

УДК 551.521.64

ОБЩИЕ СВОЙСТВА ВОЗРАСТАНИЙ ГАММА-ФОНА И ИХ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

© 2019 г. Ю. В. Балабин¹, *, Б. Б. Гвоздевский¹, А. В. Германенко¹, Е. А. Маурчев¹,
Е. А. Михалко¹, А. А. Луковникова², А. А. Горопов³

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

³Институт космических исследований и аэрономии им. Ю.Г. Шафера
Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное структурное подразделение
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра
“Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук”, Якутск, Россия

*E-mail: balabin@pgia.ru

Поступила в редакцию 15.09.2018 г.

После доработки 06.11.2018 г.

Принята к публикации 28.01.2019 г.

В Полярном геофизическом институте была разработана и создана система для мониторинга мягкого гамма-излучения, возникающего в атмосфере от космических лучей. Регистрация ведется в двух диапазонах: 20–400 кэВ и 0.2–8 МэВ. Мониторинг ведется с 2010 года на станциях космических лучей в Апатитах и Баренцбурге (арх. Шпицберген). С началом наблюдений было обнаружено новое явление: возрастание гамма-фона при осадках. При этом установлено: радионуклиды в осадках отсутствуют. Наличие большого массива данных о таких возрастаниях позволяет выполнить анализ и выделить характерные особенности этих событий.

DOI: 10.1134/S0367676519050090

ВВЕДЕНИЕ

В Полярном геофизическом институте ведется мониторинг фоновое гамма-излучения (20–400 кэВ), создающегося космическими лучами в атмосфере [1]. К настоящему времени однотипные детекторы установлены в шести пунктах от Баренцбург (арх. Шпицберген) до средних широт (Ростов-на-Дону). Однако уникальная и обширная база данных об уровне гамма-излучения и его вариациях за период 2009–2017 г. имеется только в Апатитах и Баренцбурге. С началом наблюдений было обнаружено возрастание гамма-фона при осадках. Возрастания происходят круглый год и достигают иногда 90%. Как было установлено дополнительными экспериментами [2, 3], эти возрастания не связаны ни с радионуклидами в осадках, ни с увеличением концентрации радона в приземном слое воздуха. Они наблюдаются только в электромагнитной компоненте, возникающей в атмосфере от космических лучей. В состав системы мониторинга входит датчик, разработанный в лаборатории Арктики в ПГИ. Датчик выполняет измерение интенсивности осадков раз в минуту [4]. Именно благодаря синхронным из-

мерениям интенсивности осадков и гамма-фона с разрешением 1 мин было однозначно установлено, что возрастания связаны с осадками [5]. На станции Апатиты таких событий зарегистрировано более полутора тысяч, в Баренцбурге – около пятисот. Такой большой массив данных позволяет провести обработку событий для выявления общих характеристик, изучить распределение этих характеристик по разным параметрам.

1. МЕТОДИКА АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Используемые детекторы калиброваны по известным линиям, размещены в свинцовых стаканах с толщиной стенок 5 см, экранирующих излучения от почвы и окружающих предметов. В результате многолетних наблюдений было обнаружено, что возрастание потока гамма-излучения происходит круглый год. Однако было отмечено, что в холодный период амплитуда возрастаний меньше. Для того чтобы исключить другие вариации, был принят порог в 5%: возрастания меньшей амплитуды не рассматриваются как события. Типично возрастание в 30–40%, в году случается одно событие

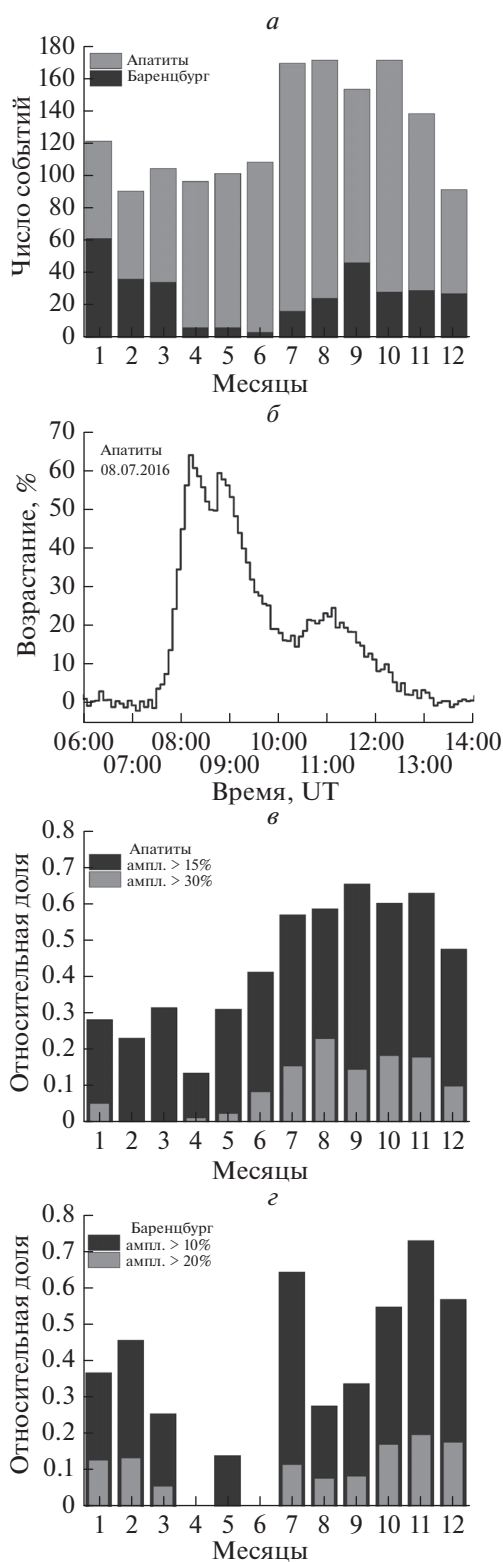


Рис. 1. *а* – Распределение по месяцам количества событий возрастаний гамма-излучения, зарегистрированных на станциях за 8 лет (2010–2017 г); *б* – пример возрастания в Апатитах; *в* и *г* – распределение по месяцам событий с амплитудой не менее установленной в Апатитах и Баренцбурге, соответственно. По оси *OY* указана доля событий с заданным параметром от общего количества событий в данный месяц.

60–90%. На рис. 1*б* показан профиль типичного события. Использовался канал детектора >20 кЭВ.

Данные за весь срок были обработаны, выделены все события выше порога 5% и определены следующие параметры: амплитуда возрастания, длительность события, длительность фронта события (от фона до 0.9 максимума), наибольшая скорость нарастания и скорость спада, общая продолжительность события и др. В качестве базового уровня принимался фоновый уровень гамма-излучения во время хорошей погоды перед событием.

Всего отобрано событий в Апатитах 1524, в Баренцбурге – 429. Уже при работе с данными была сделана качественная оценка: в зимний период событий меньше, амплитуда их в среднем меньше. Полученное (рис. 1*а*) распределение числа событий по месяцам подтверждает это для Апатитов, но для Баренцбурга оценка оказалась неверной. Для Баренцбурга правильнее сказать, что почти весь холодный сезон (с сентября по март) количество событий существенное, а глубокий провал приходится на апрель–июнь, затем восстанавливается к обычному уровню. Пики в январе и сентябре в Баренцбурге вполне значимы, больше статистического разброса.

Качественно отмечалось ранее, что в холодный сезон обычно бывают возрастания меньшей амплитуды. Хорошо видно, что возрастания выше 30% в холодный сезон (включая май) в Апатитах практически не случаются. Примечательно, что три месяца (апрель–июнь) возрастаний в Баренцбурге очень мало с любой амплитудой. В Баренцбурге события в целом имеют меньшую амплитуду, поэтому пороги отбора понижены. О том, какое значение задать для критериев отбора событий на каждой станции, было проведено отдельное исследование, представленное в другой работе [6].

Как видно на примере события на рис. 1*б*, профиль возрастания имеет сложную форму с несколькими локальными максимумами, соответствующими усилению интенсивности осадков. Как правило, в событии достаточно легко выделить передний фронт, в то время как задний фронт в силу нескольких локальных максимумов определить трудно.

На рис. 2*а* и 2*б* показано распределение событий с резким началом (крутой фронт). Для Апатитов явно присутствует выраженная зависимость крутизны переднего фронта события от сезона. В Баренцбурге событий с фронтом <50 мин просто нет, для этой станции выбраны другие критические значения, однако подобной сезонной выраженности нет.

На рис. 2*в* и 2*г* представлено распределение событий по параметру “полная энергия за время события”. Спектральная чувствительность де-

текторов измерена. Также в Апатитах: был измерен дифференциальный спектр излучения, добавляющегося к фоновому потоку и создающего событие возрастания [7]. Такой спектр измеряется в течение ряда лет, были получены средние спектры. Их форма имеет экспоненциальный вид. На основе этих параметров (спектральной чувствительности детектора и дифференциального спектра излучения) вычислена средняя энергия одного кванта на один импульс (акт регистрации) – 100 кэВ. Таким образом, в дальнейшем для оценок полного потока излучения, переносимого во время возрастания, можно принять, что каждый импульс детектора соответствует одному кванту 100 кэВ, а просуммировав все дополнительные (сверх фона) импульсы за время события, можно определить полную энергию, попавшую на детектор за время одного события. В работе [6] было определено пороговое значение. Результат оказался неожиданным. Несмотря на то, что события в Апатитах имеют большие амплитуды, чем в Баренцбурге, события с большим выделением энергии происходят чаще именно в Баренцбурге. В Апатитах типичны короткие события с большой амплитудой, как на рис. 1б. В Баренцбурге событий с амплитудой больше 35% не наблюдается, однако их длительность порой достигает суток.

2. ОБСУЖДЕНИЕ

Распределения по месяцам были определены для большого числа параметров возрастания. Из них следует, что в течение года имеются периоды, когда событий с заданными параметрами происходит мало. Для Апатитов таким периодом, но не слишком выраженным, является интервал апрель-май, для Баренцбурга – апрель-июнь. Однако по выделенной энергии события на этих станциях примерно одинаковы с некоторым превышением в Баренцбурге. Следовательно, энергетика процесса, вызывающего возрастание на разных станциях, мало меняется как от сезона к сезону, так и от места наблюдения. Возрастания гамма-излучения обусловлены неким глобальным фактором, действующим во всей атмосфере. В целом сравнение профилей возрастания – а во время обработки массивов данных они все были проанализированы визуально – с профилями осадков и полученными распределениями подталкивает к выводу, что возрастание фонового гамма-излучения в атмосфере в сильной степени определяется метеорологическими процессами (облаками и осадками) и может быть использовано для детального изучения последних. Например, есть указание, что полная выделенная энергия во время возрастания может быть связана с общим количеством выпавших осадков. Конечно этот вывод можно

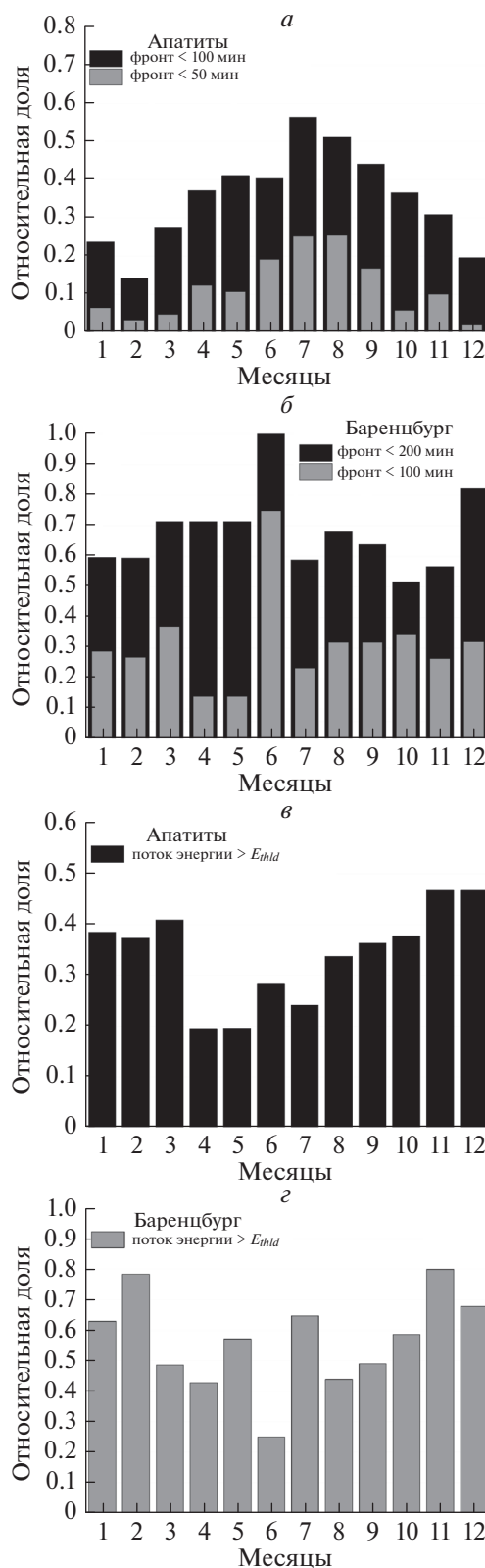


Рис. 2. а и б – Распределения событий с передним фронтом заданной длительности для Апатитов и Баренцбурга соответственно; в и г – распределение событий по полной энергии, выделившейся дополнительно во время возрастания. По оси ОУ указана доля событий с заданным параметром от общего количества событий в данный месяц.

сделать после того, как это явления будет хорошо изучено и понят его механизм. Одних наземных измерений в шести точках явно недостаточно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе большой базы данных, накопленной по событиям возрастаний гамма-фона в Апатитах и Баренцбурге, проведен анализ и получено распределение событий по месяцам по разным параметрам. Подтверждены ранее сделанные качественные выводы, что в Баренцбурге события возрастания явно меньше по амплитуде, они менее выражены (растянутый фронт, начало сложнее определяется). Однако по такому важному параметру как полная выделившаяся энергия за время события различия между станциями невелики. Возрастания гамма-излучения вероятно обусловлены неким глобальным фактором, действующим во всей атмосфере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хакаява С.* Физика космических лучей. Ч. 2. Астрофизический аспект. М.: Мир, 1974. 343 с.
2. *Balabin Yu.V., Germanenko A.V.* // Proc. of 33rd ICRC (Rio de Janeiro. Springer 2013).
3. *Germanenko A.V., Balabin Yu.V., Vashenyuk E.V. et al.* // Astrophys. Space Sci. Trans. 2011. V. 7. P. 471.
4. *Шишаев В.А., Белоглазов М.И.* // Приб. и техн. эксп. 2011. № 2. С. 156; *Shishaev V.A., Beloglazov M.I.* // Instr. Exp. Tech. 2011. V. 54. № 2. P. 291.
5. *Балабин Ю.В., Германенко А.В., Гвоздевский Б.Б. и др.* // Геомагн. и аэрон. 2014. Т. 54. С. 376; *Balabin Y.V., Germanenko A.V., Gvozdevsky B.B. et al.* // Geomagn. Aeron. 2014. V. 54. P. 347.
6. *Балабин Ю., Луковникова А., Торопов А. и др.* // Abstract book of XL Annual Seminar "Phys. of Auroral Phenom.", 2018.
7. *Germanenko A.V., Balabin Yu.V., Gvozdevsky B.B.* // Proc. of V Int. Conf. Atmosphere, Ionosphere, Safety. (Kaliningrad. IKBFU, 2016).