



TAIGA

Установка TUNKA-GRANDE: предварительные результаты за первые 5 лет работы

37 Всероссийская конференция по космическим лучам

Монхоев Р.Д. от коллаборации TAIGA
29 июня, 2022

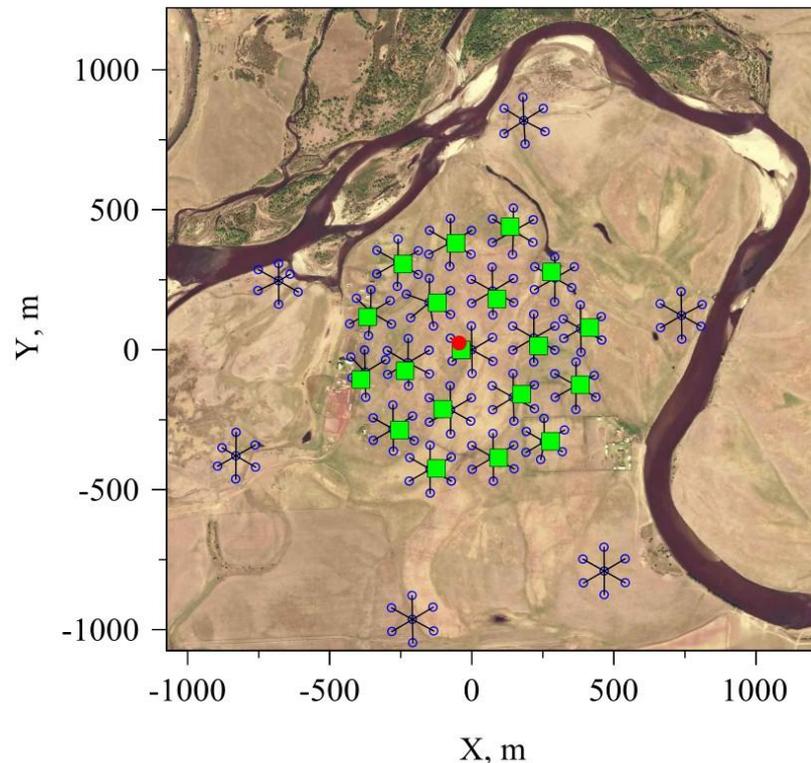
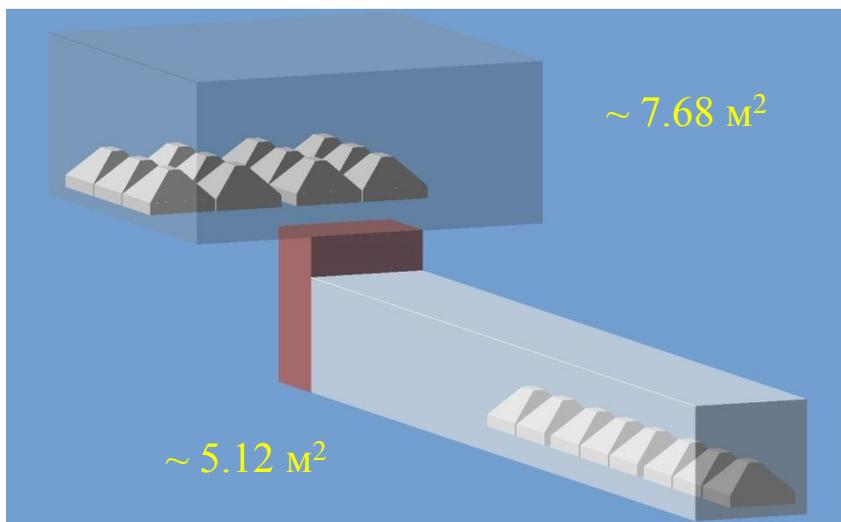
Содержание доклада

- Описание установки Tunka-Grande
- Процедура реконструкции параметров ШАЛ
- Совместные события установок Тунка-133 и Tunka-Grande
 - Точность реконструкции параметров ШАЛ
 - Стратегия вычисления энергии КЛ
- Предварительные результаты за первые 5 лет работы установки
 - Дифференциальный энергетический спектр КЛ
 - Ограничение на поток диффузных гамма-квантов

Установка Tunka-Grande

Описание:

- Располагается в Тункинской долине
- Является частью экспериментального комплекса TAIGA
- Состоит из 19 станций
- Площадь размещения станций $\sim 0,5 \text{ км}^2$
- Сеансы наблюдений проводятся с 2016 г



Цели:

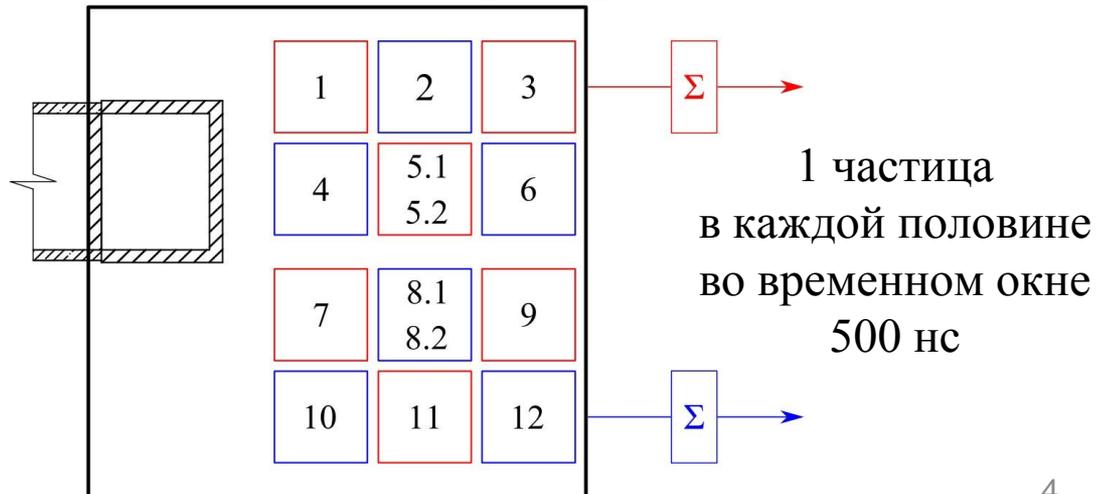
- Изучение энергетического спектра и массового состава КЛ в диапазоне энергий $10^{16} - 10^{18} \text{ эВ}$
- Поиск диффузного космического гамма-излучения с энергией выше 10^{16} эВ

Режимы работы

Режим «внешний триггер»



Режим «локальный триггер»



Темп счета:

- «внешний триггер» ~ 0.1 Гц
- «локальный триггер» ~ 10 Гц

Реконструкция параметров ШАЛ

Условие:

Число сработавших станций > 2

Восстанавливаемые параметры:

- Координаты положения оси ШАЛ в плоскости установки - x и y
- Зенитный и азимутальный углы прихода оси ШАЛ - θ и φ
- Число частиц электрон-фотонной компоненты ШАЛ - N_e
 - Число частиц мюонной компоненты ШАЛ - N_μ
 - Параметр возраста ШАЛ - s
- Плотность частиц на расстоянии 200 м от оси ШАЛ - ρ_{200}

$$\rho_e(r) = N_e \times C_{\text{norm}} \times \left(\frac{r}{R_m}\right)^{s(r)-2} \times \left(1 + \frac{r}{R_m}\right)^{s(r)-4.5}$$

$$\rho_\mu(r) = N_\mu \times C_{\text{norm}} \times \left(\frac{r}{R_0}\right)^{-a} \times \left(1 + \frac{r}{R_0}\right)^{-b}$$

Совместные события установок Тунка-133 и Tunka-Grande

Рассмотрен 1 сезон совместных наблюдений 2016-2017 гг (~ 475 часов) в режиме работы «внешний триггер»

Использованы критерии отбора событий:

- Зенитный угол $\leq 35^\circ$
- Положение оси ШАЛ в круге радиусом 350 м относительно центра установки
 - Энергия КЛ $\geq 10^{16}$ эВ

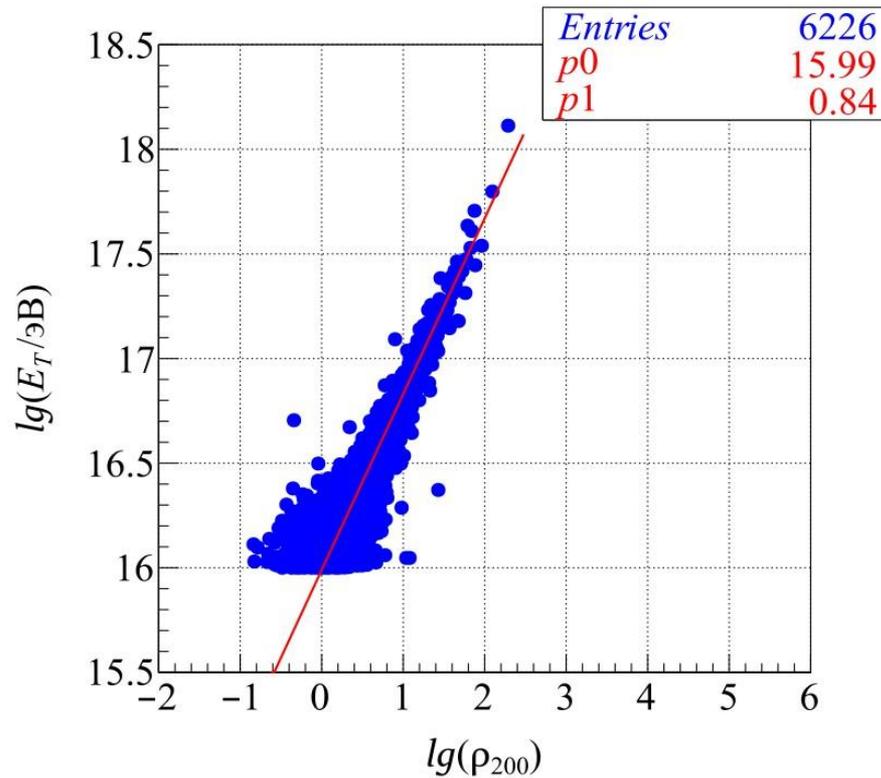
Выделено ~ 6200 совместных событий

Оценена точность реконструкции положения и направления прихода оси ШАЛ

- Точность положения оси ШАЛ < 23 м
- Точность направления прихода оси ШАЛ $< 2.1^\circ$
(Стендовый доклад: Иванова Анна, ПКЛ2, ID 95)

Определена стратегия вычисления энергии КЛ

Стратегия вычисления энергии КЛ



~ 80 событий $> 10^{17}$ эВ

$$\lg(E/\text{эВ}) = \lg(\rho_{200}) \cdot 0.84 + 15.99$$

Энергетическое разрешение $< 36\%$

Параметр $p1$ варьируется в пределах 5%

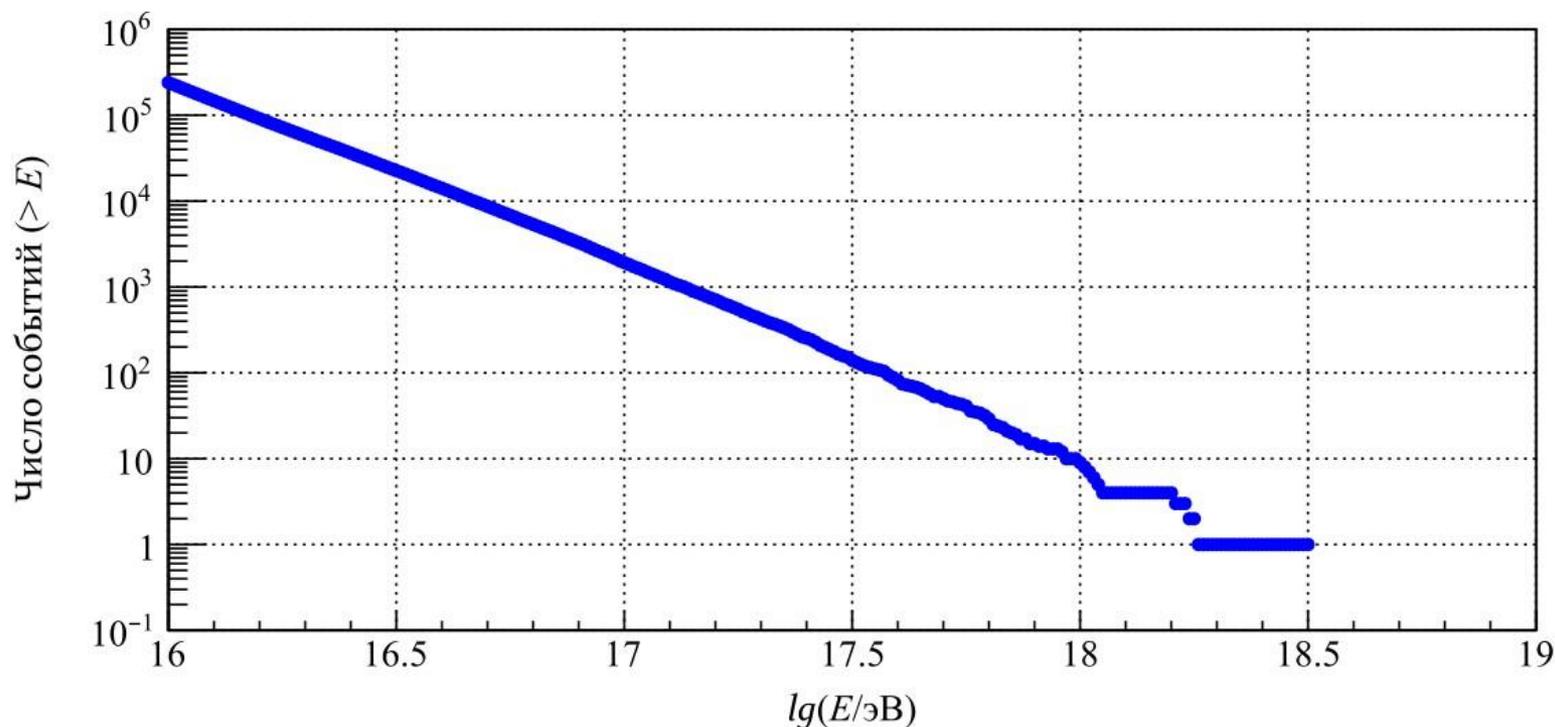
Предварительные результаты за 5 лет работы

Рассмотрены 4 сезона наблюдений 2017-2021 гг (~8900 часов)

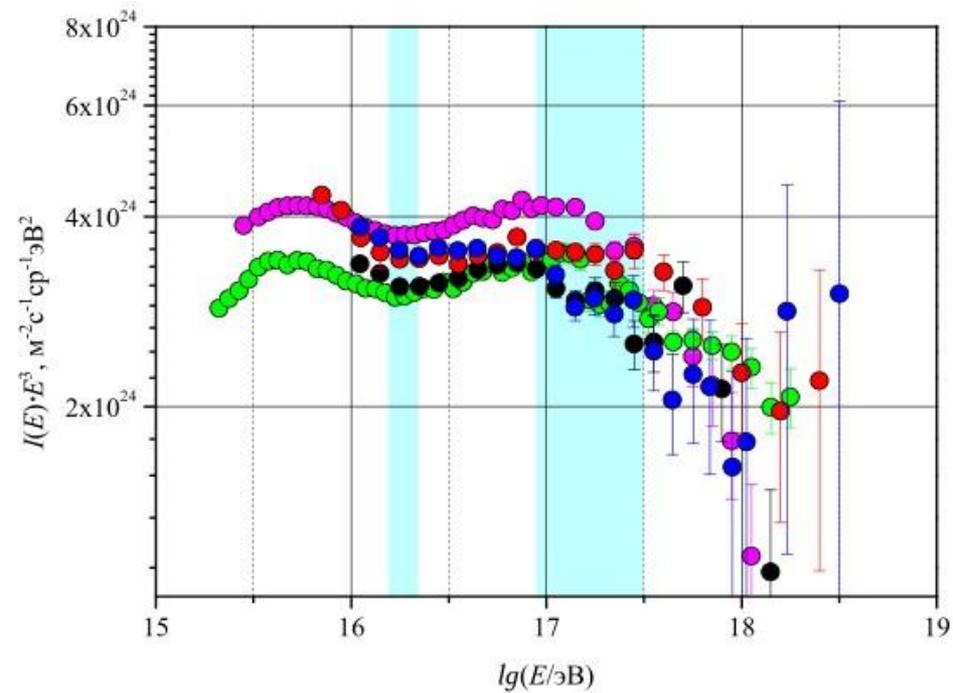
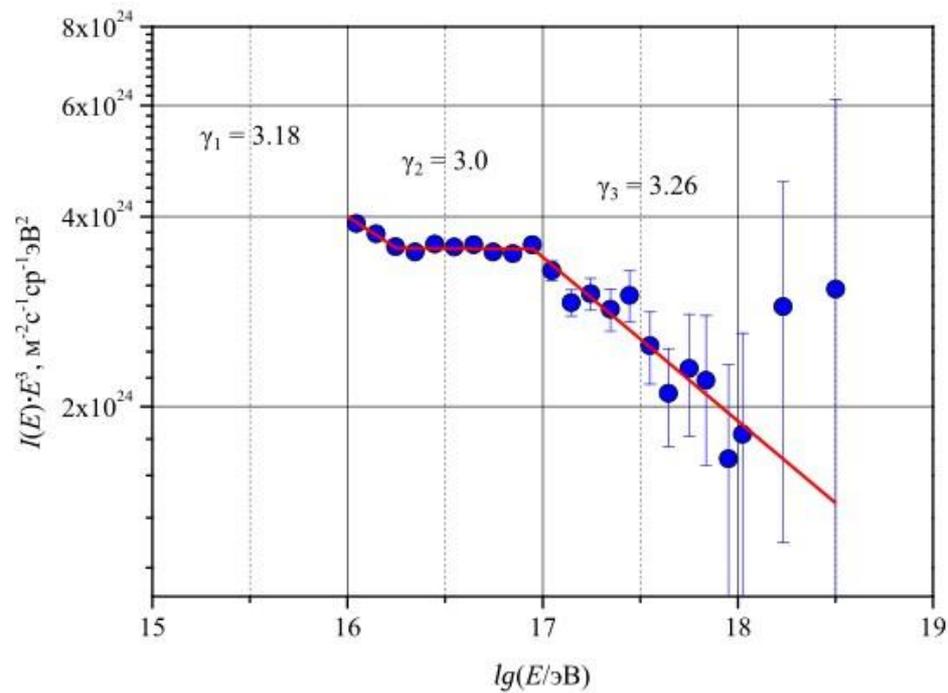
в режиме работы «локальный триггер»

~ 240000 событий $> 10^{16}$ эВ

~ 2000 событий $> 10^{17}$ эВ



Энергетический спектр КЛ



- IceTop
- Tунка-133
- TALE
- KASCADE-Grande
- Tунка-Grande

Поиск диффузных гамма-квантов

Основная идея – поиск безмюонных событий, либо событий обедненных мюонами

Несколько этапов в исследовании:

Монте-Карло моделирование установки

Отбор событий экспериментальных
данных

↓
Сравнение моделированных и экспериментальных данных

↓
Определение верхнего предела на интегральный поток
диффузных гамма-квантов

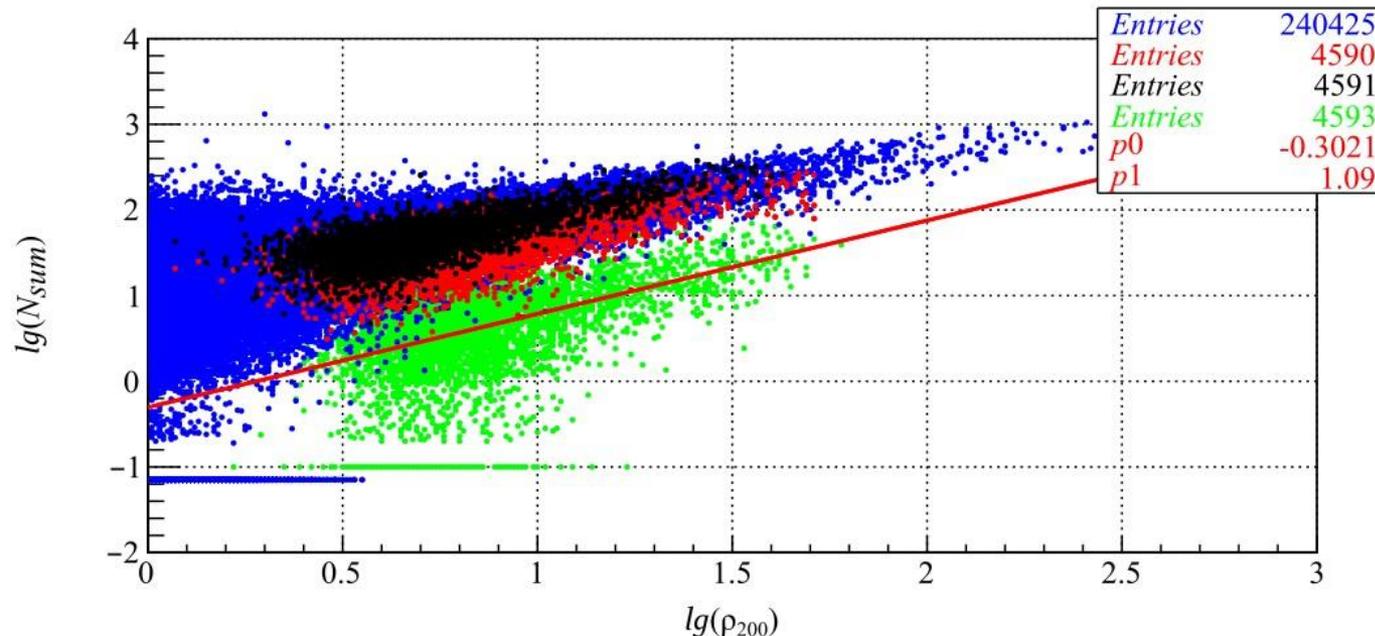
Моделирование установки

- Моделирование ШАЛ: CORSIKA (версия 7.7401)
 - Модель электромагнитных взаимодействий: EGS4
 - Модель адронных взаимодействий (энергия до 80 ГэВ): GHEISHA
 - Модель адронных взаимодействий (энергия выше 80 ГэВ): QGSJET-II-04
 - Тип первичных частиц: протоны, ядра железа, гамма-кванты
 - Количество ШАЛ: ~ 460 ливней на каждый тип частицы + 10 вариаций положения оси ШАЛ в пределах круга радиусом 350 м относительно центра установки
 - Спектр первичных частиц: E^{-3}
 - Энергетический диапазон: $16.5 \leq \lg(E/\text{eV}) \leq 17.5$
 - Зенитный угол прихода оси ШАЛ: $0^\circ \leq \theta \leq 35^\circ$
 - Азимутальный угол прихода оси ШАЛ: $0^\circ \leq \varphi \leq 360^\circ$
 - Параметр статистического прореживания: без прореживания
- Взаимодействие частиц искусственных ШАЛ с детектором: Geant4

Критерий отбора кандидатов в фотонные ШАЛ

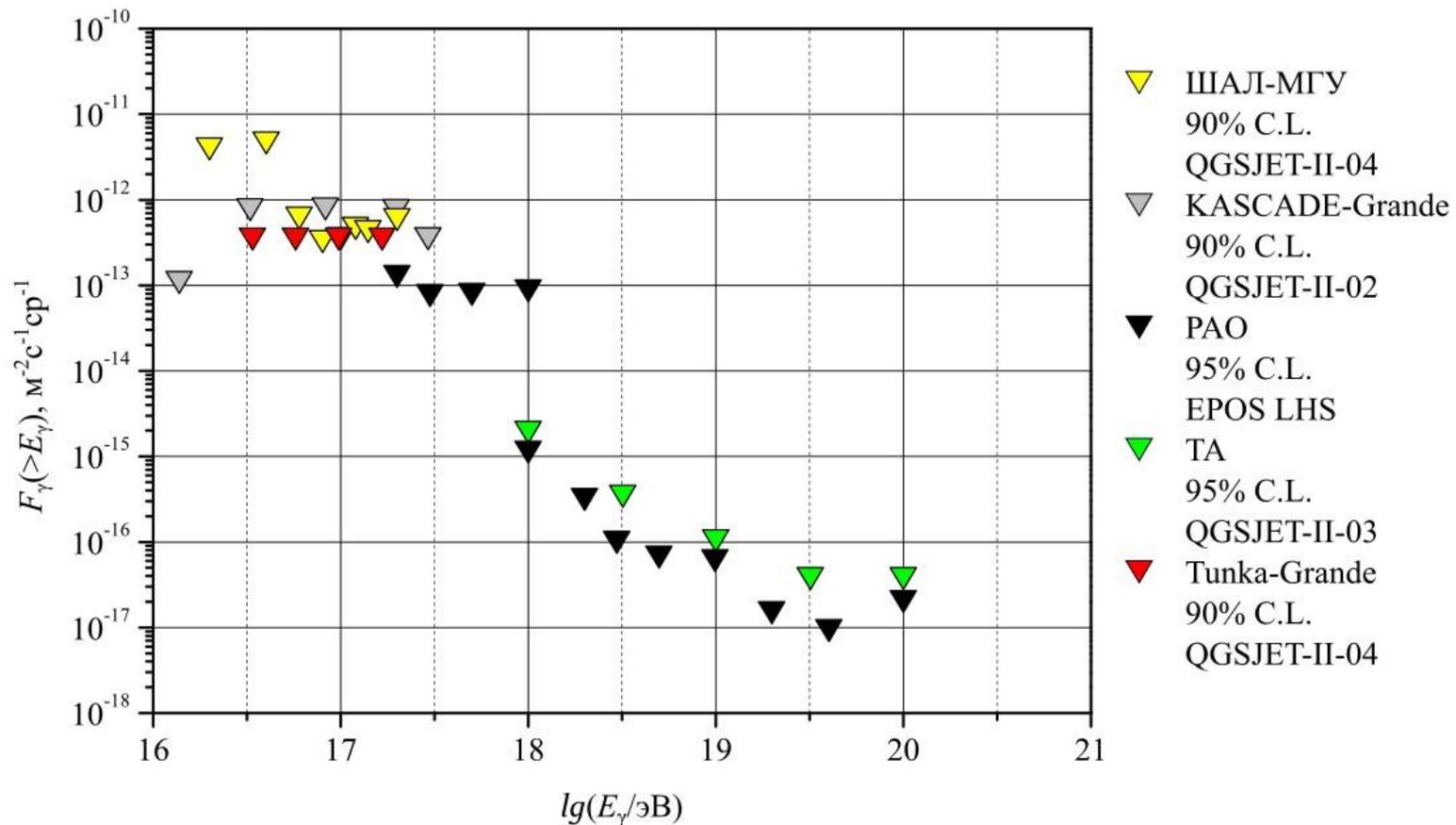
N_{sum} - сумма зарегистрированных частиц во всех подземных частях станций в каждом ШАЛ при условии удаленности станций на расстоянии более 70 м относительно положения оси ШАЛ

$\lg(\rho_{200})$	N_{tot}	$\lg(E_{CR}/\text{эВ})$	$\lg(E_{\gamma}/\text{эВ})$
> 0.75	12548	16.62	16.53
> 1	4584	16.83	16.76
> 1.25	1565	17.04	16.99
> 1.5	551	17.25	17.22



Протоны
Ядра железа
Гамма-кванты
Экспериментальные
данные

Ограничение на интегральный поток диффузных гамма квантов



Планы на будущее

- Повышение числа совместных событий с черенковскими установками
- Улучшение процедуры реконструкции параметров ШАЛ
- Повышение статистики в экспериментальных данных
 - Увеличение диапазонов рассматриваемых зенитных углов и расстояний
- Увеличение статистики моделированных данных
 - Генерация искусственных ШАЛ
 - Использование моделей адронных взаимодействий SIBYLL и EPOS LHC
- Определение массового состава КЛ