

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2019.42.218-221

## СРАВНЕНИЯ СОБЫТИЙ ВОЗРАСТАНИЯ ГАММА-ФОНА ПРИ ОСАДКАХ В ВЫСОКОГОРЬЕ И РАВНИННОЙ МЕСТНОСТИ

Ю.В. Балабин, Б.Б. Гвоздевский, А.В. Германенко, Е.А. Маурчев, Е.А. Михалко, Л.И. Щур

ФГБНУ "Полярный геофизический институт", г. Апатиты, Россия  
e-mail: balabin@pgia.ru

**Аннотация.** К настоящему времени наблюдения за мягким фоновым гамма-излучением (20-400 кэВ) в приземном слое атмосферы проводятся на нескольких станциях, которые можно разделить по месту расположения. Полярные равнинные станции Баренцбург, Апатиты, Тикси расположены за полярным кругом. Станции Якутск и Ростов находятся в равнинной местности в средних широтах. До последнего времени только одна станция (Саяны, Хулугай, 3000 м) являлась высокогорной. В конце 2018 появилась вторая высокогорная станция Нейтрино (1700 м, Кавказ). На всех указанных станциях измерения выполняются на однотипных детекторах, изготовленных в лаборатории космических лучей ПГИ. На станциях в течение всего года наблюдаются возрастания гамма-фона при осадках. Представлен анализ полученных на новой станции данных.

### Введение

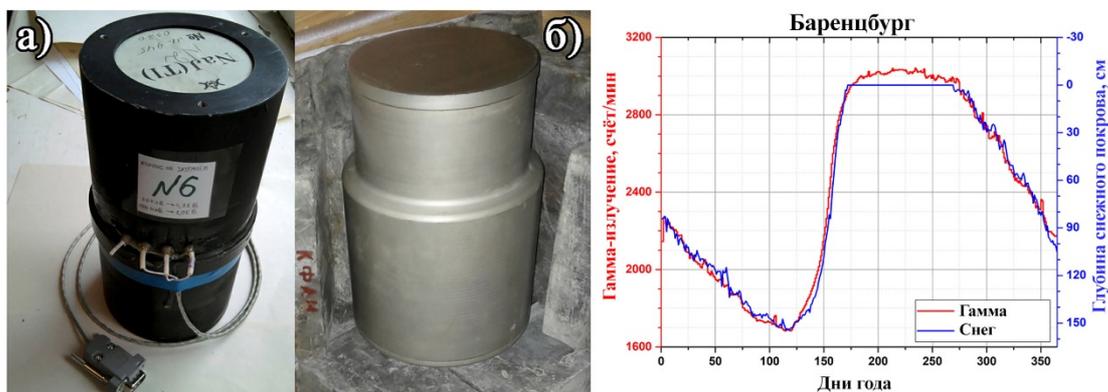
Явление возрастания гамма-фона при осадках было открыто в ПГИ с началом выполнения мониторинга фонового гамма-излучения в 2008 г. С тех пор это явление изучается, наблюдения расширяются, анализ выявляет новые особенности. Наиболее оснащена станция в Апатитах. На ней установлены большой и малый детекторы гамма-излучения (см. рис. 1), а также вспомогательные датчики. Малый детектор имеет выходные каналы >20 кэВ и >100 кэВ. С помощью большого детектора проводятся измерения дифференциального спектра гамма-излучения в диапазоне 0.2-8 МэВ с временем накопления одного спектра 30 мин. Подробное описание комплекса для мониторинга космических лучей в Апатитах есть в [1, 2].

К настоящему времени детекторы, аналогичные малому детектору, показанному на рис.1 (слева), установлены на станциях Баренцбург (арх. Шпицберген, 78° с.ш.), Тикси (72° с.ш.), Якутск (62° с.ш.), Ростов-на-Дону (47° с.ш.), пик Хулугай (Саяны, 52° с.ш.). В 2018 году детектор был установлен в п. Нейтрино (Северный Кавказ, 43° с.ш.). Станция называется Баксан. На всех станциях круглый год наблюдается возрастание гамма-излучения при осадках. Сравнение данных наблюдений, производимых в различных географических и геофизических условиях, позволило выявить важные особенности изучаемого явления.

В Апатитах находится наиболее полная и оснащенная система мониторинга гамма-фона, а также размещены детекторы других типов для мониторинга космических лучей. Вся регистрирующая аппаратура объединена в комплекс, данные детекторов и датчиков сохраняются в общей базе. Именно в Апатитах были получены важные результаты. Установлено, что, во-первых, возрастания при осадках происходят только в электромагнитной компоненте и не наблюдаются в заряженной (электронно-мюонной). Во-вторых, спектральные измерения показали, что спектр излучения, вызывающего возрастания, имеет верхний энергетический предел 2.5-3 МэВ. Дифференциальный энергетический спектр фонового (перед возрастанием) гамма-излучения имеет степенную форму и соответствует тормозному излучению, возникающему при распространении в атмосфере энергичных частиц вторичных космических лучей [3]. Дифференциальный энергетический спектр дополнительного излучения, возникающего при осадках, имеет экспоненциальную форму.

Кроме того, обнаружена годовая вариация гамма-излучения, составляющая десятки процентов (рис.1 справа). Эта вариация хорошо коррелирует с глубиной снежного покрова. Она четко выражена на станциях, где высота снежного покрова к концу зимы достигает 1-2 м (Апатиты, Баренцбург), менее выражена в Тикси и Якутске, где высота снежного покрова почти на порядок меньше, и отсутствует полностью в Ростове-на-Дону, где устойчивый снежный покров вообще не возникает. В данных станции Хулугай годовая вариация определяется неуверенно. Тому есть причины. Во-первых, метеостанция, где проводятся измерения толщины снежного покрова, имеется только в поселке Монды в ущелье на высоте 1300 м, а детектор расположен на пике Хулугай на высоте 3000 м, что означает: метеоданные пункта Монды очень приблизительно соответствуют метеорологической обстановке на пике Хулугай. Погода и осадки на дне ущелья на высоте 1300 м и погода на вершине высотой 3000 м могут различаться существенно. Во-вторых, на такой высоте даже летом может возникать временный снежный покров значительной толщины. По этим причинам данные пика

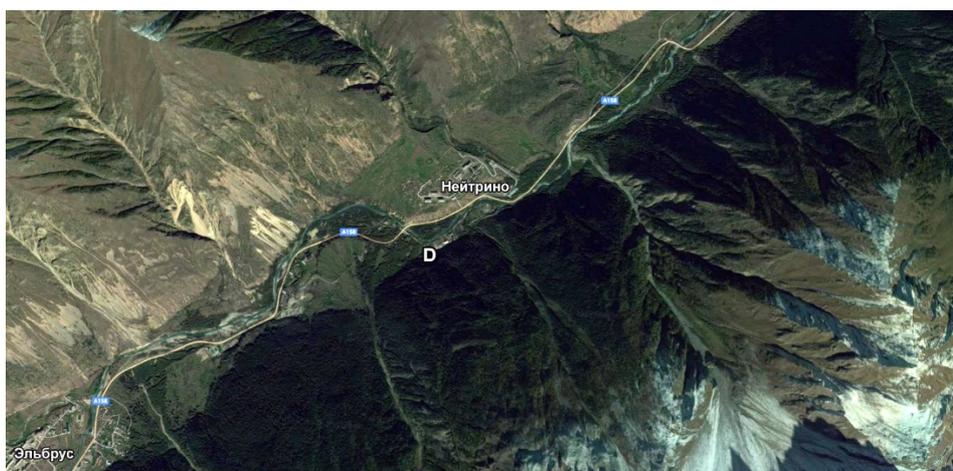
Хулугай по годовым вариациям не могут считаться надежными без проведения метеонаблюдений непосредственно в точке установки детектора.



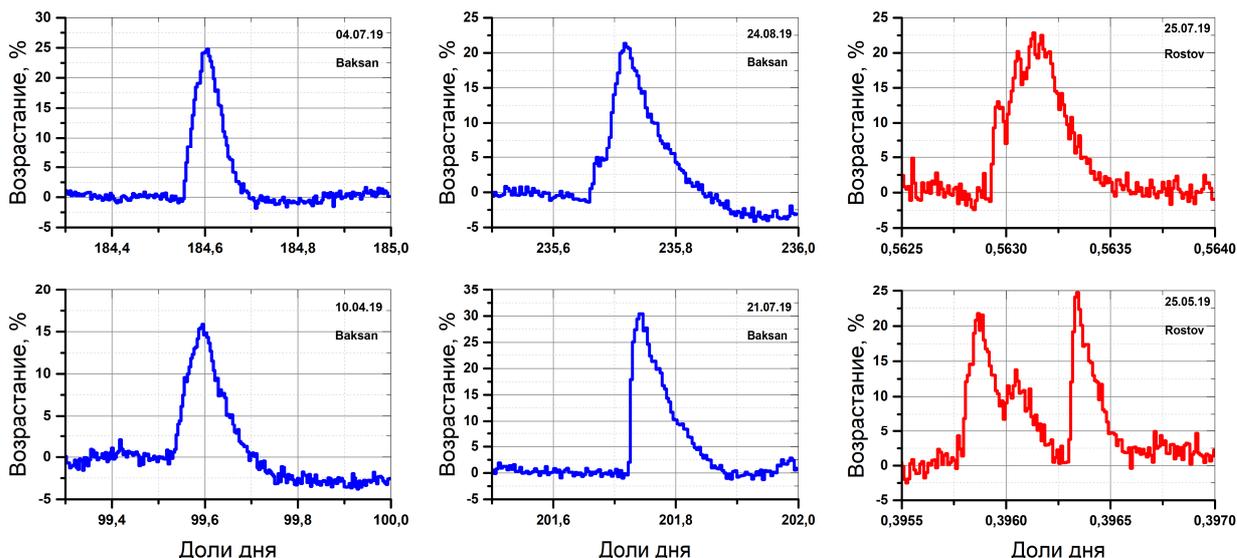
**Рисунок 1.** Слева: Детекторы гамма-излучения в Апатитах (малый,  $\varnothing 62$  (а) и большой,  $\varnothing 150$  (б)). Детекторы, идентичные малому, установлены на остальных 6 станциях. Детекторы обложены свинцовыми кирпичами толщиной 5 см для экранирования излучения от почвы и предметов (показано только для большого детектора). Справа: Годовая вариация гамма-излучения (красная линия) и годовой профиль высоты снежного покрова в Баренцбурге (синяя линия). Профили получены методом наложения эпох, использованы данные 2009-2018 г. Для лучшего восприятия шкала толщины снежного покрова направлена вниз.

### Новая точка наблюдения на Северном Кавказе

Малый детектор гамма-излучения, подобный показанному на рис. 1, установлен в п. Нейтрино в лаборатории, где находится установка "Ковер" для приема ШАЛ и нейтронный монитор. Поселок Нейтрино расположен на дне Баксанского ущелья на высоте 1700 м (см. рис. 2). На карте место размещения детектора указано белой буквой "D". Детектор размещен в выносном вагончике, где обеспечивается термостабилизация. Крыша представляет собой алюминиевый лист и пенопластовое утепление изнутри. Лаборатория ШАЛ "Ковер" находится у подножия северного склона г. Андырчи (высота более 3900 м). Детектор был установлен в самом конце 2018 г. и начал регистрировать возрастания. Профили типичных возрастаний гамма-излучения показаны на рис. 3. От профилей возрастаний на северных станциях (Тикси, Апатиты, Баренцбург) их отличает резкое начало и монотонный спад, наличие одного четкого максимума. На северных станциях профили часто имеют несколько локальных максимумов, нередко встречается очень растянутый фронт нарастания. Профили станции Баксан подобны профилям возрастаний в Ростове (рис. 3) – равнинной станции, расположенной в средних широтах. События возрастания в Баксане отличаются еще более резким началом и четкой обособленностью события: начало и конец события легко определяются.

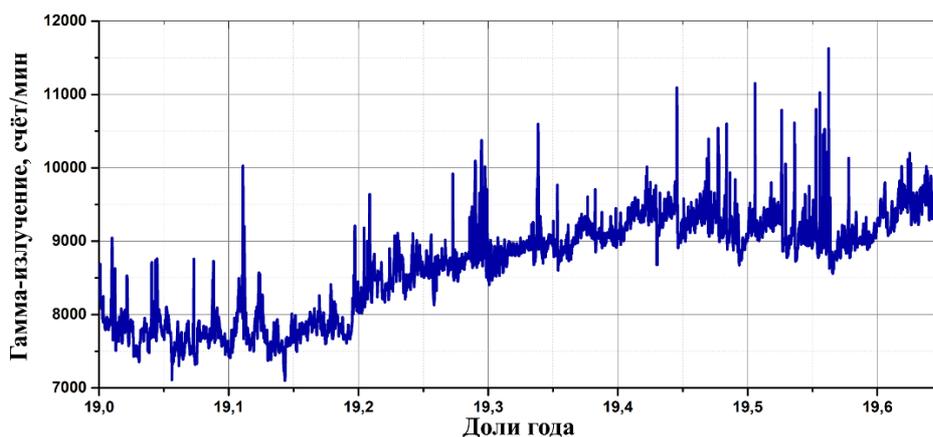


**Рисунок 2.** Скриншот окрестностей п. Нейтрино. Использован интернет-ресурс Google Maps [4]. Ширина дна ущелья составляет 800 м. Местоположение лаборатории с детектором гамма-излучения обозначено буквой "D" – у самого подножия склона г. Андырчи.



**Рисунок 3.** Слева и в центре. Типичные примеры возрастания гамма-излучения во время осадков (канал >100 кэВ) на станции Баксан в 2019. По ОХ – доли дня, по ОУ – амплитуда возрастания в процентах относительно базового уровня хорошей погоды накануне. Справа. Примеры возрастания гамма-излучения во время осадков (канал >100 кэВ) в Ростове в 2019. Использовано пятиминутное усреднение.

На данный момент собрано ещё недостаточно событий возрастаний, чтобы исследовать их распределение по разным параметрам: по амплитуде, длительности, выделившейся при возрастании энергии. Для такого анализа требуется выполнять наблюдения и собирать данные не менее 3-4 лет. Однако, на основании данных за первых 2/3 года возможно оценить наличие годовой вариации. Следует отметить общую характеристику места. Снежный покров сходит со дна ущелья в окрестностях Нейтрино в середине марта [5]. От Тырнауза (ниже Нейтрино по ущелью) до п. Эльбрус (выше Нейтрино по ущелью) Баксанское ущелье прямое и ориентировано с северо-востока на юго-запад [6]. Юго-восточный склон ущелья порос густым лесом, будучи ориентирован от солнца, этот склон получает меньше солнечной радиации, поэтому сход снежного покрова в лесу на юго-восточном склоне ущелья (или северном склоне горы Андырчи) происходит намного позже, со второй половине апреля.



**Рисунок 4.** Вариации счета детектора гамма-излучения (канал >100 кэВ) на станции Баксан в 2019 г. Использовано часовое усреднение. Сглаживание не выполнялось, чтобы также показать события возрастания при осадках (острые пики).

### Особенности годового профиля на станции Нейтрино

Представленный на рис. 4 профиль вариаций гамма-излучения на станции Баксан с начала 2019 года имеет важные особенности, подтверждающие ранее выдвинутые предположения о связи вариаций гамма-излучения с высотой снежного покрова. Резкий скачок интенсивности в середине марта (по ОХ при значении 19,2, соответствует середине марта) связан со сходом снежного покрова на дне ущелья в окрестности станции. Однако, в непосредственной близости находится покрытый снегом лесистый северный склон г. Андырчи. В

силу этого далее наблюдается продолжительный и постепенный рост интенсивности до конца апреля, связанный с медленным таянием снега на этом склоне. Резкий рост связан с быстрым стаиванием снега на дне ущелья в связи с хорошим прогревом дна ущелья солнцем. Вторая фаза медленного роста в течение полутора месяцев обусловлена постепенным прогревом атмосферы, так как прямой поток солнечной радиации на крутой северный склон г. Андырчи мал. Уникальность метеорологических и географических условий Баксанского ущелья позволяет разделить общий эффект от схода снежного покрова на две фазы: стаивание снежного покрова непосредственно около детектора и в некотором удалении от него.

Благодаря таким орографическим особенностям места размещения (на дне глубокого ущелья) профиль интенсивности гамма-излучения на протяжении января-августа не только показал наличие типичной годовой вариации, но и позволил уточнить причины возникновения этой вариации. Переход от зимнего уровня к летнему на этой станции происходит в две стадии. Одна стадия соответствует быстрому стаиванию снежного покрова на дне ущелья с началом весны. Она выражена на профиле подскоком счета при  $X = 19.2$ . Вторая соответствует стаиванию на крутом склоне, ориентированном в сторону от солнца. Стаивание снега в таких условиях больше связано с прогревом всей атмосферы, а не прямой инсоляцией склона. На профиле в этот период отмечается медленный рост гамма-излучения до значения  $X = 19.4$ . На равнинной станции стаивание снежного покрова происходит примерно одинаково по всей окрестности, и такой двухстадийный эффект невозможен.

Хотя связь между годовой вариацией гамма-излучения и высотой снежного покрова несомненна уже по данным Апатитов и Баренцбурга (см. рис. 1), а также [2, 7], станция Баксан показывает важные детали, которые в дальнейшем позволят получить количественные оценки. При дальнейших наблюдениях при таянии снега весной следует выполнять оценку смещения снежной границы по склону. Это позволит оценить значение важного параметра: "радиус влияния" снежного покрова на уровень гамма-излучения.

## **Выводы**

Высокогорная станция, проводящая измерения мягкого гамма-излучения (20-400 кэВ), приходящего из атмосферы, установлена на Кавказе в Баксанском ущелье. Она размещена в уникальных географических условиях: на дне узкого и глубокого ущелья. Благодаря этим специфическим условиям профиль годовой вариации показал особенности, которые подтверждают высказанные предположения о происхождении годовой вариации. Также анализ событий возрастных, зарегистрированных на станции, показал, что параметры профилей (выраженность максимума, передний и задний фронт) близки к другой среднеширотной станции Ростов-на-Дону. Впрочем, для построения статистически значимого распределения параметров возрастных необходимы наблюдения в течение 3-4 лет.

## **Литература**

1. Germanenko A.V., Yu.V. Balabin, E.V. Vashenyuk, B.B. Gvozdevsky, L.I. Schur. High-energy photons connected to atmospheric precipitations // *Astrophys. Space Sci. Trans.*, V.7, P.471–475, 2011.
2. Balabin Yu.V., A.V. Germanenko, B.B. Gvozdevsky, E.V. Vashenyuk. Variations in the Natural X Ray Background in the Polar Atmosphere // *Geomagnetism and Aeronomy*, V.54, N.3, P.347–356, 2014.
3. Хаякава С. «Физика космических лучей. Ч.1: Ядерно-физический аспект; Ч.2: Астрофизический аспект.», М.: Наука, 1974, 1042 С.
4. <https://www.google.com/maps/@43.2729875,42.6862505,1034m/data=!3m1!1e3>
5. [https://rp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Тырныаузе](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Тырныаузе)
6. <http://www.freemaps.ru/?m=0&z=12&x=42.710896&y=43.266456>
7. Yu.V. Balabin, B.B. Gvozdevsky, A.V. Germanenko, A.A. Lukovnikova, A.A. Toropov. Daily and Seasonal Variations of Soft Gamma Radiation in the Lower Atmosphere // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, Vol. 83, No. 5, P. 596–599, 2019.