

АСТРОНОМИЯ И ФИЗИКА КОСМОСА

УДК 524.1

**ОЦЕНКА СЛУЧАЙНЫХ СОВПАДЕНИЙ
ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ
ЛИВНЕЙ ВЫСОКОГОРНОЙ УСТАНОВКОЙ ГОРИЗОНТ-Т
(ТЯНЬ-ШАНЬ)**

Ф. К. Гасратов, Е. А. Бейсембаева, М. И. Вильданова,
В. В. Жуков, С. Б. Шаулов

На Тянь-Шаньской высокогорной научной станции ФИАН работает установка Горизонт-Т для изучения пространственно-временных характеристик широких атмосферных ливней с энергиями выше 3 ПэВ (колена в спектре космических лучей). При реальных параметрах регистрации ливней возможно включение в банк данных малоэнергичных ливней космических лучей высокой интенсивности, случайно попавших в интервал регистрации. В работе приводятся результаты экспериментальной оценки амплитудных спектров фона случайных событий.

Ключевые слова: космические лучи, широкие атмосферные ливни, случайные совпадения.

Введение. По данным прямых измерений на спутниках при энергиях ниже 10^{14} эВ космические лучи (КЛ) представляют собой в основном пять групп ядер от протонов до ядер железа. При больших энергиях информация о КЛ получается из изучения широких атмосферных ливней (ШАЛ) на уровне гор и моря. Основной проблемой в области сверхвысоких энергий является наличие излома в спектре КЛ при энергии 3 ПэВ ($1 \text{ ПэВ} = 10^{15}$ эВ), получившем название “колена” [1]. Косвенный характер метода ШАЛ приводит к неоднозначным выводам и формулировке разных моделей состава КЛ и, соответственно, разным интерпретациям колена. В работе [2] предложен

ФИАН, 119991 Россия, Москва, Ленинский пр-т, 53; e-mail: fgasratov@mail.ru.

интересный вариант объяснения колена с помощью неядерной компоненты типа частиц странной кварковой материи. С другой стороны, начиная с работы Джелли [3] в ряде экспериментов [4–8], были получены указания на существование ШАЛ с двумя фронтами, отстоящими по времени друг от друга на расстояния около 100 нс. Эффект объяснения до сих пор не получил, что может быть связано с экзотическим вариантом, предложенном в работе [2]. В любом случае, изучение этого эффекта представляет особый интерес. В данной работе анализируется возможный фон, состоящий из случайных частиц малой энергии.

Краткое описание установки. Сотрудники Тянь-Шаньской высокогорной научной станции (ТШВНС) ФИАН Рашид Бейсембаев и Николай Вильданов предложили и создали оригинальную установку для изучения пространственно-временной структуры ШАЛ – Горизонт-Т [3]. Основной целью работы был поиск и анализ многофронтальных (многомодальных) событий. Установка расположена на высоте 3340 м над уровнем моря и состоит из 13 сцинтилляционных пунктов (в центральном пункте также расположен черенковский детектор), разнесенных на расстояния порядка одного километра. Временные ворота записи информации составляют 20 мкс. Схема установки приведена на рис. 1.



Рис. 1: Схема расположения детекторов установки Горизонт-Т.

Электрические импульсы, формирующиеся в детекторах при прохождении заряженных частиц, поступают по кабелям в пункт 1. Там расположены системы управления установкой и регистрации данных. Этот пункт принят за центр установки и на нем размещен геодезический репер. С ним связана система координат: ось X направлена на географический север, ось Y – на запад, ось Z – перпендикулярно вверх.

Для регистрации данных используются два восьмиканальных АЦП CAEN DT5730. К одному из АЦП подключены детекторы из пунктов 3, 4, 6–9, 13; к другому АЦП подключены детекторы из остальных пунктов. Запись каждого события установкой происходит при превышении уровня сигнала в детекторах, которые формируют триггер (мастер). Каждое событие представляет собой амплитуды откликов от детекторов со всех активных каналов АЦП в течении 20 мкс с частотой оцифровки в 2 нс. Амплитуда отклика каждого детектора пропорциональна числу частиц. События сохраняются в банк данных в формате ROOT (ROOT – пакет объектно-ориентированных программ и библиотек, разработанных в ЦЕРН).

Формулировка задачи. При большом геометрическом размере установки (~ 1 км) и большом временном интервале регистрации (20 мкс) существует вероятность попадания в кадр записи случайных малоэнергичных ливней, имеющих большую интенсивность. Оценки характеристик ШАЛ в табл. 1 указывают на возможность такого предположения.

Т а б л и ц а 1

Характеристики ШАЛ при разных первичных энергиях

$E_0, \text{ GeV}$	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9
$I, \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$	0.1	$2 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-5}$	10^{-6}	$2 \cdot 10^{-8}$	10^{-10}	10^{-12}
$R, \text{ m}$	15	30	75	200	500	800	1100
$S, \text{ m}^2$	$7.5 \cdot 10^3$	$2.7 \cdot 10^4$	$1.8 \cdot 10^5$	$1.3 \cdot 10^6$	$1.7 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$	10^7
$I \cdot S \cdot \tau$	10^{-2}	10^{-3}	$1.6 \cdot 10^{-4}$	$2.4 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-7}$	10^{-8}	$2 \cdot 10^{-10}$

E_0 – первичная энергия, I – интегральные интенсивности событий ШАЛ для разных энергий первичной частицы, R – радиус функции пространственного распределения (ФПР) плотности электронов в ШАЛ до значения $\rho = 5$ частиц/ m^2 , S – эффективная площадь регистрации заряженных частиц, $I \cdot S \cdot \tau$ – вероятность попадания случайных ШАЛ в интервал регистрации 20 μs для разных первичных энергий E_0 .

Из анализа спектра КЛ следует, что интенсивность ливней с энергиями 0.1–1 ТэВ достаточна для создания фоновых событий при указанных условиях регистрации ШАЛ. В этой связи встала задача выделения таких событий и исключения их из анализируемой статистики.

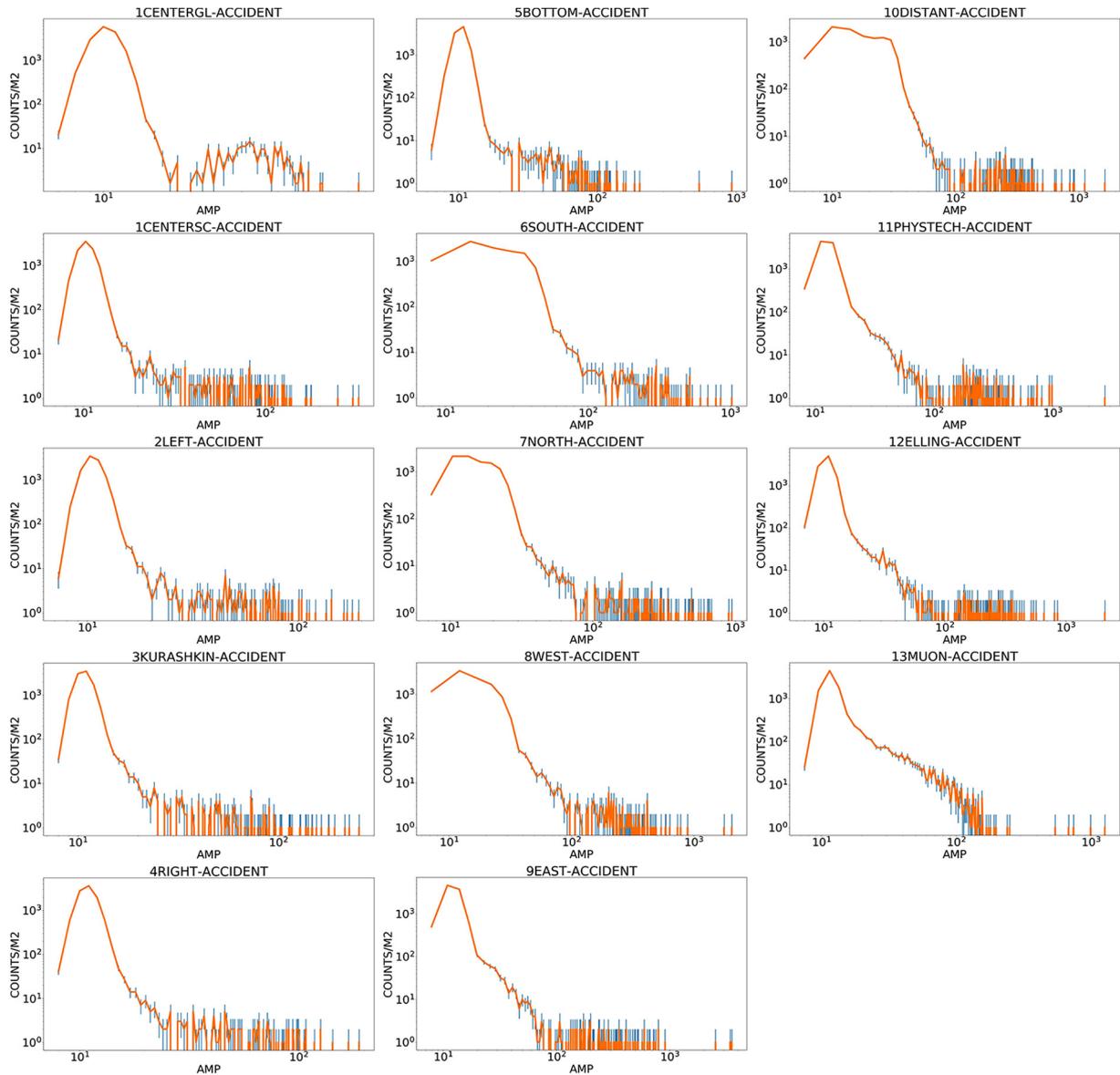


Рис. 2: Распределения амплитуд случайных сигналов. Амплитуды приведены в условных единицах, которые аппаратно определяются разрешением АЦП.

Регистрация случайных совпадений. Для проверки наличия случайных совпадений была использована стандартная процедура. Была проведена серия запусков регистра-

ции установки от генератора с частотой 10 Гц. Запуски генератором являются случайными по отношению к приходящим ливням. Всего было зарегистрировано 100000 событий. Импульсы открывали окно регистрации длительностью 20 мкс для каждого детектора. По совокупности всех данных были сформированы распределения амплитуд для каждого детектора.

Эти распределения представлены на рис. 2. Амплитуда сигналов приводится в условных единицах. Числа в названиях графиков соответствуют номерам пунктов установки из рис. 1; для первого пункта CENTERGL – черенковский детектор, CENTERSC – сцинтилляционный детектор. Более корректные данные в единицах числа частиц могут быть получены после снятия одночастичных распределений для каждого детектора. Следует отметить, что в сцинтилляционных детекторах используются два разных типа ФЭУ и кабели с волновыми сопротивлениями 50 и 75 Ом. Эта ситуация в дальнейшем требует проведения детальной калибровки каждого канала.

Заключение. Основной результат данной работы заключается в том, что:

1) При существующих условиях отбора событий установкой Горизонт-Т в кадр записи данных действительно попадают случайные события, образованные КЛ сравнительно малых энергий, ориентировочно уровня ТэВ.

2) Распределения амплитуд несколько отличаются по форме, что указывает на разные условия регистрации импульсов в разных каналах из-за использования в установке ФЭУ разного типа.

3) Корректное сравнение работы разных каналов должно проводиться при калибровке всех каналов в единицах числа частиц. Для этого необходимо построить одночастичные распределения для всех детекторов.

4) По данным, приведенным на рис. 2, можно сделать лишь грубую оценку максимального значения амплитуды для случайных событий $U_{\max} \leq 5000$ условных единиц.

5) В принципе уже это позволяет очистить реальные события от малоэнергичного фона случайных совпадений. Учитывая, что многофронтальные ШАЛ, если существуют, то относятся к сверхвысоким энергиям выше нескольких ПэВ, и удаление малоэнергичного фона не может существенно исказить результаты поиска. Наоборот, удаление фона делает более надежной процедуру обнаружения многофронтальных ШАЛ.

Авторы выражают благодарность за полезные консультации Дмитрию Безноско из Clayton State University (USA) и Илье Кудряшову из НИИЯФ МГУ.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] Г. В. Куликов, Г. Б. Христиансен, ЖЭТФ **35**, вып. 3(9), 635 (1958).
- [2] С. Б. Шаулов, Е. А. Куприянова, В. А. Рябов, А. Л. Щепетов, Краткие сообщения по физике ФИАН **50**(8), 41 (2023). DOI: 10.3103/S1068335623080079.
- [3] R. U. Beisembaev, K. A. Baigarin, D. Beznosko, et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment **1037**, (2022). DOI: 10.1016/j.nima.2022.166901.
- [4] J. V. Jelly, W. J. Whitehouse, Proc. Phys. Soc. A **66**(5), 454 (1953). DOI: 10.1088/0370-1298/66/5/305.
- [5] J. Linsley, L. Scarsi, Phys. Rev. **128**(5), 2384 (1962). DOI: 10.1103/PhysRev.128.2384.
- [6] В. Б. Атрашкевич, О. В. Веденеев и др., Изв. РАН. Сер. Физ. **58**(12), 98 (1994).
- [7] R. U. Beisembaev, Yu. N. Vavilov, et al., Physics of Atomic Nuclei **72**(11), 1852 (2009). DOI: 10.1134/S1063778809110088.
- [8] А. В. Глушков, В. Б. Косарев и др., Письма в ЖЭТФ **67**(6), 361 (1998). DOI: 10.1134/1.567678.
- [9] В. В. Просин, О. А. Гресс и др., Изв. РАН. Сер. Физ. **73**(5), 627 (2009). DOI: 10.3103/S1062873809050165.

Поступила в редакцию 18 декабря 2024 г.

После доработки 4 марта 2025 г.

Принята к публикации 5 марта 2025 г.