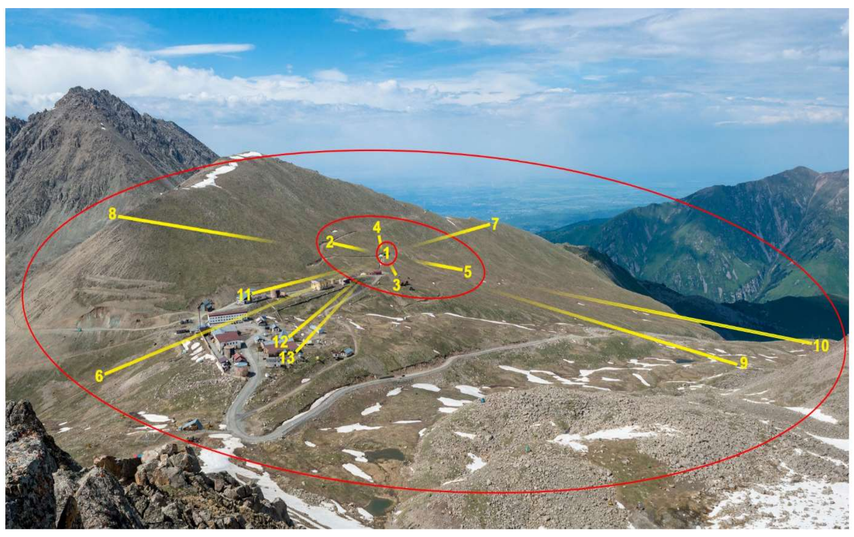
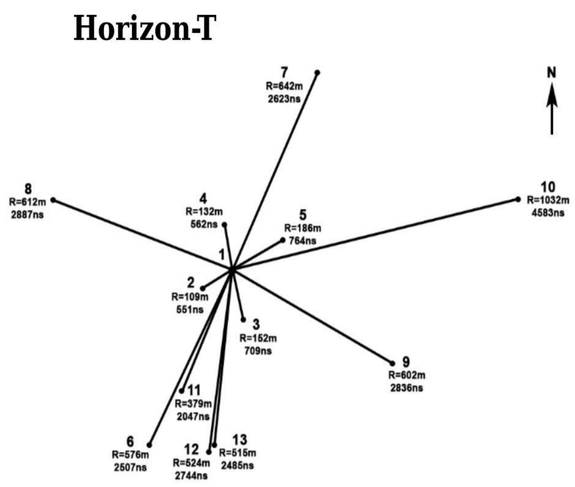
Эксперимент Horizon-T на Тянь-Шаньской высокогорной станции ФИАН, определение направления оси ШАЛ и оценка энергии первичной частицы

М.А.Самойлов[1,2], А.М. Анохина[2], Е.А. Бейсембаева[1], К.А. Байгарин[3], Я.В. Верминская[1], М.И. Вильданова[1], В.В. Жуков[1], В.А. Рябов[1], Т.Х. Садыков[4], А.Л. Щепетов[1]

[1] Физический институт им. П. Н. Лебедева, Москва, Россия,
[2] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
[3] Назарбаев Университет, Астана, Республика Казахстан
[4] Университет Сатпаева, ТОО "Физико-технический институт", Алматы, Республика Казахстан

Эксперимент Horizon-T





полистирол, S = 1м^2
d = 10 см, 5 см

Рис.1. Установка Horizon-T. Указаны центральный пункт, детекторы ближней и дальней периферии (слева); расстояния до детекторов и задержки в линиях связи (в центре); детекторы (справа).

Установка Horizon-T (Тянь-Шаньская высокогорная научная станция ФИАН) предназначена для регистрации и исследования временных характеристик широких атмосферных ливней (ШАЛ) с энергиями выше 10^{16} эВ и с наклоном оси до 70°. Группа из пяти детекторов в центральной части установки позволяет исследовать также ливни меньших энергий (10^{15} – 10^{16} эВ).

Детекторы Horizon-T

Установка Horizon-T (рис. 1) состоит из 13 детекторных пунктов, расположенных на различных уровнях наблюдения от 3125.3 до 3380.1 м над уровнем моря. В детекторах 1-5 используются ФЭУ Hamamatsu R7723 (d = 46 мм) и временем нарастания импульса 1.7 нс (T.T.S. = 1.1 нс), в детекторах 6-13 - ФЭУ Hamamatsu H6527 (d = 120 мм) и временем нарастания импульса 2.5 нс (T.T.S. = 1.2 нс). Оцифровка производится с помощью восьмиканальных флэш-АЦП DT5730, CAEN с разрешением 2 нс по временной шкале и 2^{14} бинов по шкале амплитуд (2 В), данные сохраняются в сжатый двоичный файл root. Длина записи события составляет ~20 мкс.

R. U. Beisembaev, K. A. Baigarin, D. Beznosko, E. A. Beisembaeva, M. I. Vildanova, V. V. Zhukov, M. S. Petlenko, V. A. Ryabov, T. Kh. Sadykov, and S. B. Shaulov, Nucl. Instrum. Methods A 1037, 166901 (2022); https://doi.org/10.1016/j.nima.2022.166901

РЕЗУЛЬТАТЫ

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ШАЛ

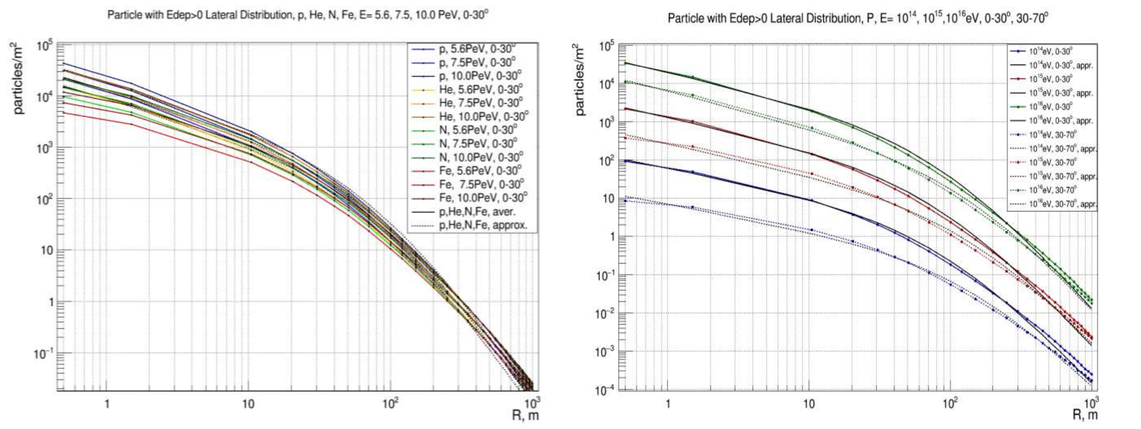
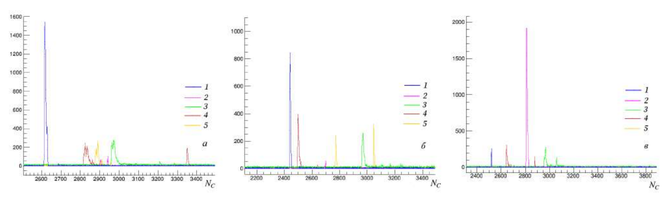


Рис.2. Пространственные распределения частиц (ФПР) ШАЛ от ядер КЛ (p, He, N, Fe) с наклоном оси 0-30° и 30-70°.

На основании ФПР можно сделать вывод о пороговой энергии регистрации ШАЛ детекторами ближней периферии Horizon-T. Начиная с энергии 5 ПэВ можно ожидать от 2-3 до 10 частиц на 1 м^2 на расстоянии от 100 до 150 м от оси ШАЛ.

МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЕ СОБЫТИЯ ШАЛ — МОДЕЛЬ И ЭКСПЕРИМЕНТ (10^{15} - 10^{16} эВ)



Сравнение модельных (Corsika) и экспериментальных временных разверток (ШАЛ с E = 10^{15} - 10^{16} эВ) показало, что **количество вторичных импульсов в искуственных и экспериментальных ШАЛ близко, однако временные масштабы** экспериментальных событий на порядки **отличаются** от полученных на основе Corsika с QGSJETII- 04. E.A. Beysembaeva,... Time Structure of Extensive Air Showers with Energies 10^{15}–10^{16} eV Based on Horizon-T Facility Data at the Tien Shan High-mountain LPI Station. Physics of Atomic Nuclei, 2026, Vol. 89, No. 1, pp. 38–45.

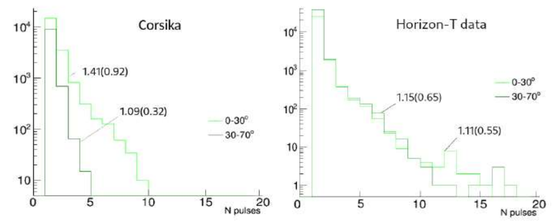


Рис.3. Распределение по количеству импульсов во временных развертках сигналов от ШАЛ во внутренних детекторах Horizon-T

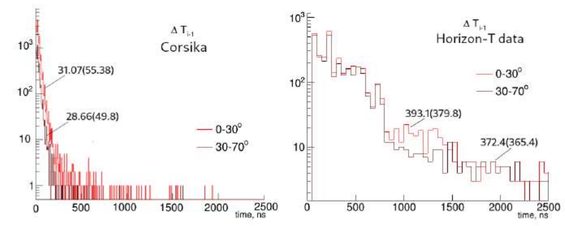


Рис.4. Распределения по величине временного интервала ΔT_{i-1} между первым и последующими импульсами

АЛГОРИТМ И ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ОСИ ШАЛ

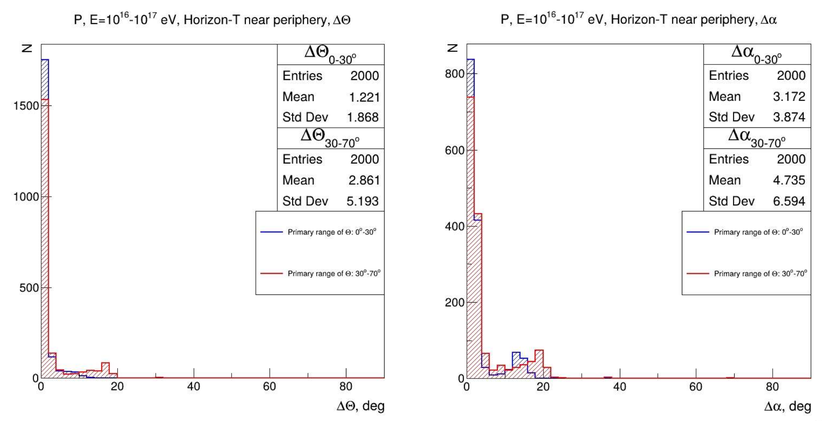


Рис. 5. Ошибка определения зенитного угла ШАЛ (ΔΘ) пространственного угла (Δα) для исходных направлений 0-30° и 30-70° на детекторной сетке ближней периферии Horizon-T.

Определение направления оси ШАЛ основано на следующем алгоритме:

1) Из детекторной сетки выбираются тройки детекторов – для группы из 5 центральных детекторов – 4 независимые системы трех детекторов.
2) Для каждой тройки детекторов аналитически решается задача по поиску плоскости фронта ШАЛ, исходя из времен прихода фронта в каждый детекторный пункт – задача сводится к нахождению физически-корректной касательной плоскости для трех сфер, не лежащих на одной прямой.
3) Полученные направляющие вектора плоскостей суммируются и нормируются – полученный вектор – предполагаемое направление оси ШАЛ.

На **рис. 5** результат работы алгоритма: разности между найденным и истинным зенитным углом (слева) и найденным и истинным пространственным углом (справа), полученные из данных моделирования (Coriska). Точка падения ШАЛ разыграна случайном образом по кругу радиусом 100 метров вокруг центрального детекторного пункта. Можно сделать вывод, что метод подходит для оценки направления оси ШАЛ, но требует доработок, ввиду географической асимметрии установки и влияния магнитного поля. Данные оценки точности алгоритма являются верхними – то есть при анализе экспериментальных данных получаемая ошибка определения угла несколько больше, чем ошибки, полученные на основе данных моделирования.

ОЦЕНКА ПЕРВИЧНОЙ ЭНЕРГИИ ШАЛ

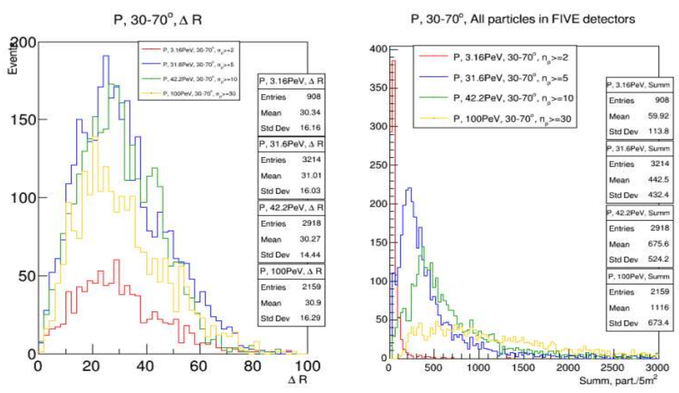


Рис. 6. Ошибка определения точки падения оси ШАЛ (ΔR) и суммарный сигнал в 5 детекторах Nsumm5 для различных первичных энергий ШАЛ, диапазон углов 30-70°

Сетка детекторов установки Horizon-T сильно разреженная: расстояния между пятью центральными детекторами больше 100 м.

Основываясь на данных моделирования (Corsika) было показано, что основываясь на зависимости суммарного сигнала в пяти центральных пунктах от первичной энергии ШАЛ, можно оценить энергию первичной частицы с точностью не хуже 100% даже для сильно наклонных ливней 30-70°

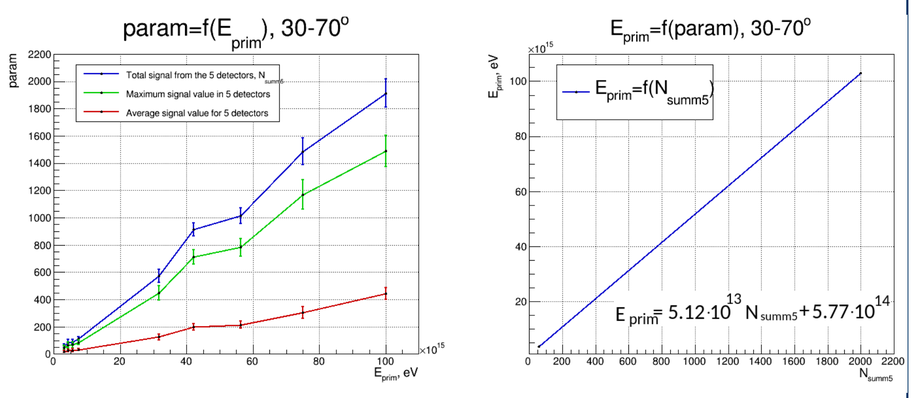


Рис. 7. Зависимости сигналов (Nsumm5, Nmax, Nmid) в детекторах от первичной энергии ливня и Зависимость для вычисления первичной энергии по параметру Nsumm5.

ВЫВОДЫ

Для установки Horizon-T, предназначенной для изучения временных характеристик сигналов от ШАЛ, с наличием только 13 далеко расположенных (до 150 – 1000 м) детекторных пунктов, созданы алгоритм определения направления оси ливня с наклоном до 30° с ошибкой до 4° и с наклоном 30-70° - до 5° и алгоритм расчета первичной энергии с ошибкой до 100% .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

E.A. Beysembaeva , A.M.Anokhina , V.S. Aseikin , K.A.Baygarin , Y.V. Verminskaya, M.I.Vildanova, V.V. Zhukov,V.A.Ryabov, M.A. Samoilov, T.Kh. Sadykov, and A.L. Shepetov. Time Structure of Extensive Air Showers with Energies 10^{15}–10^{16} eV Based on Horizon-T Facility Data at the Tien Shan High-mountain LPI Station. Physics of Atomic Nuclei, 2026, Vol. 89, No. 1, pp. 38–45.

КОНТАКТЫ

Самойлов М.А, email: m.samoilov@lebedev.ru, Анохина А.М, email: anokhannamsu@gmail.com

БЛАГОДАРНОСТИ

М. Самойлов благодарит за поддержку Фонд развития теоретической физики и математики „БАЗИС“ (№ 25-2-2-30-1)