39 Всероссийская конференция по космическим лучам

Регистрация гамма-квантов от Крабовидной туманности телескопами TAIGA-IACT в стерео-режиме по данным 2022-2025 гг.

Павел Волчугов

От коллаборации TAIGA

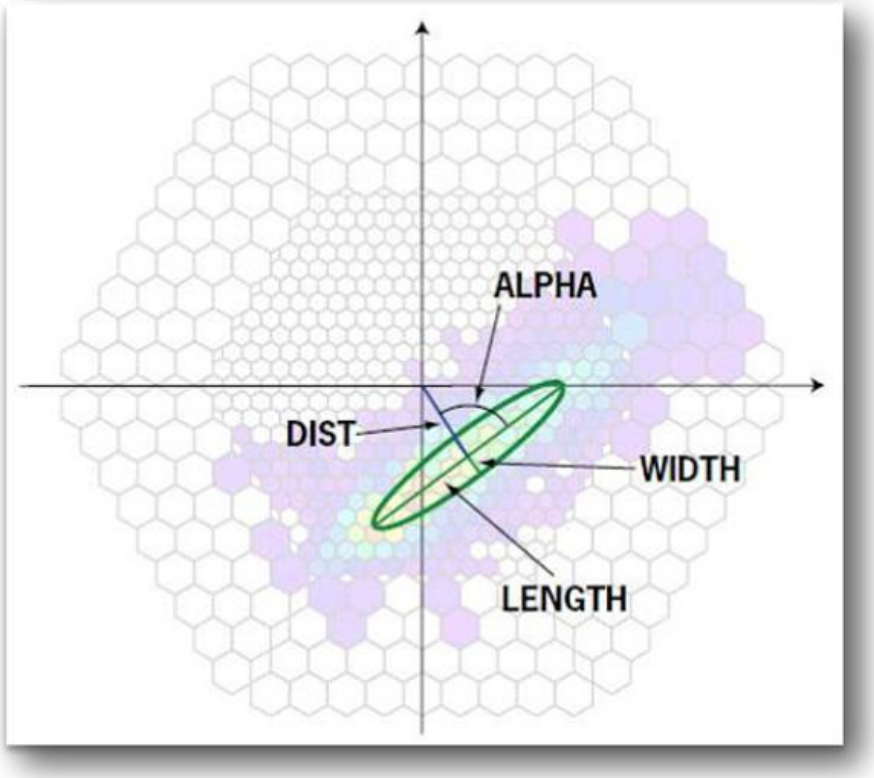
Дубна
30.06.2026

TAIGA - Tunka Advanced Instrument for cosmic ray physics and Gamma-ray Astronomy

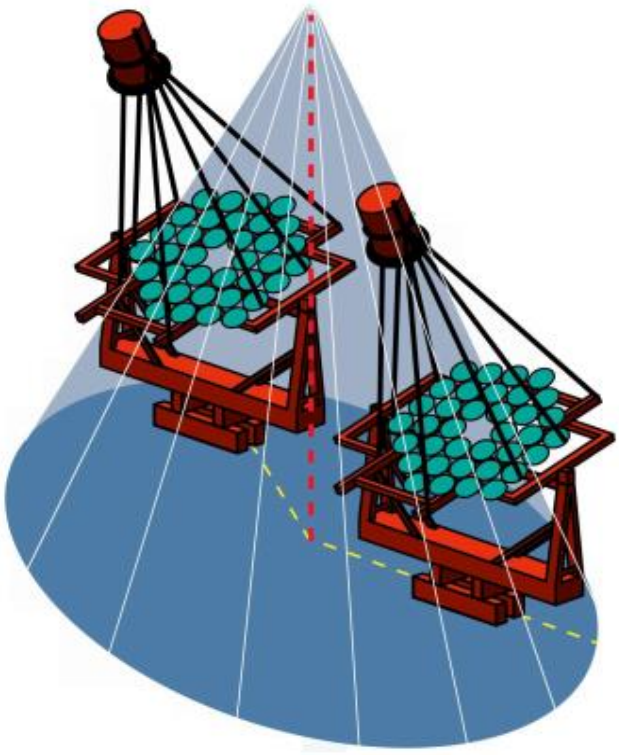
Характеристики TAIGA-IACT

- Диаметр отражателя - 4.3 м;
- Угол обзора - 9.6°;
- Размер одного пикселя - 0.36°; Генерация триггера происходит при превышении амплитуды 10 ф.э. двумя соседними ФЭУ одного кластера.

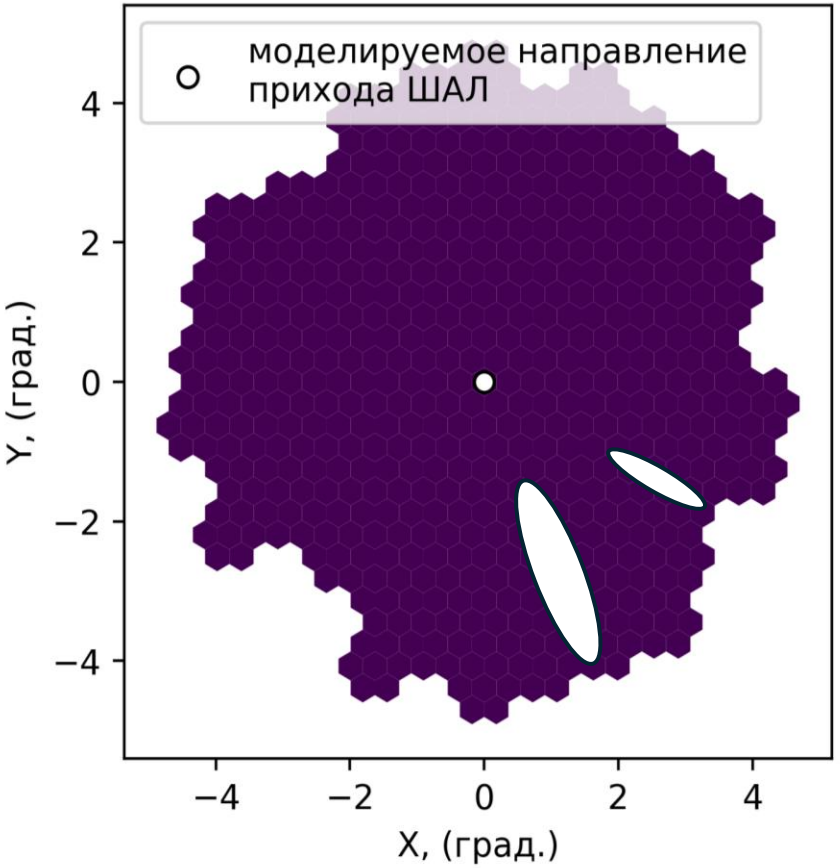
Стерео наблюдения



Каждый телескоп формирует параметризуемое изображение. На основе этих изображений проводится дальнейший анализ.



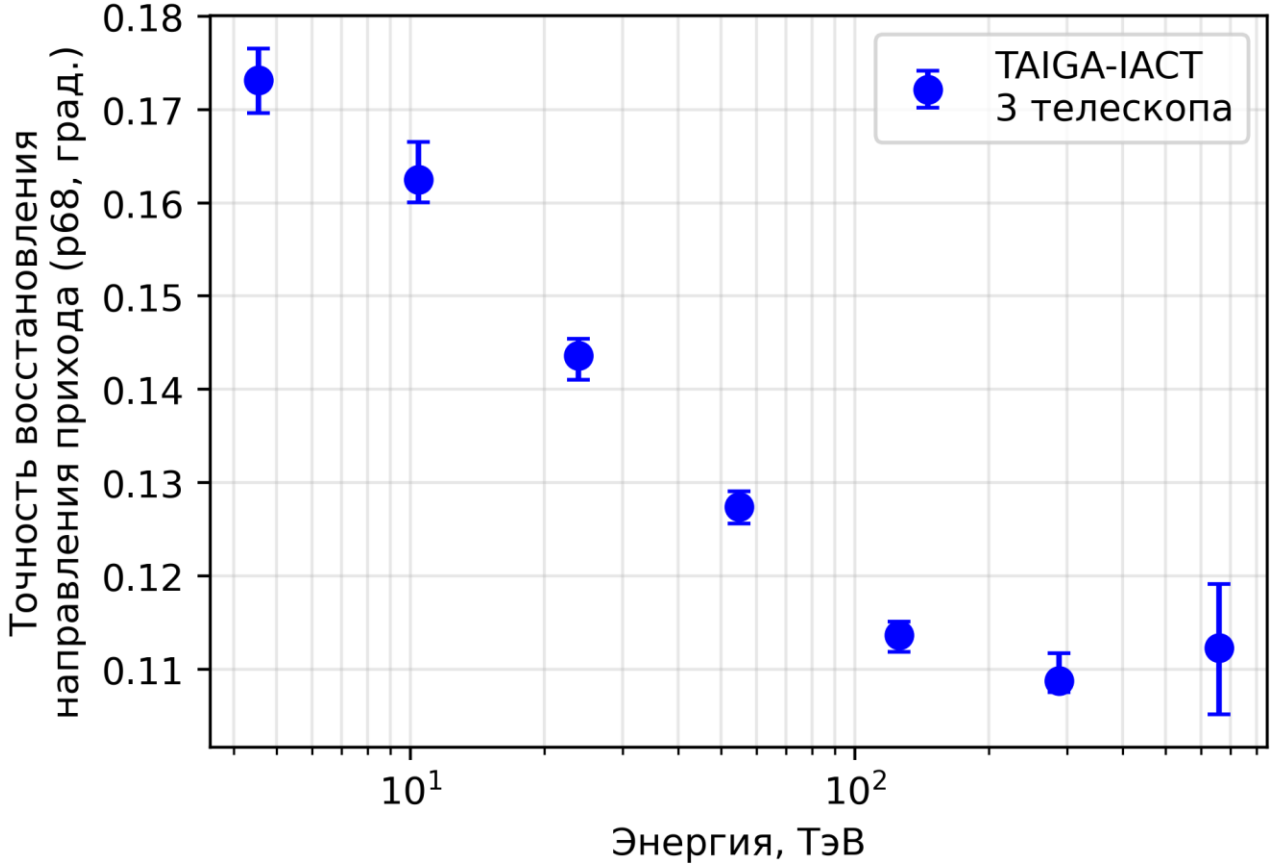
Энергетический порог - 3 ТэВ

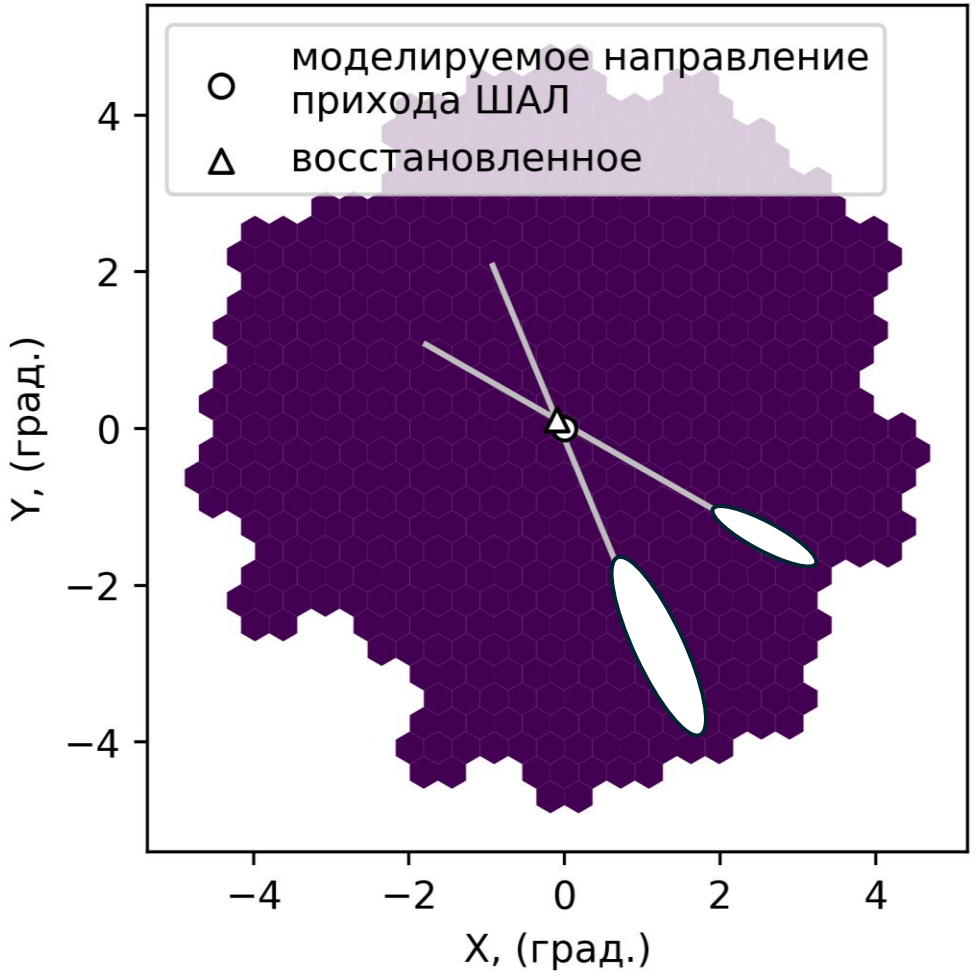


Анализ изображений ШАЛ в общем поле зрения телескопов позволяет восстанавливать направление прихода ливня

Восстановление направления прихода ШАЛ

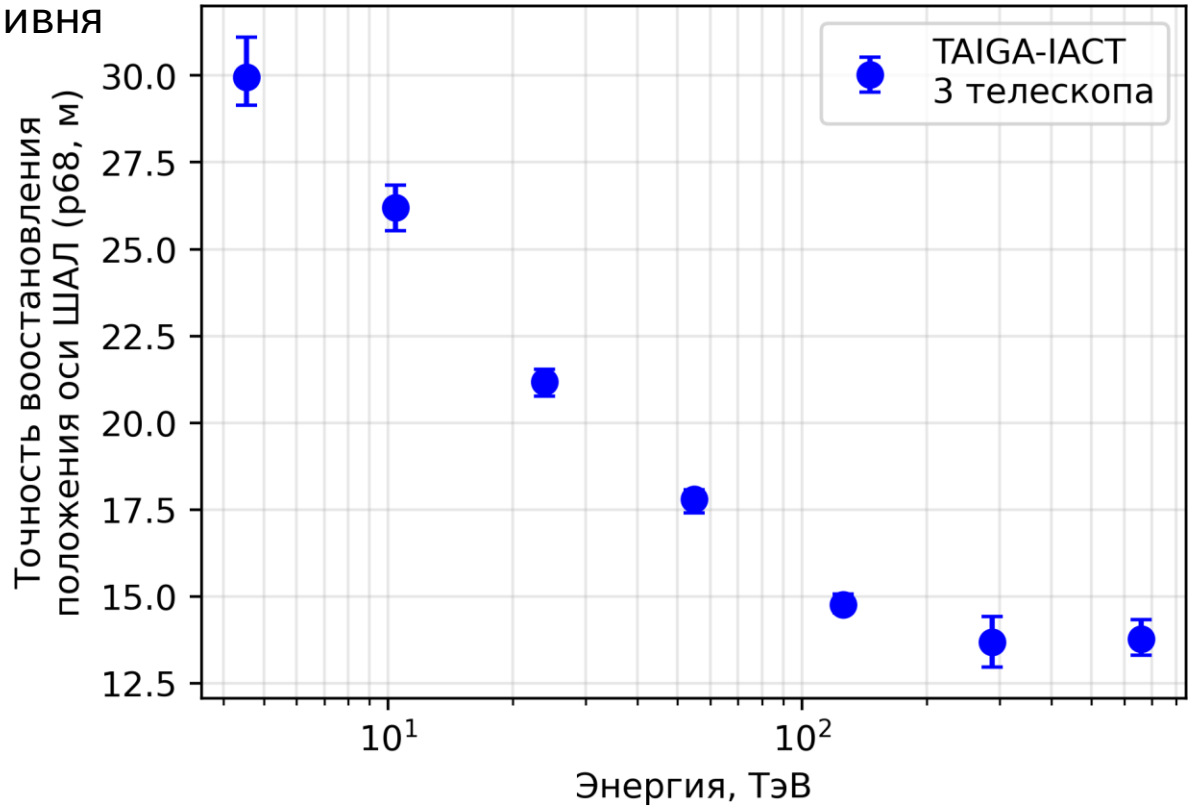
Положение источника в поле зрения телескопов определяется как точка пересечения главных осей изображений в каждом сработавшем телескопе

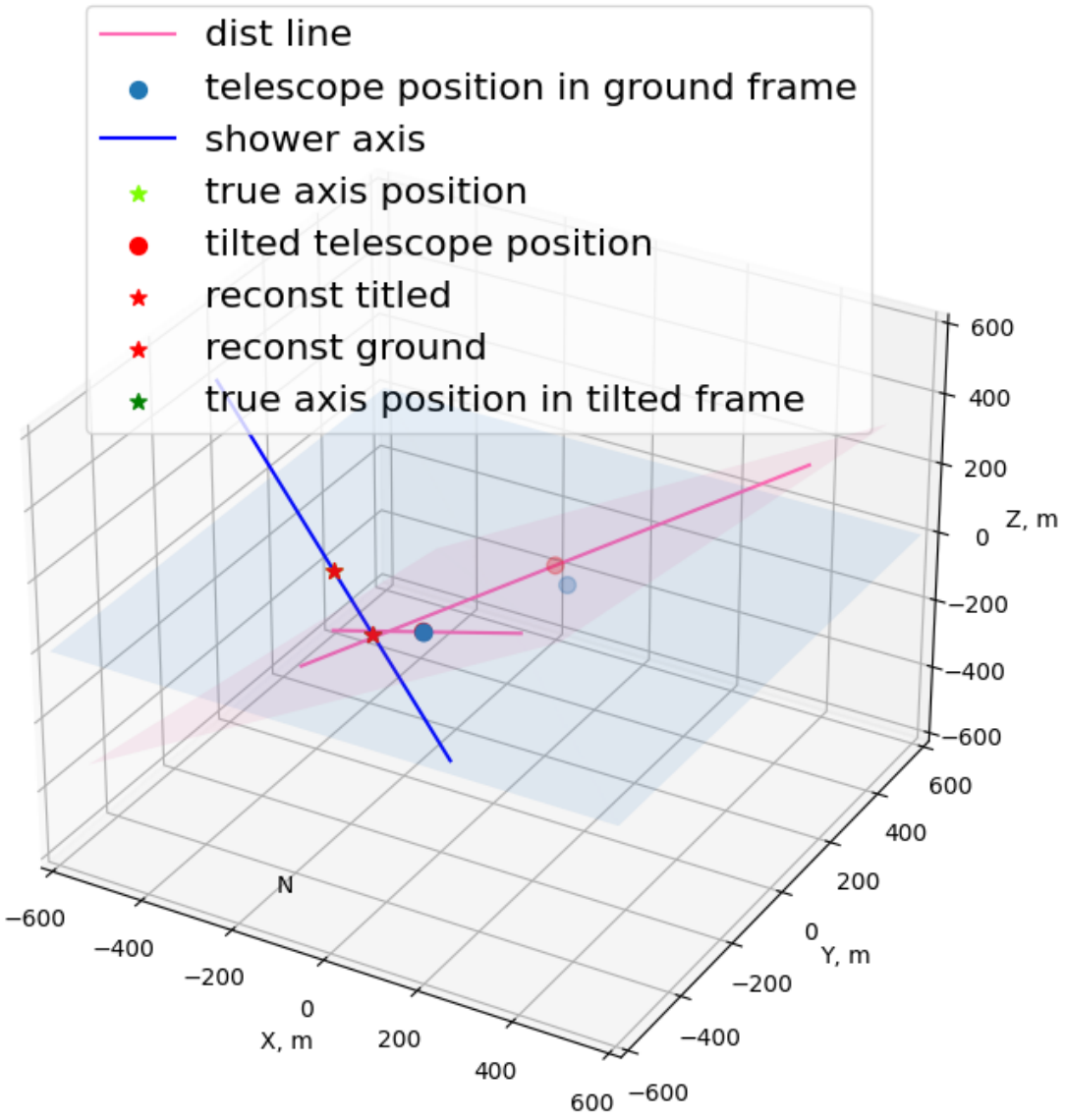




Восстановление положения оси ШАЛ

Положение оси ШАЛ определяется как точка пересечения главных осей имиджей сработавших телескопов в плоскости перпендикулярной направлению прихода ливня

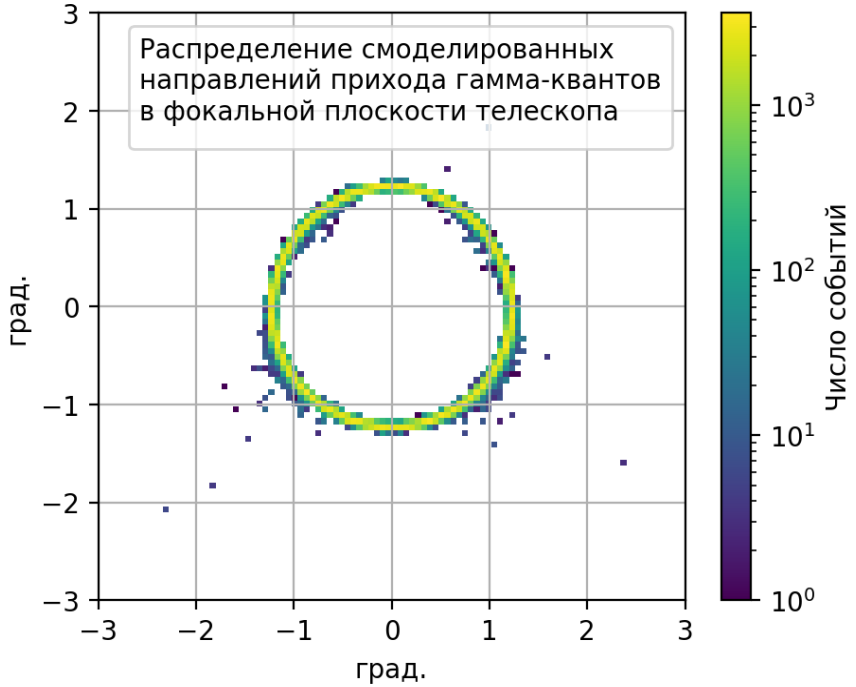


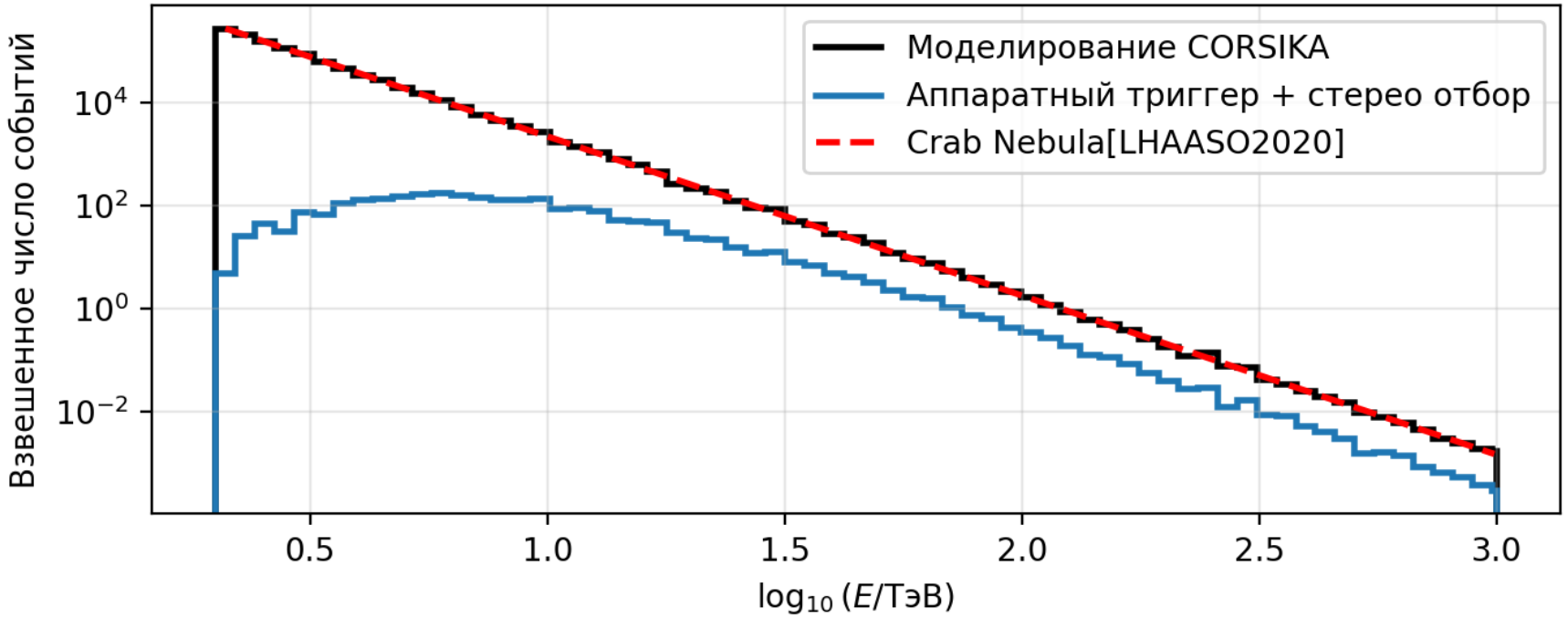


Моделирование гамма-квантов

Учитываются:

- Индивидуальные относительные чувствительности ФЭУ
- Интегральная квантовая чувствительность телескопов
- Тип конусов Винстона
- Количество и тип сегментов отражателя

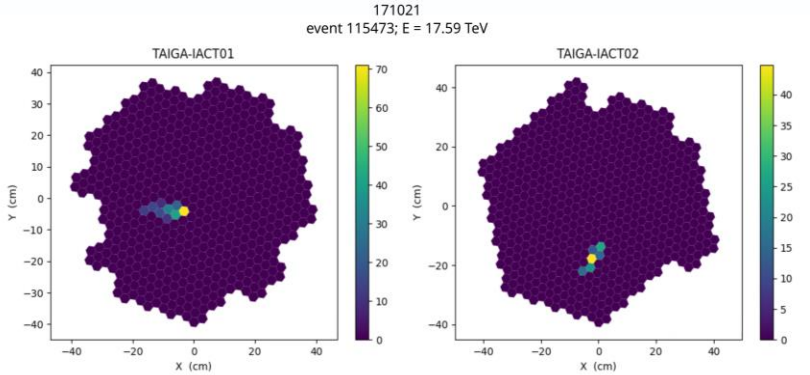




Восстановление параметров первичной частицы проводится для событий, удовлетворяющих следующим условиям:

- Сработало два телескопа,
- Неопределенность главной оси эллипса < 13.5 градуса
- Граничные пиксели содержат < 15% суммарной амплитуды события (сайза)

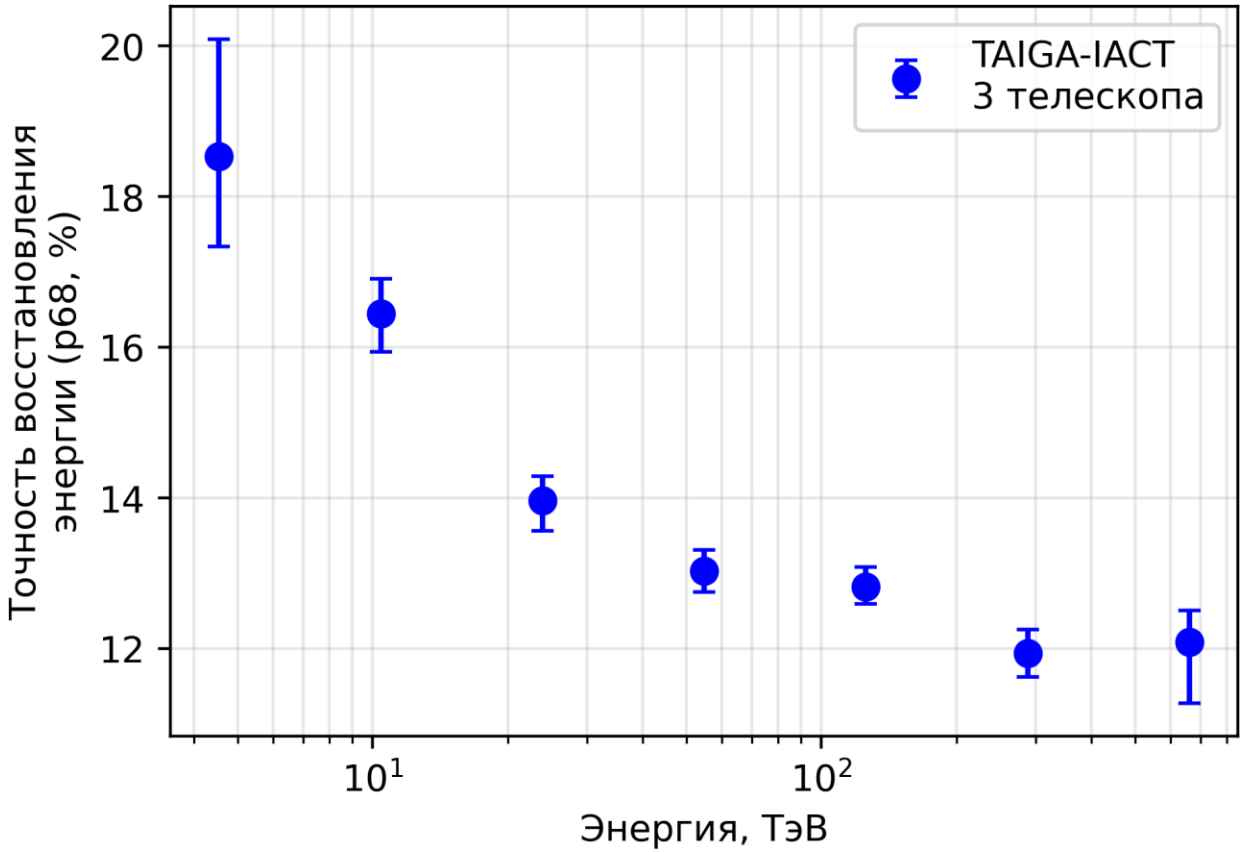
Восстановление энергии

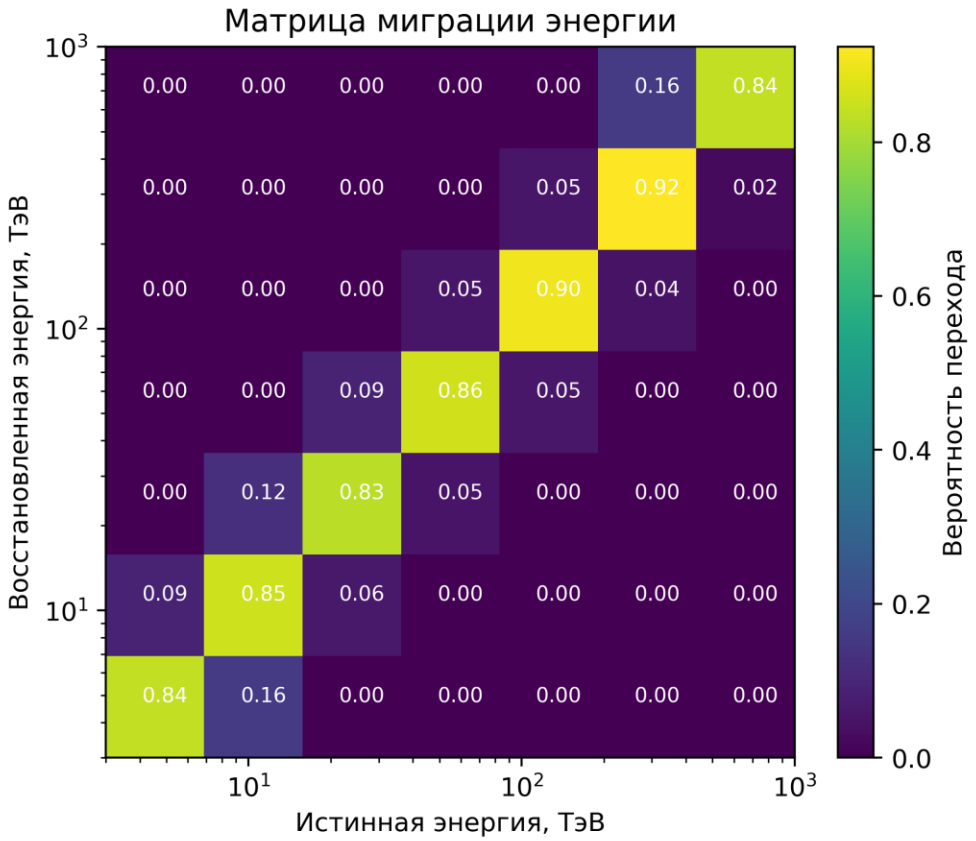


Энергия реконструируется на основе 3-х параметров:

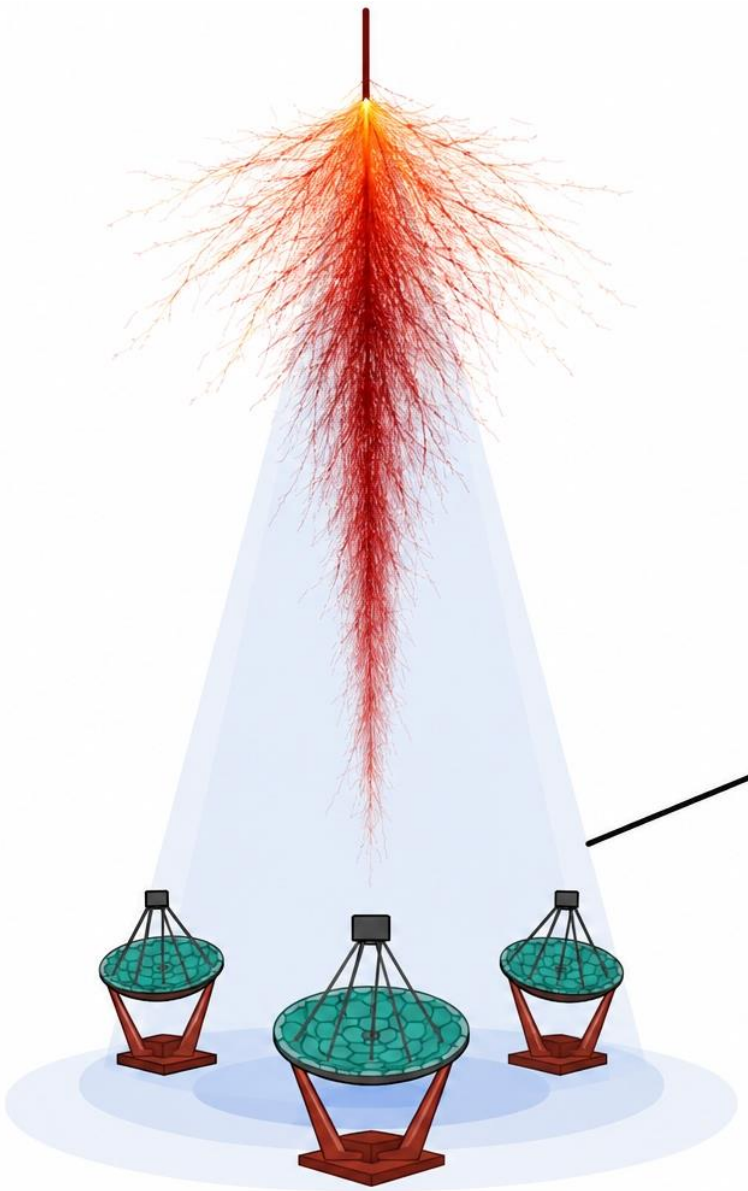
- Суммарное число фотоэлектронов
- Расстояние до оси ШАЛ
- Зенитный угол наблюдения

Восстановление выполняется независимо для каждого телескопа, итоговая энергия определяется как среднее значение по всем сработавшим телескопам

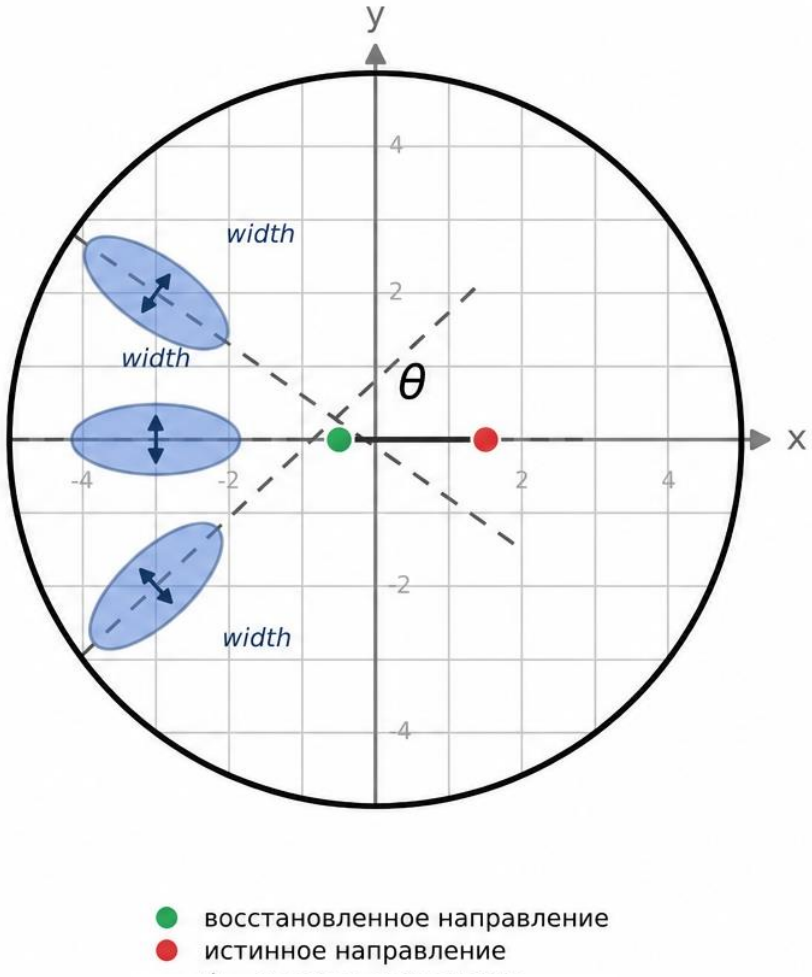




Тип частицы



Поле зрения телескопов



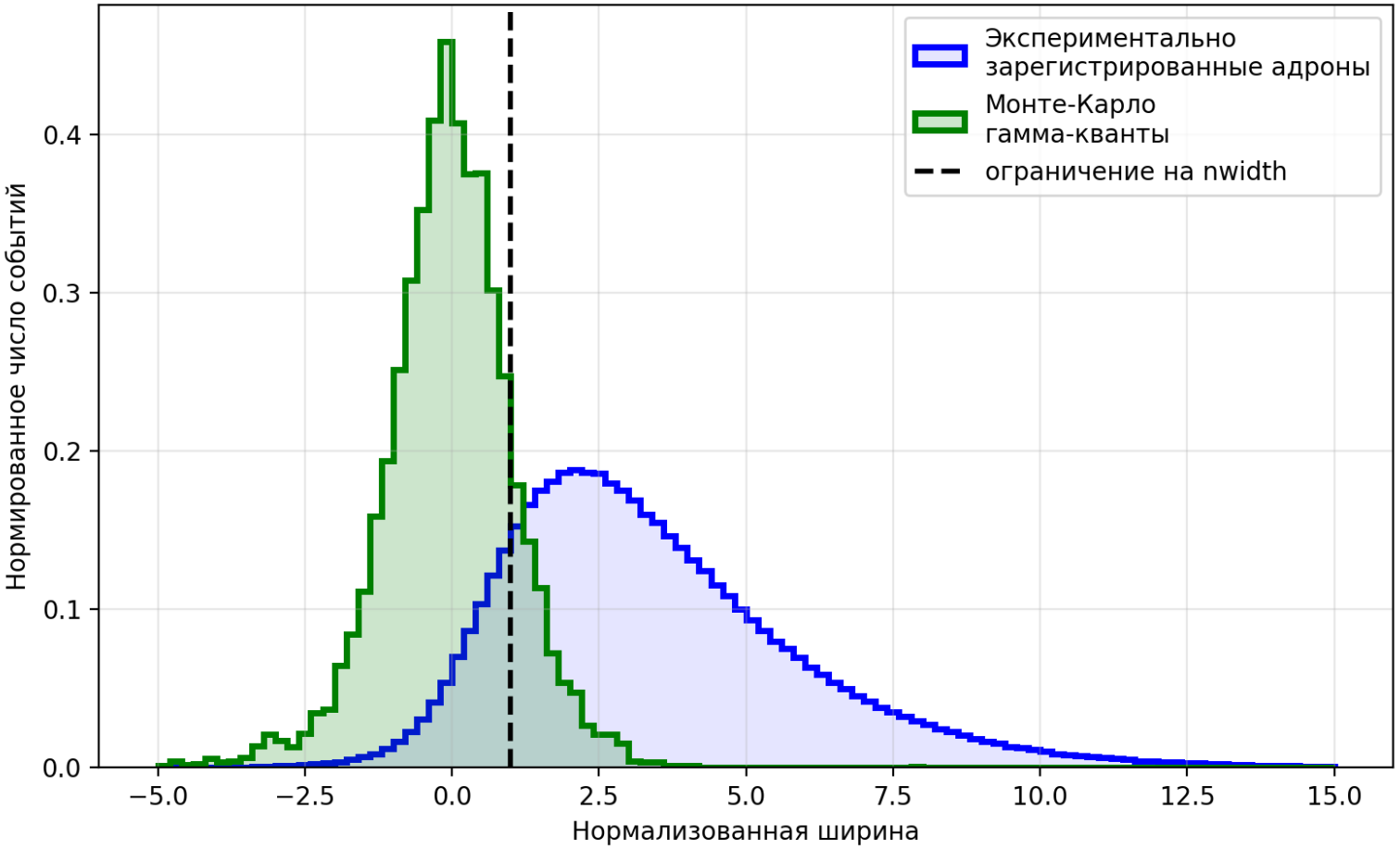
Для выделения гамма-квантов, изображения регистрируемых событий параметризуются. В анализе используется следующий набор параметров:

- width - момент второго порядка вдоль малой оси эллипса
- θ^2 - квадрат угла между восстановленным направлением прихода ливня и истинным

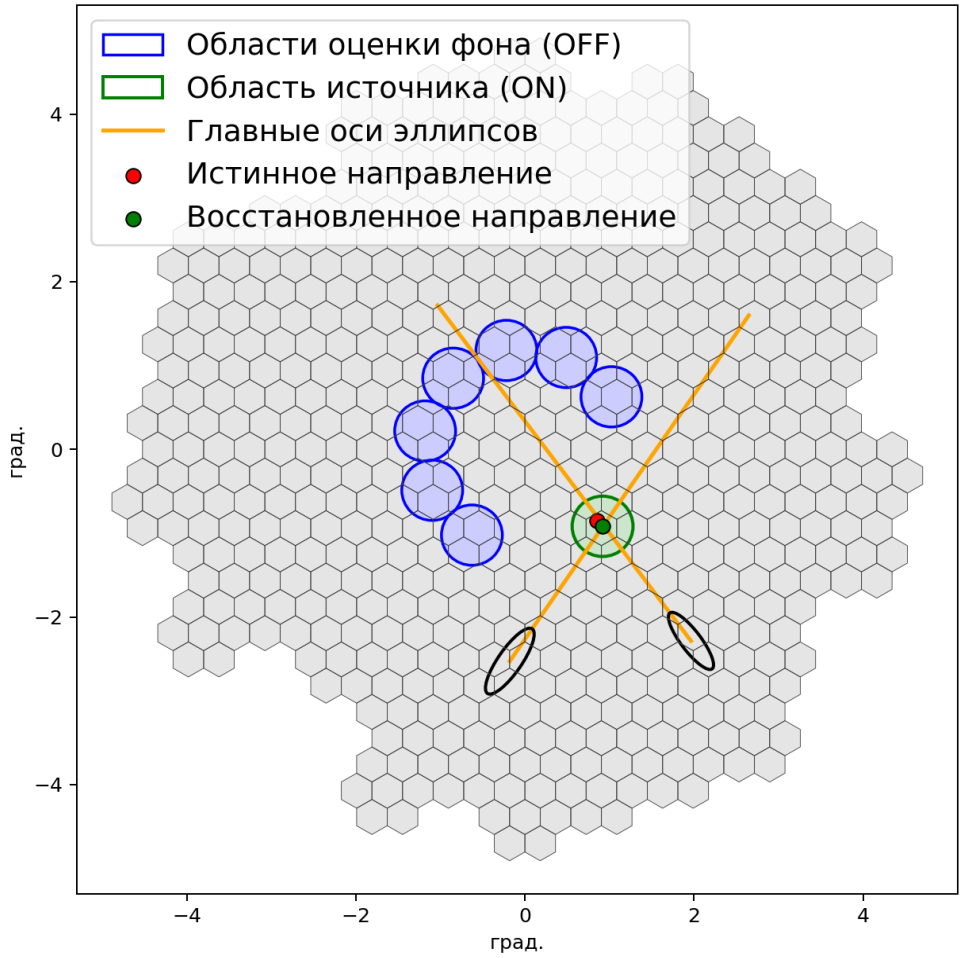
Гамма-адронное разделение

Нормализованная ширина:

$$nwidth = \frac{1}{N_{\text{tel}}}\left[\sum_{i=1}^{N_{\text{tel}}} \frac{width_i - width_m(r_i, size_i, zen_i)}{width_{\text{MAD}}(r_i, size_i, zen_i)}\right]$$



Поле зрения телескопа

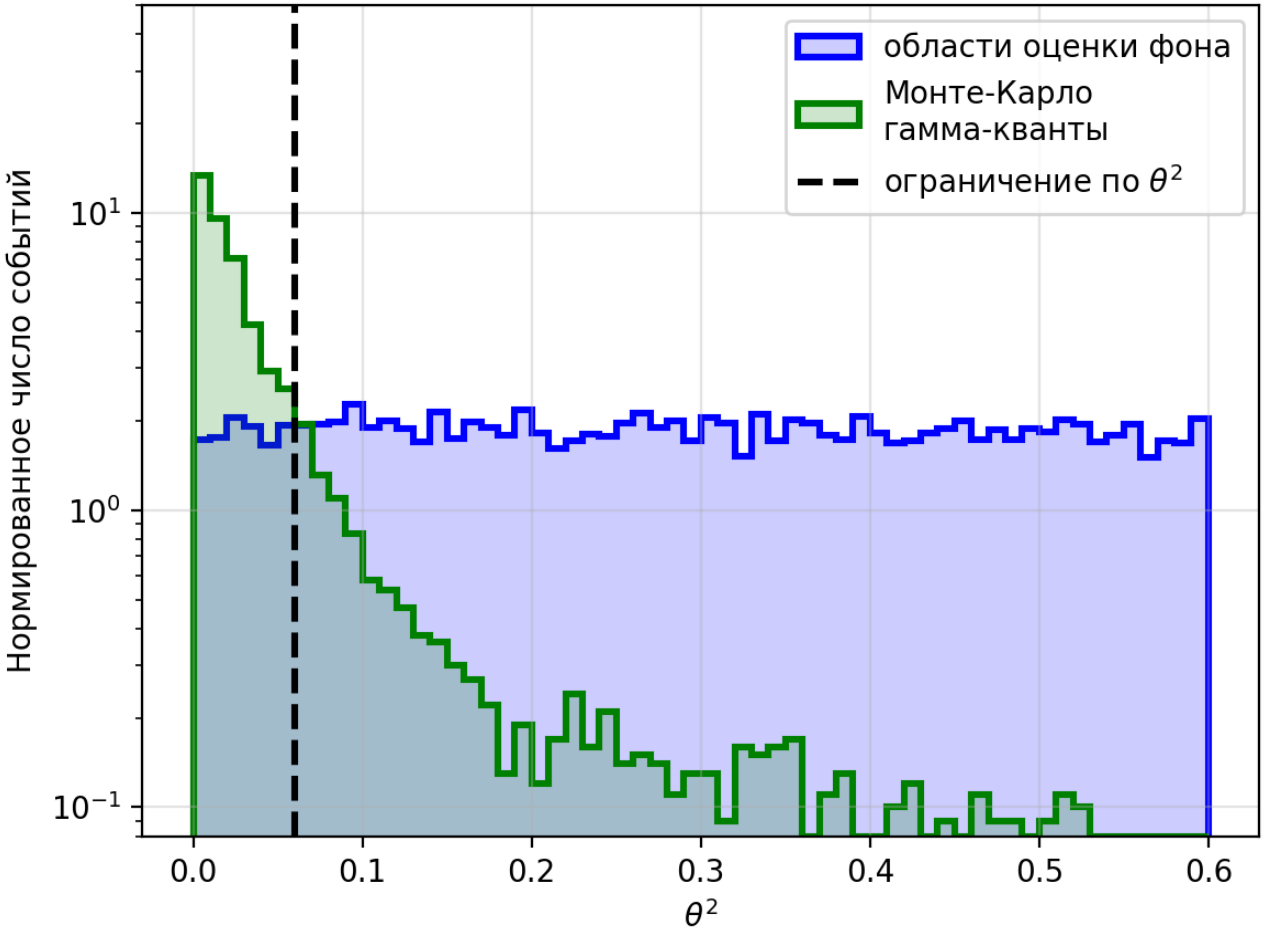


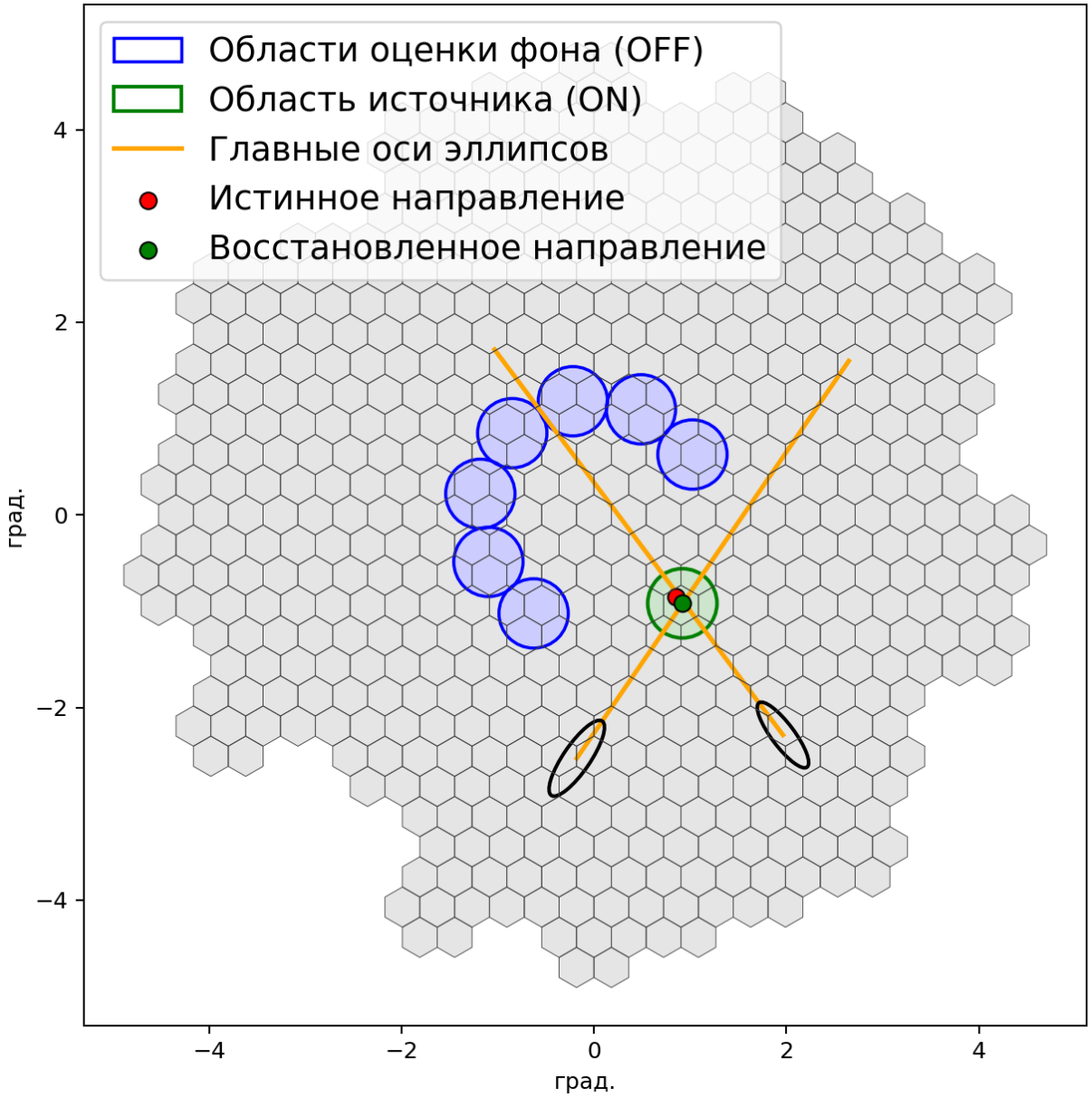
Поле зрения телескопов содержит:

- область с источником гамма-излучения (зеленый круг - On)
- области оценки адронного фона(синие круги - Off)

Гамма-адронное разделение

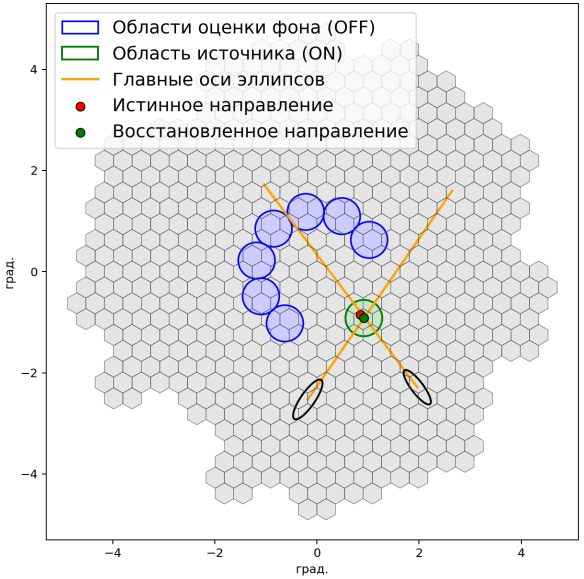
Распределение событий по theta^2 - углу между восстановленным и истинным направлением прихода ШАЛ

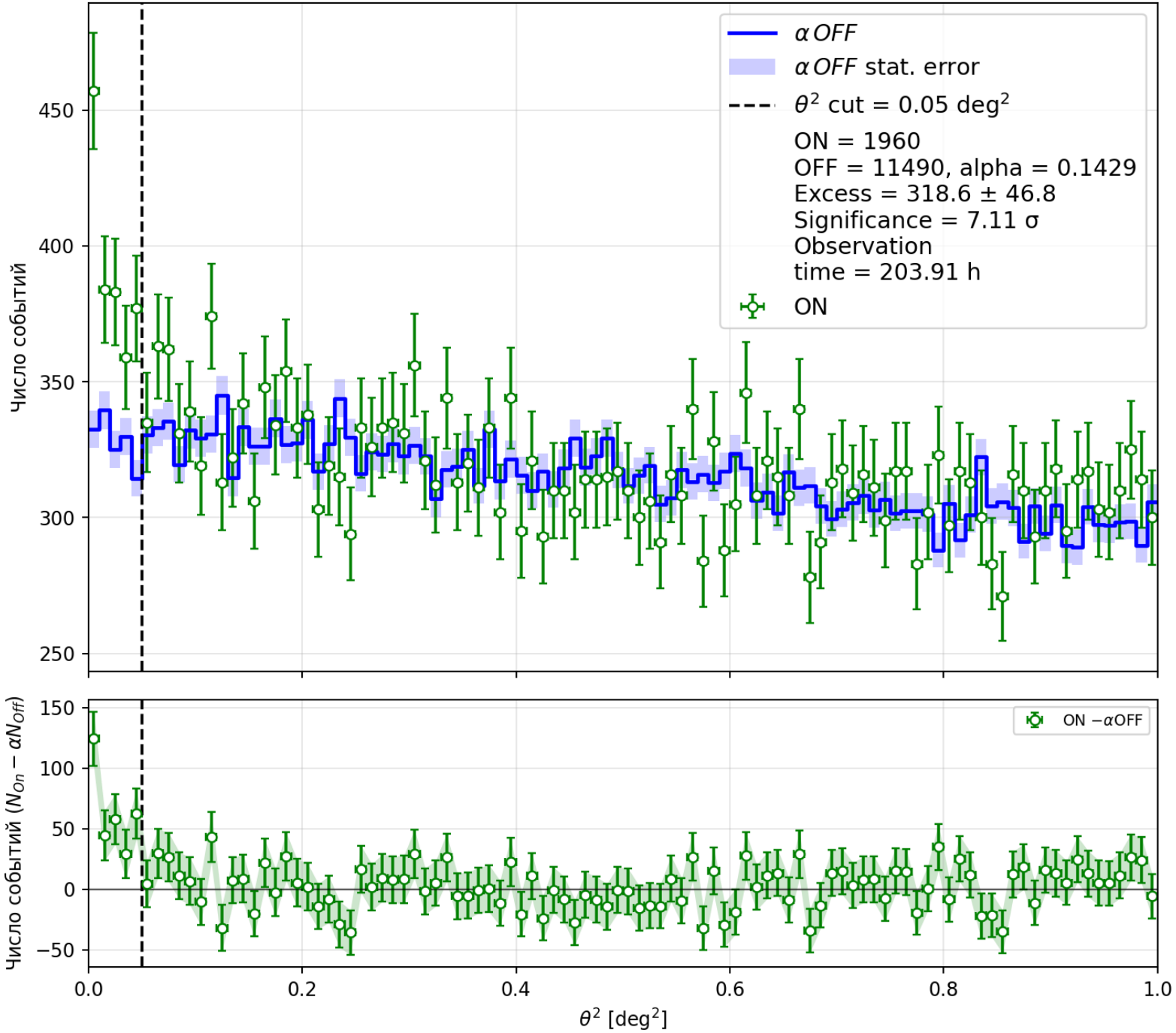




Распределение θ^2

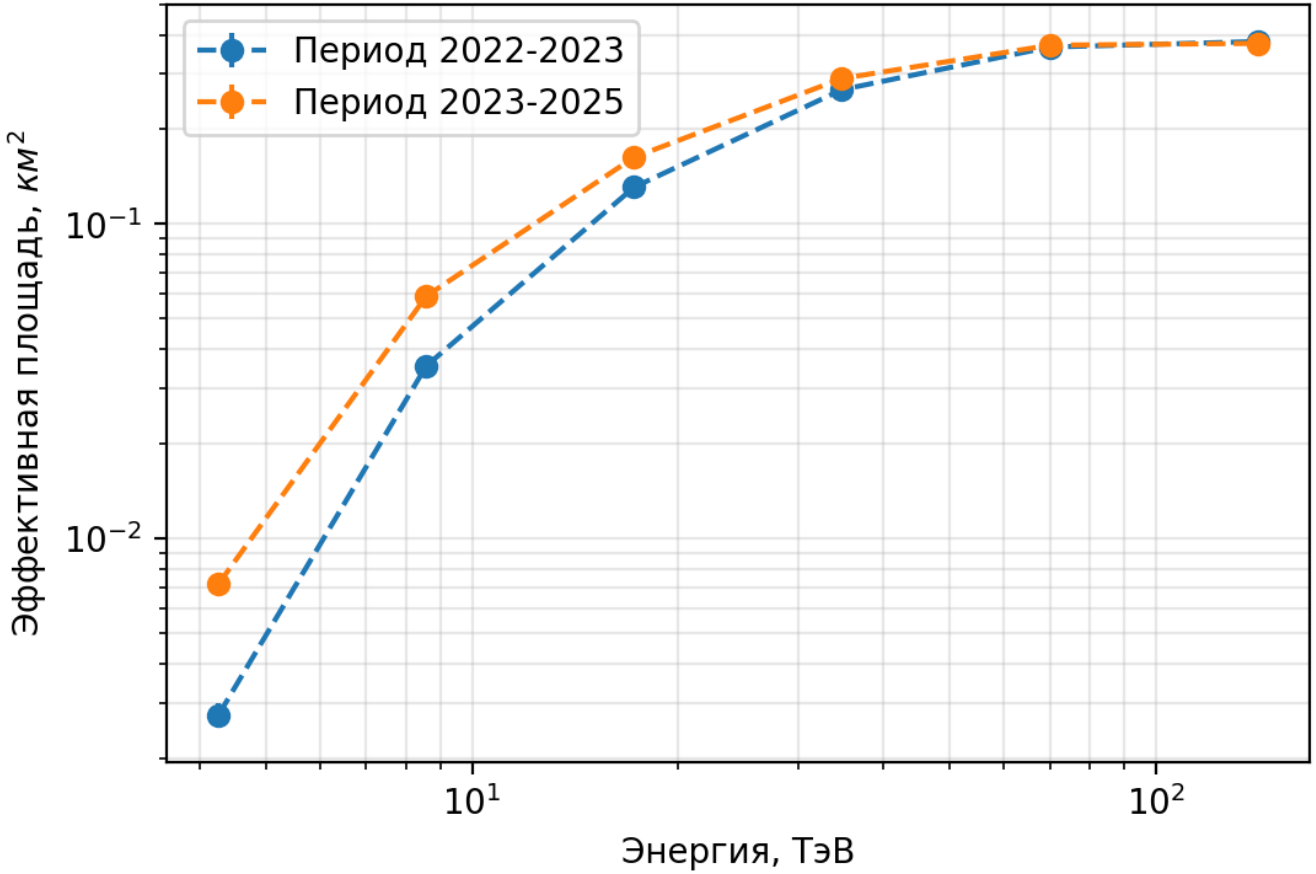
- Для зарегистрированных установкой TAIGA-IACT событий в период с 2022 по 2025 г. было построено распределение по параметру θ^2.
- Значимость избытка событий с nwidth < 1.0 и θ^2<0.05 составила 7σ. Эффективное время наблюдения ~204 часа.



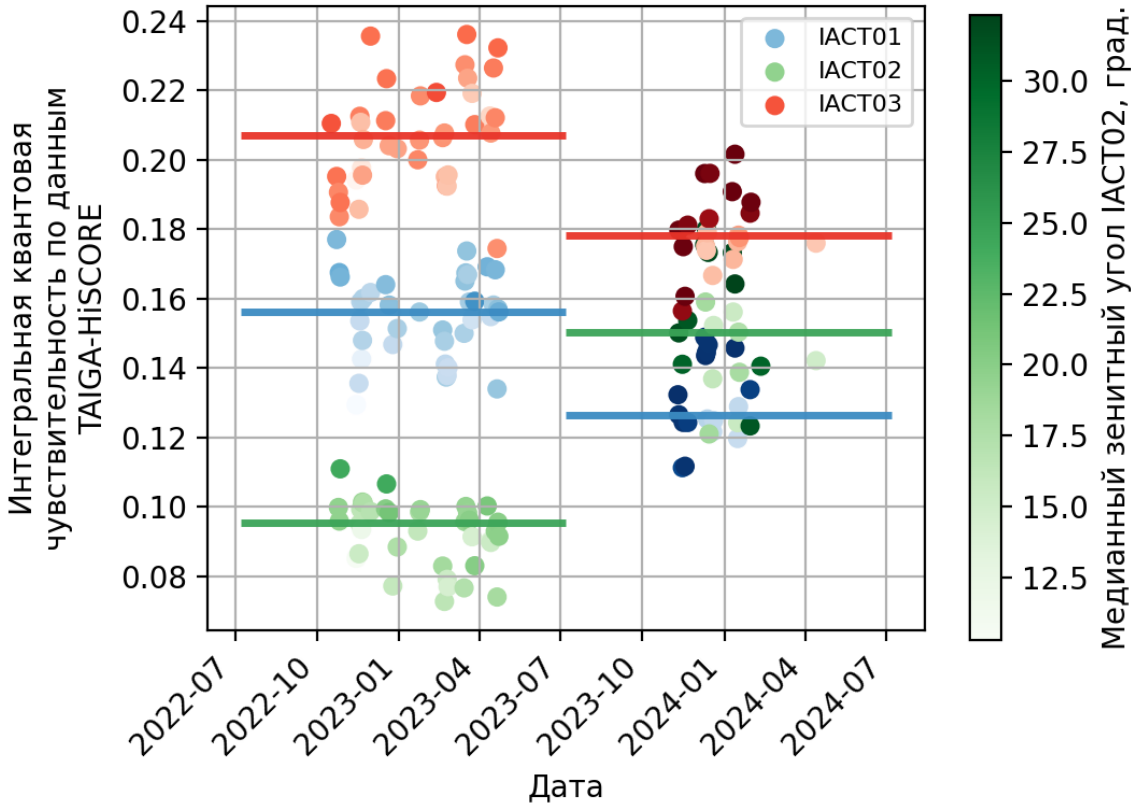


Эффективная площадь

$$S_{\text{eff}}(E) = \frac{N_{\text{selected}}(E)}{N_{\text{thrown}}(E)} S_{\text{thrown}}(E)$$



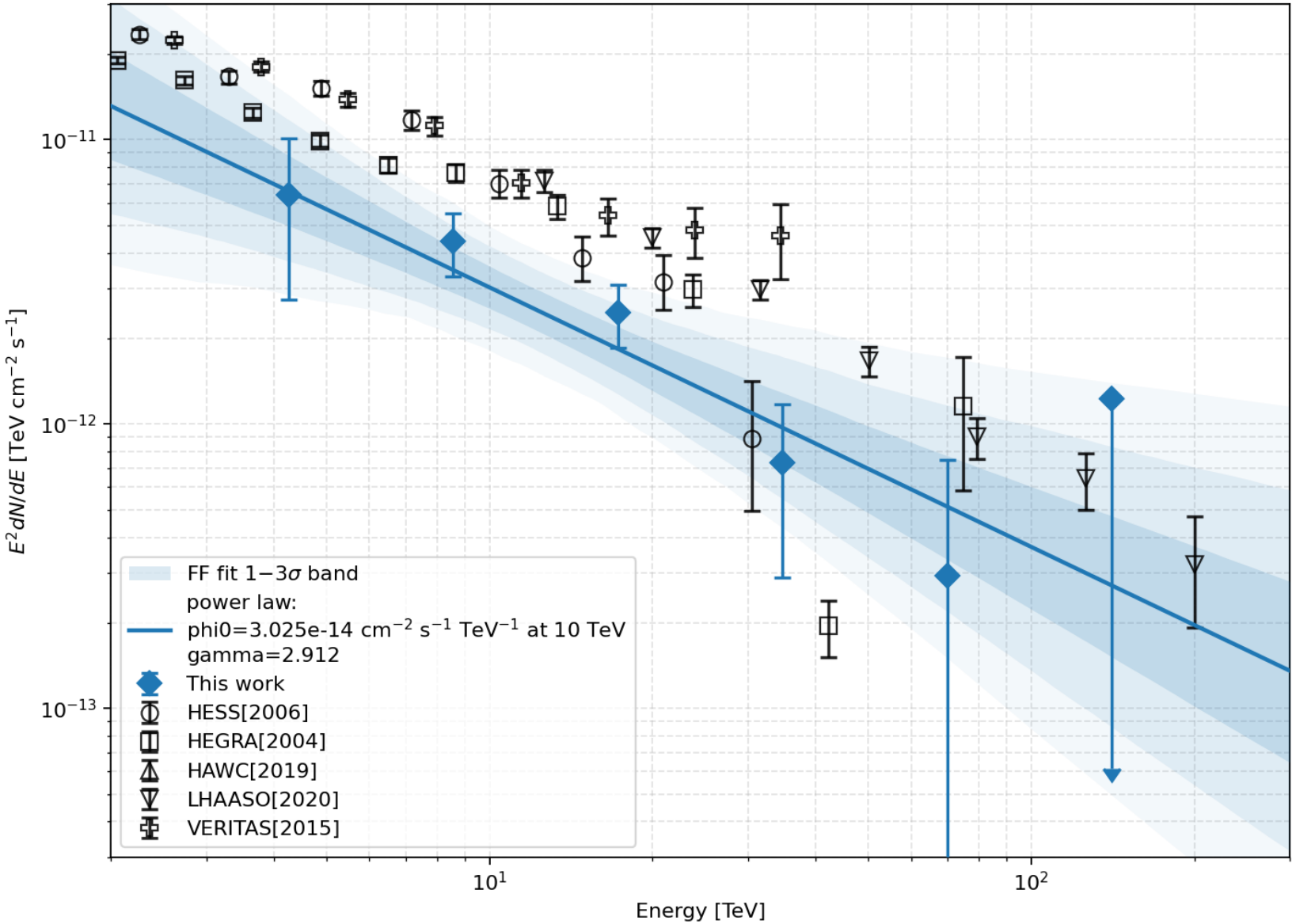
В результате модернизации телескопа TAIGA-IACT02 летом 2023 года, его эффективность светосбора возросла в 2.17 раза.



Спектральное энергетическое распределение

- Объединение периодов 2022-23 и 2023-25 производится путем взвешивания эффективных площадей каждого сезона наблюдения Крабовидной туманности пропорционально времени наблюдения (48 и 156 часов соответственно).

- С помощью forward folding подхода на основе измеренных значений потока, эффективной площади и матрицы миграции энергий была получена степенная аппроксимация полученного энергетического распределения.

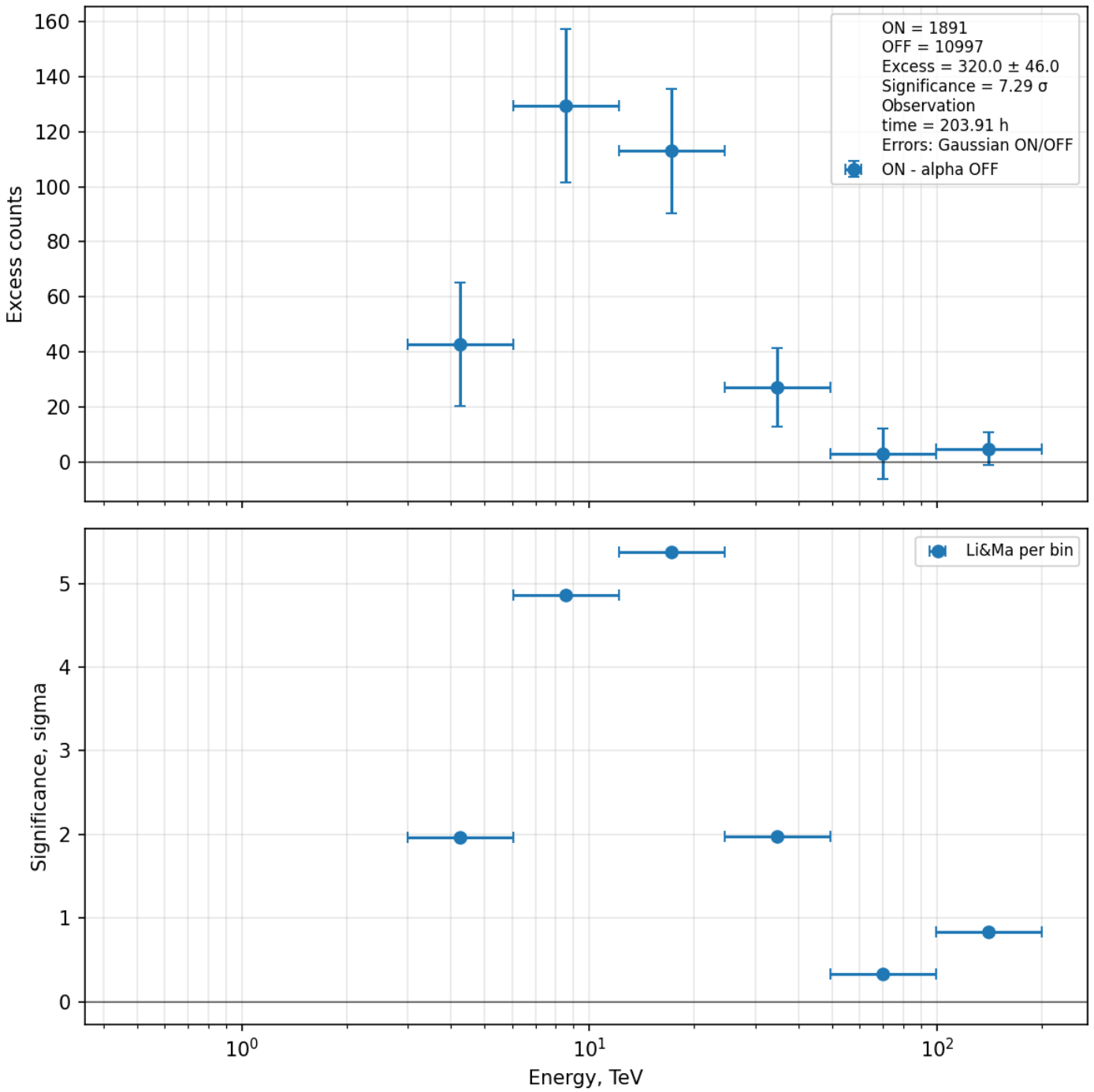


Заключение

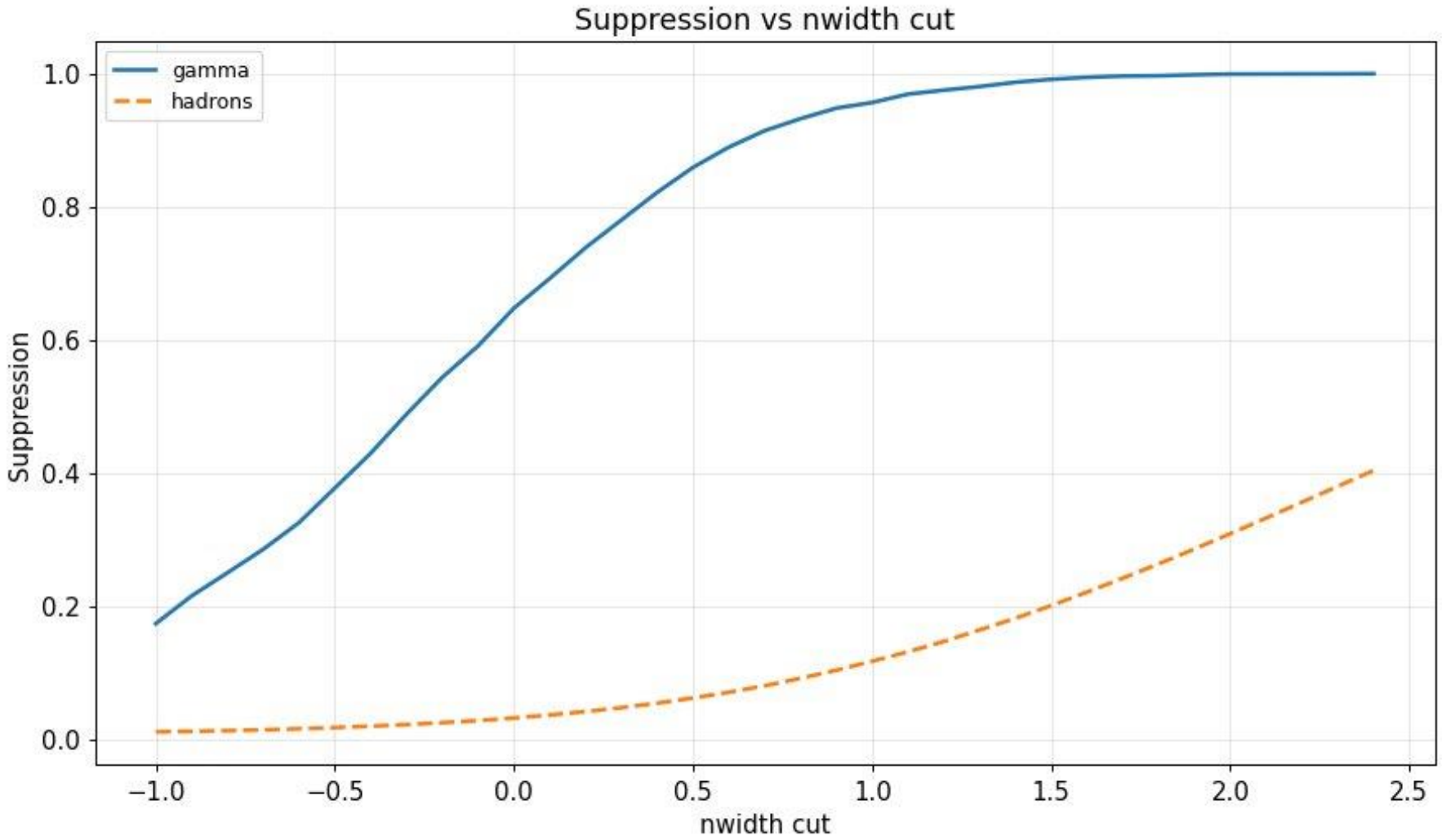
- Получен энергетический спектр Крабовидной туманности по данным измерений в период 2022-2025 г.
- Отобрано ~5 событий с энергией выше 100 ТэВ. Ожидается, что за 300 часов наблюдения Крабовидной туманности пятью телескопами выше 100 ТэВ будет зарегистрировано 30-40 событий.
- Планируется :
  - Уточнение абсолютной чувствительности телескопов;
  - Объединение с результатами наблюдений в 2020-2022 г.
  - Увеличение статистики за счет сезона 2025-2026 года с 4 телескопами TAIGA-IACT.
  - Учет погодных условий наблюдений.

Спасибо за внимание

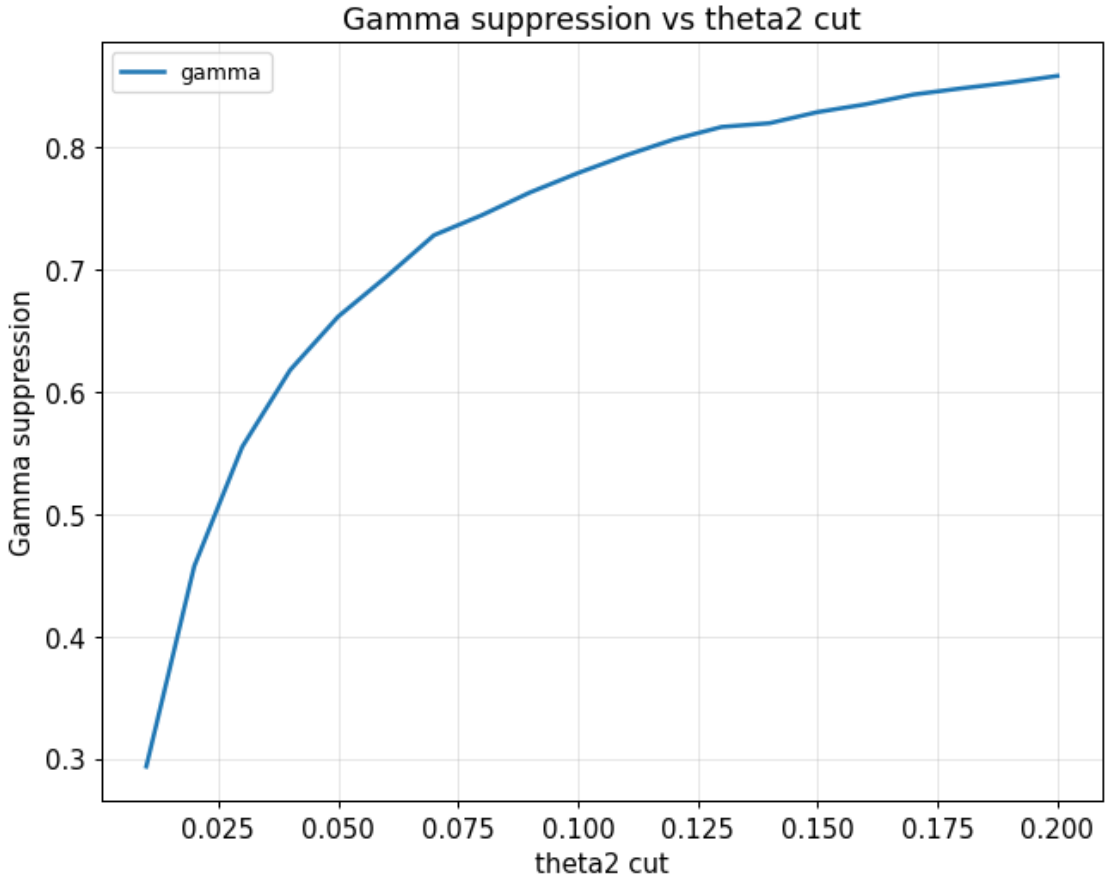
Избытки по бинам + значимость

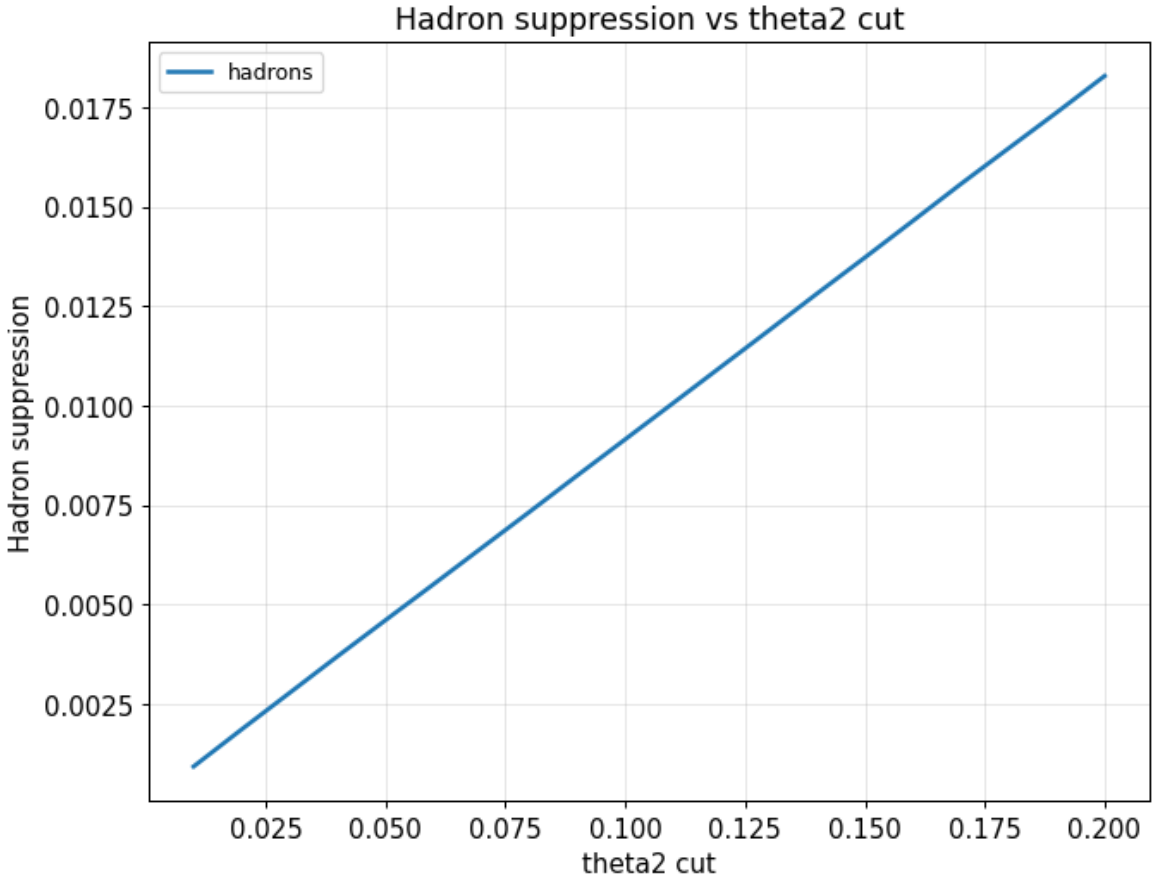


Backup: Подавление адронов и гамма-квантов по ширине



Backup: Подавление адронов и гамма-квантов по theta^2





Backup: Гамма-адронное разделение

2+3 телескопа

```
Observation time statistics:
Total observation time: 68.09 hours

Processing theta suppression...
Best nwidth_cut: 0.6999999999999997
Best theta2_cut: 0.08
Max Q Factor: 20.76966343531065
Gamma suppression: 0.5198620041889147
Hadron suppression: 0.0006264944608105481
```