

Анализ характеристик ШАЛ по данным ливневой части установки “Адрон” ТШНВС

Научный руководитель: С. С. Хохлов

Научный консультант: Е. А. Южакова

Студент: К. А. Воробьева

Группа: Б22-ФЧ

08.05.2026

Цели и задачи

Цели

Получить ФПР широких атмосферных ливней (вариант ФИАН) по данным установки «Адрон» (ТШВНС) и выполнить независимую реконструкцию параметров ШАЛ. Сравнить собственную реконструкцию с вариантом ФИАН.

Задачи

- Найти подходящую функцию пространственного распределения частиц ШАЛ.
- Реконструировать параметры ливней по данным ливневой части установки «Адрон» (ТШВНС)
- Построить:
 - спектр N_e
 - спектр возраста ливня
 - распределение по координатам осей ШАЛ

Ливневая часть установки “Адрон”

114 детекторов в 37 пунктах

1 – Сцинтилляционные детекторы: 34(40) – 4 группы по 3 сц. – 1 м²; Сцинтилляционные детекторы: 55 м – 8 групп по 3 сц. – 0.25 м²

2 – Сцинтилляционные детекторы: 16 м – 6 групп по 3 сц. – 0.25 м²; Сцинтилляционные детекторы: 20 м – 4 группы по 2 сц. – 1 м²

3 – Сцинтилляционные детекторы: 11 групп по 3 сц. – 0.25 м²

4 – Сцинтилляционные детекторы: 4 группы 3 сц. – 1 м²

5 – Сцинтилляционные детекторы ПЕМА нейтронного монитора: 5 групп – 0.25 м²

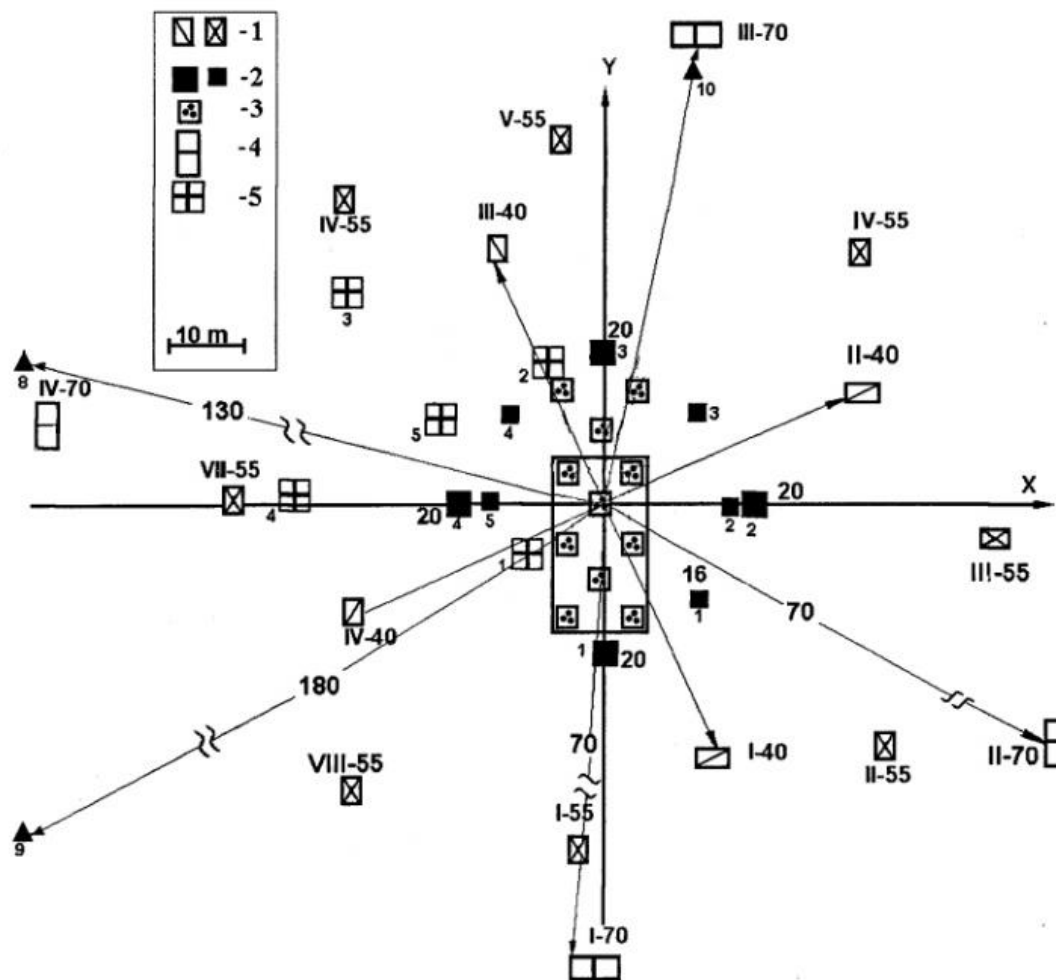
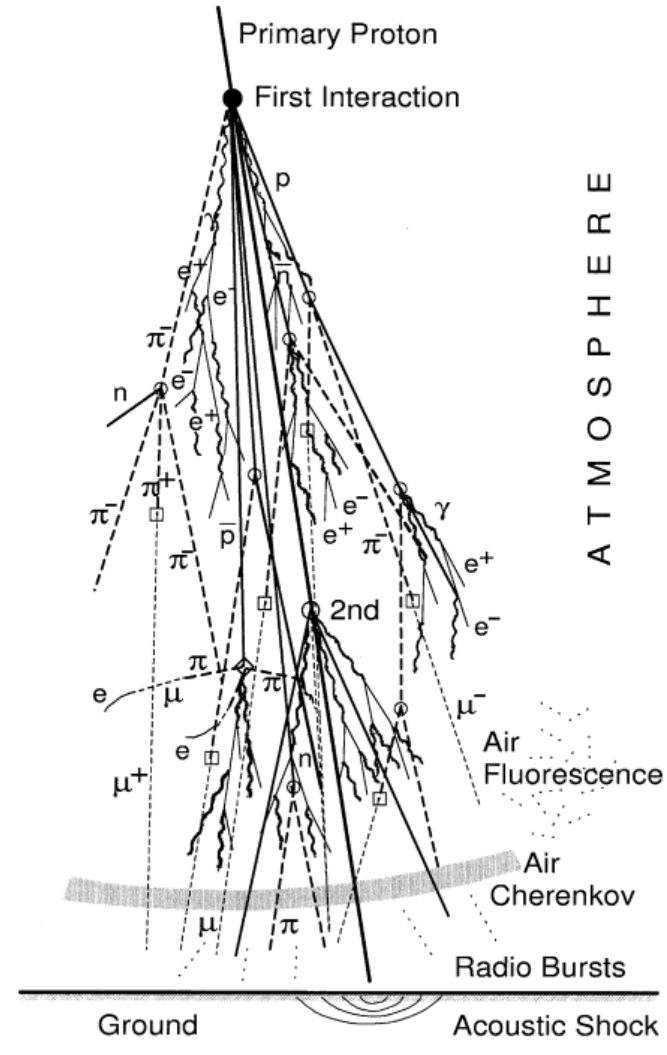


Рис. 1: Схема ливневой части установки “Адрон”

Широкие атмосферные ливни (ШАЛ)



Основные параметры ШАЛ:

- Азимутальный и зенитный углы падения первичной частицы θ , ϕ
- Координаты пересечения ствола ливня с плоскостью наблюдения (x, y)
- Энергия первичной частицы E_0
- Мощность ливня N —это количество частиц на определённом этапе формирования каскада частиц в атмосфере
- Возраст S — безразмерный параметр, количественно отражающий, насколько ливень развит в момент наблюдения

Рис. 2: Упрощенная схема продольного и поперечного развития обширного ливня в атмосфере, показывающая обычно обнаруживаемые компоненты.

Данные эксперимента

Всего: 560 000 событий.

Критерии отбора событий

- Зенитный угол: $\theta \leq 30^\circ$
- Возраст ливня: $s \geq 0.4$
- Только события с успешным восстановлением параметров.

Объем выборки после отбора: 360 000 событий.

Плотность частиц в детекторах

Детекторы: 74 сцинтилляционных детектора в 24 группах

Плотность частиц в детекторах:

$$\rho = \frac{1}{s} \exp \frac{M - 1}{10}$$

S-площадь детектора

M - код амплитуды импульса от детектора

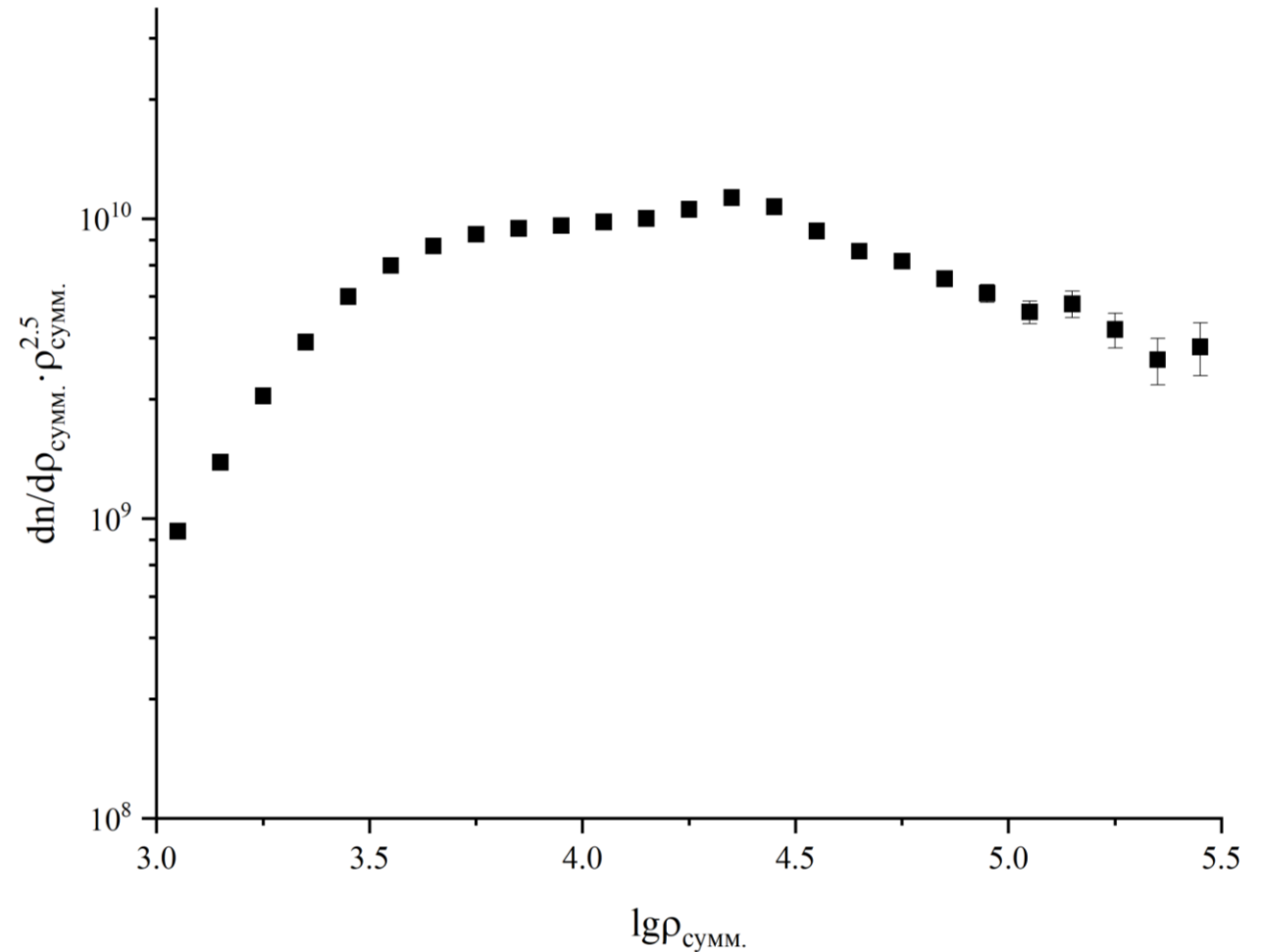


Рис. 3: Спектр плотности заряженных ШАЛ

Функция пространственного распределения (ФПР) Нишимуры-Каматы-Грейзена (НКГ)

$$\rho(r, S, N_e) = \left(\frac{N_e}{r_M^2}\right) \left(\frac{r}{r_M}\right)^{S_N-4.5} \frac{\Gamma(4.5 - S_N)}{2\pi\Gamma(S_N)\Gamma(4.5 - 2S_N)}$$

Классическая НКГ

$$\rho_{mod}(r, S, N_e) = (m \cdot r_M) \cdot \rho_e^{NKG} \left(\frac{r}{m}\right)$$

Модифицированная НКГ

S - возраст ливня

N_e - мощность

r - расстояние до оси ливня

r_M - радиус Мольера, для данной высоты $r_M=120$ м

где $m = 0.78 - 0.21S$

ФПР заряженных частиц (вариант ФИАН)

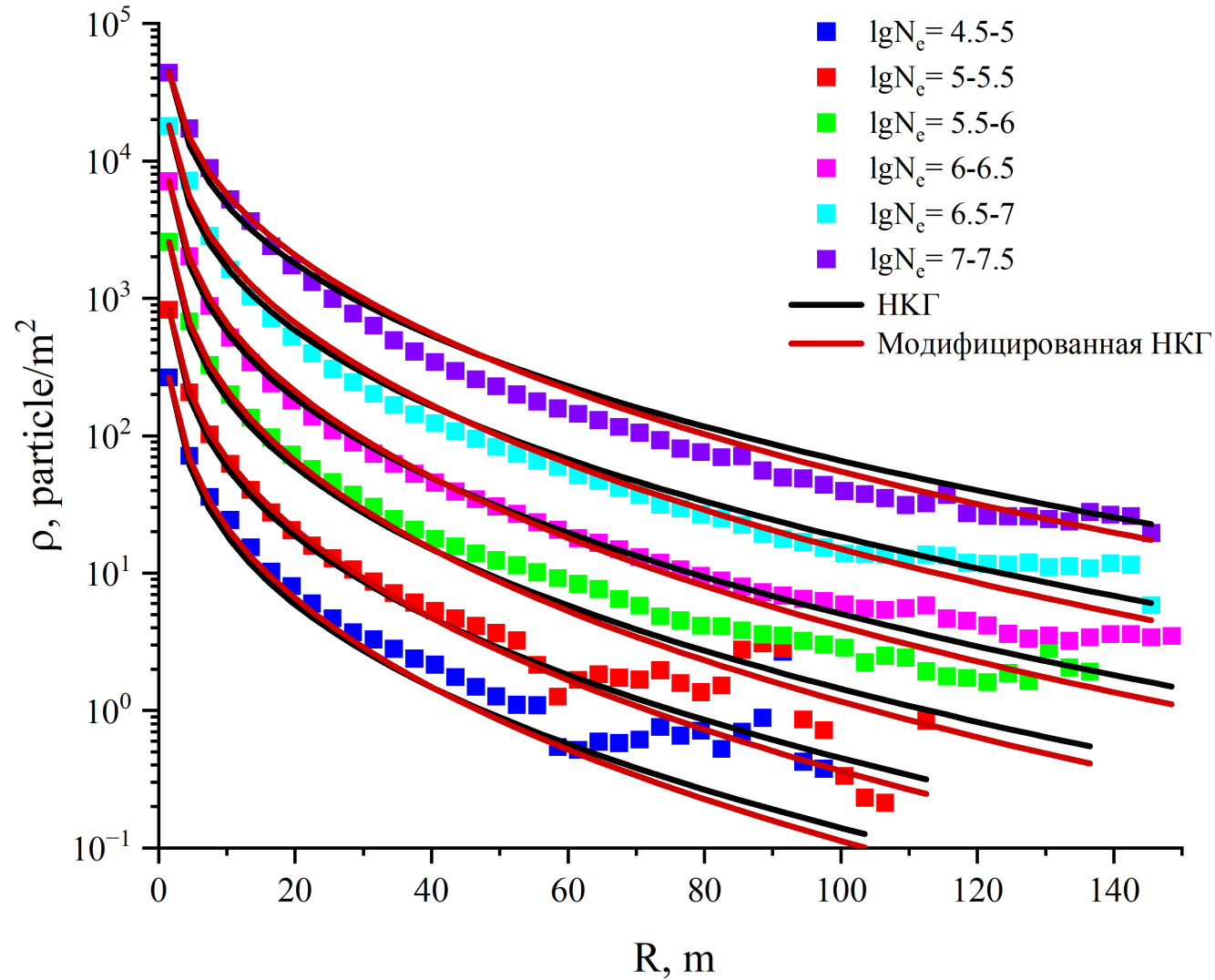


Рис. 4: Функция пространственного распределения частиц в ШАЛ.

Независимая реконструкция

Основные параметры ШАЛ найдены нелинейным методом наименьших квадратов для которого необходимо задать первые приближения

Первое приближение координат осей ливня:

$$x_{с, \text{восс.}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \rho_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad y_{с, \text{восс.}} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot \rho_i}{\sum_{i=1}^n y_i}$$

Первое приближение мощности:

$$N_e = \frac{\rho_{\text{max}} \cdot r_M^2}{B}$$

где: $B = \left(\frac{r}{r_M}\right)^{S_N-2} \left(1 + \frac{r}{r_M}\right)^{S_N-4.5} \frac{\Gamma(4.5 - S_N)}{2\pi\Gamma(4.5 - 2S_N)}$

Первое приближение возраста:

$S = 0.7$, среднее значение, полученное при обработке данных ФИАНа

Восстановленные спектры мощности

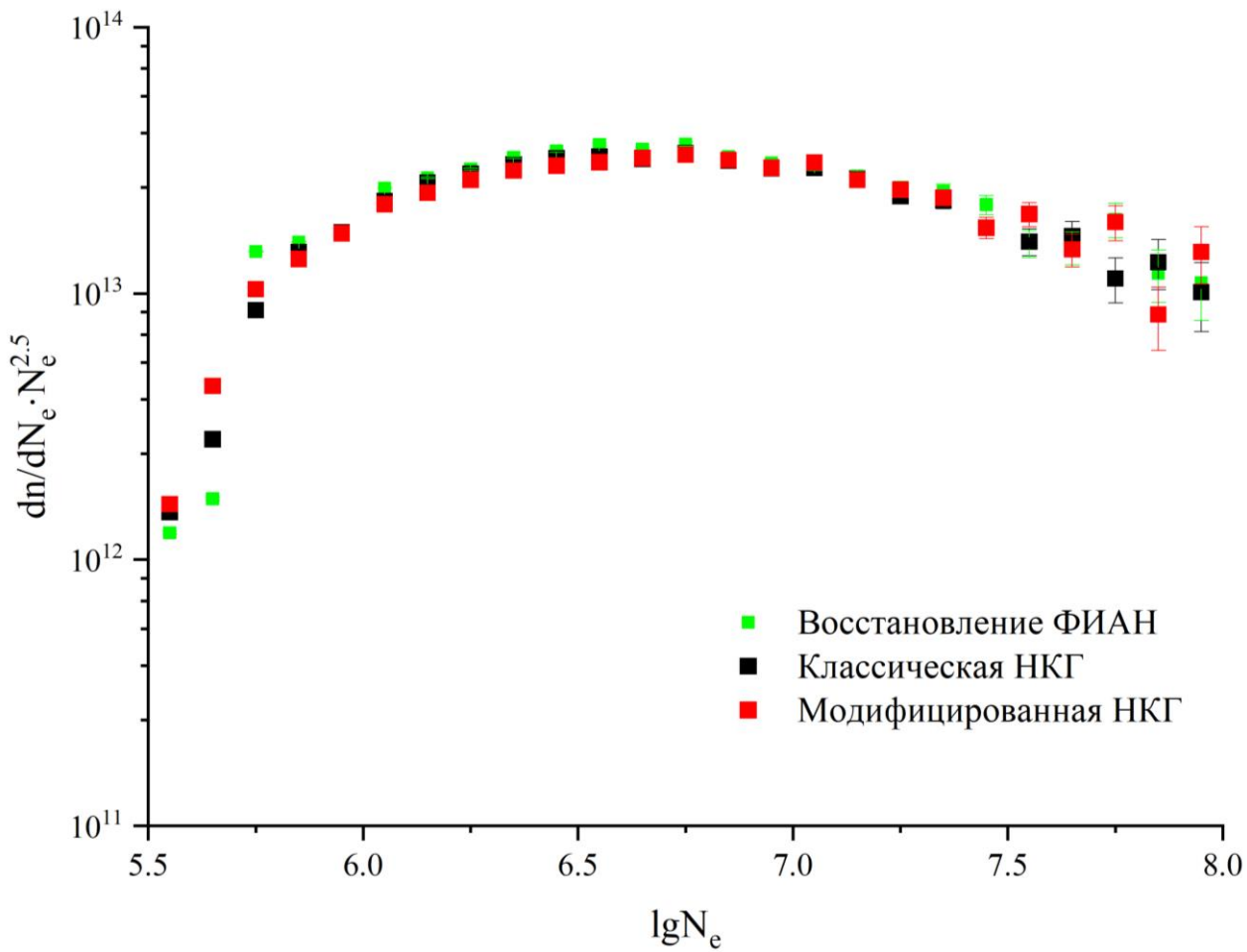


Рис. 5: Спектр восстановленной мощности ШАЛ

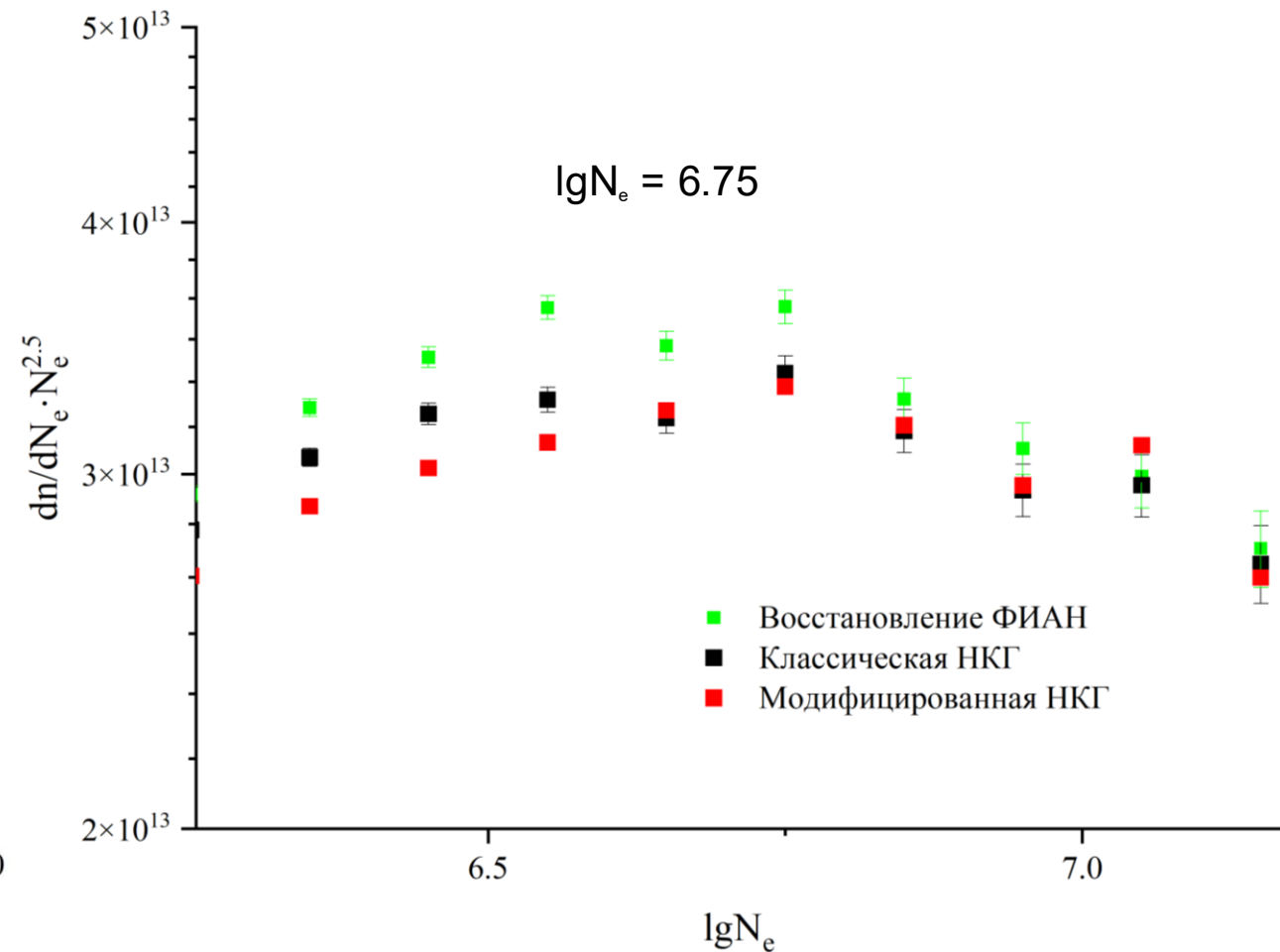


Рис. 6: Спектр восстановленной мощности ШАЛ, в большем масштабе

Заключение

Итог работы за семестр:

- **Классическая и модифицированная ФПР НКГ хорошо подходят для описания данных с установки "Адрон" ТШВНС**
- **Разработана программа реконструкции основных параметров для данных с установки "Адрон" на языке python**
- **В спектре восстановленной мощности виден излом на значении $IgN_e = 6.75$ для всех вариантов реконструкций**



**Спасибо за
внимание!**

08.05.26

Восстановление возраста ШАЛ

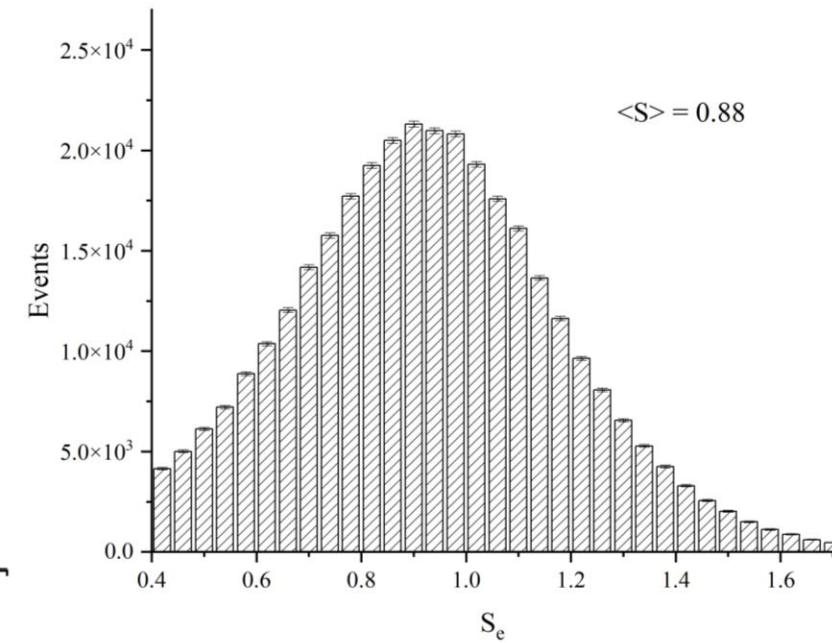
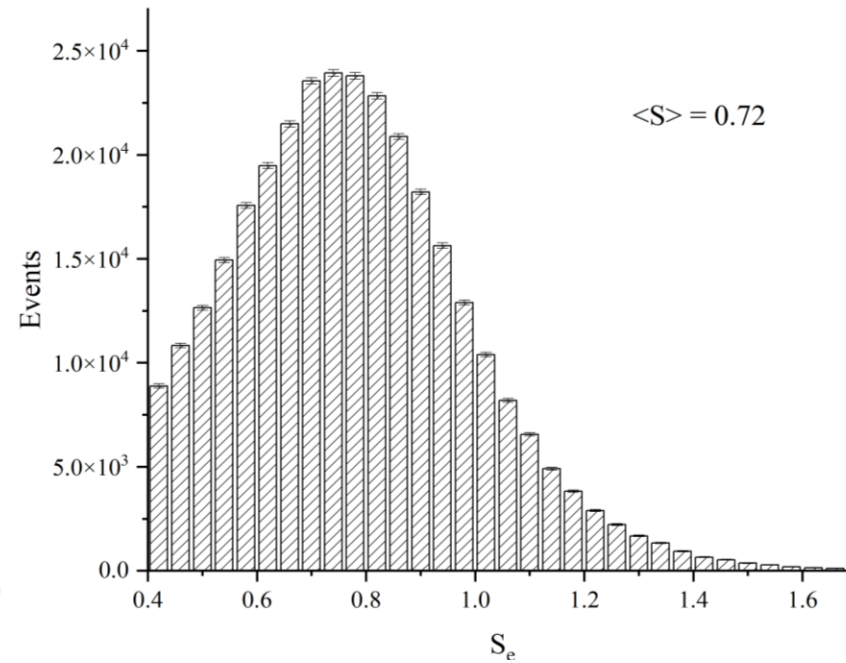
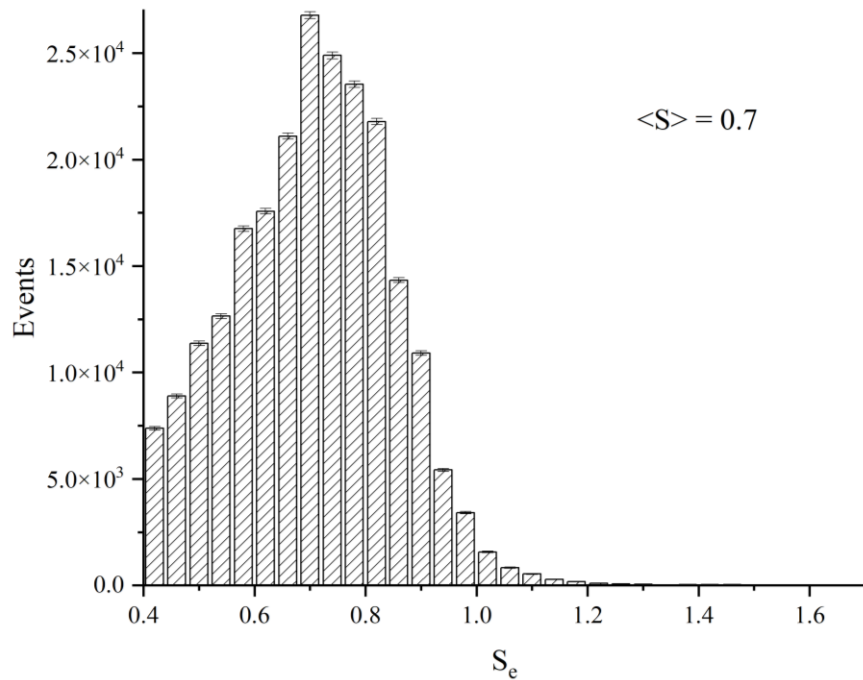


Рис. 7: Распределение событий по возрасту ливня (вариант ФИАН)

Рис. 8: Распределение событий по возрасту ливня, восстановленные классической НКГ.

Рис. 9: Распределение событий по возрасту ливня, восстановленные модифицированной НКГ.

Восстановление координат осей ШАЛ

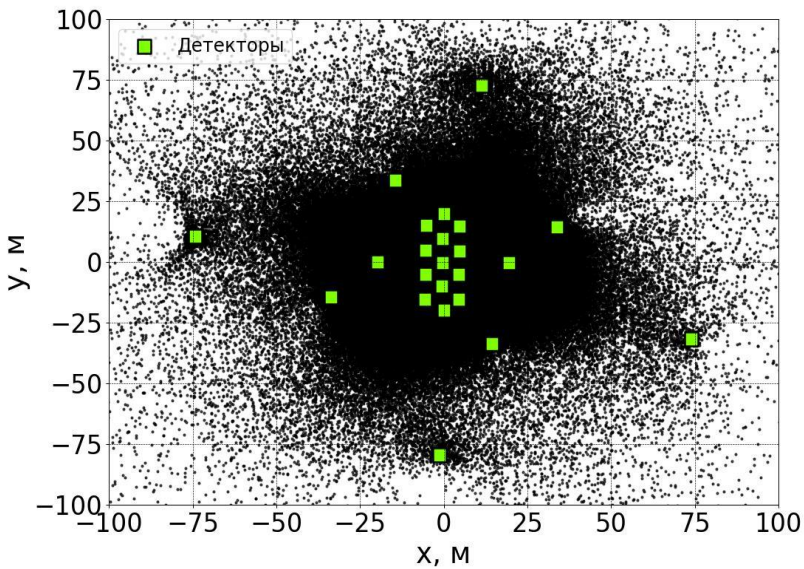


Рис. 10: Координаты осей ШАЛ, восстановленные классической НКГ.

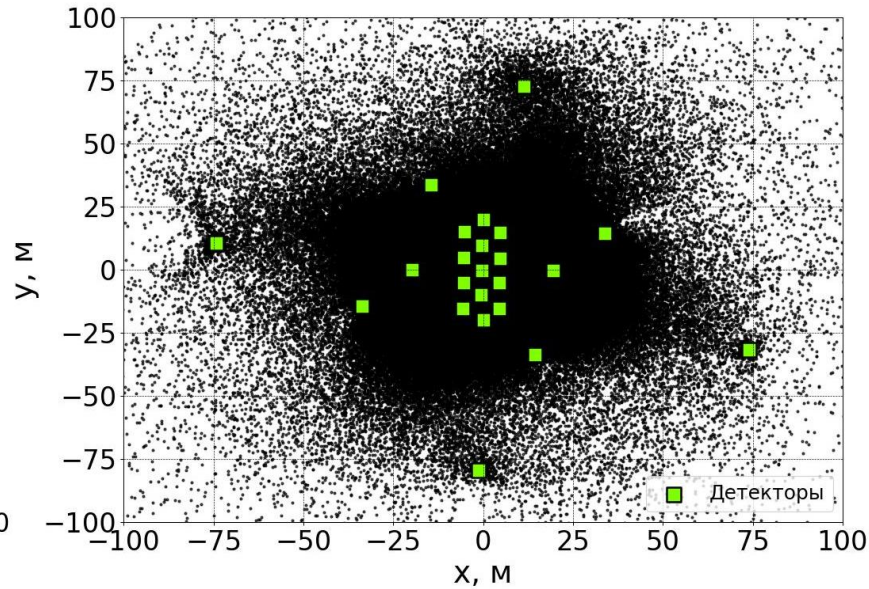


Рис. 11: Координаты осей ШАЛ, восстановленные модифицированной НКГ.

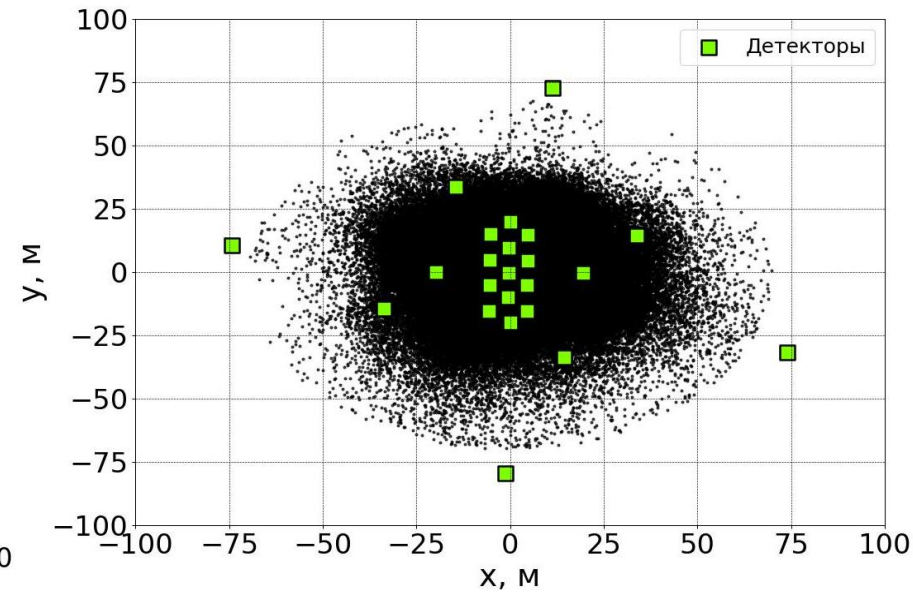


Рис. 12: Координаты осей ШАЛ, восстановленные ФИАН.