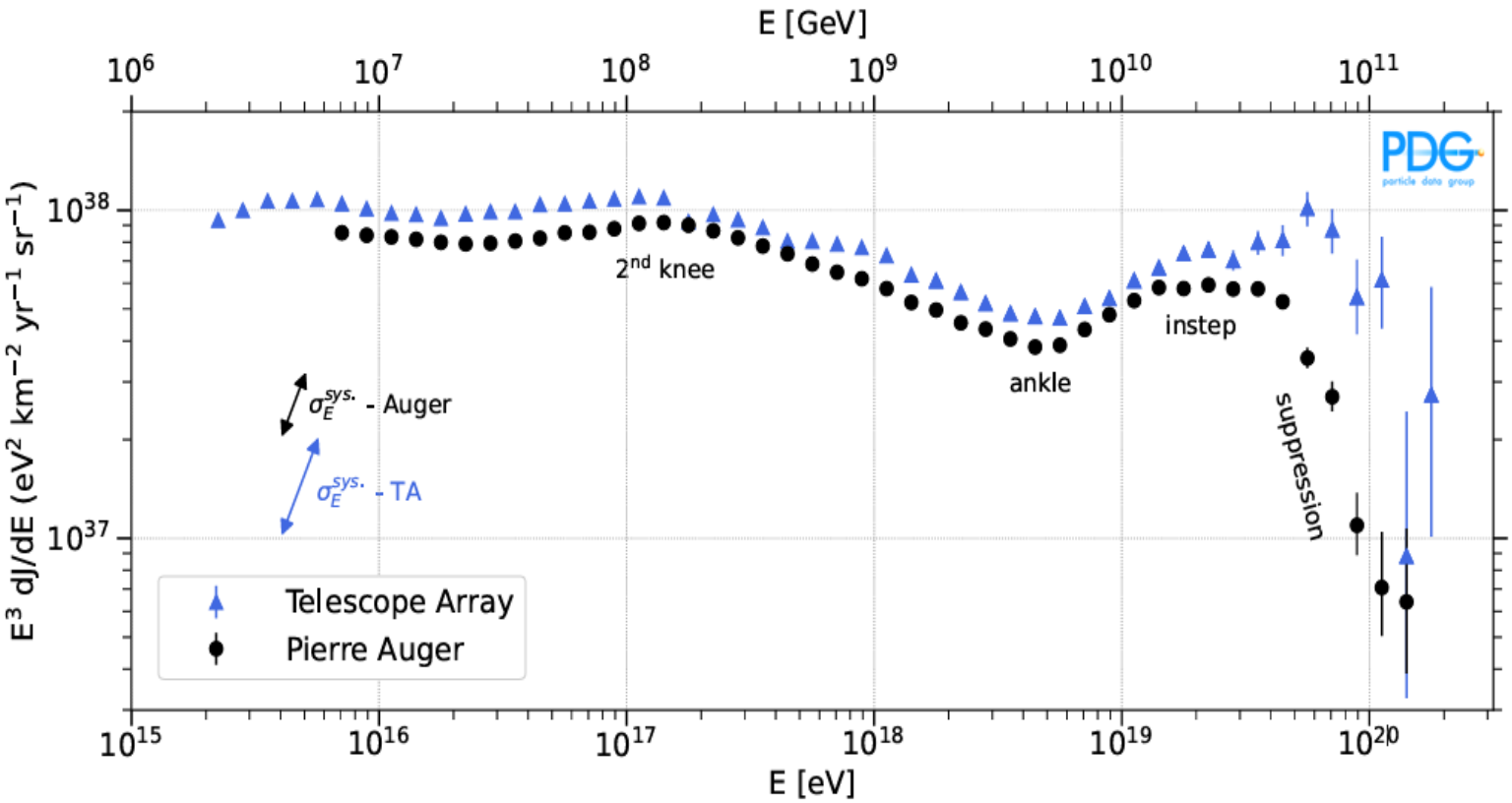
[1] Институт космофизических исследований и аэрономии
им. Ю.Г.Шафера СО РАН
(ИКФИА СО РАН)
ФИЦ Якутский научный центр СО РАН
[2]Академия наук Республики Саха (Якутия)

Об энергетическом спектре космических лучей сверхвысоких энергий

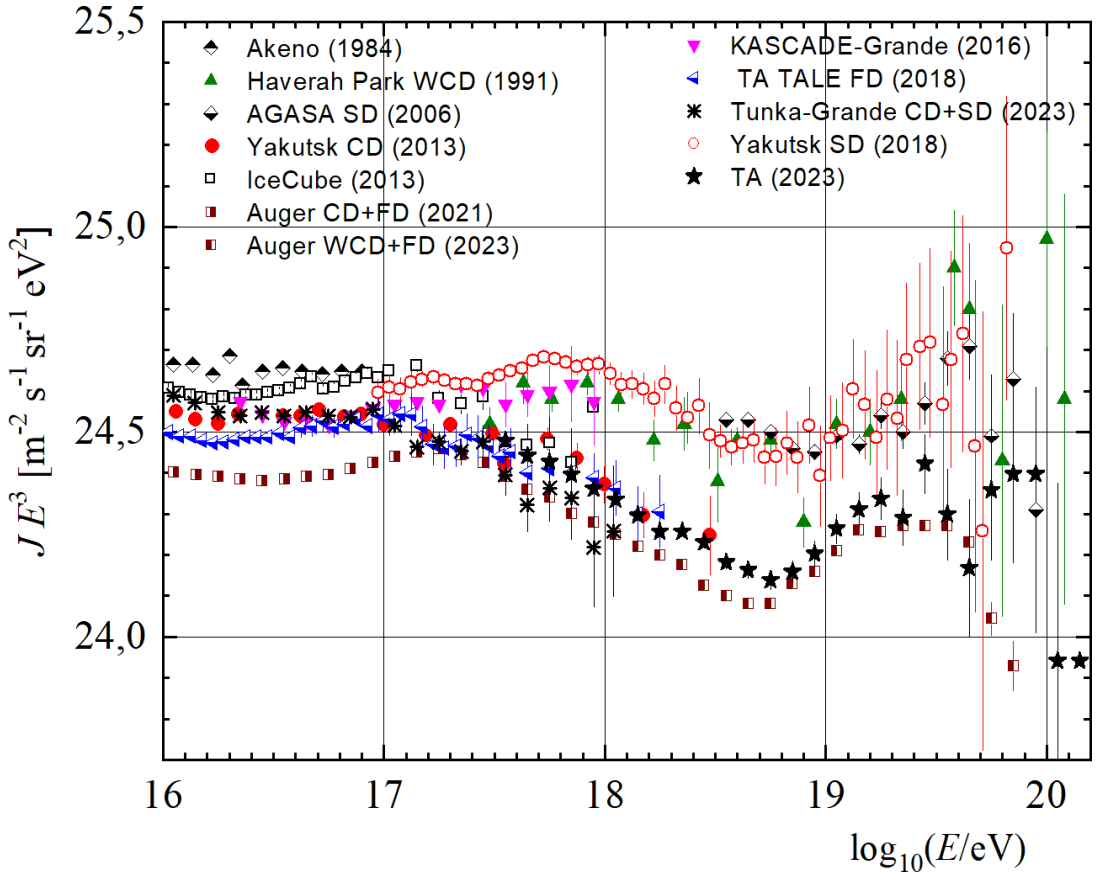
А. В. Глушков[1], Л. Т. Ксенофонтов[1], К. Г. Лебедев[1], С.В. Матаркин[1], А. В. Сабуров[2]

39 Всероссийская конференция по космическим лучам, 29 июня – 3 июля 2026 г., Дубна

Дифференциальный энергетический спектр КЛ (PDG 2025)



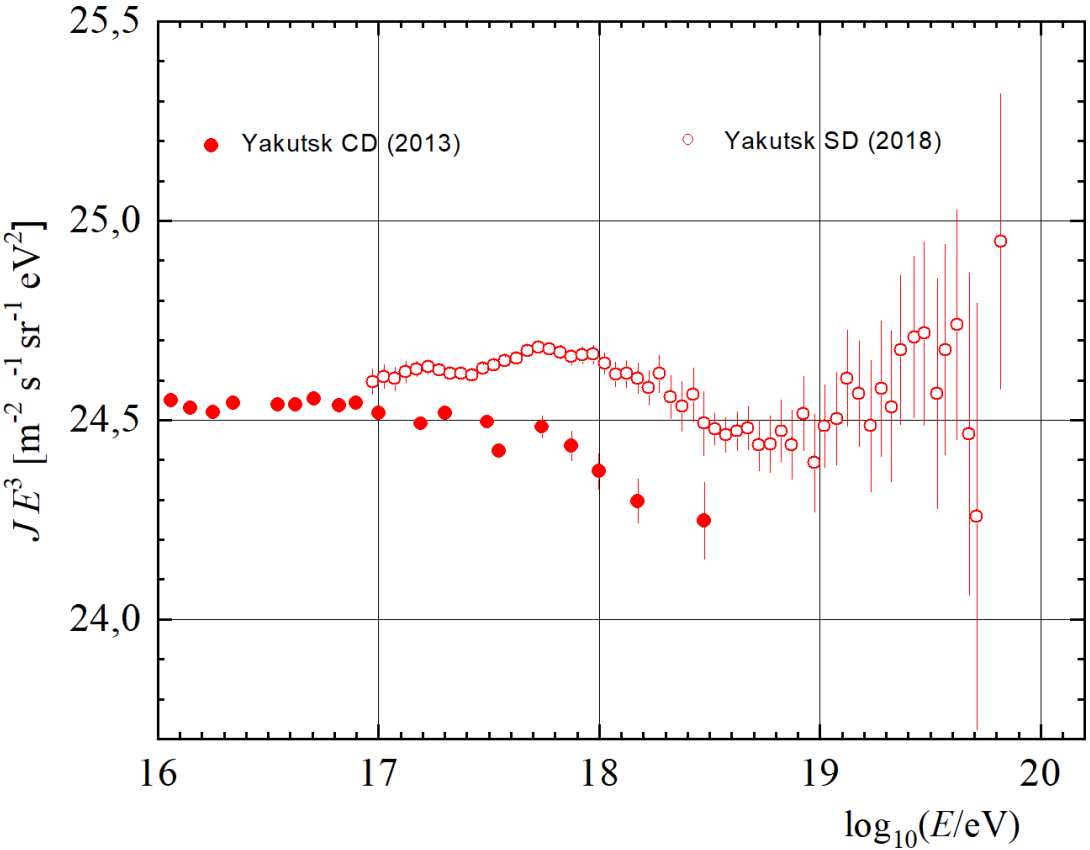
Дифференциальный энергетический спектр КЛ по данным мировых установок ШАЛ



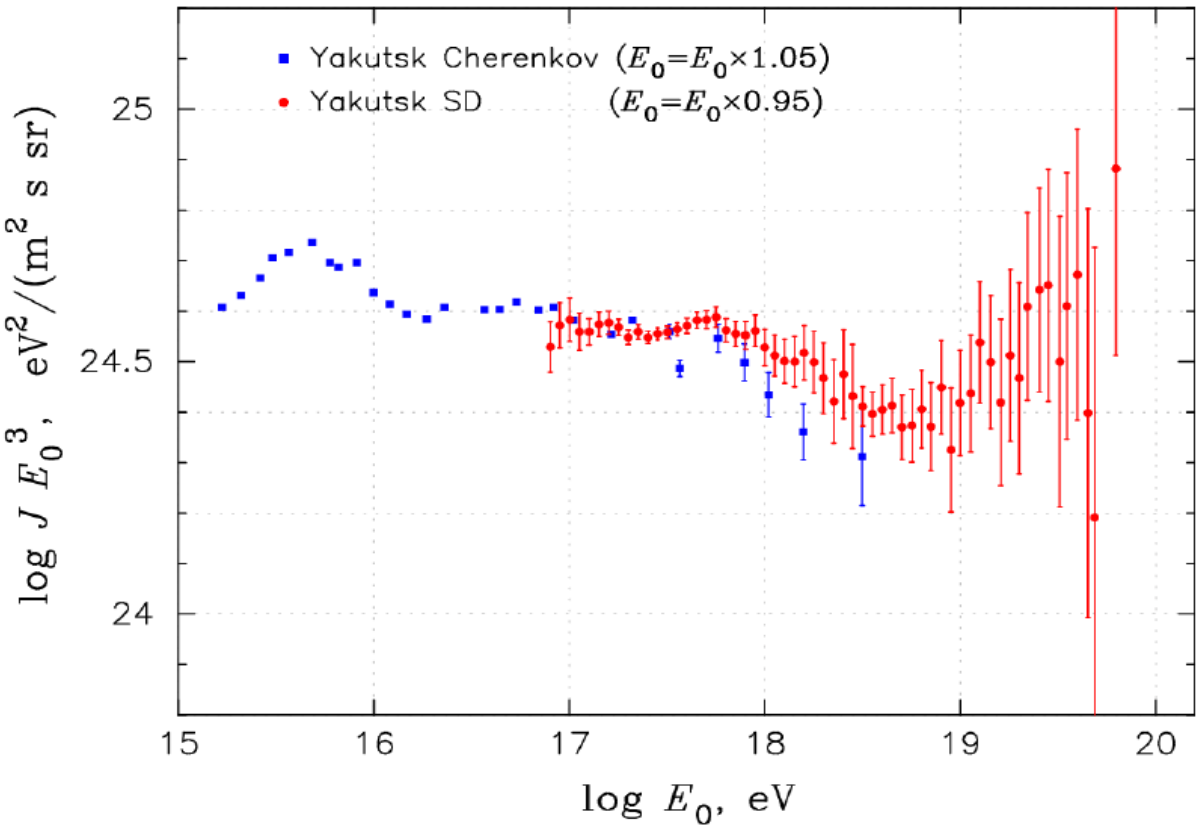
Экспериментальные результаты, полученные на разных установках ШАЛ, отличаются между собой по интенсивности в 1.5–2.5 раза.

Такая ситуация во многом объясняется тем фактом, что большинство мировых установок, в силу разных способов регистрации ШАЛ, по-разному определяют первичную энергию.

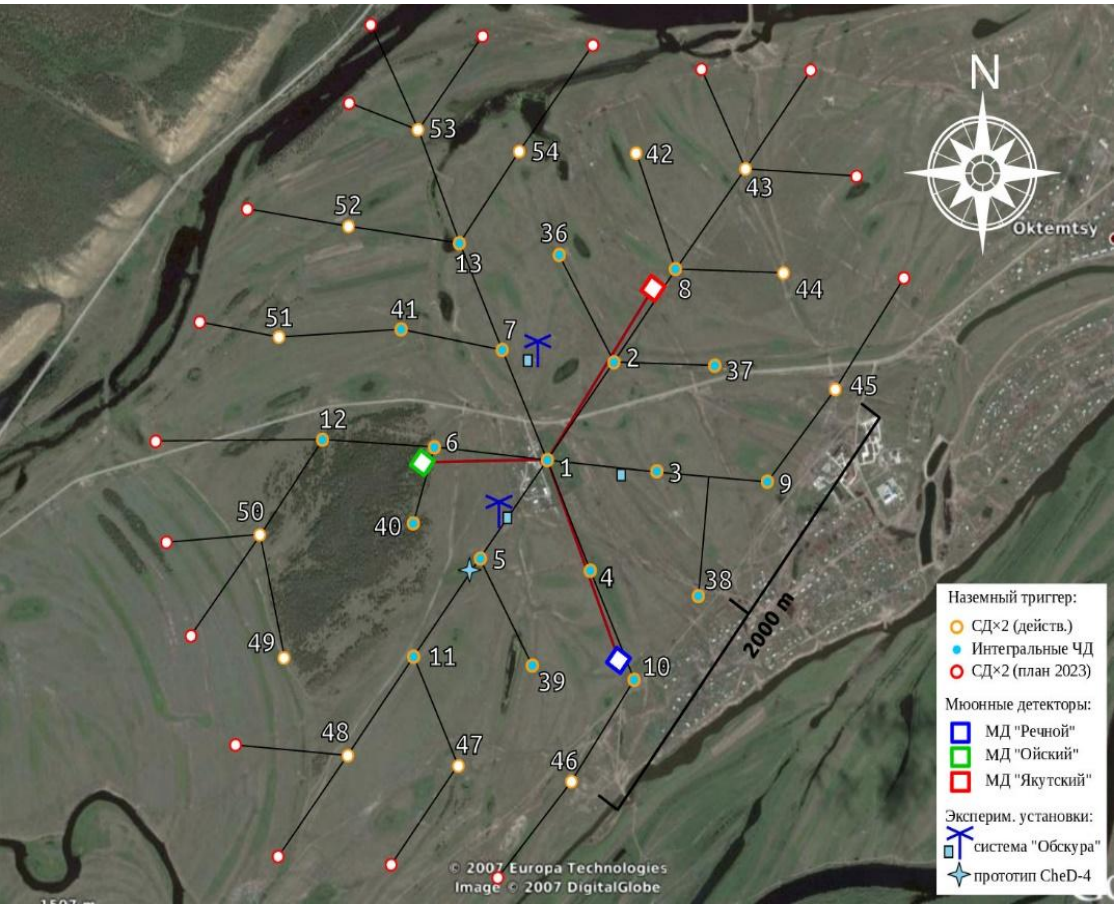
Дифференциальный энергетический спектр КЛ по данным Якутской установки ШАЛ



Дифференциальный энергетический спектр КЛ по данным Якутской установки ШАЛ



Якутская комплексная установка ШАЛ



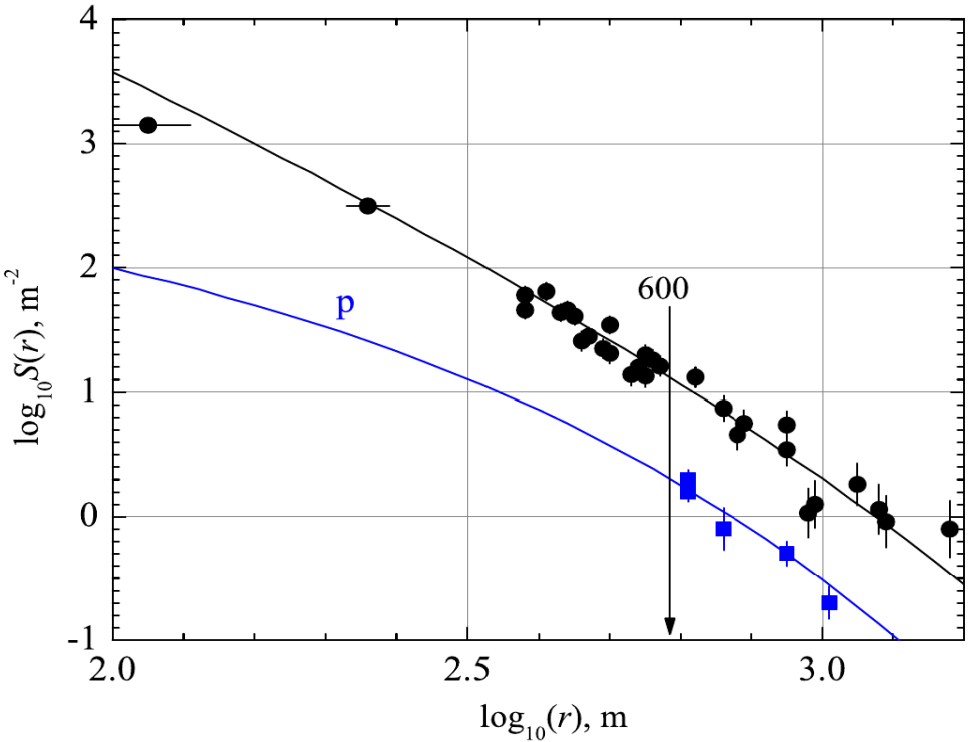
Общая площадь размещения детекторов 1973-1991 – 18 кв. км.; 1991-2010 – 12 кв. км; с 2010 — по настоящее время – 4.8 км^2

Порог по энергии основного триггера - $5 \cdot 10^{16}$ эВ

Динамический диапазон измерения плотности частиц – 10^4

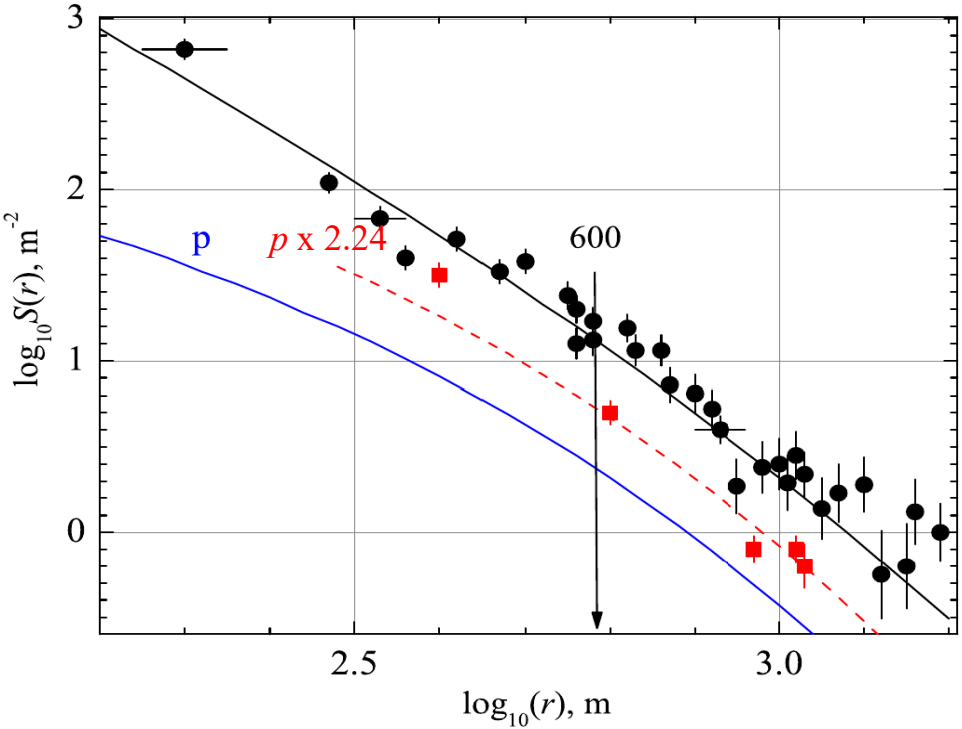
Точность измерения времени прихода частиц ливня - 10 нс

Примеры характерных ливней. 1



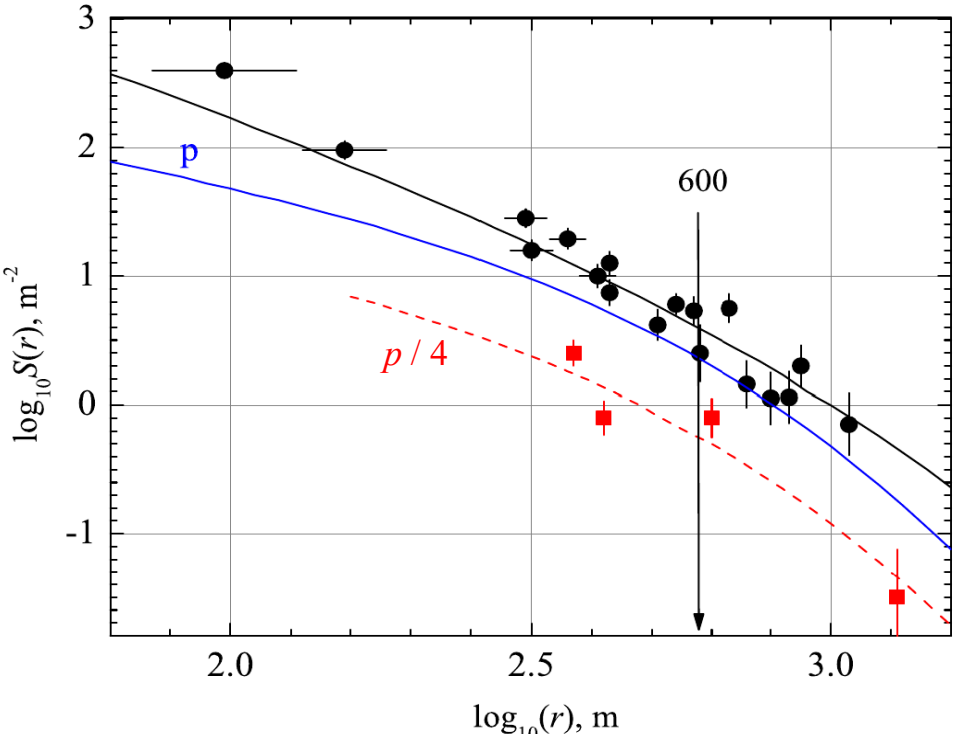
The LDF of shower # 102372 (25.04.1988) with $E = 5.37 \times 10^{18}$ eV and $\theta = 9.2°$

Примеры характерных ливней. 2



The LDF of shower # 1089094 (25.12.2002) with $E = 6.31 \times 10^{18}$ eV and $\theta = 24.2°$

Примеры характерных ливней. 3

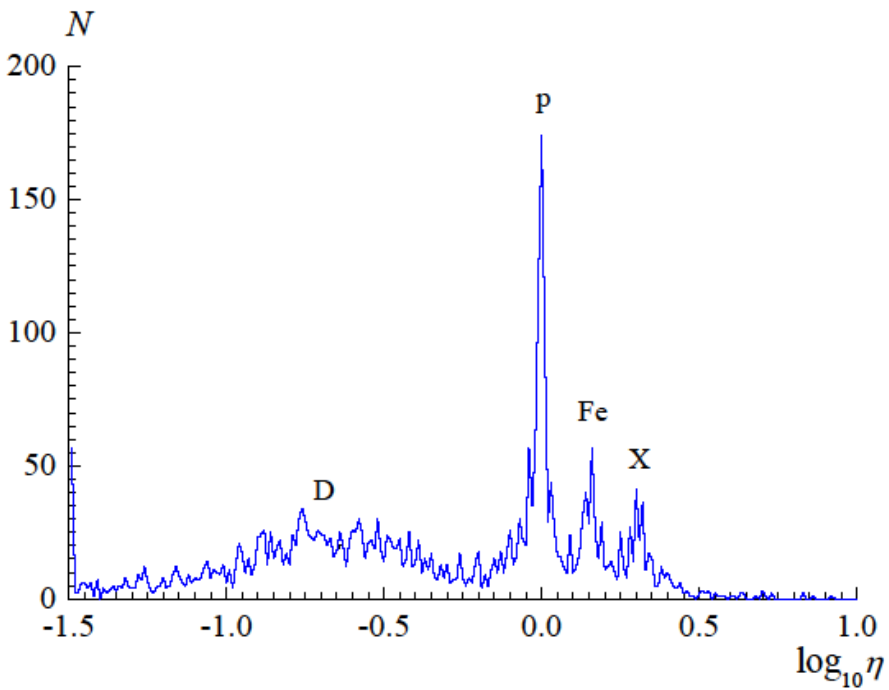


The LDF of shower # 913960 (13.06.2001) with $E = 6.02 \times 10^{18}$ eV and $\theta = 53.3°$

Метод мюонной корреляции

В [*А. В. Глушков, и др.. Письма в ЖЭТФ, **120**, 409 (2024)*] был предложен метод определения типа первичной частицы в индивидуальных событиях. В этом методе исследуется корреляционный параметр:

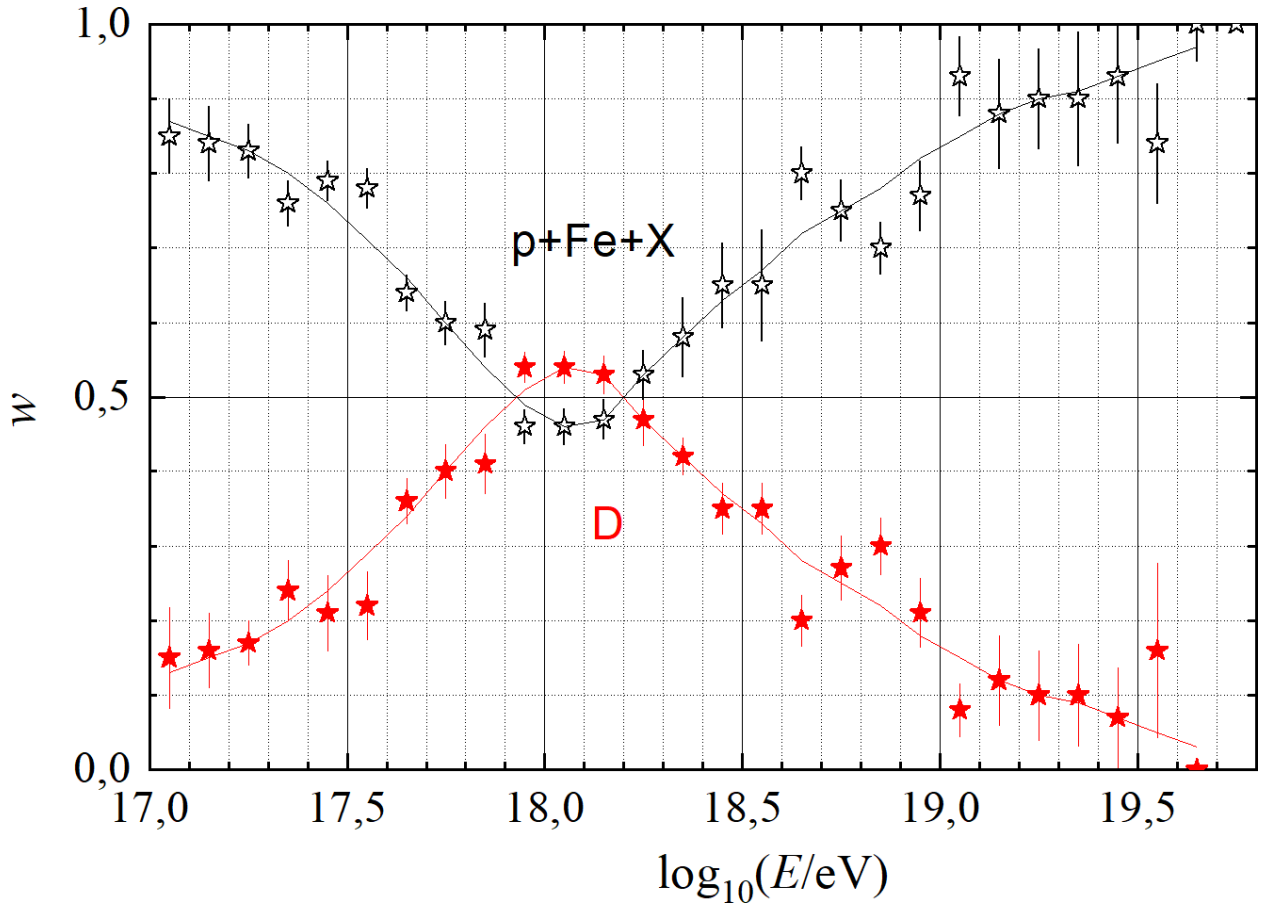
$$\eta = \frac{S_\mu^{exp}(E,\theta,r)}{S_\mu^{sim}(p,E,\theta,r)}$$



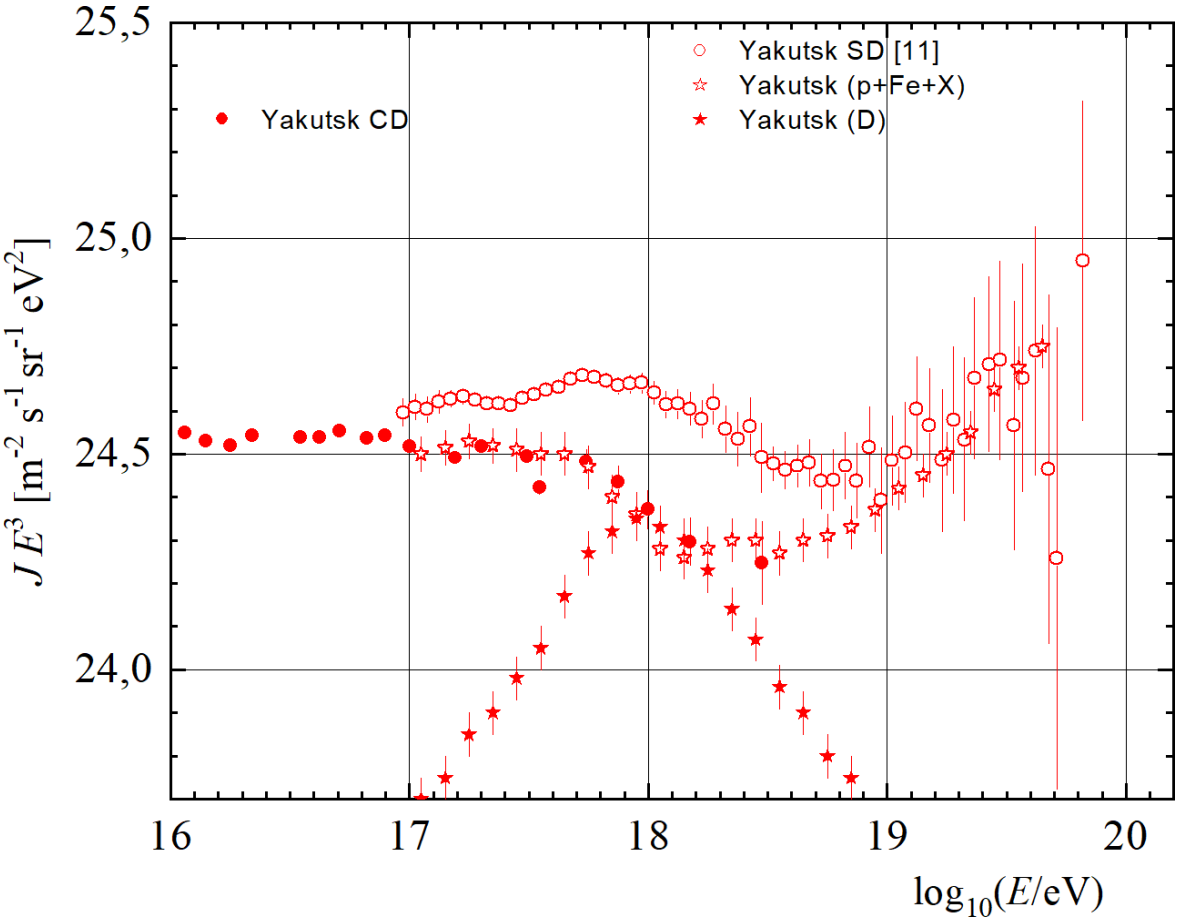
Glushkov et al. (2025, 2026)

В анализ вошли ШАЛ, оси которых находились в центральном круге установки с радиусом 850 м. На этих расстояниях плотности МД обеспечены максимальной статистикой ливней и находятся с наилучшей точностью. На рис. показаны корреляции пар мюонных плотностей в выборке из 2484 ШАЛ.

Энергетические зависимости долей различных компонент по данным Якутской установки ШАЛ

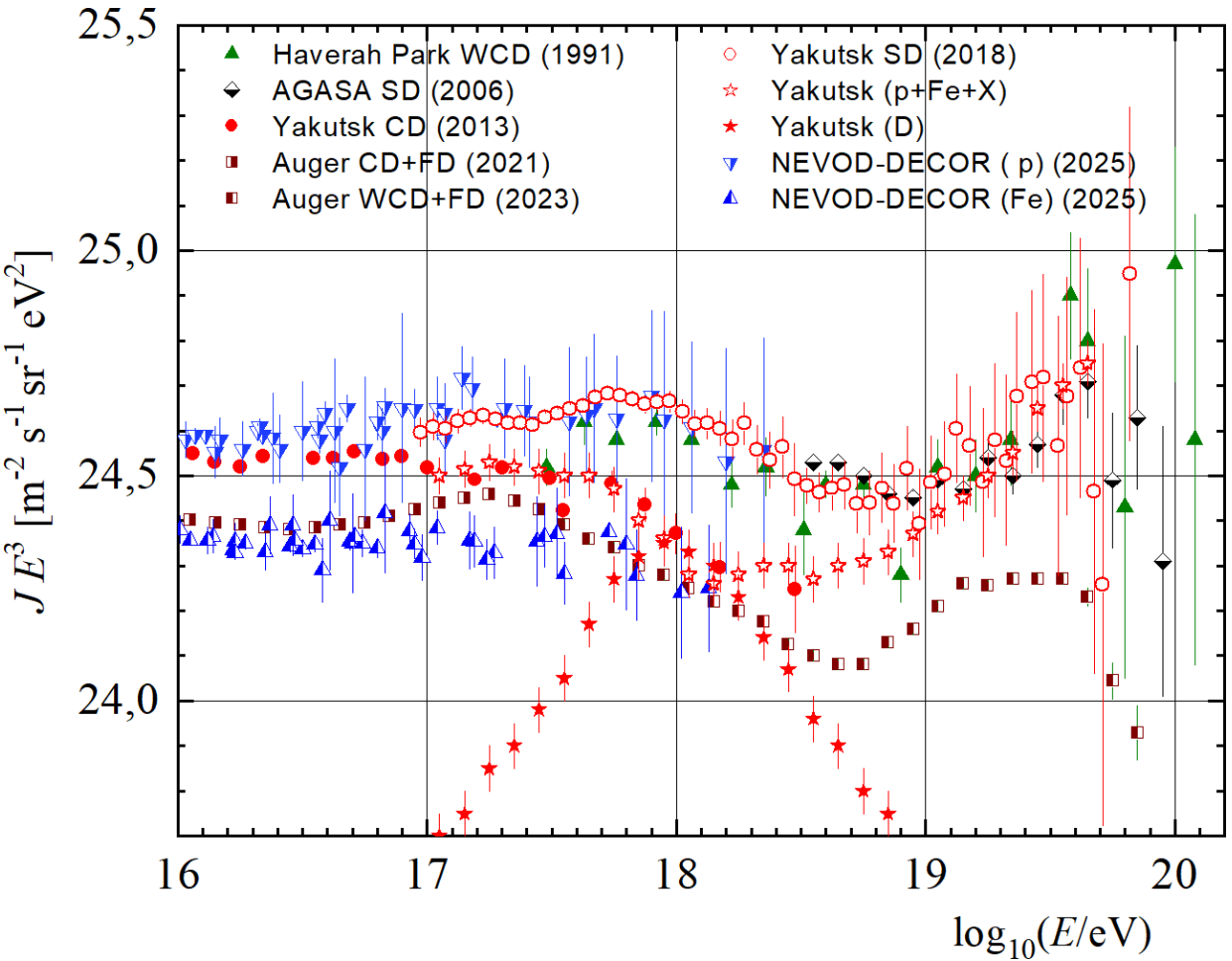


Дифференциальный энергетический спектр КЛ по данным Якутской установки ШАЛ



$$J^* = w \times J$$

Дифференциальный энергетический спектр КЛ



Выводы

- Показано, что в состав КЛ сверхвысоких энергий входят четыре группы первичных частиц
- Доли каждой из выделенных групп первичных частиц в суммарном потоке КЛ значительно варьируются в зависимости от первичной энергии
- Это существенно сказывается на интенсивности и форме энергетического спектра КЛ