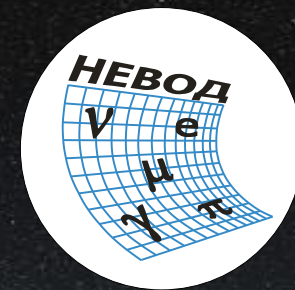




38-Я ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО КОСМИЧЕСКИМ ЛУЧАМ

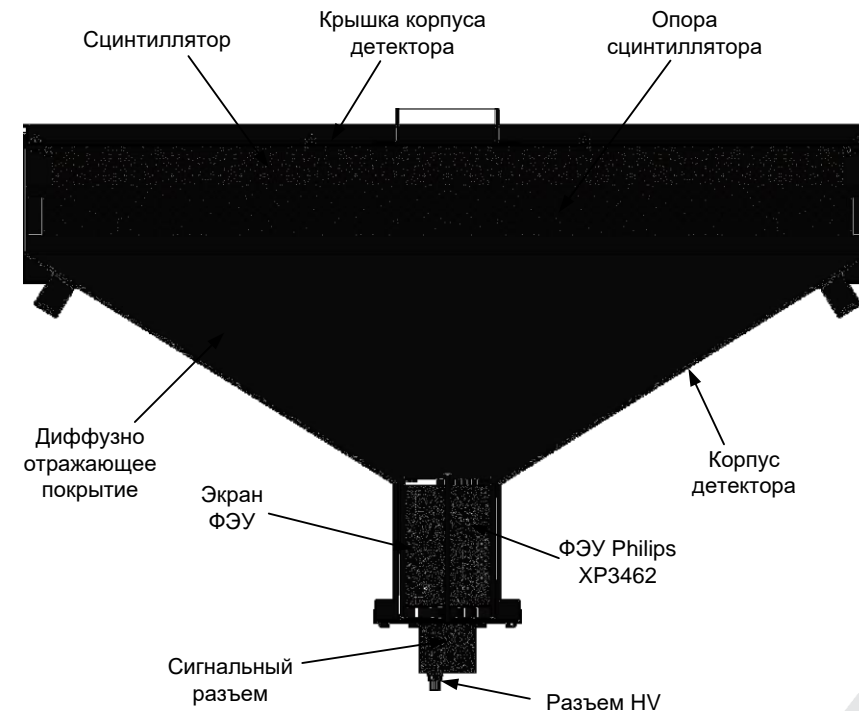
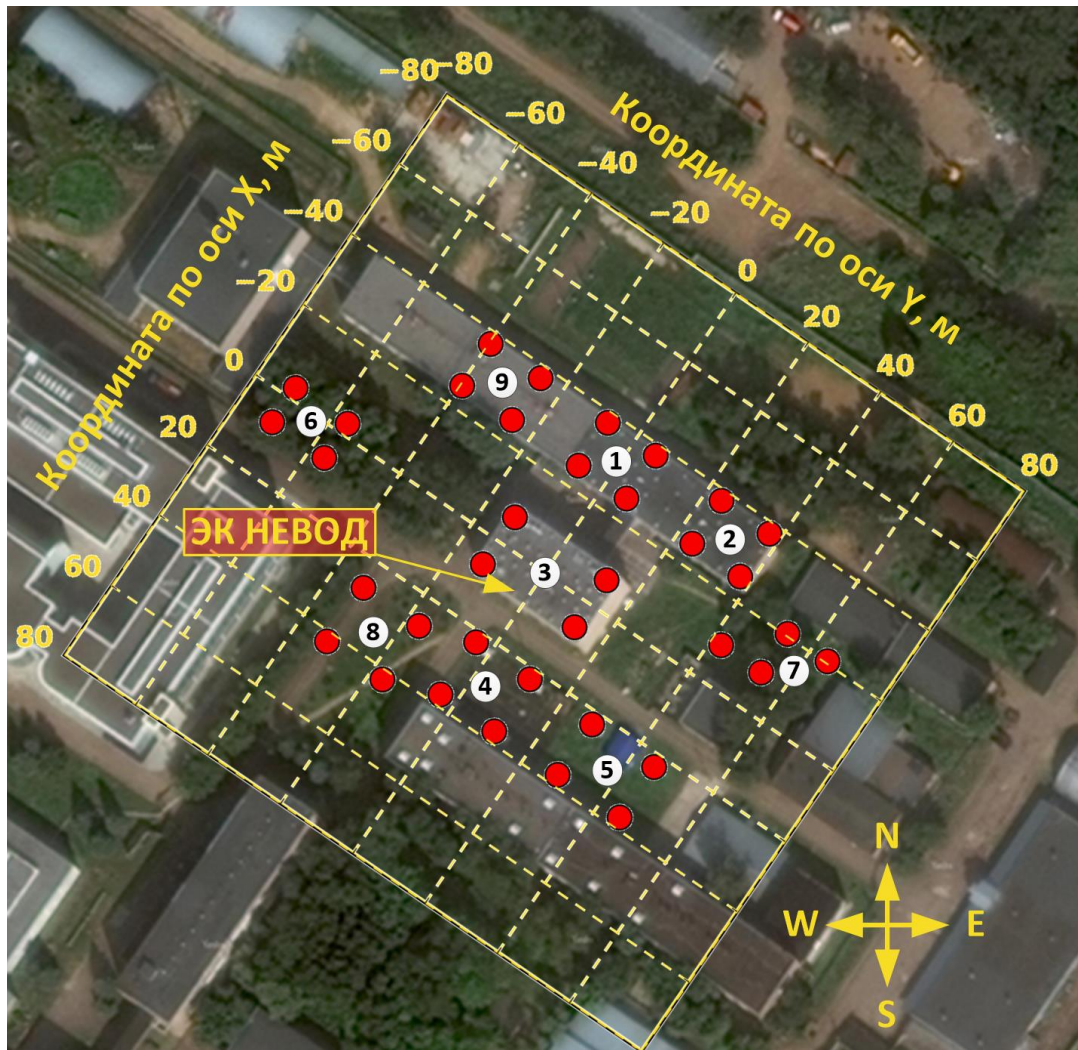


Характеристики электронно-фотонной и адронной компонент ШАЛ, регистрируемых установками ЭК НЕВОД

Южакова Е.А., Амельчаков М.Б., Богданов А.Г., Chiavassa A., Громушкин Д.М., Жежера С.Ю.,
Коновалова А.Ю., Нугаева К.Р., Хомчук Е.П., Хохлов С.С., Шульженко И.А.

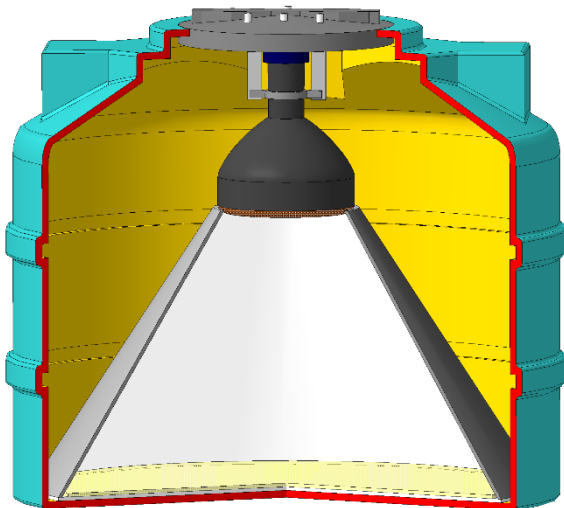
4 июля 2024 г.

Установка НЕВОД-ШАЛ



- 9 кластеров, 36 детектирующих станций (ДС);
- 144 сцинтилляционных детектора;
- Размер сцинтилляционного детектора: $80 \times 80 \times 4 \text{ см}^3$;
- Площадь 10^4 м^2 .

Установка УРАН



- 72 эн-детектора;
- 6 кластеров;
- Сцинтиллятор: $\text{ZnS}(\text{Ag}) + \text{B}_2\text{O}_3$;
- Площадь $\sim 10^3 \text{ м}^2$.

Данные для анализа

Моделирование:

CORSIKA с использованием модели адронных взаимодействий QGSJET-II-04 + FLUKA 2020.0.3;

ρ , $E=10^{14} - 10^{17}$ эВ (более 2.4 млн событий).

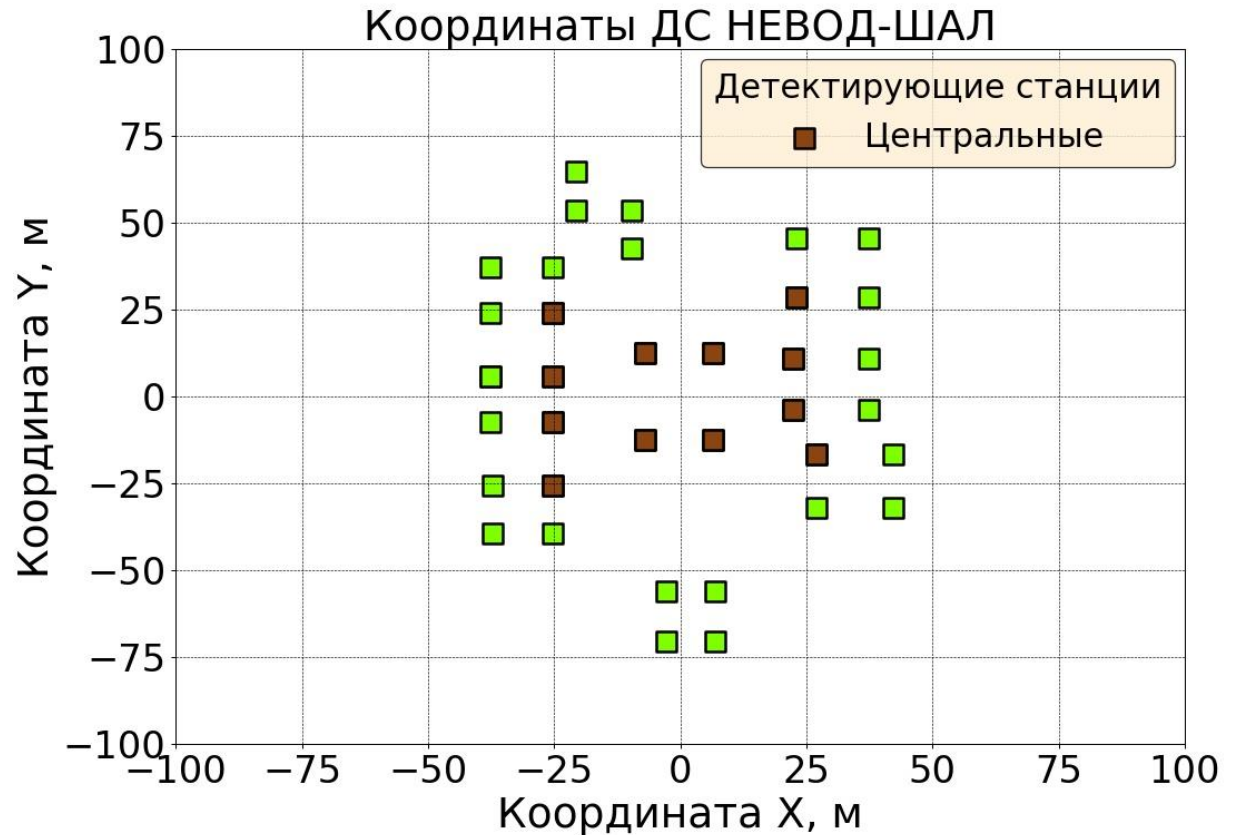
Эксперимент:

- НЕВОД-ШАЛ с 2018 - 2023 год, живое время ~ 48 месяцев;
- УРАН с января по июнь 2022 года, живое время ~ 6 месяцев.

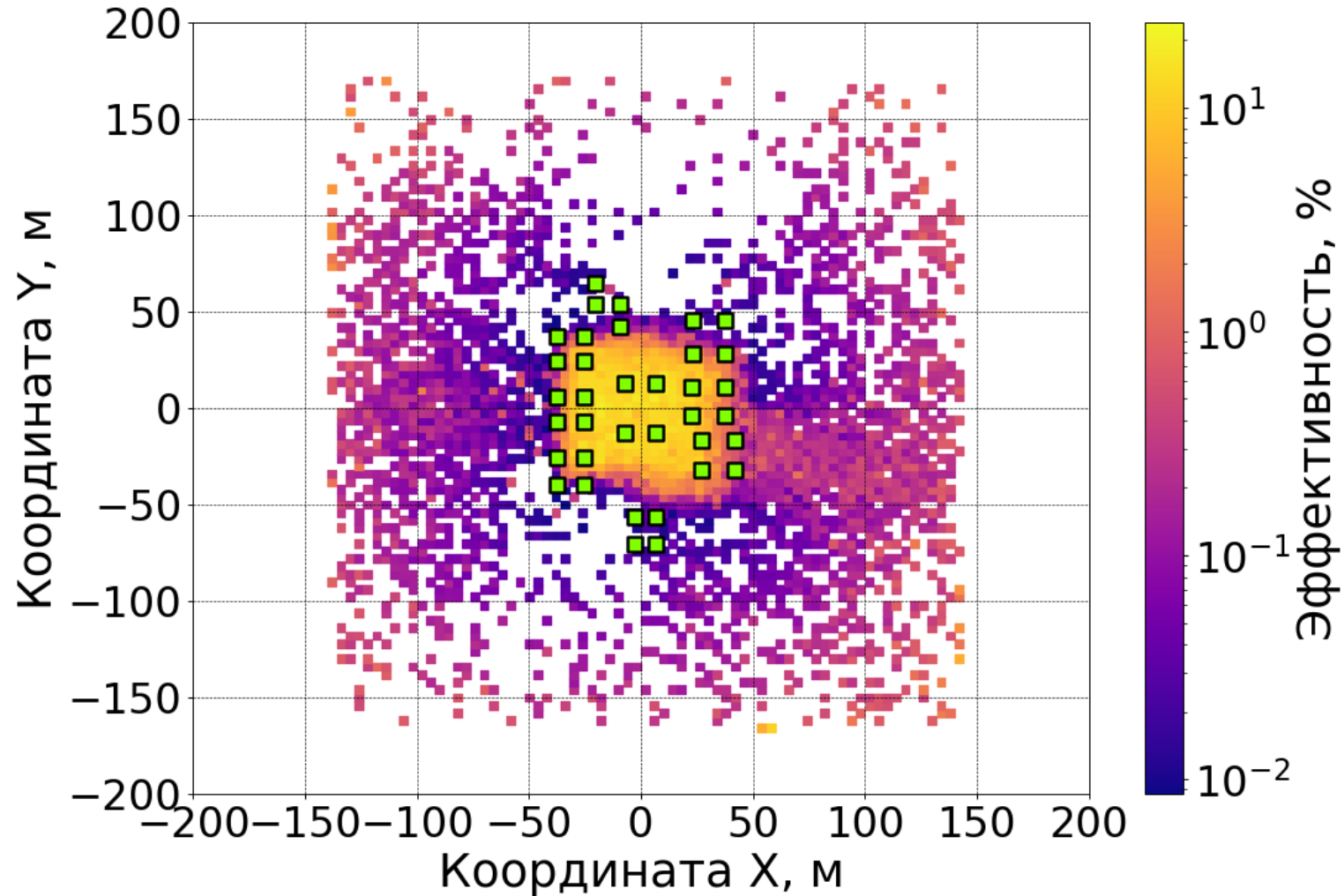
Условия отбора НЕВОД-ШАЛ

Условия отбора событий:

- Максимальное энерговыделение в центральных детектирующих станциях;
- Сработало 5 и более кластеров одновременно;
- Суммарное энерговыделение более 1 ГэВ.



Эффективная площадь НЕВОД-ШАЛ



$S_{eff} = 1664 \text{ м}^2$ – 50% эффективность регистрации

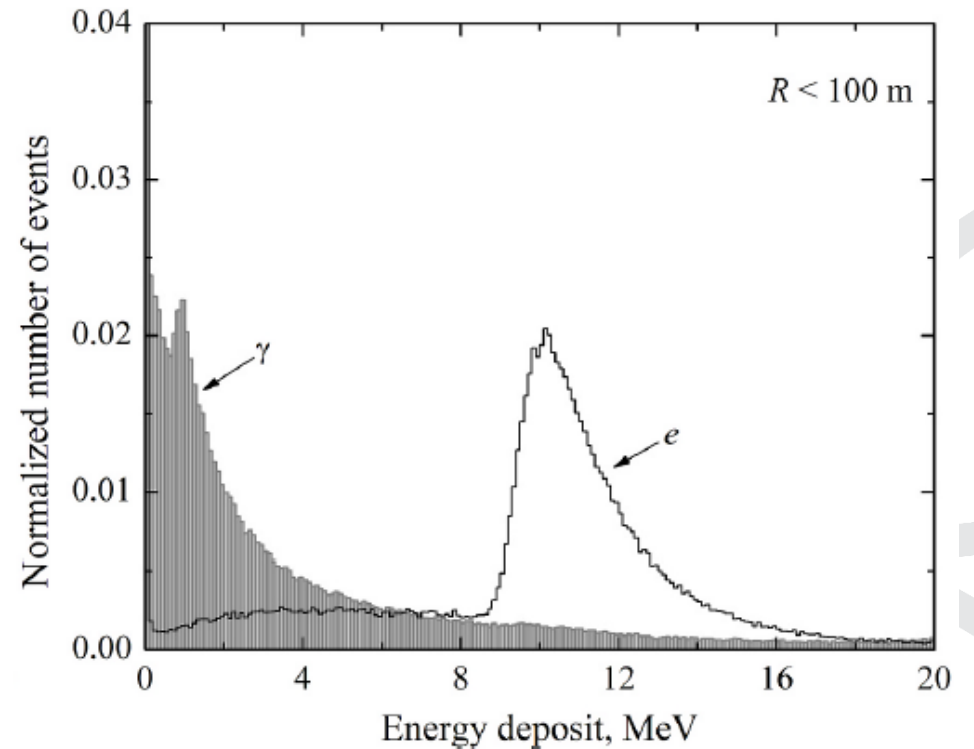
Калибровка НЕВОД-ШАЛ

Из моделирования (CORSIKA + Geant4):

- Мюонный пик в эксперименте (13 пКл) соответствует $E_{\text{пик.}} = 11.5 \text{ МэВ}$.

- Энерговыделение при прохождении одной заряженной частицы:

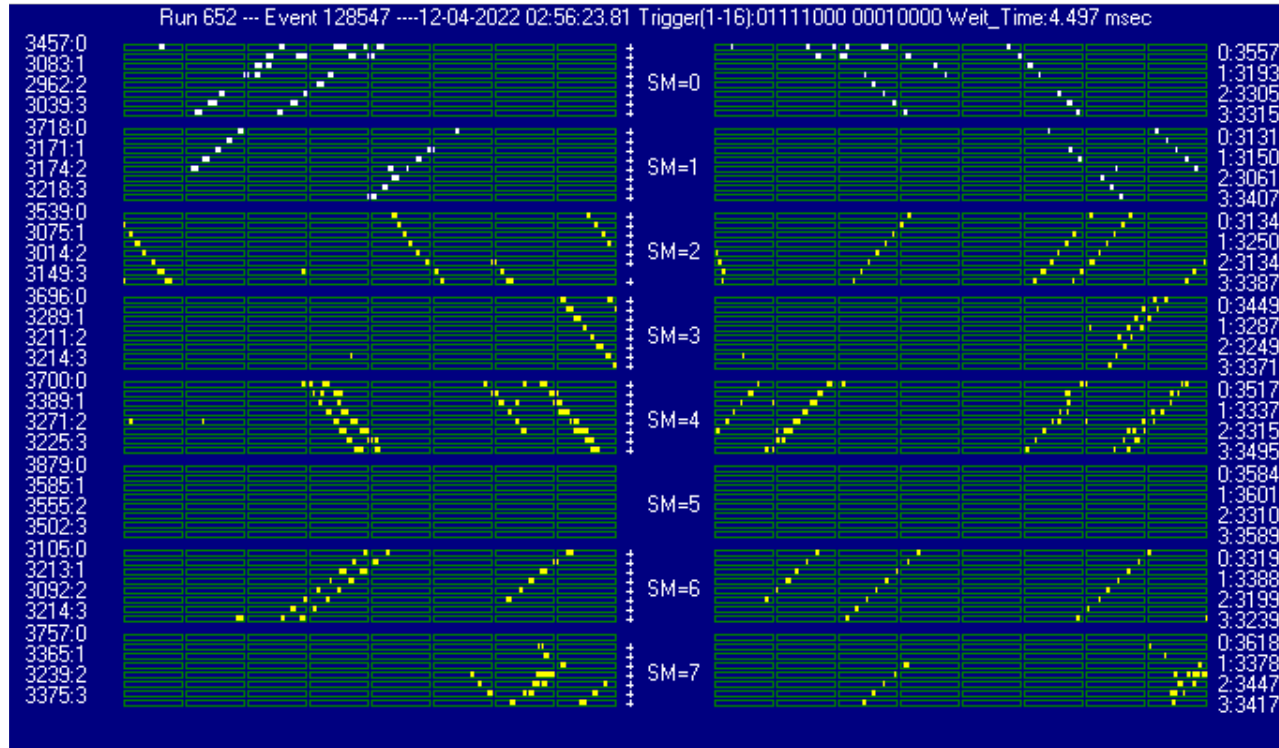
$$\langle E_e \rangle = E_0 = 8.26 \text{ МэВ.}$$



Спектр энерговыделения e и γ центральной части ШАЛ.

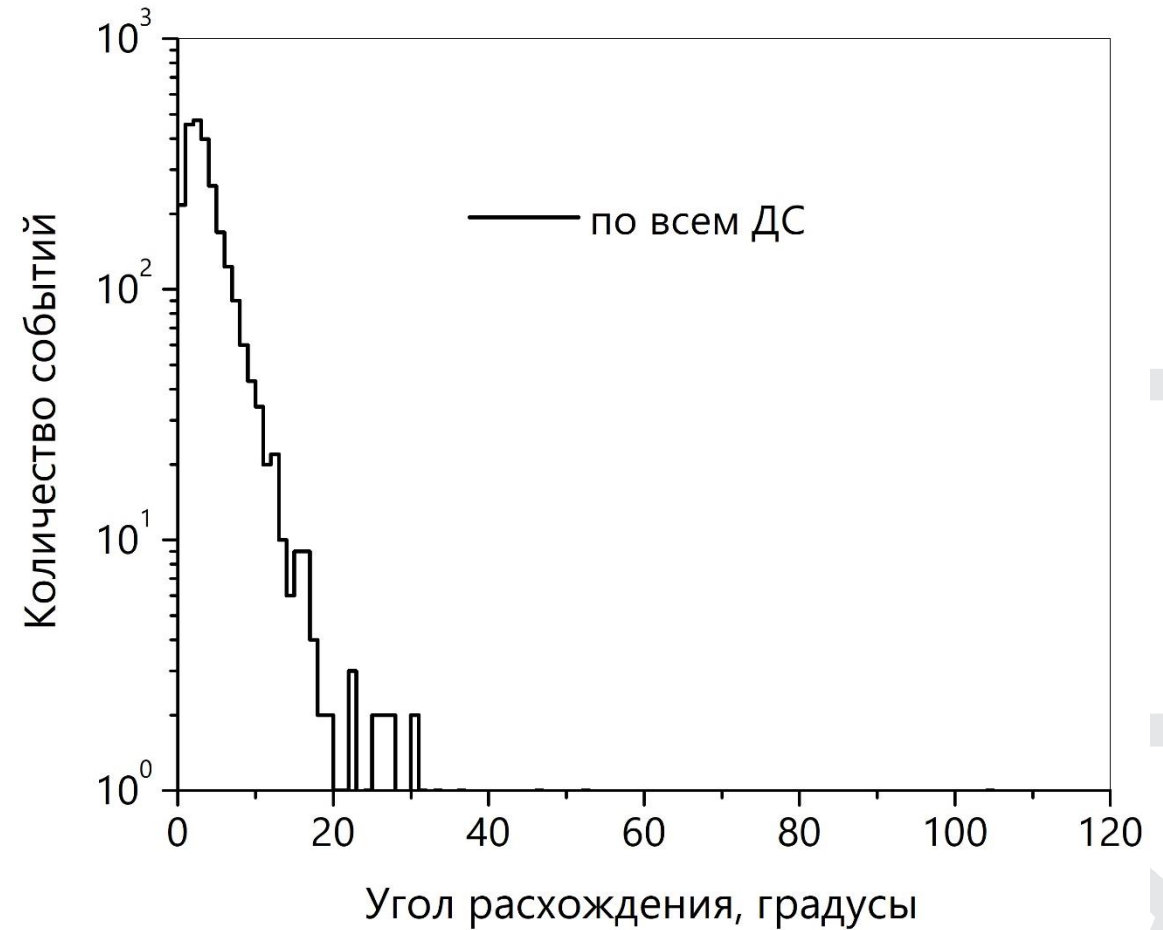
Точность восстановления направления ШАЛ

Пример регистрации группы мюонов в
ДЕКОР



Угловое разрешение ДЕКОР $\sim 1^\circ$

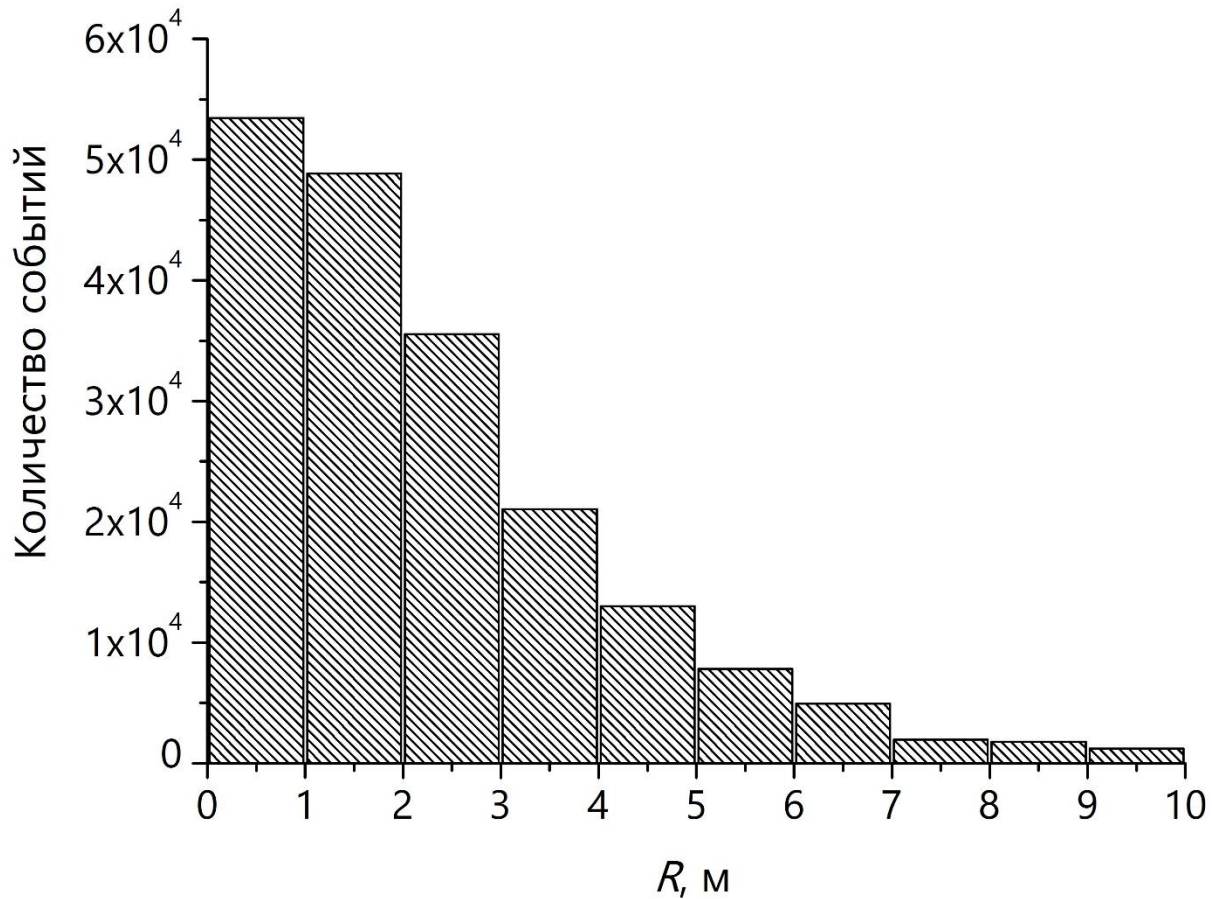
ПКЛ-2
ID 55



Точность направления ШАЛ $\sim 3.9^\circ$

Точность восстановления параметров ШАЛ

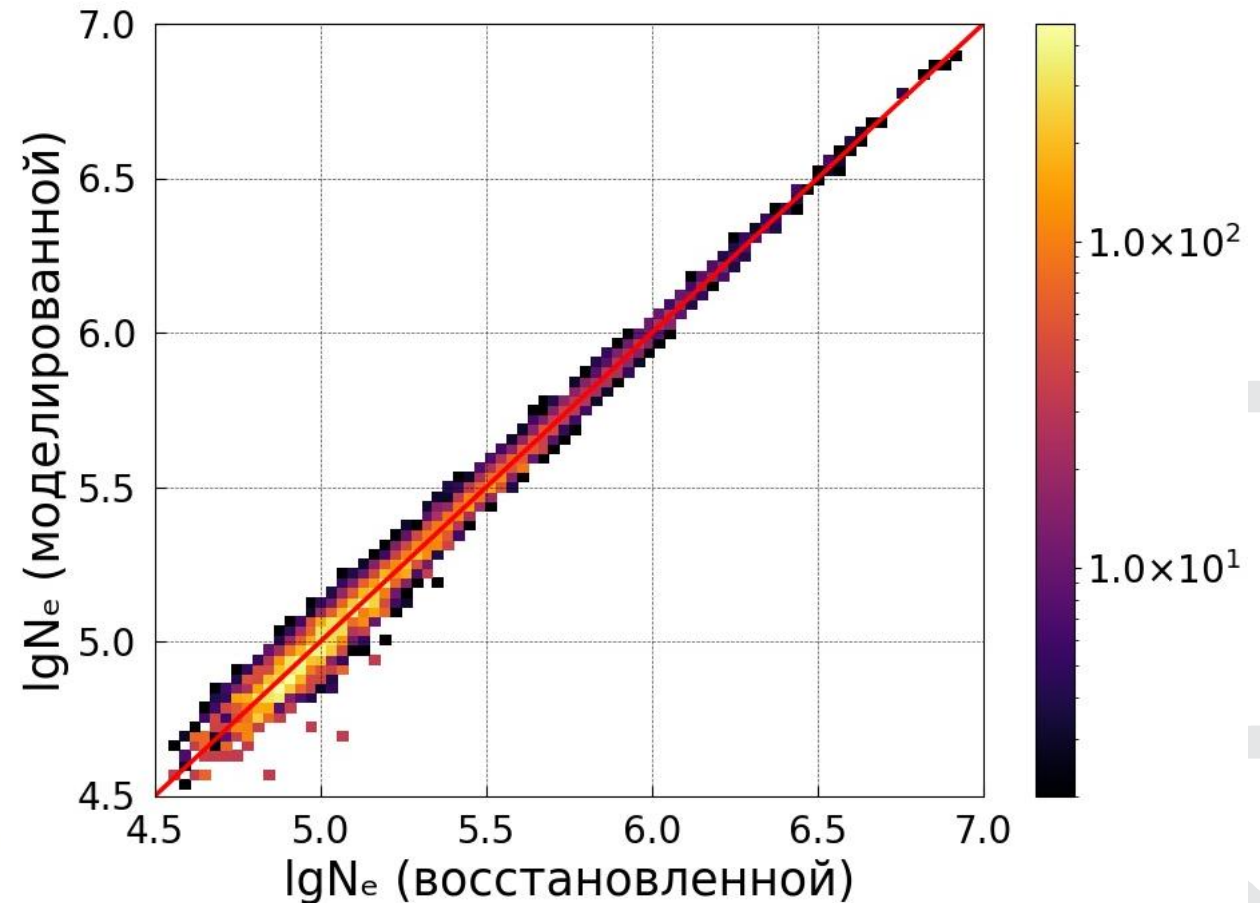
Распределение событий по расстоянию R



Точность восстановления оси:

$\Delta R \sim 3.4$ м

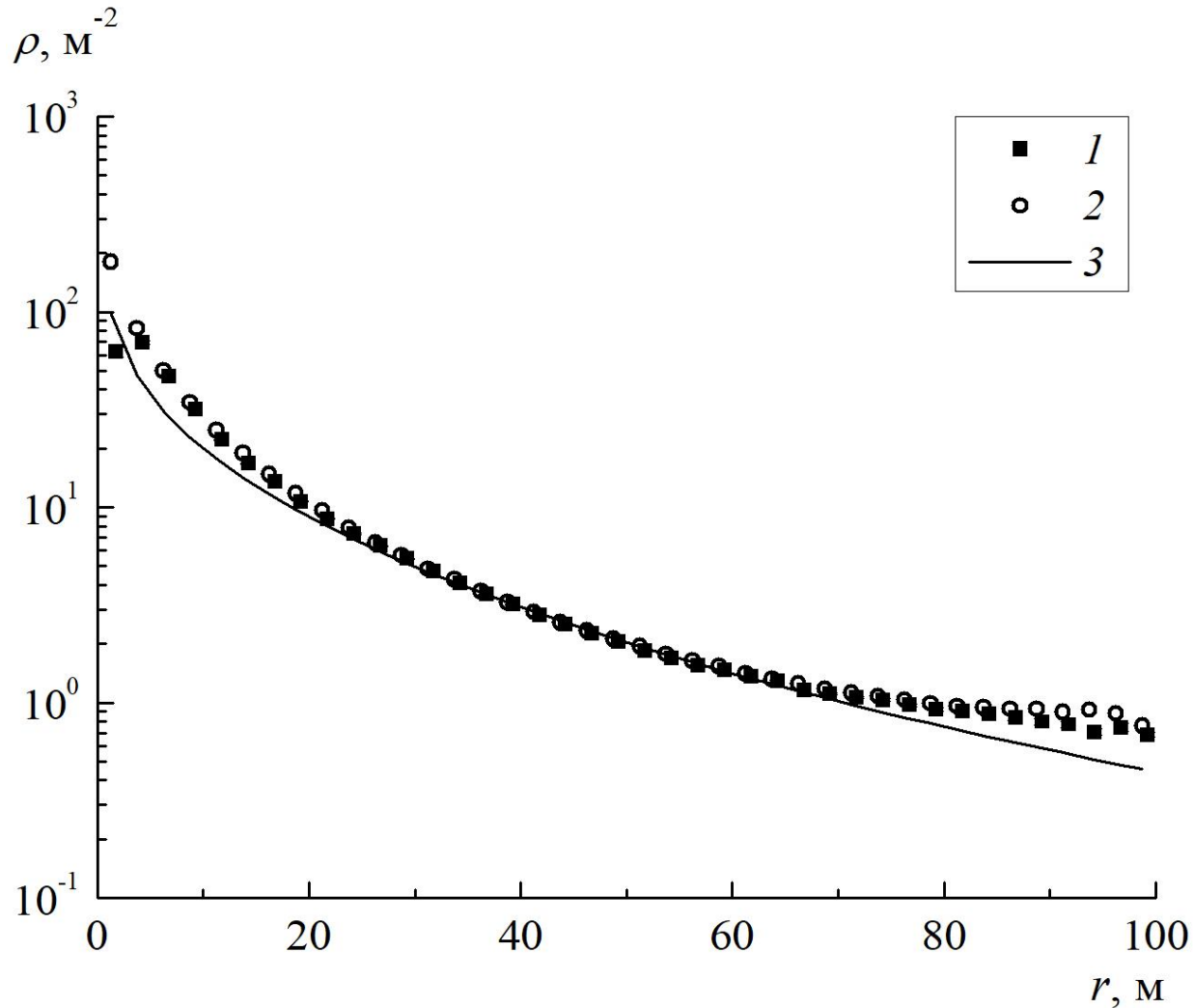
Корреляция восстановленной и моделированной мощности ливня



Точность восстановления мощности:

Для $\lg N_{e(\text{мод.})} = 10^{5 \pm 0.1}$: 15 %

ФПР по данным НЕВОД-ШАЛ



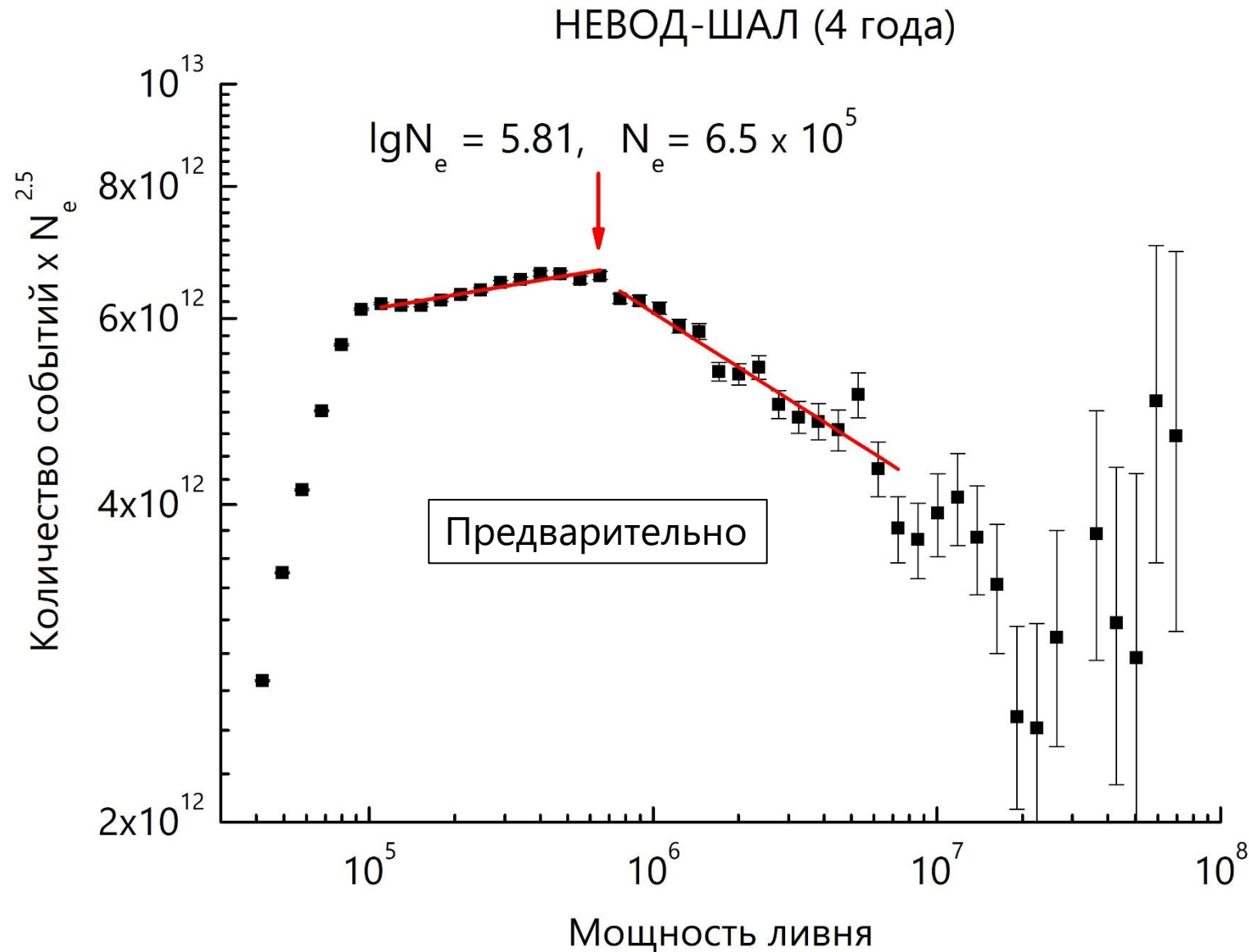
Средние ФПР:

1 – данные эксперимента (2 года),

2 – результаты моделирования,

3 – теоретическая плотность частиц по функции НКГ ($\lg N_e = 5$, $S = 1.36$).

Спектр мощности по данным НЕВОД-ШАЛ



1. $N_e = (1.1 - 6.5) \times 10^5$:

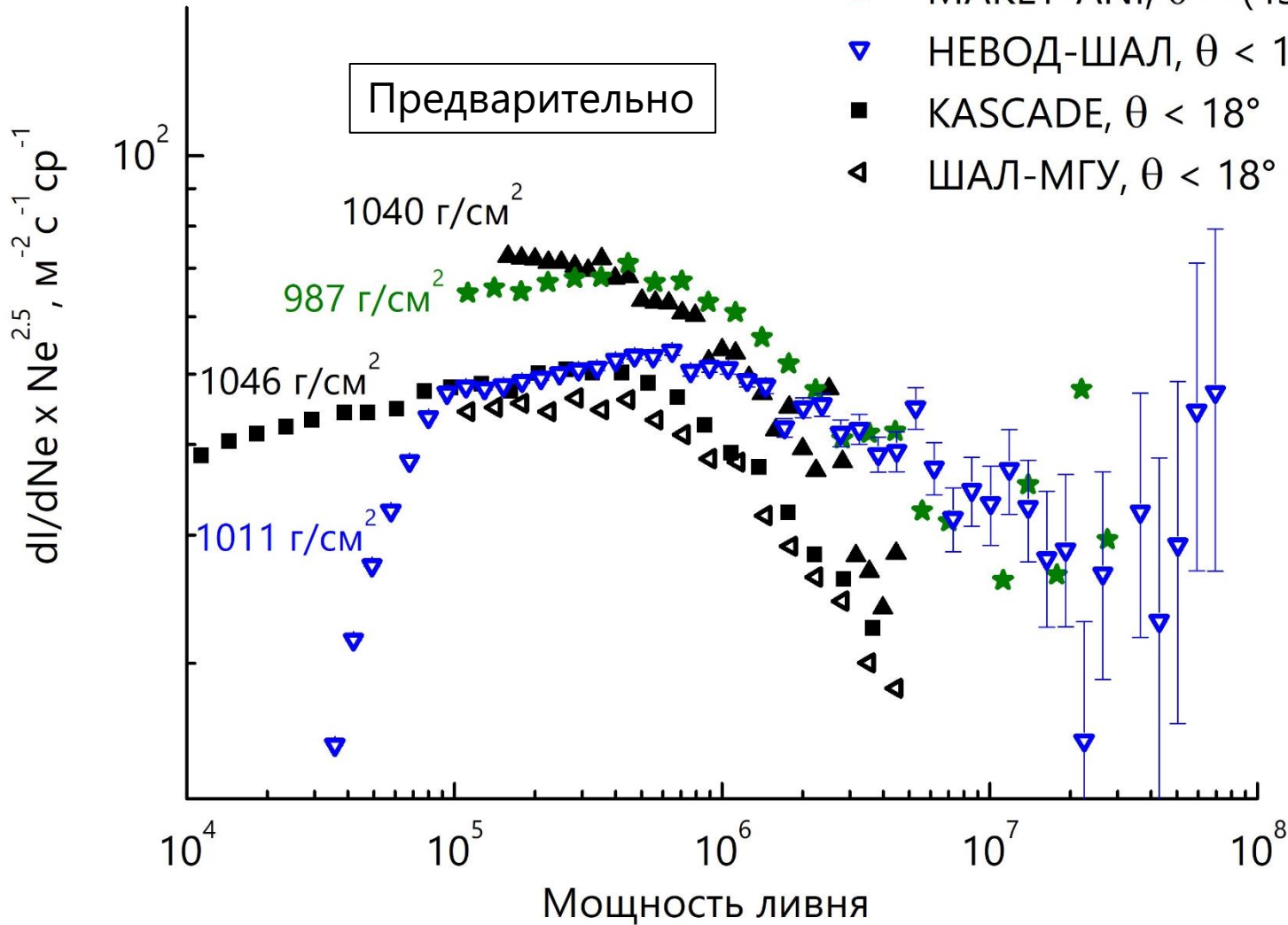
$k_1 = 2.45 \pm 0.01$

2. $N_e = 7.6 \times 10^5 - 7.3 \times 10^6$:

$k_2 = 2.67 \pm 0.01$.

$\Delta k = 0.22$

Сравнение с другими установками



- ▲ EAS-TOP, $\theta = (37-40)^\circ$
- ★ MAKET-ANI, $\theta = (43-46.8)^\circ$
- ▼ НЕВОД-ШАЛ, $\theta < 18^\circ$
- KASCADE, $\theta < 18^\circ$
- ◄ ШАЛ-МГУ, $\theta < 18^\circ$

EAS-TOP (M. Aglietta, 1999):

$$\lg N_{ek} = 5.63 \pm 0.07$$

$$\Delta k = 0.25 \pm 0.07$$

MAKET-ANI (A.Chilingarian, 2007):

$$\lg N_{ek} = 5.84 \pm 0.07$$

$$\Delta k = 0.48 \pm 0.04$$

НЕВОД-ШАЛ:

$$\lg N_{ek} = 5.81$$

$$\Delta k = 0.23$$

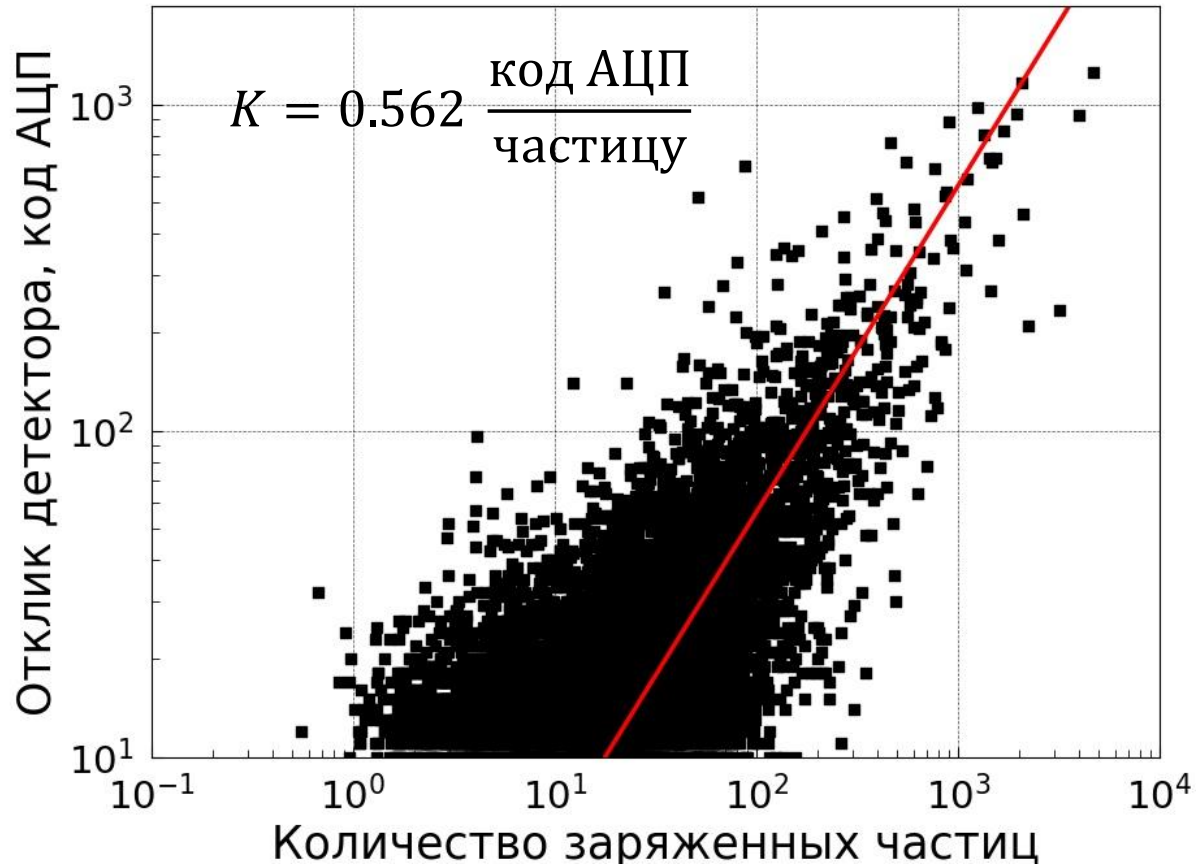
KASCADE (К.-Н. Kampert, 1998):

$$\lg N_{ek} = 5.7 \pm 0.07$$

ШАЛ-МГУ (Е. А. Вишневская, 2004)

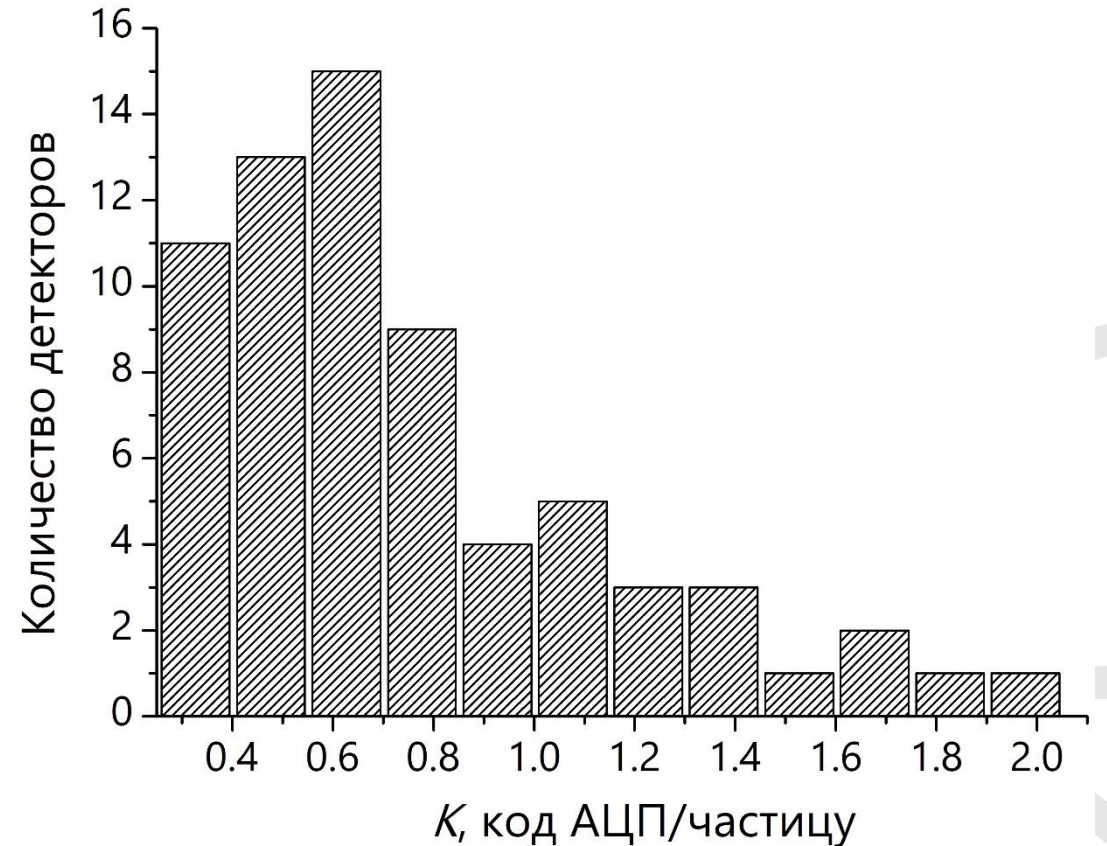
Калибровка УРАН

Калибровочная зависимость



K - калибровочный коэффициент для 4 детектора 1 кластера

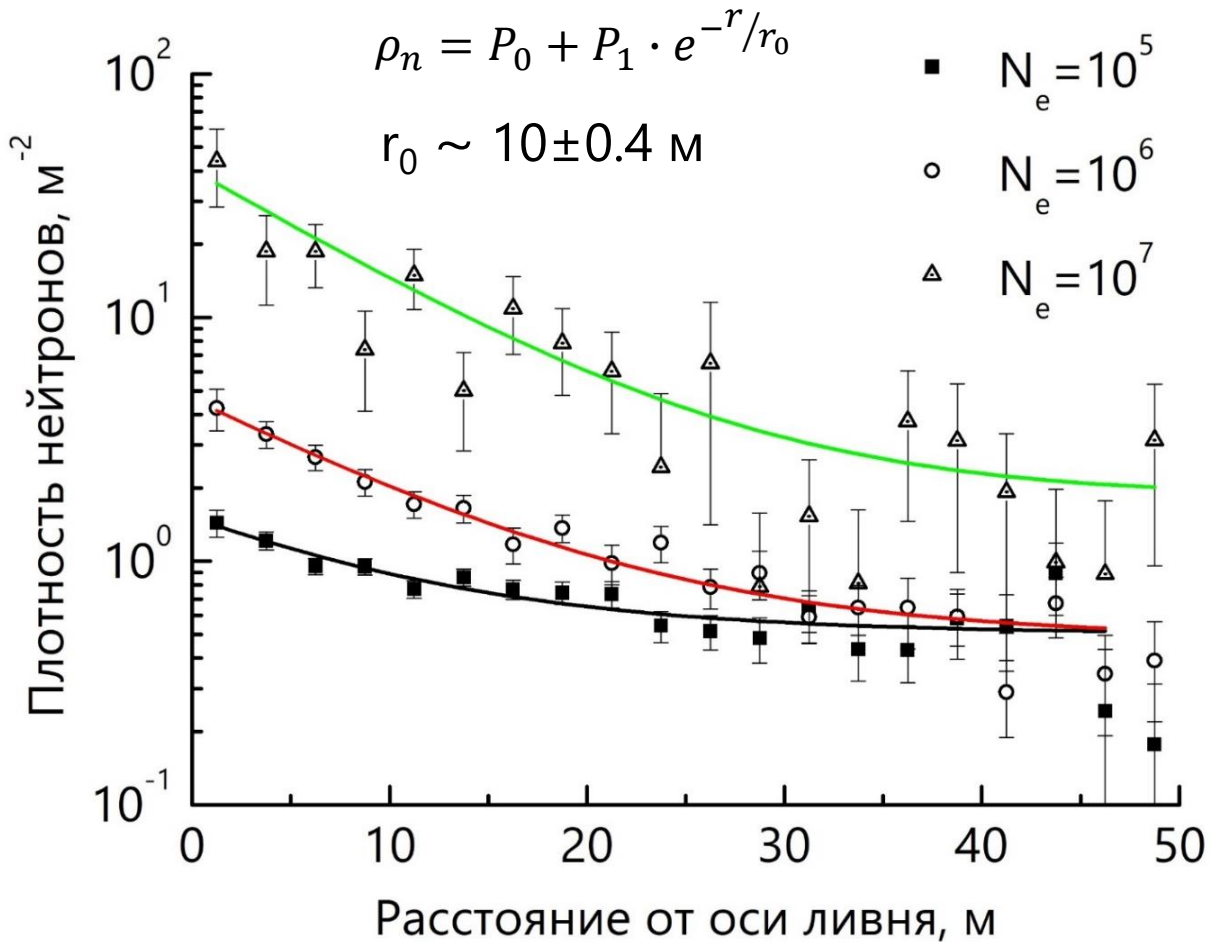
Распределение калибровочных коэффициентов



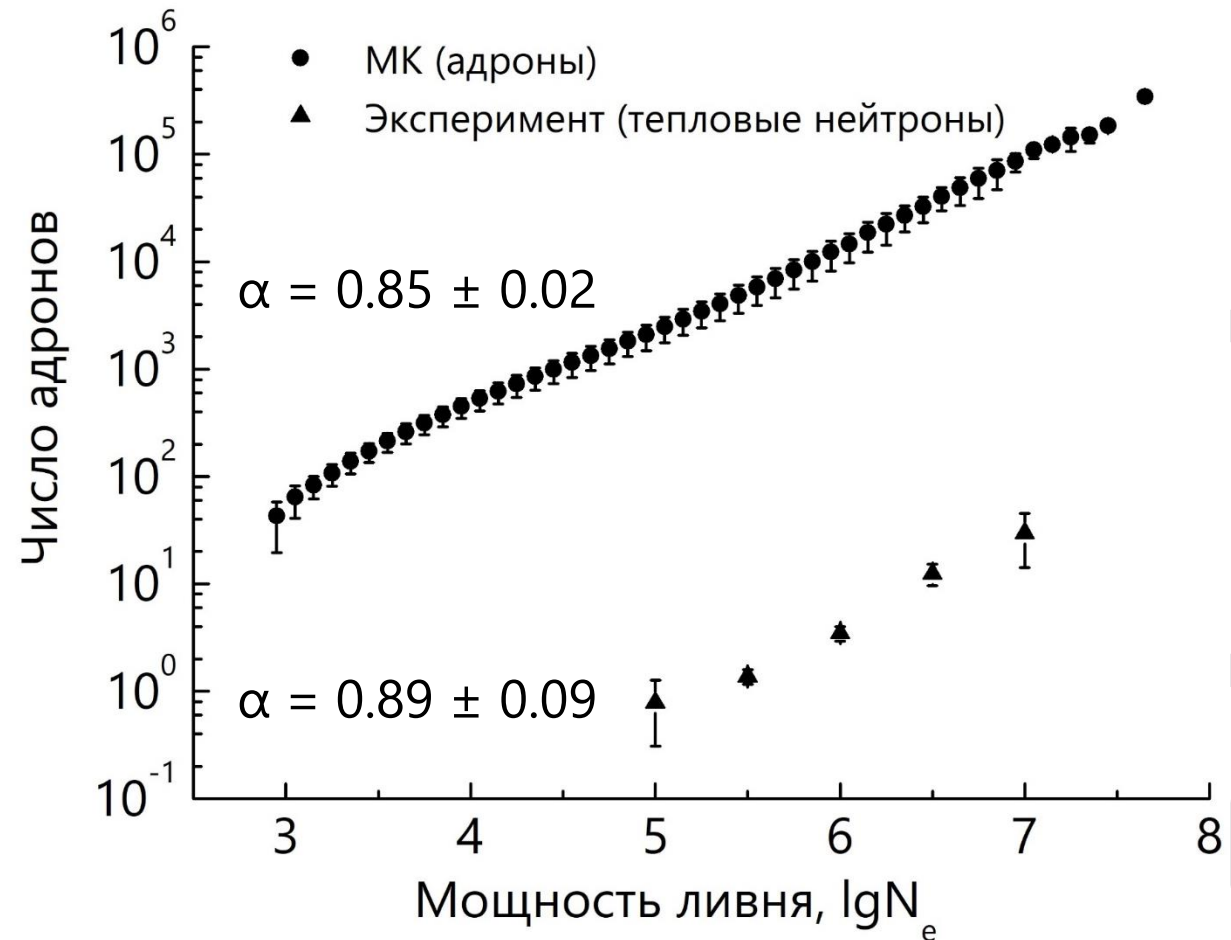
ПКЛ-2
ID 39

Тепловые нейтроны в ШАЛ

ФПР тепловых нейтронов



Зависимость числа адронов и мощности ливня



Заключение

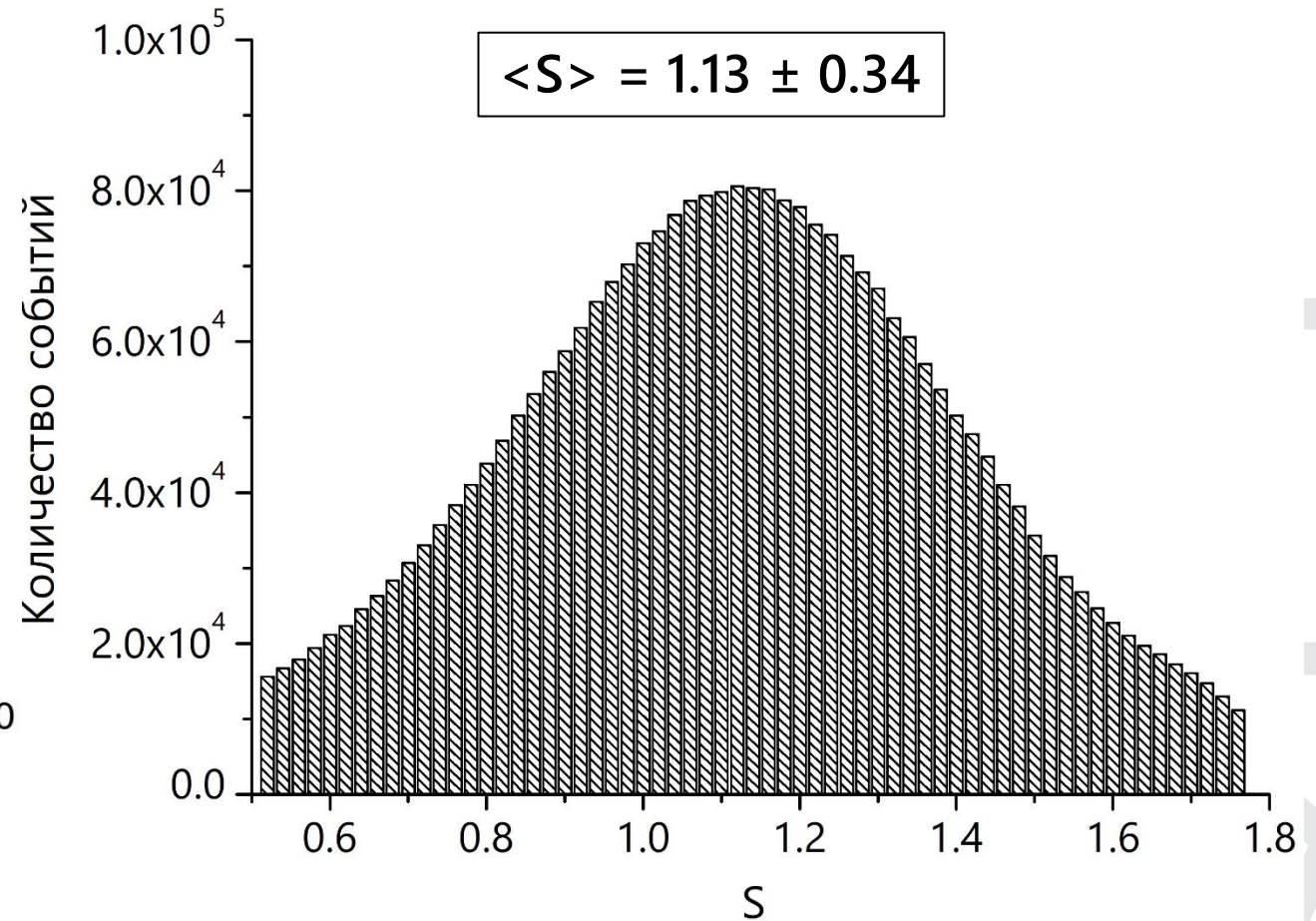
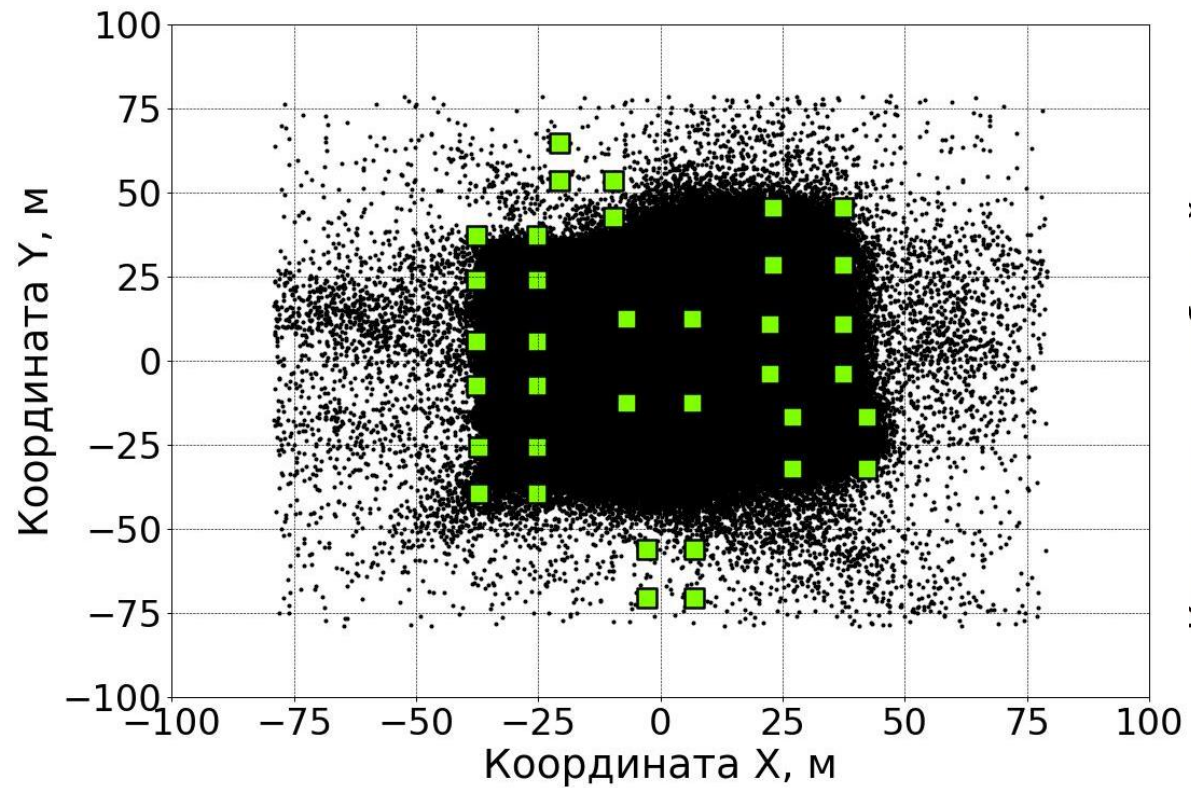
1. Установка НЕВОД-ШАЛ позволяет восстанавливать параметры ливней с точностью по направлению 4° , оси 3.4м и мощности 15%.
2. В данных НЕВОД-ШАЛ наблюдается излом в спектре мощности предварительно в районе $\lg N_e \sim 5.81$ на величину 0.2.
3. Установка НЕВОД-ШАЛ позволяет проводить перекрестную калибровку других установок для регистрации различных компонент ШАЛ.
4. По данным УРАН измерены ФПР нейтронов: $r_0 = 10$ м.

Спасибо за внимание!

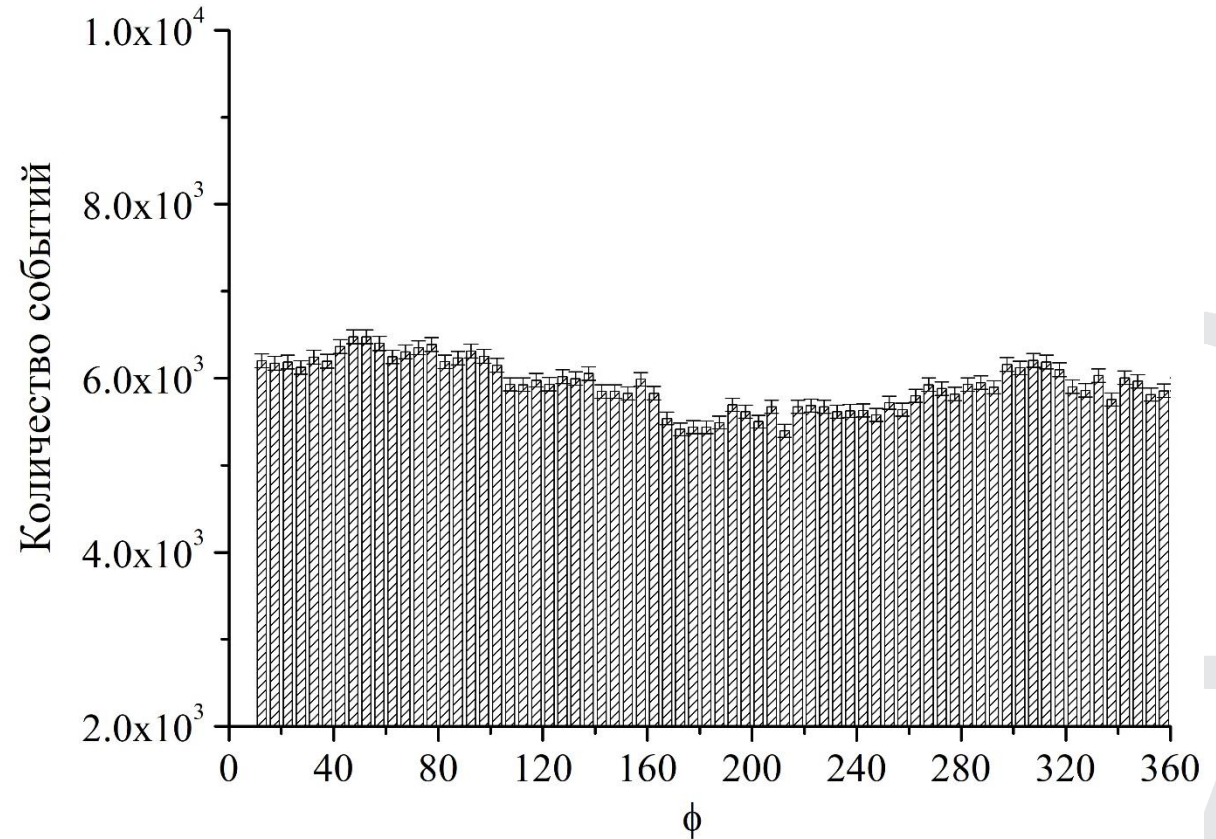
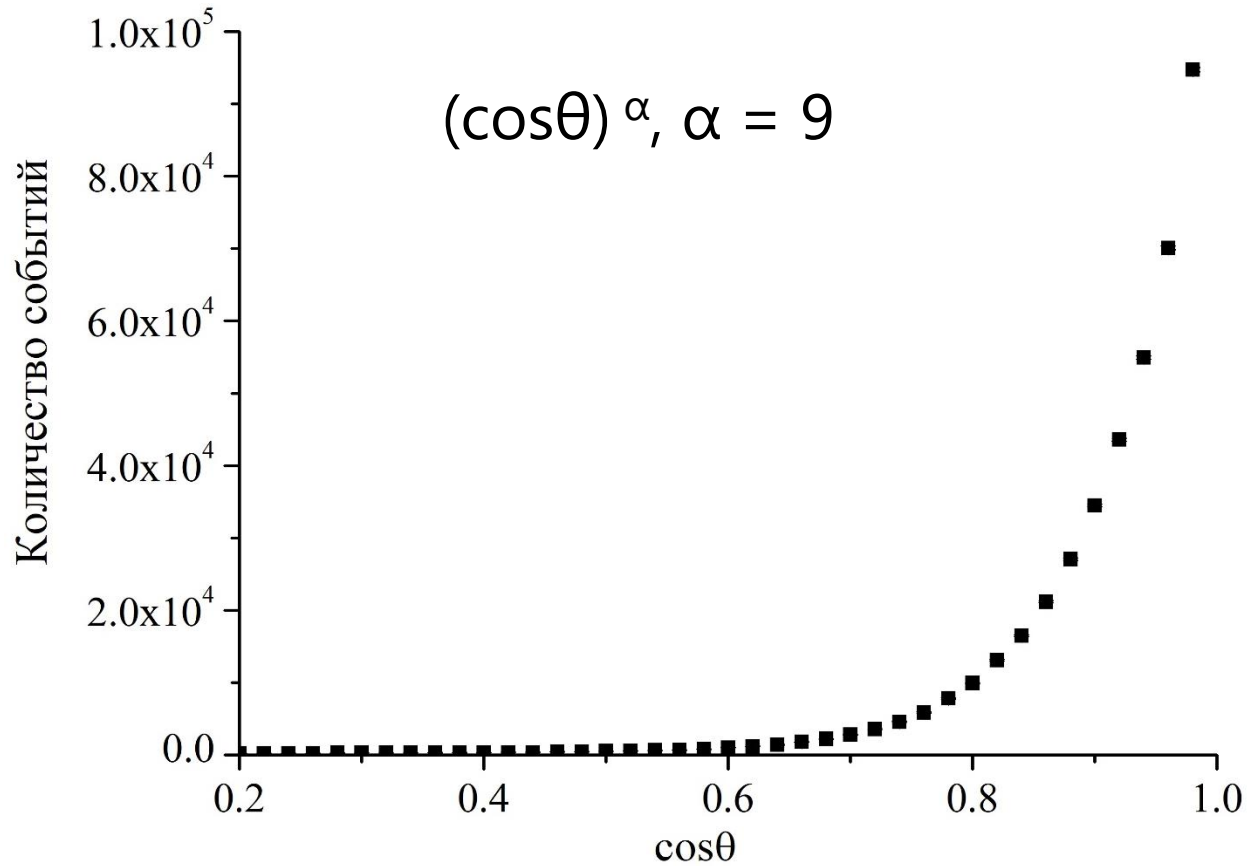


Восстановленные параметры по данным НЕВОД-ШАЛ

Распределение восстановленного возраста



Восстановленные параметры по данным НЕВОД-ШАЛ



Литература

1. M. Aglietta et al. The EAS size spectrum and the cosmic ray energy spectrum in the region 10^{15} - 10^{16} eV. [Astroparticle Physics 10, 1-9, \(1999\)](#).
2. K.-H. Kampert et al. First results from the KASCADE air shower experiment. [Second Meeting on New Worlds in Astroparticle Physics \(1998\)](#).
3. Е. А. Вишневская и др. Восстановление энергетического спектра и массового состава первичных космических лучей из спектров широких атмосферных ливней по числу электронов и мюонов. [Вестник Московского университета, сер.3. Физ.Астр. №1 \(2004\)](#).