

НЕОБЫЧНАЯ ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ ПРИ ЭНЕРГИЯХ ВЫШЕ 10^{17} эВ

© 2019 г. Р. У. Бейсембаев¹⁾, Е. А. Бейсембаева¹⁾, О. Д. Далькаров¹⁾,
В. Д. Мосунов¹⁾, В. А. Рябов^{1)*}, С. Б. Шаулов¹⁾, М. И. Вильданова¹⁾,
В. В. Жуков¹⁾, К. А. Байгарин²⁾, Д. Безноско³⁾, Т. Х. Садыков⁴⁾

Поступила в редакцию 21.03.2019 г.; после доработки 21.03.2019 г.; принята к публикации 21.03.2019 г.

На экспериментальной установке Горизонт-Т, которая расположена на Тянь-Шанской высокогорной научной станции ФИАН на высоте 3346 м над уровнем моря, зарегистрированы широкие атмосферные ливни, характеризующиеся наличием многокомпонентной временной структуры. Такая структура обнаружена в ливнях, энергии которых превышают 10^{17} эВ, и свидетельствует о том, что, в отличие от стандартного механизма развития ядерно-электромагнитного каскада, частицы ливня пересекают уровень наблюдения в составе нескольких ливневых дисков.

DOI: 10.1134/S0044002719060035

ВВЕДЕНИЕ

Измерение энергетического спектра и массового состава космических лучей, а также поиск анизотропии в направлениях их прихода являются главными задачами многочисленных астрофизических экспериментов [1]. Большое значение для понимания природы космических лучей имеет и изучение необычных явлений, наблюдаемых при регистрации широких атмосферных ливней (ШАЛ). Таким явлением оказалось наблюдение запаздывающих частиц в ШАЛ, исследование которых берет начало от работы Джелли, опубликованной в 1953 г. [2]. Затем в ряде независимых экспериментов регистрировались отдельные события ШАЛ с необычной временной структурой [3–7]. Основным выводом этих исследований было утверждение о том, что известные физические процессы развития электронно-ядерных каскадов не объясняют происхождение ливней с нестандартными временными характеристиками.

Для детального изучения временной структуры ШАЛ на Тянь-Шанской высокогорной научной станции (ТШВНС) была создана установка Горизонт-Т [8–10], которая регистрирует прохождение ШАЛ с наносекундными точностями. В на-

стоящей работе мы представляем результаты анализа ШАЛ с необычными временными характеристиками, зарегистрированными в период с 15 февраля по 12 мая 2018 г.

УСТАНОВКА ГОРИЗОНТ-Т

ТШВНС ФИАН расположена в горах Северного Тянь-Шаня на высоте 3340 м над уровнем моря, где глубина атмосферы составляет 690 г/см^2 . На станции работает установка Горизонт-Т, предназначенная для детального изучения пространственных и временных характеристик заряженных частиц в индивидуальных ШАЛ. Установка, схема которой представлена на рис. 1, имеет десять пунктов регистрации заряженных частиц.

В каждом из десяти пунктов размещены сцинтилляционные детекторы (СЦ-детекторы) на основе пластин полистирола площадью 1 м^2 и толщиной 5 см. Сцинтилляционный свет регистрируется ФЭУ Hamamatsu R7723 (в пунктах 1–8) и Hamamatsu RA3168 (в пунктах 9 и 10). Временное разрешение СЦ-детектора составляет $7.16 \pm 0.40 \text{ нс}$ [10].

Аналоговые импульсы со всех детекторов установки поступают по кабельным трассам на пункт 1, где размещены аналого-цифровые преобразователи и компьютер, который управляет установкой и сохраняет информацию о каждом ШАЛ в своей памяти.

¹⁾Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия.

²⁾Назарбаев Университет, Астана, Казахстан.

³⁾Бард Колледж, Новый Орлеан, США.

⁴⁾Физико-технический институт, Алматы, Казахстан.

*E-mail: ryabov@x4u.lebedev.ru

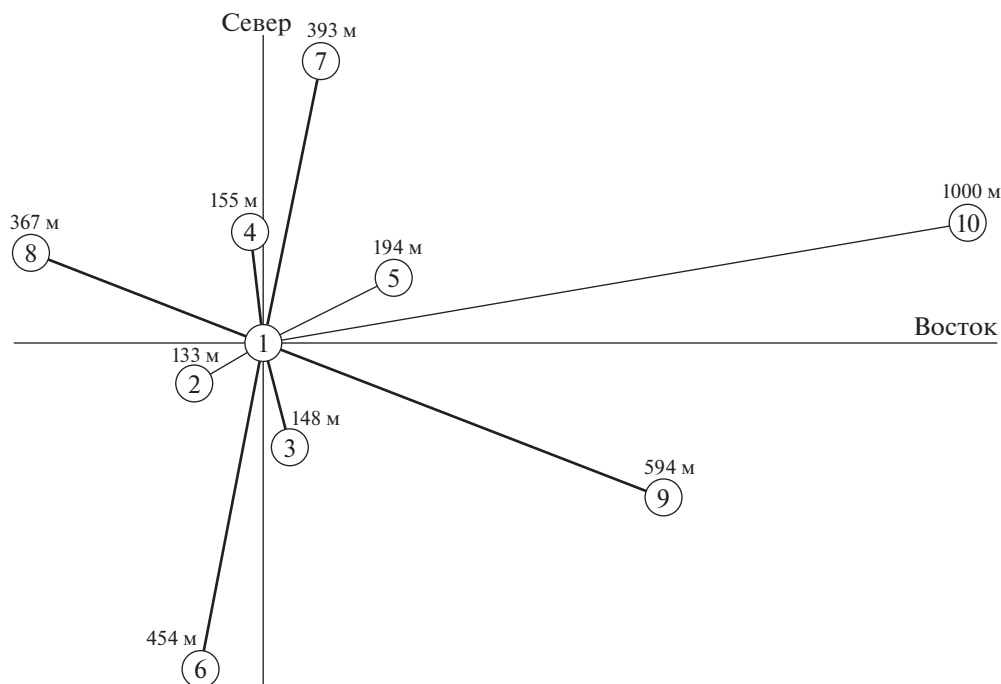


Рис. 1. Схема расположения десяти пунктов регистрации установки Горизонт-Т. Показаны расстояния от пунктов регистрации до центра установки, который находится в пункте 1.

Таблица 1. Светосила и интенсивность регистрации ливней для различных энергий

E_0 [эВ]	10^{16}	2×10^{16}	5×10^{16}	10^{17}	2×10^{17}	10^{18}
Γ [км ² ср]	0.38	0.72	0.97	1.52	2.72	6.31
N/t [собр./ч]	25.60	7.98	2.25	1.04	0.52	0.06

При одновременном прохождении заряженных частиц через пункты 5 и 6 вырабатывается триггер, который запускает установку. Пороги для выработки триггера выбраны таким образом, чтобы интенсивность регистрации ливней составляла около 15 собр./ч. При таком пороге установка регистрирует ШАЛ с энергиями выше $E_0 = 2 \times 10^{16}$ эВ. В табл. 1 даны светосила установки Γ и ожидаемая интенсивность регистрации электронно-ядерных ливней N/t в зависимости от энергии первичной частицы E_0 .

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

За 1896 ч на установке Горизонт-Т было зарегистрировано 26940 событий с интенсивностью 14.2 собр./ч и порогом регистрации 2×10^{16} эВ. Среди этих событий найдено 962 события с энергией выше 10^{17} эВ, в которых зарегистрированы импульсы с многокомпонентной временной структурой.

Здесь мы представляем результаты обработки и анализа 217 ливней, в которых были зарегистрированы импульсы с двухкомпонентной временной структурой в СЦ-детекторе, расположенном в пункте 9. Пример события с двумя импульсами, зарегистрированными в СЦ-детекторе от прохождения ливня с энергией 2×10^{17} эВ, показан на рис. 2. Для отобранных 217 ливней времена t_{12} запаздываний второго импульса относительно первого в зависимости от расстояния R от пункта 9 до оси ШАЛ представлены на рис. 3. В 37 ливнях времена запаздываний t_{12} оказались меньше 100 нс, а в 33 ливнях — оказались больше 1000 нс.

На рис. 4 представлены распределения длительностей первого и второго импульсов τ_1 и τ_2 . Левая и правая гистограммы на рис. 3 показывают, что в пределах флуктуаций первые и вторые импульсы не отличаются друг от друга. Это указывает на то, что ШАЛ с запаздывающими частицами состоит из равноправных ливневых дисков.

Для 217 зарегистрированных ливней построено поле точек с координатами (R, τ) , которое показано

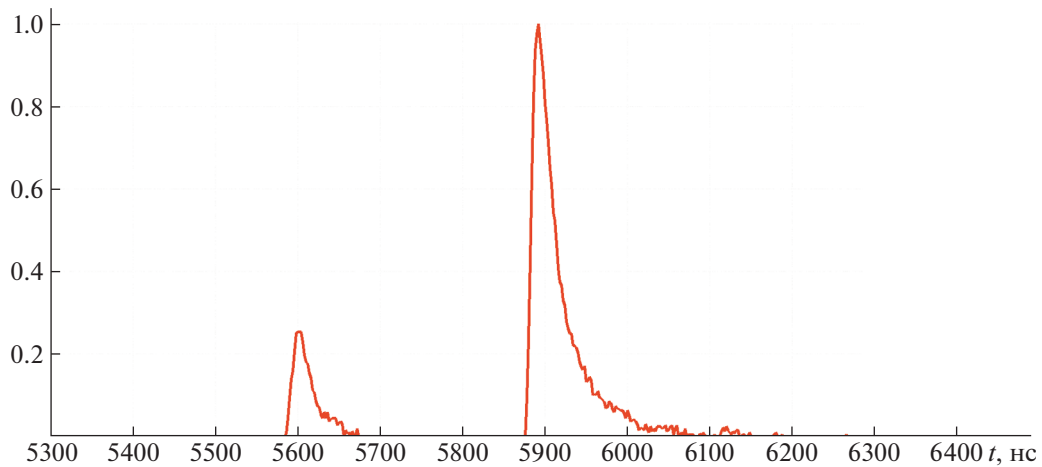


Рис. 2. Пример ШАЛ с энергией 2×10^{17} эВ и двумя импульсами, соответствующими прохождению двух ливневых дисков через детектор, расположенный в пункте 9 на расстоянии $R = 465$ м от оси ливня. Первый импульс имеет длительность $\tau_1 = 28$ нс, второй — $\tau_2 = 31$ нс. Время запаздывания второго импульса относительно первого составляет $t_{12} = 292$ нс.

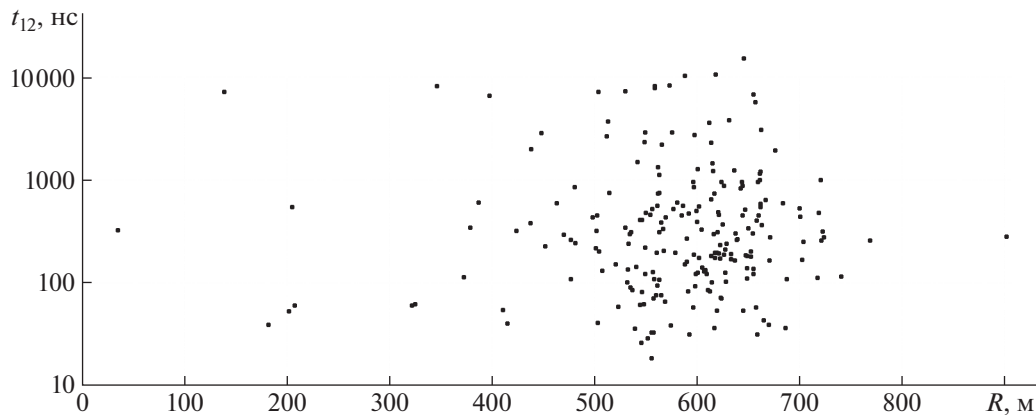


Рис. 3. Времена запаздываний t_{12} в зависимости от расстояния до оси ливня R .

на рис. 4. Здесь τ — длительности импульсов, R — расстояние до оси ливня. Кривые на рис. 5 показывают зависимость длительностей импульсов от расстояния до оси ШАЛ для трех ливней с энергиями 5×10^{17} эВ. Эти ливни разыграны с использованием программного пакета CORSIKA, в котором реализованы стандартные представления о развитии ядерно-электромагнитных ливней.

Анализ экспериментального распределения поля точек (R, τ) приводит к неожиданному результату. В зарегистрированных событиях ШАЛ с двумя импульсами длительности первых импульсов на любых расстояниях от оси ливня остаются в пределах (29.28 ± 6.61) нс, длительности вторых импульсов остаются в пределах (28.41 ± 5.04) нс.

Как следует из модельных расчетов по стандартной теории, в ядерно-электромагнитных ливнях при изменении расстояний до оси ливня от 50 до 900 м длительности импульсов должны менять-

ся от 20 до 650 нс. Таким образом, обнаруженная в эксперименте Горизонт-Т двухкомпонентная временная структура импульсов с необычно малыми длительностями на расстояниях до 900 м от оси ливня противоречит механизму развития ядерно-электромагнитных ливней.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На установке Горизонт-Т обнаружены ШАЛ с многокомпонентной временной структурой. Такие ливни имеют энергию выше 10^{17} эВ и характеризуются несколькими разделенными во времени импульсами. На любых расстояниях (от 50 до 900 м) от оси в 217 ливнях СЦ-детектором пункта 9 были зарегистрированы по два импульса с практически одинаковой длительностью ~ 28 нс. В расчетах электронно-ядерных ливней по модели CORSIKA эта длительность импульсов на указанных расстояниях должна меняться от 20 до 650 нс.

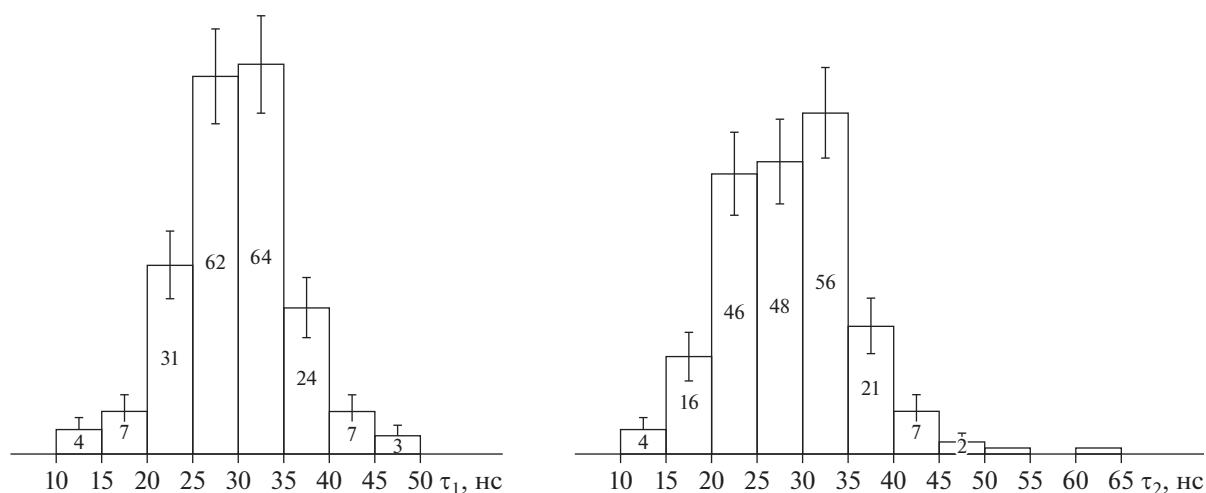


Рис. 4. Длительности первого (слева) и второго (справа) импульсов в СЦ-детекторе. В каждом бине указано количество событий в соответствующем интервале длительностей.

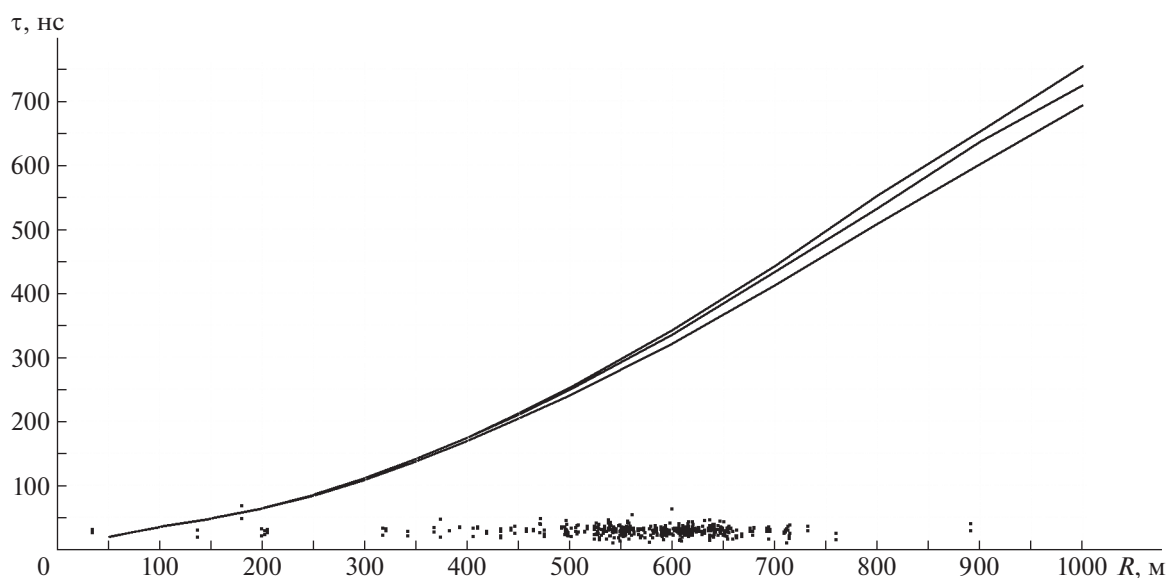


Рис. 5. Длительности импульсов τ в зависимости от расстояний до оси ливня R .

Такое явное противоречие означает, что в наблюдаемых ШАЛ с двухкомпонентной временной структурой уровень наблюдения установки пересекают две группы частиц в составе двух равноправных ливневых дисков. Наблюдаемую необычную временную структуру ШАЛ невозможно объяснить в рамках стандартного механизма развития ядерно-электромагнитных ливней. Необходимы дальнейшие исследования в этом направлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. A. Watson, Rep. Prog. Phys. **77**, 036901 (2014).
2. J. V. Jelly and W. J. Whitehouse, Proc. Phys. Soc. A **66**, 454 (1953).
3. J. Linsley and L. Scarsi, Phys. Rev. **128**, 2384 (1962).
4. H. Sakuyama, N. Suzuki, and K. Watanabe, Nuovo Cimento A **78**, 147 (1983).
5. Н. М. Буднев, Р. Вишневецкий, О. А. Гресс, А. В. Заболоцкий, А. В. Загородников, Н. Н. Калмыков, В. А. Кожин, Е. Е. Коростелева, Л. А. Кузьмичев, Б. К. Лубсандоржиев, Д. Наварра, Р. Р. Миргазов, М. И. Панасюк, Л. В. Паньков, В. В. Просин, В. С. Птускин и др., Изв. РАН. Сер. физ. **73**, 627 (2009) [Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. **73**, 588 (2009)].
6. Р. У. Бейсембаев, Ю. Н. Вавилов, Н. Г. Вильданов, А. В. Круглов, А. В. Степанов, Ж. С. Такибаев, ЯФ **72**, 1913 (2009) [Phys. At. Nucl. **72**, 1852 (2009)].
7. G. Marsela, EPJ Web Conf. **99**, 13003 (2015).

8. R. U. Beisembaev, Yu. N. Vavilov, M. I. Vildanova, N. G. Vildanov, O. D. Dalkarov, V. V. Zhukov, S. K. Machavariani, R. A. Nam, V. P. Pavlyuchenko, V. A. Ryabov, N. O. Saduev, T. H. Sadykov, and Zh. S. Takibaev, *J. Phys.: Conf. Ser.* **409**, 012127 (2013).
9. D. Beznosko, R. Beisembaev, K. Baigarin, E. Beisembaeva, O. Dalkarov, V. Ryabov, T. Sadykov, S. Shaulov, A. Stepanov, M. Vildanova, N. Vildanov, and V. Zhukov, *EPJ Web Conf.* **145**, 11004 (2017).
10. D. Beznosko, R. Beisembaev, K. Baigarin, E. Beisembaeva, O. Dalkarov, V. Ryabov, T. Sadykov, S. Shaulov, A. Stepanov, M. Vildanova, N. Vildanov, and V. Zhukov, *EPJ Web Conf.* **145**, 14001 (2017).

UNUSUAL TIME STRUCTURE OF EXTENSIVE AIR SHOWERS AT ENERGIES EXCEEDING 10^{17} eV

**R. U. Beisembaev¹⁾, E. A. Beisembaeva¹⁾, M. I. Vildanova¹⁾, O. D. Dalkarov¹⁾, V. V. Zhukov¹⁾,
V. D. Mosunov¹⁾, V. A. Ryabov¹⁾, S. B. Shaulov¹⁾, K. A. Baigarin²⁾, D. Beznosko³⁾,
T. Kh. Sadykov⁴⁾**

¹⁾*Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia*

²⁾*Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan*

³⁾*Bard College, New Orleans, USA*

⁴⁾*Institute for Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan*

Extensive Atmospheric Showers characterized by multicomponent time structure were detected at the experimental setup (Horizon-T) located at the Lebedev Physical Institute (FIAN) Tien-Shan high altitude science station at 3346 m over the sea level. The multicomponent time structure is found in the showers with energies higher than 10^{17} eV and is an evidence that, unlike the standard mechanism of the nuclear–electromagnetic cascade development, the shower particles cross the observation level as parts of several shower discs.