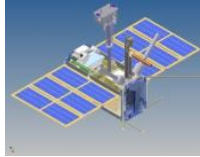


# АКАДЕМИЧЕСКИЙ МИКРОСПУТНИК «ЧИБИС-М».

## Этапы реализации и первые научные результаты

Л.М. Зелёный, С.И. Климов, *ИКИ РАН*  
А.В. Гуревич, *ФИ РАН*

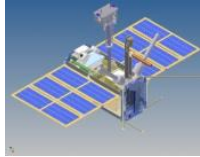


В последние годы обнаружен ряд физических явлений в атмосфере, фундаментально изменивших наше представление о грозовых разрядах.

1. В наблюдениях с космических астрофизических обсерваторий COMPTON (1991-2000 г.г.) и RHESSI (запущен в 2002 г.) обнаружены исключительно мощные импульсы гамма излучения, идущие от Земли (TGF). Энергия импульсов достигает десятков кДж.

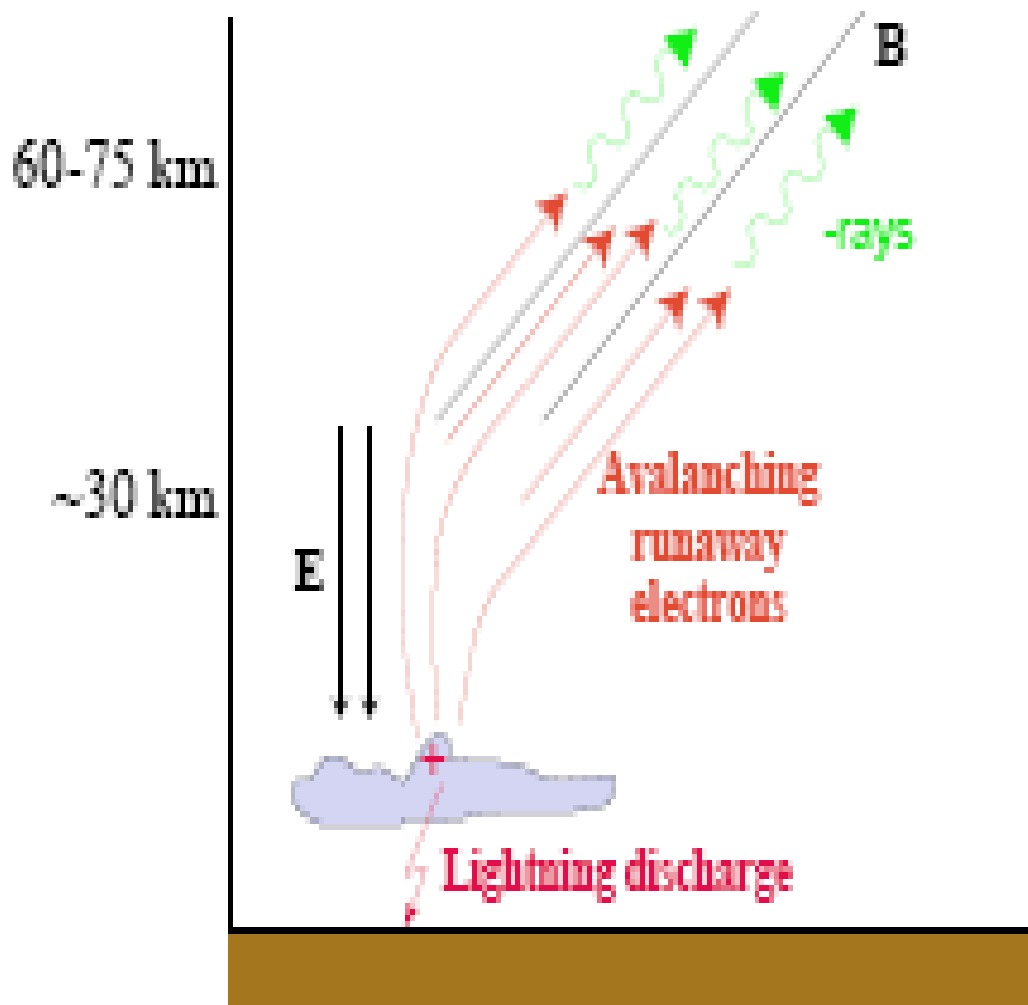
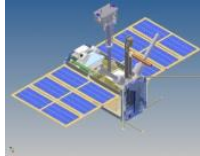
2. Обнаружена генерация коротких ( $\sim 5$  мкс) одиночных радиоразрядов, приводящих к излучению радиоимпульсов сверхвысокой мощности (до 100 ГВт и выше).

Импульсы генерируются в грозовых облаках на больших высотах 13-20 км.



В российской школе теоретиков ФИАН во главе с академиком Александром Викторовичем Гуревичем была построена модель пробоя на убегающих электронах (ПУЭ) [Гуревич А.В., К.П. Зыбин, УФН 2001]. Определяющую роль в этой модели играют электроны релятивистских энергий. Рождающаяся в ходе развития пробоя лавина убегающих электронов служит источником гамма излучения.

Движение этих электронов в электрическом поле грозы рождает мощный импульс радиоизлучения [Gurevich et. al., Phys. Lett., 2003].



**гамма**

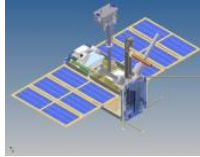
**Ливень  
убегающих  
электронов**

**Молниевый  
разряд**

**Схема формирования убегающих электронов и гамма излучения от молниевых разрядов.**

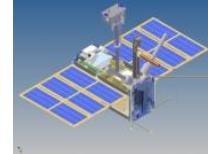
**Diagram of the formation of the running away electrons and gamma emission from the lightning discharge.**

**4 октября День космической науки, ИКИ РАН, Москва, 4 октября, 2012.**



# VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству, 24-28 сентября 2012г., Санкт-Петербург.

Несмотря на значительные теоретические и экспериментальные усилия, проблема инициации молниевых разряда остаётся одной из самых интригующих загадок атмосферного электричества.



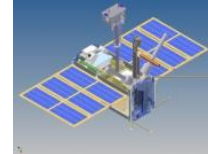
# **VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству, 24-28 сентября 2012г., Санкт-Петербург.**

**Зелёный, Л.М., В.Н.Ангаров, М.Б.Добриян, В.М.Готлиб,  
С.И.Климов, В.Г.Родин, В.Н.Назаров, А.В.Гуревич,  
Г.К.Гарипов, М.И.Панасюк, С.И.Свертилов.**

**Исследования физических процессов при высотных  
атмосферных грозových разрядах.**

**Академический микроспутник «Чибиc-M».**

**Сборник трудов, с. 81.**

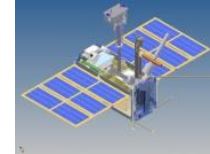


# **VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству, 24-28 сентября 2012г., Санкт-Петербург.**

**Бударагин Д.И., И.Ю.Климашев, А.А.Емельянов,  
Д.И.Иудин.**

**Электрическая прочность заряженного аэрозоля. Сборник трудов, с. 42.**

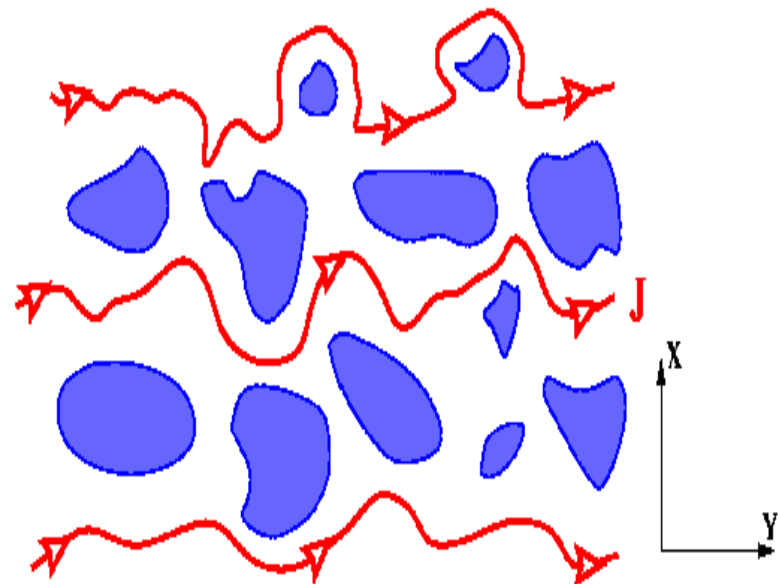
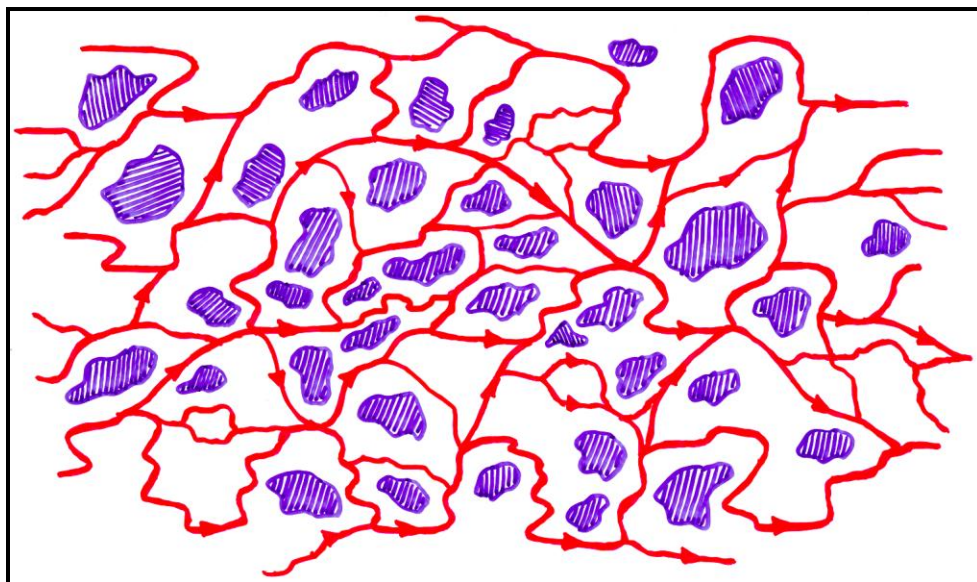
**Основные усилия направлены на поиск  
возможных механизмов усиления локальных  
электрических полей в грозовом облаке.**



L. Zelenyi, A. Milovanov, H. Malova, A. Petrukovich.  
**Plasma processes in laminar and turbulent current sheets.**

*COSPAR04-A-02273; D3.5-0012-04*

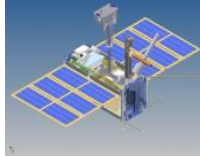
Исследуется фрактальная геометрия физических процессов в пространстве и времени и соотношение размерностей  $\delta$ -фрактала временных серий и  $D$  – фракталов пространственных.



Эти фрактальные преобразования могут реализовываться при формировании микрозарядов и основного разряда в наэлектризованных облаках.

4 октября День космической науки, ИКИ РАН, Москва, 4 октября, 2012.

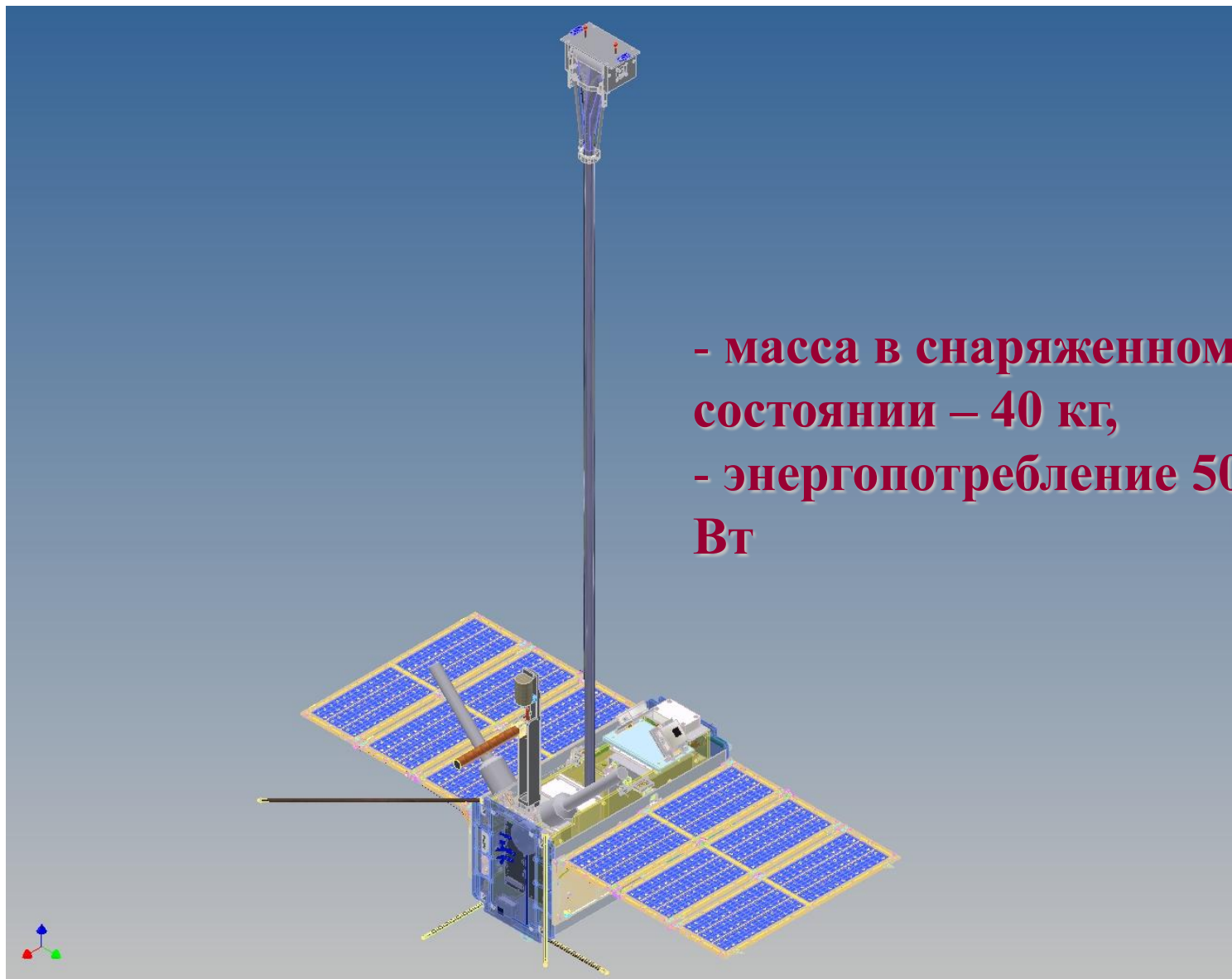
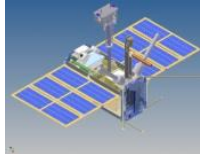




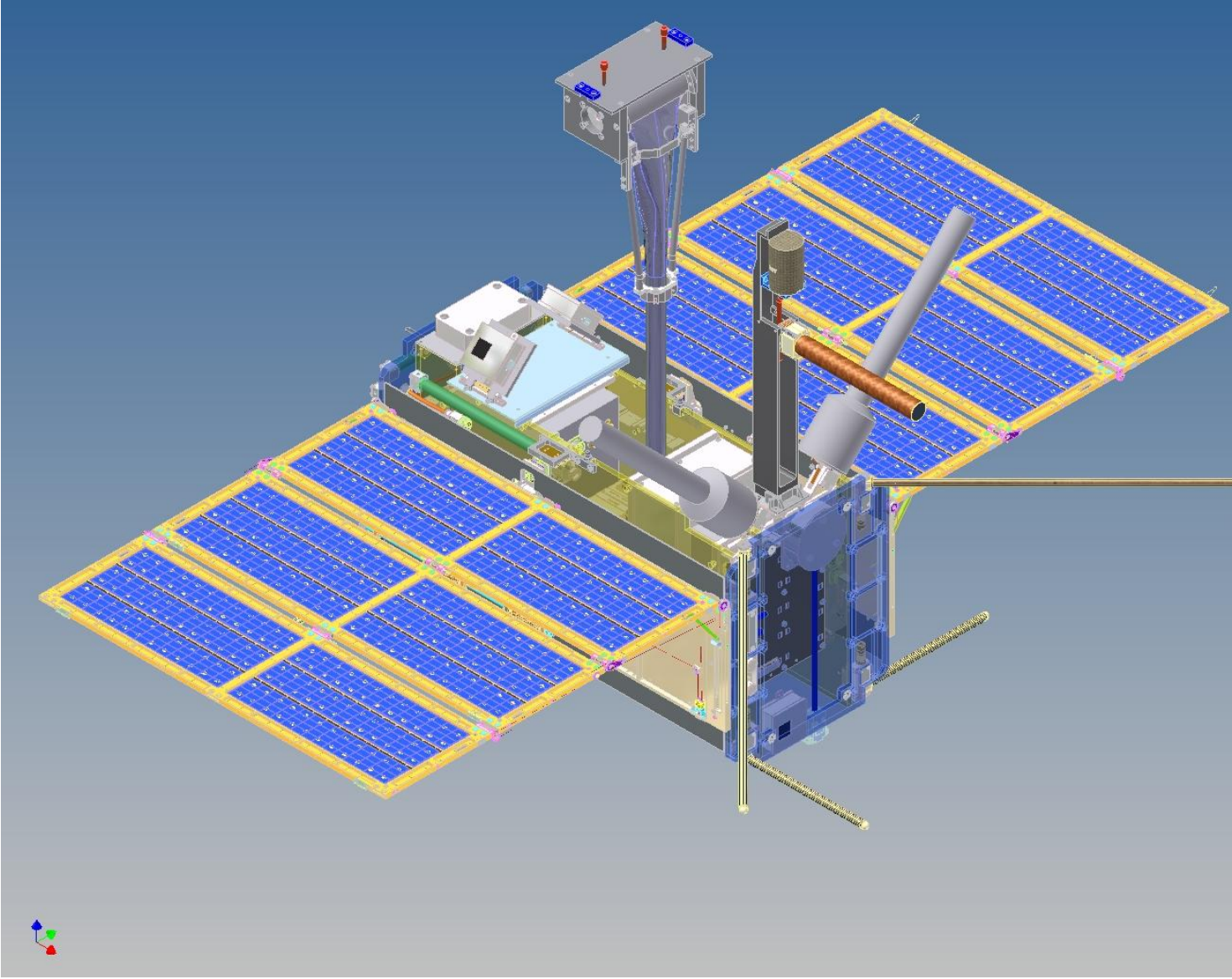
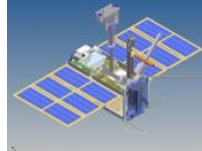
Для понимания проблемы происхождения TGF очень важно получить данные о высотном грозовом разряде, его радио-, видимом и ультрафиолетовом излучении.

Важно, чтобы наблюдения этих излучений имели высокую, субмикросекундную синхронизацию по времени, т.е. фиксировались на одном космическом аппарате.

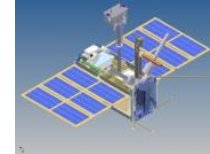
Решению этих задач посвящен проект микроспутника «Чибис-М».



- масса в снаряженном  
состоянии – 40 кг,  
- энергопотребление 50  
Вт



4 октября День космической науки, ИКИ РАН, Москва, 4 октября, 2012.

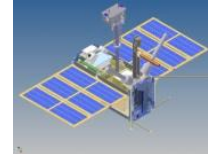


В ходе работ, проведенных в ИКИ РАН совместно с кооперацией ряда академических и промышленных организаций, был изготовлен и прошёл в 2011г. полный цикл наземных испытаний академический микроспутник «Чибис-М».

Общая масса МС 40 кг:

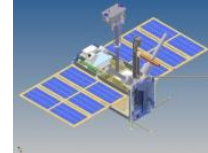
- комплекс научной аппаратуры (КНА «Гроза») - 10,8 кг,
- служебная аппаратура:
  - ✓ приборы дистанционного обслуживания МС (ДОКА-Б) - 3.3 кг.
  - ✓ систему ориентации и стабилизации (СОС) - 2.7 кг.
  - ✓ система электропитания (СЭП) – ~ 7 кг.

Микроспутник позволяет реализовывать алгоритм трехосной ориентации на Землю с использованием бортовых магнитометра и солнечных датчиков в качестве измерителей на солнечной стороне орбиты и магнитометра и датчиков угловых скоростей на теневой стороне орбиты. В качестве исполнительных элементов СОС на борту МС установлены электромаховики.

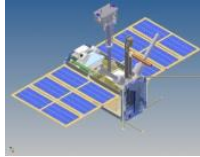


Доставка МС «Чибис-М» на орбиту осуществлялась с использованием инфраструктуры Российского сегмента Международной космической станции (РС МКС).

Для транспортировки микроспутника и его непосредственного вывода на орбиту автономного полёта в Специальном конструкторском бюро космического приборостроения ИКИ РАН (СКБ КП ИКИ РАН, г. Таруса), по согласованному с РКК «Энергия» Техническому заданию, был разработан и изготовлен транспортно-пусковой контейнер (ТПК).



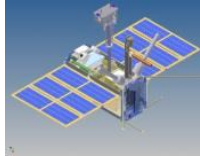
4 октября День космической науки, ИКИ РАН, Москва, 4 октября, 2012.



Для отработки схемы и динамики выхода «Чибис-М» из ТПК в СКБ КП разработан и изготовлен стенд вертикального обезвешивания (СВО), имитирующий условия невесомости при раскрытии элементов конструкции МС на орбите.



4 октября День космической науки, ИКИ РАН, Москва, 4 октября, 2012.

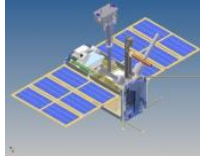


Для отработки схемы и динамики выхода «Чибис-М» из ТПК в СКБ КП разработан и изготовлен стенд вертикального обезвешивания (СВО), имитирующий условия невесомости при раскрытии элементов конструкции МС на орбите.



4 октября День космической науки, ИКИ РАН, Москва, 4 октября, 2012.

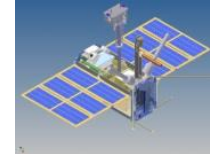




Для отработки схемы и динамики выхода «Чибис-М» из ТПК в СКБ КП разработан и изготовлен стенд вертикального обезвешивания (СВО), имитирующий условия невесомости при раскрытии элементов конструкции МС на орбите.

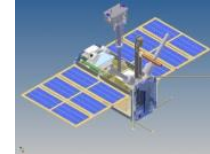


4 октября День космической науки, ИКИ РАН, Москва, 4 октября, 2012.



Динамика выхода МС «Чибис-М» из ТПК в условиях космического вакуума и температуры на освещённом и теневом участках орбиты была отработана в РКК «Энергия» в большой вакуумной камере, где был размещён СВО совместно с размещённым в ТПК микроспутником.

# Этапы реализации проекта «Чибис-М»

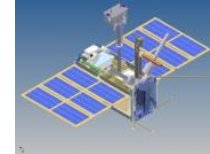


ТПК с МС «Чибис-М» в октябре 2011г. доставлен на Технический комплекс (ТК) космодрома Байконур.



4 октября День космической науки, ИКИ РАН, Москва, 4 октября, 2012.

## Этапы реализации проекта «Чибис-М»



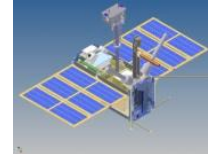
После проведения на ТК заключительных операций ТПК с «Чибис-М» размещён в транспортно-грузовом корабле (ТГК) «Прогресс М-13М».



02 ноября 2011 микроспутник «Чибис-М» был доставлен на РС  
МКС.

4 октября День космической науки, ИКИ РАН, Москва, 4 октября, 2012.

## Этапы реализации проекта «Чибис-М»

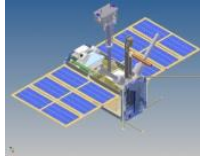


Перед отделением от МКС выполнившего свои функции ТКК российские космонавты О.Кононенко и А.Шкаплеров установили ТКК с «Чибис-М» на стыковочном шпангоуте «Прогресс М-13М» и подключили к ТКК кабели подзарядки аккумуляторов МС «Чибис-М» и командной линии на срабатывание электроступса механизма вывода «Чибис-М» из ТКК.

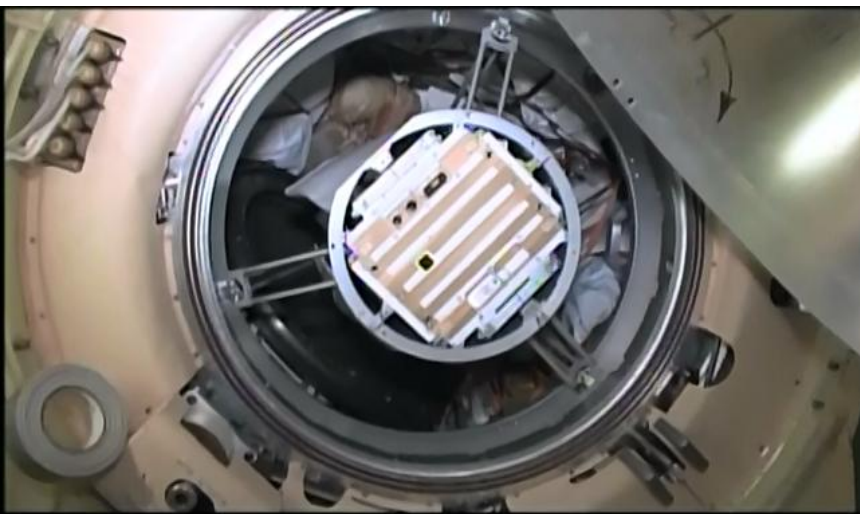


4 октября День космической науки, ИКИ РАН, Москва, 4 октября, 2012.

## Этапы реализации проекта «Чибис-М»



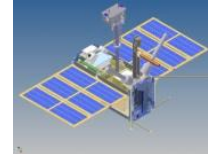
Момент отделения ТГК от РС МКС, зафиксированный с борта МКС, свидетельствует о штатном расположении ТПК с МС «Чибис-М» на стыковочном шпангоуте.



После отделения от МКС по специальной программе ТГК «Прогресс М-13М» совершил манёвр по поднятию своей орбиты на высоту 513 км.

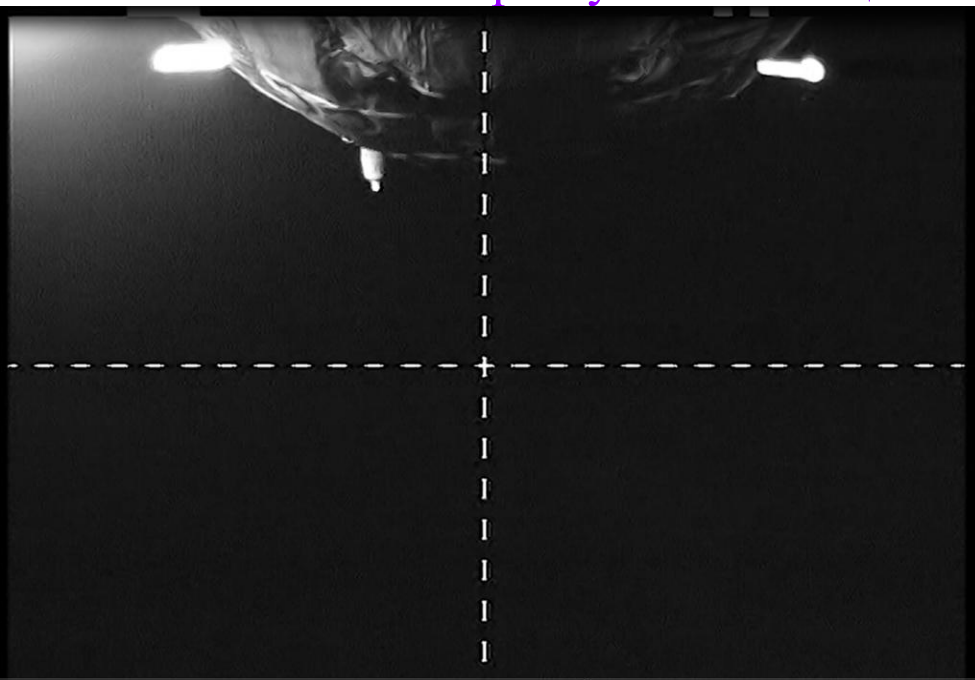
**4 октября День космической науки, ИКИ РАН, Москва, 4 октября, 2012.**

# Этапы реализации проекта «Чибис-М»



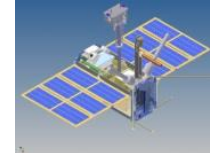
Важной технологической операцией была организация специалистами РКК «Энергия» телевизионной трансляции в реальном времени момента выхода МС «Чибис-М» из ТПК и отделения его от «Прогресс М-13М».

Момент отделения был рассчитан так, чтобы оно происходило на освещённом участке орбиты при положении вектора скорости ТГК от Солнца. Это обеспечивало хорошую экспозицию.

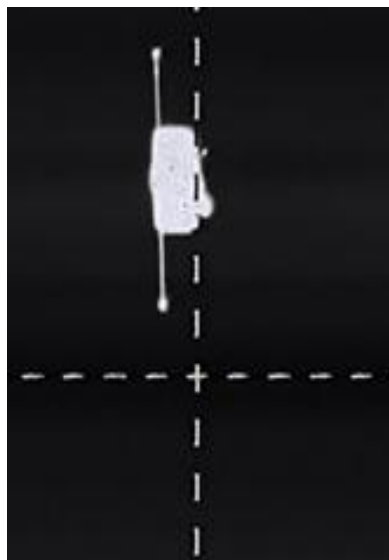
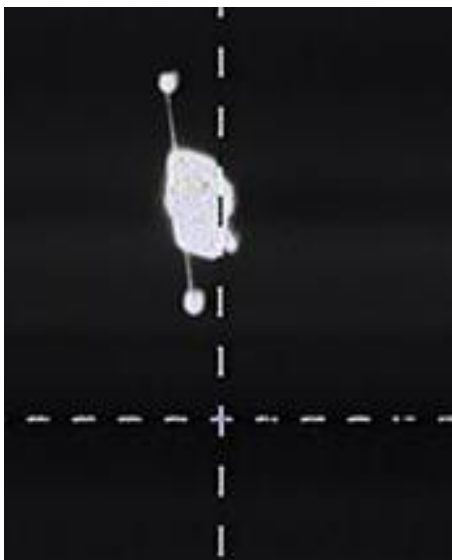


После выполнения этой операции ТГК «Прогресс М-13М» совершил манёвр по снижению орбиты и затонул в заранее определённом районе Тихого океана.

**4 октября День космической науки, ИКИ РАН, Москва, 4 октября, 2012.**



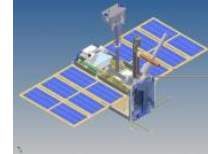
Видеосъёмка, продолжавшаяся 9 мин и передававшаяся в режиме реального времени в Центр управления полётом МКС, зафиксировала, что все системы МС (солнечные панели, антенны аппаратуры дистанционного обслуживания космического аппарата – ДОКА 15Б, антенны прибора РЧА) раскрыты.



Через некоторое время по изменению движения МС было зафиксировано, что произошло программное включение системы ориентации.

**4 октября День космической науки, ИКИ РАН, Москва, 4 октября, 2012.**





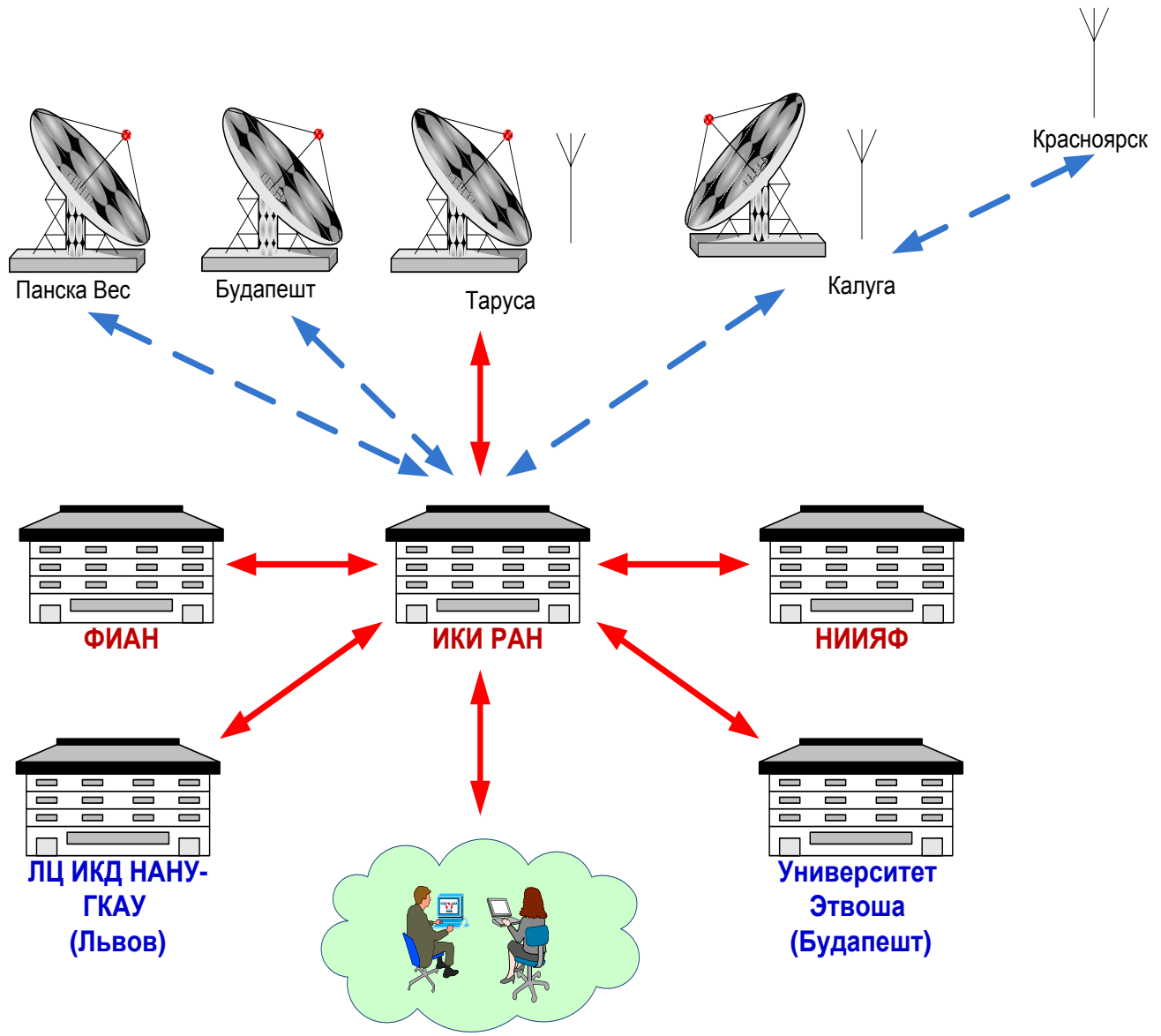
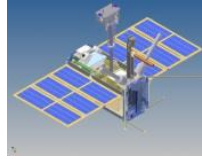
Сразу после выведения на орбиту 25 января 2012 г. наземными средствами, созданными ИКИ РАН, была установлена командно-телеметрическая связь с МС «Чибис-М» и начался этап ввода служебных систем в эксплуатацию.

Связь с микроспутником осуществляется в диапазонах **145 МГц для передачи команд управления на борт и 435 МГц для передачи служебной телеметрии на Землю.**

Эти диапазоны применяются для радиоловительской, в том числе космической, связи.

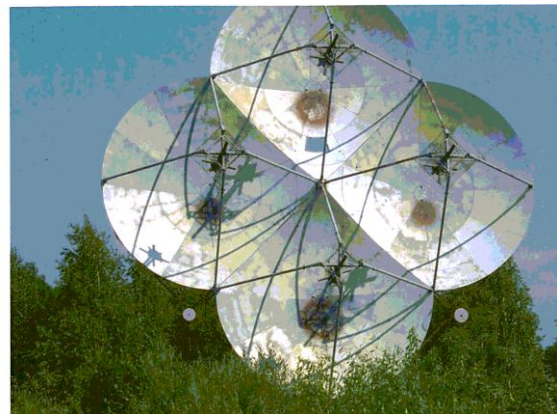
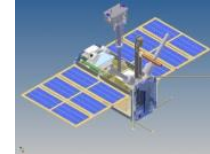
Для передачи **научной информации** используется диапазон **2,2 ГГц**, выделенный для этих целей международным Регламентом радиосвязи.

# Управление проектом «Чибис-М»



4 октября День космической науки, ИКИ РАН, Москва, 4 октября, 2012.

# Управление проектом «Чибис-М»



Антенны НКУ  
СКБ КП ИКИ РАН, г.  
Таруса



Центр управления полетом  
проекта «Чибис-М»,  
ЦУП, ИКИ РАН, г. Москва



Антенны НКУ,  
г. Калуга

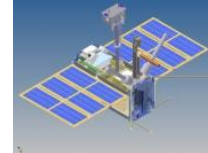


Антенны НКУ,  
г. Будапешт, Венгрия



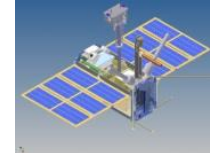
Антенны НКУ,  
г. Панска Вес, Чехия

4 октября День космической науки, ИКИ РАН, Москва, 4 октября, 2012.



В качестве исполнительных элементов СОС на борту МС установлены 3-и электромаховика и 3-и электромагнита. СОС позволяет реализовывать алгоритмы ориентации:

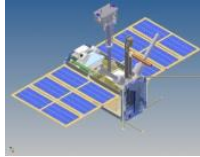
- На солнечной стороне орбиты - трехосной ориентации на Землю с использованием бортового магнитометра, 3-х электромагнитов, 5-ти солнечных датчиков, 3-х датчиков угловых скоростей (ДУС'ов) и приёмника GPS.
- На солнечной стороне орбиты - одноосной ориентации на Солнце с использованием 5-ти солнечных датчиков и приёмника GPS.
- На теневой стороне орбиты - трехосной ориентации на Землю с использованием бортового магнитометра, 3-х электромагнитов, 3-х ДУС'ов, 3-х электромаховиков и приёмника GPS.
- На любых участках орбиты - одноосной ориентации на Землю с использованием гравитационной штанги, бортового магнитометра, 3-х электромагнитов, приёмника GPS.



Приборный состав КНА «Гроза» и научная кооперация:

- ❖ Рентген-гамма детектор – РГД (НИИЯФ) с диапазоном рентгеновского и гамма-излучения 0.02-1.0 МэВ;
- ❖ УФ детектор – ДУФ (НИИЯФ) спектра излучения от УФ (180-400 нм) до ИК (650-800нм);
- ❖ Радиочастотный анализатор – РЧА (ИКИ РАН) в диапазоне частот 26 – 48 МГц;
- ❖ Цифровая камера – ЦФК (ИКИ РАН) с пространственным разрешением 300 м и экспозицией 15 кадров/сек;
- ❖ Магнитно-волновой комплекс – МВК (ЛЦ ИКИ НАН и НКА Украины, Университет Ётвоша, Венгрия) в диапазоне частот 100 – 40000 Гц;
- ❖ Блок накопления данных БНД (ИКИ РАН);
- ❖ Передатчик 2.2 ГГц с антеннами – ПРД2.2 (ИКИ РАН).



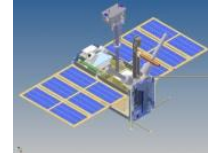


Каждый прибор КНА «Гроза» имеет кольцевую память (КП) имеющую фиксированный размер на несколько событий. Общий размер памяти прибора определяется максимальной длительностью события этого прибора, который задают постановщики эксперимента. Длительность события может регулироваться по командам. Пример: РЧА-1 с, РГД-20 мс, ДУФ-100 мс.

Телекомандами с Земли могут задаваться и другие параметры оцифровки события: период оцифровки (дискретизация по времени), критерий «событие произошло» (СП, триггер), размер «до» и «после» события. События происходят случайным образом, поэтому при записи в КП делается привязка к бортовому времени, оформление массива события (заголовков, нумерация и т.д.).

В КП пишется только событие соответствующее критерию СП. При отсутствии события в КП пишется следующий цикл возможного события.

# КНА «Гроза». РЧА



Научный комитет проекта признал, что на начальном этапе оптимальным вариантом регистрации молниевых разрядов является такой, когда команда о начале регистрации разряда (**триггер**) приборами КНА «Гроза» поступает от радиочастотного анализатора РЧА, как наиболее скоростного прибора, измеряющего интенсивность радиоизлучений в характерном для грозовых разрядов диапазоне.

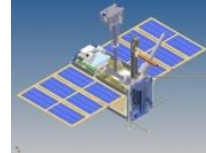
## Основные характеристики РЧА:

- ❖ диапазон регистрируемых частот - 26...48 МГц,
- ❖ частота дискретизации сигнала в кольцевой памяти - 96 МГц,
- ❖ количество полосовых фильтров мажоритарной системы выработки триггера - 5
- ❖ длительность записи кольцевой памяти - 1...50 мс,
- ❖ разрядность АЦП - 8 разрядов,
- ❖ точность привязки триггера к бортовому времени - 1 мкс
- ❖ различение полезного сигнала на фоне техногенных помех,
- ❖ установка всех основных параметров по командам с Земли.

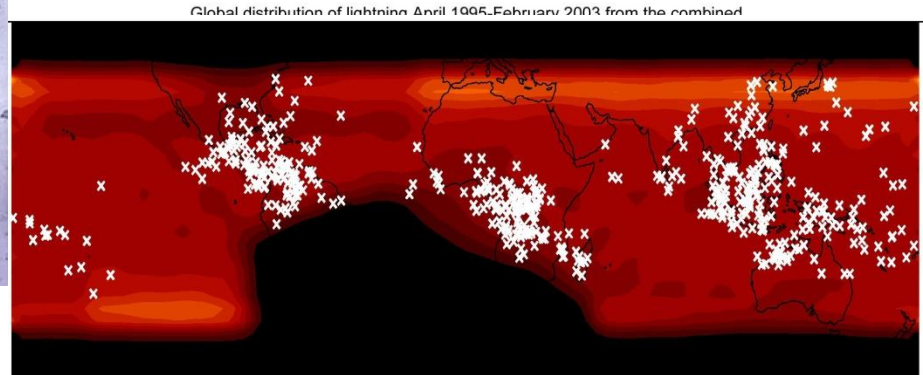
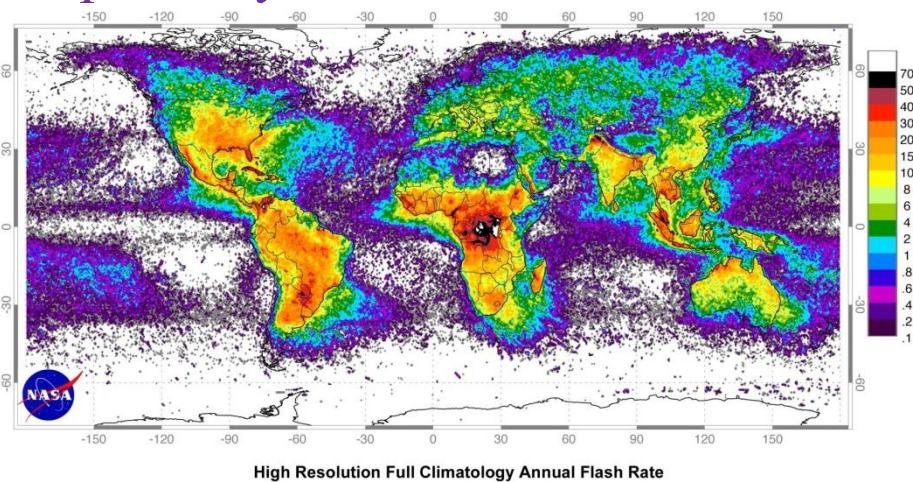
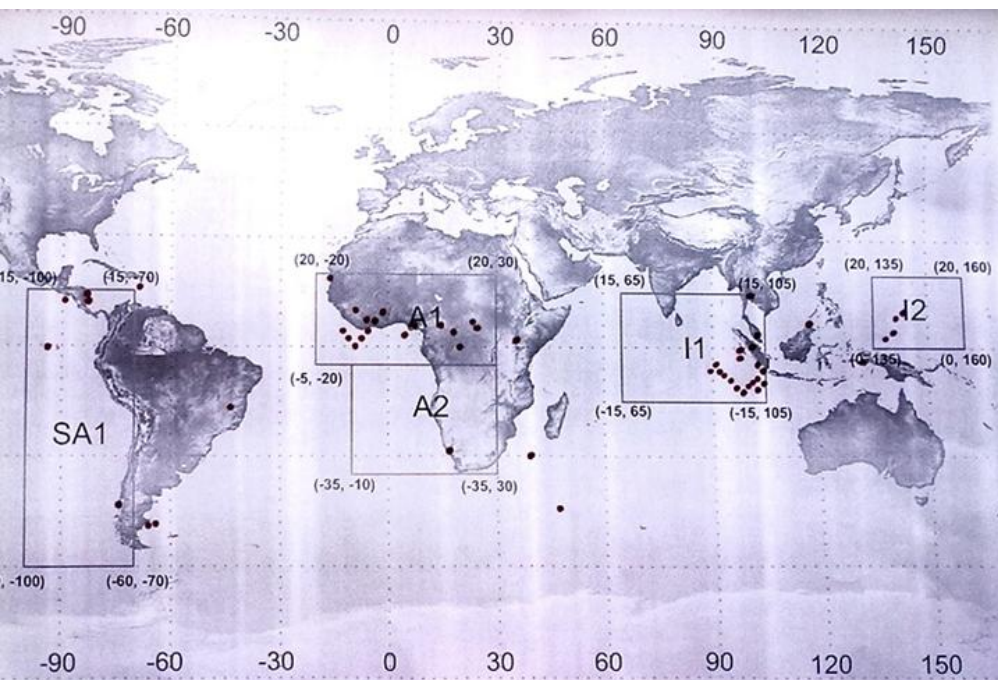
4 октября День космической науки, ИКИ РАН, Москва, 4 октября, 2012.



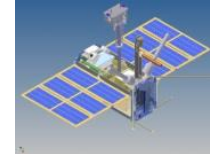
# КНА «Гроза». РЧА



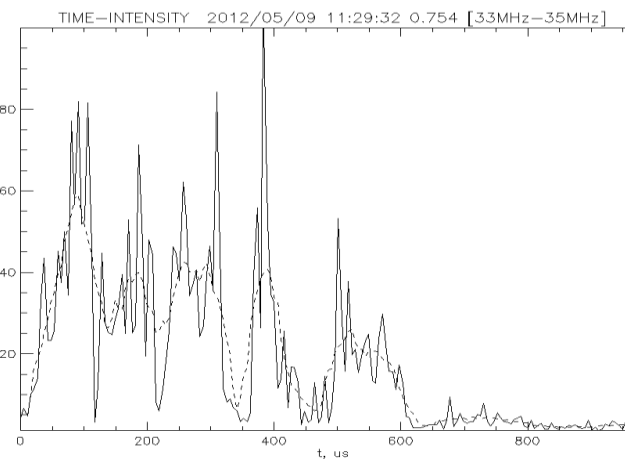
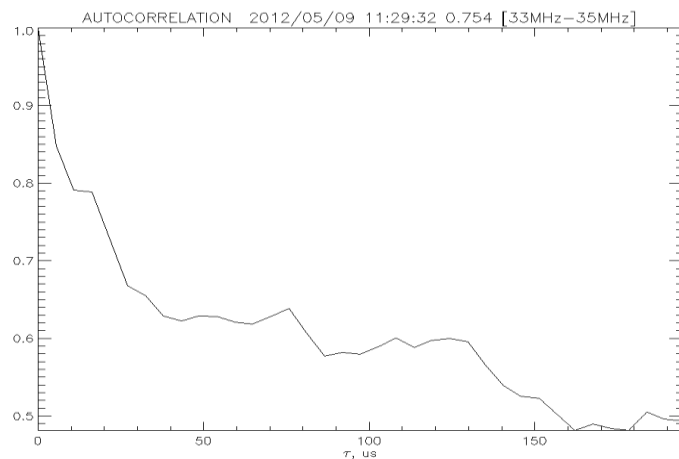
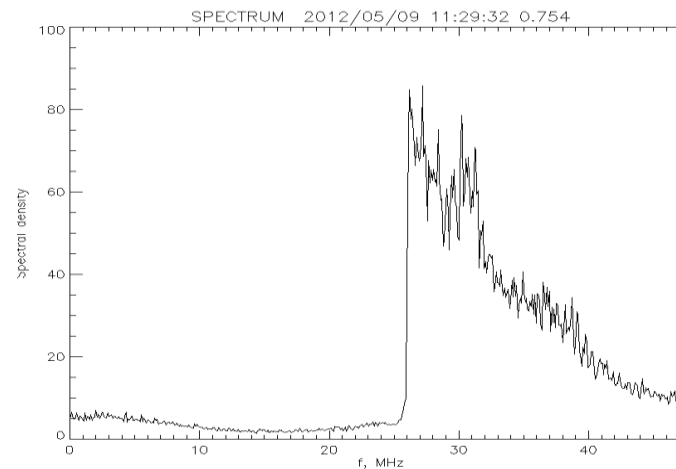
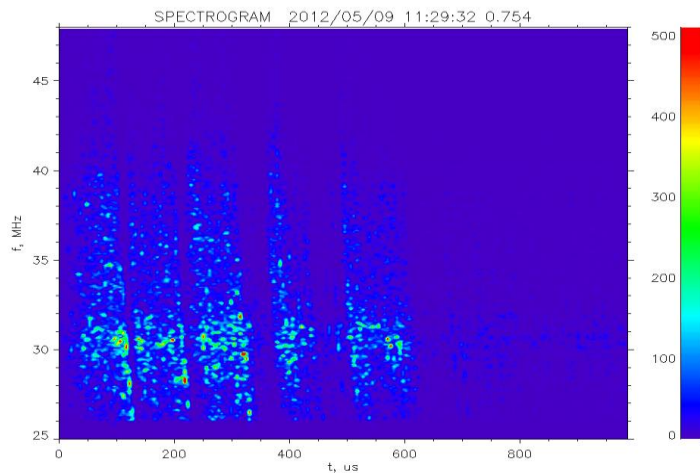
За время работы «Чибис-М» прибором РЧА были определены на Земле зоны наиболее интенсивных техногенных помех и зоны наиболее перспективные для регистрации молниевой активности. Программа включений РЧА выбирается в настоящее время с учетом этих зон.

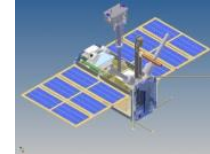


# КНА «Гроза». РЧА

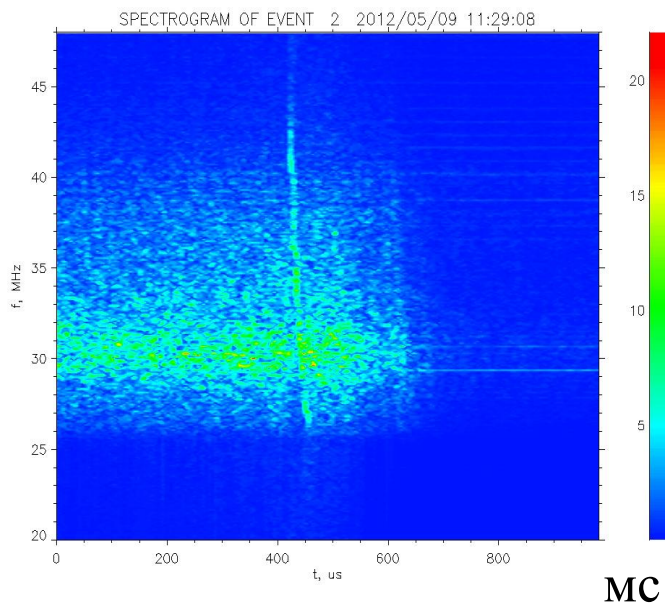


2012/05/09 11:29:32 0.754





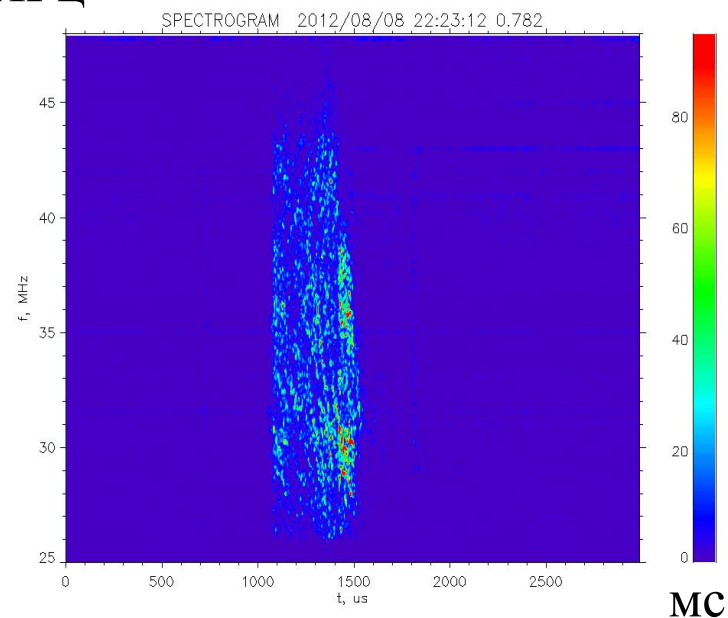
МГц



Спектрограмма события  
09 мая 2012г.

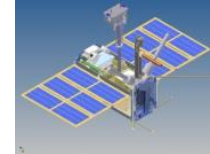
Множественные короткие разряды, следующие с интервалом 50...100мкс в течение ~ 1мс

МГц



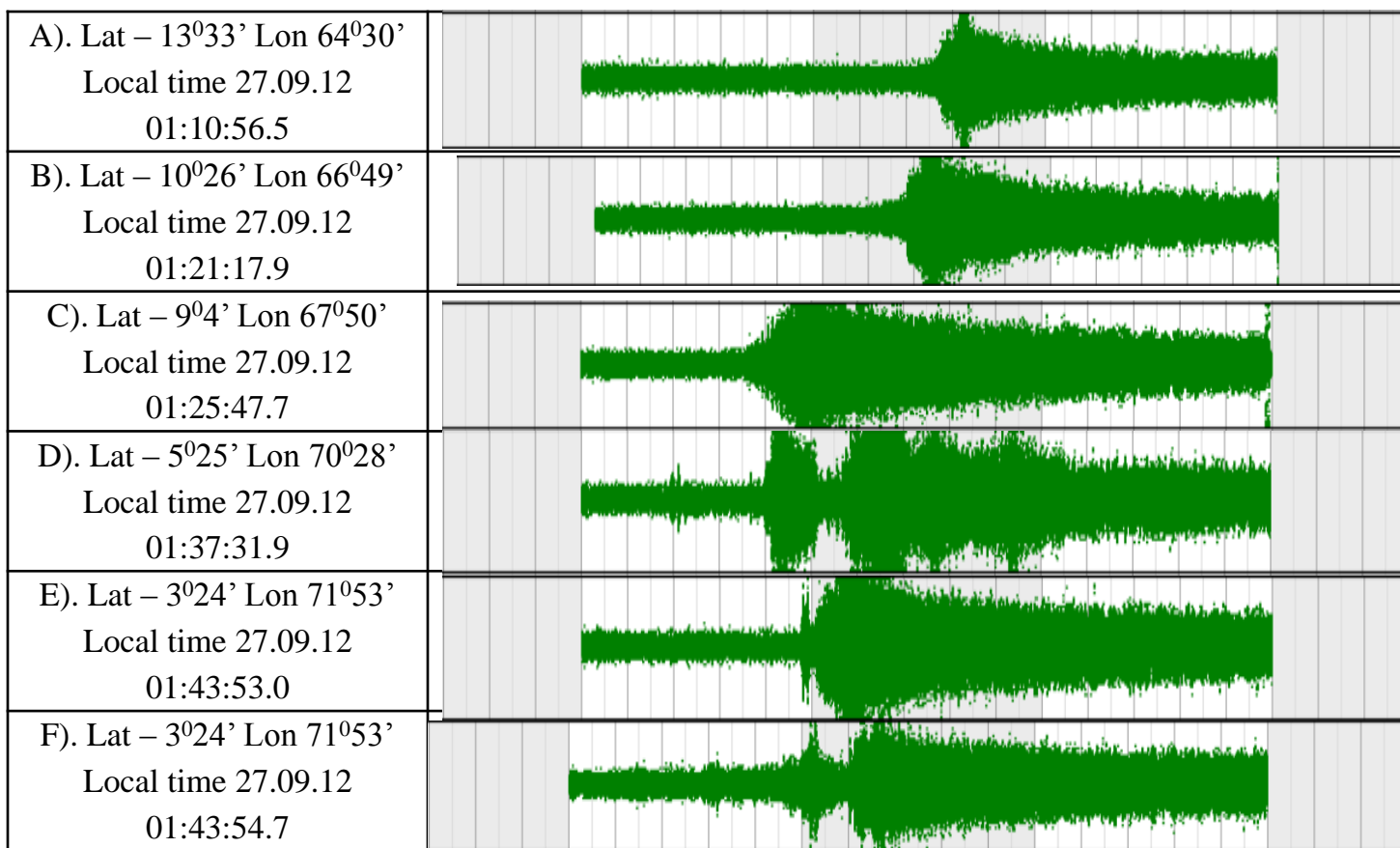
Спектрограмма события  
08 августа 2012г.

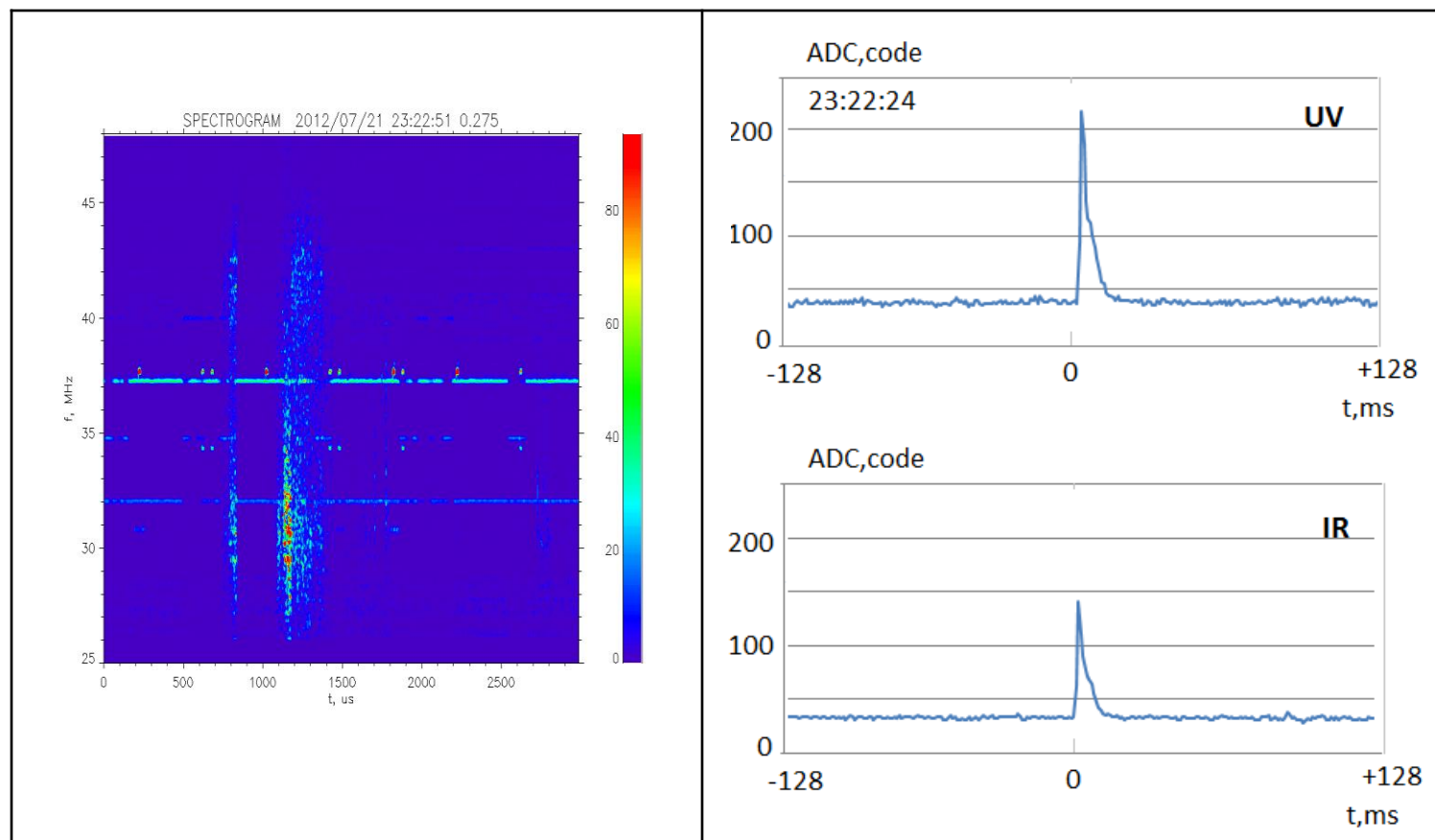
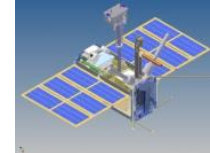
Повышенная грозовая активность на интервале ~ 400 мкс



За прошедшие 8 месяцев работы микроспутника в 2012 году зарегистрировано несколько сотен срабатываний триггера, из них более сотни связанных с короткими и мощными грозовыми разрядами.

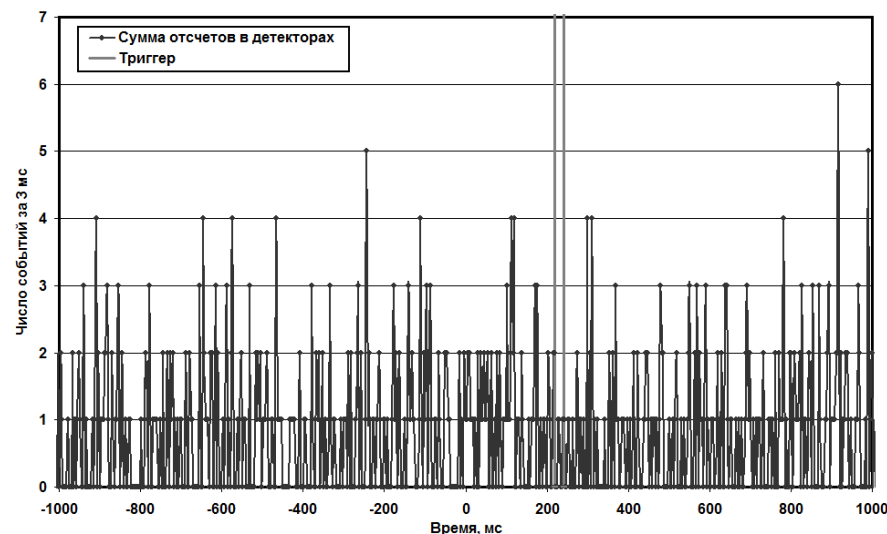
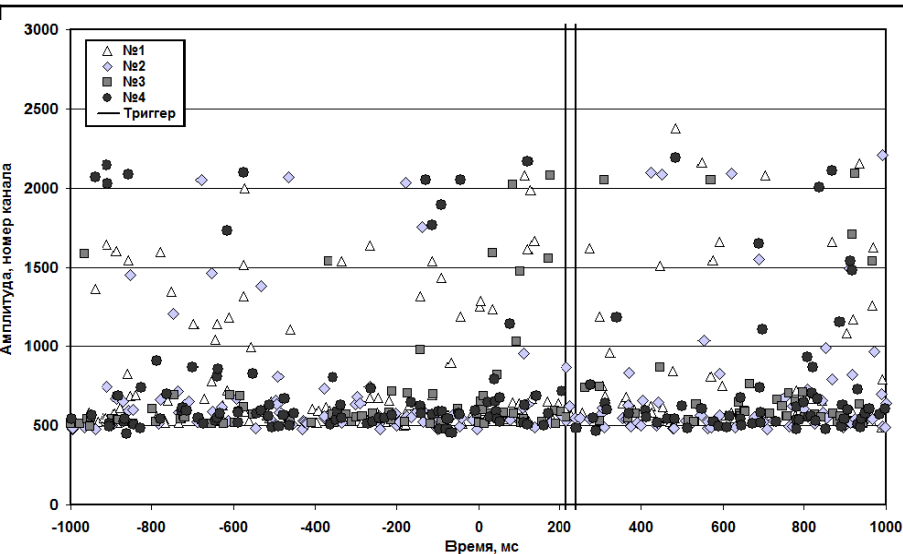
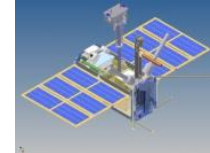
Примеры различной волновой формы триггеров РЧА в приэкваториальной области. Длительность каждого из триггеров – 3мс.





Спектрограмма события, по которому РЧА выработал триггер (слева). Спектральный, автокорреляционный и кросс-корреляционный анализ этого события подчёркивает «грозовой» характер данного события.

Данные, зафиксированные детектором ультрафиолета ДУФ на момент прихода триггера РЧА (справа), по характеру соотношения UV и IR детекторов также свидетельствуют о «грозовой» природе данного события.

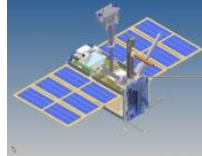


Прибор РГД. Диаграмма время-амплитуда всплескового массива, сформированного по триггеру РЧА.

Прибор РГД. Временной ход суммарного числа случаев взаимодействия 4-х детекторов за 3 мс

Момент триггера лежит в пределах, отмеченных на рисунке вертикальными линиями, соответствующими границам времени фиксации первого из послетриггерных событий в детекторах. Точность привязки временной шкалы к моменту триггера определяется статистикой и как правило составляет  $\sim 20$  мс.

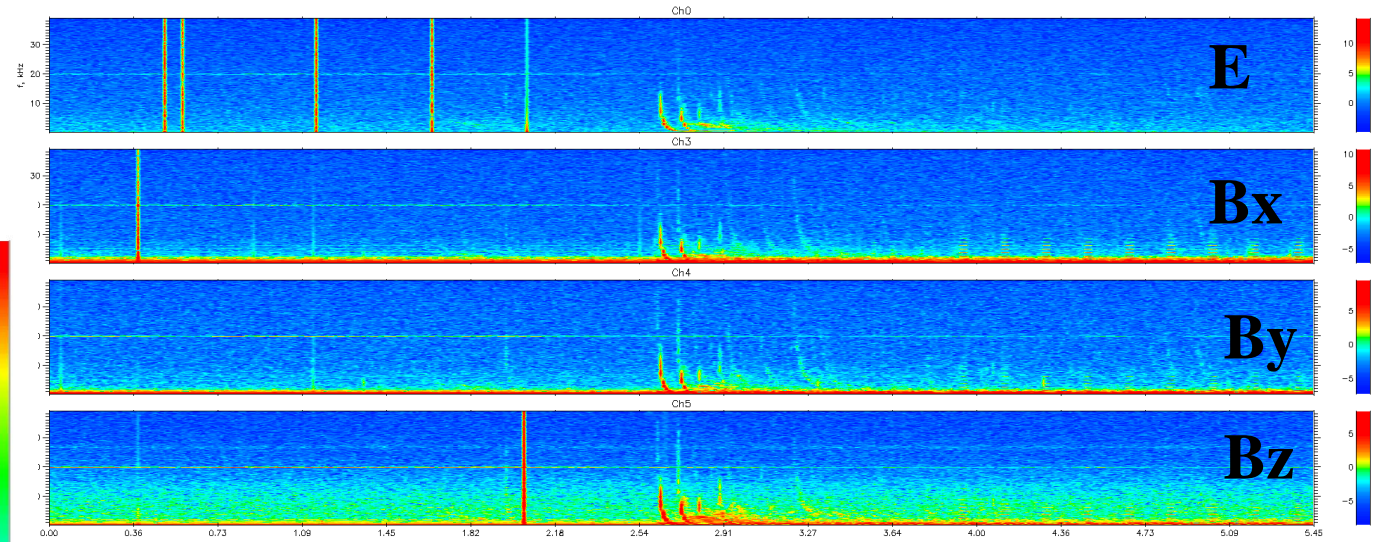
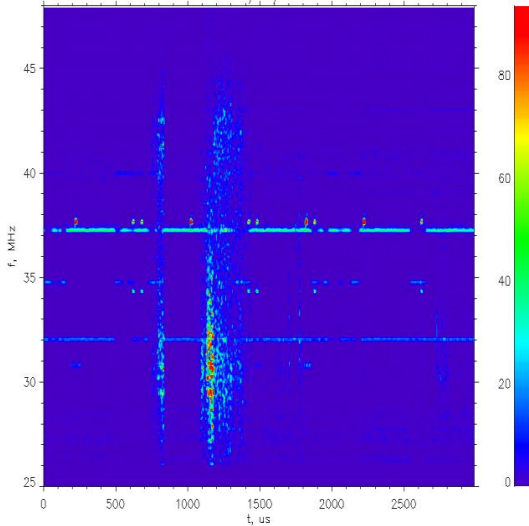
Для определения порогового уровня, при превышении которого можно сделать вывод о статистически значимом увеличении потока гамма-квантов, требуется дополнительный анализ распределения пиков на этом ряду по амплитуде.



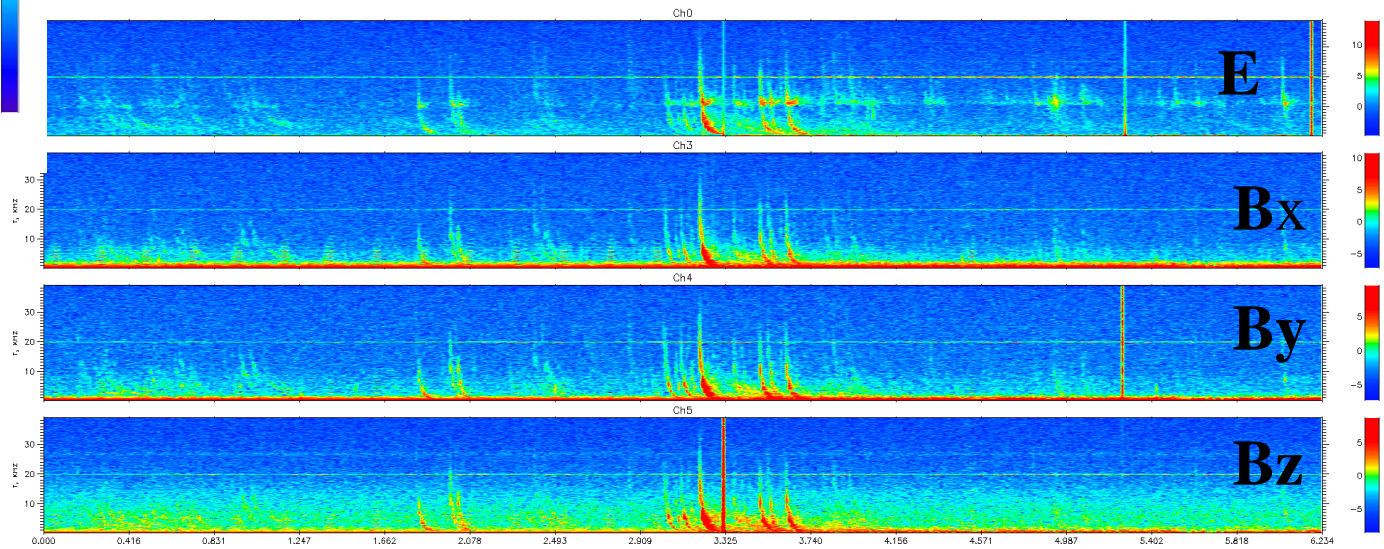
23:22:20

23:22:51

SPECTROGRAM 2012/07/21 23:22:51 0.275

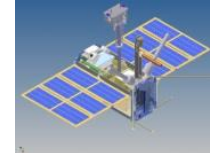


23:23:35



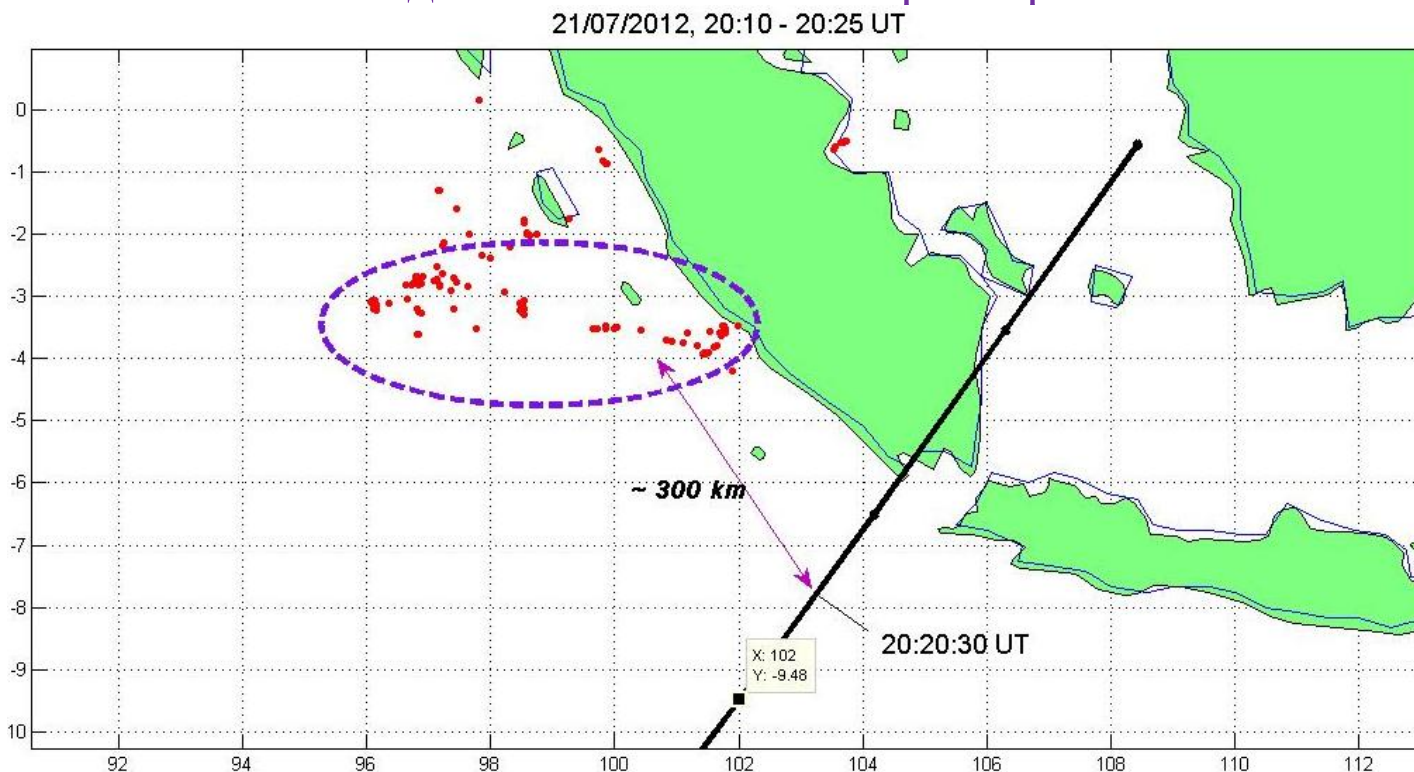
# КНА «Гроза».

## Событие 21 июля 2012г.

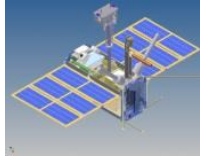


В настоящее время Научный комитет проекта организывает Программу орбитальных измерений скоординированных с подспутниковыми наблюдениями на геофизических обсерваториях а также с мировой сетью ОНЧ наблюдений грозных разрядов.

Проведенные 21 июля 2012г. орбитальные ионосферные измерения осуществлены вблизи «Индонезийского» кластера мировой сети WWLLN.

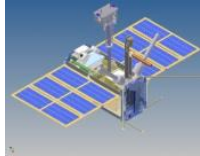






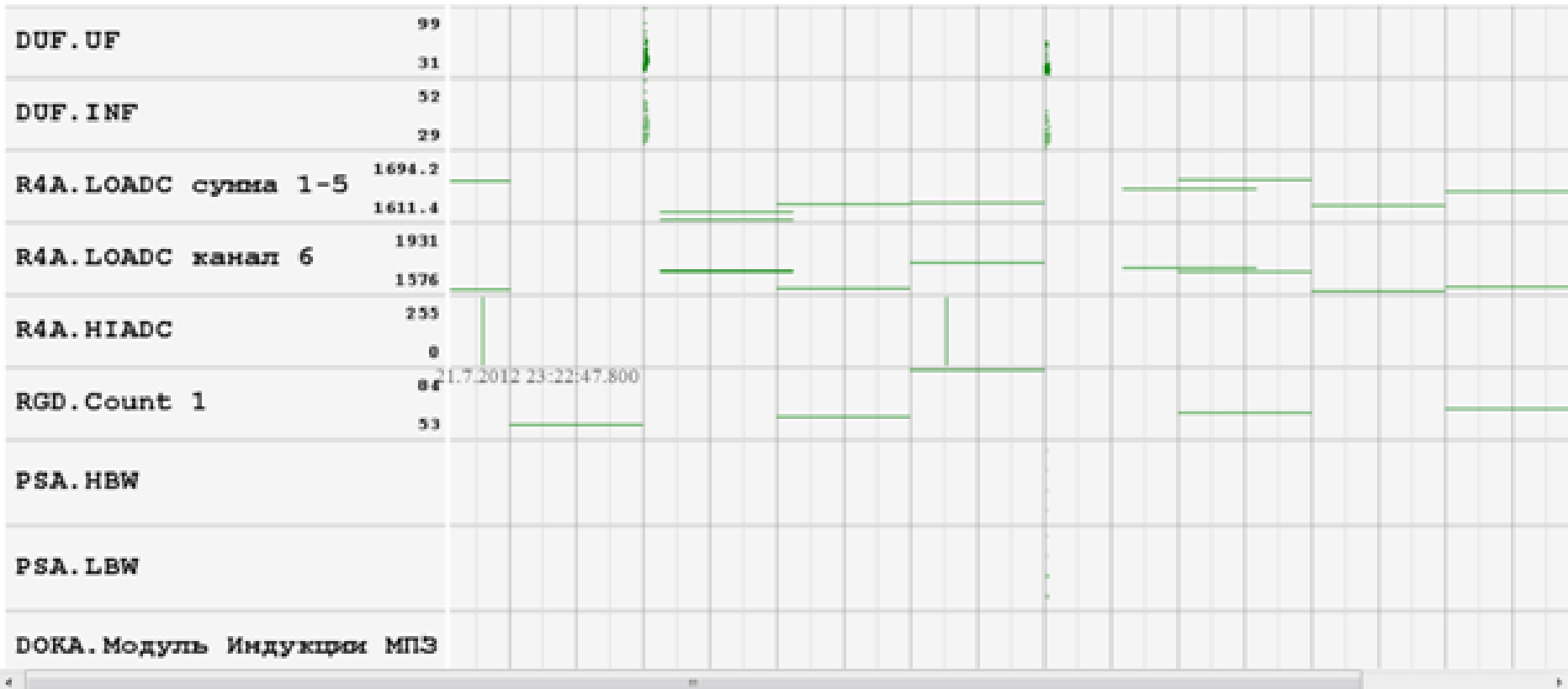
Обзорные графики данных, представляющие совместную работу приборов и систем МС «Чибис-М», приведены на сайте

<http://tm.chibis.cosmos.ru/chibis>

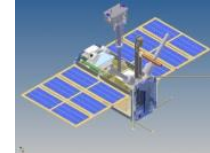


<http://tm.chibis.cosmos.ru/chibis>

Начальное бортовое время	Конечное бортовое время	Интервал
21.07.12 23:22:47.560.000	21.07.12 23:22:57.560.000	4 10 sec

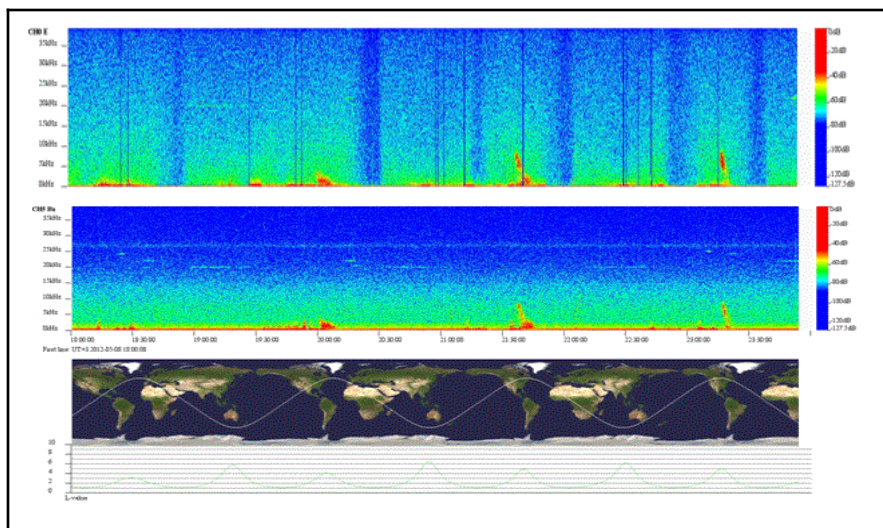


# КНА «Гроза». Мониторинг электромагнитных параметров космической погоды

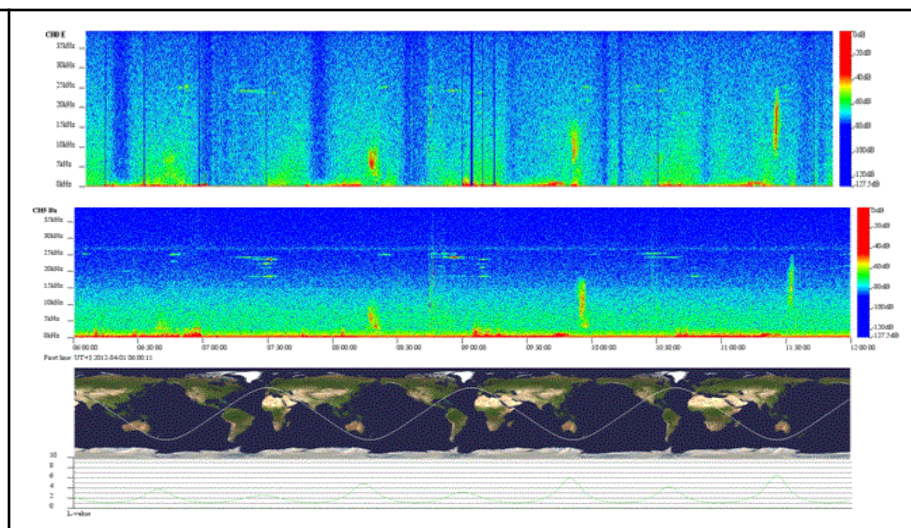


Магнитно-волновым комплексом — МВК — реализуется параллельная научная задача - мониторинг электромагнитных параметров космической погоды.

В июне – июле 2012 г. значительное внимание было уделено изучению атмосфериков.

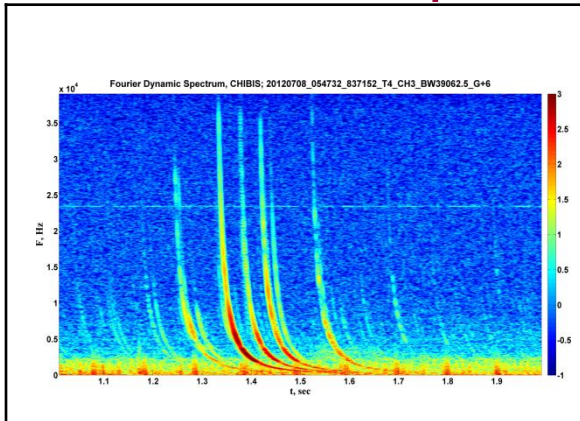
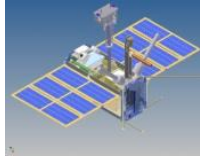


МВК 08 мая 2012 г. Регистрация электрической (верхняя панель) и магнитной (средняя панель) компонент электромагнитных излучений на частотах ниже 15 кГц в северном полушарии (нижняя панель) на  $L > 4$ .

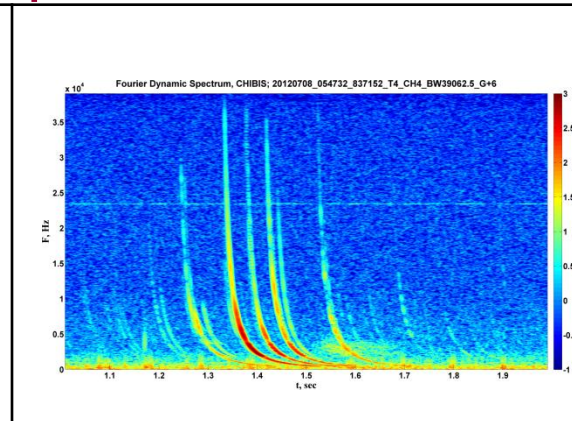


МВК 08 мая 2012 г. Регистрация электрической (верхняя панель) и магнитной (средняя панель) компонент электромагнитных излучений на частотах ниже 15 кГц в южном полушарии (нижняя панель) на  $L > 4$ .

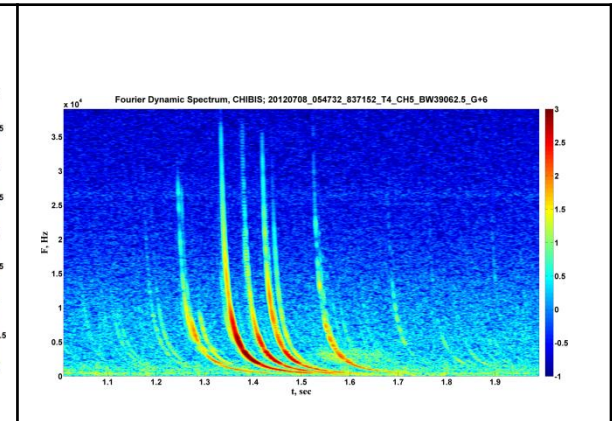
# КНА «Гроза». Мониторинг электромагнитных параметров космической погоды



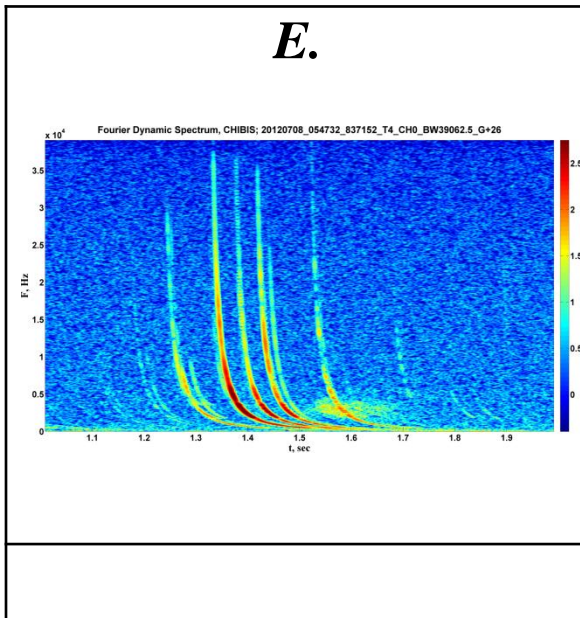
$B_x$



$B_y$

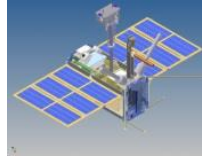


$B_z$

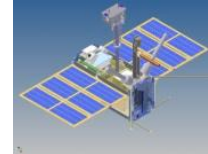


Пример регистрации 08 июля 2012г. на «Чибис-М» (05:47:32 UT, район Галапагосских островов) трёх ортогональных магнитных компонент  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$  (вектора) и одной электрической компоненты  $E$  атмосфериков .

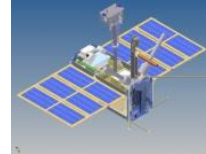
Одинаковый уровень сигналов по всем трём магнитным компонентам свидетельствует об изотропном распространении волны, хорошая корреляция с электрической компонентой свидетельствует об электромагнитном характере ЭТИХ ВОЛН.



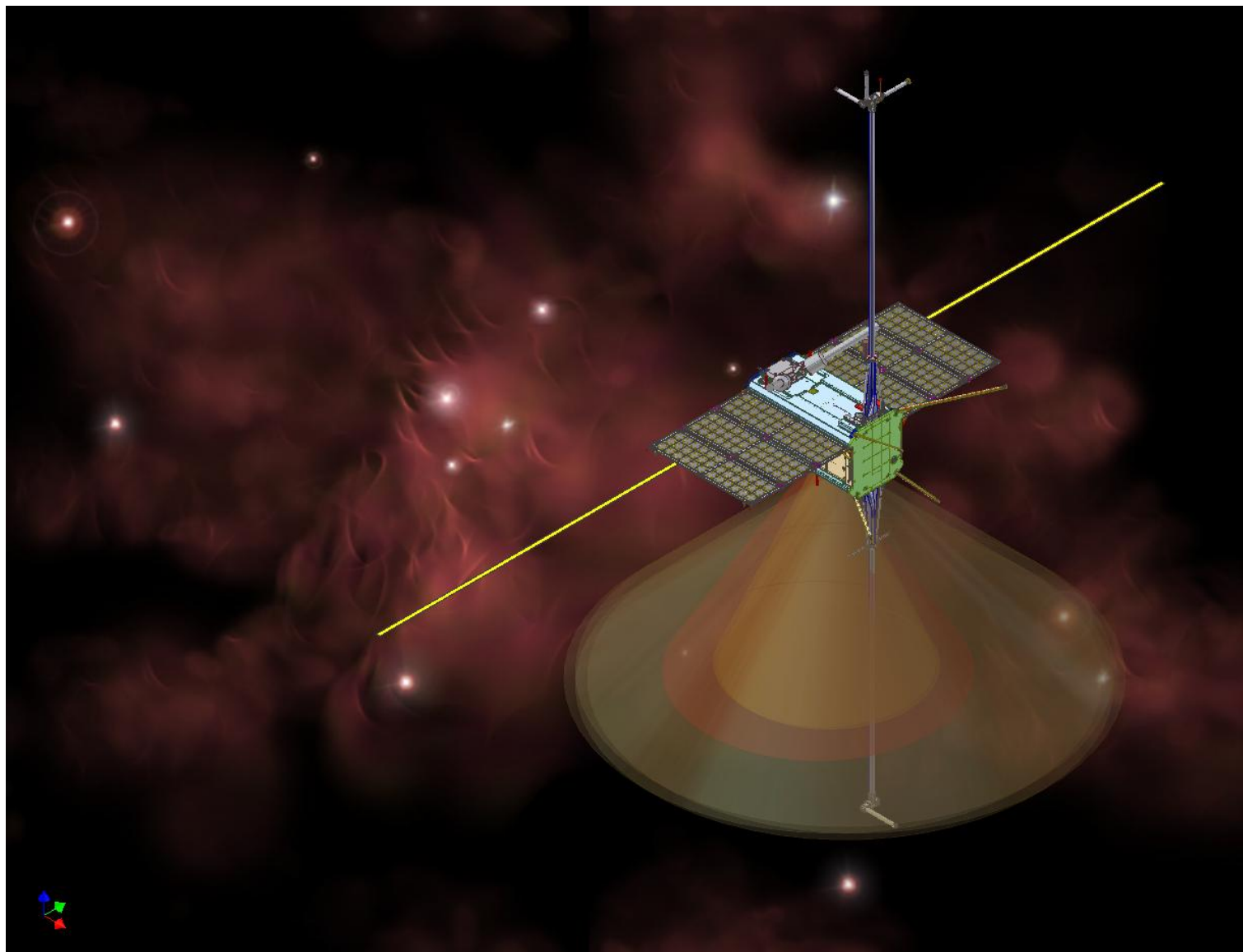
4 октября День космической науки, ИКИ РАН, Москва, 4 октября, 2012.



**Доставка МС «Чибис-М» на орбиту  
осуществлялась  
с использованием инфраструктуры  
Российского сегмента  
Международной космической станции.**



# Спасибо за внимание!



4 октября День космической науки, ИКИ РАН, Москва, 4 октября, 2012.