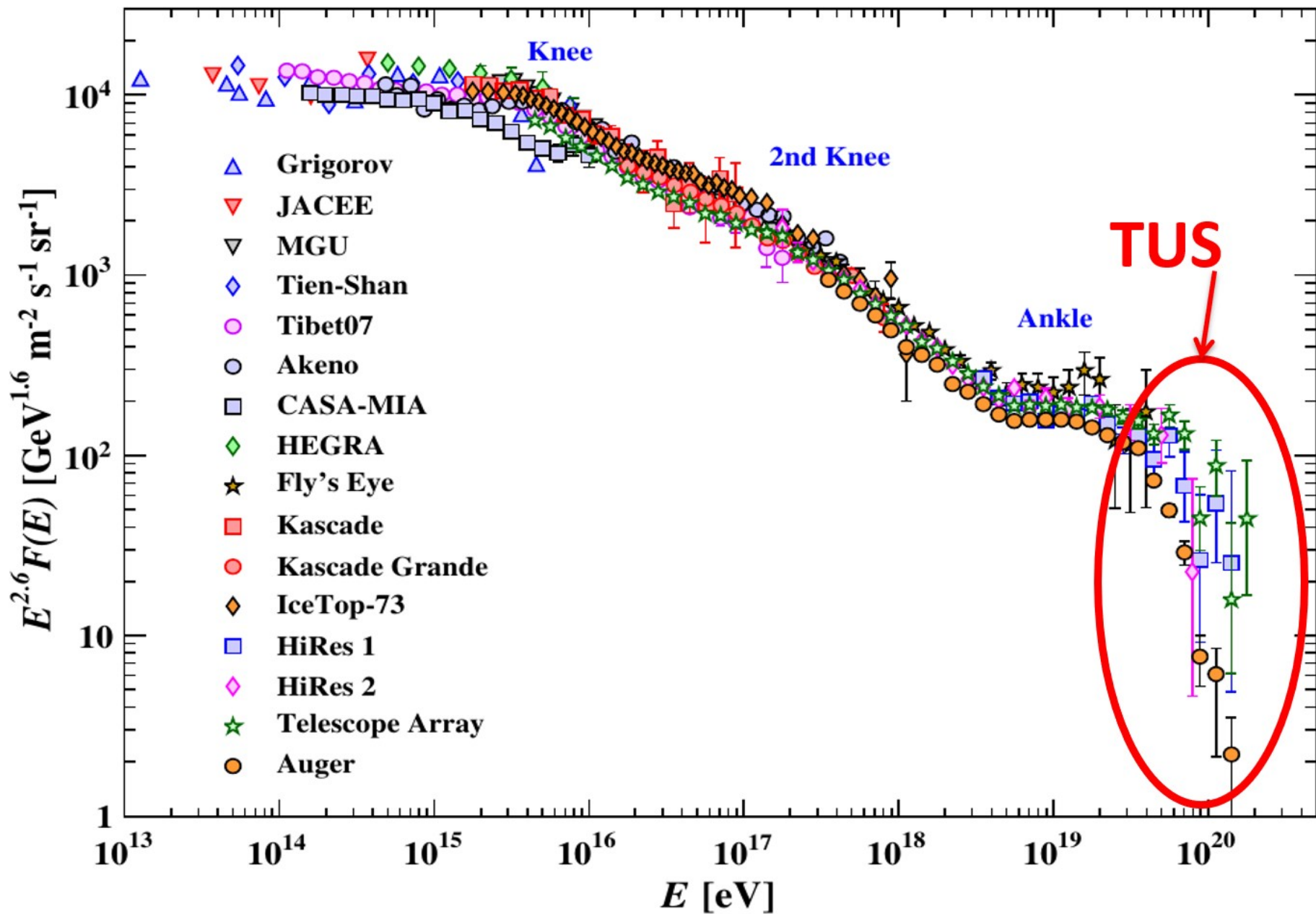


# Аномальные события в данных орбитального детектора "ГУС"

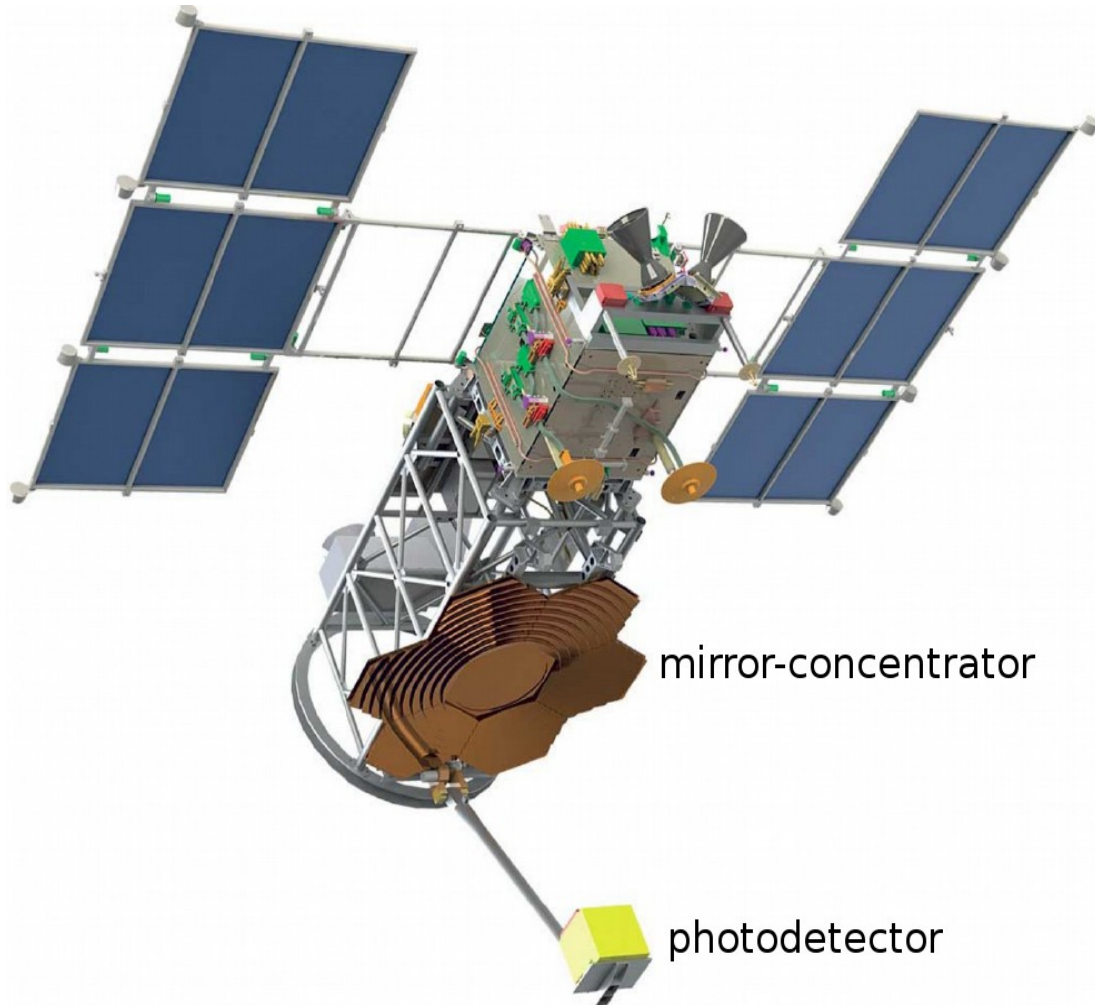
Мария Лаврова, ОИЯИ

Научная сессия секции ядерной физики ОФН РАН  
1–5 апреля 2024

# Cosmic rays spectrum

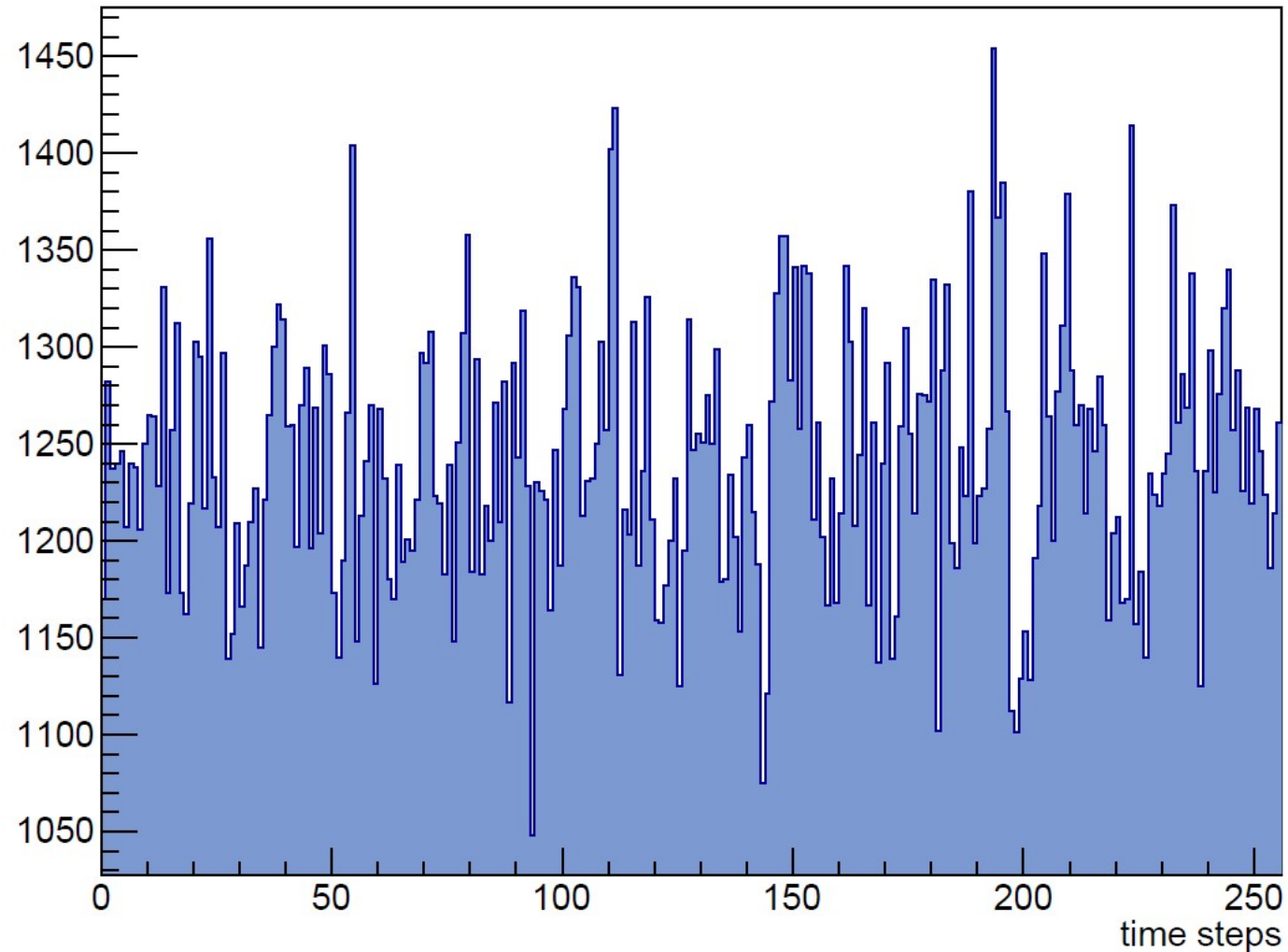


# Схематический вид детектора ТУС на борту спутника «Ломоносов»



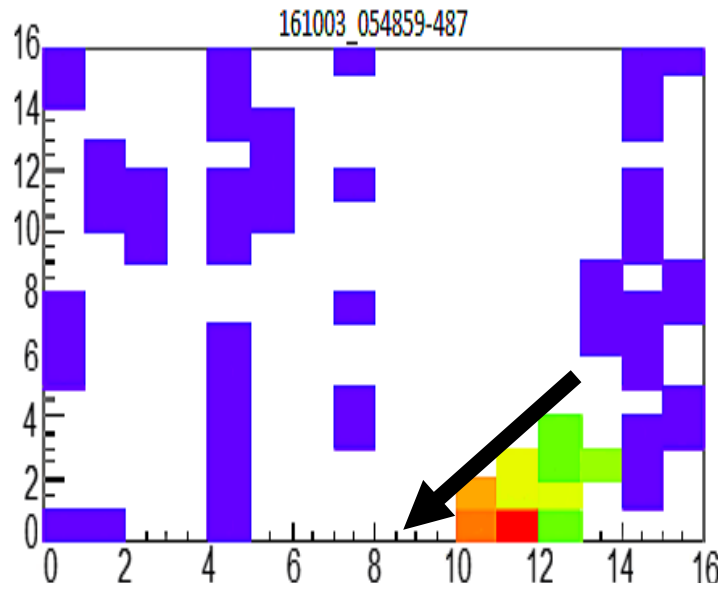
Mass	< 60 kg.
Power	65 W.
Data rate	200 Mbytes/day
Number of pixels	16x16 PMTs
FOV	$\pm 4,5$ degree.
Duty cycle	30%
Altitude	500 km
Pixel:	10 mrad(5x5 km)
Mirror area	1,8 m <sup>2</sup> .
Focal distance	1,5 m
Period	94 min

За два года работы на орбите ТУС зарегистрировал около 200000 событий. Основная часть из них имеет шумоподобный сигнал.

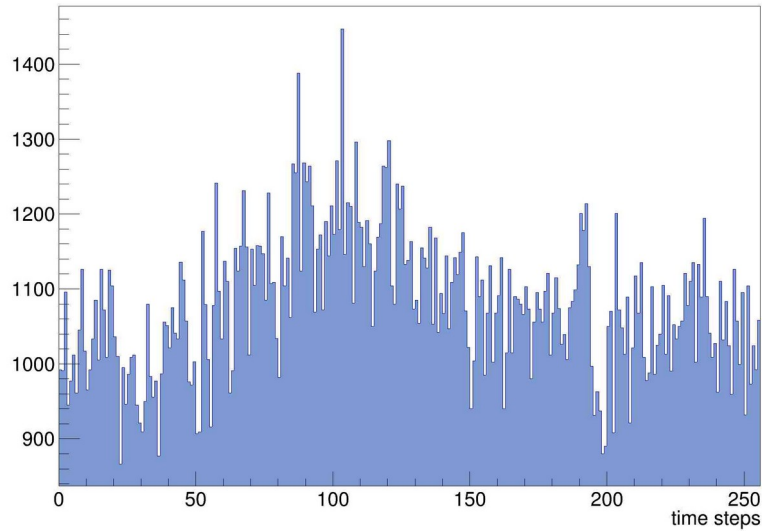


Зависимость от времени суммарной амплитуды сигнала  
фонового события

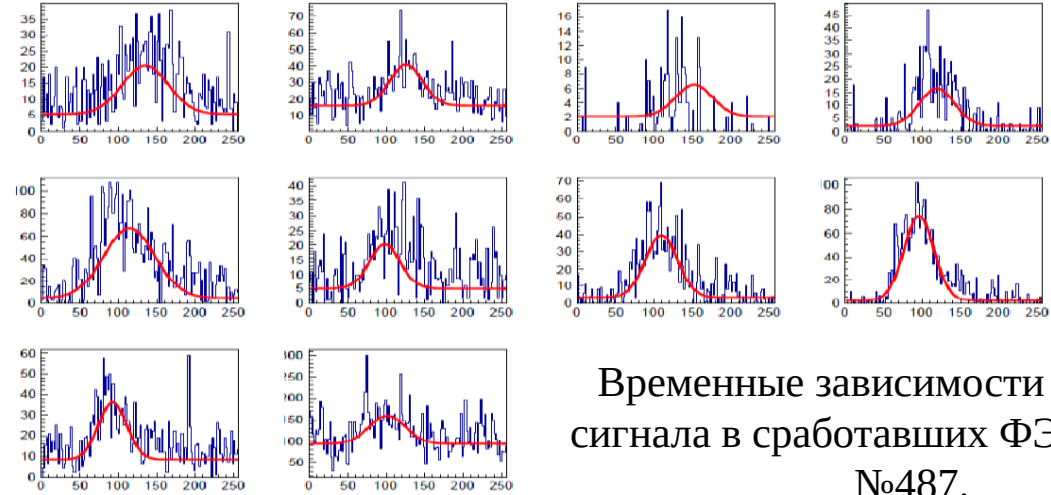
# Событие-кандидат в ШАЛ в данных ТУС



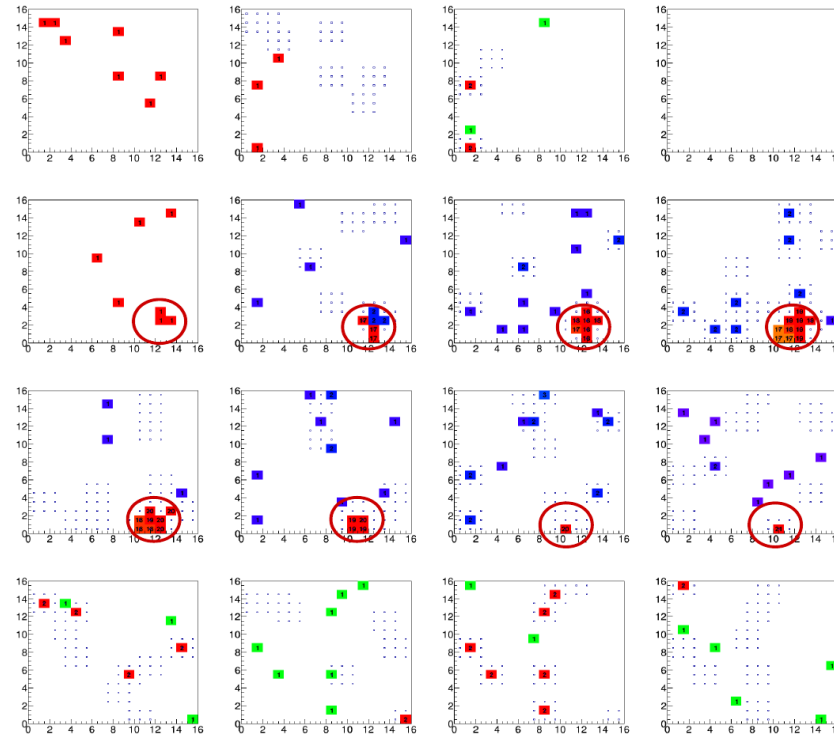
Изображение матрицы фотодетектора с активными пикселями.



Зависимость от времени суммарной амплитуды сигнала

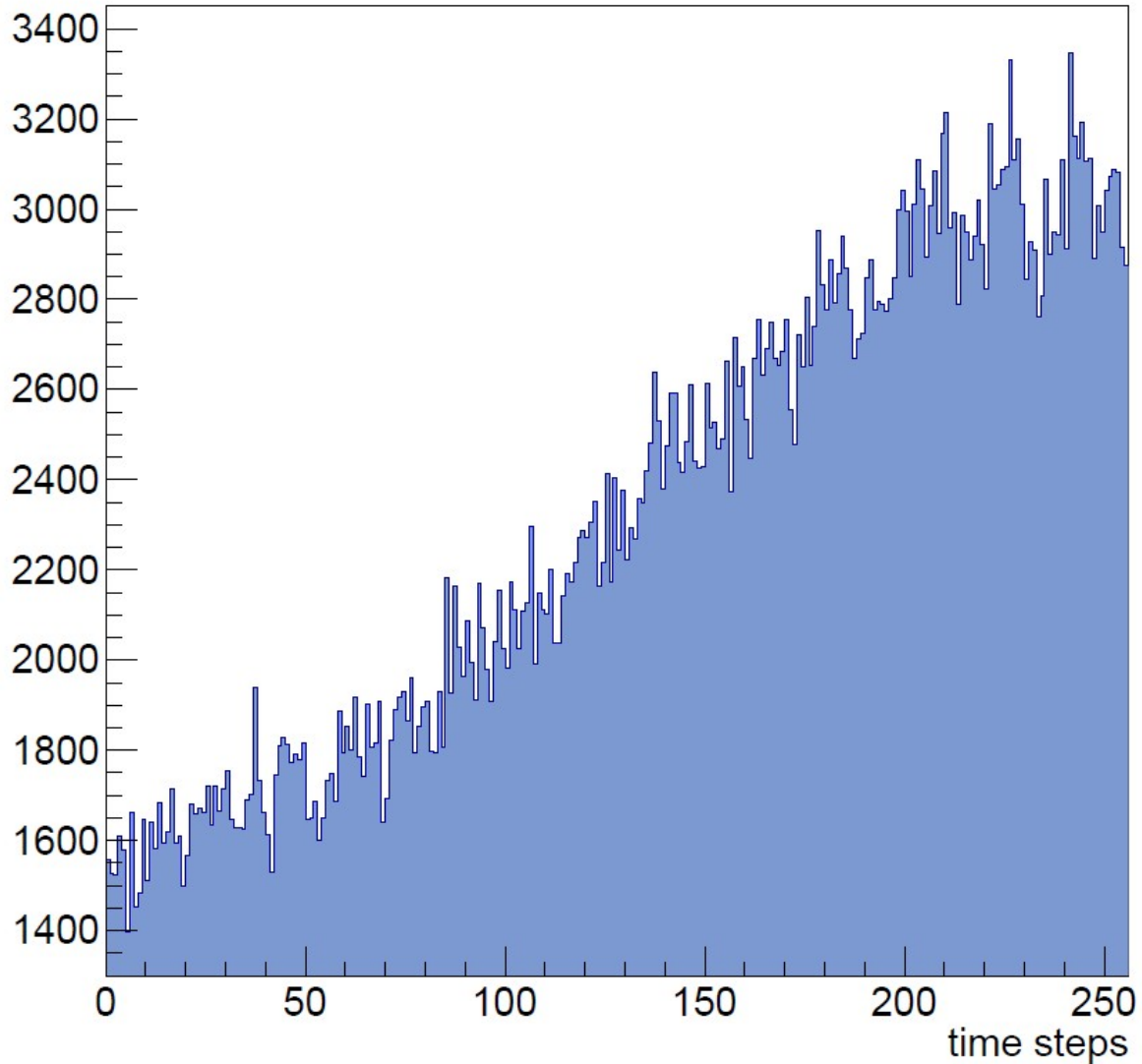


Временные зависимости амплитуд сигнала в работающих ФЭУ события №487.

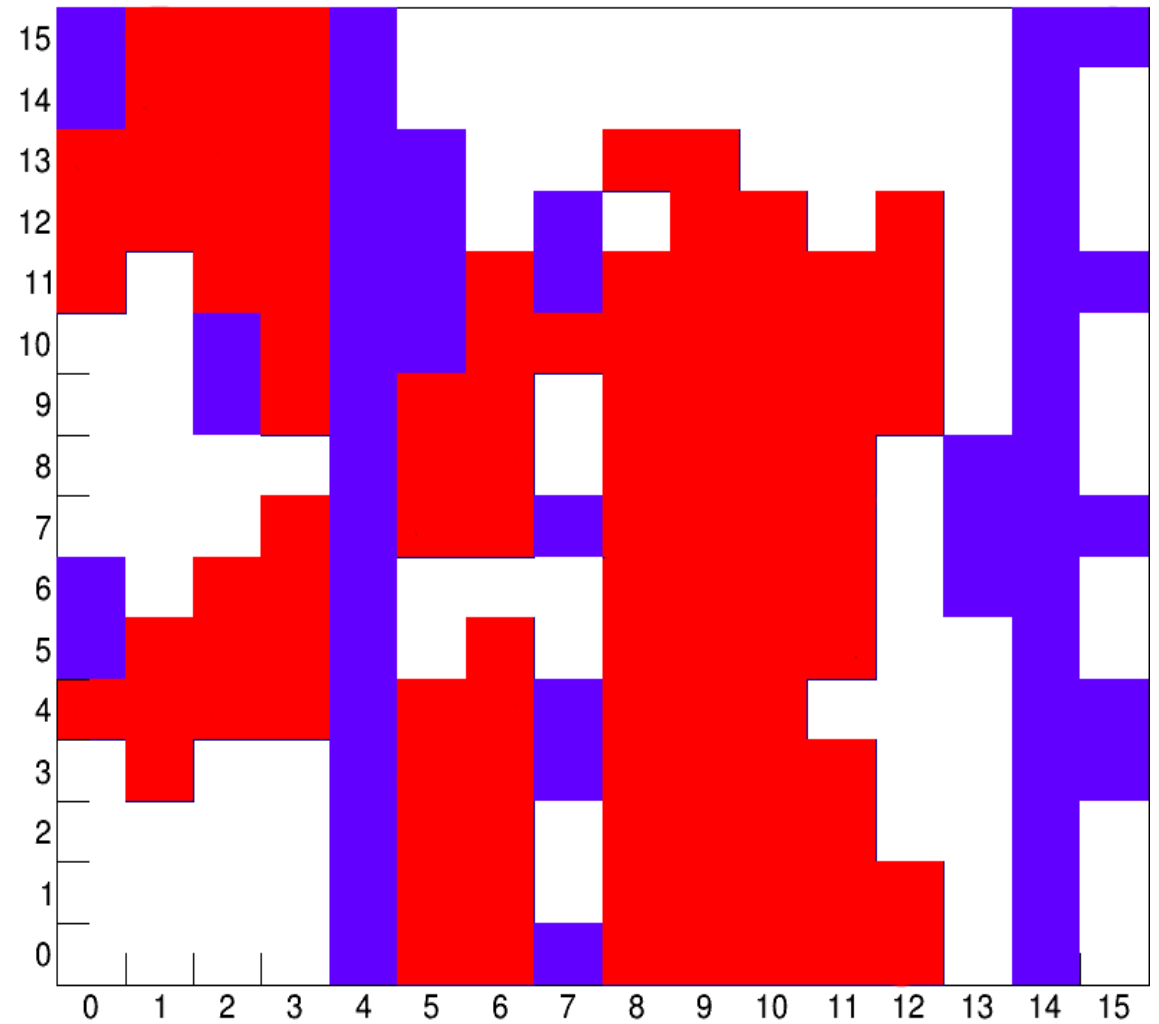


Изображение работающих пикселей на покадровой развертке с шагом 16x0,8 мкс.

# События грозовой природы



Зависимость от времени суммарной амплитуды сигнала

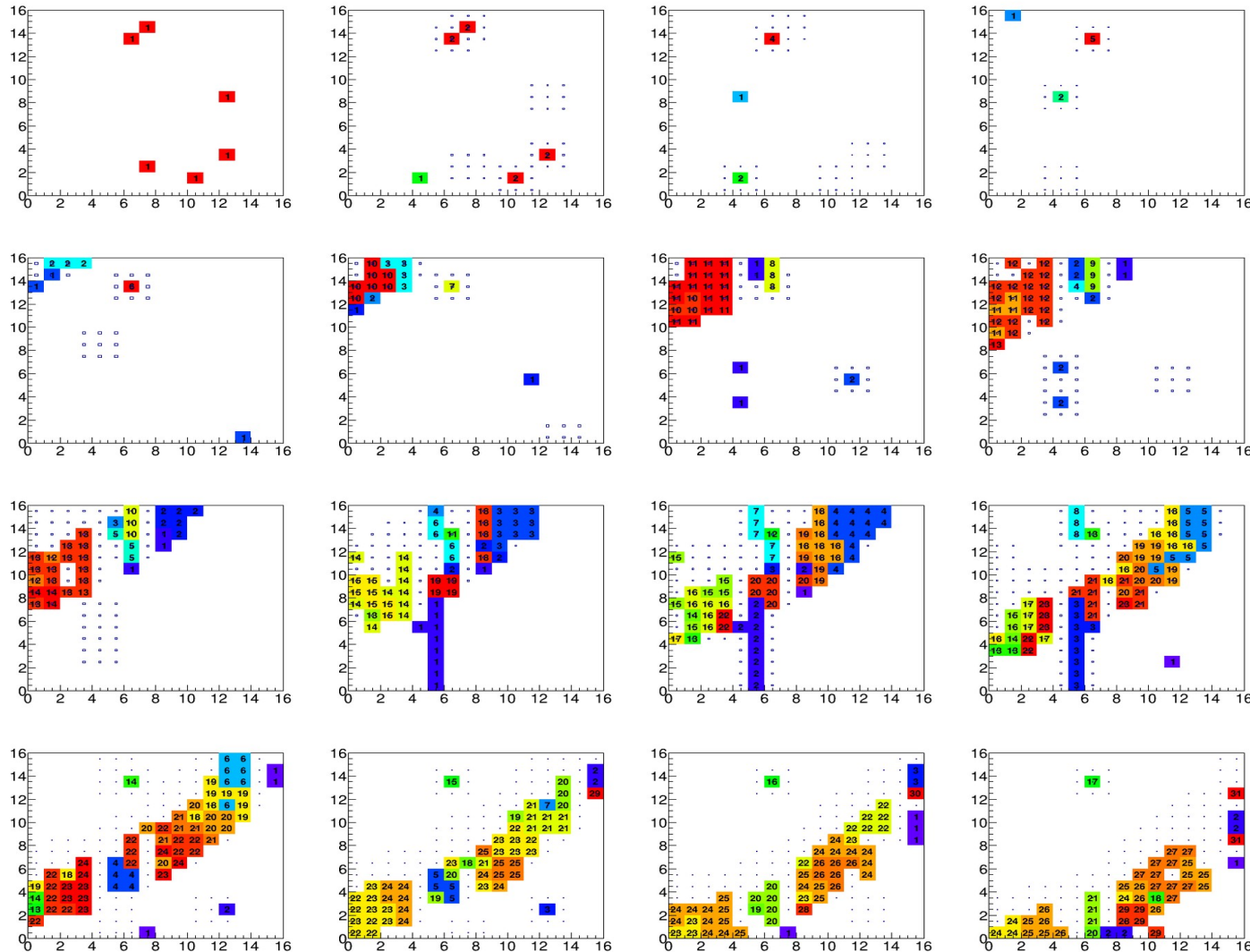


Матрица фотодетектора с неработающими ФЭУ (синий цвет) и ФЭУ, отвечающими сигналу (красный цвет)

# ЭЛЬВ

(Emission of Light and Very-low frequency perturbation from an Electromagnetic pulse sources)

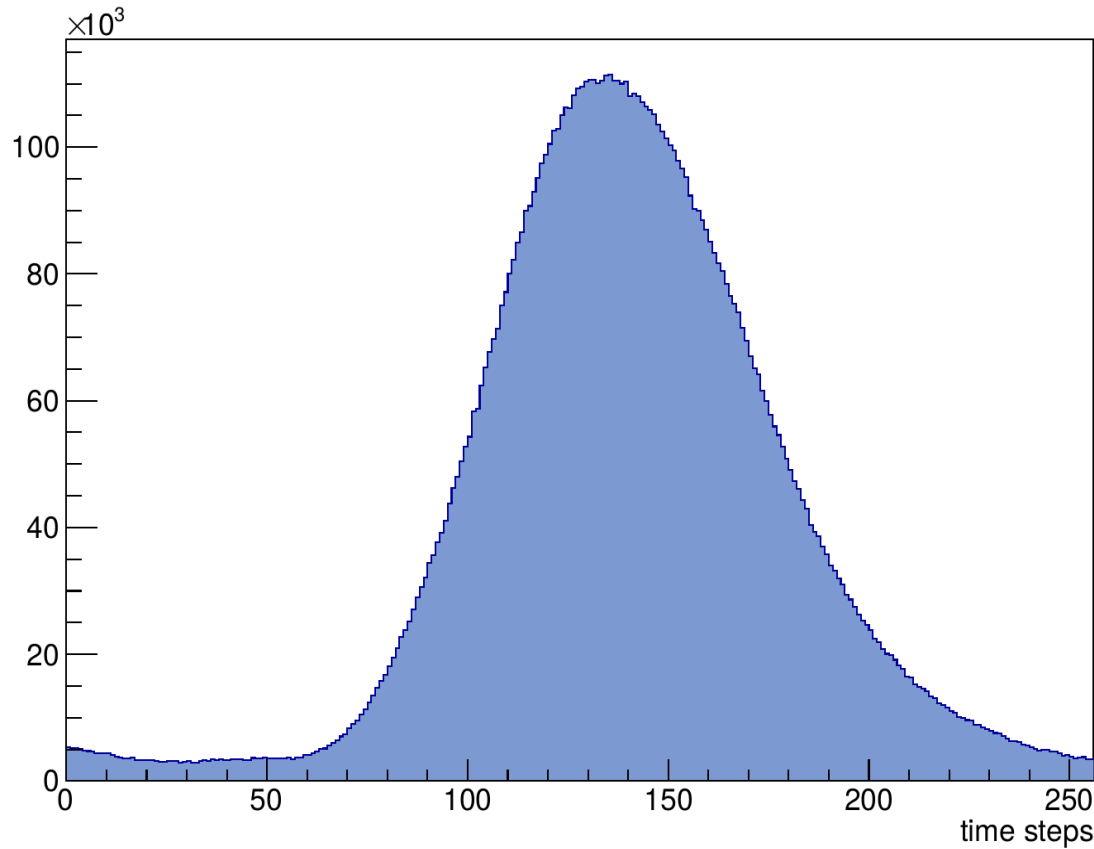
Эльвы представляют собой один из типов транзиентных атмосферных явлений, который выглядит как расширяющееся светящееся кольцо, распространяющееся в ионосфере на высоте 80-90 км.



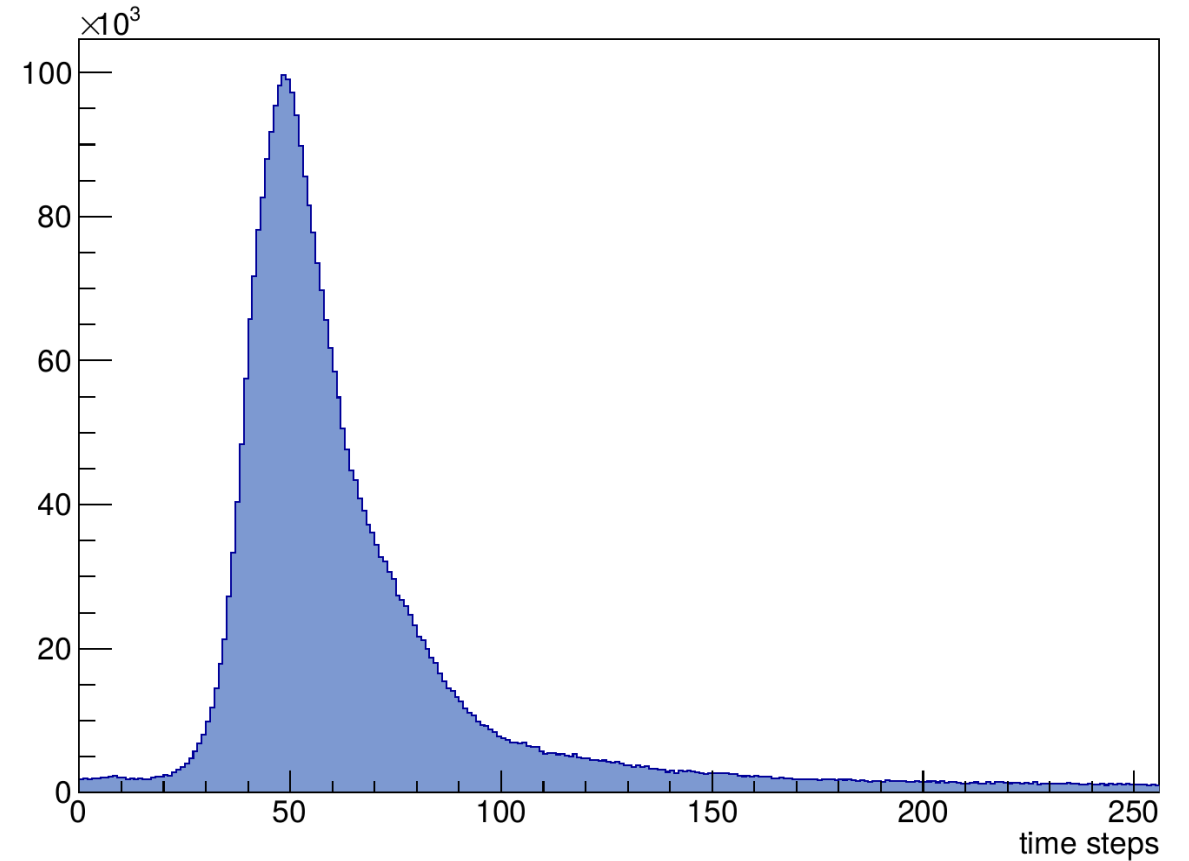
Покадровая развертка  
события типа «ЭЛЬВ» над Африкой.  
18-09-2016 22:06:48

# Аномальные события

Событие №170818\_101809-072



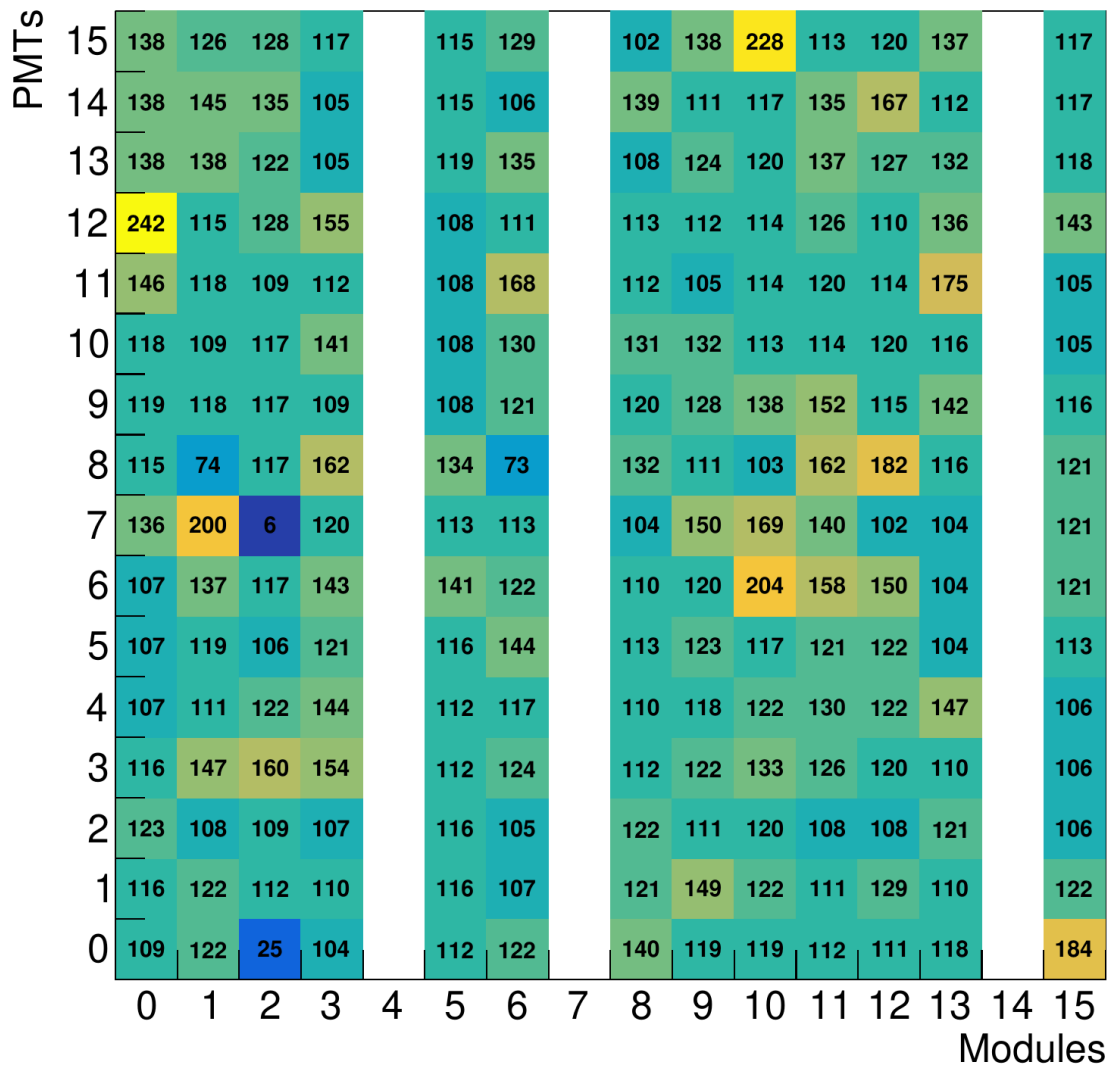
Событие №170530\_233152-128



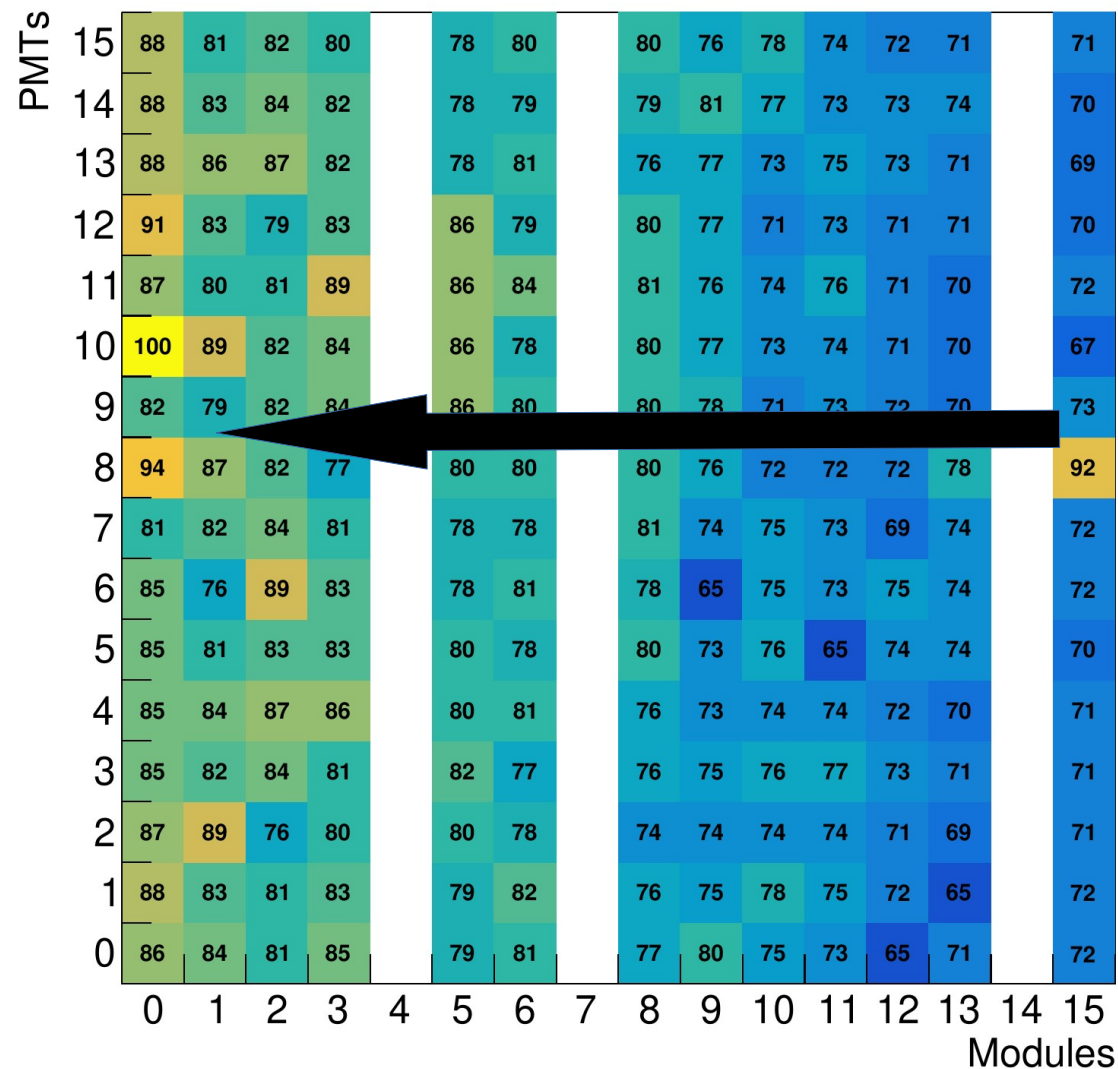
Зависимость от времени суммарной амплитуды сигнала



События без движения по матрице фотодетектора



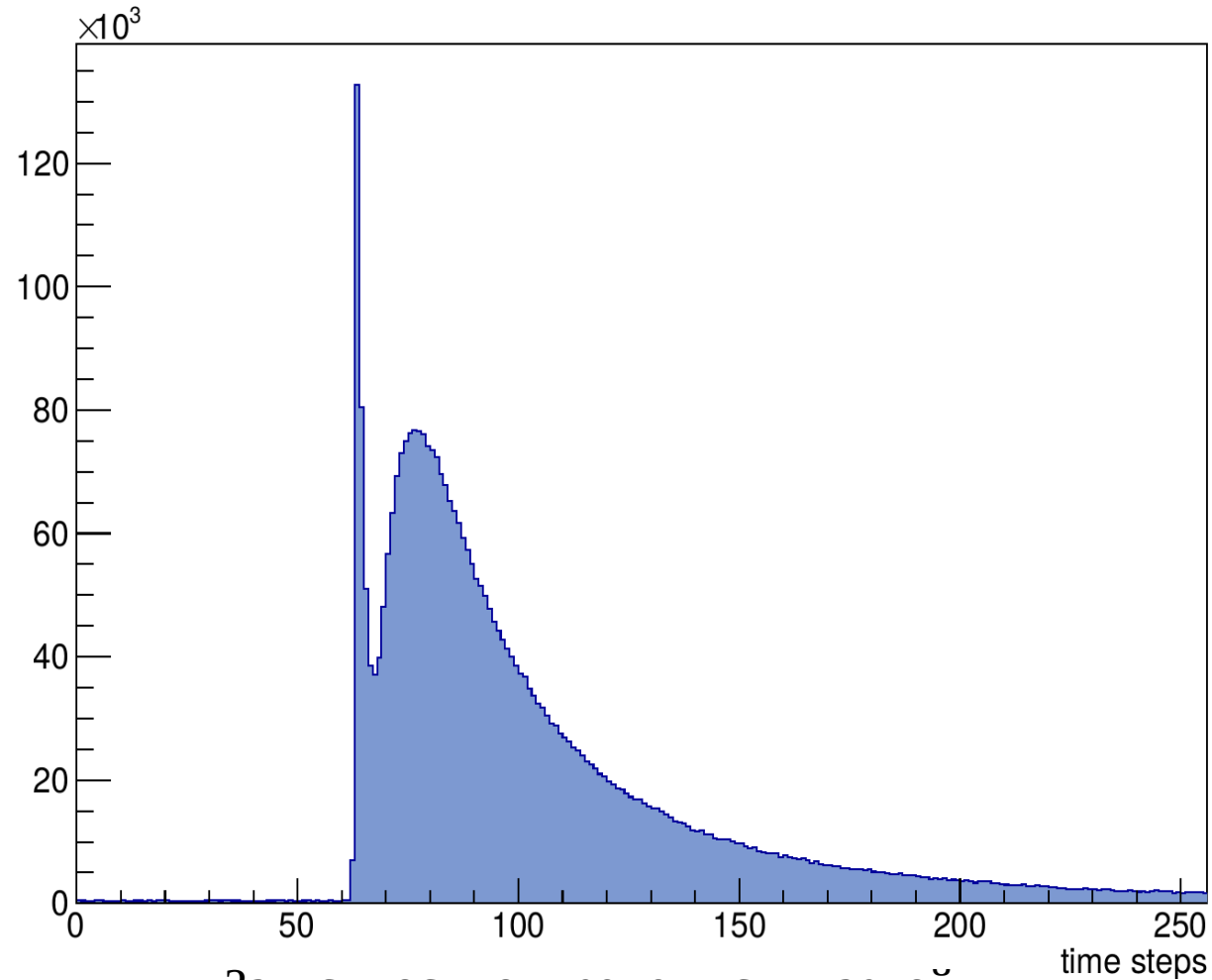
События с движением по матрице фотодетектора



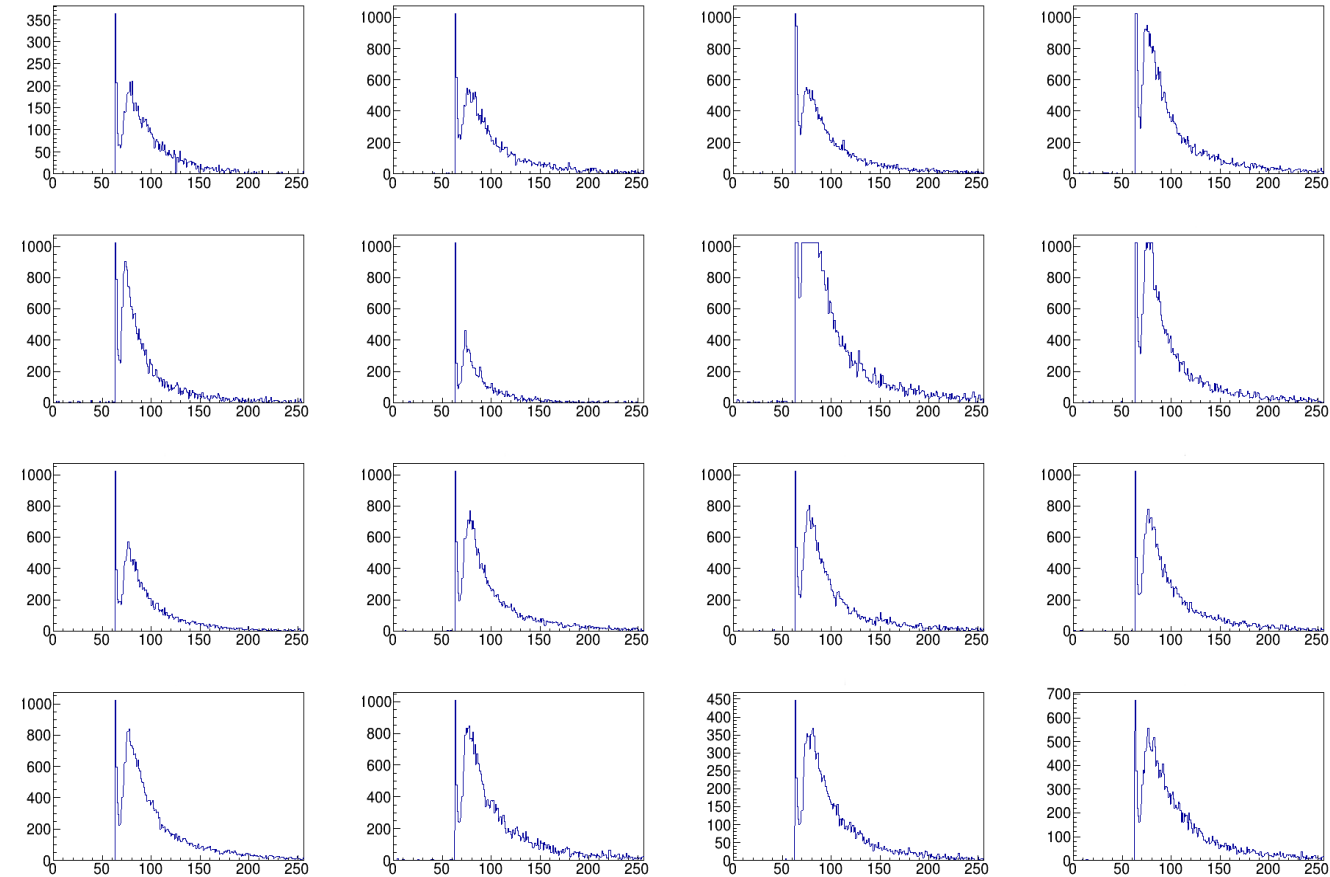
2D Распределение времен прохождения максимумов амплитуд сигналов на матрице фотодетектора. Стрелка указывает направление перемещения сигнала

# “Гибридные” события

Событие №170728\_004707-234



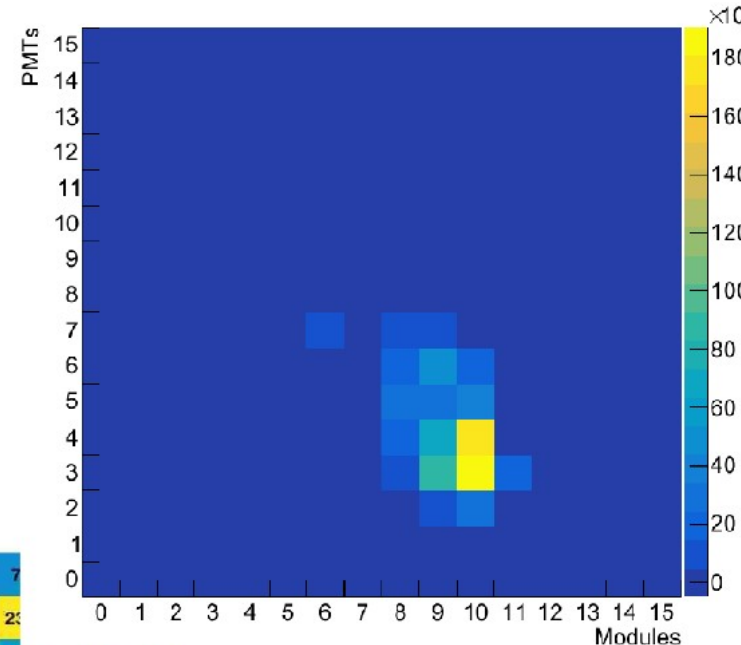
Зависимость от времени суммарной амплитуды сигнала



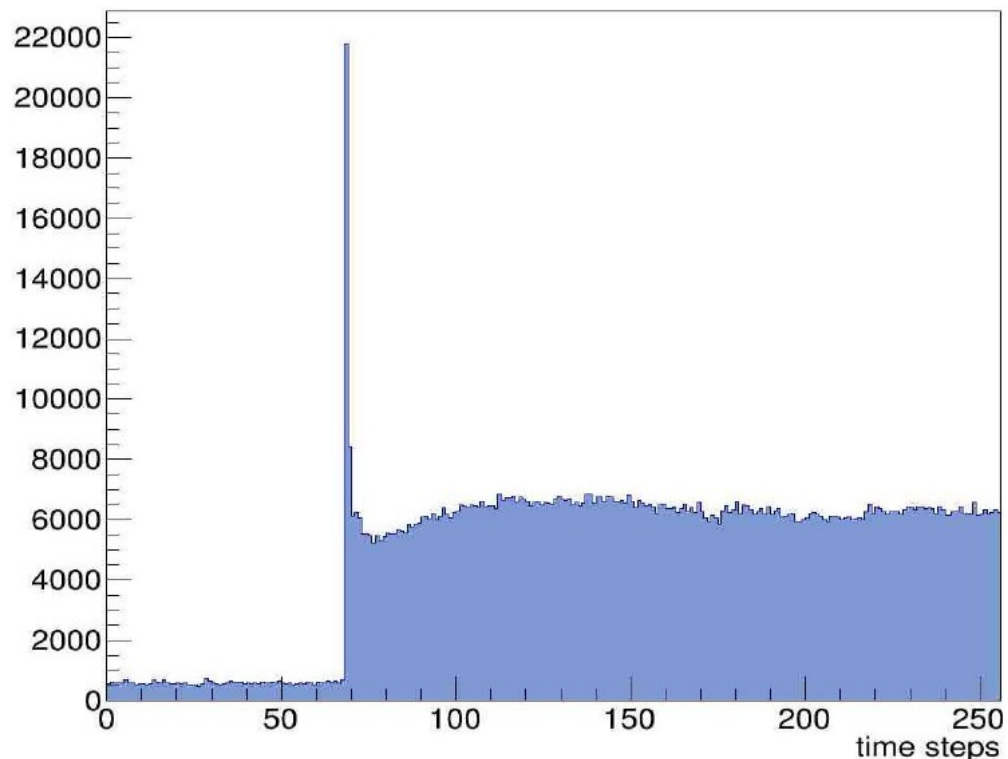
Временные зависимости амплитуд сигнала в пикселях модуля 10

# Комбинированные события

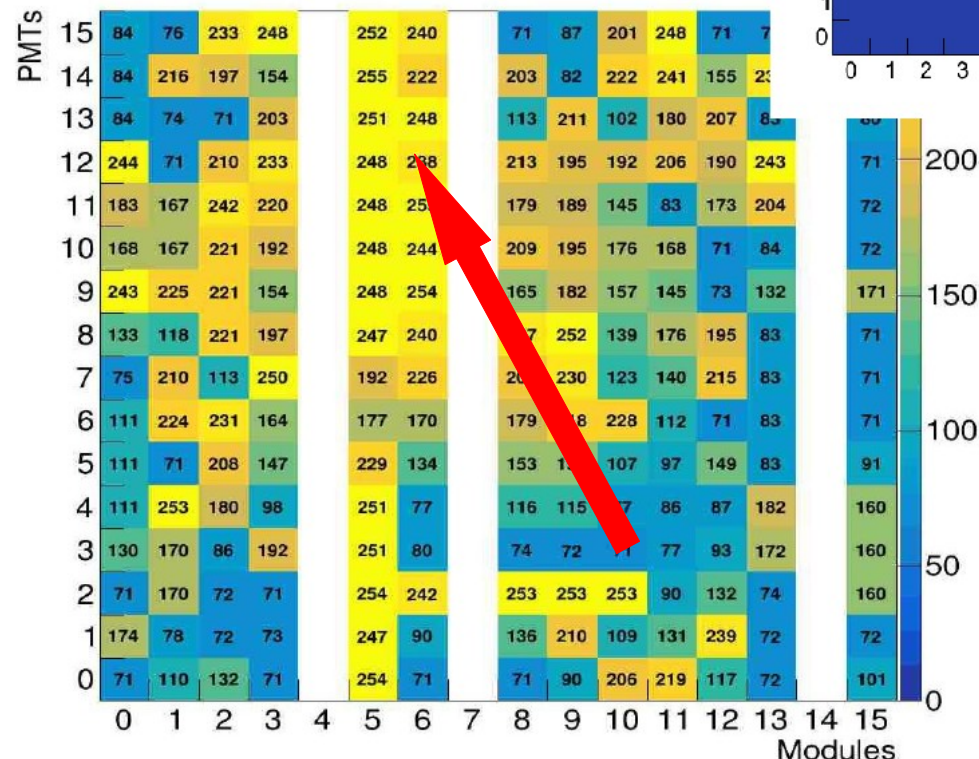
Событие №160905\_230528-129



ху-проекция  
интегральных  
амплитуд с порогом  
3RMS

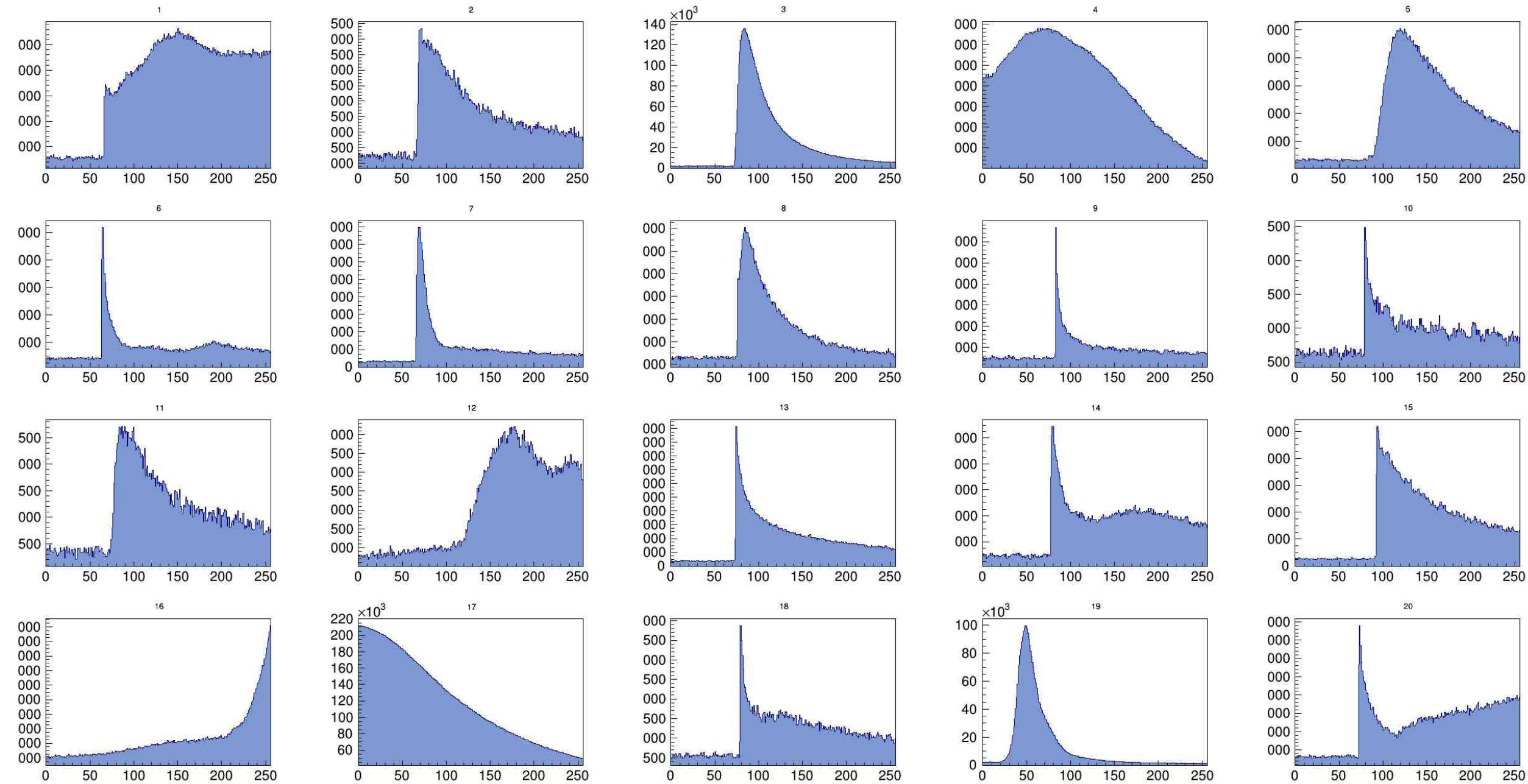


Зависимость от времени суммарной амплитуды  
сигнала

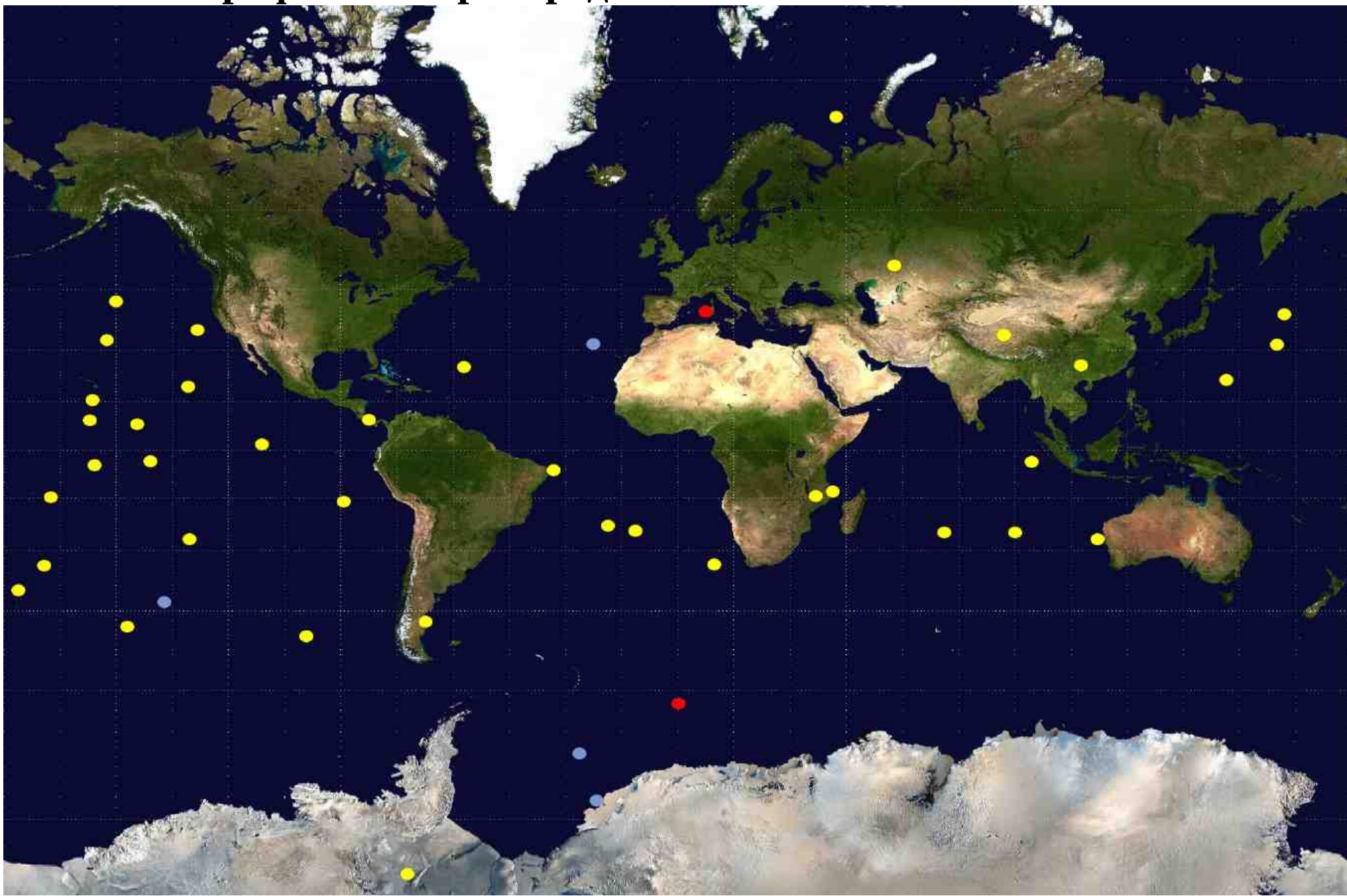


Перемещение максимума сигнала по матрице  
фотодетектора после обрезания острого пика t > 70

# Временная зависимость суммарной по всем пикселям амплитуды сигнала для 20 аномальных событий

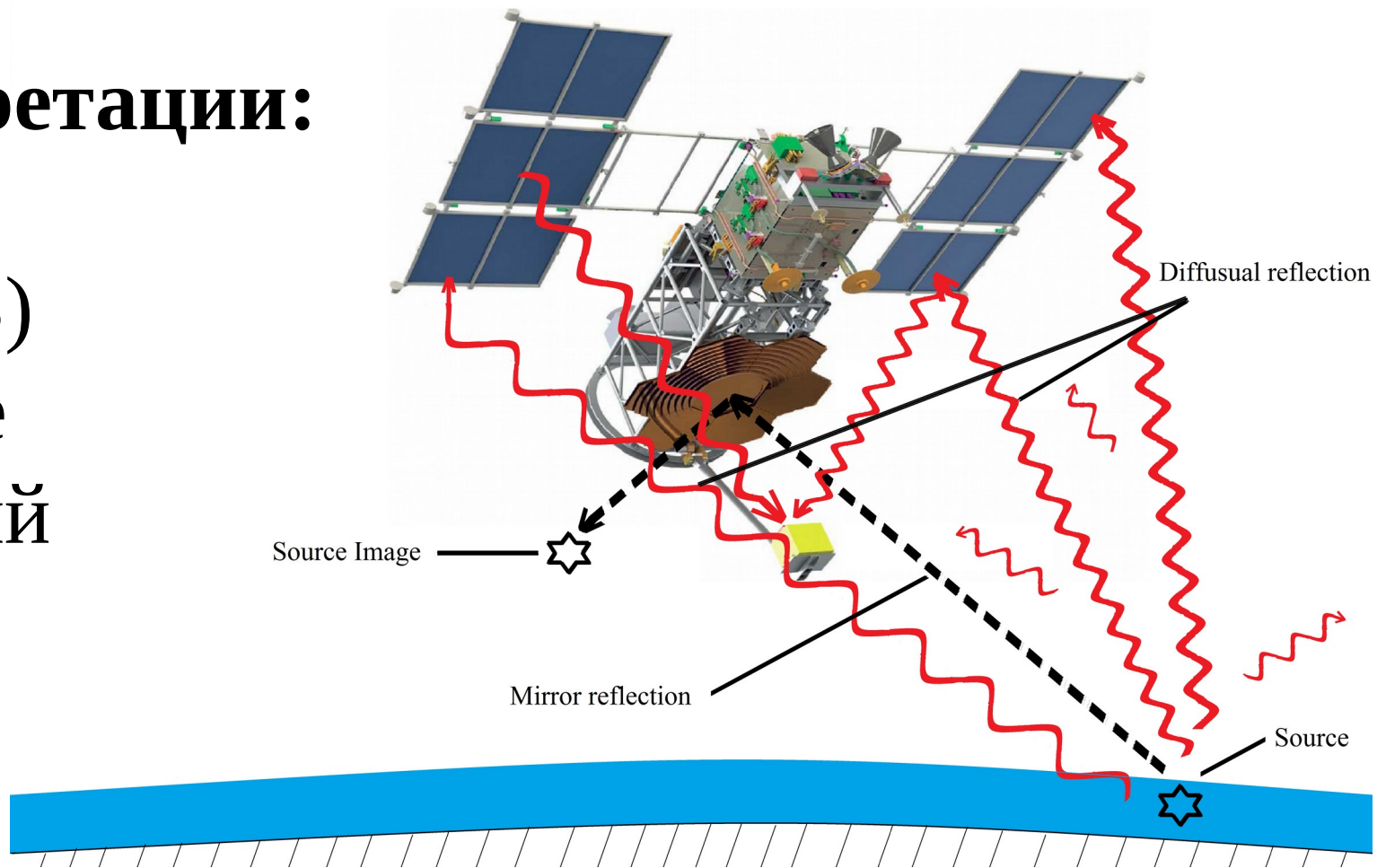


# Географическое распределение аномальных событий



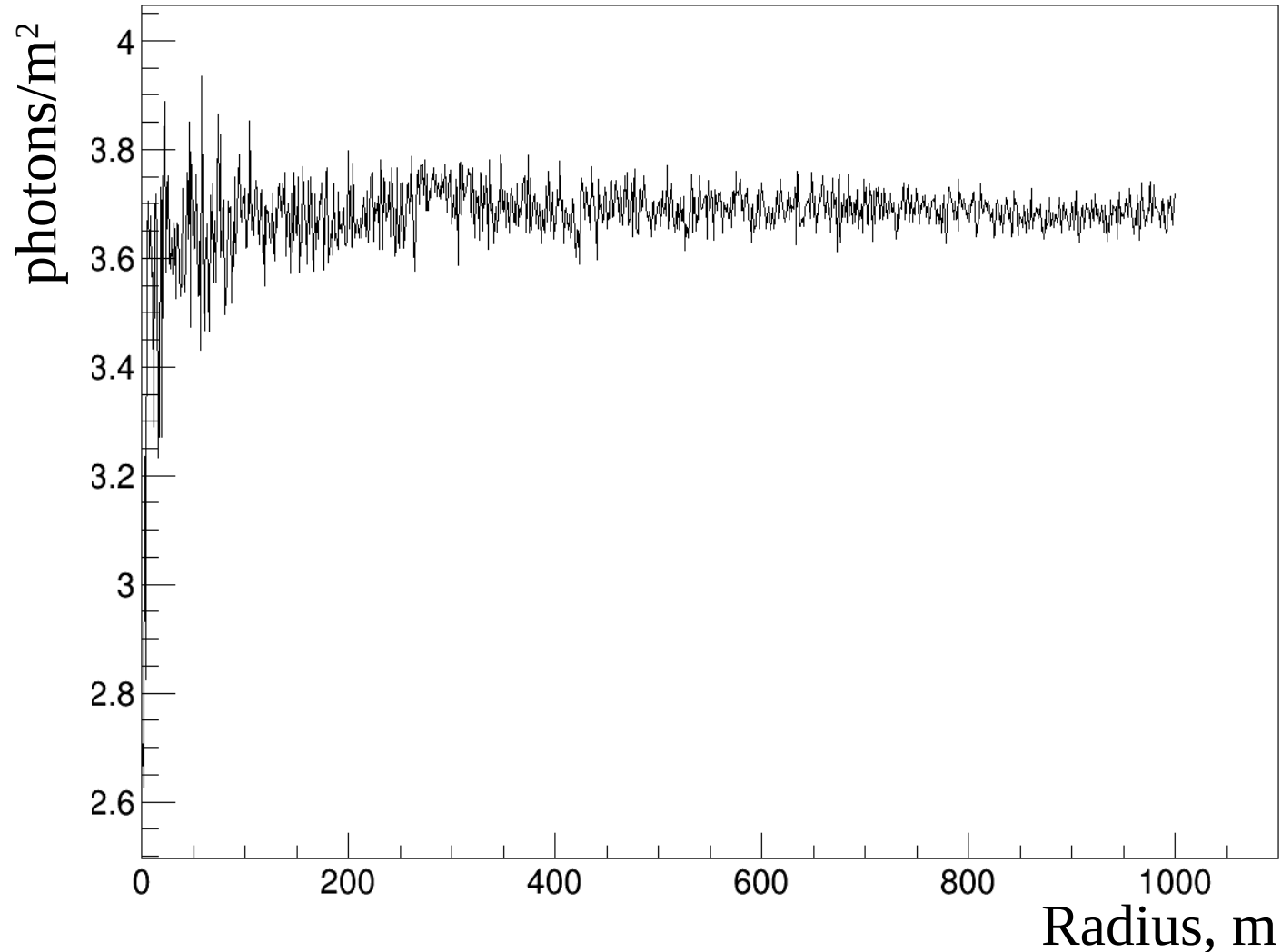
## Возможные интерпретации:

- гамма-вспышки (GRB)
- диффузное отражение внеапертурных молний



# Монте-Карло моделирование

Предполагаемой причиной появления восходящих ШАЛ могут быть прошедшие сквозь Землю нейтрино высоких энергий, породившие во взаимодействии с ядрами вещества лептоны, которые, в свою очередь, непосредственно перед выходом в атмосферу или в ее нижнем слое рождают ШАЛ.

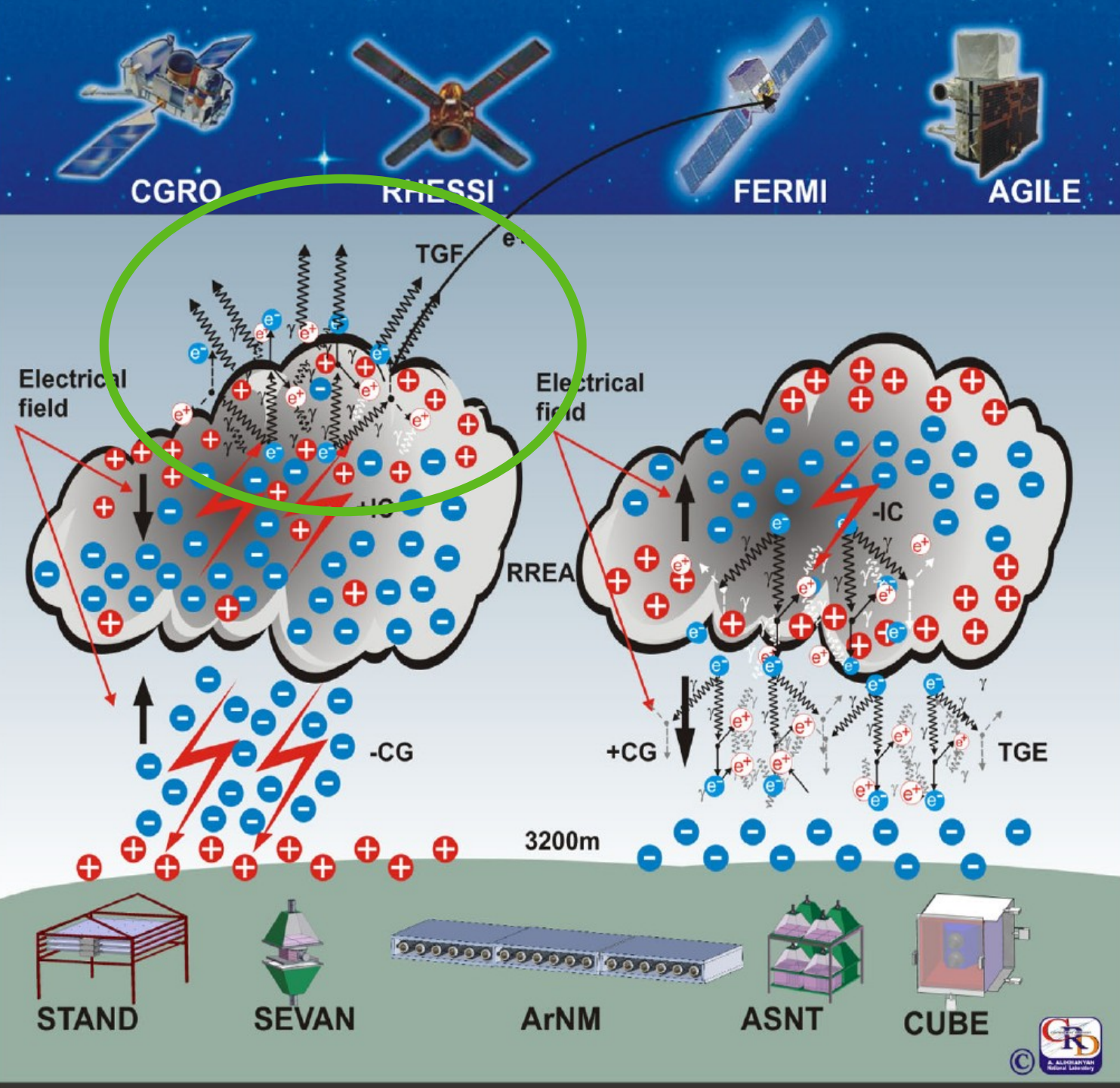


Geant4, QGSP\_Bert

Протон

$E=100$  TeV

$S_{\text{TUS\_mirror}} = 1,8 \text{ m}^2$



**Terrestrial gamma-ray flashes (TGFs)**— атмосферные гамма-всплески, представляющие собой субмиллисекундные ливни фотонов с энергией до нескольких десятков МэВ, образующихся в атмосфере в процессе развития релятивистской лавины убегающих электронов RREA (Relativistic Runaway Electron Avalanche).

PHYSICAL REVIEW D 83, 062001 (2011)

**Particle bursts from thunderclouds: Natural particle accelerators above our heads**

Ashot Chilingarian, Gagik Hovsepyan, and Armen Hovhannisyann



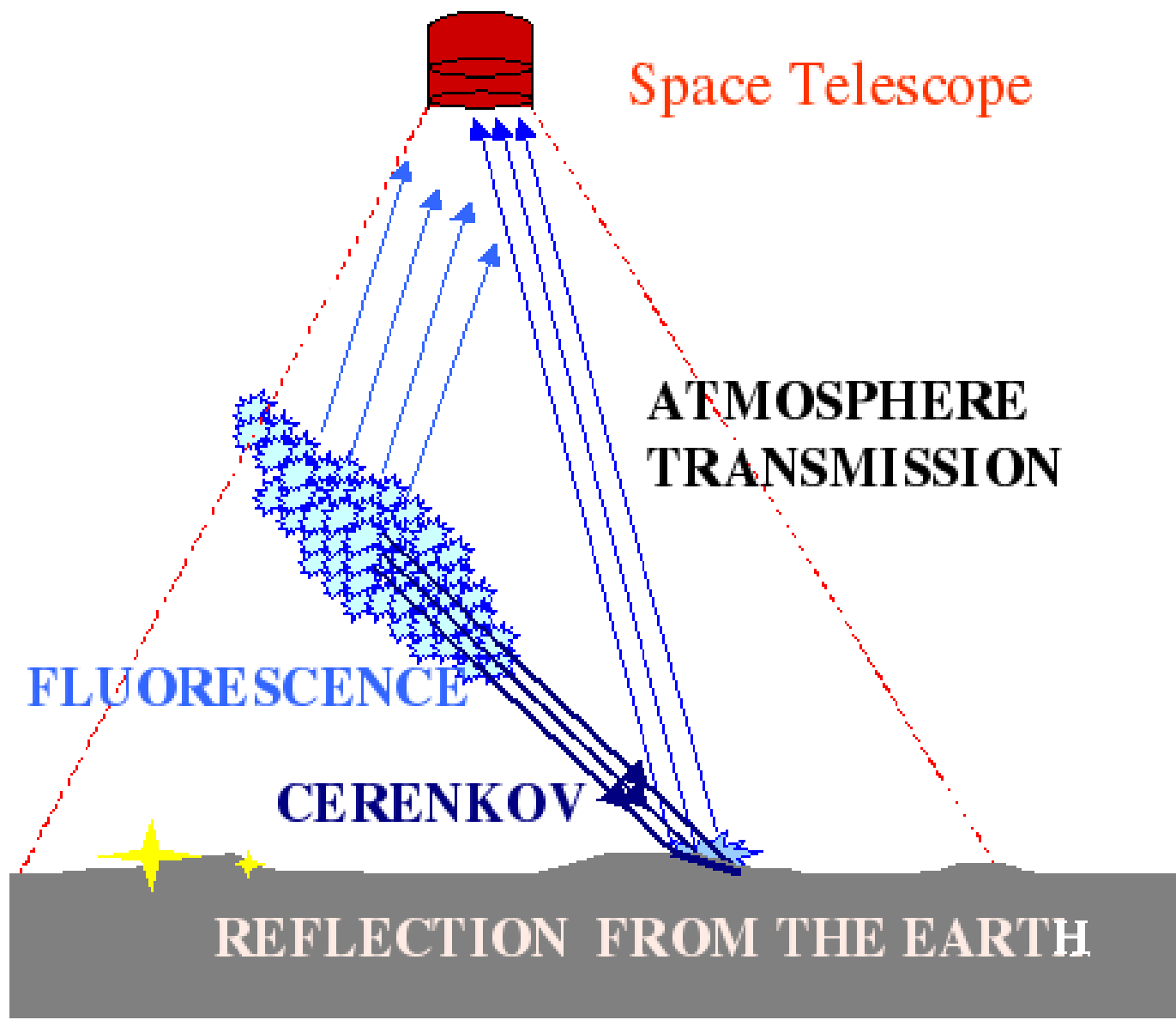


# Выводы:

- За время работы детектор ТУС зарегистрировал 200000 событий.
- Было обнаружено 46 аномальных события, 5 из которых являются гибридными.
- Вероятной природой таких атмосферных событий являются внеапертурные грозовые разряды, диффузное отражение света которых от солнечных панелей спутника попадает на матрицу фотодетектора.
- Планируется эксперимент по изучению корреляции TGF и ШАЛ в горах Тянь-Шань на высоте 3,5 км.

**Спасибо за внимание!**

**Backup slides**



Space Telescope

ATMOSPHERE  
TRANSMISSION

FLUORESCENCE

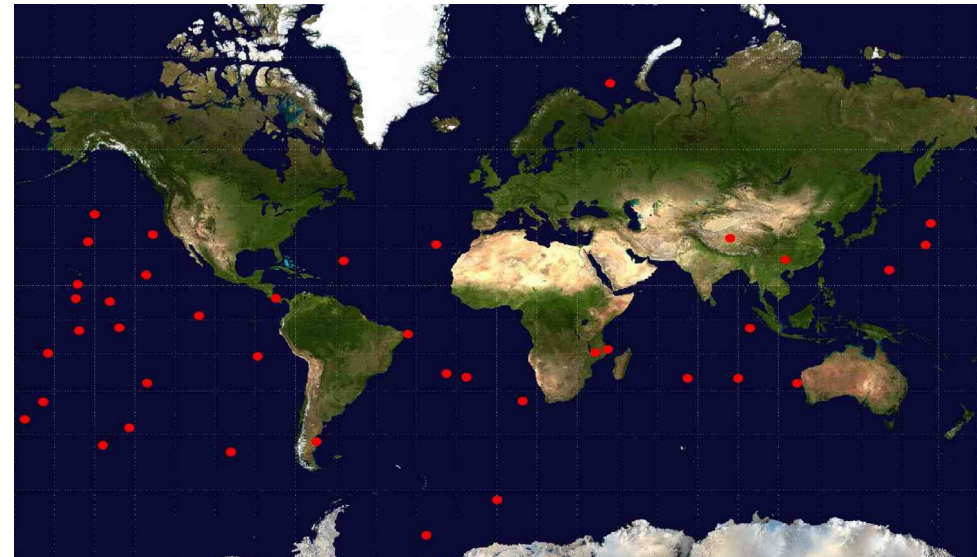
CERENKOV

REFLECTION FROM THE EARTH

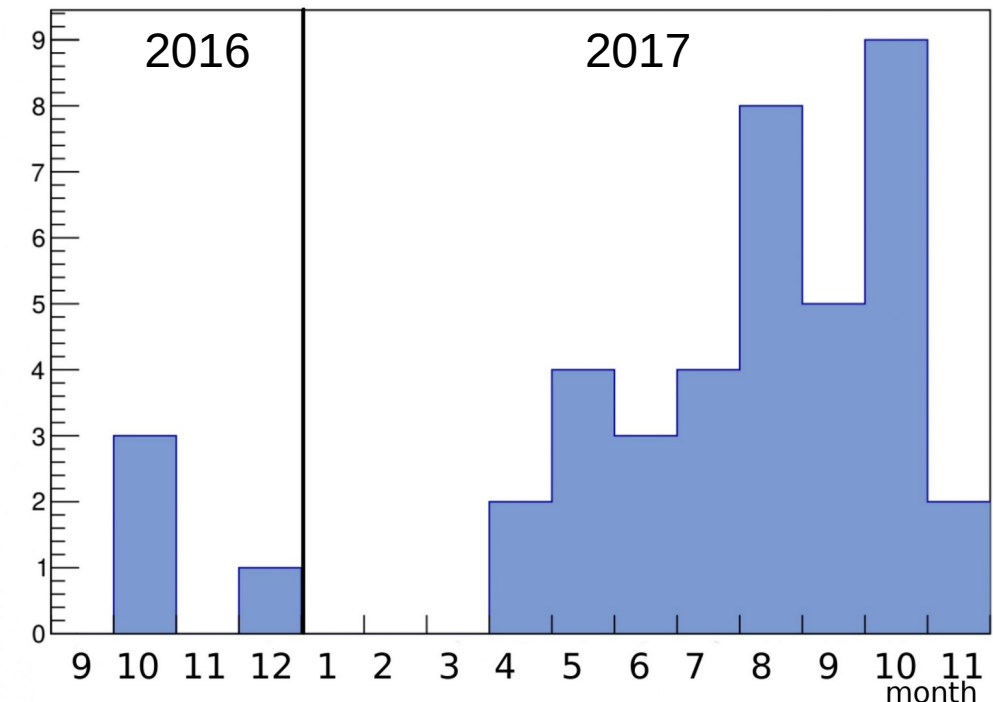
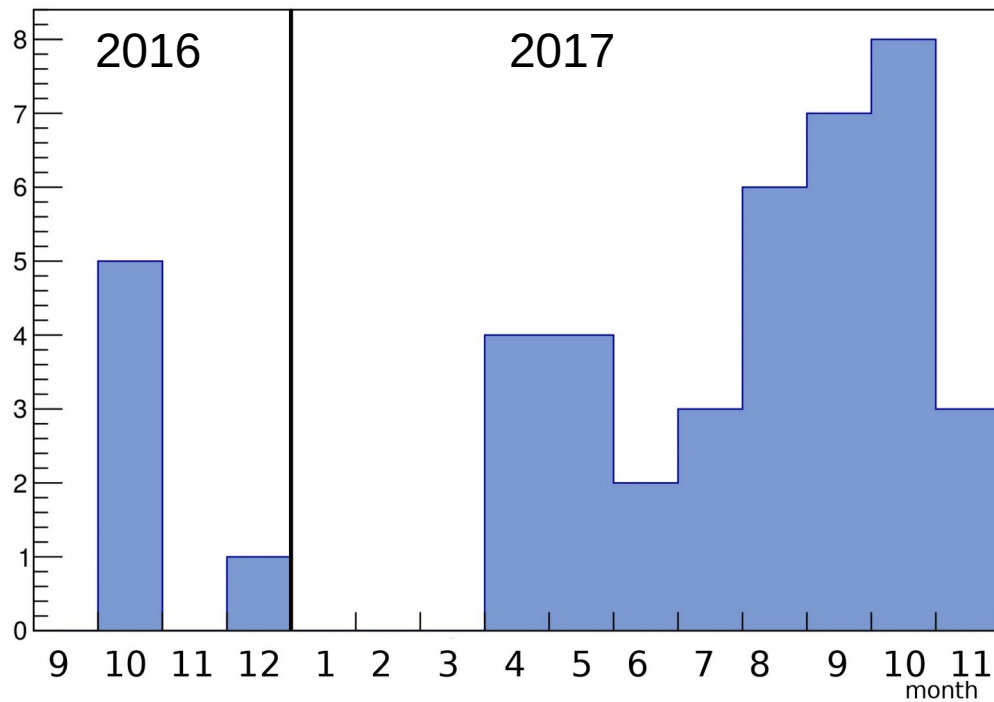
# Сравнение ШАЛ-подобных аномальных событий



EAS-like events



Anomalous events





# Калибровка

НИИЯФ МГУ

