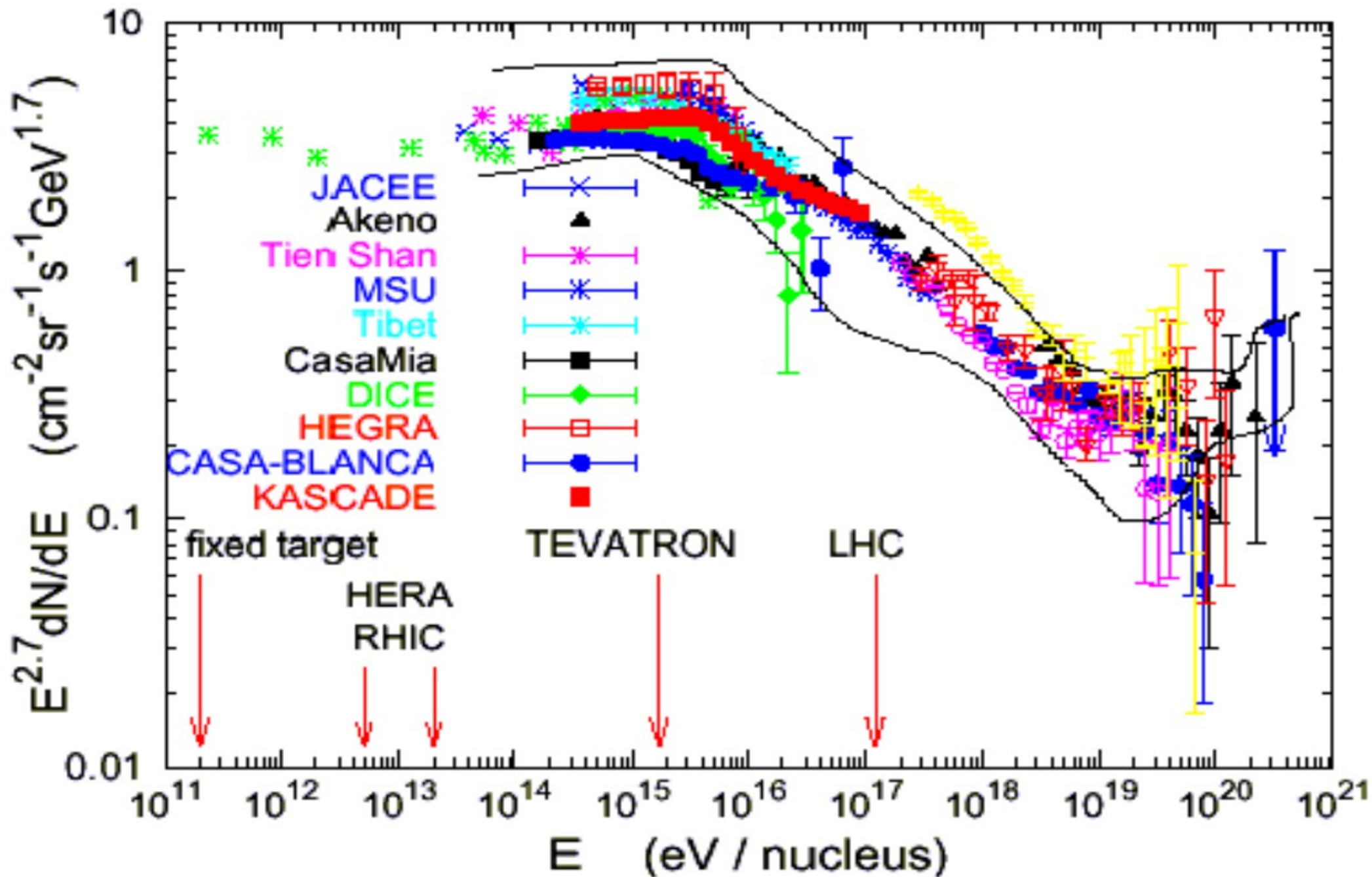


Космический детектор ТУС – два года работы на орбите

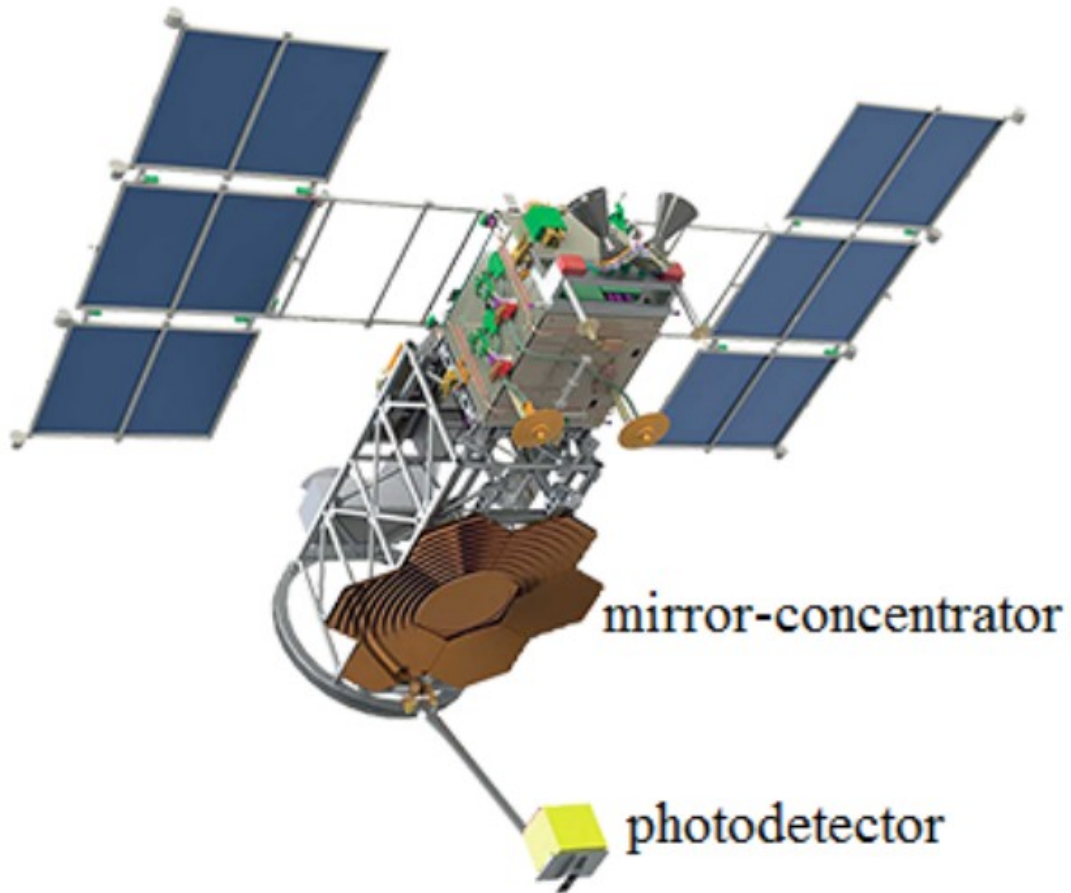
Анализ данных

Лаврова М. В.

Дифференциальный спектр космических лучей



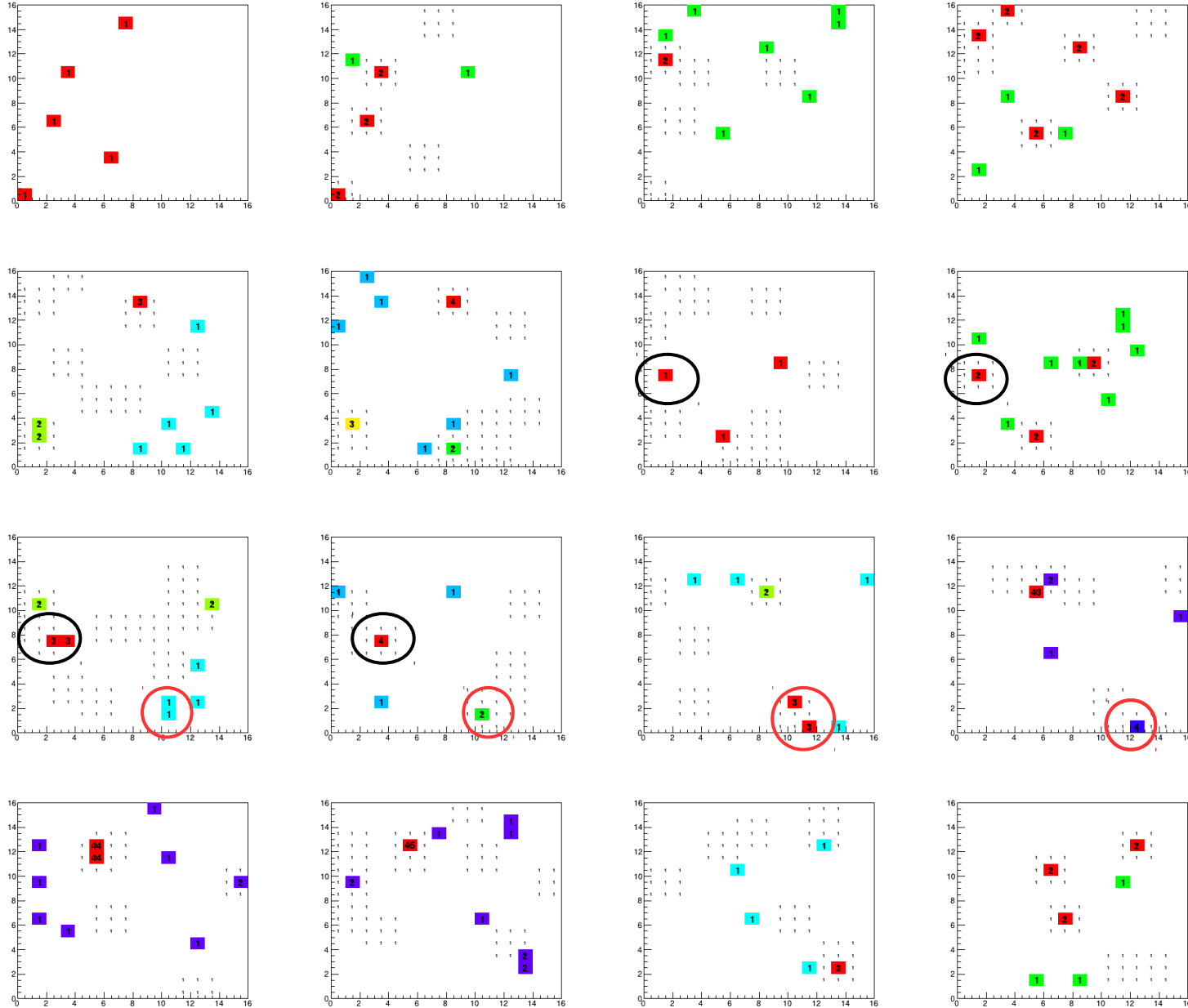
Космический детектор «Тус»



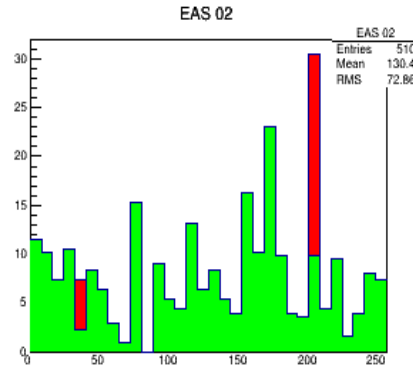
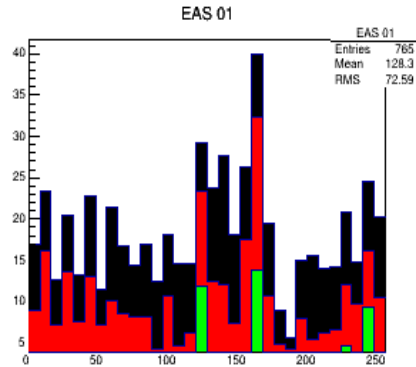
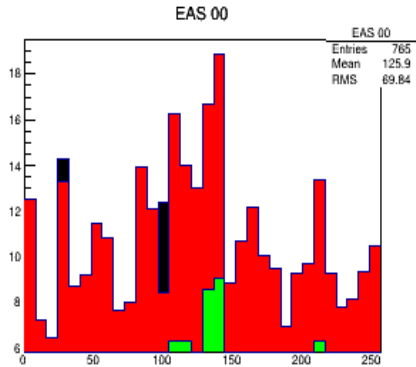
Масса:	< 60 кг
Энергопотребление:	65 Вт
Данные:	200 Мб/день
Число каналов:	256
FOV:	$\pm 4,5^\circ$
Время экспозиции:	5 лет
Рабочий цикл:	30%
Высота орбиты:	500 км
Площадь обзора:	80x80 км ²
Геом. Фактор:	$\sim 5.2 \cdot 10^7$ км ² ·ср

Покадровая развертка события

Каждый кадр представляет собой изображение сработавших пикселей (сигнал в которых превысил порог обнаружения) на матрице ФЭУ за 16 временных тактов (1 такт = 0,8 мкс). Точками показаны ожидаемые триггером места срабатывания пикселей.

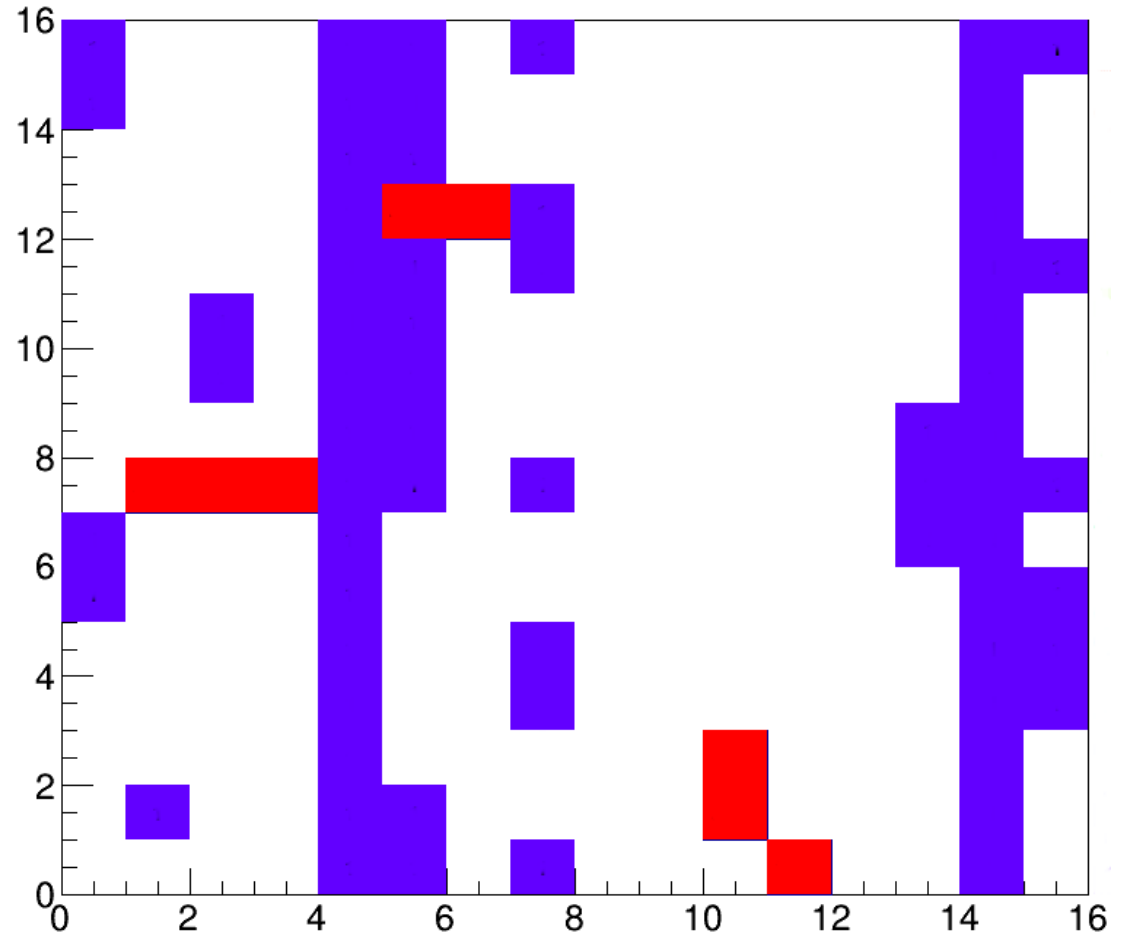


«Треки»



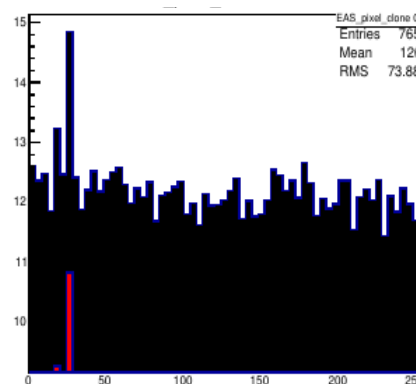
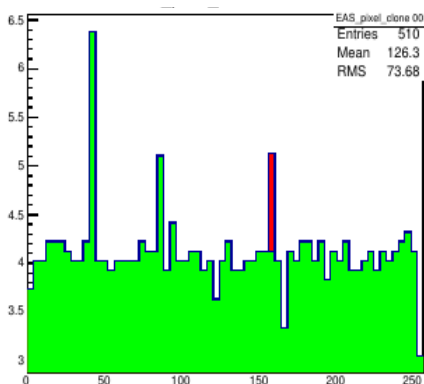
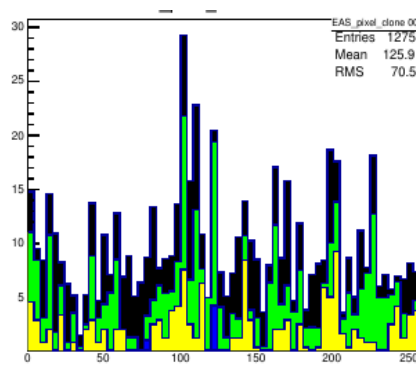
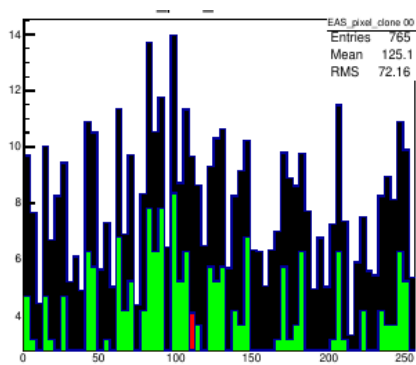
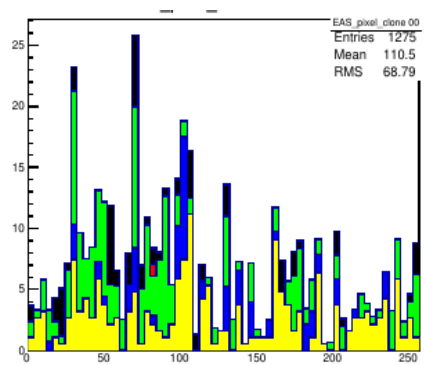
Стэковые гистограммы
сработавших пикселей в
зависимости от времени

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



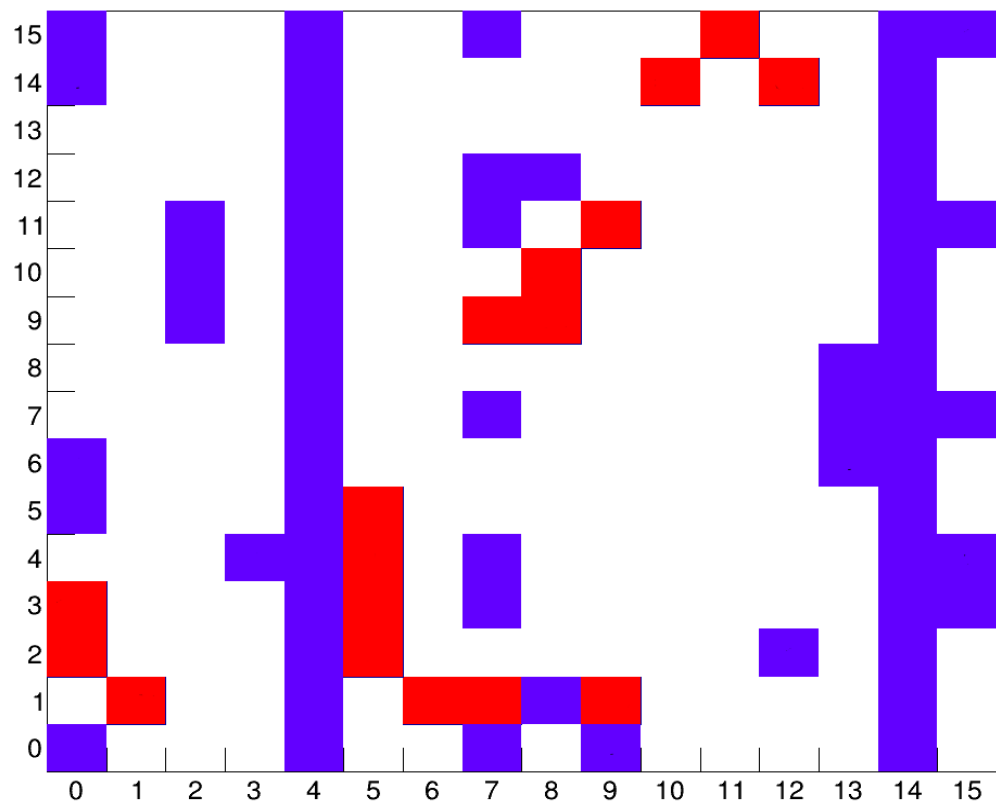
Фоновые события

В ходе измерений в большинстве событий (~ 80 %) осциллограммы ячеек имеют шумоподобный характер: значения амплитуд всех ФЭУ на протяжении всего файла колеблются вблизи некоторых средних значений.

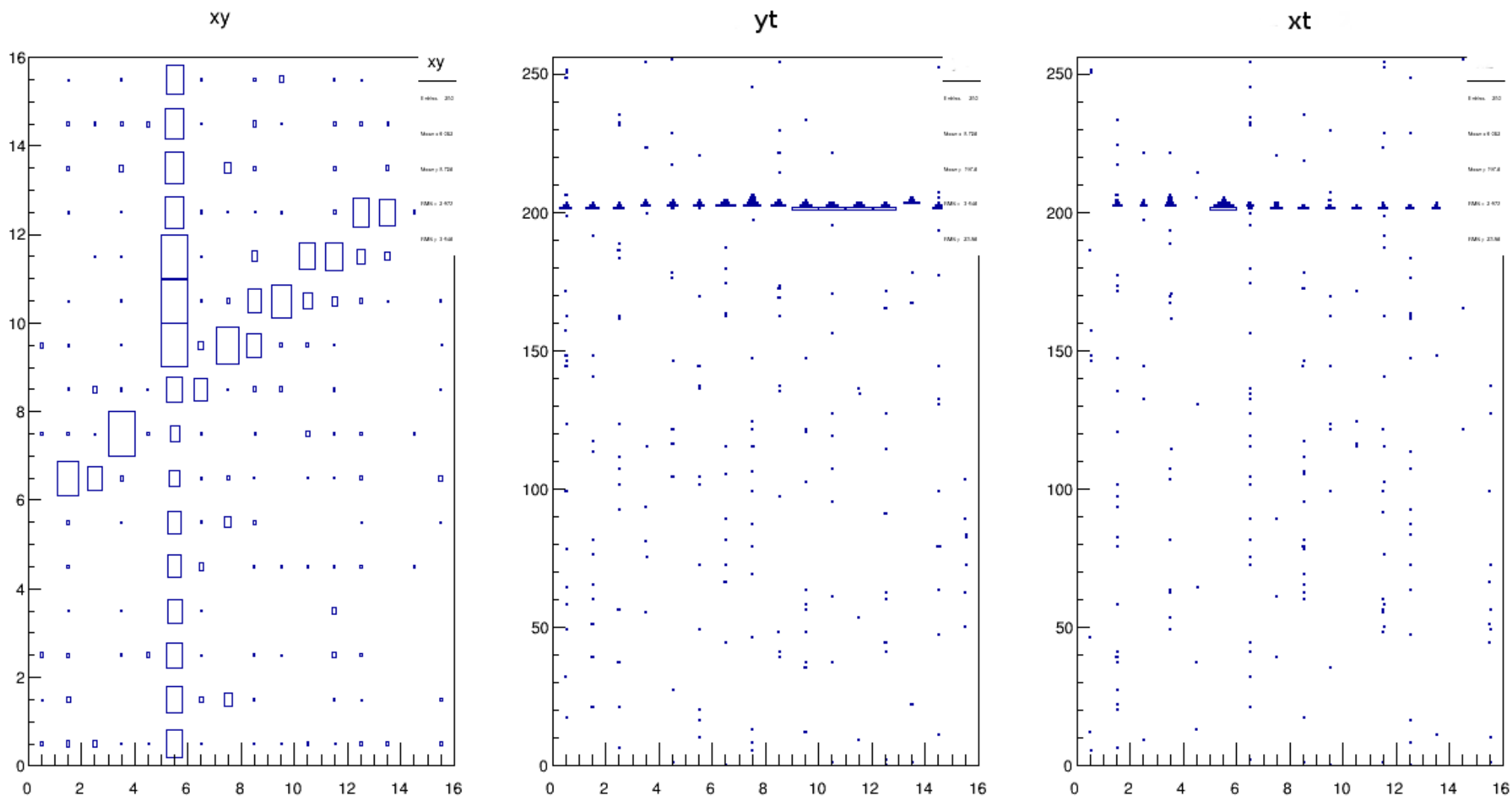


Стэковые гистограммы сработавших пикселей в зависимости от времени

«Снимок» матрицы фотодетектора фонового события.
Синим цветом изображены неработающие ФЭУ,
Красным — отвечающие трекам



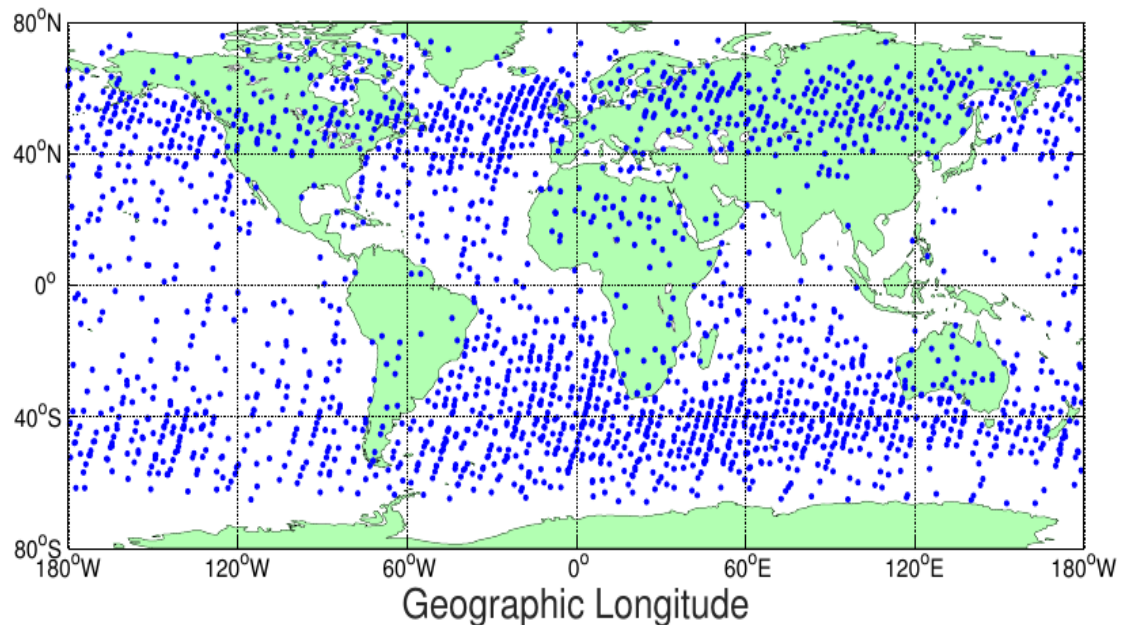
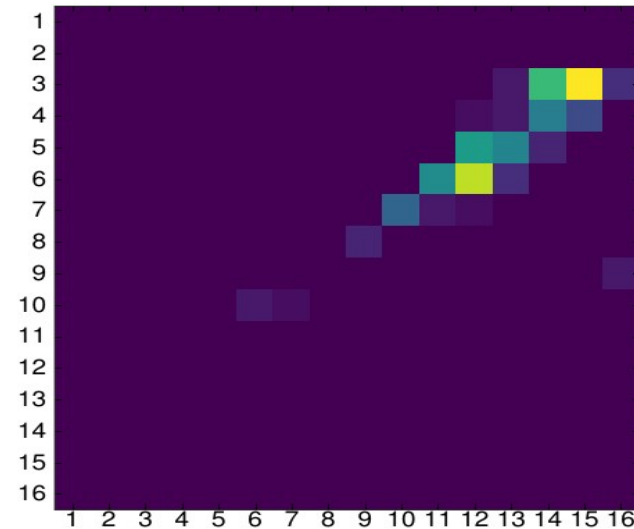
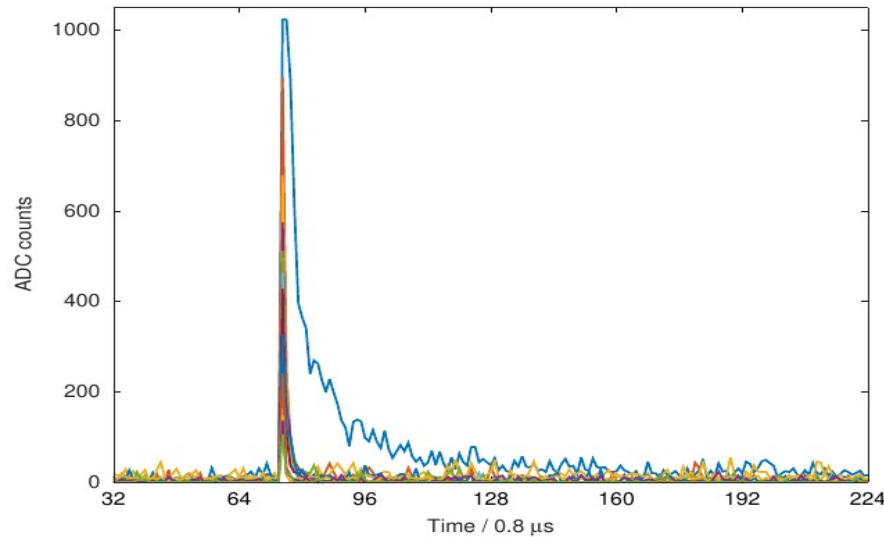
Трекоподобные события



На левом рисунке представлены проекции треков на xy - плоскость матрицы фотодетектора из 16×16 фотоумножителей, на двух других временная развертка события в плоскостях yt и xt : величина точек соответствует суммарной амплитуде при соответствующем временном такте $0 \leq t \leq 256$.

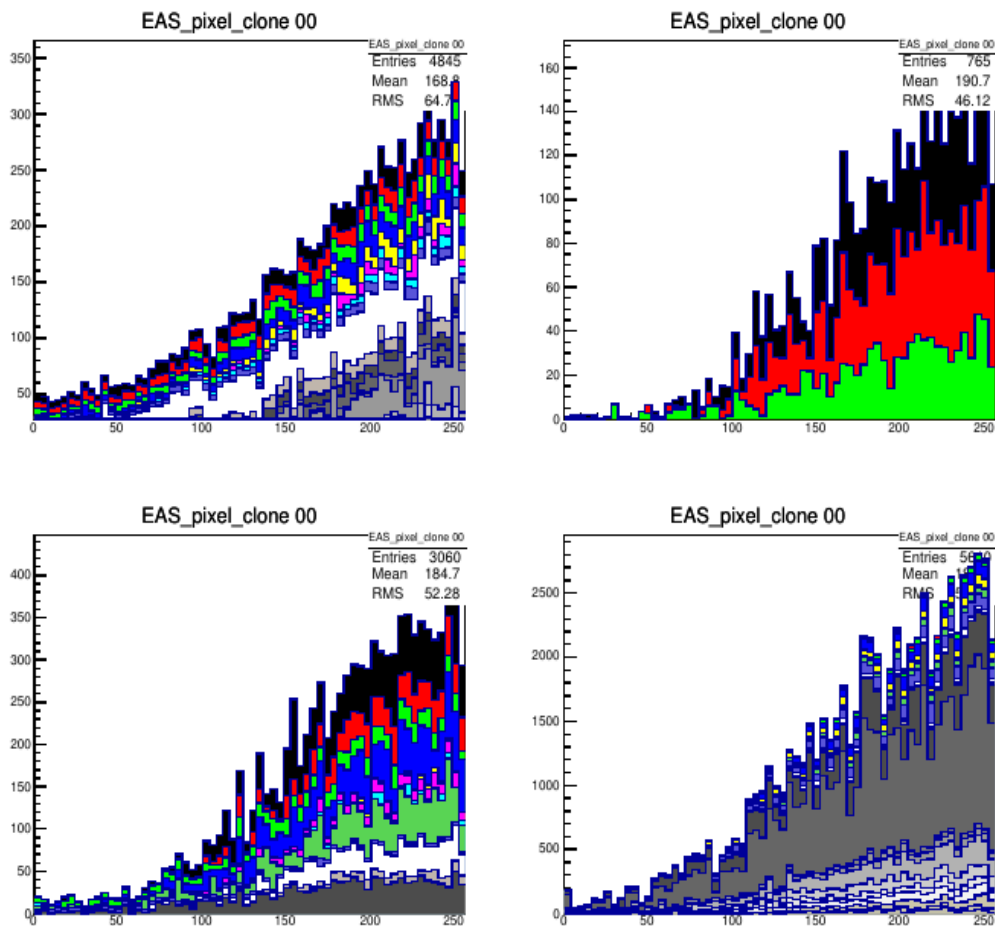
Мгновенные трекоподобные вспышки

Интенсивные вспышки (10 % всех событий) развивающиеся в течение одного такта (0.8 мкс) в группе смежных пикселей, упорядоченных в структуру напоминающую трек.

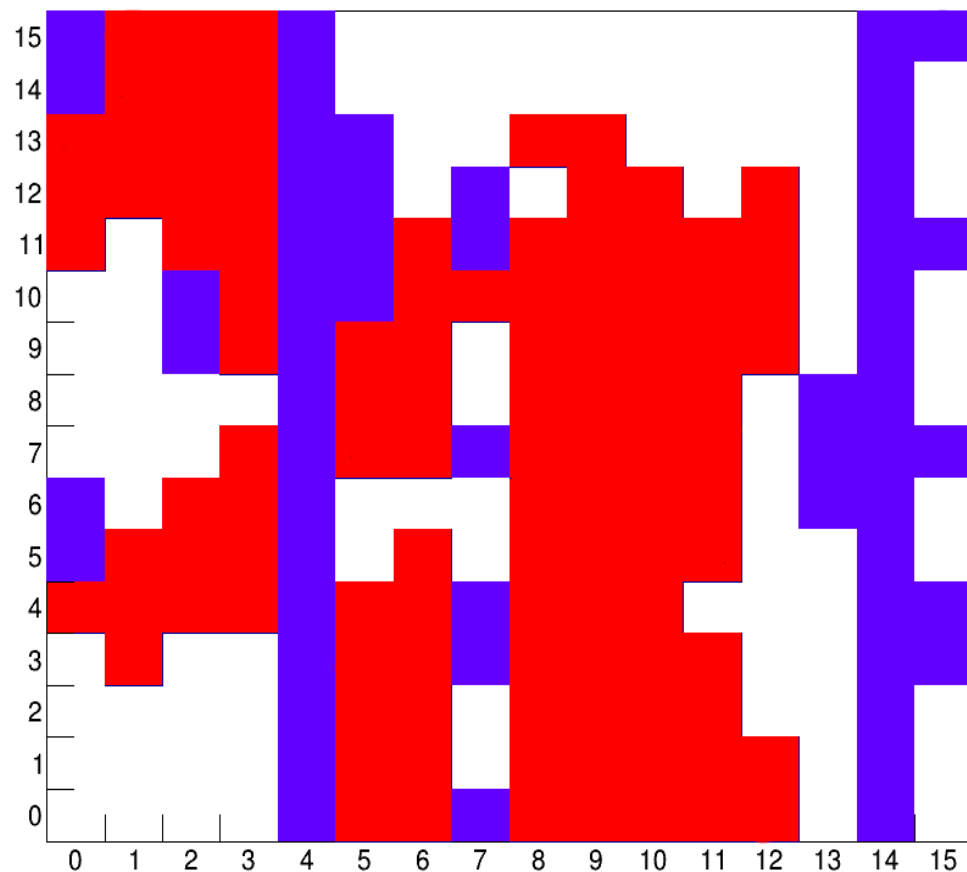


Медленные вспышки (slow-flashes)

Отдельная группа событий, состоит из вспышек с постоянным увеличением амплитуды сигнала. Сигнал обычно развивается одновременно на большинстве пикселей, создавая почти равномерное освещение фокальной плоскости. В большинстве случаев амплитуда продолжает расти до завершения записи.

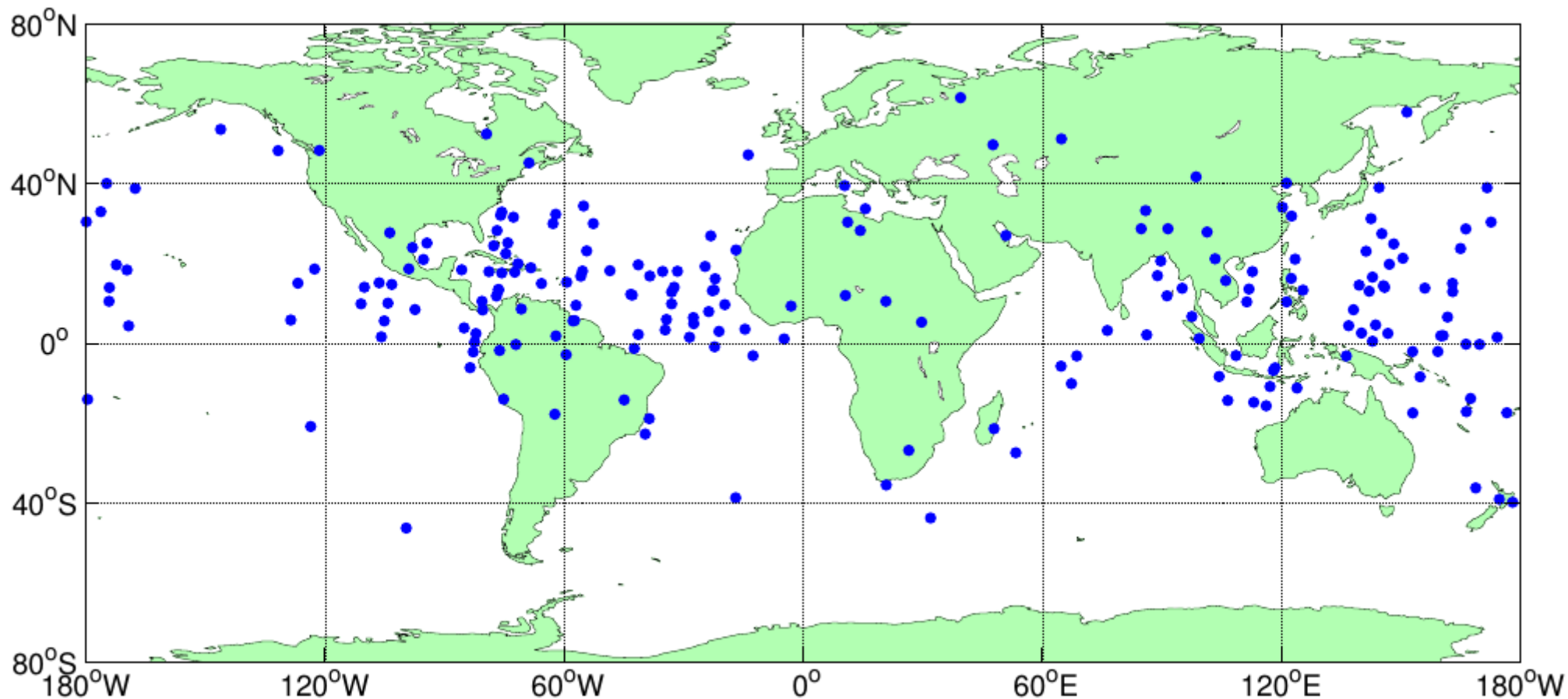


Стэковые гистограммы сработавших пикселей в зависимости от времени



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

Распределение медленных вспышек (slow-flash) с августа 2016 по сентябрь 2016

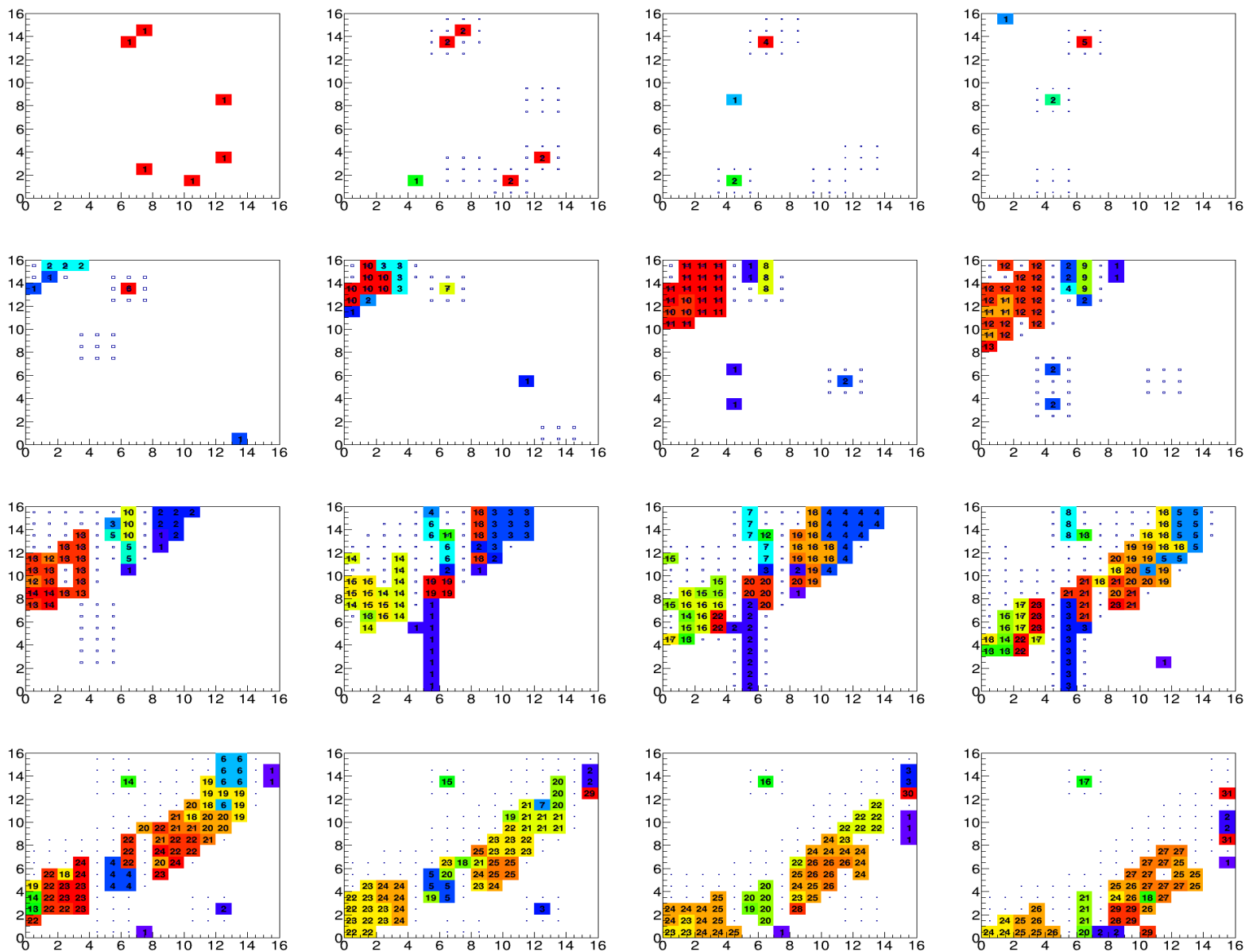


ЭЛЬВ

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

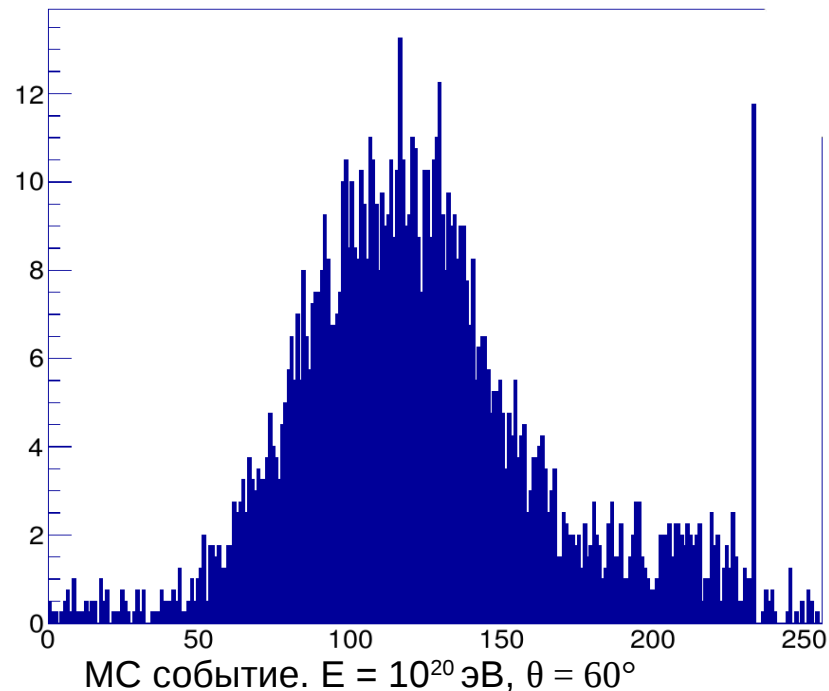
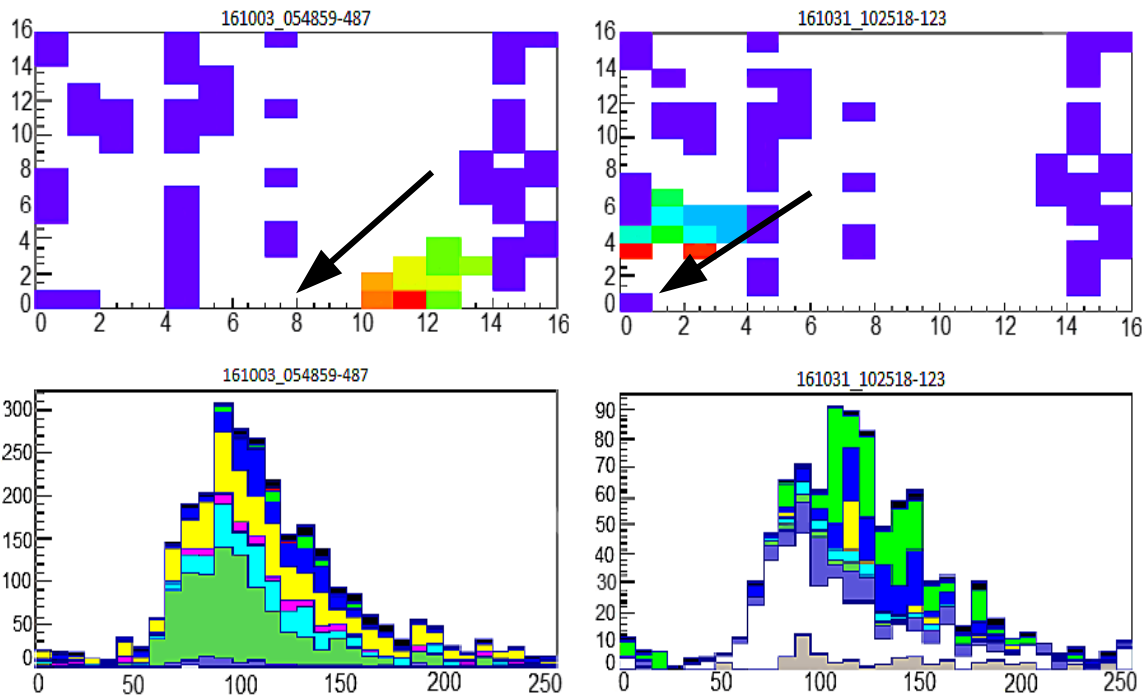
Эльвы представляют собой один из типов транзиентных атмосферных явлений, который выглядит как расширяющееся светящееся кольцо, распространяющееся в ионосфере на высоте 80-90 км.

Радиус эльва может достигать величины порядка 300 км, а длительность – примерно 1 мс.

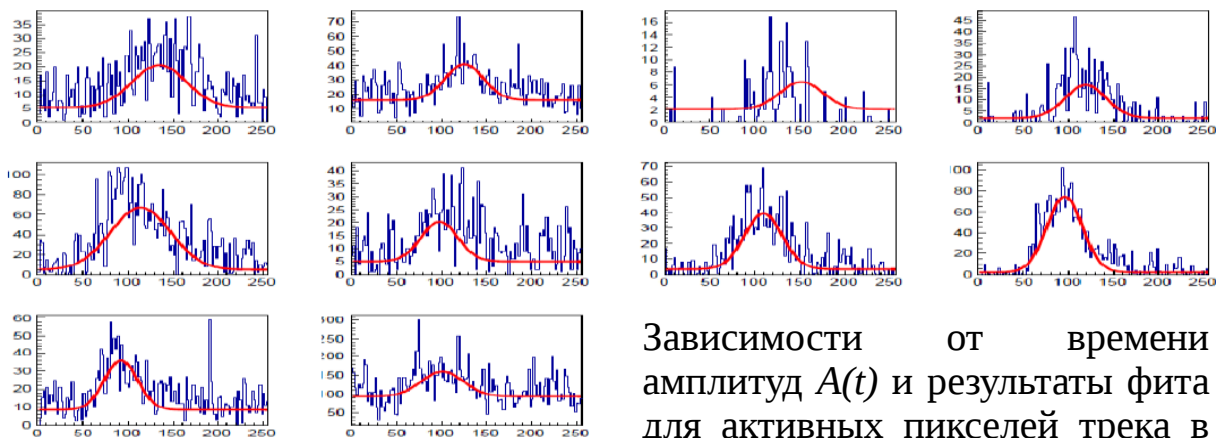


Покадровая развертка
события типа «ЭЛЬВ»
над Африкой.
18-09-2016 22:06:48

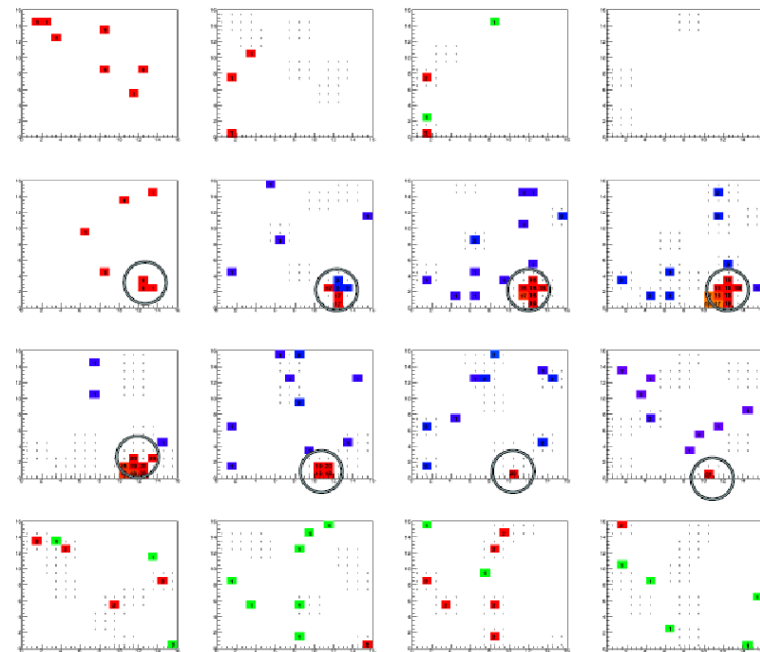
ШАЛ кандидаты



ШАЛ-кандидаты. Вверху: Изображение событий с активными пикселями. Внизу: стековые гистограммы сработавших пикселей в зависимости от времени после вычитания фона и нормировки на усиление ФЭУ

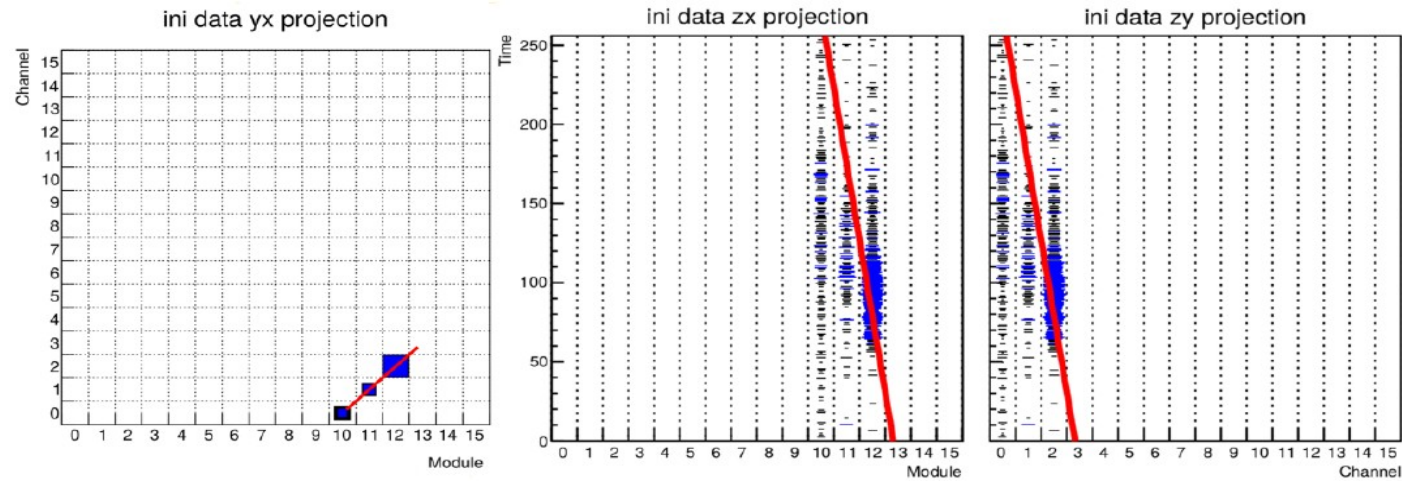


Зависимости от времени амплитуд $A(t)$ и результаты фита для активных пикселей трека в событии №487



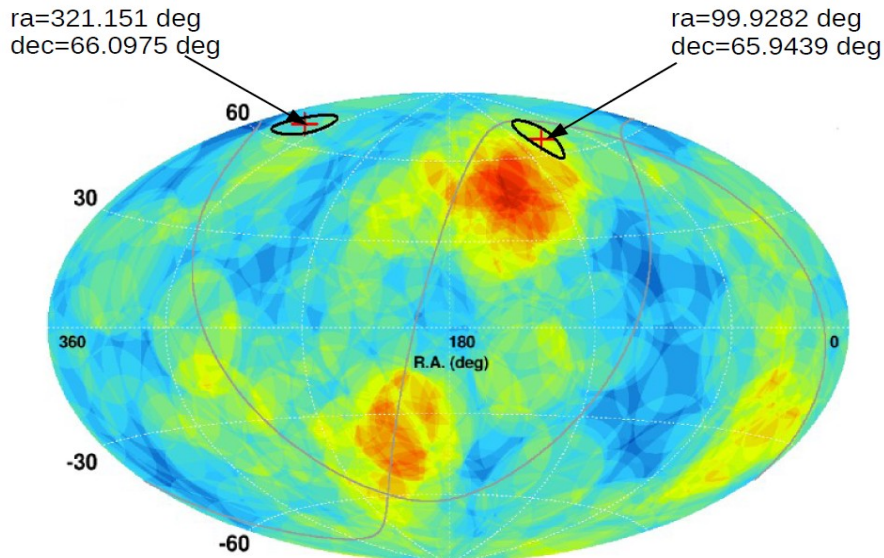
Покадровая развертка события №487

Оценка направления прихода ШАЛ-кандидатов



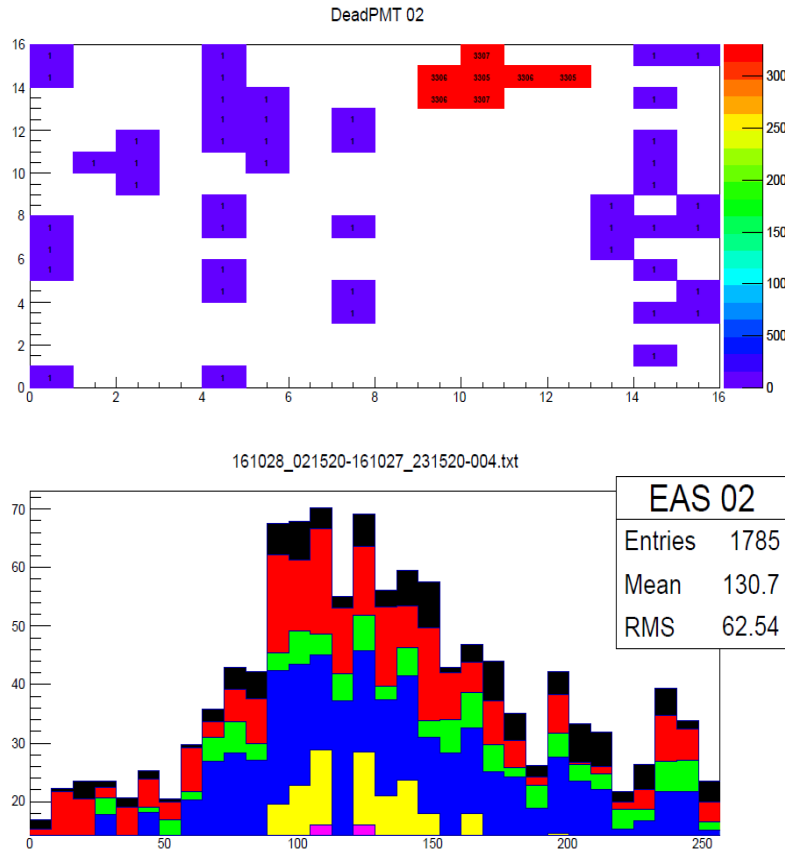
Прямолинейный фит амплитуд наиболее ярких пикселей
в системе координат данного события

Событие №487(ШАЛ-1): $\theta = \sim 33^\circ$, $\varphi = \sim 225^\circ$
Событие №123(ШАЛ-2): $\theta = \sim 22^\circ$, $\varphi = \sim 253^\circ$.

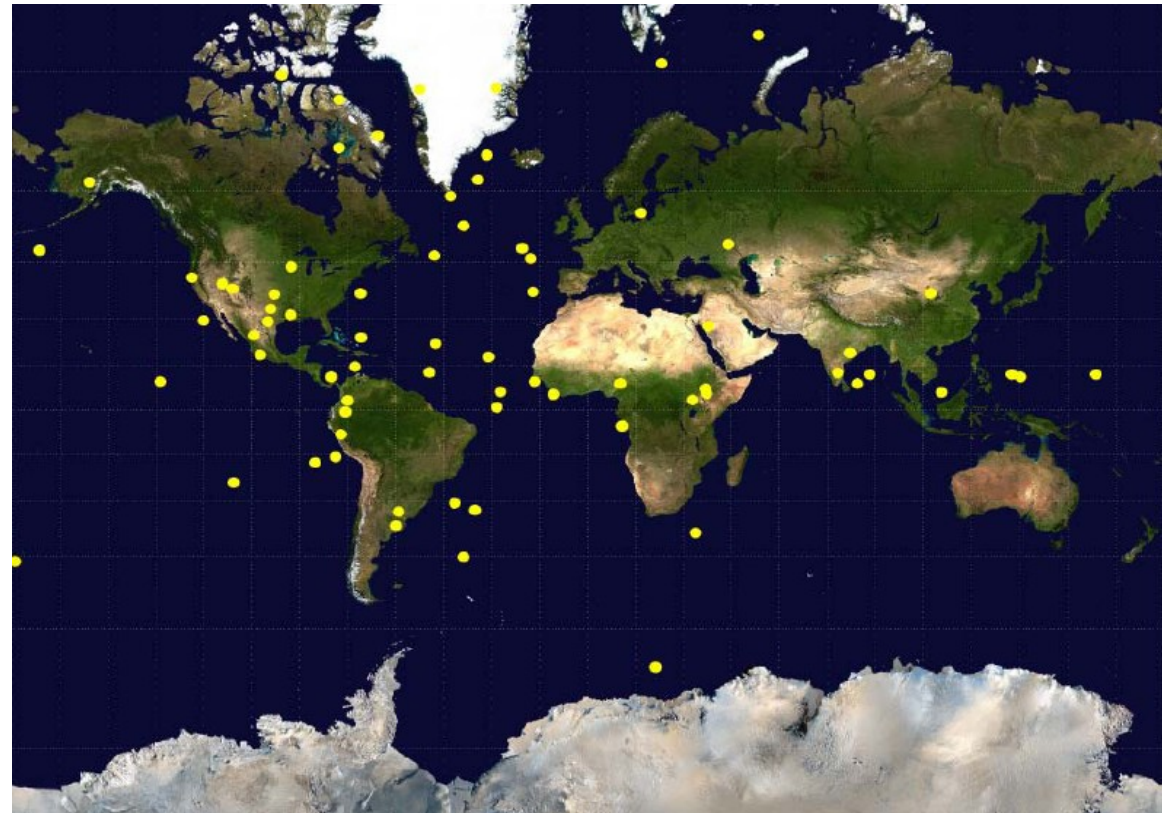


Распределения КЛПВЭ событий в
экваториальной системе координат,
измеренных на установках Auger и TA.
Крестиками показаны ШАЛ-1 и ШАЛ-2
события ТУС с учетом ошибок
измерения углов.

Псевдо-ШАЛ



Пример псевдо - ШАЛ



Распределение псевдо-ШАЛ

Заключение

Детектор ТУС работает на спутнике «Ломоносов» с 28 апреля 2016г. С августа 2016г. начат регулярный набор данных, уже получено более 200000 событий. Разработан многоуровневый алгоритм поиска ШАЛ-подобных событий, который был применен к анализу данных ТУС. В процессе поиска КЛПВЭ было найдено большое количество фоновых событий различного происхождения, которые возникают в атмосфере Земли. Было найдено и проанализировано два кандидата ШАЛ с энергиями $\sim 100 \text{ ЕэВ}$ (10^{20} эВ). Продолжается поиск новых событий - кандидатов ШАЛ.

**Спасибо за
внимание!**

Азимутальный φ -угол вычисляется по простой формуле

$$\mathbf{tg}(\varphi) = \Delta y / \Delta x,$$

где Δy , Δx - y -, x -проекция трека ШАЛ в системе координат ТУС. Ось x находится вдоль модулей, ось y - вдоль ФЭУ. Если сигнал ШАЛ перемещается в атмосфере со скоростью света, формула для расчета зенитного угла ШАЛ для идеального детектора определяется выражением:

$$\mathbf{tg}(\theta / 2) = (\Delta r / \Delta t) / c ,$$

где $(\Delta r / \Delta t)$ - проекция скорости ШАЛ на поверхность Земли, c - это скорость света. Δr - разница между концами проекции трека ШАЛ на плоскости (x, y) , $\Delta r^2 = \Delta y^2 + \Delta x^2$, а значение Δt - это разность времен между концами проекции трека ШАЛ на (x, t) или (y, t) .