маркер, признак наличия электронов высоких энергий
12.	388.3	Линия цианида (CN), спектральный признак вспышки молнии с продолжающимся током (используется для мониторинга молний, которые могут вызвать лесные пожары, [12]
13.	294	Признак события на очень большой высоте в (линии системы N2(VK));
14.	313	
15.	399.8	Линия 2PN2(1,4), анализировавшаяся [13] в сравнении с линиями 427,8 нм и 470,9 нм);
16.	Без фильтра	Интегральное по спектру излучение молний или TLE



Монитор гамма-всплесков

Параметр, ед. изм.	Значение
Энергетический диапазон, МэВ	0.01 – 3.0
Эффективная площадь (для 3-х детекторов), см ²	~360
Временное разрешение, мкс	1
Поле зрения, ср	2
Чувствительность (для всплеска 1 мс), фот/см ²	~3x10 ⁻²
Точность локализации всплеска	~10° (для ярких событий)
Масса (один детекторный модуль), кг	5.5
Объем передаваемых данных, Мбайт/сут	~500
Потребляемая мощность, Вт	22.5

Трековый гамма-спектрометр и его параметры



Параметр, ед. изм.	Значение
Энергетический диапазон для гамма-квантов, МэВ	
Все взаимодействия	0.02 – 10.0
В режиме кодированной апертуры	0.02 – 1.0
В режиме 2-го Компт. рассеяния	0.5 – 10.0
Эффективная площадь, см ² (все взаимодействия)	~250
Угловое разрешение	
Кодированная апертура	~2°
Двойное Компт. Рассеяние (при 1 МэВ)	10-15°
Временное разрешение, нс	5
Энергетическое разрешение (при 1 МэВ)	3%
Чувствительность (для 1 мс всплеска), фот/см ²	~3x10 ⁻²
Энергет. диапазон для нейтронов, МэВ	3 - 100
Эфф. площадь для нейтронов, см ² (40 МэВ)	13
Масса, kg	40



- Разработка методики оперативного анализа и прогнозирования состояния космического пространства
- Разработка моделей факторов космического пространства
- Организация приема и автоматизированной обработки космической информации
- Разработка системы анализа и прогнозирования космической погоды на основе спутниковой информации: ассимиляция данных и моделирование
- Разработка системы отображения информации
- Разработка процедуры принятия решений об объявлении опасной ситуации (выработка алертов)



Space Monitoring Data Center





Образовательная составляющая проекта

КОСМИЧЕСКИЕ НАУКИ:

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ И ПОПУЛЯРИЗАТОРСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ



Основные цели:

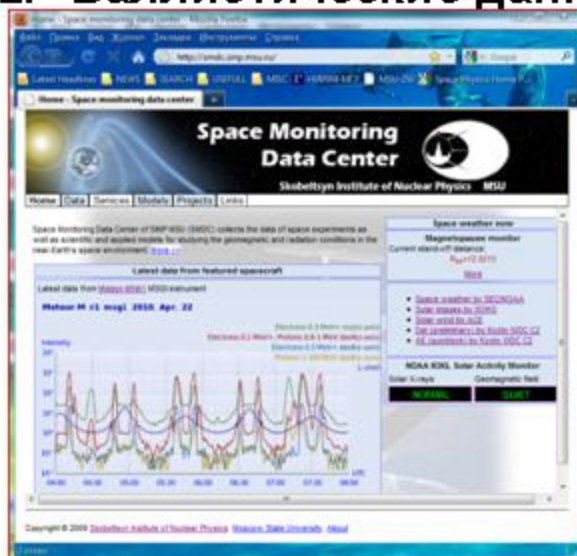
- Внедрение современных космических исследований в университетское и школьное образование;
- Популяризация основ космических наук;
- Привлечение студентов и школьников к современным космическим исследованиям

1. Загрузка данных

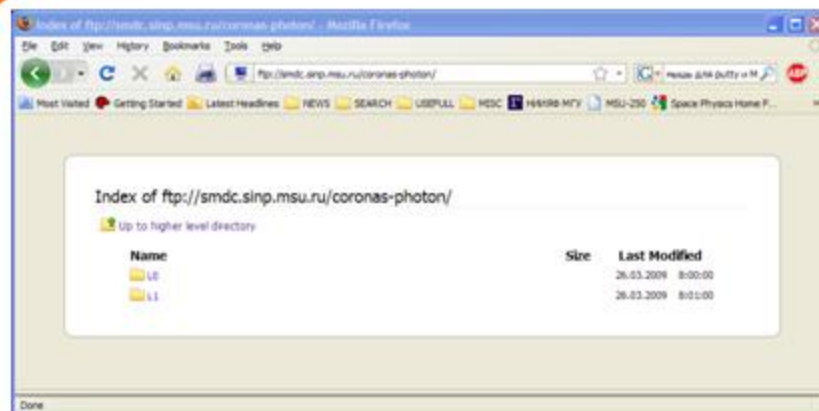
1. Данные научной телеметрии;
2. Баллистические данные.

Обработка,
расчет
координат

Web-сайт



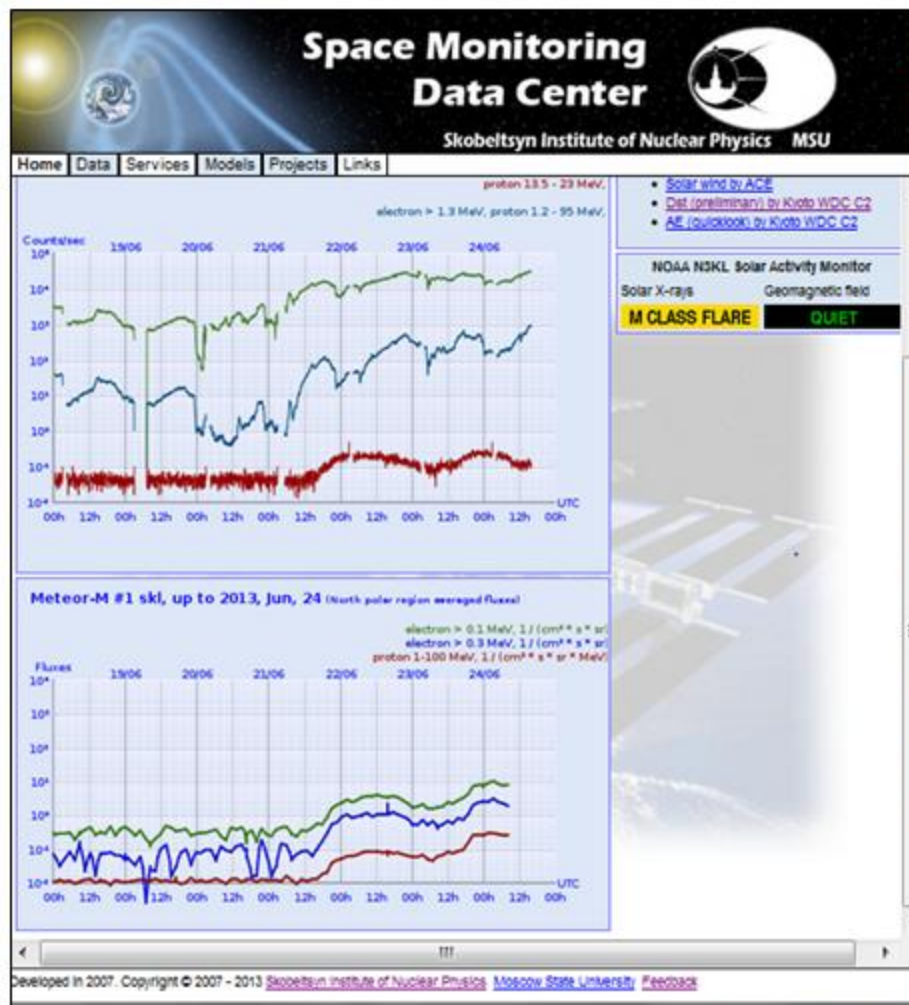
FTP-сервер НИИЯФ
<ftp://smdc.sinp.msu.ru>



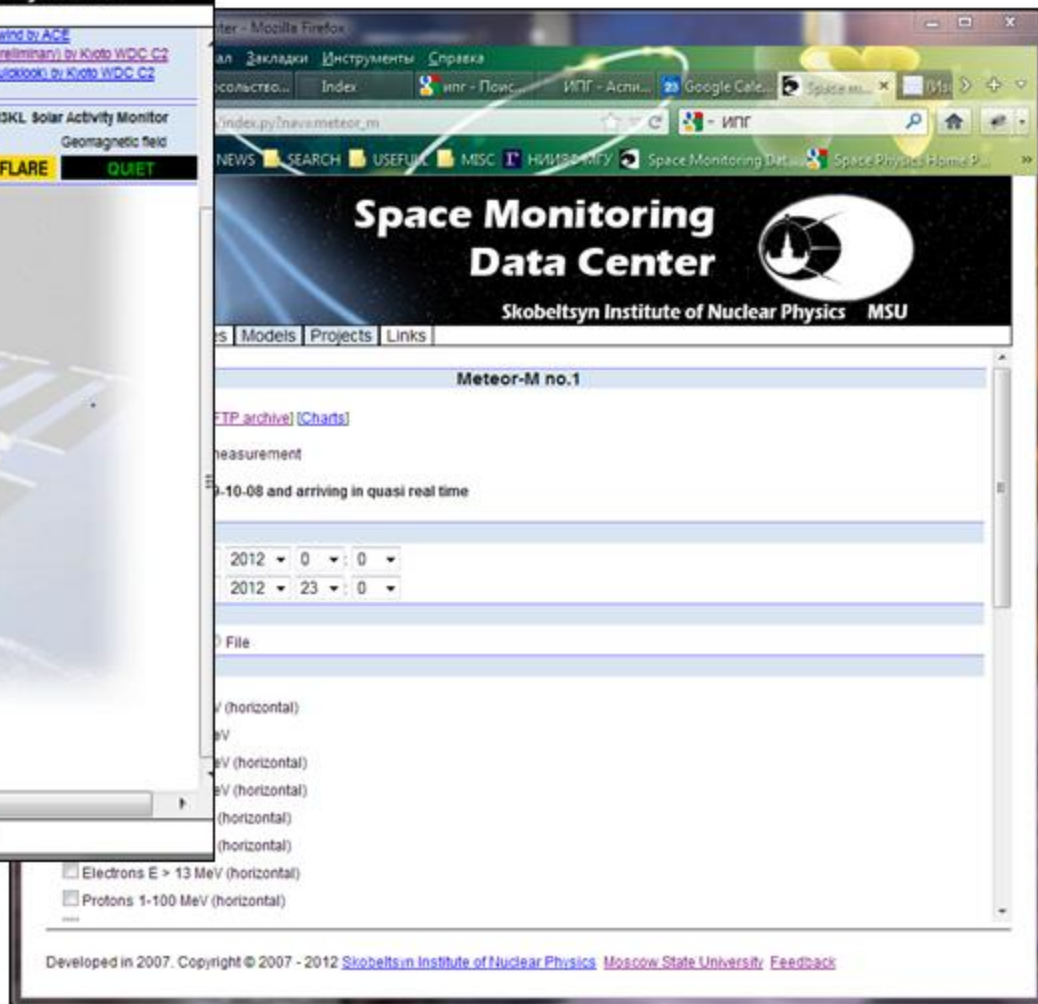
Загрузка в
базу данных



2. Доступ к данным



<http://smdc.sinp.msu.ru>





Система отображения орбит ИСЗ SOVT (Satellite orbits visualization tool)

Файл Правка Вид Журнал Закладки Инструменты Справка

OOKM Project Manage... x Google Calendar x SWX - Прогноз Dst x SWX - Прогноз дозы ради... x Новая вкладка x Satellite trajectories x

dec1.sinp.msu.ru/~lucyma/satTraj/ManySatsTool_v2.html Поиск

Часто посещаемые NEWS SEARCH USEFULL MISC Google Calendar Space Monitoring Dat... Карты NIIyF MGU Словари Яндекс Space Physics Home P... Themis - Software

Arrange blocks

Choose date and time

Date: 2019-02-04 From 20:00 to 23:00 UTC
Timeframe: Between 20:07 and 23:07 o'clock UTC
Retrieve trajectory

View the flyby dynamically

Speed: [input]
START STOP RESET

Choose satellite

Meteor-m1 Meteor-m2 RESURS-P2
Meteor-m1 Meteor-m2 RESURS-P2

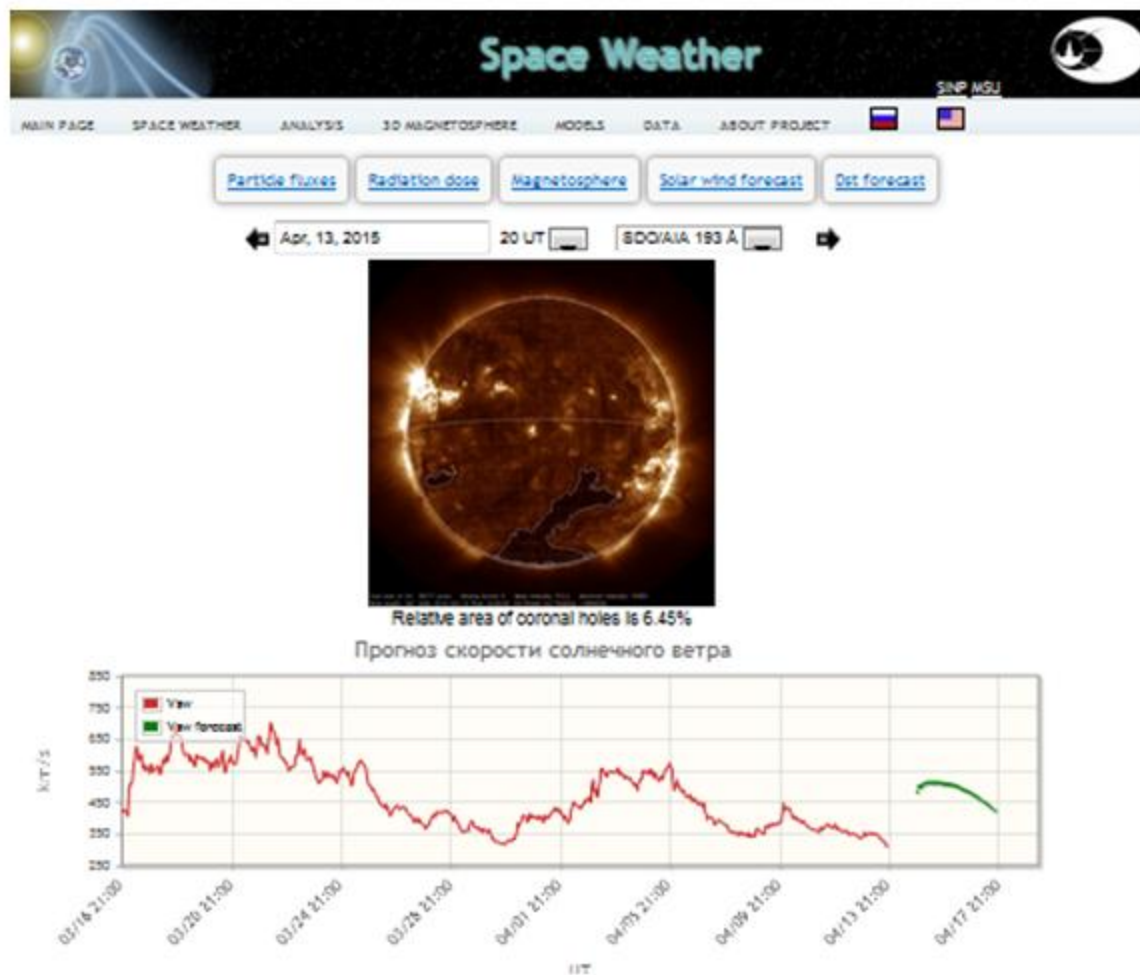
3D graphics

Position

Satellite
Meteor-m1
Time (UTC): 2019-02-04 20:07:00
Location (GEO, km): $x = 92.78 \ y = -7126.04 \ z = 1064.15$
Location (Geocentric): $lat = -83.52 \ deg$ $lon = 94.98 \ deg$ $alt = 849.44 \ km$
Meteor-m2
Time (UTC): 2019-02-04 20:07:00
Location (GEO, km): $x = 2061.31 \ y = 6695.87 \ z = -1630.04$
Location (Geocentric): $lat = 68.69 \ deg$ $lon = 218.34 \ deg$ $alt = 833.47 \ km$
RESURS-P2
Time (UTC): 2019-02-04 20:07:00
Location (GEO, km): $x = 1867.83 \ y = 5157.93 \ z = -4043.22$
Location (Geocentric): $lat = 49.10 \ deg$ $lon = 244.05 \ deg$ $alt = 476.86 \ km$

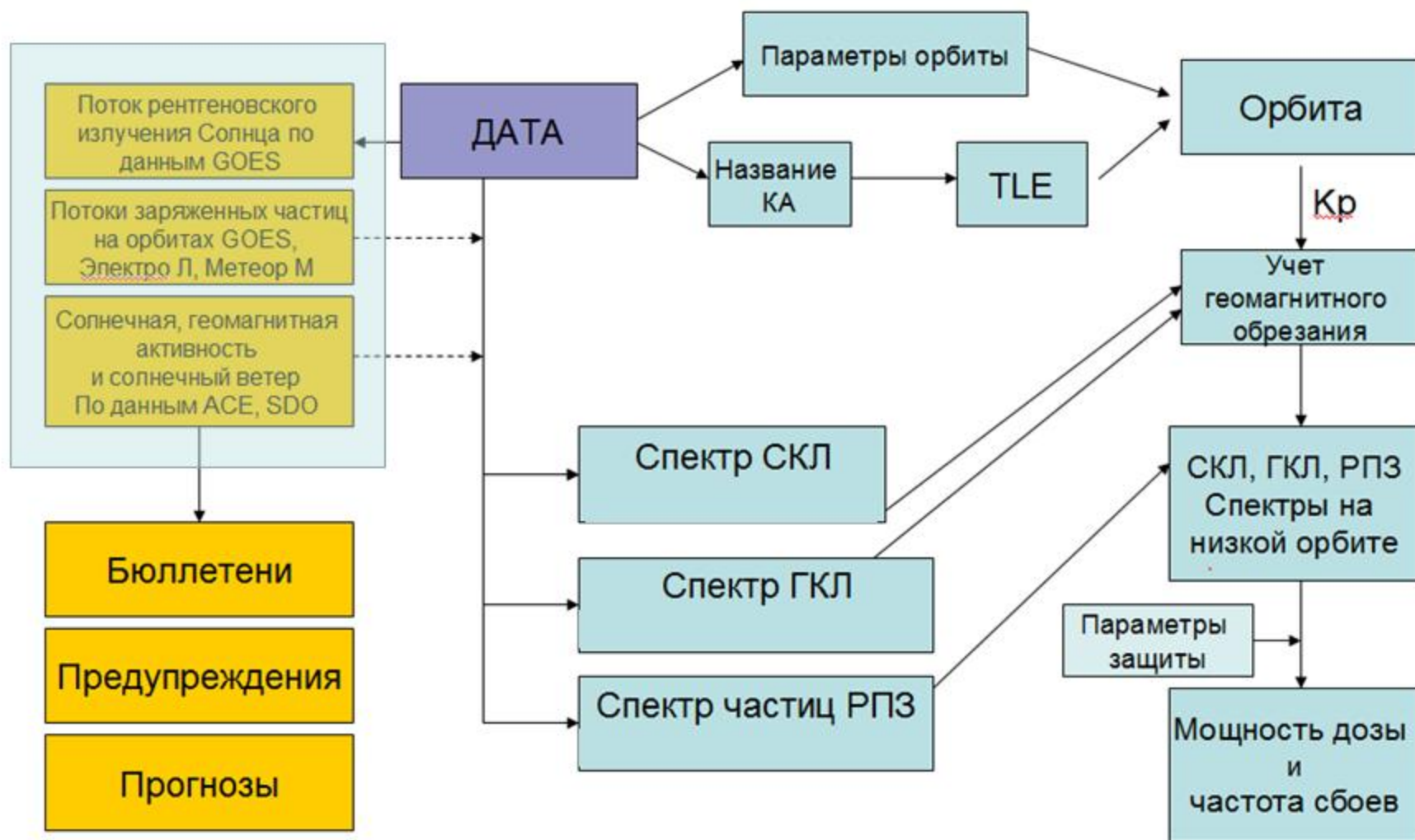
3D graphics

Автоматизированная система прогнозирования солнечного ветра





Автоматизированная система анализа радиационных условий на низких орбитах





Инфраструктура МГУ



Научно-технический центр приборостроения



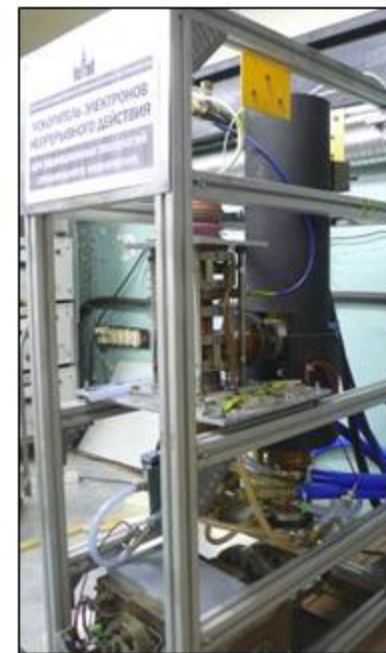
Производство электроники



Инфраструктура МГУ



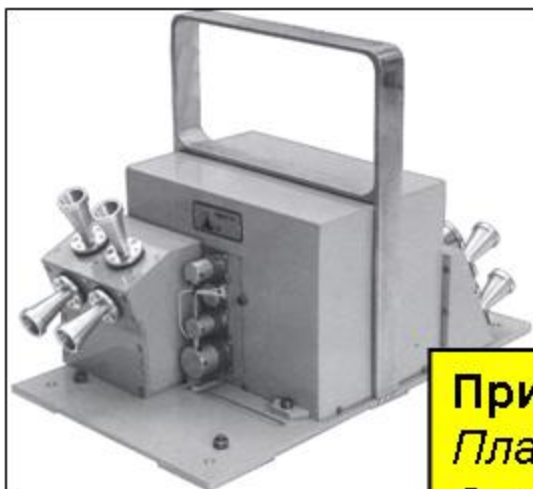
Ядерно-физический комплекс для тестирования космической электроники и калибровок





Инфраструктура МГУ

Разработка и производство приборов для космических экспериментов

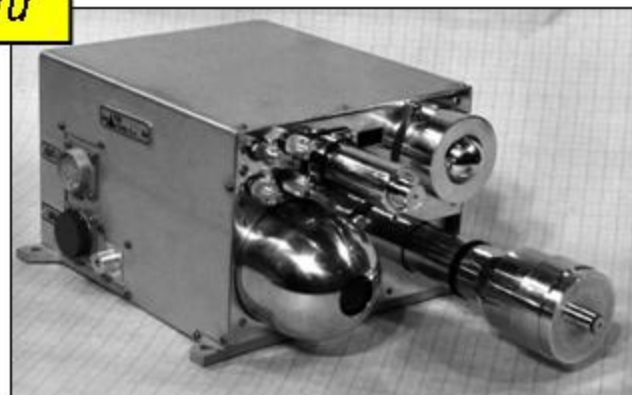


Приборы для измерений:

Плазмы

Энергичных частиц – радиации

Электромагнитных излучений





Инфраструктура МГУ



Ядерно-физический комплекс для тестирования космической электроники и калибровок





Успешная реализация проекта позволит:

- Впервые в мире создать прообраз космической системы мониторинга и предотвращения космических угроз как для осуществляемых, так и планируемых космических миссий, включая высотные атмосферные летательные аппараты.
 - Создать новые инновационные технологии в области приборостроения и методы решения информационных задач в реальном масштабе времени.
 - Разработать новые образовательные стандарты и методы подготовки специалистов в новой сфере прикладных космических исследований.
 - Укрепить международное сотрудничество в космических исследованиях
- Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по результатам исследований в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (уникальный идентификатор №RFMEFI60717X0175).

Спасибо



Проект открыт для взаимного сотрудничества:

- по спутниковой платформе;
- отдельным спутниковым системам и экспериментальным приборам;
- запуску;
 - предоставление данных радиационного мониторинга;
- по науке и образовательным программам