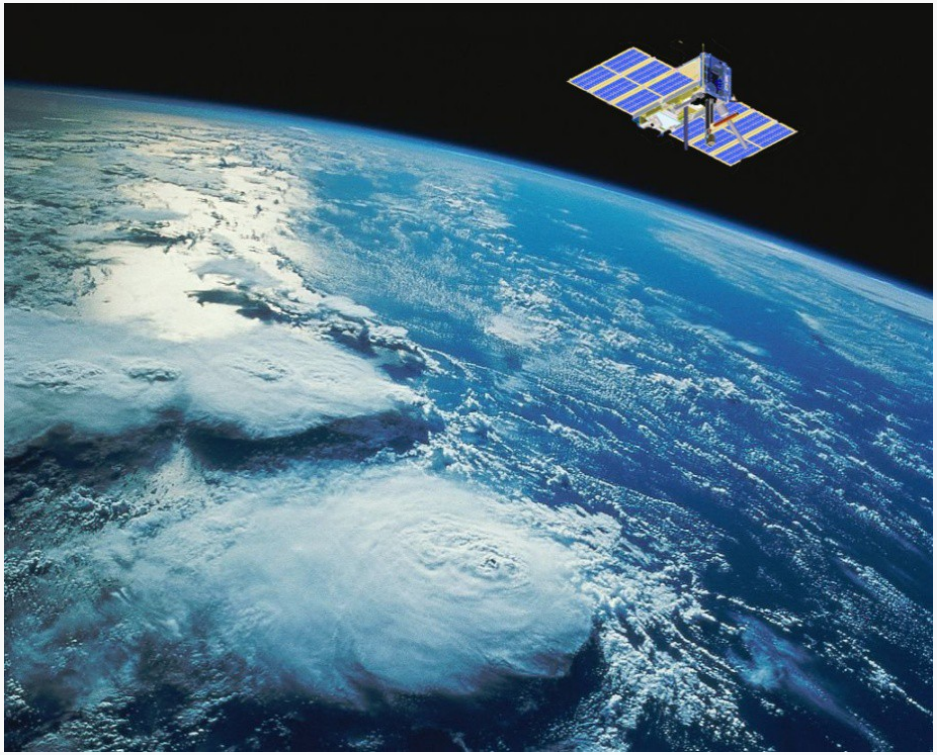


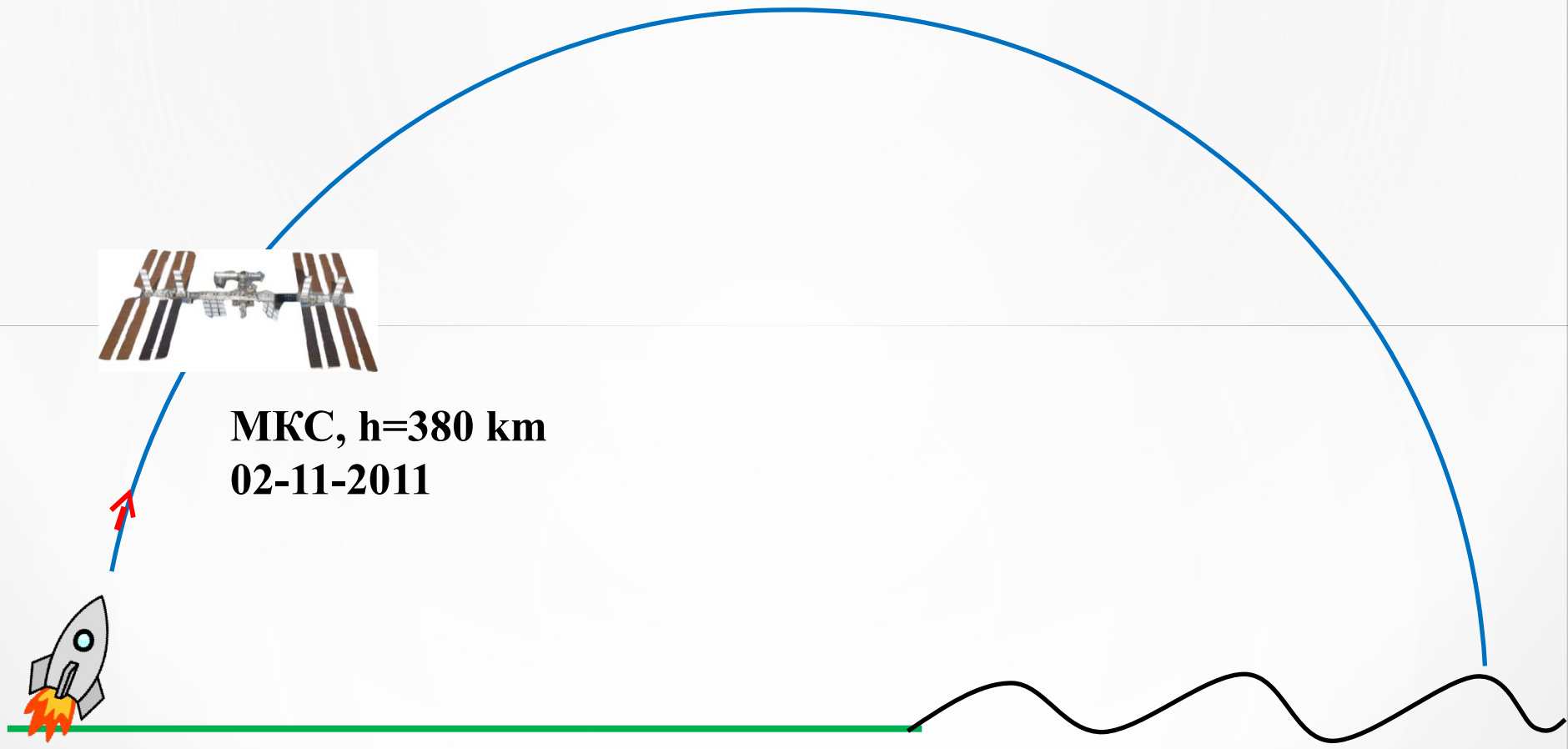
С.И. Климов и КНА «Гроза» team.

Первые научные результаты микроспутника «Чибис-М»

День космической науки, ИКИ РАН, 04 октября 2013г.

Этапы реализации проекта «Чибис-М»

Схема баллистики

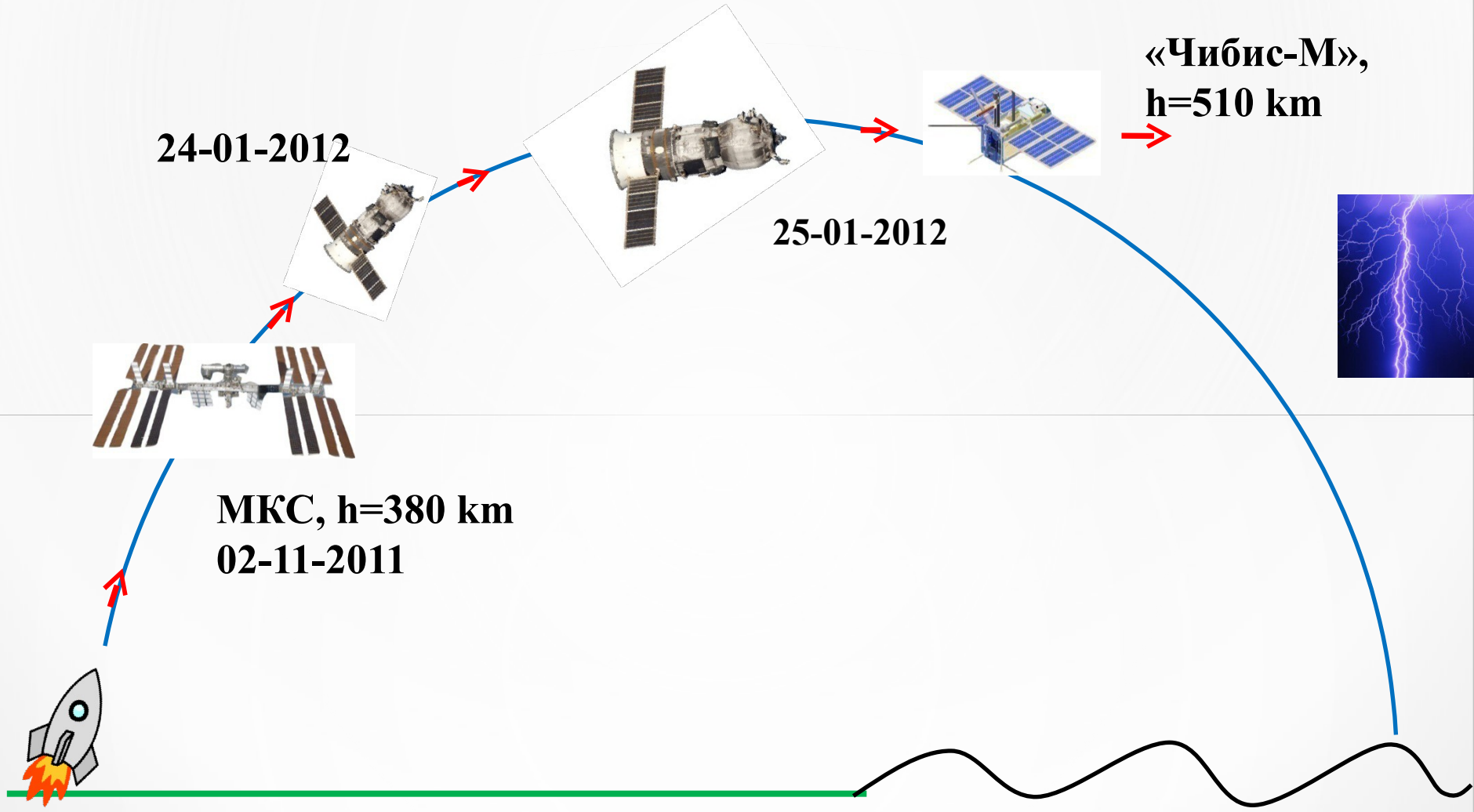


Этапы реализации проекта «Чибис-М»

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

Этапы реализации проекта «Чибис-М»

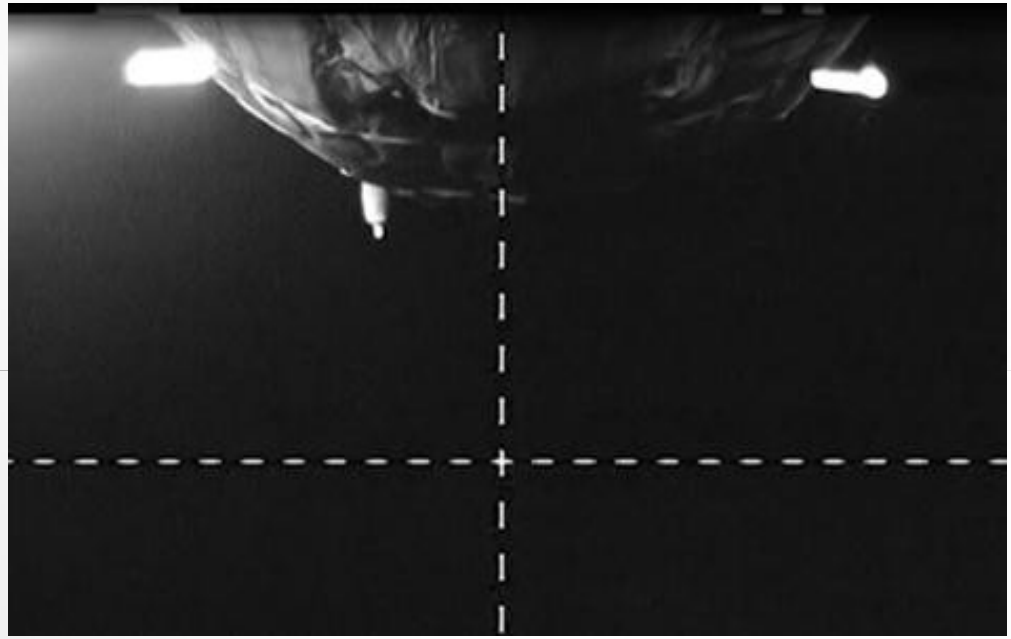
Схема баллистики

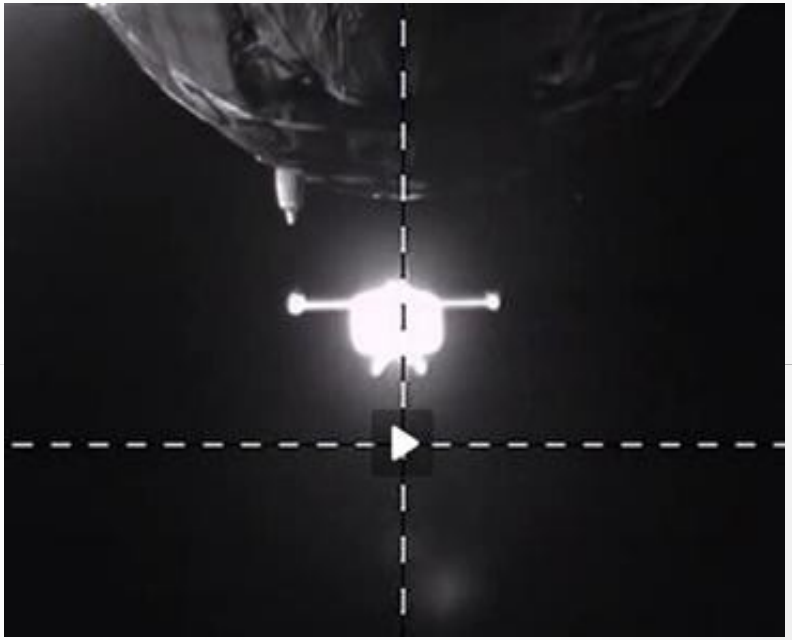


Этапы реализации проекта «Чибис-М»

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

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.





Исследование молниевой активности из космоса

День космической науки, ИКИ РАН, 04 октября 2013г.

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

Управление проектом «Чибис-М»

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.

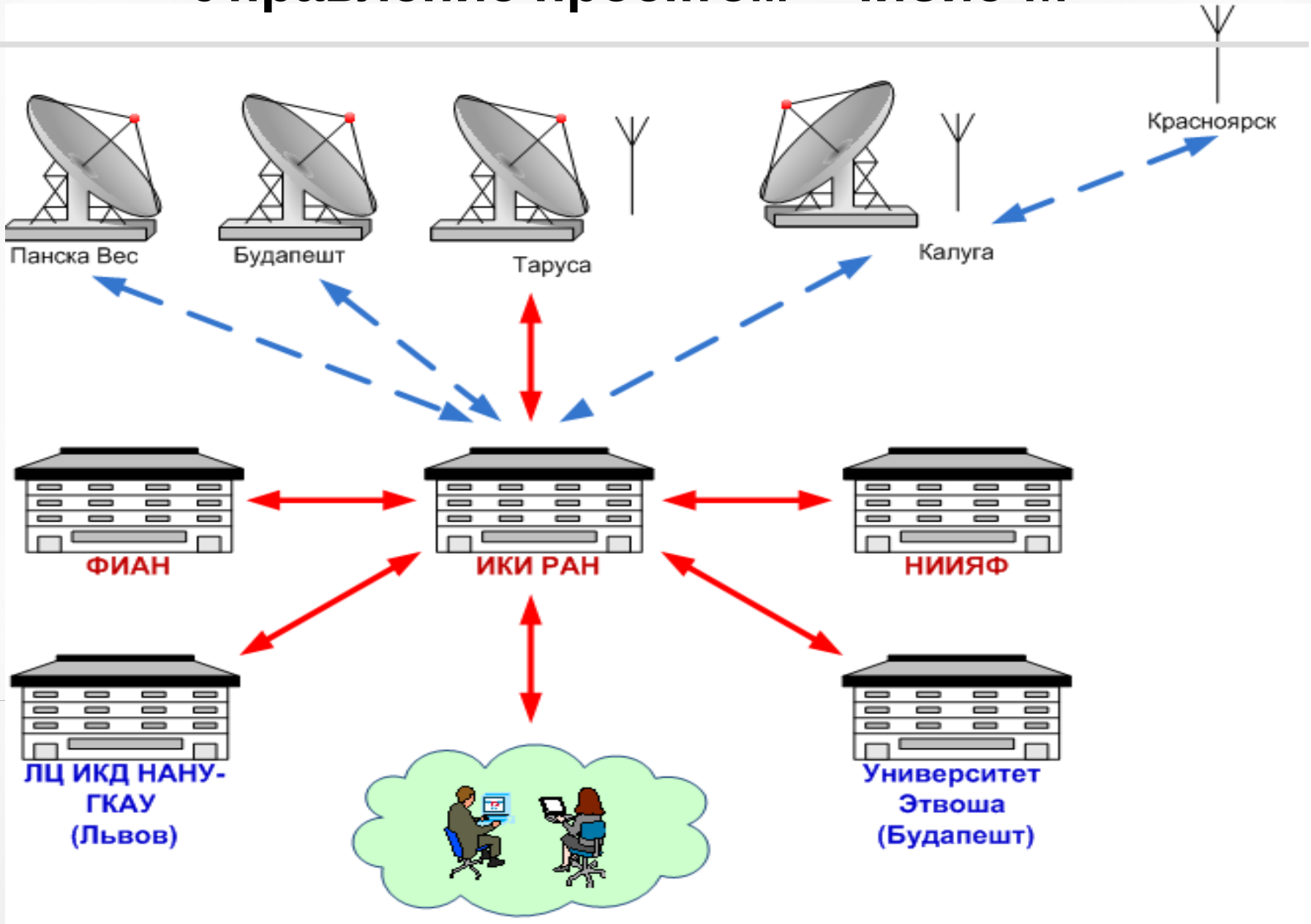
Связь с микроспутником осуществляется в диапазонах :

145 МГц для передачи команд управления на борт и 435 МГц для передачи служебной телеметрии на Землю.

Эти диапазоны применяются для радиолюбительской, 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»



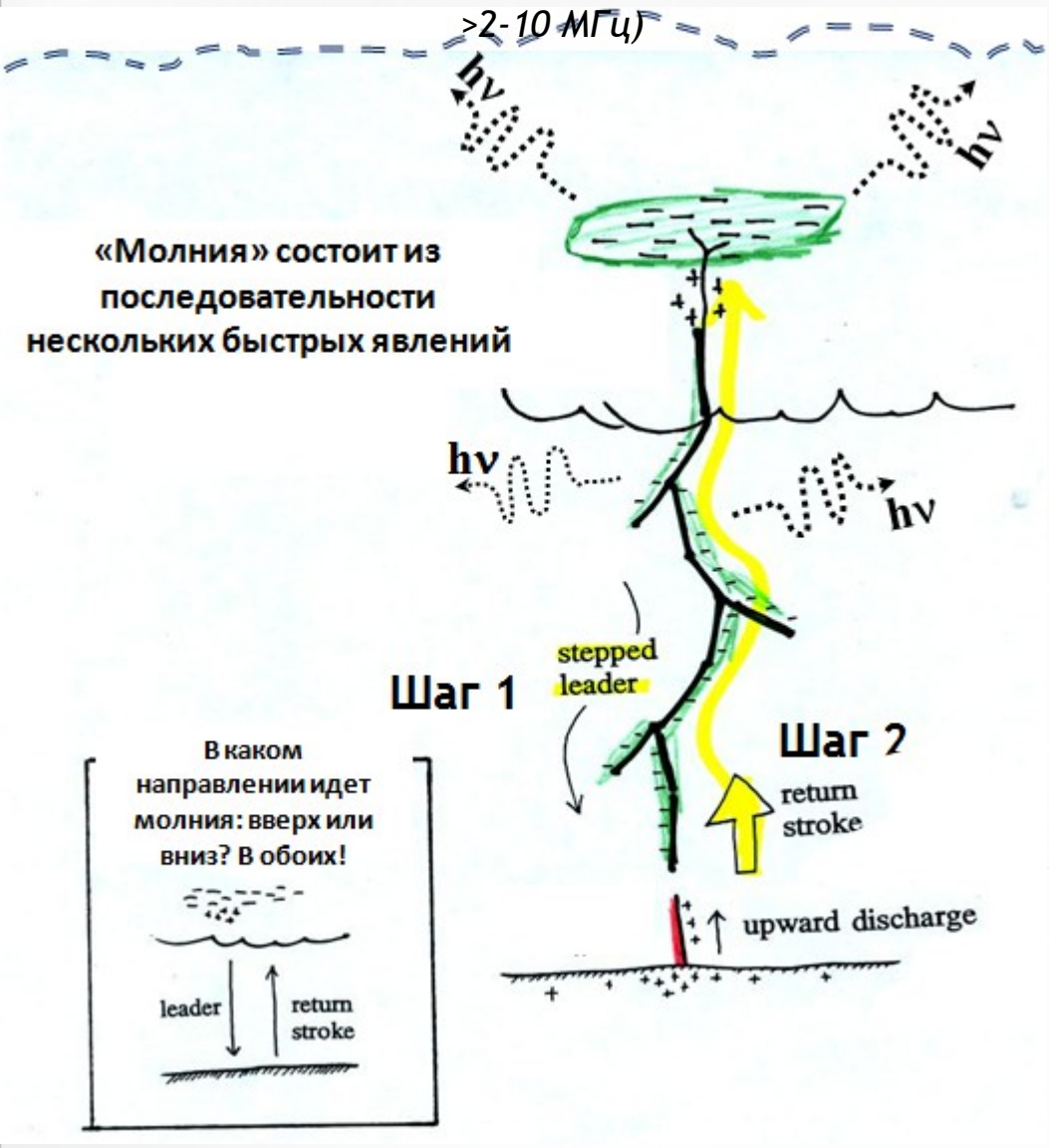
КНА «Гроза»

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

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

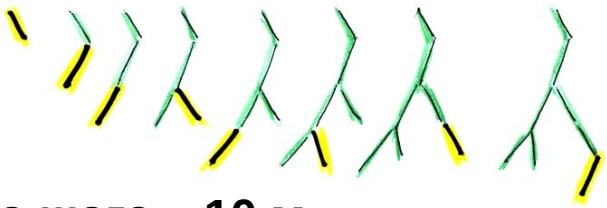
ИОНОСФЕРА

(проходят радиоволны с частотой больше плазменной, >2-10 МГц)



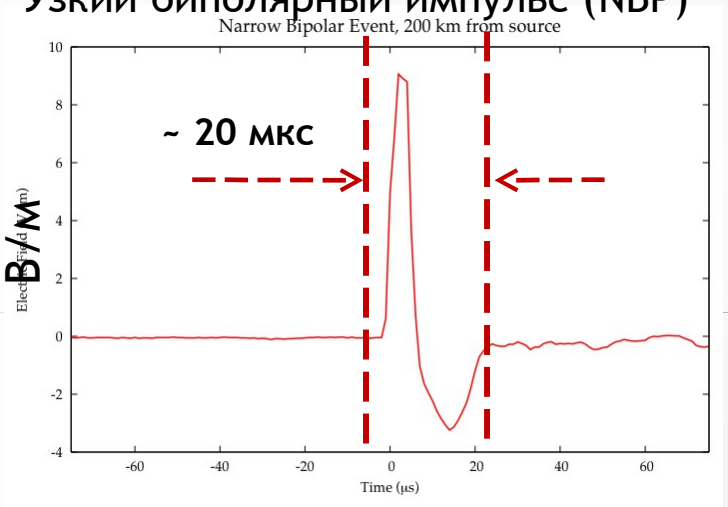
Stepped leader
Ступенчатый лидер

Интервал между шагами ~ 10 м



длина шага ~ 10 м

Узкий биполярный импульс (NBP)



Микроспутник **«Чибис-М»**
в ходе проведения измерений на орбите
должен решать следующие научные задачи по изучению:

1. ступенчатого лидера высотных молний
2. узких биполярных радио-импульсов
3. фона радиоизлучений в диапазоне 20-50 МГЦ
4. • всплесков УФ излучения
5. • электромагнитных параметров космической
   • погоды в диапазоне 10^{-2} – $2*10^{5}$ Гц

Приборный состав КНА «Гроза» и научная кооперация:

РГД
- Рентген-гамма детектор (НИИЯФ)
- рентгеновское и гамма-излучение 0.02-1.0 МэВ

ДУФ
- Детектор ультра-фиолетовый (НИИЯФ)
- от УФ (180-400 нм) до ИК (650-800нм)

РЧА
- Радиочастотный анализатор (ИКИ РАН)
- диапазон частот 26 - 48 МГц

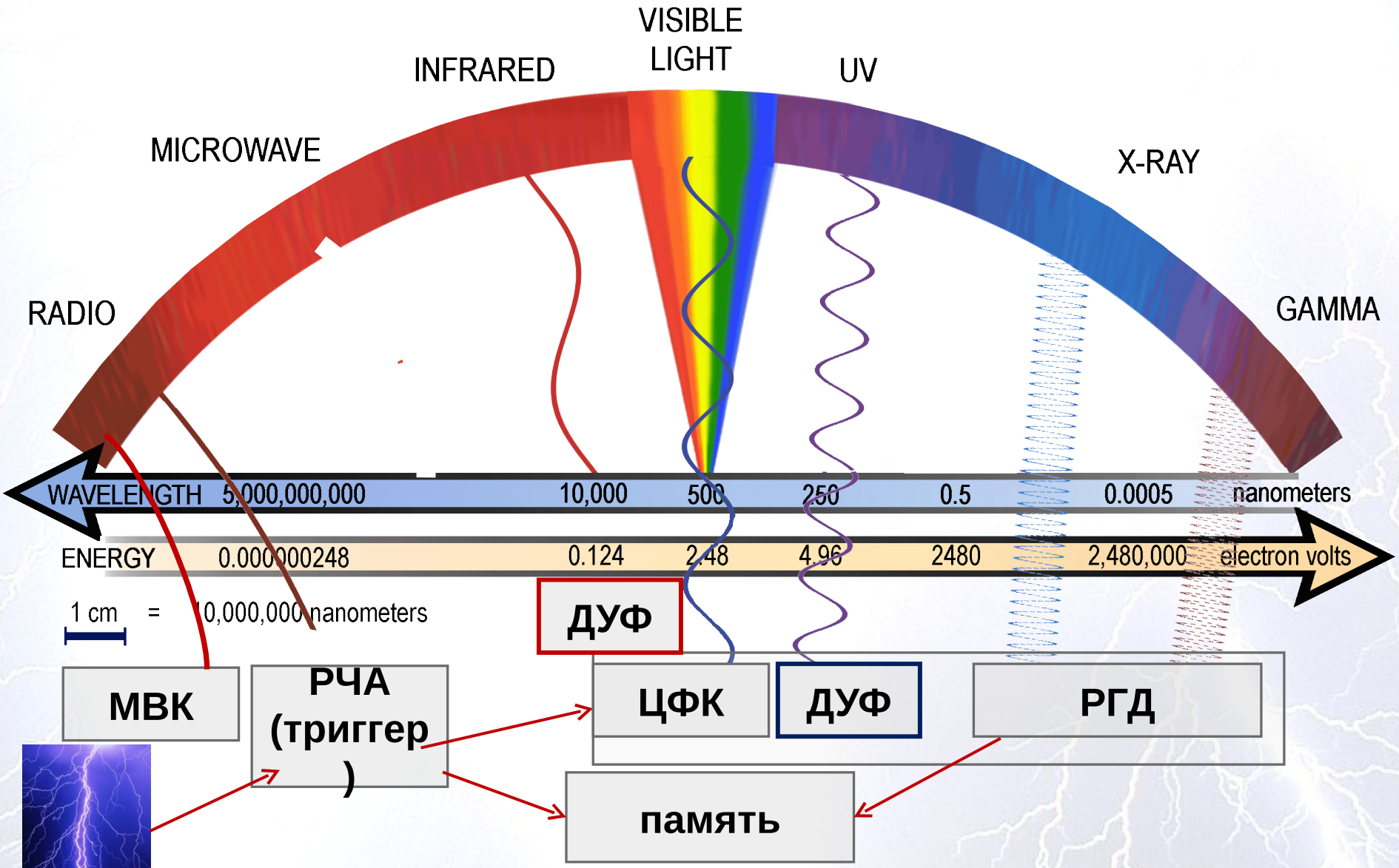
ЦФК
- Цифровая камера (ИКИ РАН)
- с пространственным разрешением 300 м и экспозицией 15 кадров/сек

МВК
- Магнитно-волновой комплекс (Украина+Венгрия)
- диапазон частот 100 - 40000 Гц

БНД
- Блок накопления данных

ПРД2.2
- Передатчик 2.2 ГГц с антеннами - ПРД2.2 (ИКИ РАН)

Приборный состав КНА «Гроза»



Рентген-гамма детектор РГД.

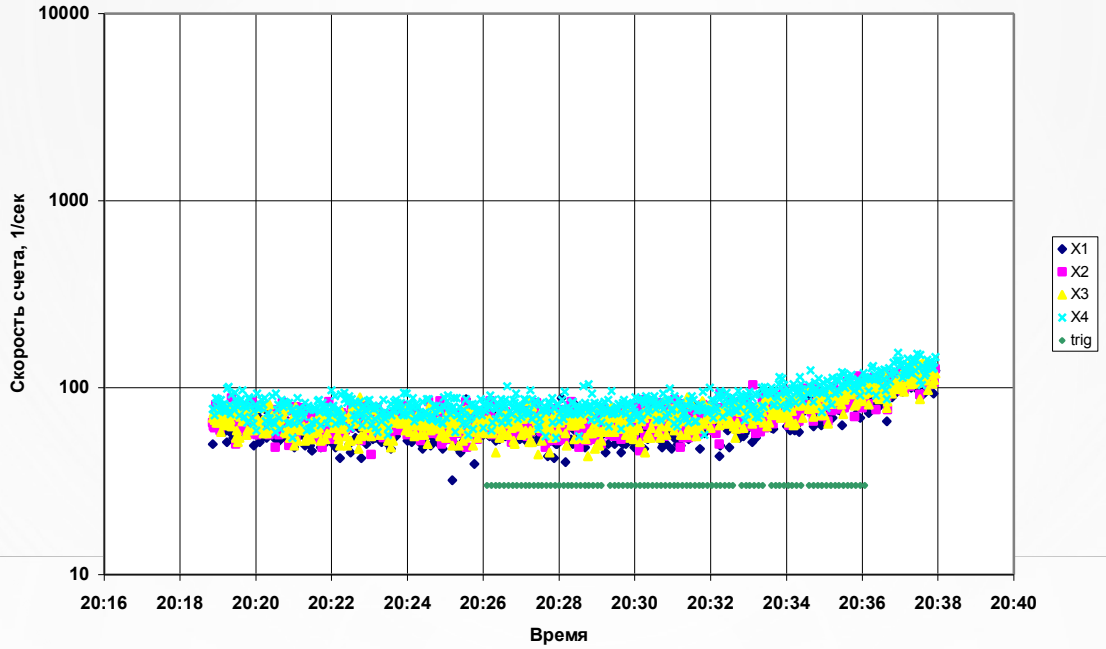
Во время измерений прибором РГД записываются два типа массивов данных: мониторный и всплесковый.

Мониторные данные представляют собой временные ряды средних за 1.6 с интегральных скоростей счета гамма-квантов (т.е. с энергией выше порогового значения) в каждом из 4-х детекторов прибора.

Формирование всплесковых массивов происходит в результате срабатывания триггера от того из приборов, установленных на спутнике, который назначен ведущим, либо по собственному триггеру РГД. За время работы прибора было получено ~11300 всплесковых массивов, большая часть которых соответствовала собственному триггеру РГД.

Рентген-гамма детектор РГД.

Режим работы прибора РГД по собственному триггеру установлен так, что на экваторе триггер РГД формируется регулярно, примерно через каждые 6 секунд. Если фоновые скорости счета выше некоторого уровня, то триггер не формируется. За одно прохождение экватора вырабатывается несколько десятков собственных триггеров.



Скорости счета 4-х детекторов РГД 4 ноября 2012 г., а также моменты формирования всплесковых массивов. РГД работал по собственным триггерам (trig).

Рентген-гамма детектор РГД.

Работа КНА «Гроза» по триггеру грозового события, вырабатываемому РЧА, способствовала накоплению РГД массива «потенциальных событий» на регистрацию гамма-излучения от высотных атмосферных грозовых разрядов.

Разработанная методика коррелированного анализа массива РГД с массивом РЧА будет способствовать нахождению реальных грозовых событий, сопровождаемых одновременно гамма- и радио- излучениями.

Общее время экспозиции РГД составило ~270 ч, что соответствует объему данных ~582 Мбайт.

Радиочастотный анализатор РЧА.

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 (заголовок, нумерация и т.д.).

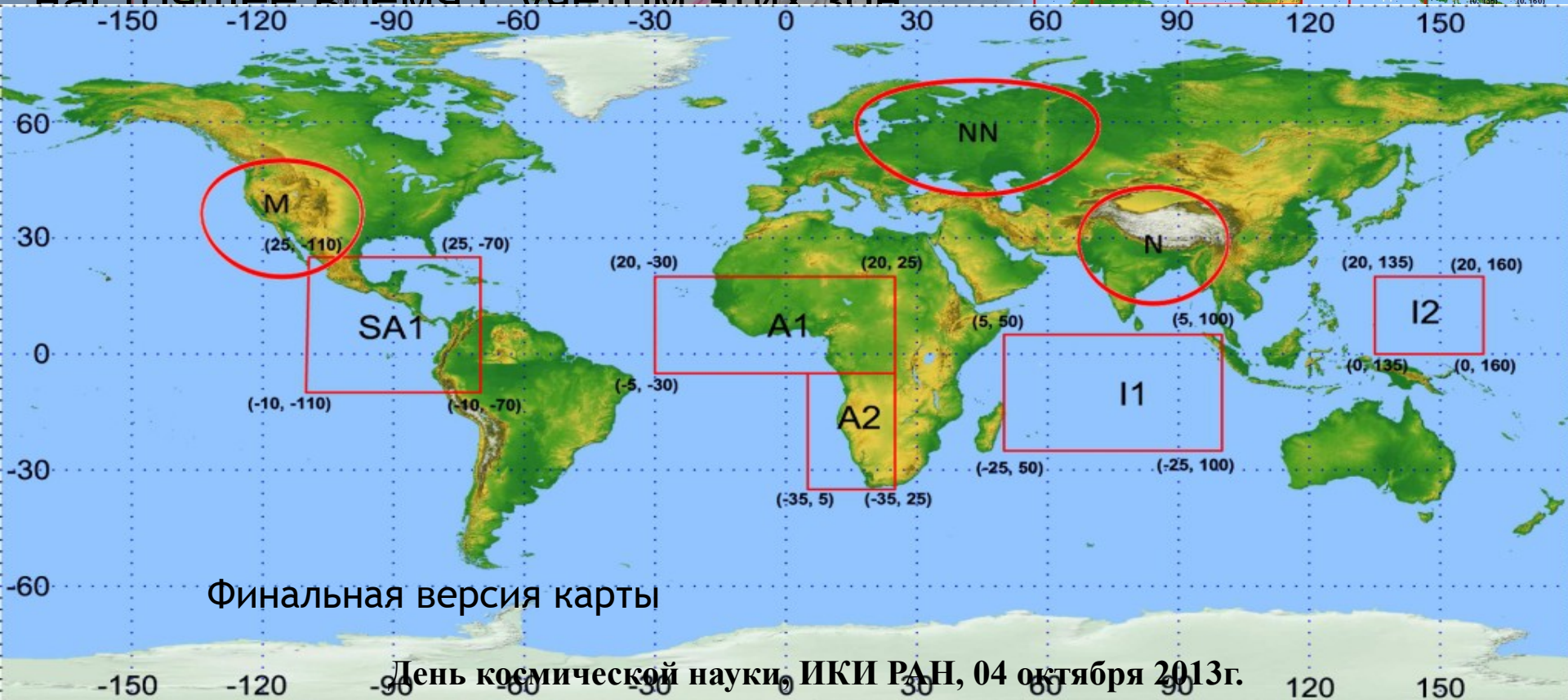
В КП пишется только событие соответствующее критерию СП. При отсутствии события в КП пишется следующий цикл возможного события.

Радиочастотный анализатор 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	
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	

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.



Финальная версия карты

Радиочастотный анализатор РЧА.

Спектр излучения молнии, полученный сетью наземных измерительных пунктов. Флорида, США.

Willett, J. C. et al. (1990). **Lightning electromagnetic radiation field spectra in the interval from 0.2 to 20 MHz.** *JGR*, *95*(D12), 20367.

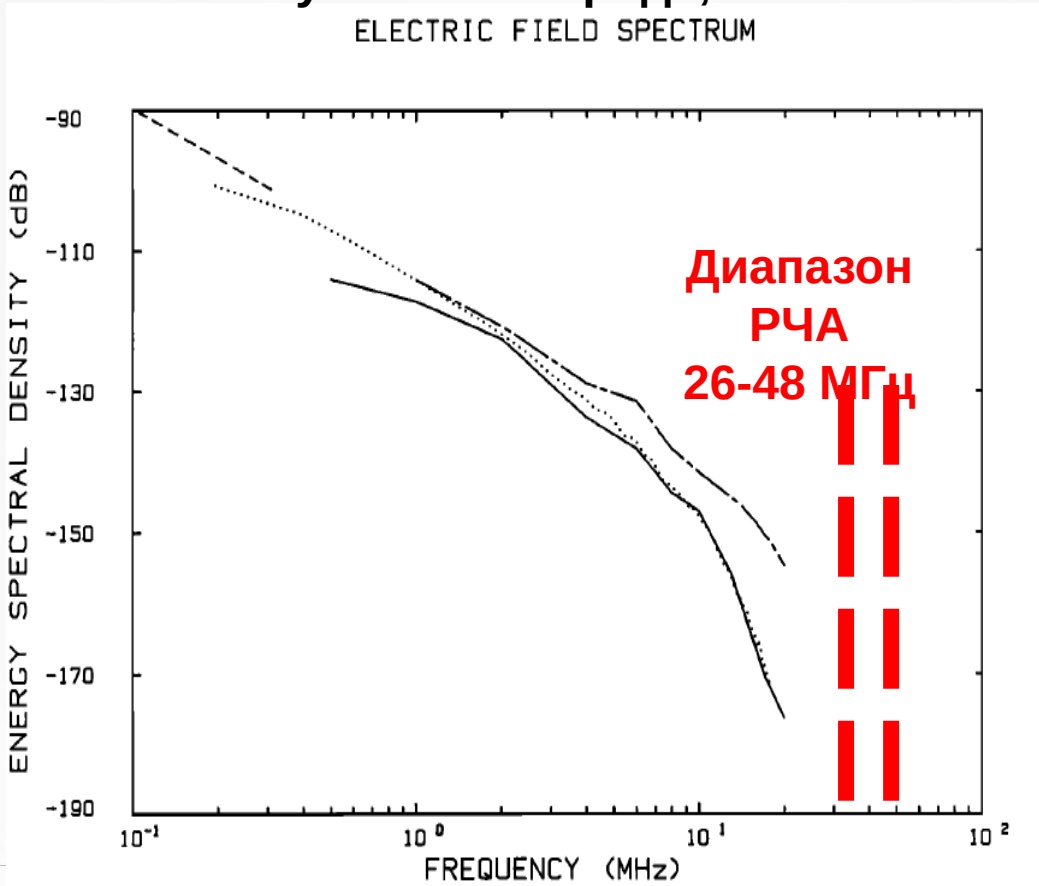


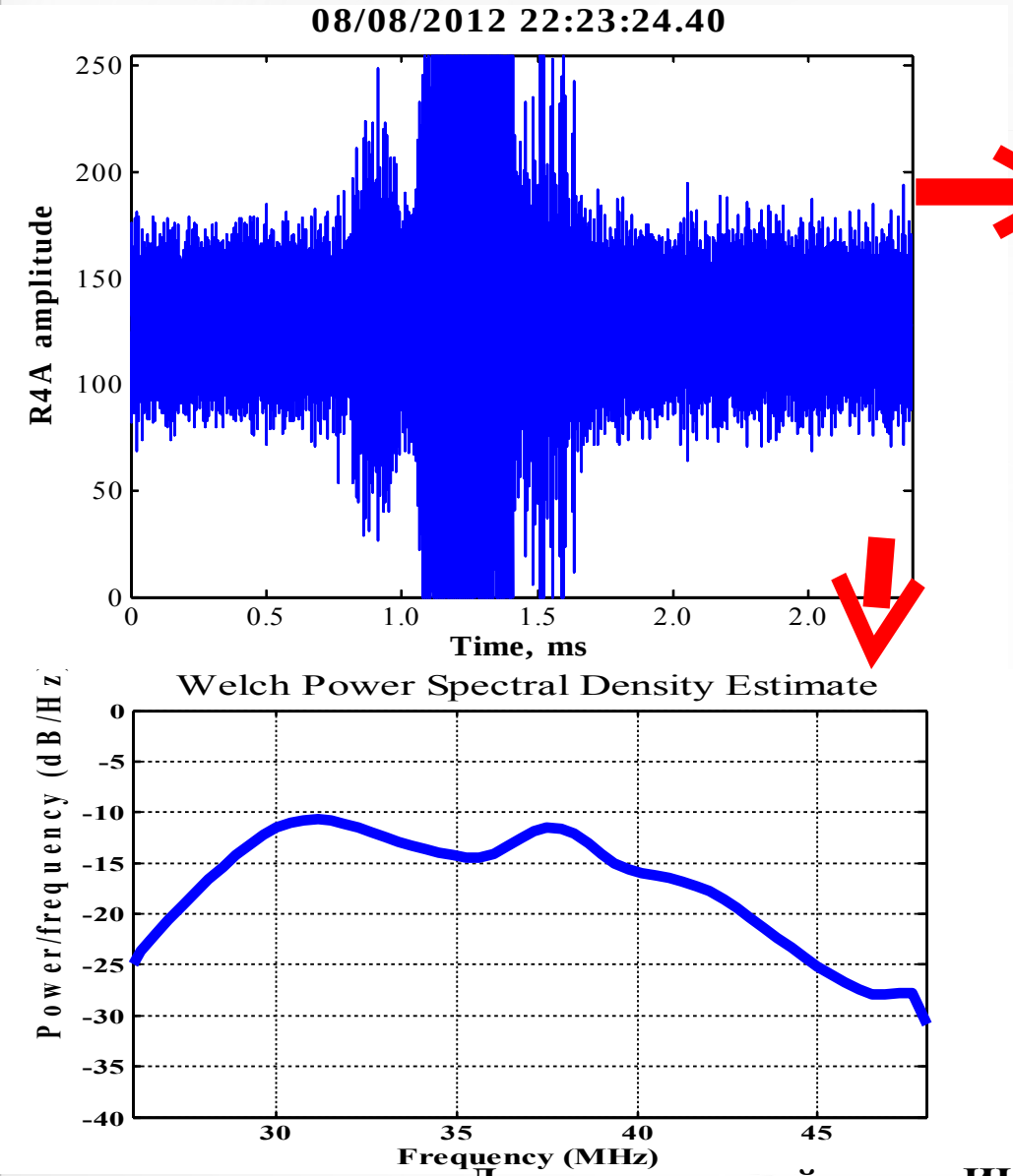
Fig. 5. Our average spectrum of first return strokes (dotted curve) compared with those of *Weidman et al.* [1981] (solid), of *Weidman and Krider* [1986] (dot-dashed), and of *Serhan et al.* [1980] (dashed). (The two curves of Weidman are geometric means as opposed to our arithmetic mean.) The magnitudes of the last three spectra have been doubled to account for the factor of 2 in (A2).

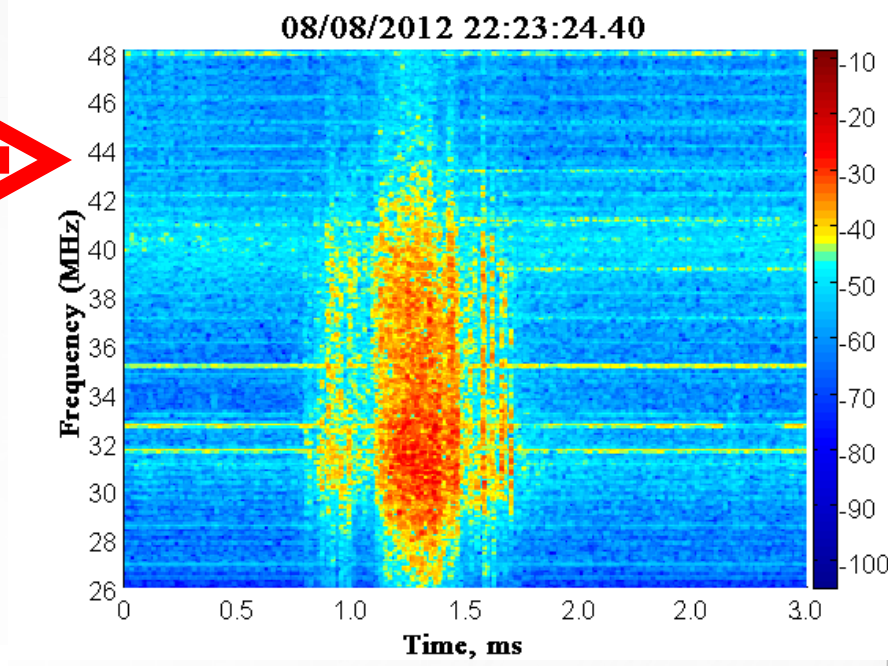
Диапазон измерений РЧА показан красными линиями.
Измерения в указанном диапазоне для ступенчатого лидера не проводились.

Радиочастотный анализатор РЧА.

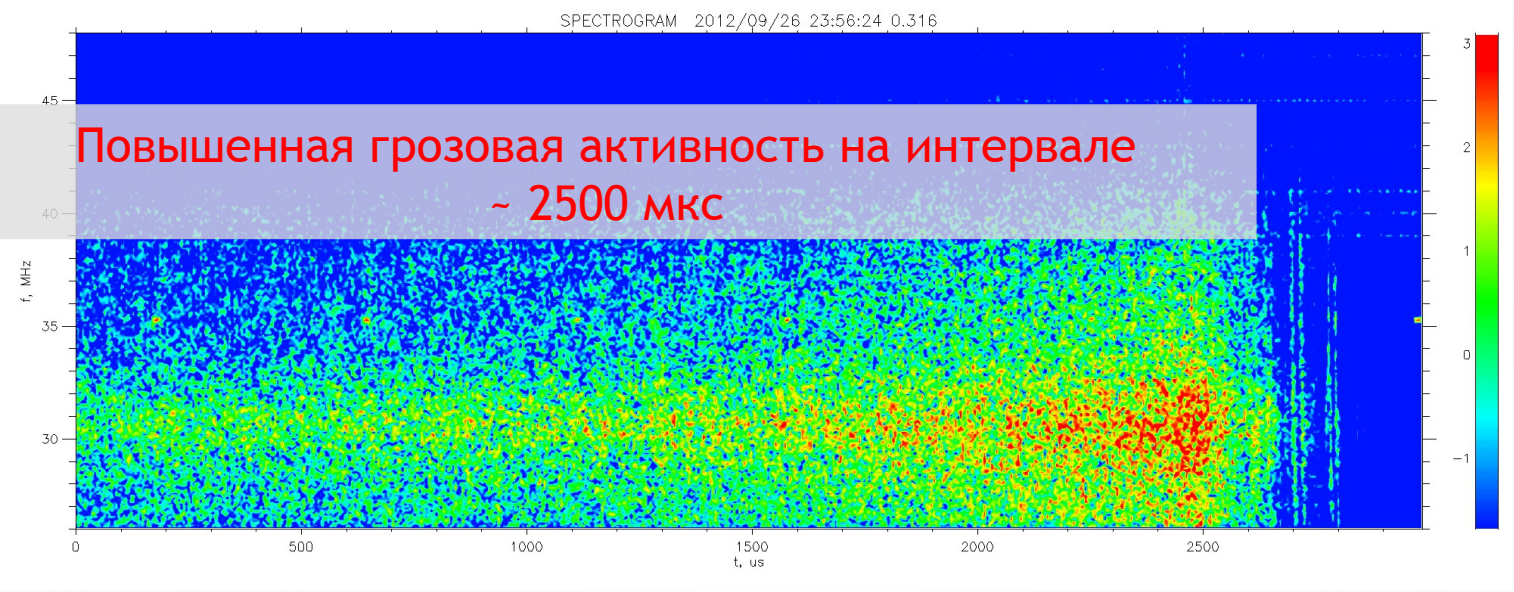
Измерения прибором РЧА электромагнитной активности в полосе частот 26-48 МГц показали, что на самом деле пространственная структура грозового фронта имеет многомасштабный характер, а, если быть более точным, распределение заряженных ячеек случайно и может быть описано в рамках фрактальной топологии. Применение этой методики может существенным образом скорректировать оценки скорости генерации окисей азота в грозовой области и вклад молний в атмосферную химию и климат.

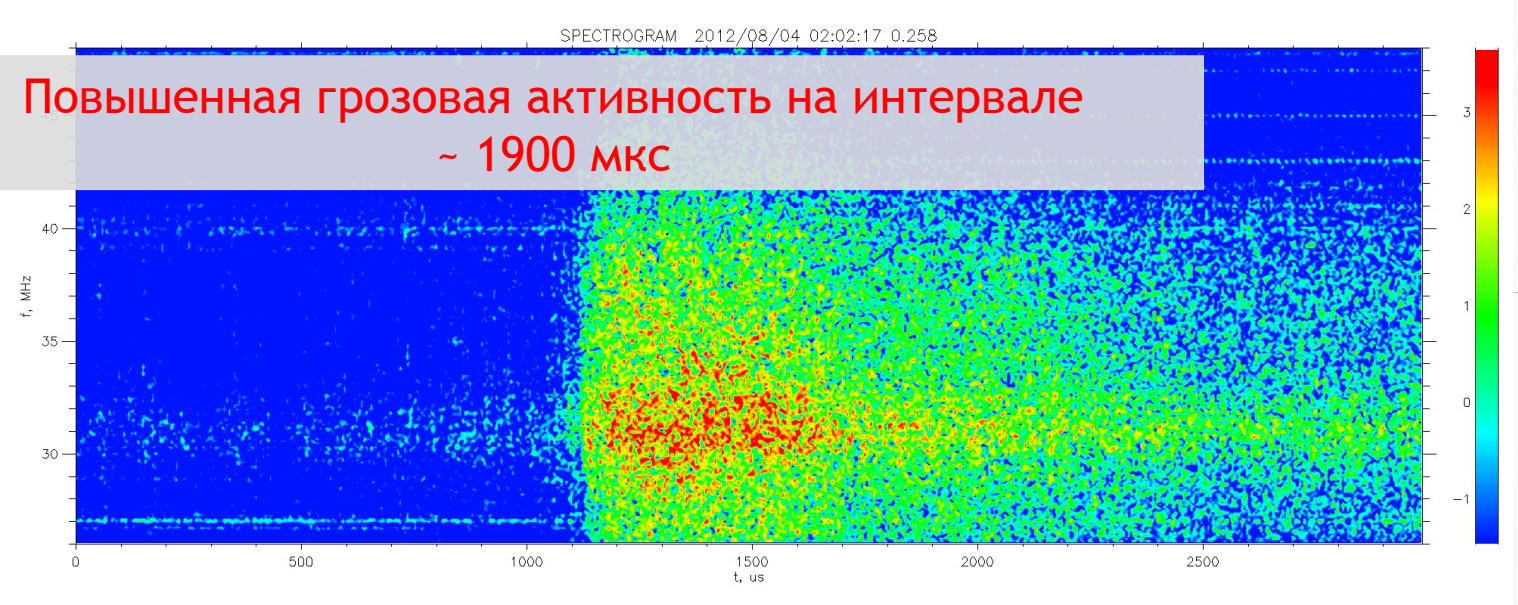
Радиочастотный анализатор РЧА.



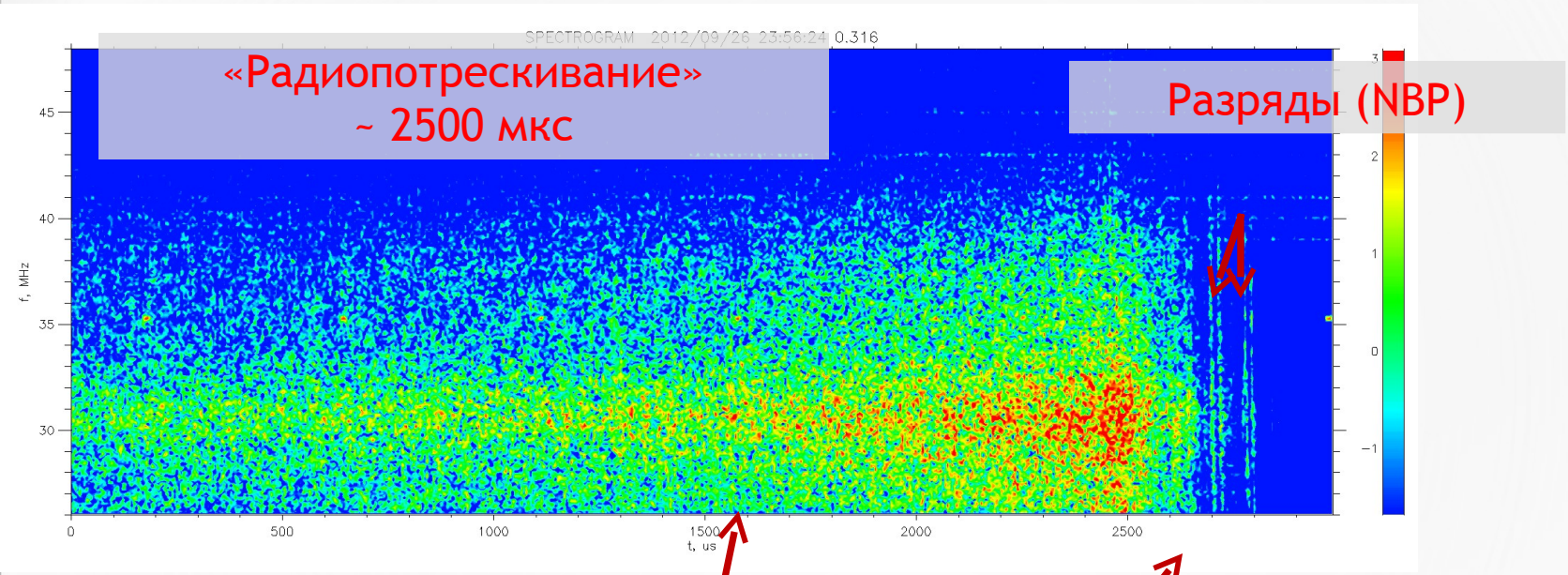


Радиочастотный анализатор РЧА.

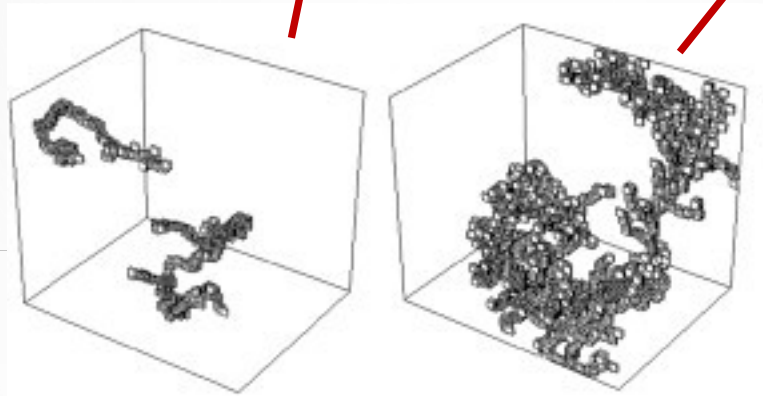




Радиочастотный анализатор РЧА.



Непрерывное формирование «коротких» кластеров источник «радио -потрескивания»



Численное моделирование формирования заряженных кластеров в облаке

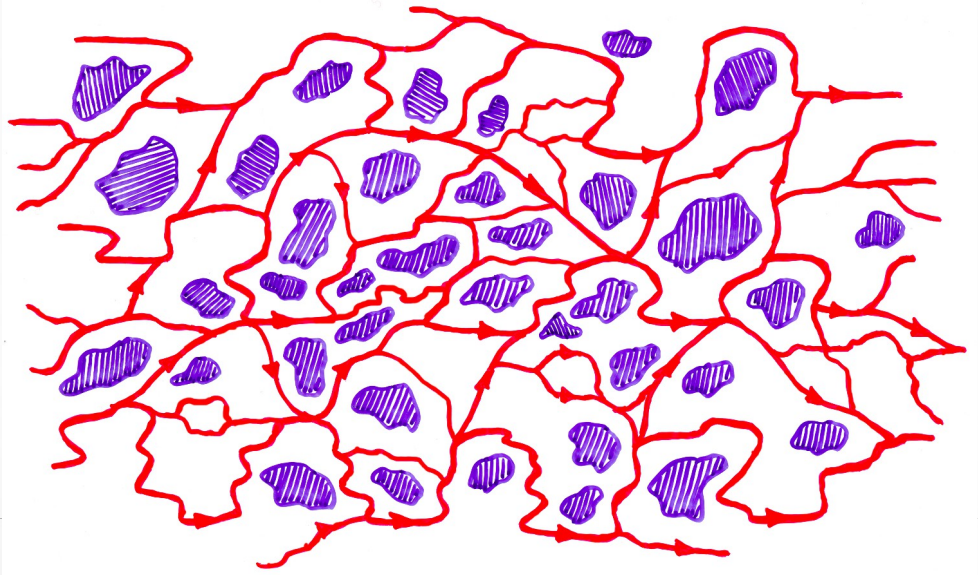
Hayakawa, M., Iudin, D. I., & Trakhtengerts, V. Y. (2008). **Modeling of thundercloud VHF/UHF radiation on the lightning preliminary breakdown stage.** *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, *70*(13), 1660–1668.

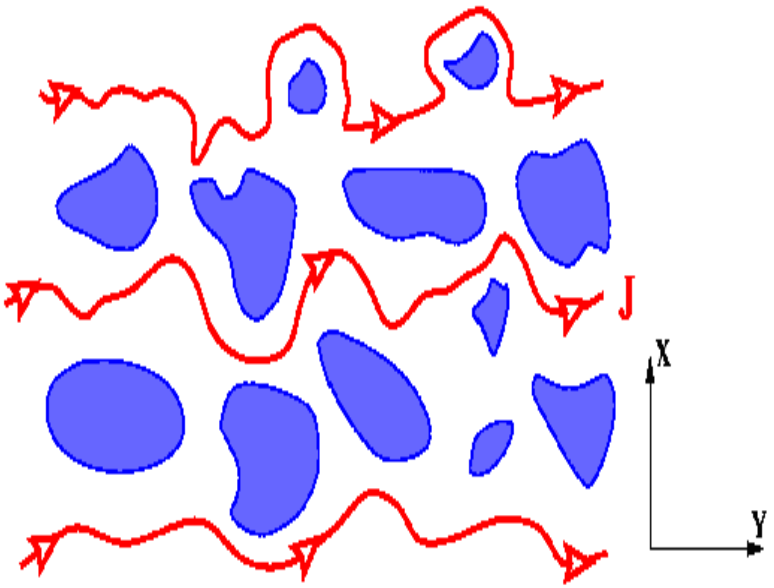
L. Zelenyi, A. Milovanov, H. Malova, A.Petrukovich.

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 - *фрактала* временных серий и *D* - *фракталов* пространственных.

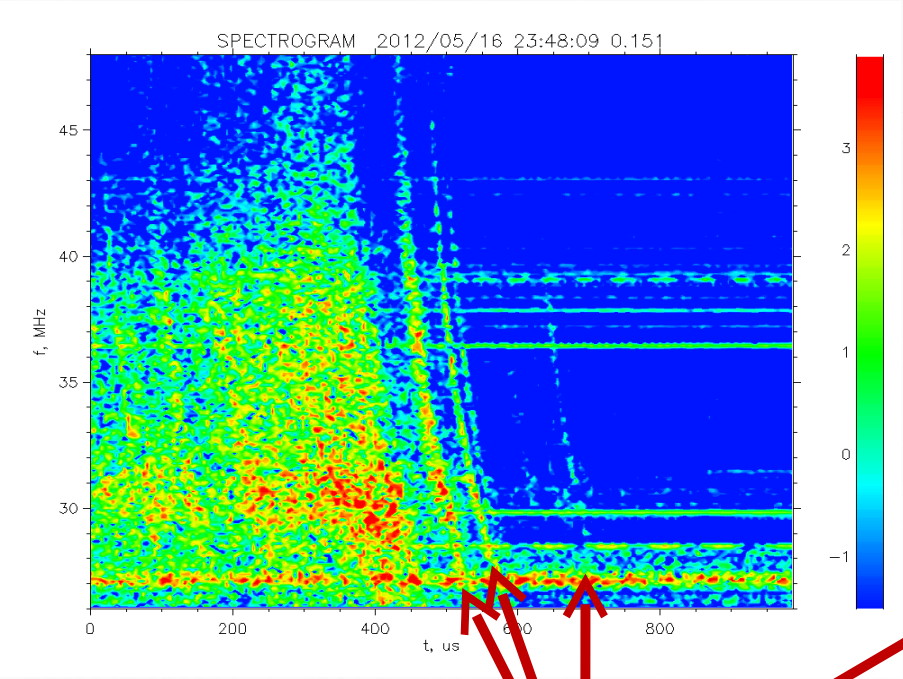


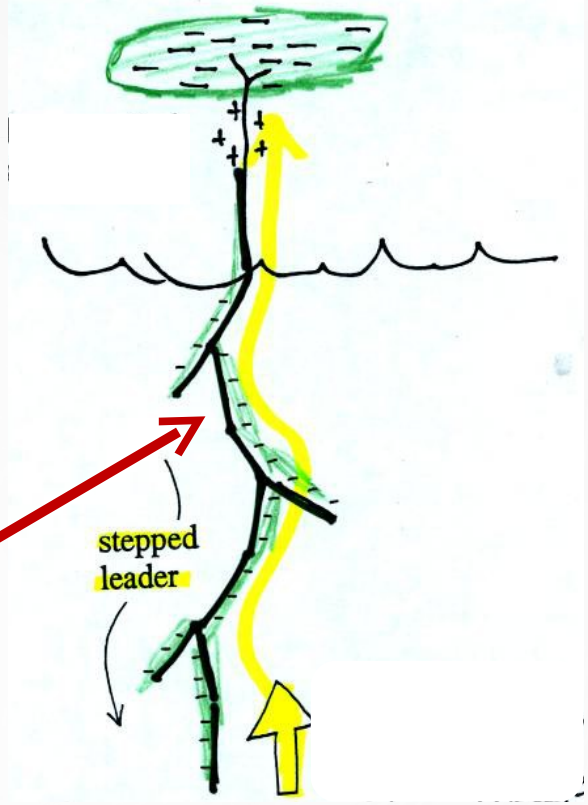


Эти фрактальные преобразования могут реализовываться при формировании микроразрядов и основного разряда в наэлектризованных облаках.

Радиочастотный анализатор РЧА.

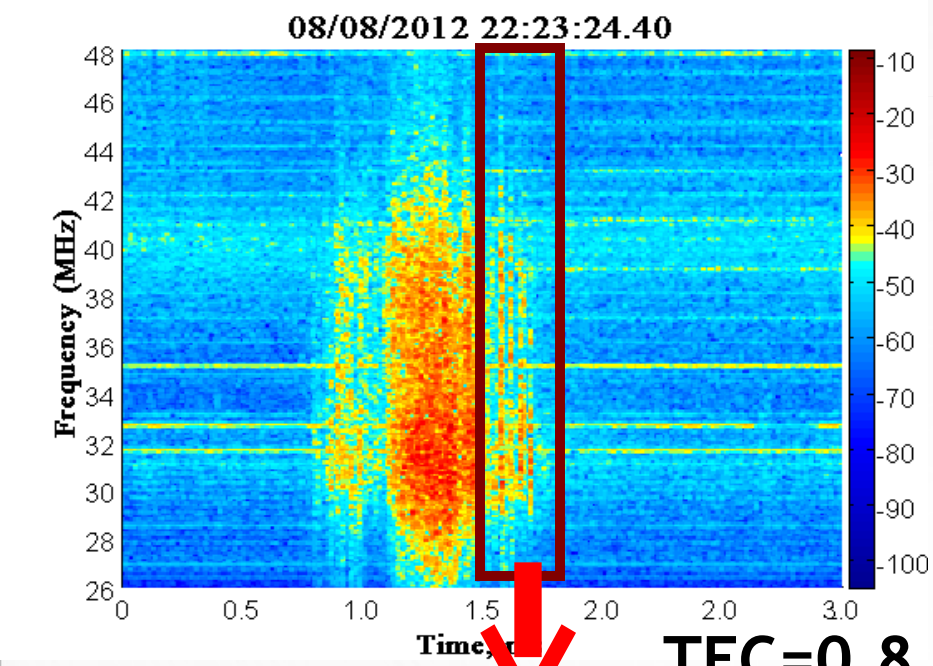
Пример регистрации step leader’a.





Множественные короткие разряды, следующие с интервалом 50…100 мкс в течение ~ 1 мс (step leader)

Радиочастотный анализатор РЧА.
Вычленение влияния ионосферы

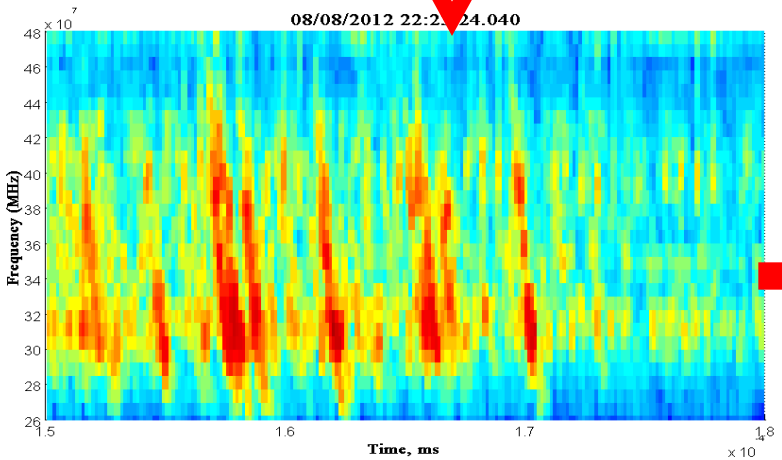


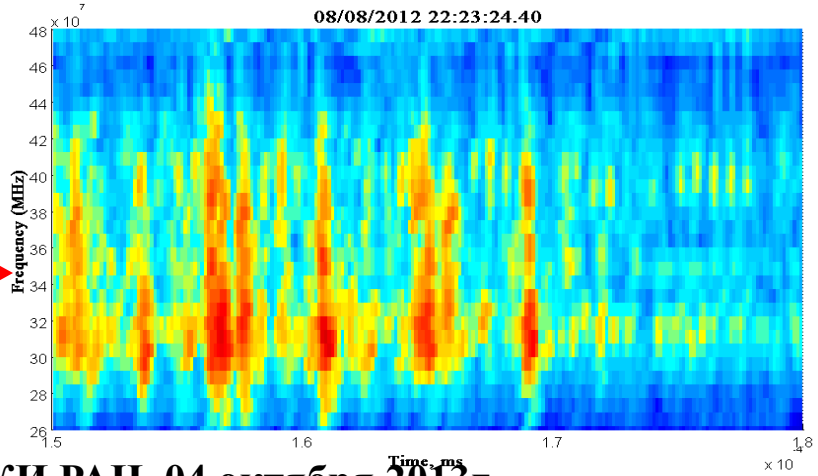
Каждое регистрируемое РЧА событие имеет групповую задержку порядка **f**$^{-2}$ после прохождения ионосферы, которую примерно можно оценить как:

$$(\quad s) \quad 1.34 \quad N \quad 10^{17} m^{2} \quad f \quad 100 MHz^{2}$$

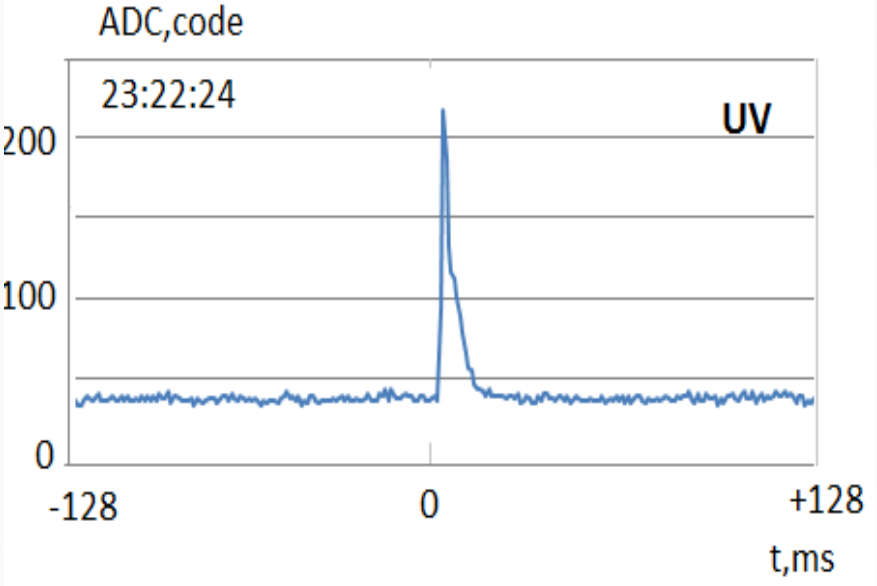
где **f** – это радиочастота; **N** – интегральное содержание свободных электронов вдоль луча распространения волны (**T**otal **E**lectron **C**ontent - **TEC**)

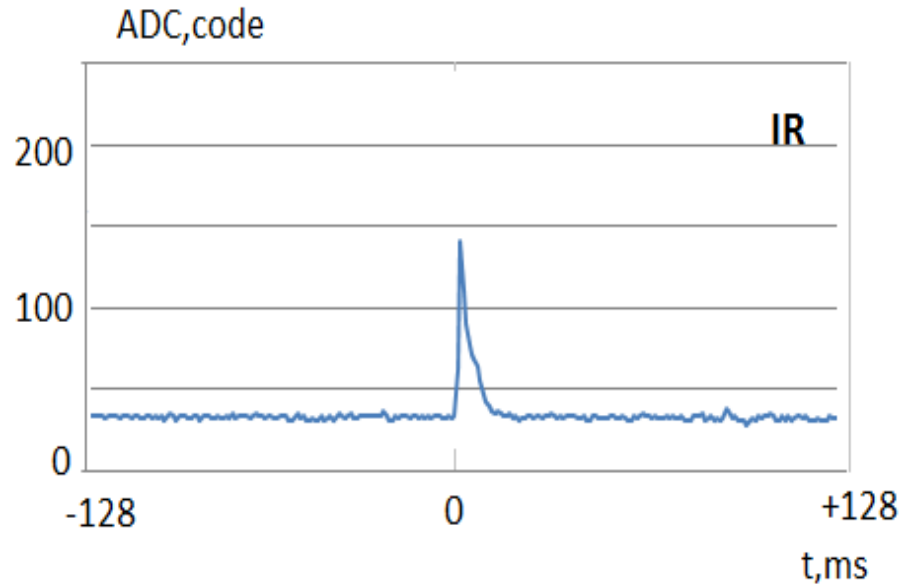
TEC=0.8 10^{17} **m**$^{-2}$





Детектор ультрафиолета ДУФ.
Событие 21 июля 2012г.



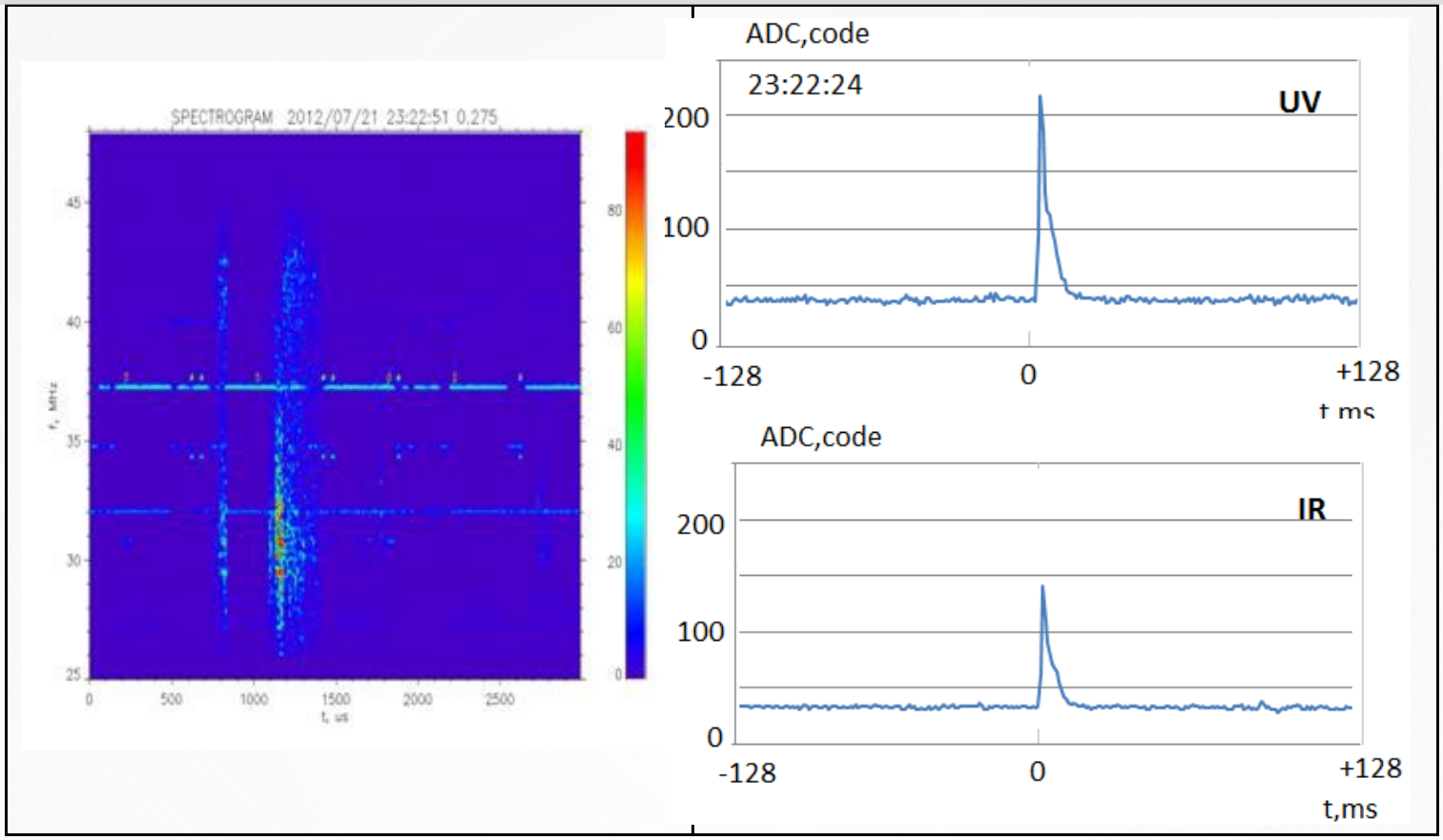


Спектральный, автокорреляционный и кросс-кореляционный анализ этого события подчёркивает «грозовой» характер данного события.

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

КНА «Гроза».

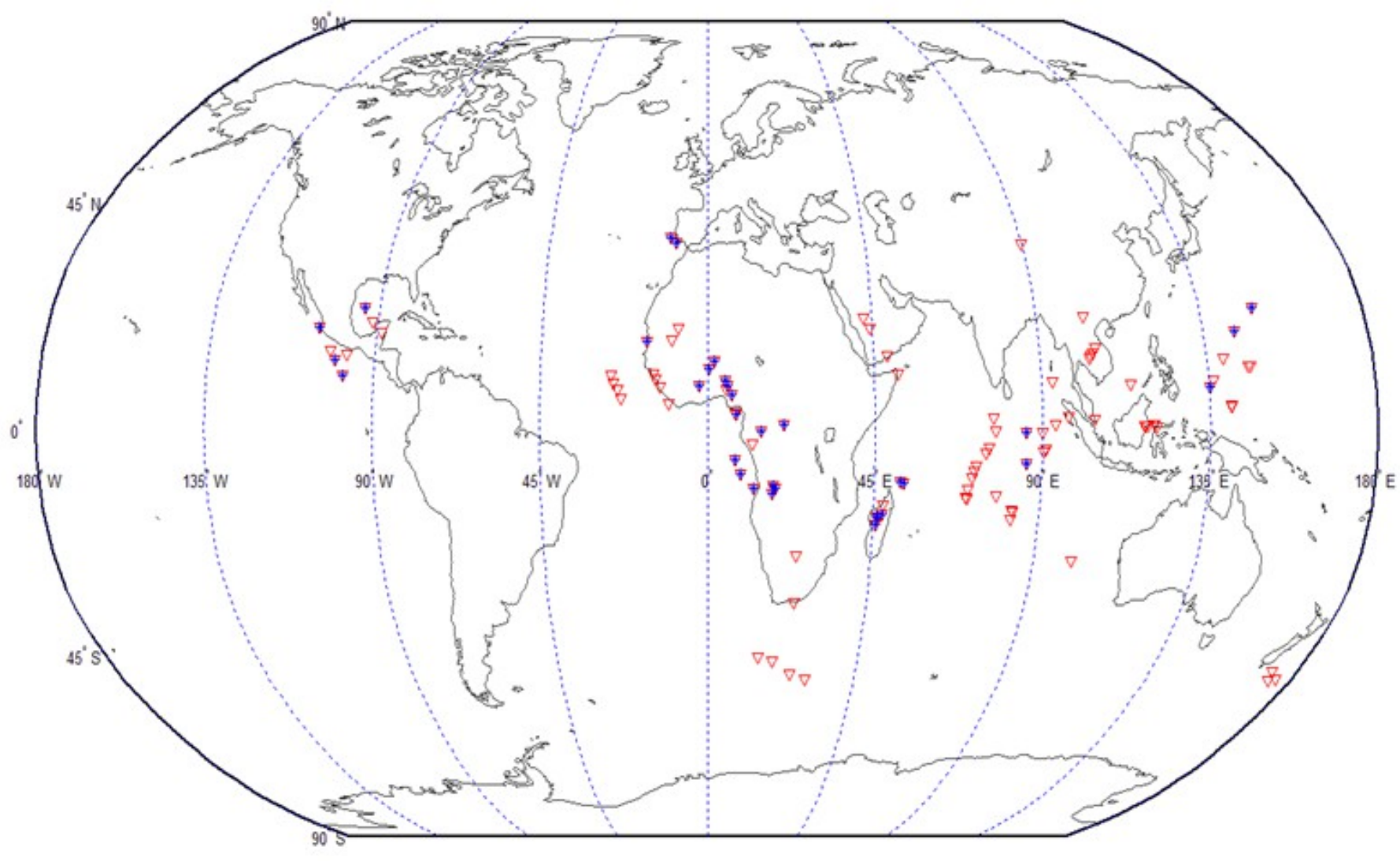
РЧА, ДУФ. Событие 21 июля 2012г.



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

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

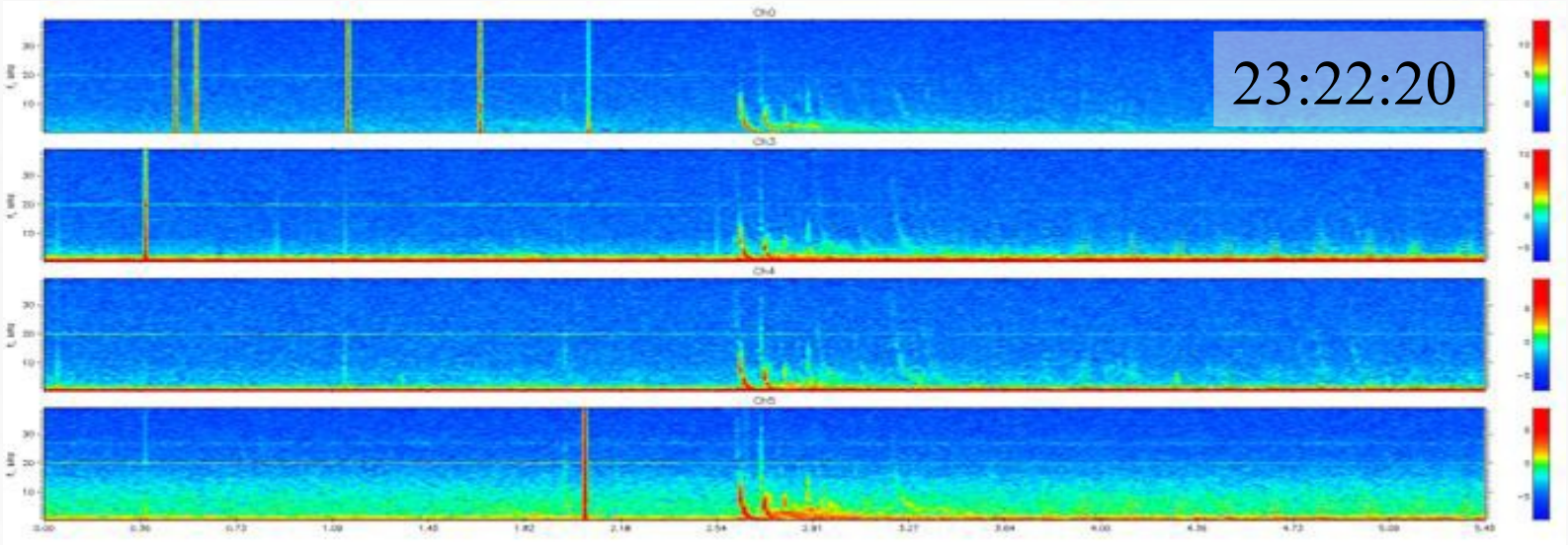
Карта совместных измерений РЧА+ДУФ

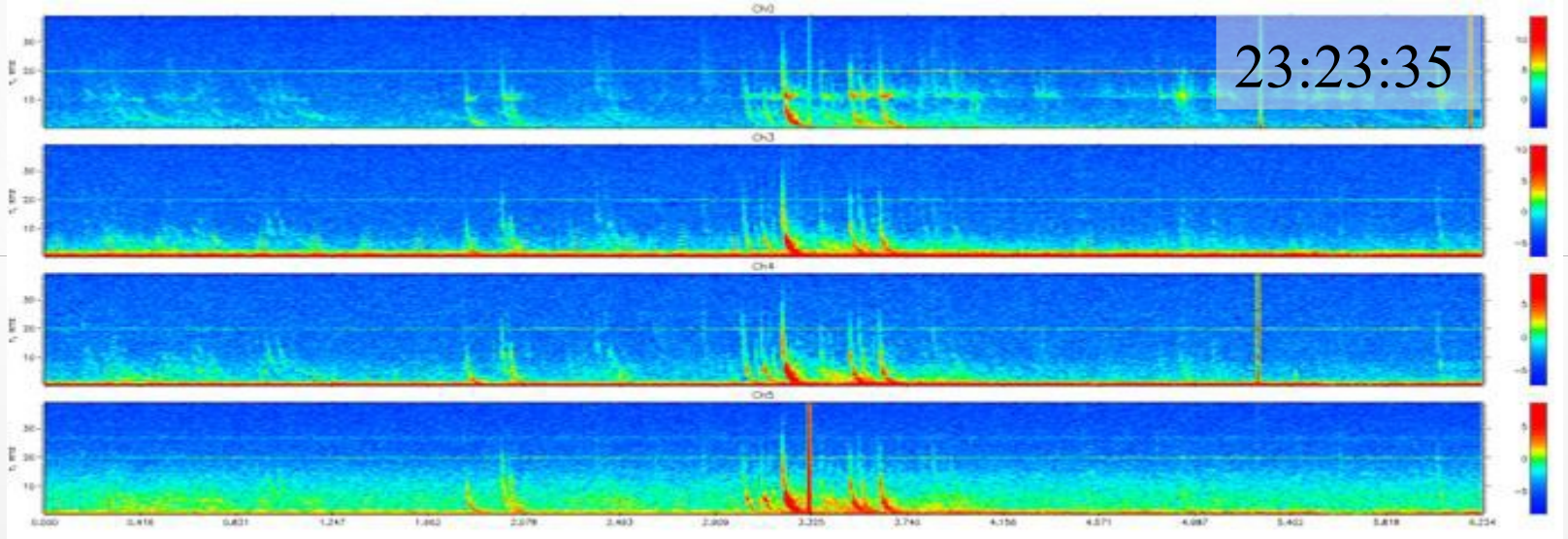


Синим цветом отмечены грозовые центры, молниевая активность (красный) которых наблюдалась одновременно приборами **РЧА** и **ДУФ**

Магнитно-волновой комплекс МВК.

Событие 21 июля 2012г.





Рентген-гамма детектор РГД.
Событие 21 июля 2012г.

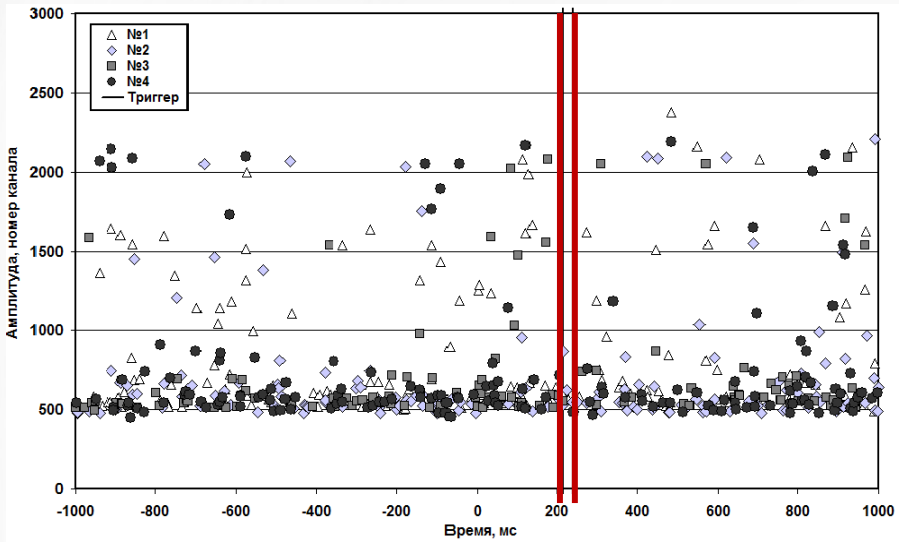
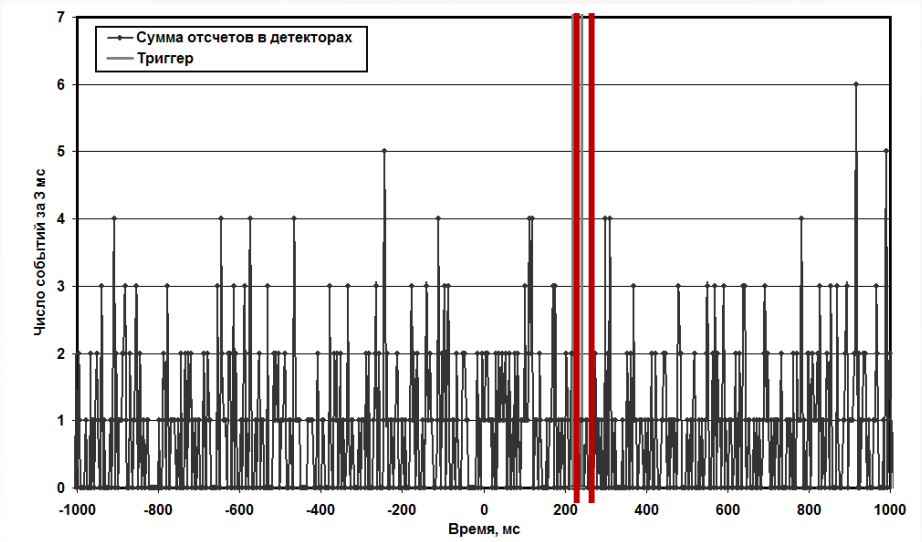


Диаграмма время-амплитуда всплескового массива, сформированного по триггеру РЧА.

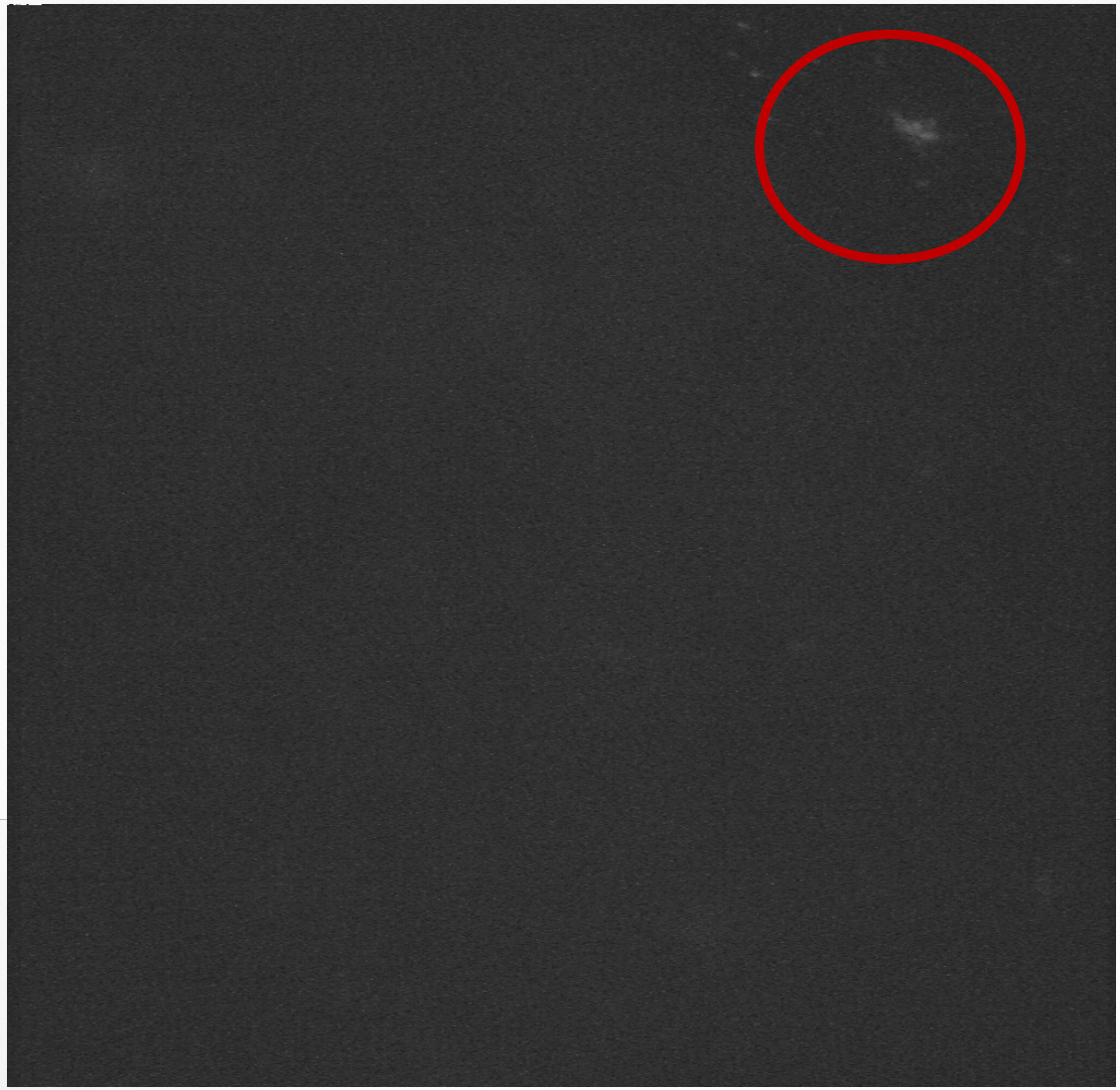


Временной ход суммарного числа случаев взаимодействия 4-х детекторов за 3 мс

Момент триггера лежит в пределах, отмеченных на рисунке вертикальными линиями, соответствующими границам времени фиксации первого из после-триггерных событий в детекторах. Точность привязки временной шкалы к моменту триггера определяется статистикой и как правило составляет ~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.

Цифровая фотокамера ЦФК
Событие 20 декабря 2012г.

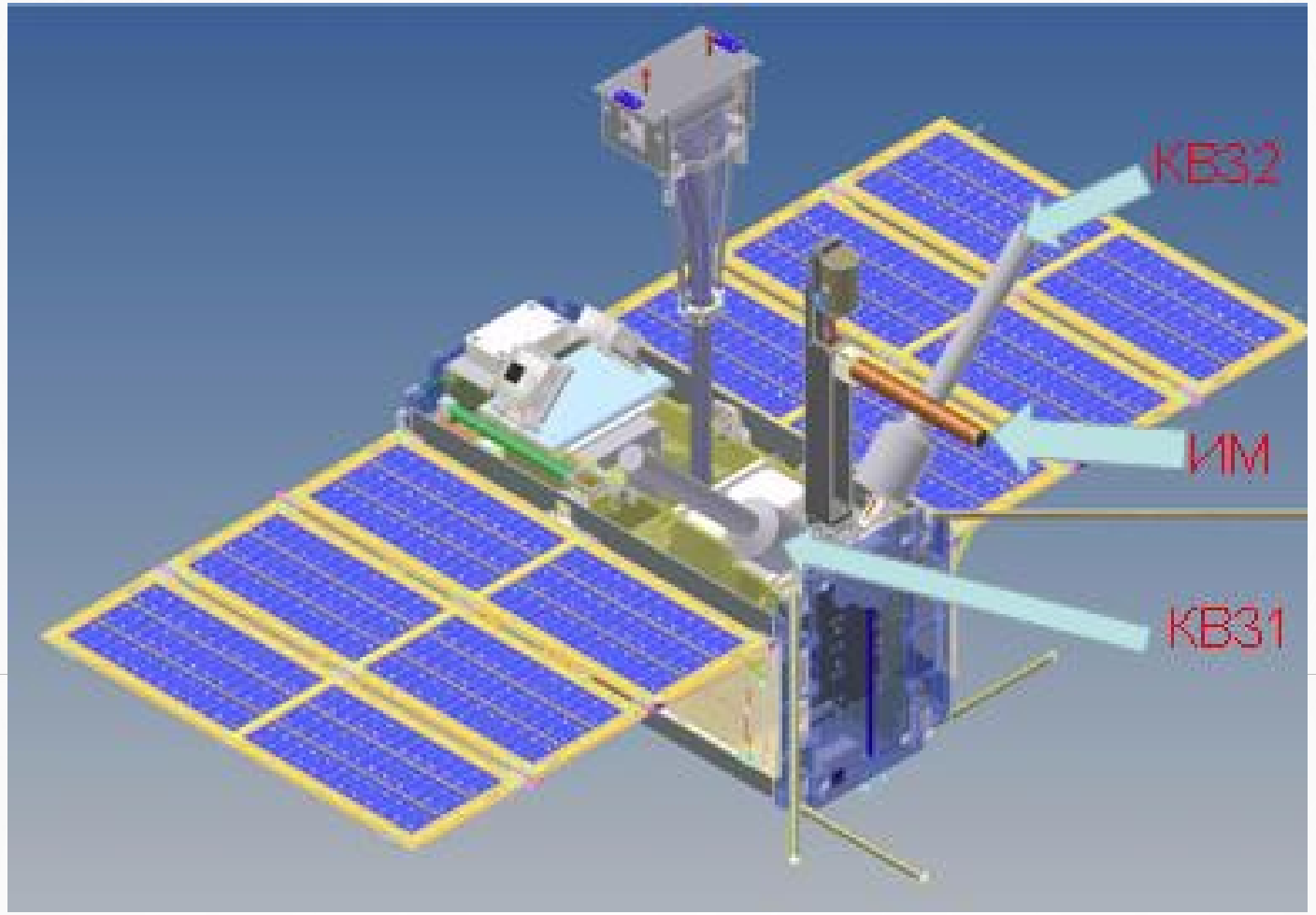


UT 16:13:50

Цифровая камера сделала снимок по команде триггера, выработанного радиочастотным анализатором (РЧА).
В центре круга отмечен объект, похожий на «молнию».

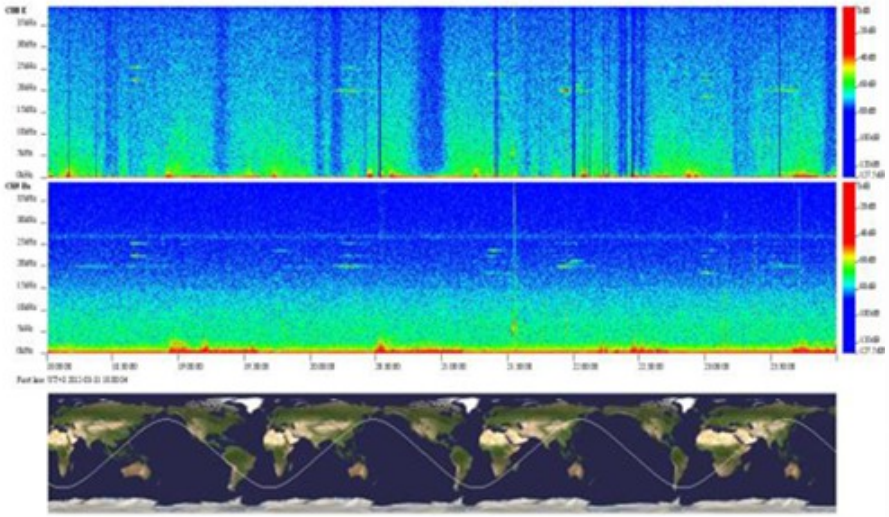
Высокий уровень фона и малая чувствительность камеры не позволили однозначно идентифицировать молнию!

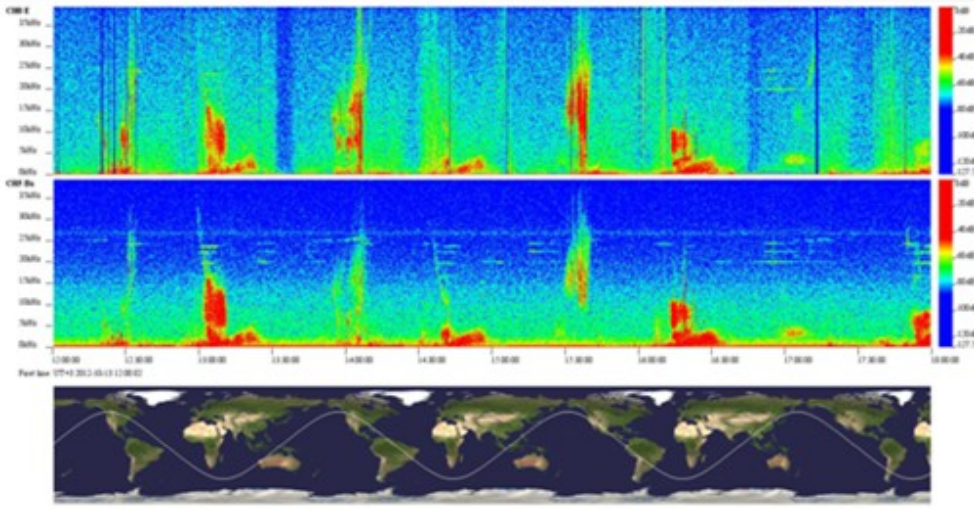
Ионосферные электромагнитные параметры космической погоды



Реализованная на «Чибис-М» конфигурация датчиков магнитно-волнового комплекса (МВК) позволяет проводить векторные измерения магнитной компоненты низкочастотный излучений КНЧ-ОНЧ - эмиссий (0,3 - 30,0 кГц) и одной компоненты электрического поля, тем самым возможно исследование физических процессов, протекающих в ионосфере под действием природных и техногенных факторов.

Ионосферные электромагнитные параметры космической погоды

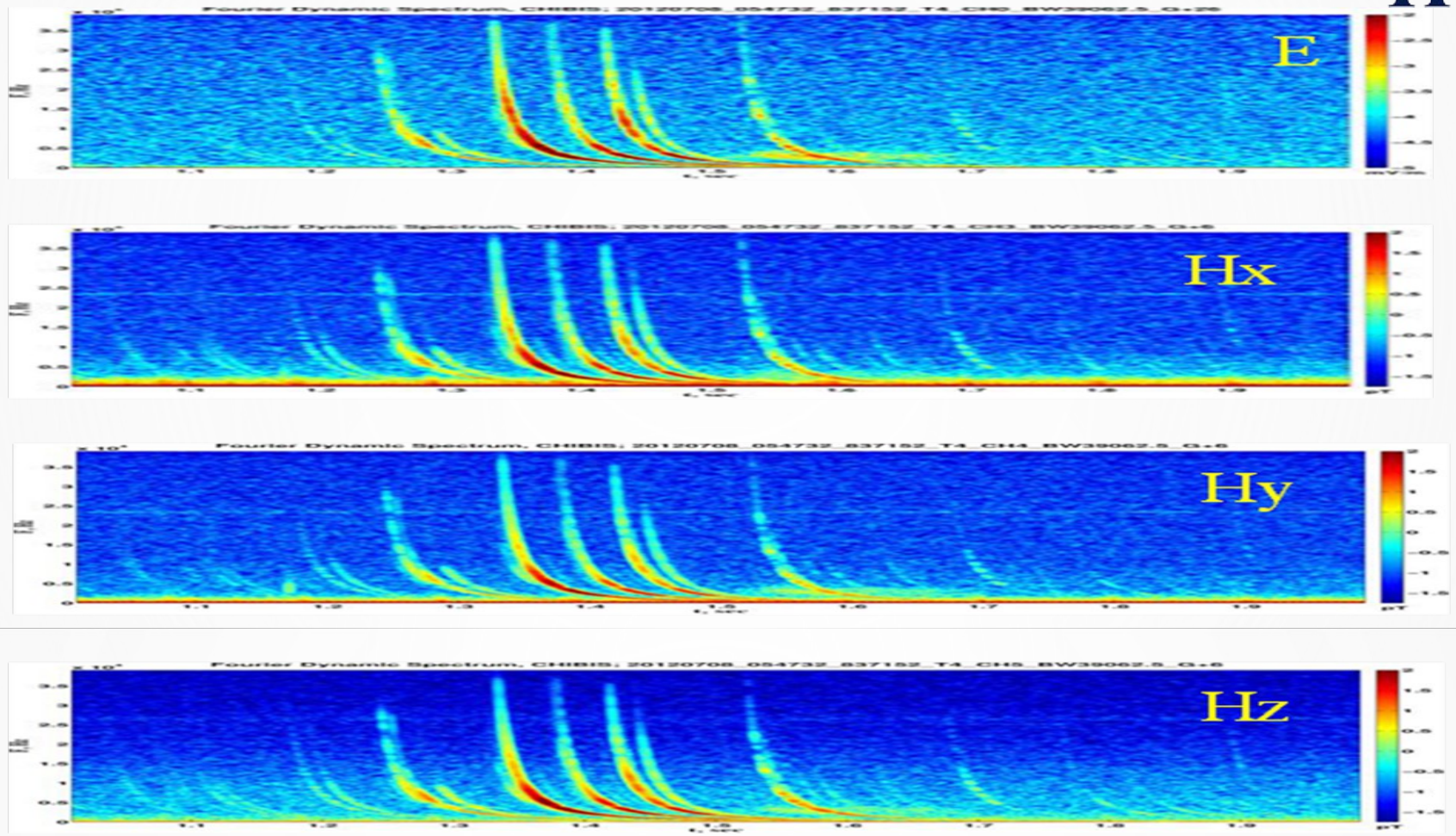




Пример мониторинга МВК электромагнитной активности по широте и долготе и возбуждения КНЧ-ОНЧ – эмиссий на субавроральных широтах в результате развития геомагнитной бури. Верхняя панель – интенсивность электрического поля 0.01 – 40 кГц, средняя панель – интенсивность магнитного поля 0.01 – 40 кГц, нижняя панель – проекция орбиты «Чибис-М» на земную поверхность. А. Спокойные геомагнитные условия 03.10.2012. Б. Геомагнитная буря 13.10.2012. Длительность регистрации (ось X) ~ 6 часов.

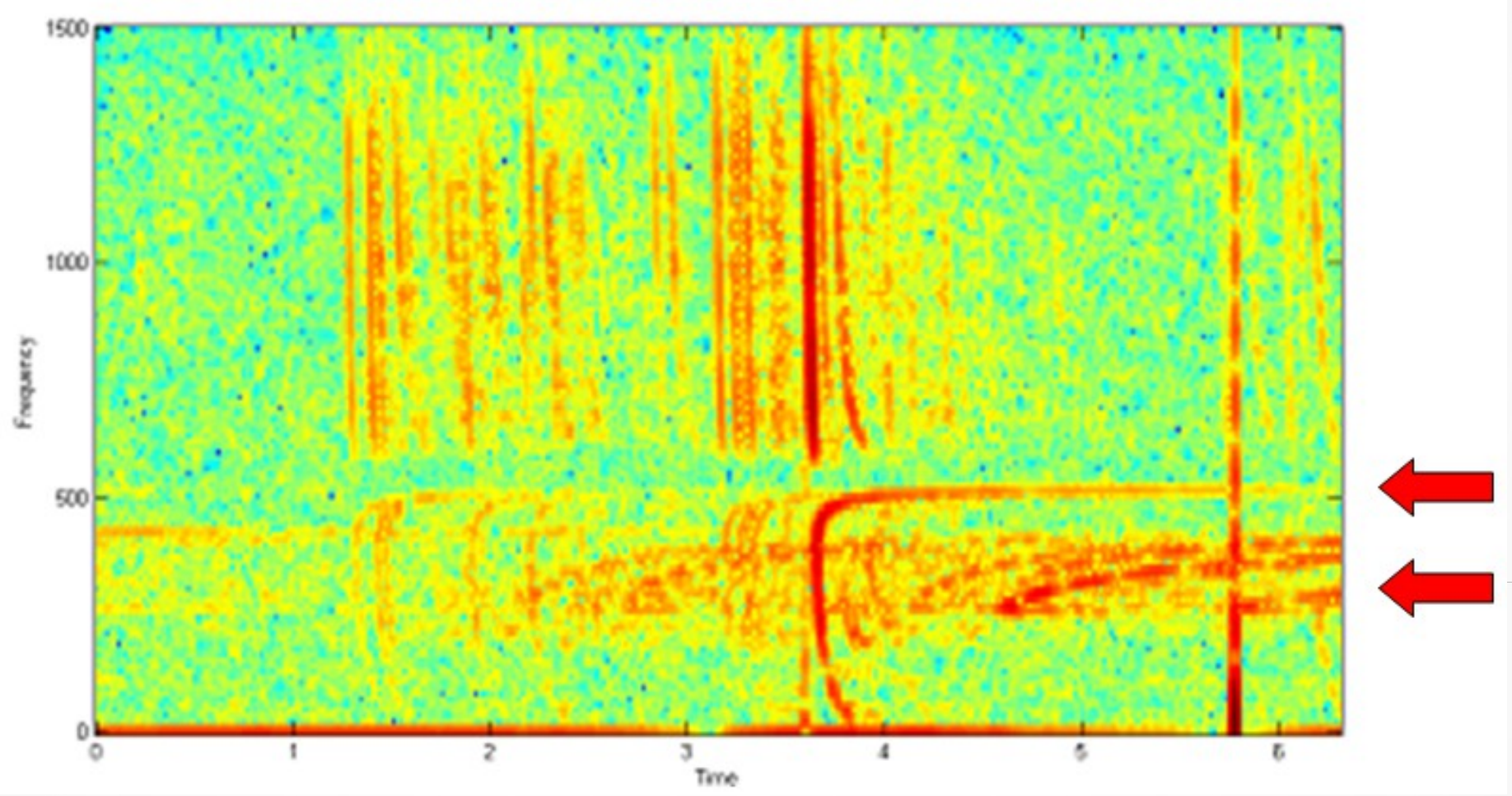
Интенсивные излучения в диапазоне 0.5 – 20 кГц в субавроральных областях (L>4), свидетельствующие о развитии геомагнитной бури, являются прямым параметром космической погоды.

Ионосферные электромагнитные параметры космической погоды



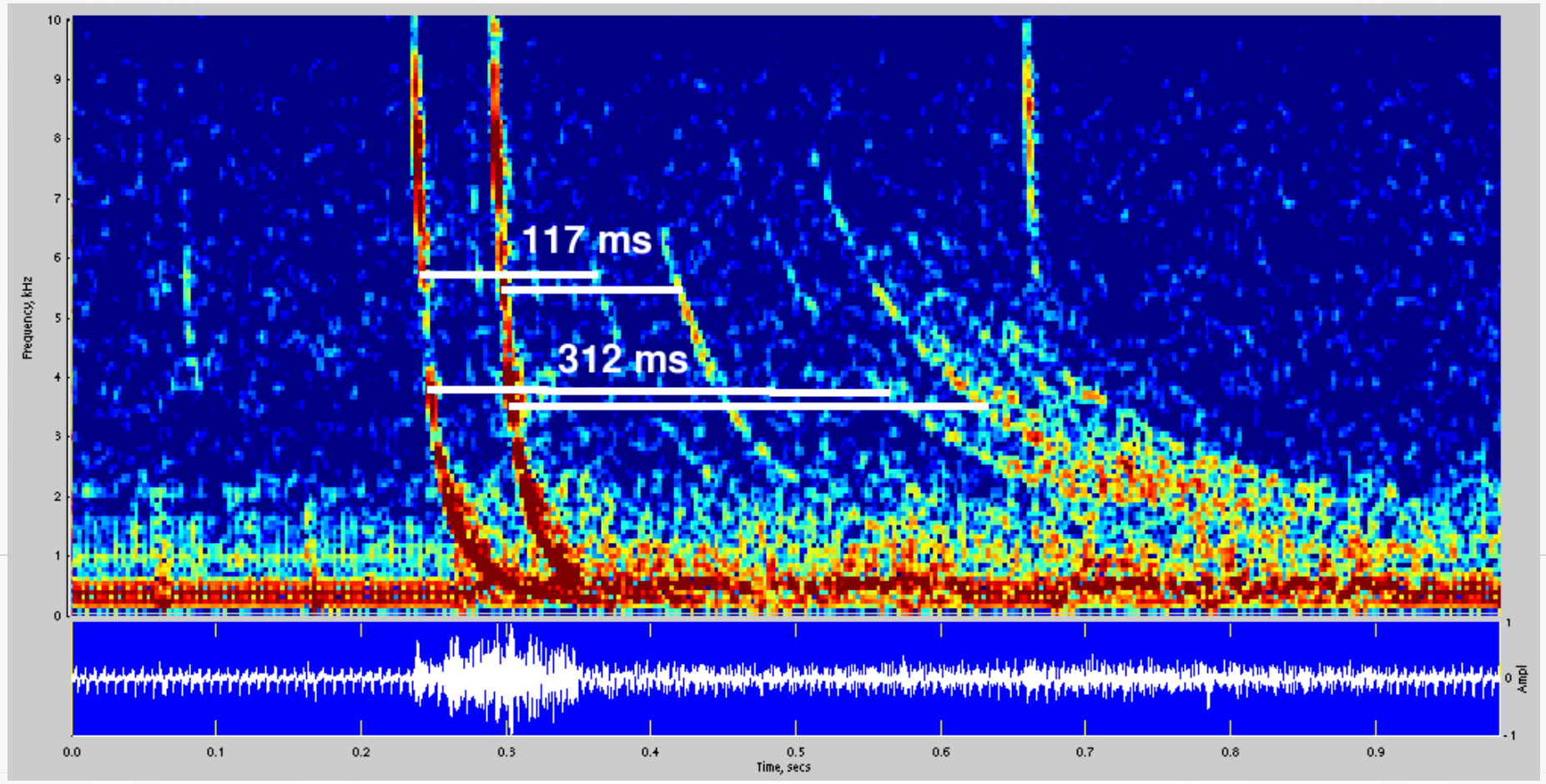
Режим работы МВК - «burst» - дает возможность проводить детальный анализ волновой активности, что позволяет изучать эффекты генерации и распространения наблюдаемых сигналов. Основное внимание уделяется вистлерной активности (рис. 10). Анализ их свойств позволяет установить распределение концентрации электронов до высот в 20…30 тыс. км.

Ионосферные электромагнитные параметры космической погоды



Ионные вистлеры (частоты меньше 400…500Гц) с различными асимптотическими частотами (рис. 11, отмечено стрелками), регистрируемые в одно и то же время и в одном и том же месте. По ионным вистлерам могут определяться относительные концентрации ионов и электронов, а также другие параметры ионосферы.

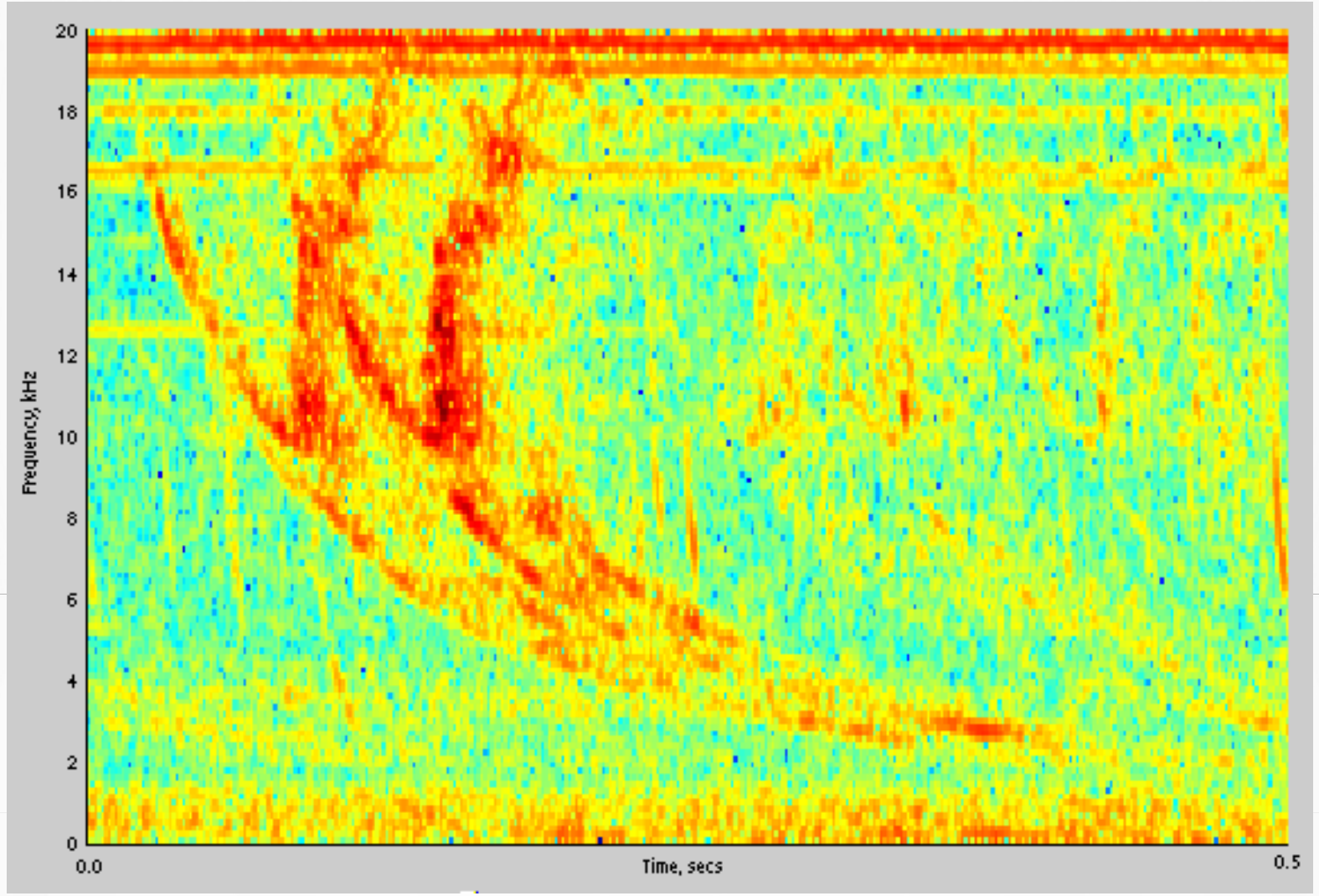
Ионосферные электромагнитные параметры космической погоды



Вистлерный «триплет», анализ котрого добавляет новый аспект в изучение распространения энергии молнии из тропосферы в ионосферу.

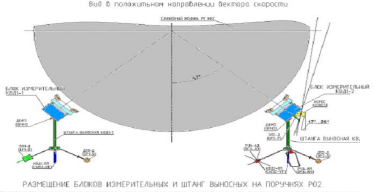
День космической науки, ИКИ РАН, 04 октября 2013г.

Ионосферные электромагнитные параметры космической погоды

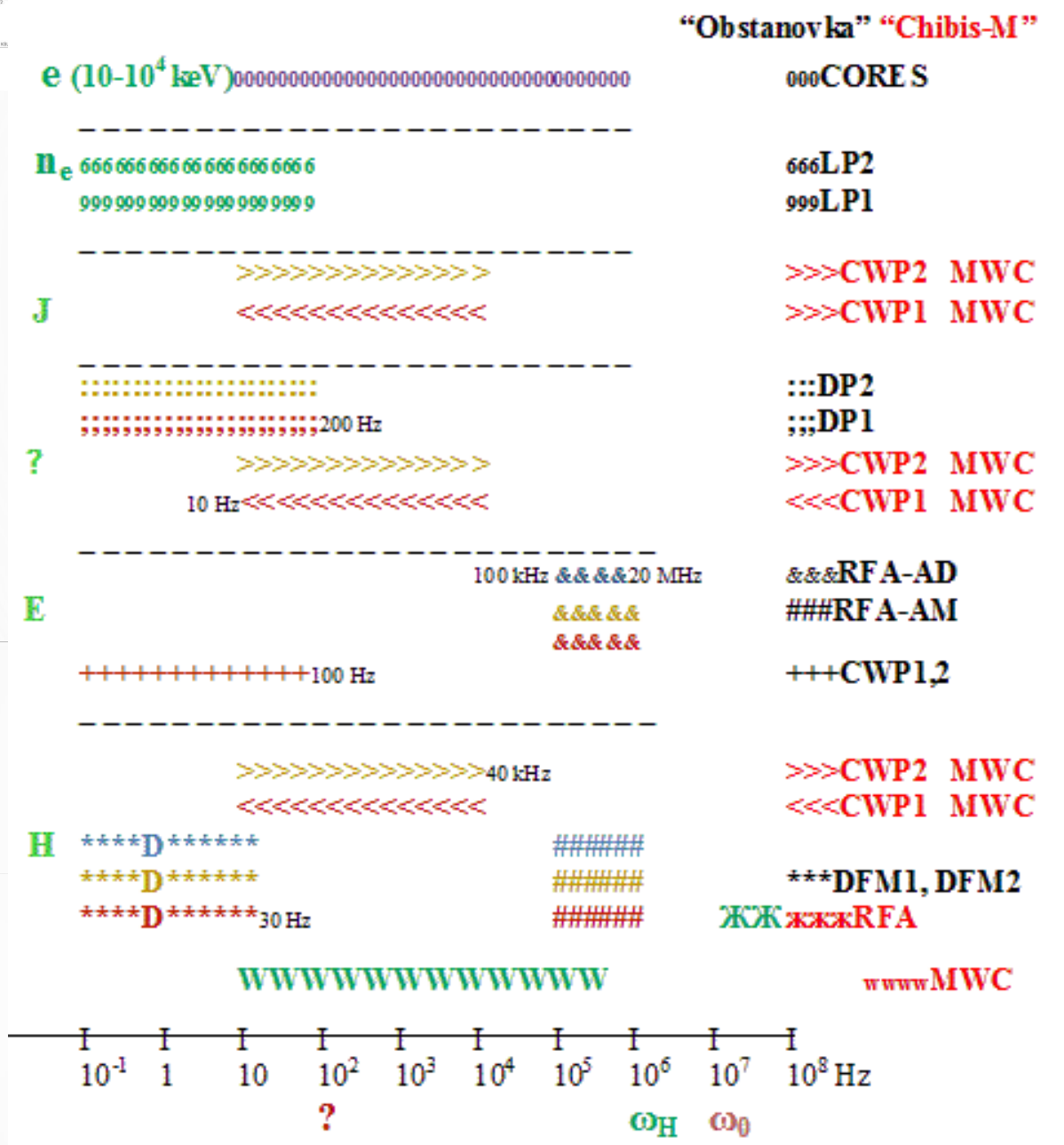


Совсем необыкновенные ОНЧ сигналы типа «ласточкин хвост». Их происхождение до сих пор не ясно.

День космической науки, ИКИ РАН, 04 октября 2013г.



Experiment «Obstanovka 1-st stage»



П л а з м а - Ф

КНА «Гроза».

Уже сейчас информация, полученная на борту «Чибис-М», дала новые и во многом неожиданные результаты о взаимодействии оболочек Земли - атмосферы и ионосферы, при грозовой активности.

Надежная работа КНА «Гроза» позволяет надеяться, что «Чибис-М» многократно превзойдет запланированный рабочий ресурс и привлечет внимание исследователей к проблеме воздействия атмосферно - ионосферных процессов.

КНА «Гроза».

Научная информация КНА «Гроза» передавалась с помощью входящего в её состав высокоскоростного (1Мбит/сек) передатчика «Немо25», работающего на частоте 2270 МГц.

Наработка передатчика на борту КА составила 67 часов, с учетом наземной отработки общая наработка передатчика составила около 100 часов при назначенном ресурсе передатчика 200 часов в течение назначенного срока службы 2 года.

При правильной ориентации КА передатчик обеспечивает надежную передачу научной информации на все наземные пункты приема.

Заключение

Следует подчеркнуть, что на «Чибис-М» проводятся фундаментальные исследования сверхмощных электромагнитных излучений, включающих гамма диапазон, возникающих при высотных атмосферных грозовых разрядах. Эти излучения воздействуют как на окружающее космическое пространство, так и на технические средства, находящиеся в атмосфере и космосе.

Эти явления довольно редки, поэтому необходимо накопление измеренных физических параметров, чтобы затем дать определённые прикладные рекомендации.

В связи с развитием средств космической связи и навигации, освоением северных территорий, трансполярных перелетов гражданской авиации в будущем зависимость от солнечно-космических факторов только усилится.

Заключение

Проводимые на микроспутнике «Чибис-М» измерения показали, что физические механизмы электрических разрядов в атмосфере имеют более сложную природу, чем предполагалось ранее.

Полученные с «Чибис-М» данные свидетельствуют, что указанная многоуровневая масштабность явления, отражающая, с одной стороны, его безусловную сложность, с другой стороны, дает и некий ключ к пониманию его основных закономерностей.

Заключение

НОВЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ «ЧИБИС-АИ» НА РОССИЙСКОМ СЕГМЕНТЕ МКС

Полное наименование КЭ и его шифр:

«Исследование природы высотных молний и сопутствующих им процессов в атмосфере и ионосфере Земли на базе микроспутника «Чибис» с использованием грузового корабля «Прогресс»

Шифр КЭ – «Чибис-АИ»

Заключение

КЭ - «Чибис-АИ»

Несмотря на большой объем выполненных исследований, касающихся многочисленных аспектов физики гроз, глубокого понимания физических процессов формирования электрической структуры грозовых облаков, инициирования пробоя и распространения молнии, генерации новых химических соединений, роли грозовых генераторов в глобальной электрической цепи не достигнуто до сих пор. Сложность проблемы объясняется, прежде всего, масштабностью самого явления: величины физических параметров, характеризующих молнию и грозу, изменяются на 15 порядков величины от атомных расстояний, характерных для атомных процессов электризации грозового облака до масштабов в десятки и сотни километров конвективных движений воздуха в грозовом слое.

Выражаем благодарность

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им П.Н. Лебедева Российской академии наук

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ ИМЕНИ Ю. А. ГАГАРИНА»

НИИЯФ МГУ

ЭНЕРГИЯ

НИЛАКТ РОСТО

ЛЦ ИКИ НАН-ГКА УКРАИНА

УНИВЕРСИТЕТ ЕТВОСА, ВЕНГРИЯ

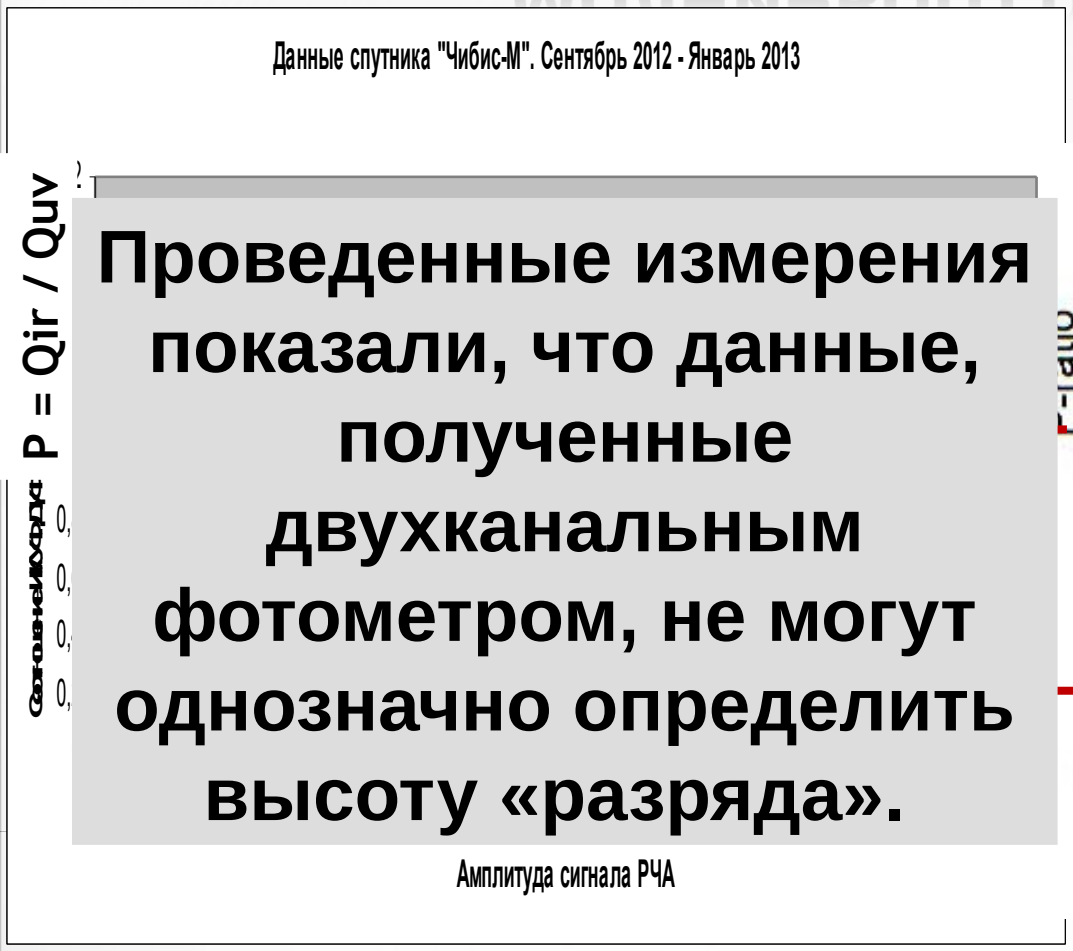
ИКИ

Сотрудникам РКК «Энергия»

В.П. Легостаев	**Н.И. Зеленщиков**	**А.Г. Чернявский**	**И.В. Чурило**
А.Ф. Стрекалов	А.В. Марков	В.П. Коношенко	Е.А. Микрин
В.А. Соловьев	В.Н. Голубев	А.А. Басов	С.С. Кириевичев
С.И. Новикова	А.И. Манжелей	А.Л. Ермак	Л.А. Селиванов

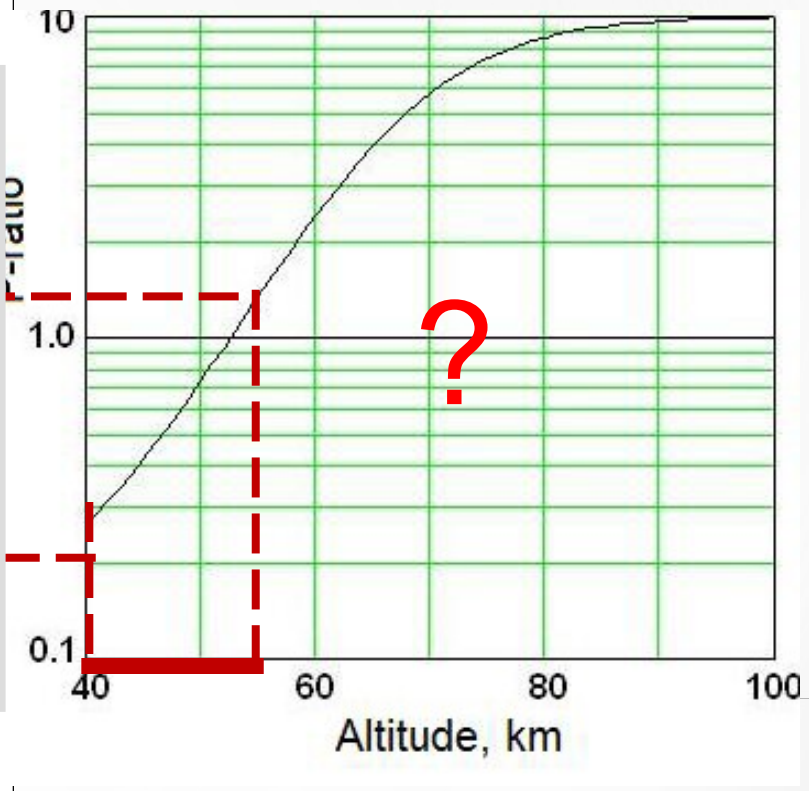
Спасибо за внимание!

Попытка определения оценки высоты молниевого разряда



Проведенные измерения показали, что данные, полученные двухканальным фотометром, не могут однозначно определить высоту «разряда».

P = Qir / Quv



Garipov et al. (2011). **Global Transients in ultraviolet and red-infrared ranges from data of the "Universitetsky-Tatiana-2" satellite.** *eprint arXiv:1112.0894*, 19.