



**Skobeltsyn
Institute of Nuclear Physics**

Lomonosov Moscow State University



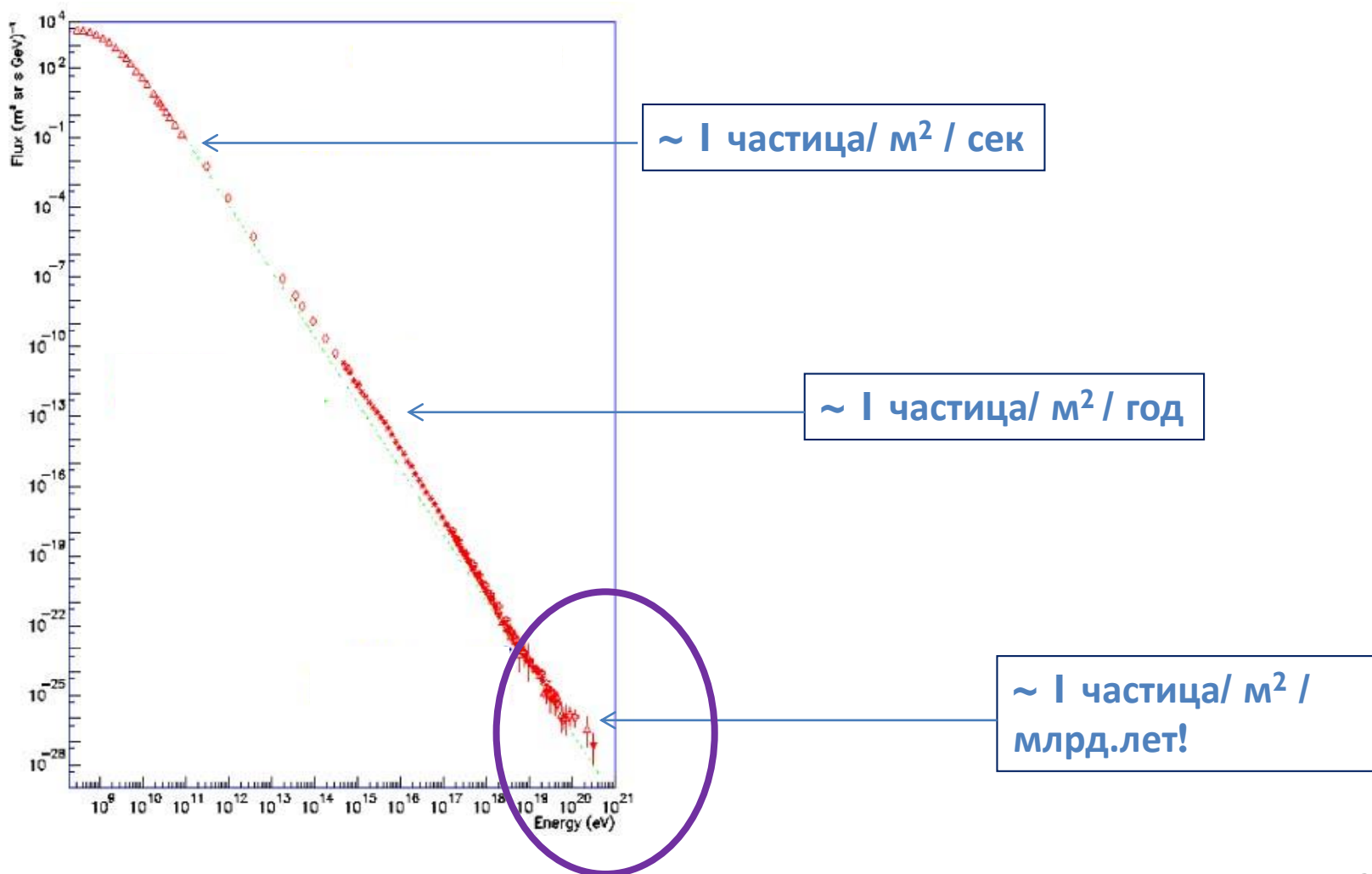
Детектор космических лучей предельно высоких энергий «ТУС» на борту спутника «Ломоносов». Результаты первых измерений

Климов П.А., Гарипов Г.К., Зотов М.Ю., Морозенко В.С.,
Панасюк М.И., Хренов Б.А., Чирская Н.П., Шаракин С.А.,
Широков А.В., Яшин, И.В., Гринюк А.А., Ткачев Л.Г.,
Ткаченко А.В., Лаврова М.В., Сапрыкин О.А.

[34-я Всероссийская конференция по космическим лучам](#)

Дубна, 15-19 августа 2016 г.

Научные цели и задачи эксперимента

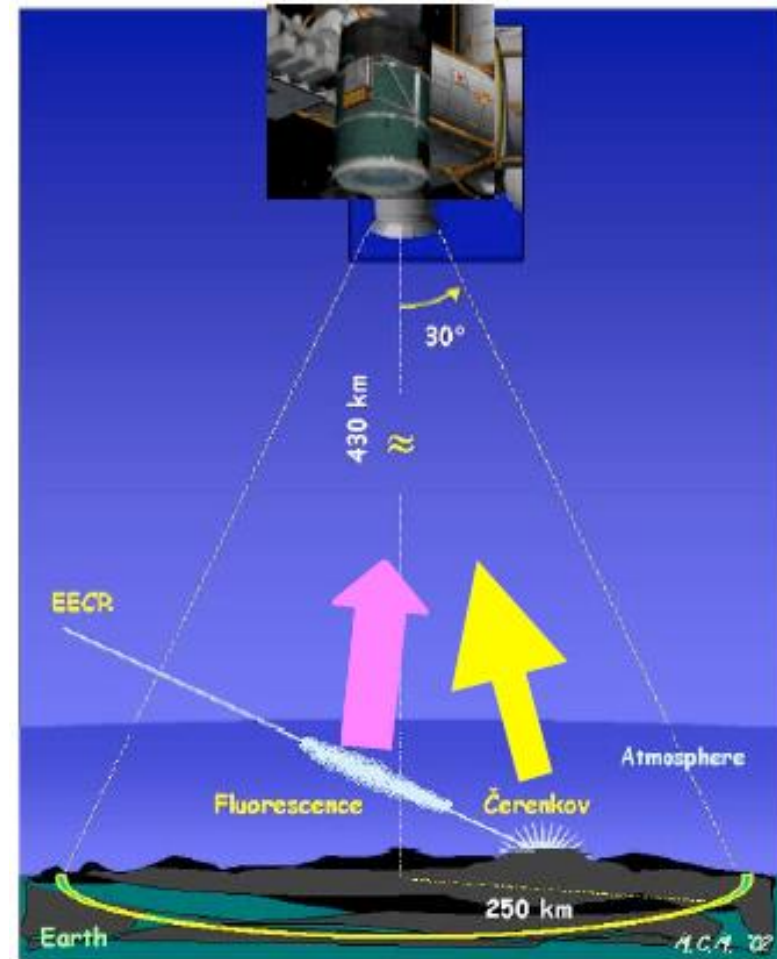


Регистрация КЛ ПВЭ с орбиты Земли

- ▶ Существующие установки:
 - ▶ Pierre Auger Observatory: 3,000 km²
~20 событий > 60 EeV/год
 - ▶ Telescope Array: 700 km² Utah, USA
~5 событий > 60 EeV/год

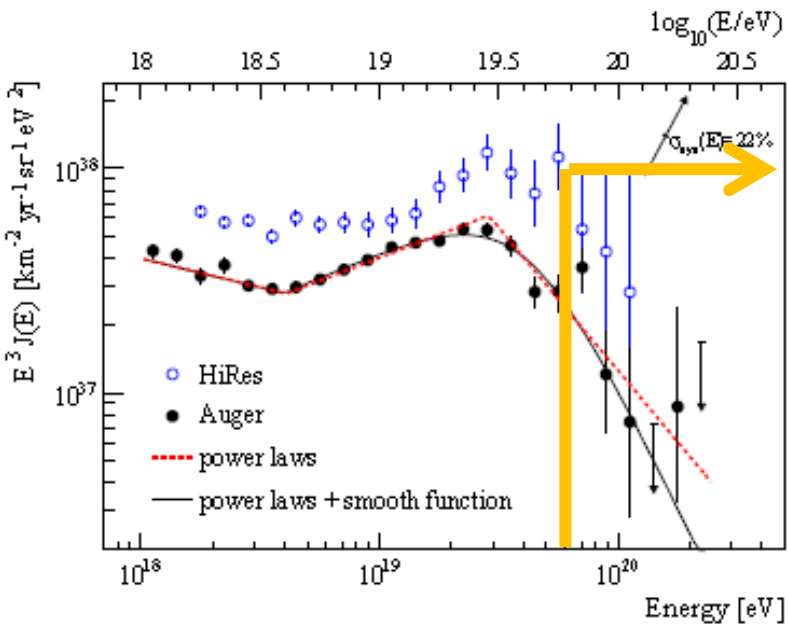
Итого: Auger + TA < 30 событий/год

Поверхность Земли ~ 5·10⁸ km²
~3.4·10⁶ событий в год

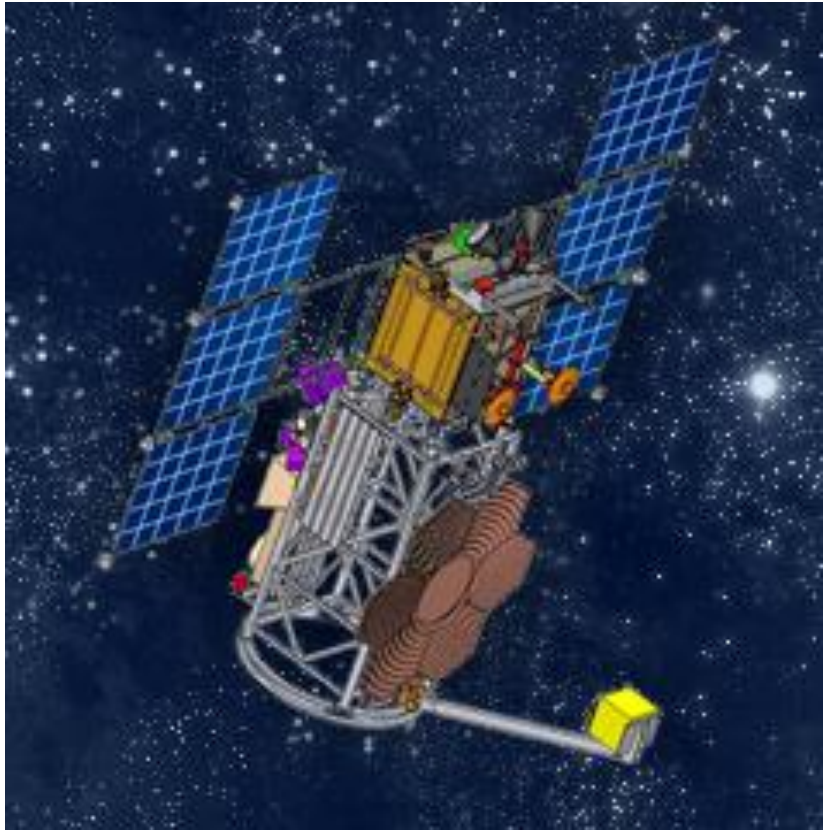


Научные цели и задачи эксперимента

1. Цель КЭ: проверка методики регистрации КЛ ПВЭ с борта ИСЗ.

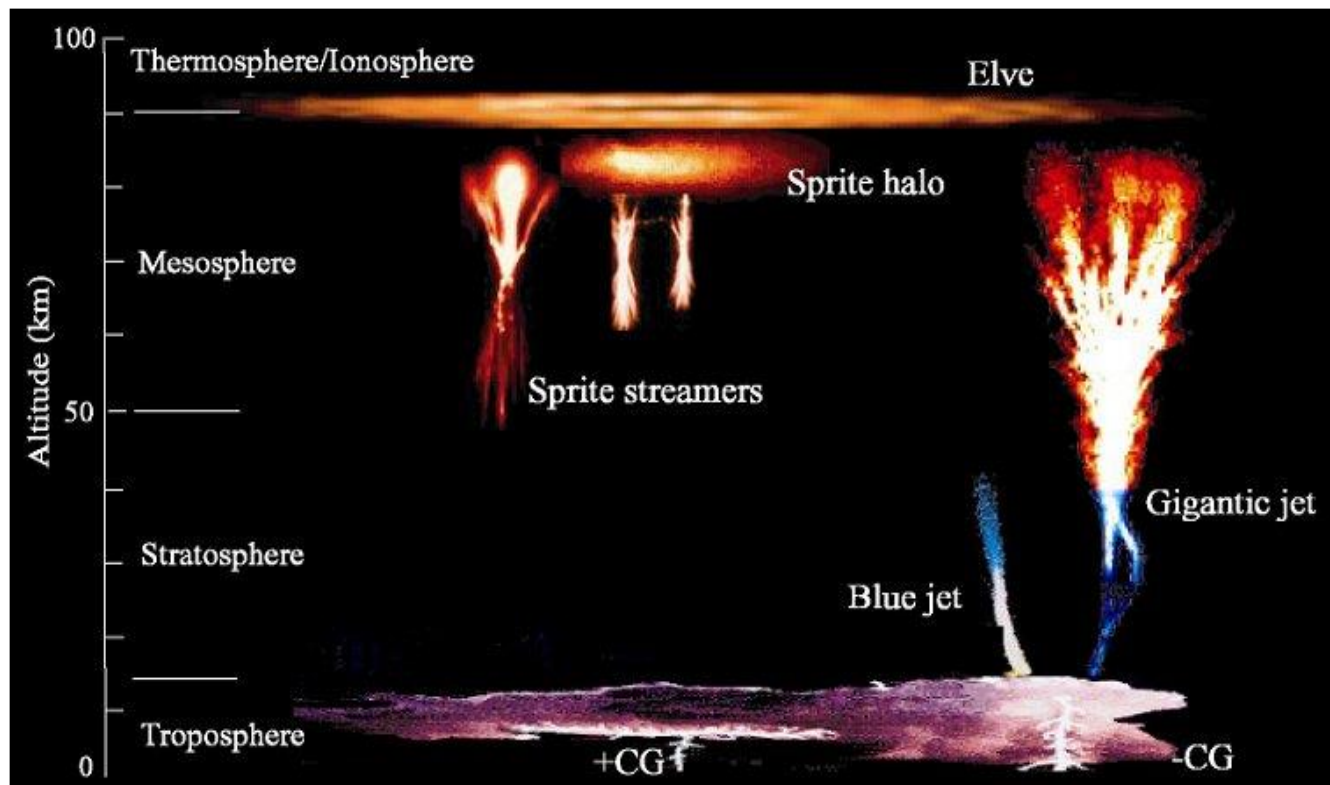


The Pierre Auger Collaboration, Physics Letters B 685, (2010) 239

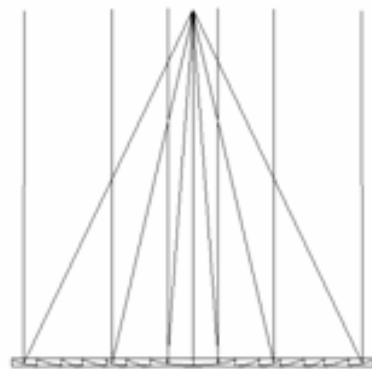
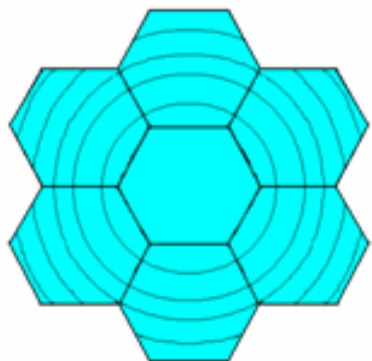


Научные цели и задачи эксперимента

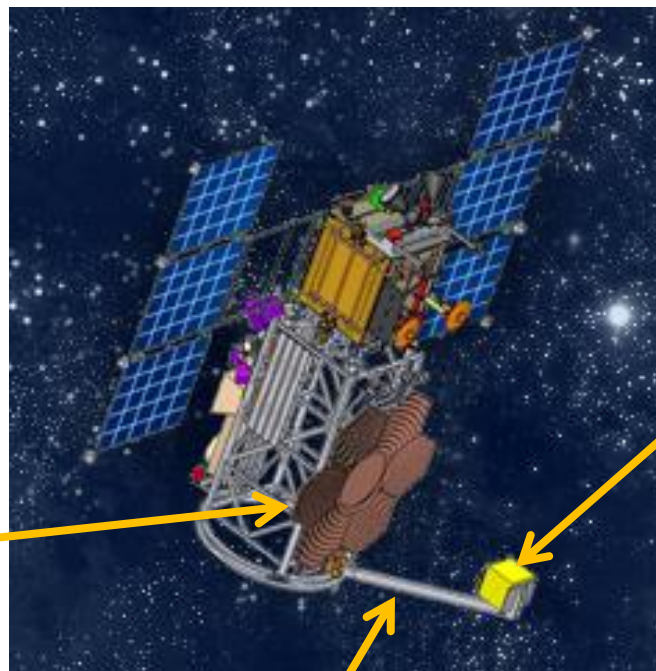
2. Детектор «ТУС» разработан как многофункциональный телескоп для измерения УФ свечения атмосферы Земли в разных временных диапазонах



Структура детектора «ТУС»

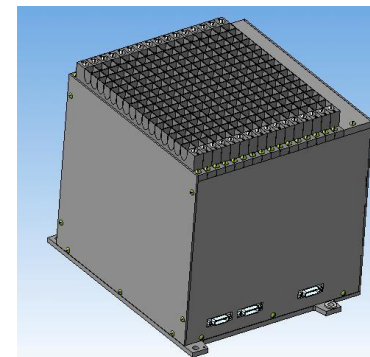
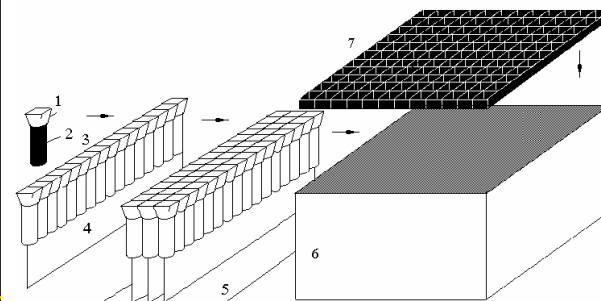


Зеркало-
концентратор
(СЗК)

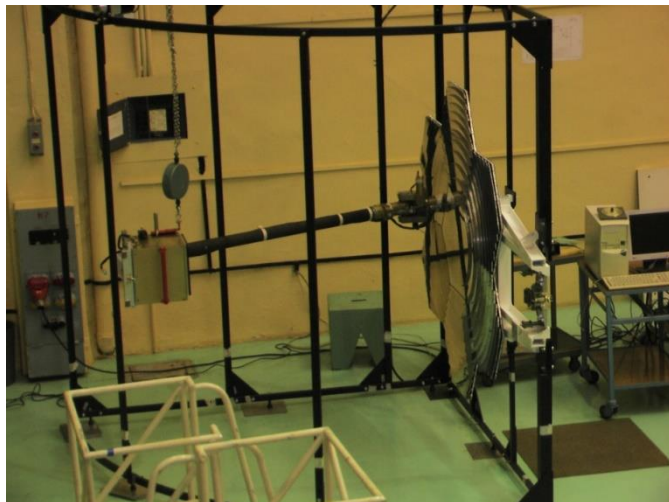


Система отвода
фотоприемника
(СО ЭБФ)

Фотоприемник
(ЭБФ)

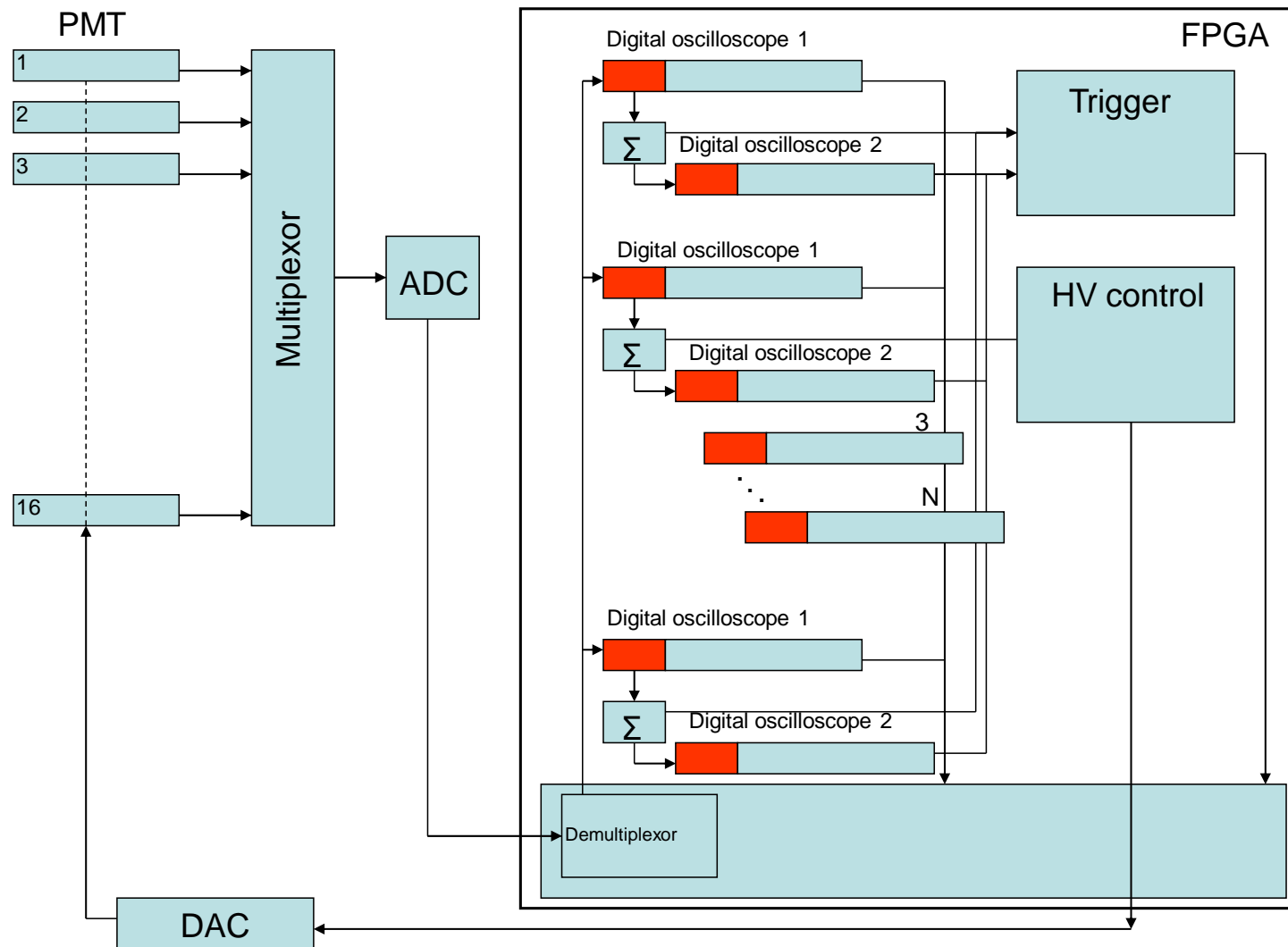


Параметры детектора «ТУС»



Масса	< 60 кг
Энергопотребление (макс)	65 Вт
Объем информации	200 Мбайт в день
Поле зрения	$\pm 4,5$ град
Число пикселей	256 (16 модулей по 16 ФЭУ)
Поле зрения пикселя	10 мрад(5×5 км)
Площадь зеркала	$\sim 2 \text{ m}^2$
Фокусное расстояние	1,5 m

Структура электроники модуля фотоприемника



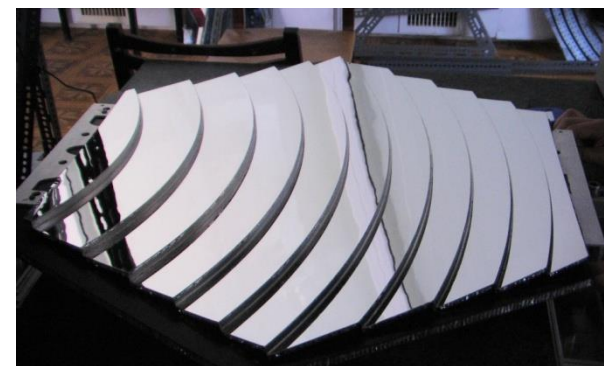
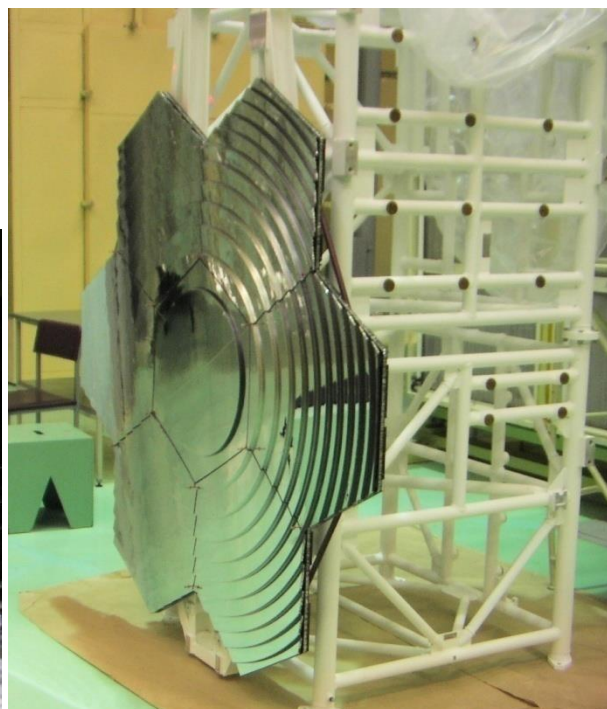
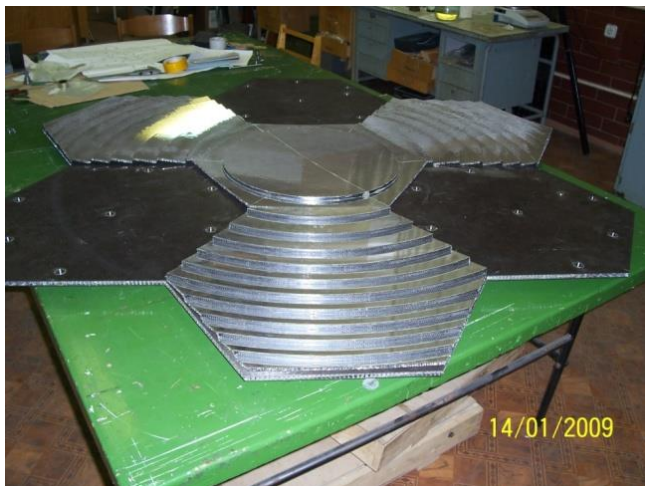
Режимы работы детектора «ТУС»

Явление	Временное разрешение	Время интегрирования (триггера)	Длина осциллограммы
ШАЛ	$\tau = \tau_0 = 0,8 \text{ мкс}$	$t = 2^4\tau = 12,8 \text{ мкс}$	$\Delta T = 256\tau = 205 \text{ мкс}$
Короткие ТАЯ*	$\tau = 2^5\tau_0 = 25,6 \text{ мкс}$	$t = 2^3\tau = 0,2 \text{ мс}$	$\Delta T = 256\tau = 6,6 \text{ мс}$
Длинные ТАЯ	$\tau = 2^9\tau_0 = 0,4 \text{ мс}$	$t = \tau = 0,4 \text{ мс}$	$\Delta T = 256\tau = 105 \text{ мс}$
Микро-метеоры	$\tau = 2^{13}\tau_0 = 6,6 \text{ мс}$	$t = 2^4\tau = 105 \text{ мс}$	$\Delta T = 256\tau = 1,7 \text{ с}$

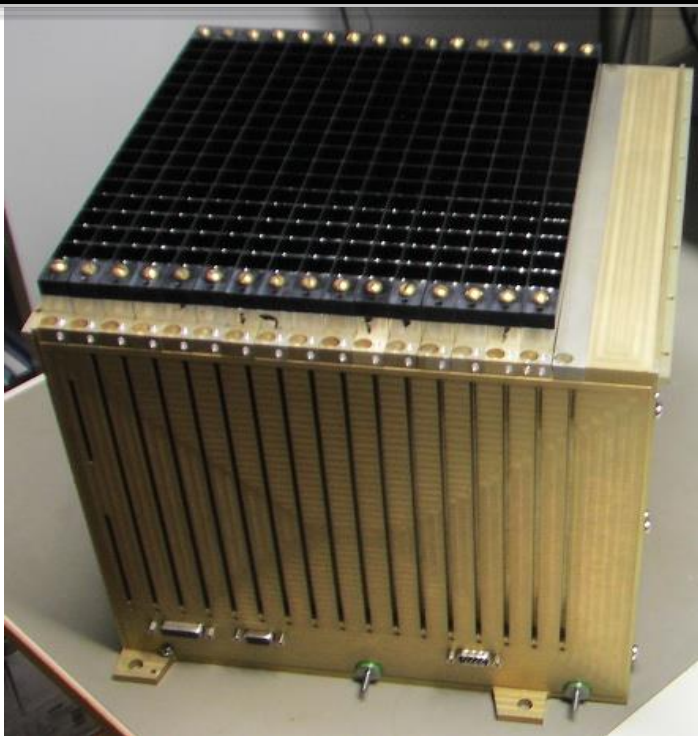
* ТАЯ – транзиентные атмосферные явления

Зеркало-концентратор

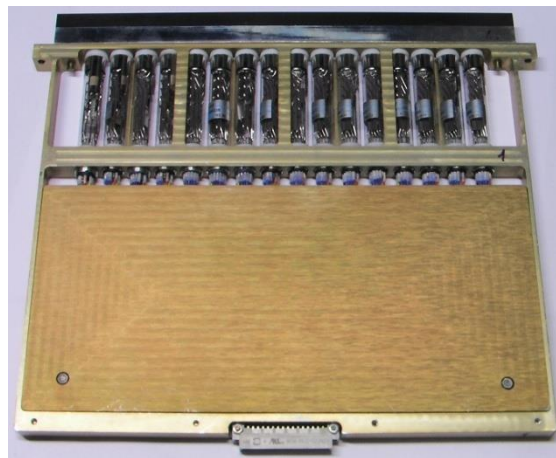
- ООО «Космическая регата» на базе РКК «Энергия» и ОИЯИ
- Легкое термостабильное сегментированное зеркало на основе трехслойной углепластиковой конструкции



Фотоприемник детектора «ТУС»

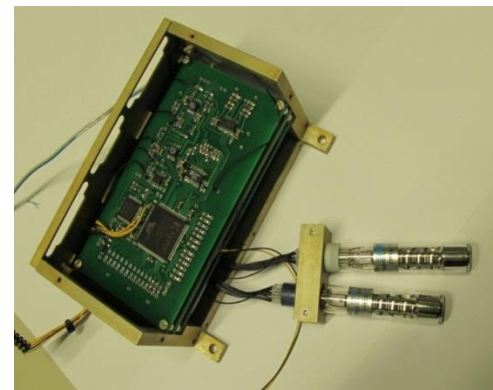


Фотоприемник
детектора «ТУС»



Модуль
фотоприемника
детектора «ТУС»

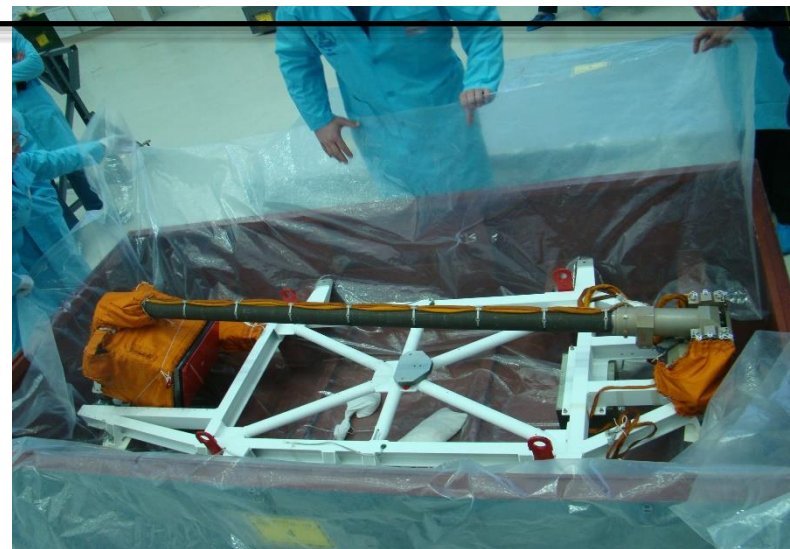
Детектор УФ на
спутнике «Татьяна-2»

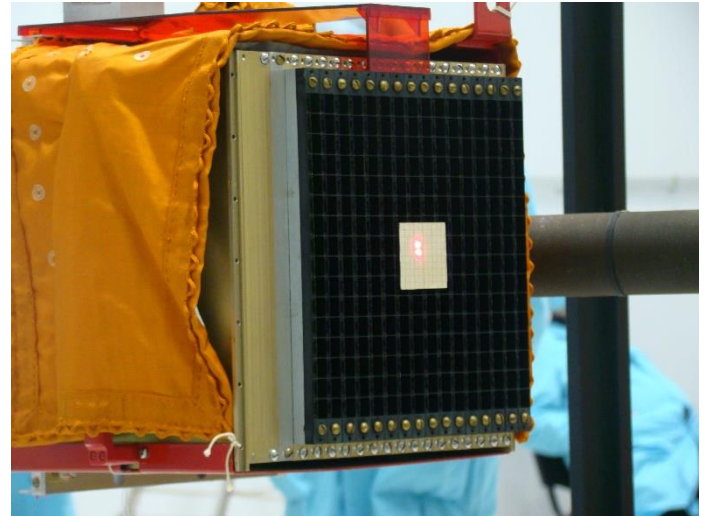
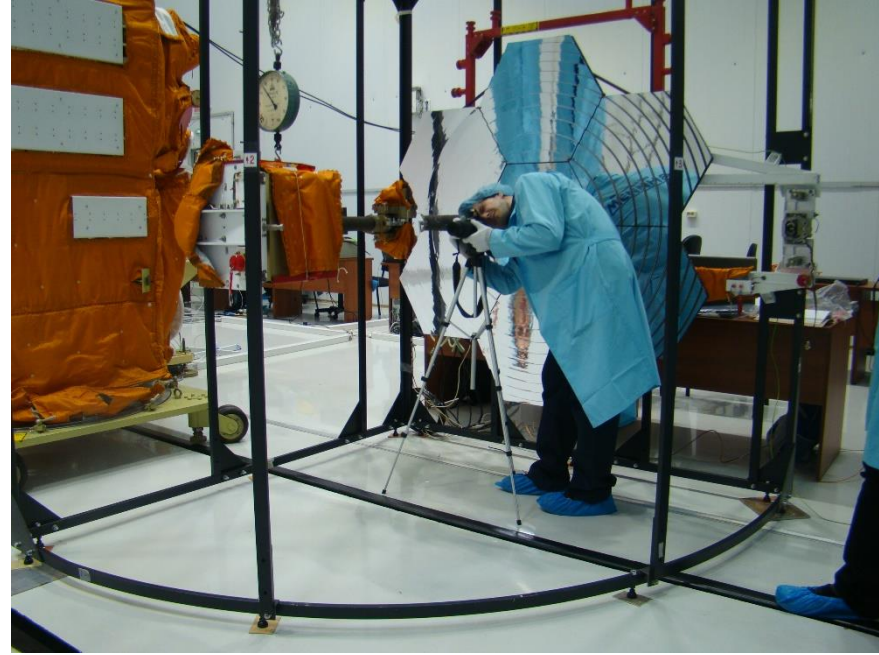
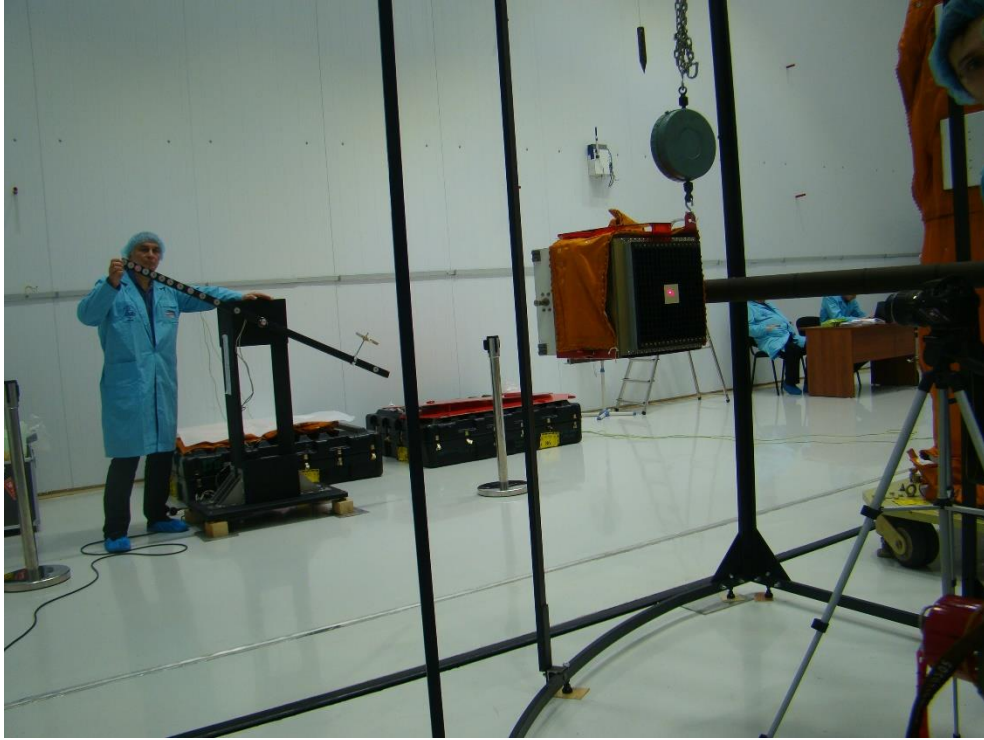


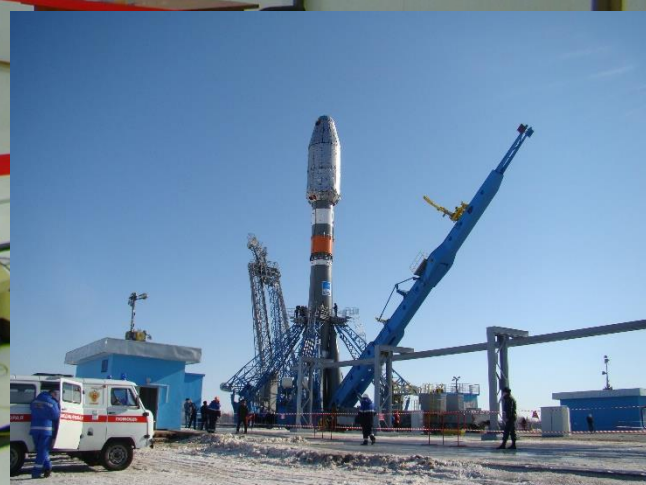
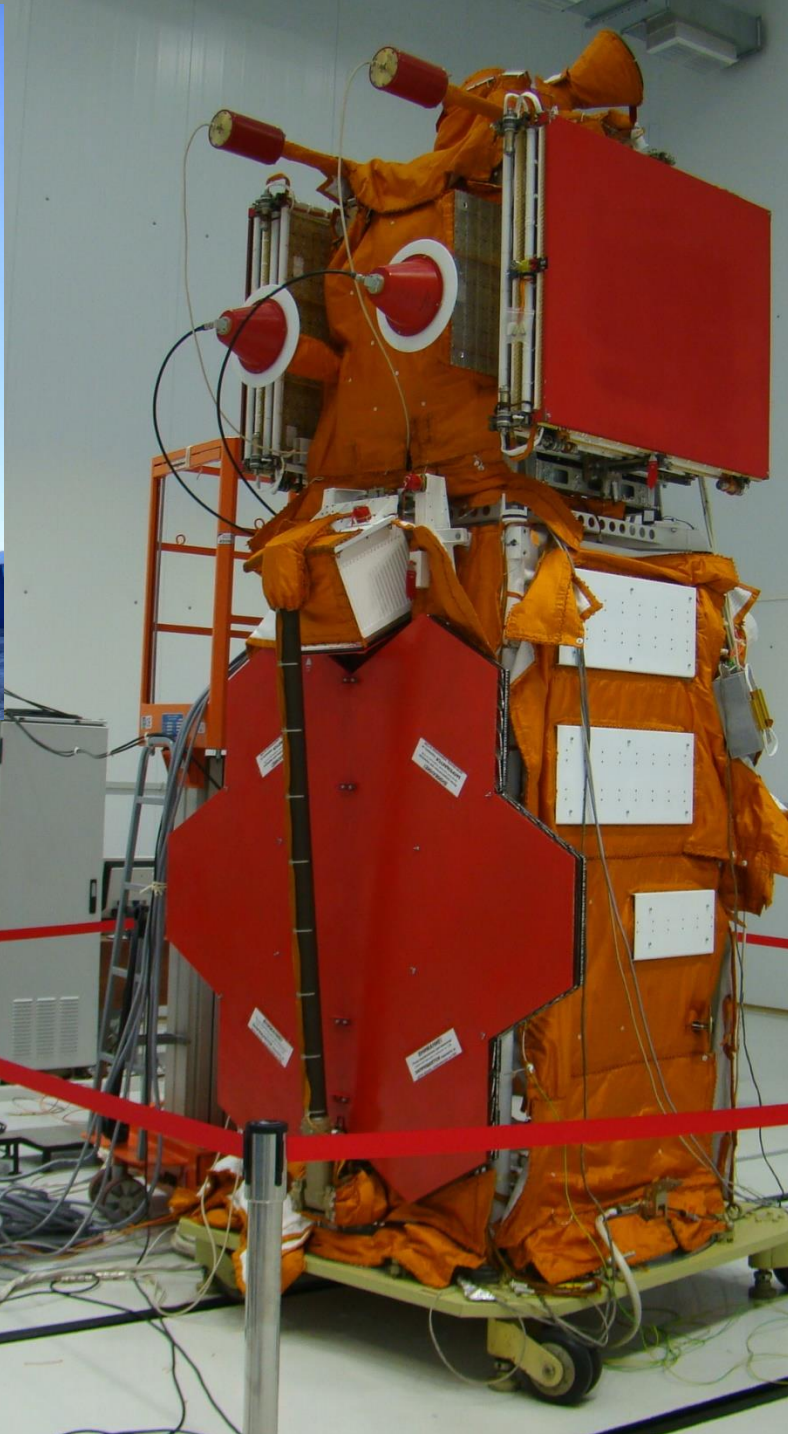


19.12.2014

Проверка аппаратуры на космодроме «Восточный»







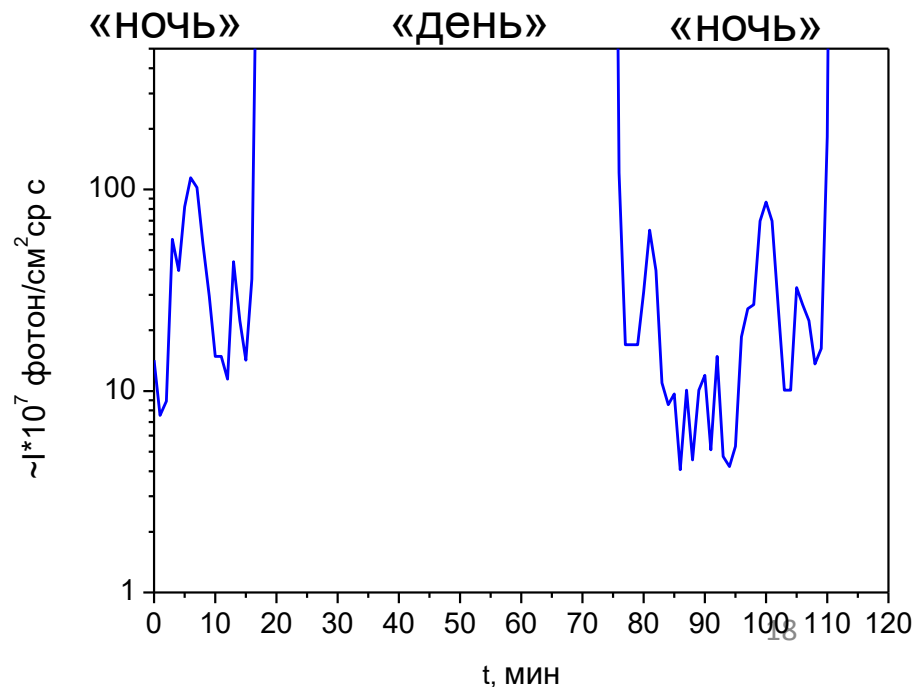
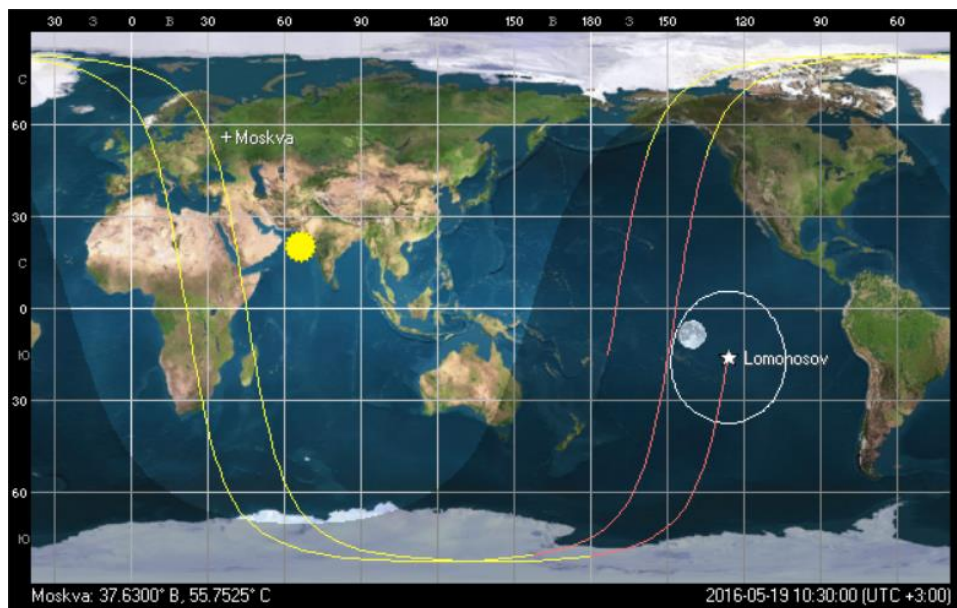


Результаты предварительного анализа научной информации за время проведения летных испытаний аппаратуры

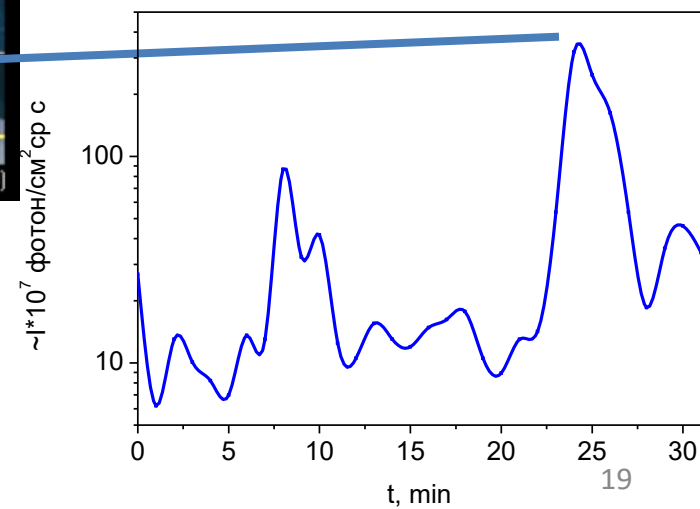
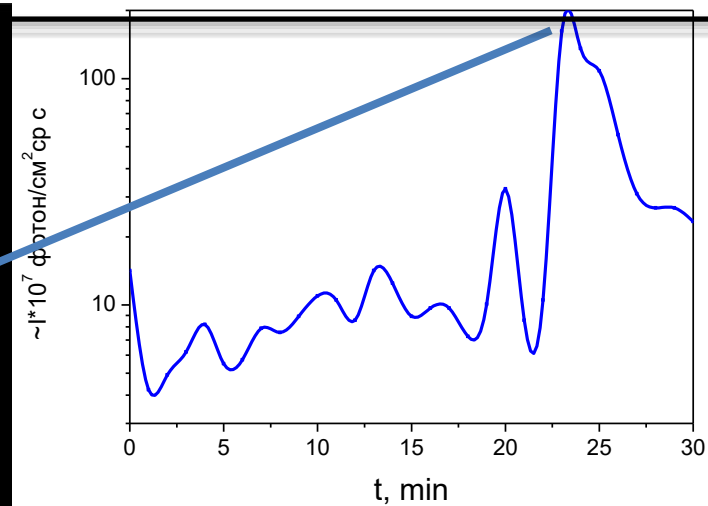
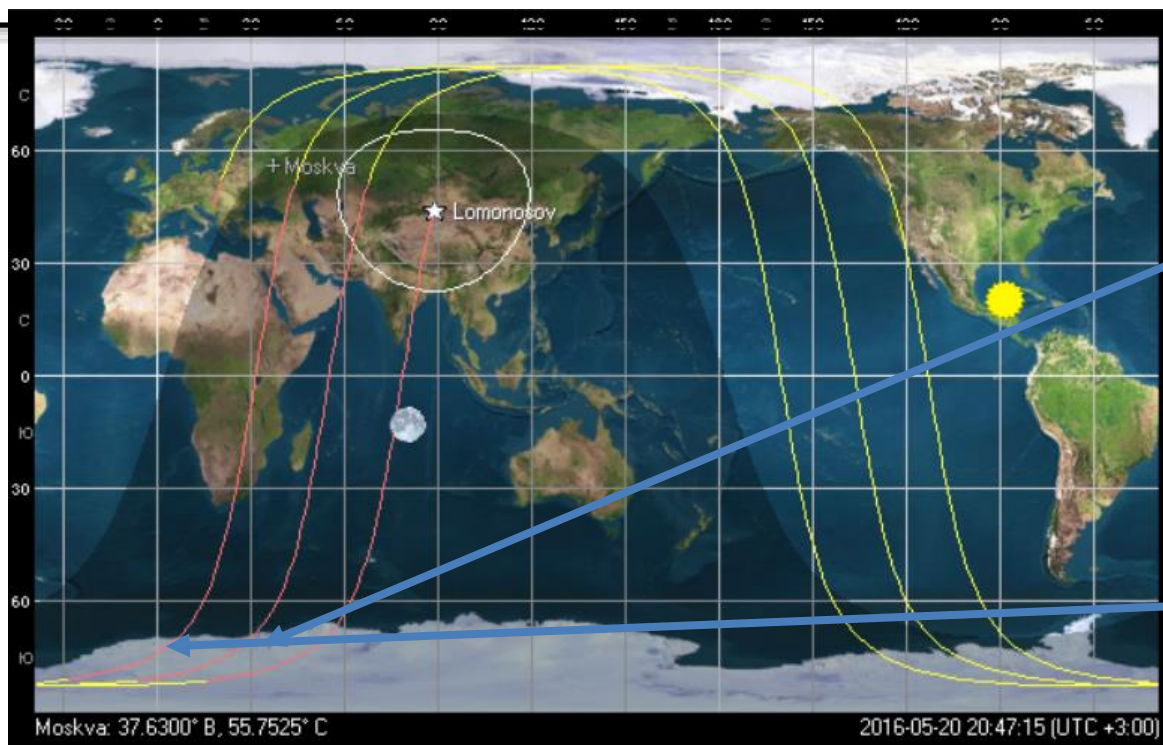
Измерения УФ фона ночного неба (медленные пространственные вариации)



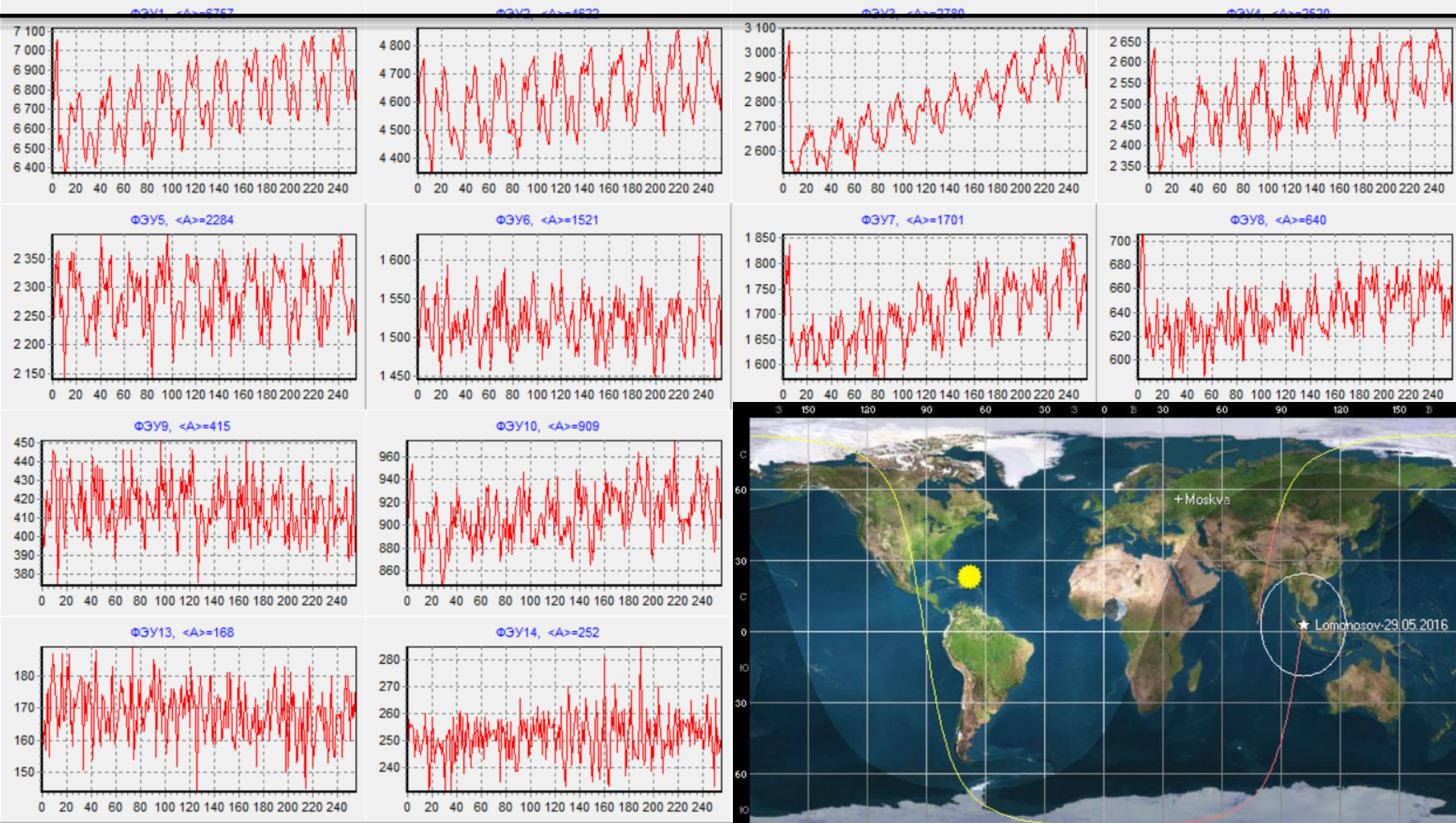
19.05.2015, 10-30 (МСК) – старт работы детектора «ТУС»



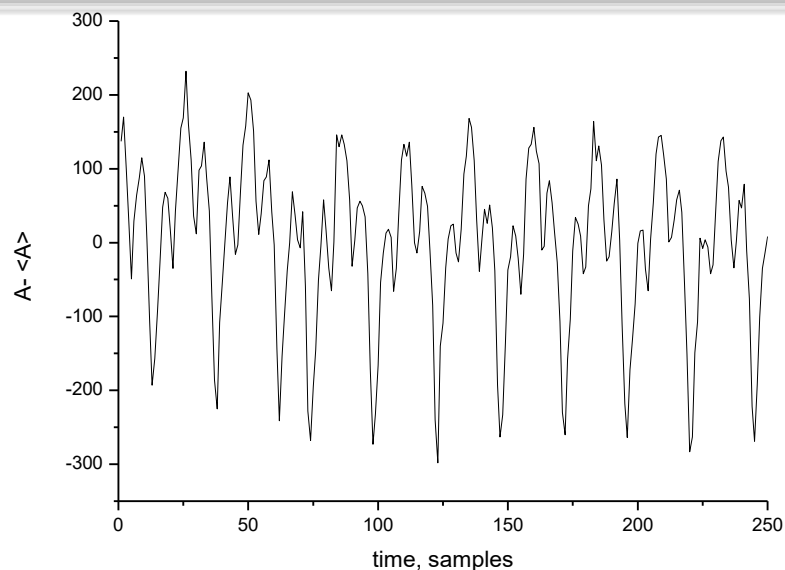
Свечение в полярной области



Свечение городов (модуляция частотой промышленной сети)

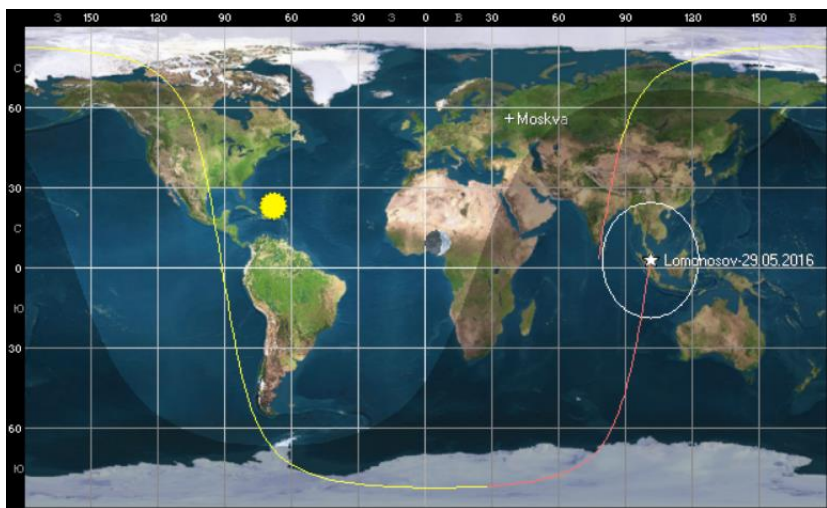
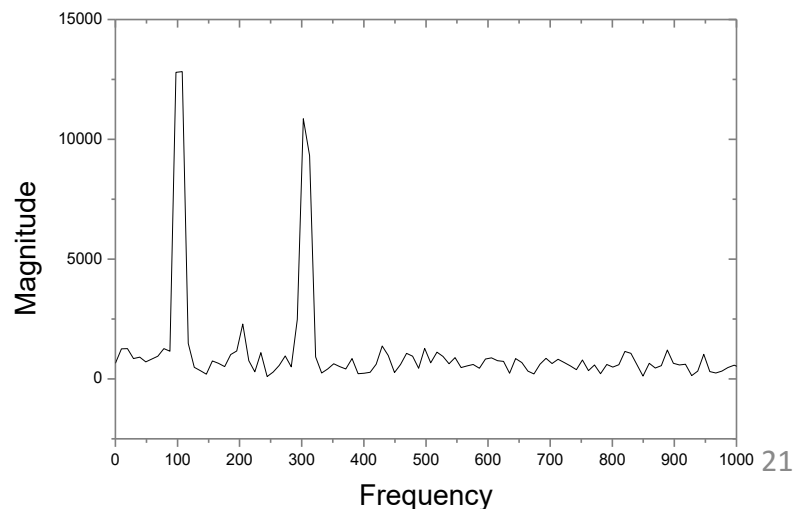


Пример измерения УФ излучения с модуляцией на частоте 100 Гц

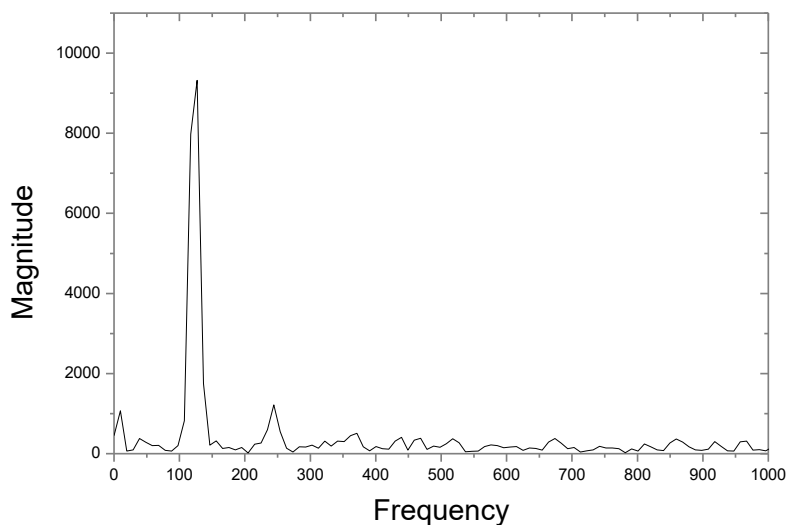
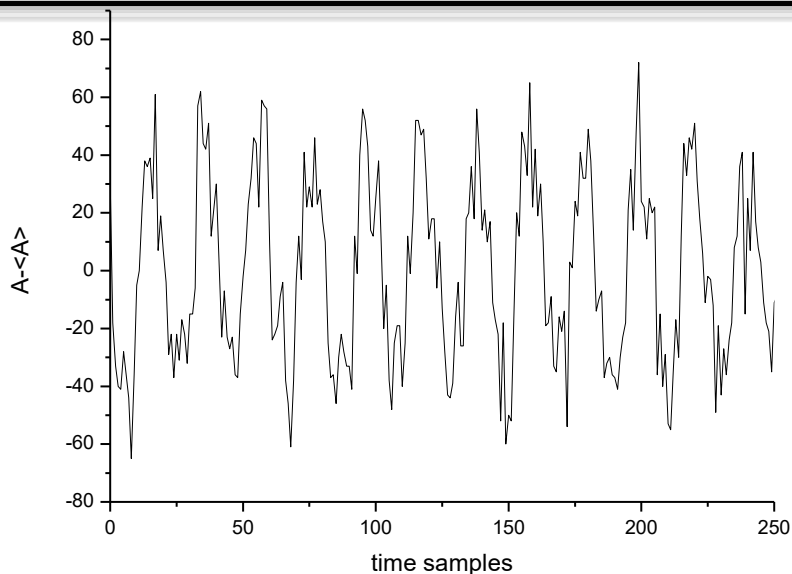


Малайзия,
10.06.2016, 19:30, безлунная ночь.

Результаты Фурье анализа



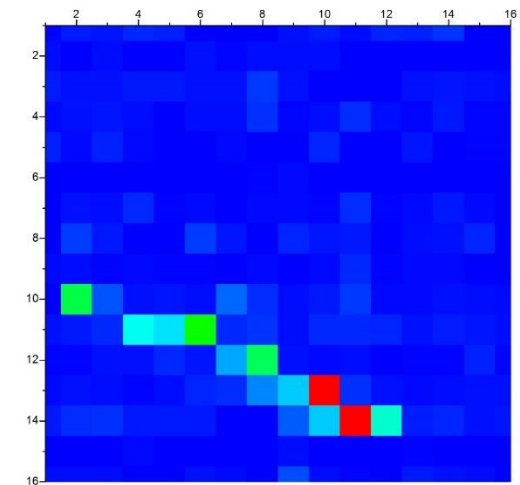
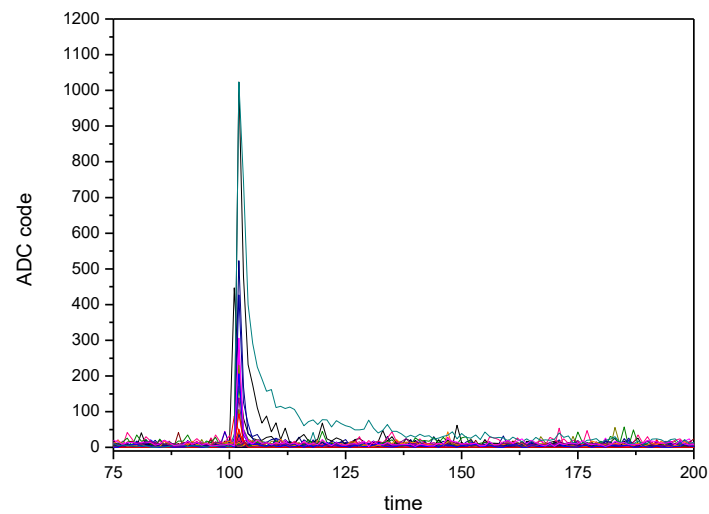
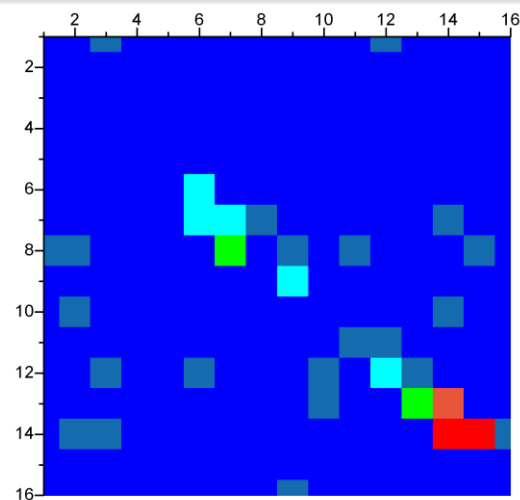
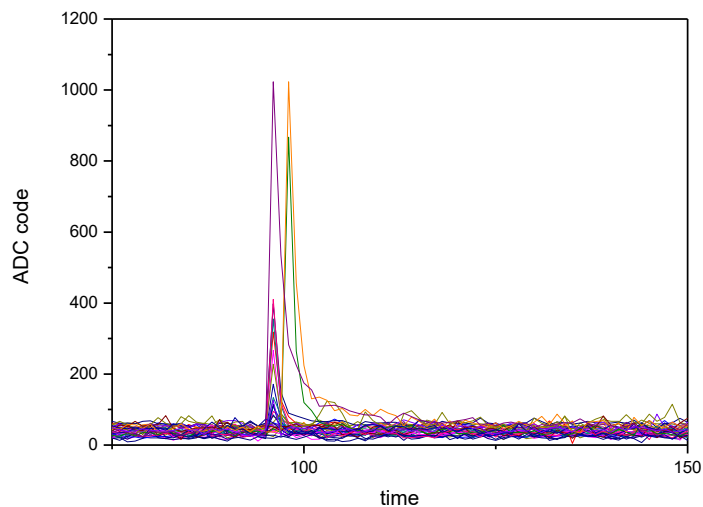
Пример измерения УФ излучения с модуляцией на частоте 120 Гц



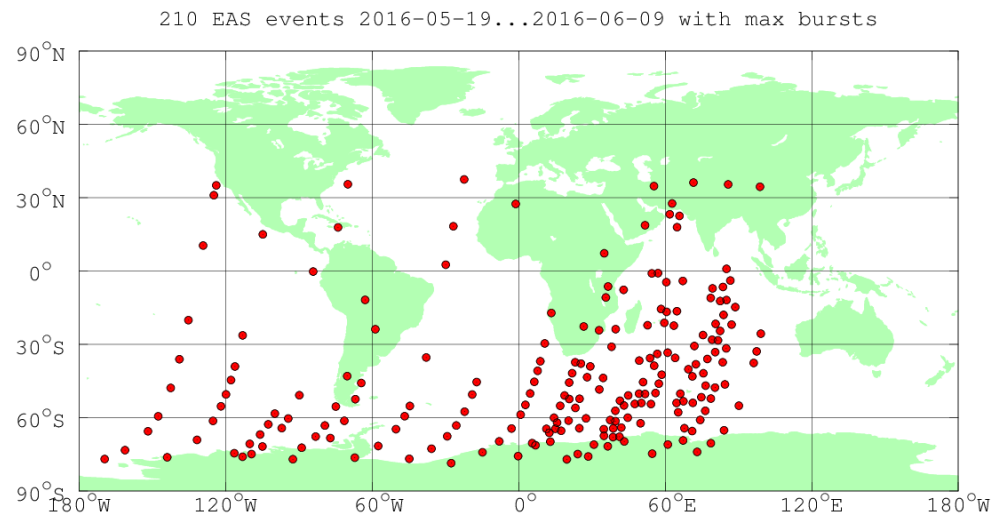
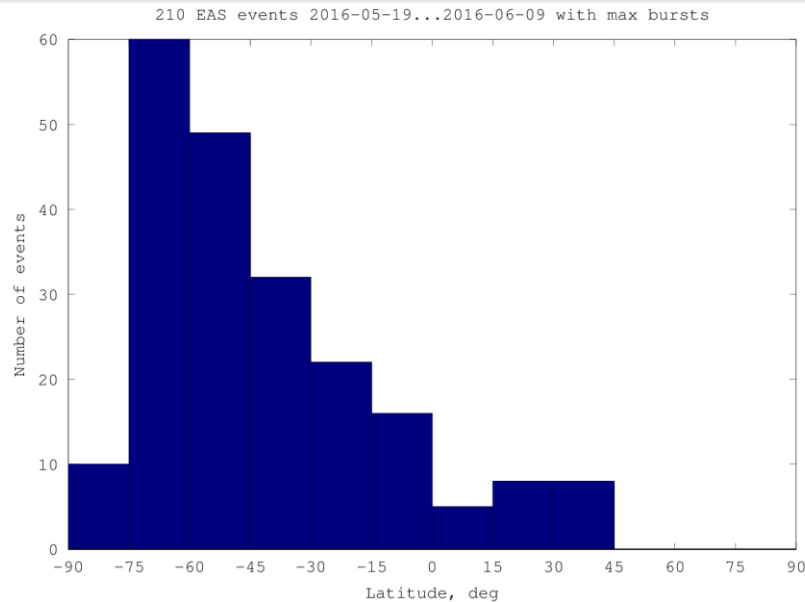
США,
11.06.2016, 07:56, безлунная ночь.



Короткие всплески (менее 1 мкс)

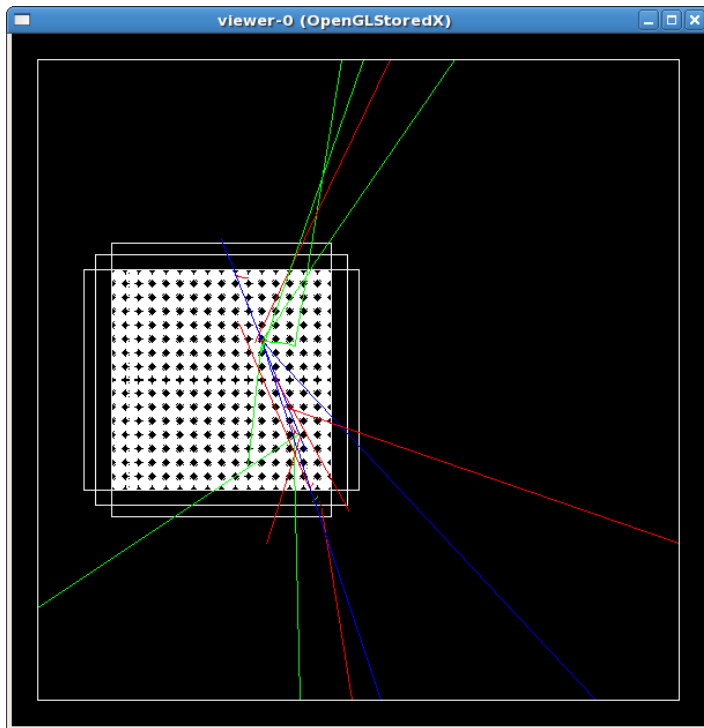


Географическое распределение событий (широтный эффект)



Космические лучи с энергией $\sim 1 - 10$ ГэВ?

Моделирование в Geant4

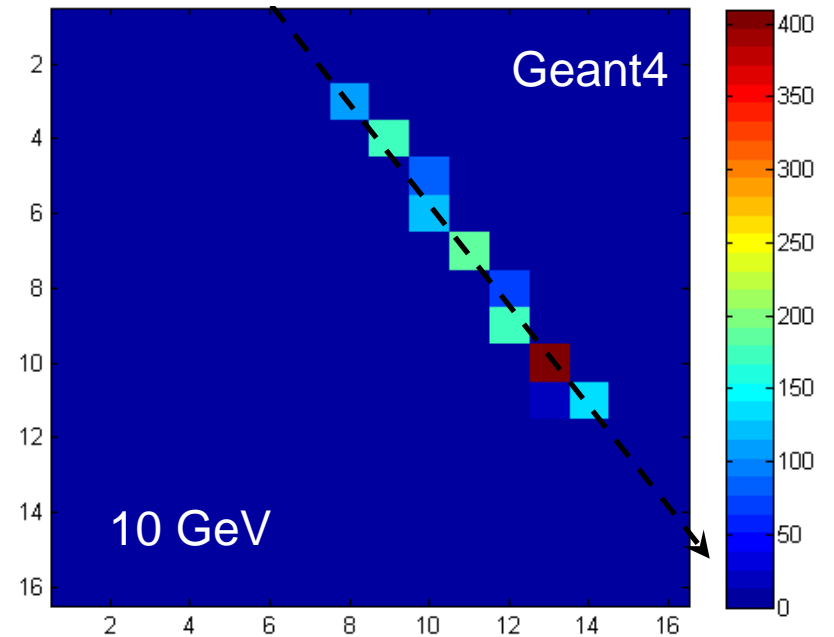
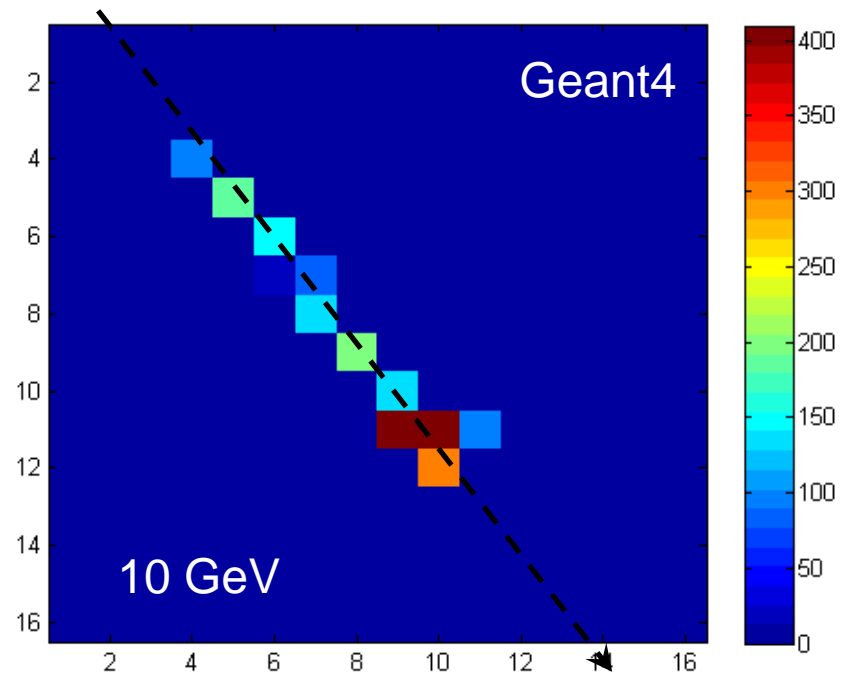
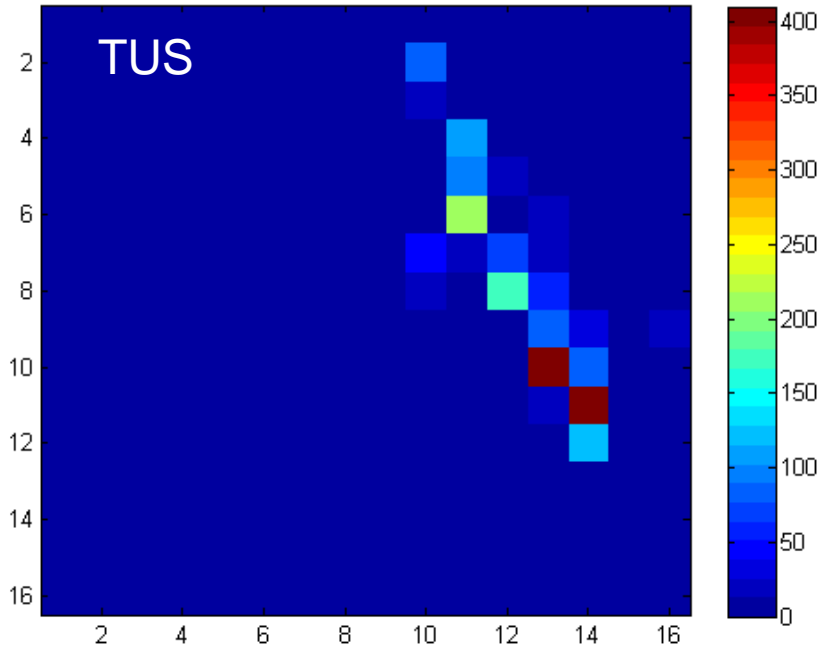


Использованы библиотеки физических процессов:

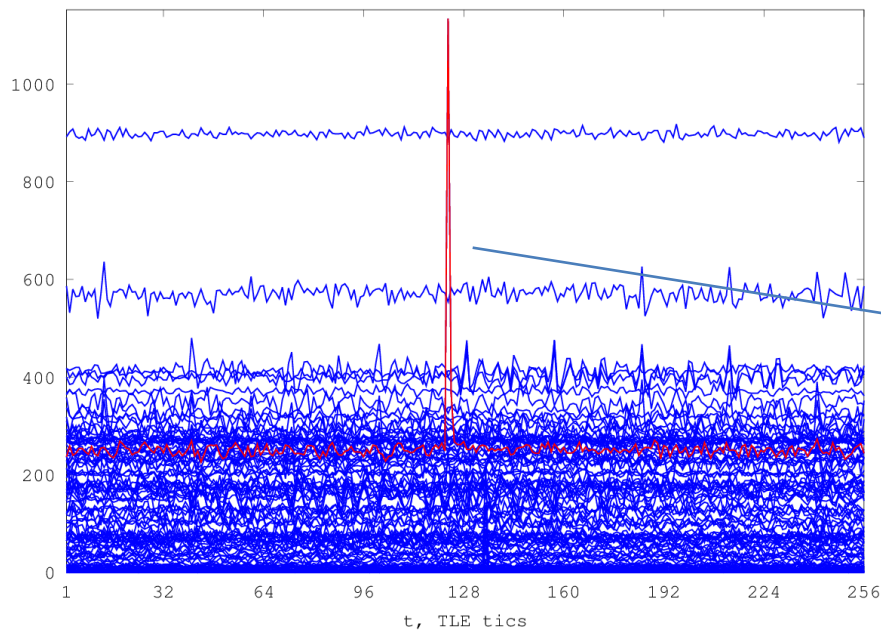
- FTFP_BERT
- (Ядерные взаимодействия)
- EMLivermore (Электромагнитные взаимодействия)
- Optical Processes (Оптические процессы):
 - Черенковское излучение;
 - Флуоресценция в оптическом диапазоне (образование оптических фотонов за счет ионизационных потерь в среде)
 - Поглощение и отражение в стекле УФС-1.
- Учитывается квантовая эффективность ФЭУ

$$N_{pe} = \sum q(\lambda) \cdot n(\lambda)$$

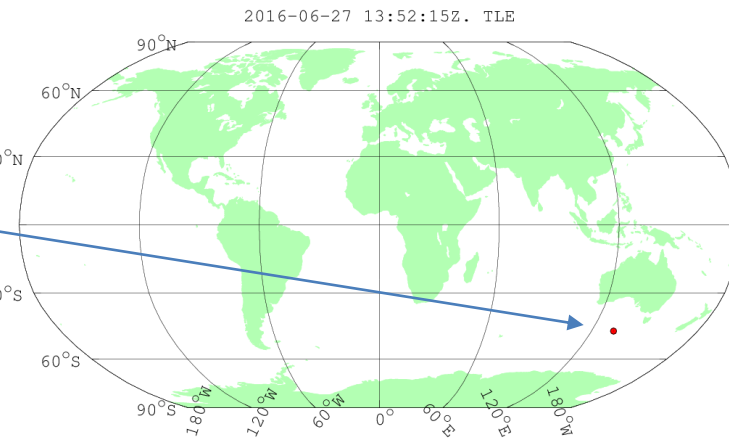
Результаты расчетов



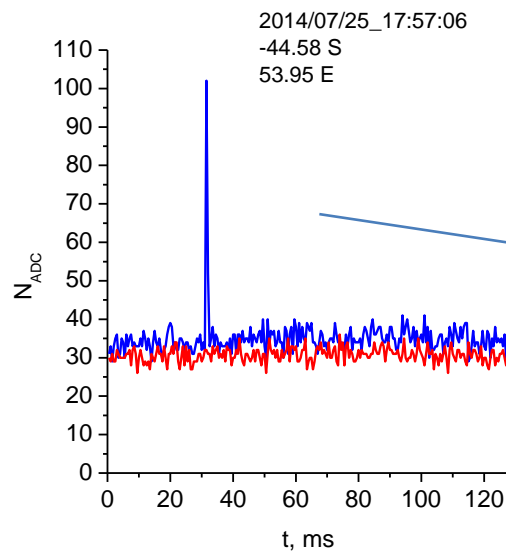
2016-06-27 13:52:15Z. TLE. Max=1134@123 (red)



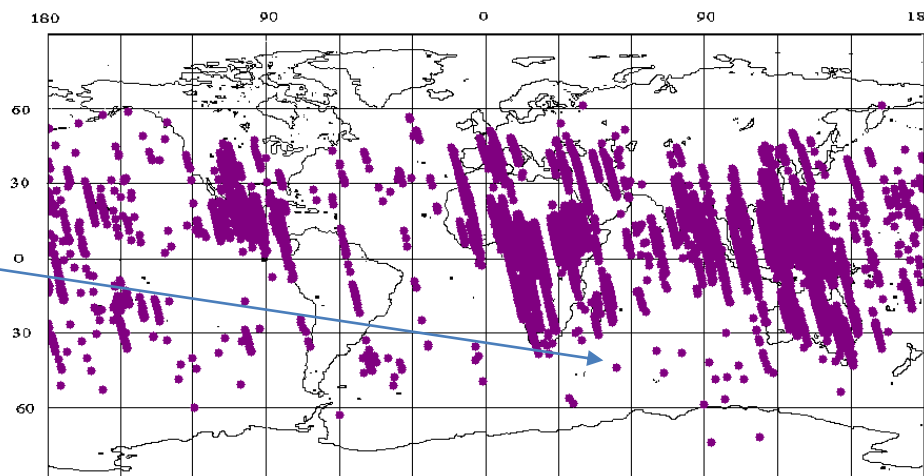
«Ломоносов», 2016



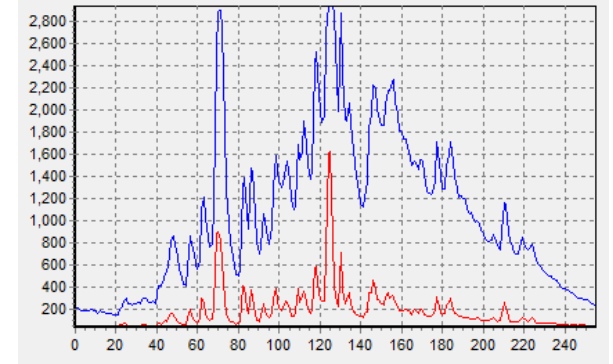
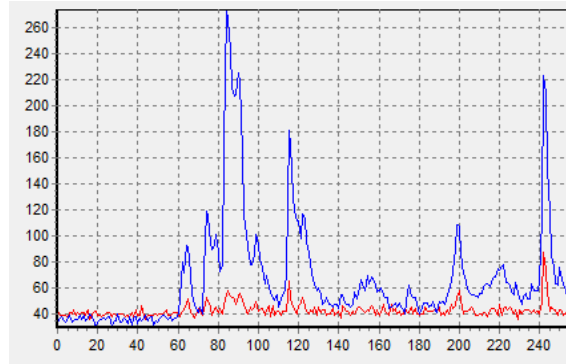
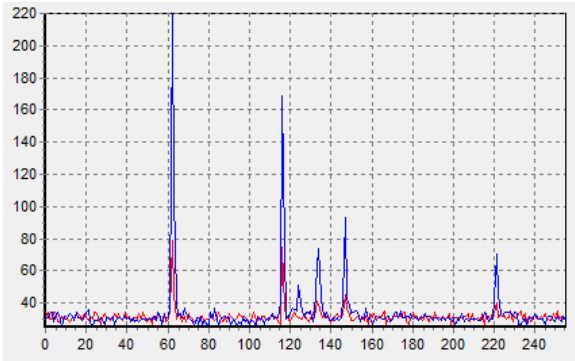
Аналогичные узкие пики наблюдаются и в осциллограммах с разрешением 0,4 мс в соседних ячейках фотоприемника.



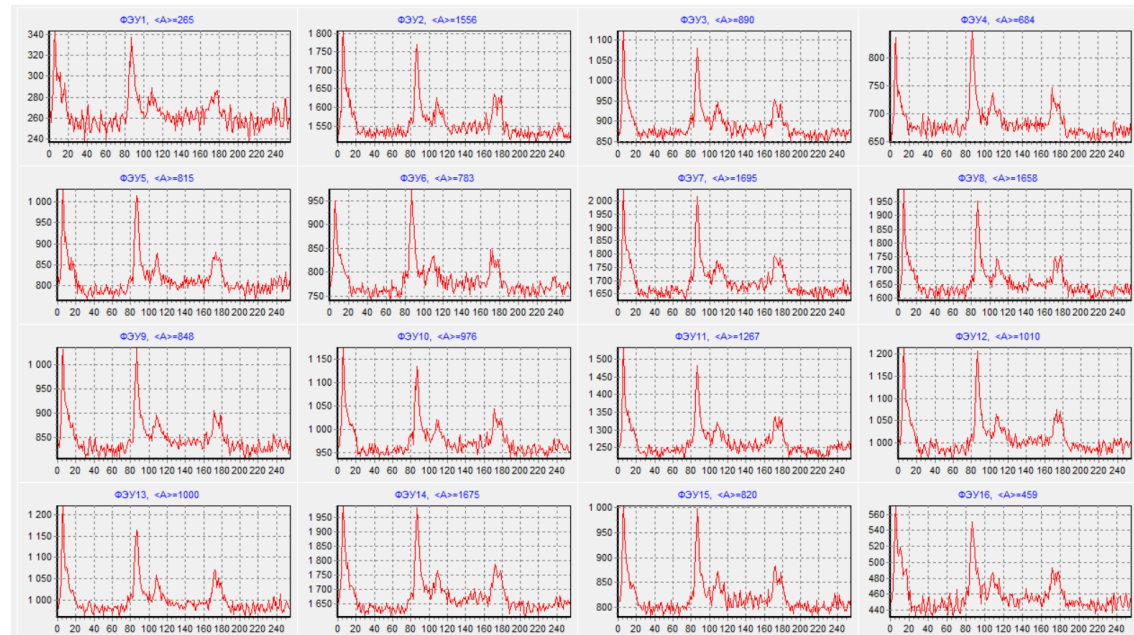
«Вернов», 2014

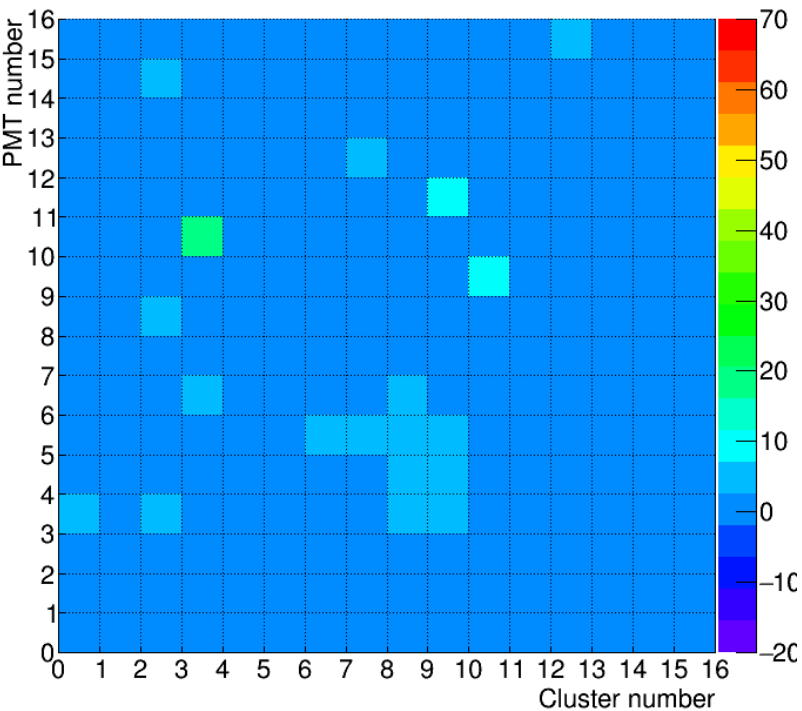


«Вернов», 2014



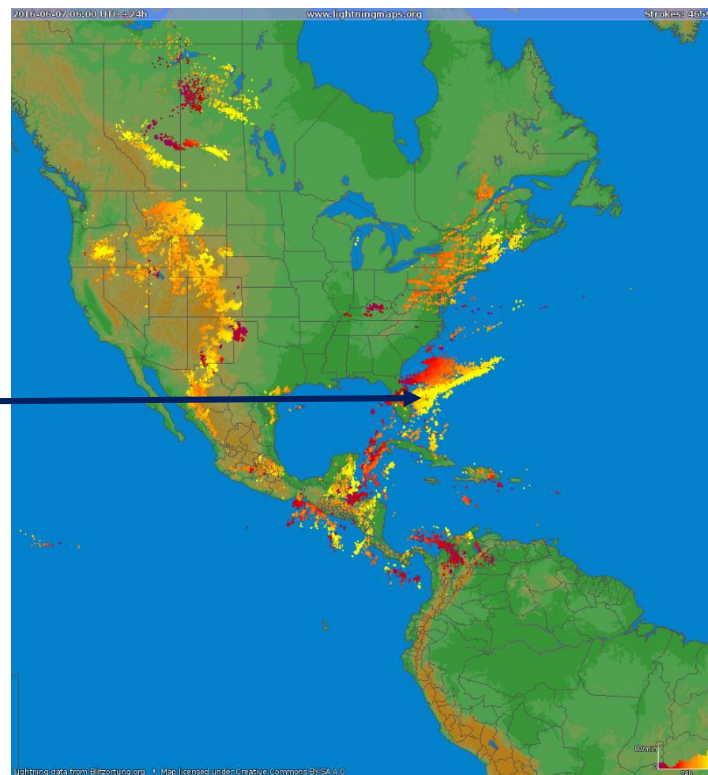
«Ломоносов», 2016





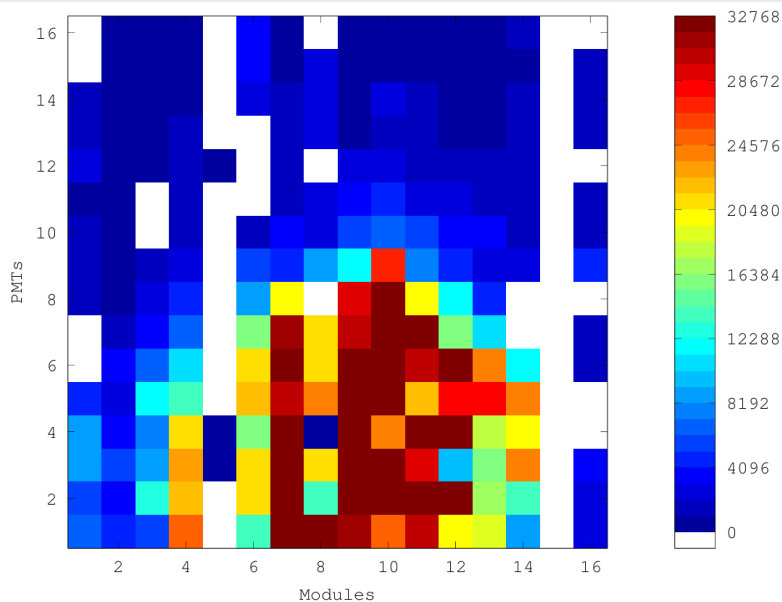
Короткое событие типа «эльф» в районе грозы

- Временное разрешение 0,8 мкс (режим ШАЛ)

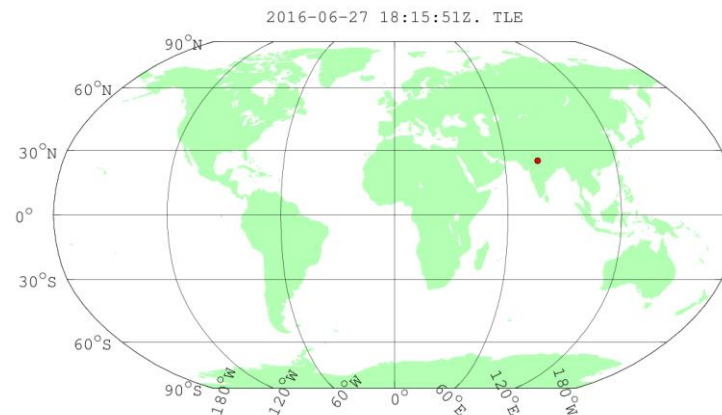


Мощная УФ вспышка (разрешение 0,4 мс – режим ТАЯ)

2016-06-27 18:15:51Z. TLE. Max=32736. Frame 001

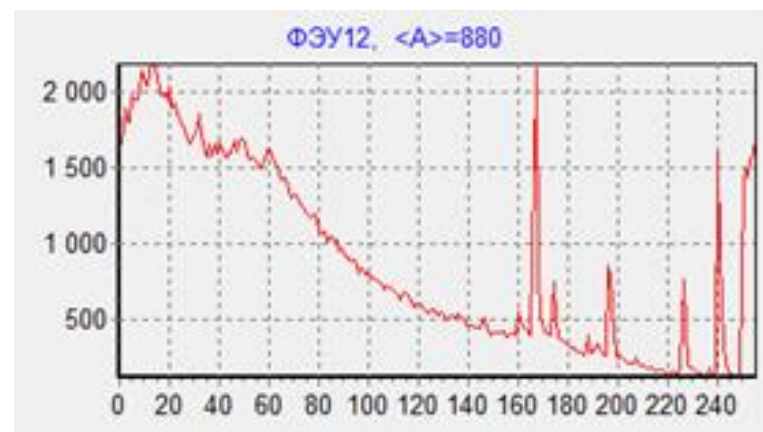


Пространственно-временная
динамика вспышки



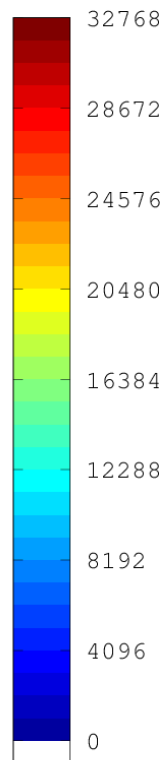
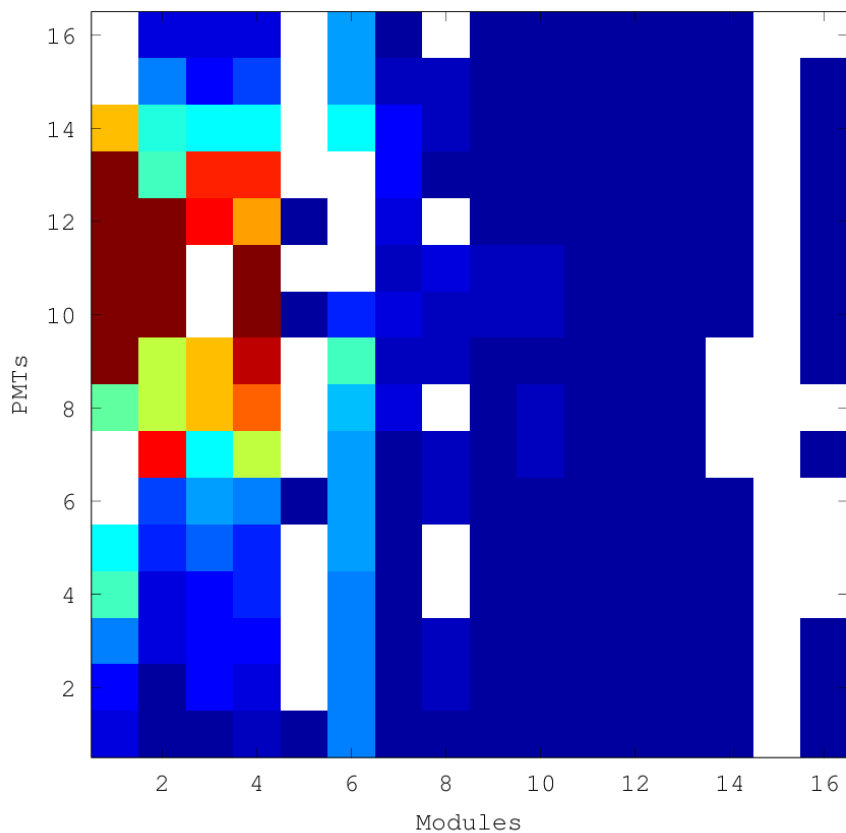
Географическое положение

Пример осциллограммы одного ФЭУ

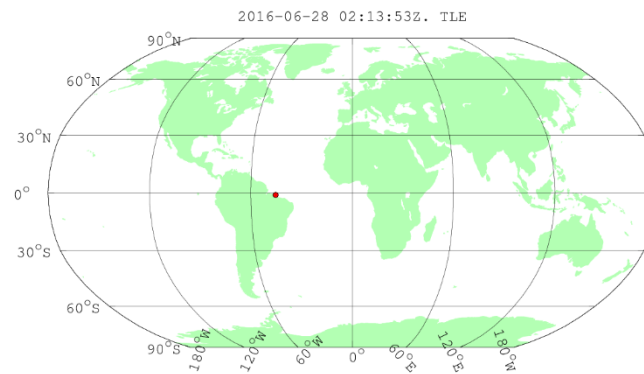
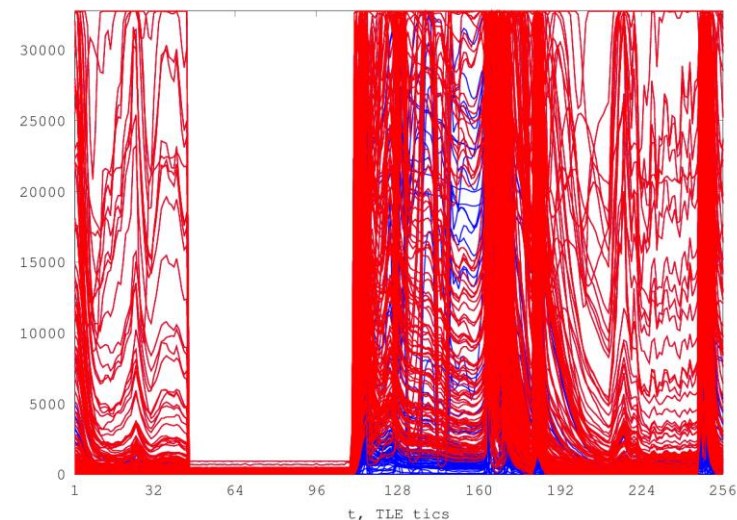


Мощная УФ вспышка (разрешение 0,4 мс – режим ТАЯ)

2016-06-28 02:13:53Z. TLE. Max=32736. Frame 001



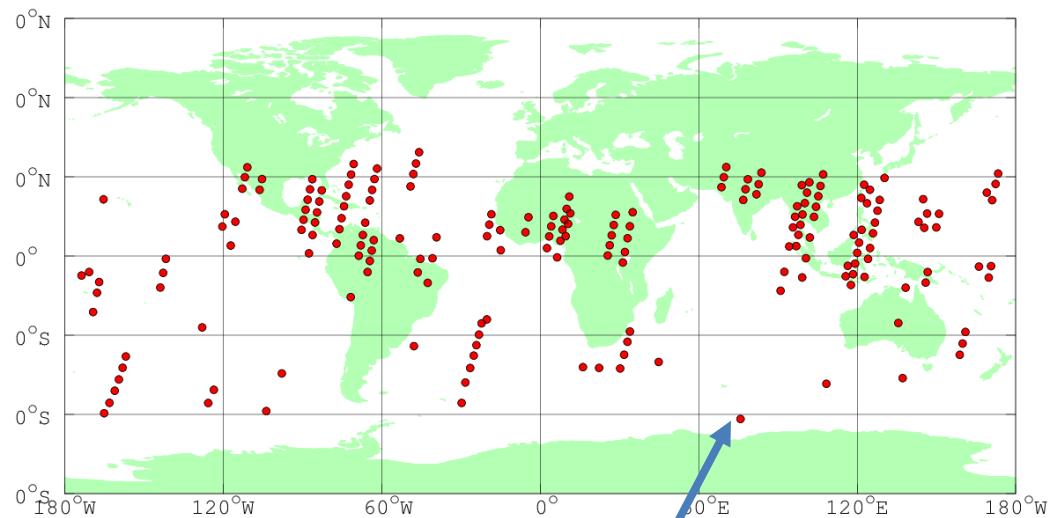
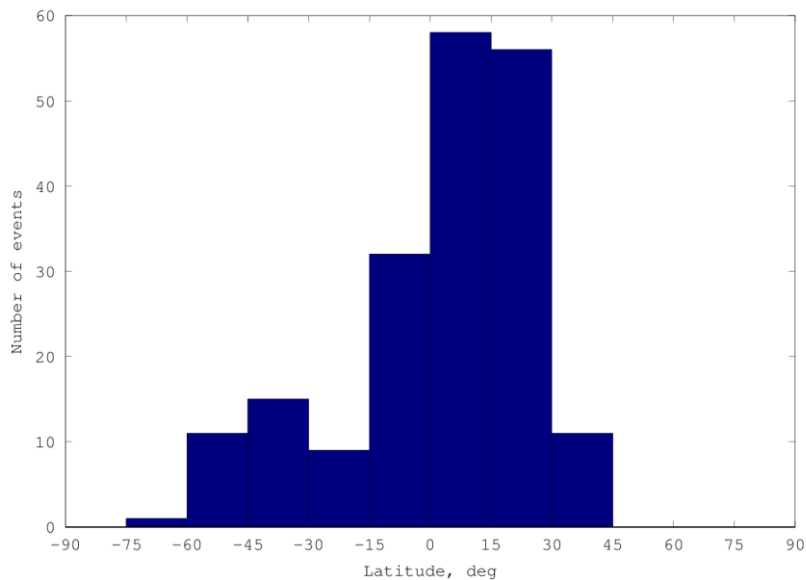
2016-06-28 02:13:53Z. TLE. Max=32736@1 (red)



Географическое распределение событий типа ТАЯ



193 TLE events 2016-06-10...2016-07-06



В основном явления связаны с грозовой активностью, НО ?

Заключение

- Детектор «ТУС» успешно прошел летные испытания, переходит в режим непрерывного набора статистики.
- Проведены первые измерения УФ фона ночной атмосферы Земли, которые согласуются с результатами предыдущих экспериментов («Татьяна», «Вернов»).
- Проведены первые измерения транзитных атмосферных явлений, проводится исследование пространственно-временной динамики событий.
- Детектор «ТУС» регистрирует сигнал от попадания низко энергичных частиц в фотоприемник, для уменьшения числа фоновых событий такого типа необходима модернизация триггерной системы.

Ближайшие планы

- Сравнение данных по УФ вспышкам с данными наземных сетей регистрации молний и высоко атмосферных разрядов.
- Проверка триггерной системы с помощью лазерной имитации ШАЛ.



Спасибо за внимание!