

УДК 524.1-352

ИССЛЕДОВАНИЕ СОБЫТИЙ МНОЖЕСТВЕННОСТИ НА ВЫСОКОГОРНОМ НЕЙТРОННОМ МОНИТОРЕ

© 2021 г. Ю. В. Балабин¹, *, А. А. Луковникова², Б. Б. Гвоздецкий¹,
А. В. Германенко¹, Е. А. Михалко¹, И. В. Янковский³

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени
Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова”, Нальчик, Россия

*E-mail: balabin@pgia.ru

Поступила в редакцию 19.10.2020 г.

После доработки 19.11.2020 г.

Принята к публикации 27.11.2020 г.

В 2019 году на станции космических лучей Иркутск-3 (гора Хулугайша, Восточные Саяны, 3000 м) запущена в работу дополнительная секция нейтронного монитора, оснащенная скоростной системой сбора данных, созданной в Полярном геофизическом институте. Впервые скоростная система сбора установлена на высокогорном нейтронном мониторе. Сравнение характеристик событий множественности на равнинных станциях и высокогорных обнаруживает существенные отличия событий множественности.

DOI: 10.31857/S0367676521030042

СКОРОСТНАЯ СИСТЕМА СБОРА

В Полярном геофизическом институте (ПГИ) создана скоростная система сбора данных (ССД) для любых детекторов. С помощью современных цифровых технологий производится фиксация и запись в файл времени появления каждого импульса с точностью до 1 мкс. Система имеет 32–48 входных каналов, суммарная интенсивность счета по всем каналам может достигать ~2105 имп./мин без пропуска входных импульсов. Фиксируется не только время появления импульса, но и номер канала, в котором он появился. “Мертвое время” системы составляет около 6 мкс: появление нового импульса ранее 6 мкс воспринимается ССД как одновременное. Поскольку в электронном тракте нейтронного монитора (НМ) встроено мертвое время 10 мкс, то ССД не ухудшает работу НМ. Темп счета НМ составляет ~104 имп./мин. Один из каналов отведен для записи секундных импульсов высокой точности от приемника GPS. Таким путем производится привязка данных к мировому времени [1].

ССД установлена на четырех станциях НМ (Баренцбург, Апатиты, Москва, Баксан). ССД позволяет при обработке исходных файлов получать любое временное разрешение уже после того, как данные сохранены. С помощью ССД про-

водятся исследования событий множественности на НМ. ИСЗФ и ПГИ провели совместную работу по восстановлению дополнительной секции НМ на высокогорной станции Иркутск-3 в Саянах и установили на новой секции ССД.

НОВАЯ ВЫСОКОГОРНАЯ СТАНЦИЯ НМ

Данные, получаемые с помощью ССД, используются для изучения множественности на НМ. Множественность возникает несколькими путями. Во-первых, высокоэнергичная частица может выбить из ядра свинца, который окружает счетчики, несколько нейтронов [2, 3]. Во-вторых, на НМ может попасть адронный ствол ШАЛ, в котором количество частиц велико [4, 5]. Сохраняемые данные позволяют отбирать события множественности заданного числа M и получить детальную информацию о них [6]:

1. установить, импульсы от каких именно каналов образовали данное событие (распределение каналов в событиях данного номера M);
2. определить каковы временные интервалы между соседними импульсами в событии (временной профиль события номера M);
3. определить длительность события M целиком.

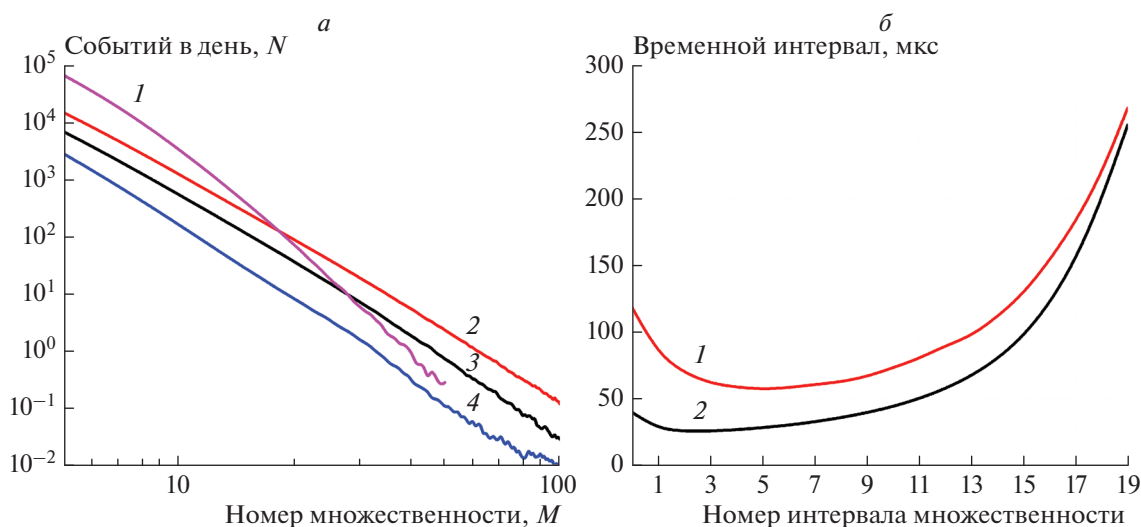


Рис. 1. Спектр множественностей на станциях: 1 – Хулугай, 2 – Баксан, 3 – Апатиты, 4 – Баренцбург. Спектры нормированы на сутки (а). Средний временной профиль события множественности $M = 20$ на станциях: 1 – Хулугай, 2 – Баксан (б).

Анализ показал, что события множественности на всех четырех станциях достаточно близки. При одинаковых M у них близкие временные профили и длительность события, распределения по каналам подобны. Некоторые отличия наблюдаются для Баксана. Он расположен в горах на высоте 1700 м, остальные три станции равнинные. Событий множественности на Баксане регистрируется больше в три раза, максимальное значение множественности примерно в два раза больше. Эти различия можно объяснить известным фактом, что с высотой поток вторичных космических лучей возрастает [2, 7]. Тем не менее, для подтверждения стоит провести исследование множественностей на НМ, расположенном еще выше. В 2019 г. на станции Иркутск-3 была восстановлена секция 6-НМ-64 в дополнение к работающей. Ниже проводится анализ первых результатов, полученных из накопленных данных.

Вопреки ожиданиям ст. Хулугай оказалась бедной событиями множественности. На рис. 1а приведены спектры множественностей для 4 станций. Различия в спектрах Апатитов и Баренцбурга объясняются конструктивными особенностями НМ. Большее число событий M в Баксане объяснялось высокогорным расположением станции. Ожидалось, что Хулугай покажет еще большее число событий M . На деле же только до $M \approx 15$ спектр Хулугая превышает Баксан, а далее с ростом M спектр резко падает, так что события $M \approx 50$ становятся единичными и не могут быть репрезентативными, тогда как в Баксане только при $M > 100$ становятся такими же редкими. Средний временной профиль событий $M = 20$ на Хулугае показывает в среднем большие интервалы между им-

пульсами. Отметим, что профили на других станциях идентичны Баксану. Наконец, на рис. 2 показано распределение вклада разных каналов в образование множественности. В Баксане (на других станциях распределения близки к нему) доля импульсов от одного и того же канала превышает 0.5 до значений $M = 10$. Это означает, что события $M \leq 10$ более чем на половину состоят из импульсов от одного канала (трубки). С ростом M доля импульсов от других трубок увеличивается, и при $M > 80$ все каналы примерно равновероятно вкладываются в формирование события M . Это явный признак, что НМ накрывает адронный ливень ШАЛ [5], когда из атмосферы по всему НМ попадают частицы. На Хулугае самая малая $M = 5$ уже больше, чем на половину состоит из импульсов от разных трубок. А примерно одинаковый вклад разных трубок в события множественности происходит при $M > 30-40$. Таким образом, регистрация адронного ливня ШАЛ на Хулугае происходит при меньшем числе частиц. При этом конструктивно секции НМ на Хулугае и Баксане одинаковые – 6-НМ-64.

Анализ показывает, что все значимые параметры событий множественности на Хулугае достаточно близкие имели бы значения, если принять, например, что в $M = 50$ на Хулугае по какой-то причине пропущена половина импульсов, и реально это $M = 100$, $M = 40$ соответствует $M = 80$ и т.д. Тогда спектр множественностей принимает типичный вид. Аналогично объясняется временной профиль множественности: пропуск каждого второго импульса вызовет возрастание среднего интервала на профиле. Примерно такой же множитель 2 требуется, чтобы распределения вероят-

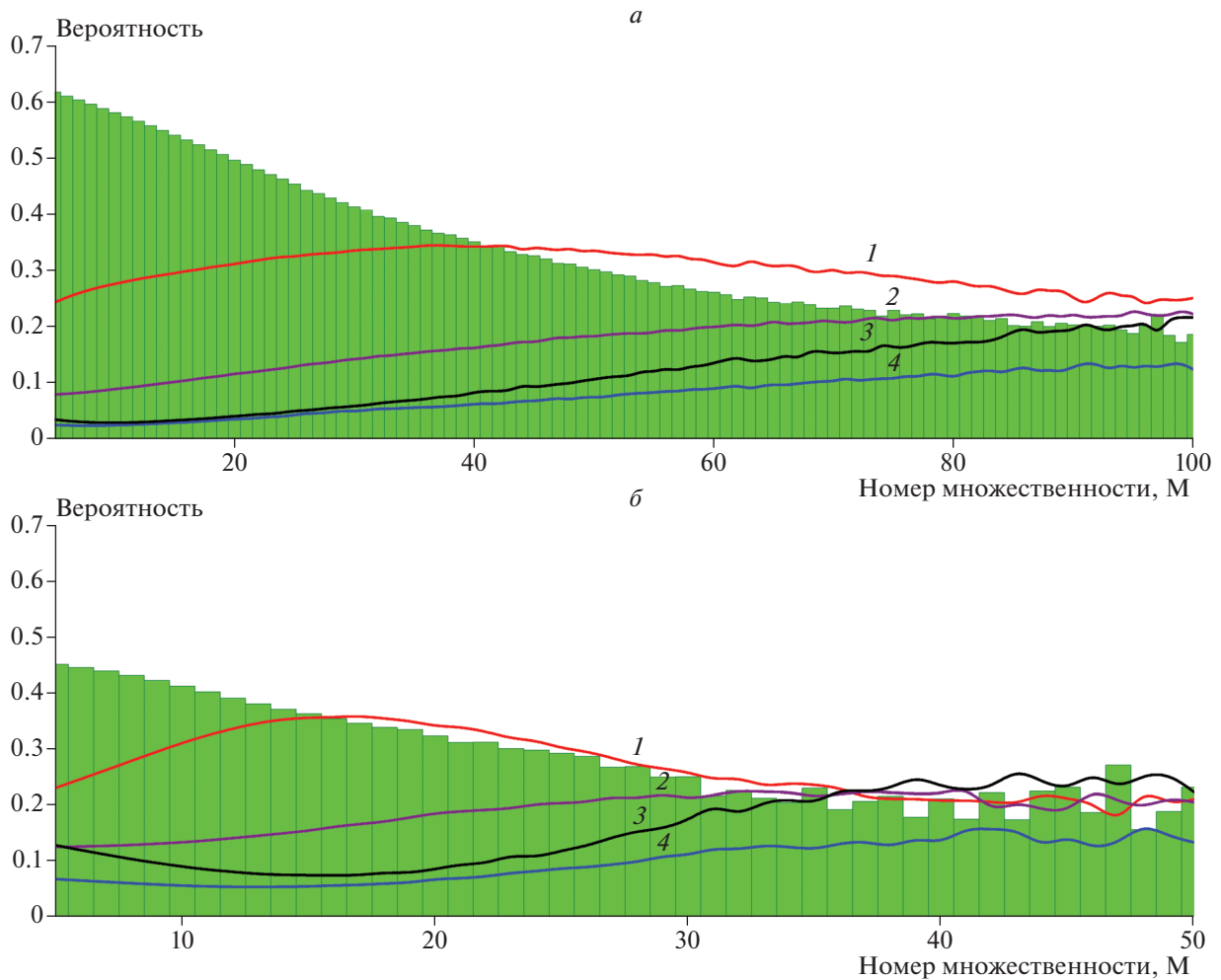


Рис. 2. Вероятность вклада в формировании множественности номера M разных каналов (трубок). Столбиками обозначена доля импульсов от одной и той же трубки, линия 1 – вклад импульсов от соседних трубок (разность номеров трубок равна 1), 2 – вклад импульсов от трубок, между которыми есть одна пропущенная трубка (разность между номерами равна 2), 3 – вклад трубок, между которыми разность равна 3, 4 – вклад трубок, между которыми разность равна 4. На ст. Баксан (*а*) и на ст. Хулугай (*б*).

ности по каналам в событиях на Хулугае стало близким к тому, которое имеют Баксан и другие станции. Другими словами, на Хулугае события M беднее импульсами примерно вдвое. Отчего это может быть?

Поскольку записывающая аппаратура идентична на всех станциях, и работа системы сбора на Хулугае тщательно проверена, допущение об аппаратурном дефекте маловероятны. Адронные ливни возникают в атмосфере, в материале НМ, но также они образуются в веществе над НМ (крыша, перекрытие). В Апатитах здание НМ имеет типичное перекрытие (дерево и керамический наполнитель), в Баксане над НМ находится бетонное перекрытие толщиной ~ 20 см. Развивающиеся в веществе крыши локальные ливни складываются с проходящими ливнями ШАЛ и увеличивают плотность частиц. На Хулугае НМ

расположен в легком деревянном бараке, крыша состоит из досок и пенопластового утеплителя. Малое количество вещества производит малое количество дополнительных локальных ливней.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря установке на высокогорной станции Иркутск-3 скоростной регистрирующей системы проведено изучение событий множественности. Несмотря на высокий темп счета НМ, событий множественности на нем оказалось мало. Сравнение с результатами, полученными на других НМ позволяет сделать заключение, что в пределах $M < 100$ события множественности формируются не только от адронных ливней ШАЛ, но и от локальных ливней в веществе над НМ.

Работа выполнена при поддержке Российского
научного фонда (проект № 18-77-10018).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Balabin Yu.V., Gvozdevsk B.B., Maurchev E.A. et al.* // *Astrophys. Space Sci. Trans.* 2011. V. 7. P. 283.
2. *Дорман Л.И.* Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей, М.: Наука, 1975. 402 с.
3. *Blokh Y.L., Dorman L.I., Kaminer N.S. et al.* // *Geomagn. Aeron.* 1971. V. 11. P. 891.
4. *Stenkin Yu.V.* // *Mod. Phys. Lett. A.* 2002. V. 17. No. 26. P. 1745.
5. *Stenkin Yu.V., Djappuev D.D., Valdes-Galicia J.F.* // *Phys. Atom. Nuclei.* 2007. V. 70. No. 6. P. 1088.
6. *Балабин Ю.В., Германенко А.В., Вашенюк Э.В. и др.* // *Phys. Auroral Phenom.* 2012. Т. 35. С. 92.
7. *Dorman L.I., Villoresi G., Iucci N. et al.* // *J. Geophys. Res.* 2000. V. 105. No. A9. P. 21047.

Study of multiplicity events on a high altitude neutron monitor

**Yu. V. Balabin^{a,*}, A. A. Lukovnikova^b, B. B. Gvozdevsky^a, A. V. Germanenko^a,
E. A. Mikhalko^a, I. V. Yankovsky^c**

^a*Polar Geophysical Institute, Apatity, 184211 Russia*

^b*Institute of Solar-Terrestrial Physics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia*

^c*Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, Russia*

**e-mail: balabin@pgia.ru*

In 2019, at the Irkutsk-3 cosmic ray station (Mount Khulugaysha, Eastern Sayany, 3000 m), an additional section of the neutron monitor was put into operation, equipped with a high-speed data collection system created at the Polar Geophysical Institute. For the first time, a high-speed collection system was installed on a high-mountain neutron monitor. Comparison of the characteristics of multiplicity events at lowland and high-mountain stations reveals significant differences in multiplicity events.