

РЕГИСТРАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ
ОТ АТМОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
РАЗРЯДОВ (МОЛНИЙ)
В РАЗЛИЧНЫХ ДИАПАЗОНАХ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СПЕКТРА

А.Л. Щепетов

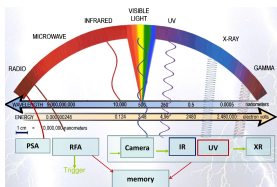
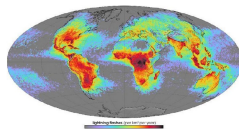
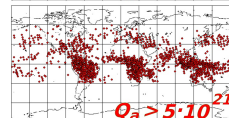
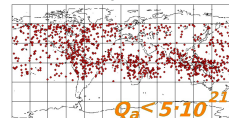
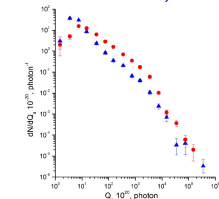
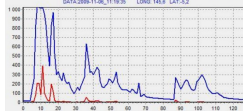
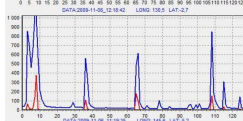
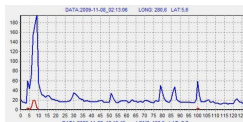
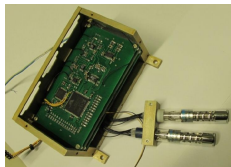
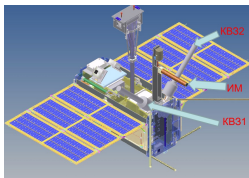
Тянь-Шаньская высокогорная научная станция ФИАН

2017

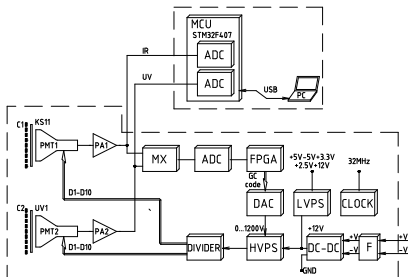
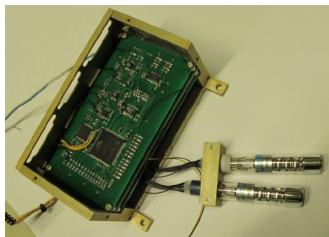
Предыстория: семинар по атмосферному электричеству (декабрь 2016)



Предыстория: малые спутники «Татьяна», «Татьяна-2», «Чиби́с», «Ломоносов» (МГУ, 2008–2017гг)

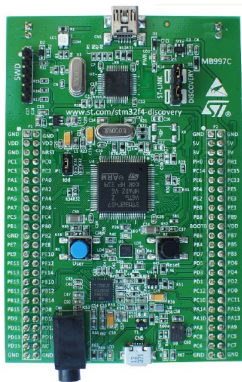


Оптический детектор



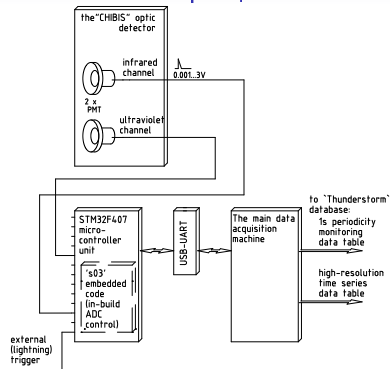
- ФЭУ: Hamamatsu R1463 с мультищелочным фотокатодом;
- UV канал: фильтр «UVS2»
 $\lambda = 240 - 380$ нм,
квантовая эффективность
 $\sim 20\%$;
- IR канал: фильтр «KS11»
 $\lambda = 610 - 800$ нм,
квантовая эффективность
 $\sim 6\%$ при 600 нм,
 $\sim 1\%$ при 800 нм;
- автоматический контроль режима ФЭУ.

Универсальная система сбора данных

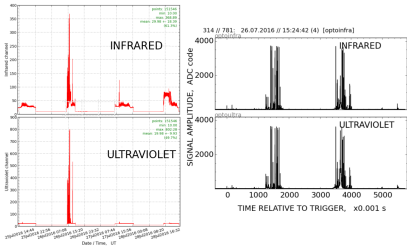


- ARM микропроцессор типа STM32F407;
- встроенная программа на базе библиотеки *libopencm3* (<http://libopencm3.org/>), скомпилированная в системе *gnu-arm-eabi* (<https://launchpad.net/gcc-arm-embedded>);
- до 16-ти информационных каналов;
- принципиально асинхронная организация программы: свой независимый поток выполнения для каждого канала;
- обмен по последовательному интерфейсу с преобразованием UART↔USB;
- два режима работы: оцифровка аналоговых сигналов (программа *s03*) и счет цифровых импульсов (программа *s02*).

Регистрация сигналов от оптического детектора



- 12-разрядный АЦП (диапазон 0–4095);
- параллельно ведутся две серии измерений в каналах *UV* и *IR* с разрешением 10мкс и 100мкс (соответственно, полная длина скана 0.1с и 1с);
- синхронизация временных серий по *внешнему* и *внутреннему* триггеру;
- мониторинг средней интенсивности входных сигналов с секундным разрешением.



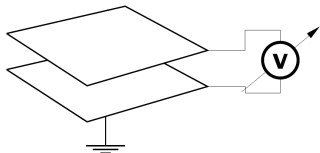
Электрические измерения

- Field Mill

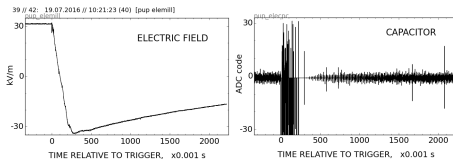


- * временное разрешение определяется скоростью подвижного электрода ($\sim 0.1-0.3$ с);
- * возможность абсолютной калировки показаний (в кВ/м).

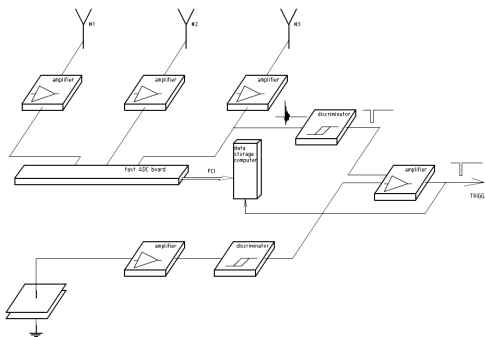
- Capacitor



- * временное разрешение определяется быстротой АЦП ($\sim 10-100$ мкс);



Радио-излучение от атмосферных разрядов

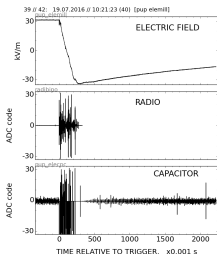
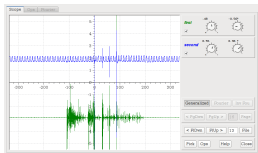


- группа из трех антенн: две взаимно перпендикулярные петлевые ($M1$, $M2$), одна штыревая (E);

- диапазон частот 0.1–30 МГц;

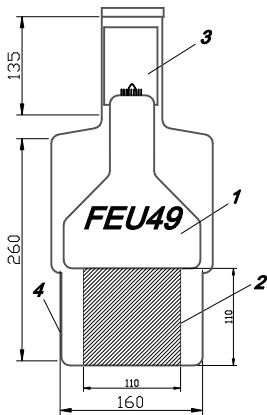
- временное разрешение 20нс (160нс в 2017г), полная длина серии 0.66/4.8с;

- сигнал одной из антенн используется для выработки триггерного импульса.



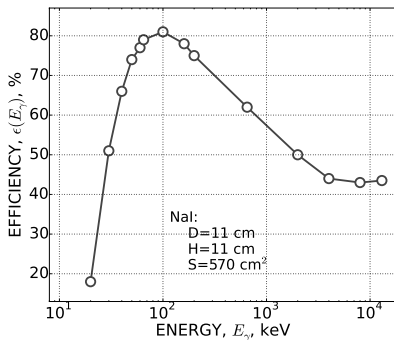
Гамма-детектор

- Внутреннее устройство

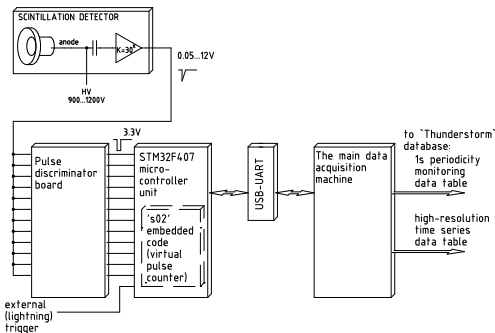


1 – ФЭУ, 2 – кристалл NaI, 3 – плата электроники, 4 – внешний корпус из 1мм алюминия.

- Эффективность регистрации γ -квантов



Регистрация гамма-излучения

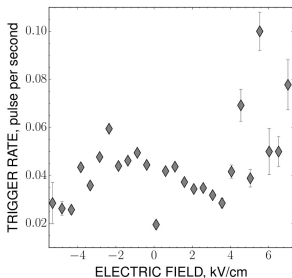


- измерения на высоте $\sim 400\text{м}$ над уровнем станции;
- 12 энергетических диапазонов ($\sim 50\text{ keV} - \sim 4\text{ MeV}$);
- временное разрешение сканов $20/160\text{мкс}$, полная длина $0.11/2\text{ с}$;
- параллельные измерения в режиме мониторинга;
- *внутренний* триггер с условием « ≥ 12 импульсов в диапазоне $> 100\text{ кэВ}$ в течение 480 мкс ».

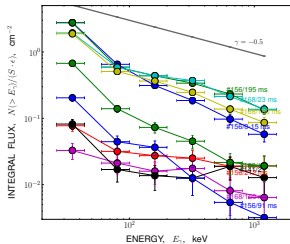


Регистрация гамма-излучения

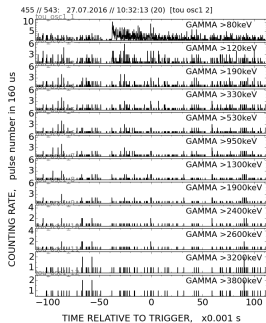
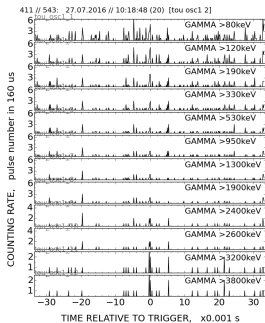
- $I_{T\gamma}$ vs E



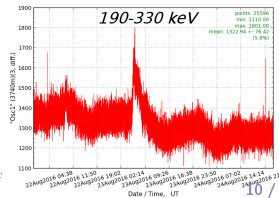
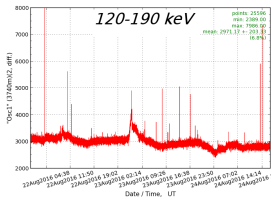
- Спектр



- Временные серии (160мкс/2с)

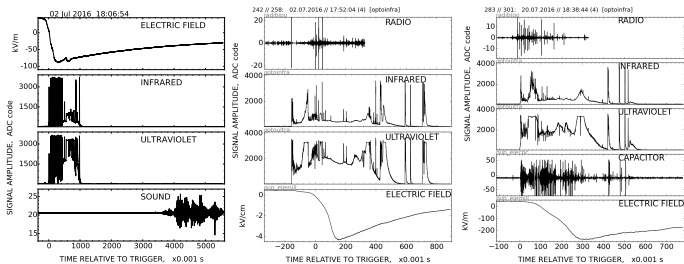


- Мониторинг (10с данные)

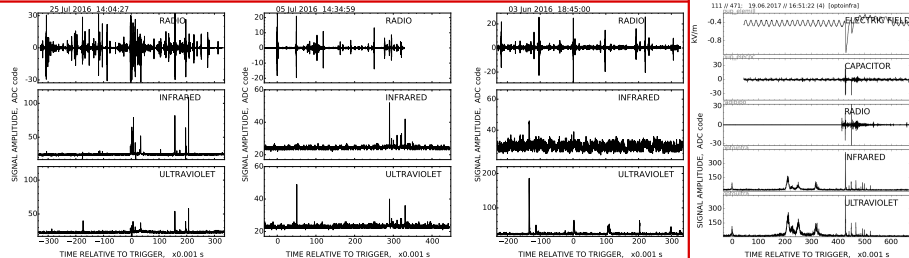


Оптика & радио: типы разрядов

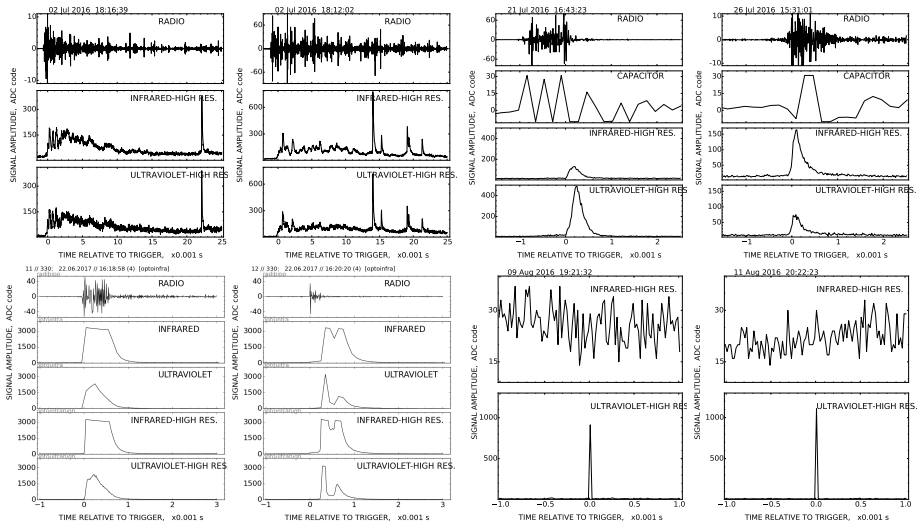
• 2016



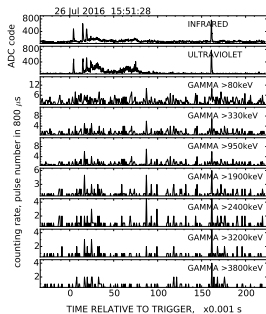
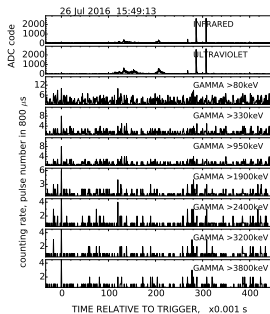
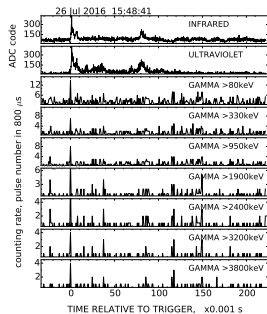
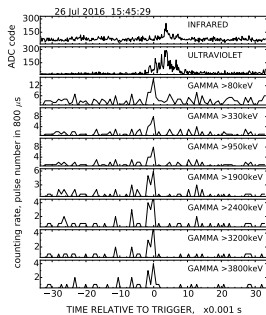
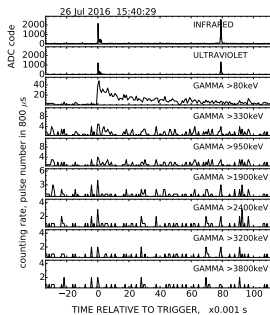
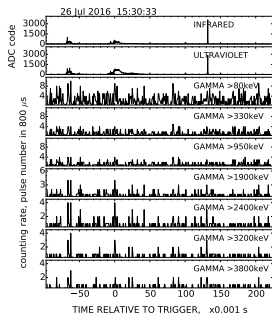
• 2017



Оптика & начальная стадия разряда



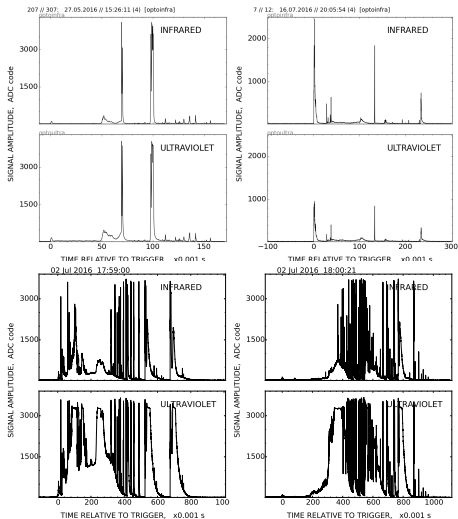
Оптика & гамма: сигнал электронных лавин?



Оптика & сигнал от дальних молний

- События со *внутренним* триггером опт. детектора

- Статистика событий за сезон 2016г



общее число
событий со
вспышками в
IR/UV
диапазоне

2158
(за 32
грозовые
ночи)

из них событий
«оптика+радио»

164

из них событий
«оптика+гамма»

14

Заключение

- комплекс разработанных на Тянь-Шаньской высокогорной станции методик позволяет проводить одновременную регистрацию электромагнитного излучения от атмосферных электрических разрядов в широком диапазоне частот;
- на основе такого комплексного подхода к настоящему времени получены новые экспериментальные данные о развитии электрических разрядов различного типа;
- по этой теме подготовлена публикация:
A. V. Gurevich, G. K. Garipov, A. M. Almenova *et al.*
Simultaneous observation of lightning emission in different diapasons of electromagnetic spectrum in Tien Shan mountains
Atmospheric Research, 2017, in printing.