

УДК 551.521.64

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ВОЗРАСТАНИЙ ФОНОВОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

© 2019 г. Е. А. Михалко<sup>1</sup>, \*, Ю. В. Балабин<sup>1</sup>, Е. А. Маурчев<sup>1</sup>,  
А. В. Германенко<sup>1</sup>, Б. Б. Гвоздевский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
“Полярный геофизический институт”, Апатиты, Россия

\*E-mail: mikhalko@pgia.ru

Поступила в редакцию 15.09.2018 г.

После доработки 06.11.2018 г.

Принята к публикации 28.01.2019 г.

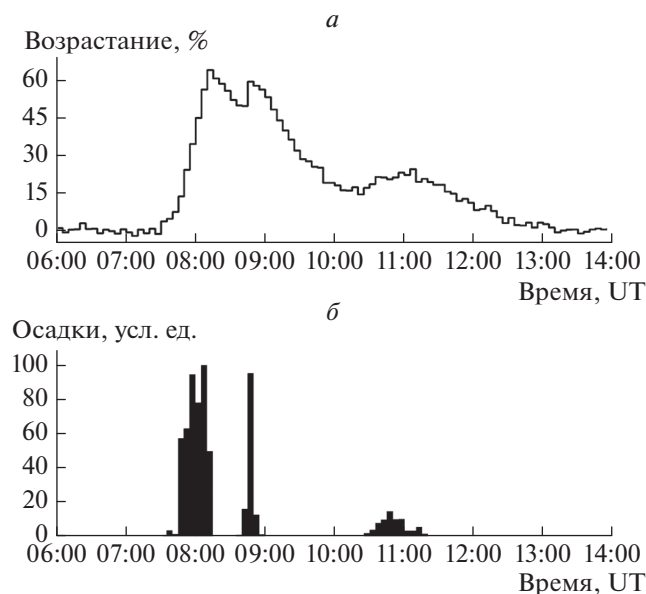
В лаборатории космических лучей ПГИ (Апатиты) несколько детекторов объединены в комплексную систему мониторинга электромагнитной составляющей вторичных космических лучей (ВКЛ). Дополнительно в эту систему включен детектор дифференциального спектра гамма-излучения на основе кристалла NaI(Tl). Время сбора одного спектра гамма-излучения составляет 30 мин, энергетический диапазон лежит в пределах значений от 0.2–8 МэВ. Следует заметить, что спектрометр так же, как и другие детекторы, был предварительно откалиброван по известным линиям. Во время атмосферных осадков наблюдается возрастание фонового гамма-излучения, и с момента установки детектора было зарегистрировано более 1500 таких событий. К настоящему моменту произведен ряд долговременных измерений, позволяющий детально изучить энергетические параметры событий возрастания. Основной задачей проводимого исследования является сравнение характеристик между спектрами при ясной погоде и при различных типах осадков. Особое внимание в работе уделяется радиационному анализу проб, собранных во время дождя. Результаты показывают, что полностью отсутствует загрязнение воды радионуклидами. Это позволяет сделать вывод, что наблюдаемый эффект возникает вследствие сугубо атмосферного влияния. Предварительная интерпретация явления заключается в построении модели ускорения заряженных частиц ВКЛ в электромагнитных полях грозных дождевых облаков. Представлены результаты расчетов, а также показана их согласованность с экспериментальными данными.

DOI: 10.1134/S0367676519050272

### ВВЕДЕНИЕ

В результате взаимодействия потока КЛ с ядрами атомов воздуха в атмосфере Земли возникает целый каскад из различных частиц, потоки которых можно классифицировать как адронную, нейтронную и электромагнитные компоненты вторичного космического излучения (ВКИ) [1]. В лаборатории КЛ ПГИ (г. Апатиты) разработана комплексная система мониторинга, объединяющая в себе различные виды детекторов для регистрации ВКИ в непрерывном режиме. Для наблюдения за потоками частиц электромагнитной компоненты используются сцинтилляционные спектрометры, различные по геометрическим размерам и диапазону регистрируемого спектра. Возрастания фонового гамма-излучения при осадках были впервые замечены группой исследователей из ПГИ [2, 3]. Необходимость изучения данного эффекта объясняется тем, что выявлен дополнительный механизм взаимодействия ВКЛ и атмосферы, имеющий прямую связь с метеорологическими процессами. Результаты исследования нового явления могут иметь важное приклад-

ное значение в аспекте влияния космических лучей на метеопроцессы, в том числе на климат и погоду [4]. Долговременные наблюдения увеличения значений потоков гамма-квантов ВКЛ во время осадков показывают, что возрастание от средней линии достигает 90%. Этот эффект далее называется событием возрастания электромагнитного потока в приземном слое атмосферы. Существенных различий по типу осадков (дождь, снег или туман) выявлено не было, но постоянно наблюдается более высокий уровень летних возрастаний по сравнению с зимними. Возрастания не связаны с радиоактивным загрязнением осадков, происходят только в электромагнитной компоненте ВКИ и отсутствуют в заряженной [5]. В этой работе применялись данные, полученные при помощи сцинтилляционного спектрометра, сконструированного на основе кристалла NaI(Tl), Ø150 × 100 мм. Этот детектор используется для измерения энергетического спектра гамма-квантов в диапазоне от 200 кэВ до 8 МэВ. В качестве преобразователя оптических сигналов в электрические используется фотоумножитель ти-



**Рис. 1.** Показан профиль возрастания гамма-излучения, полученный по данным сцинтиляционного спектрометра совместно с зарегистрированным уровнем атмосферных осадков в г. Апатиты 08.07.16.

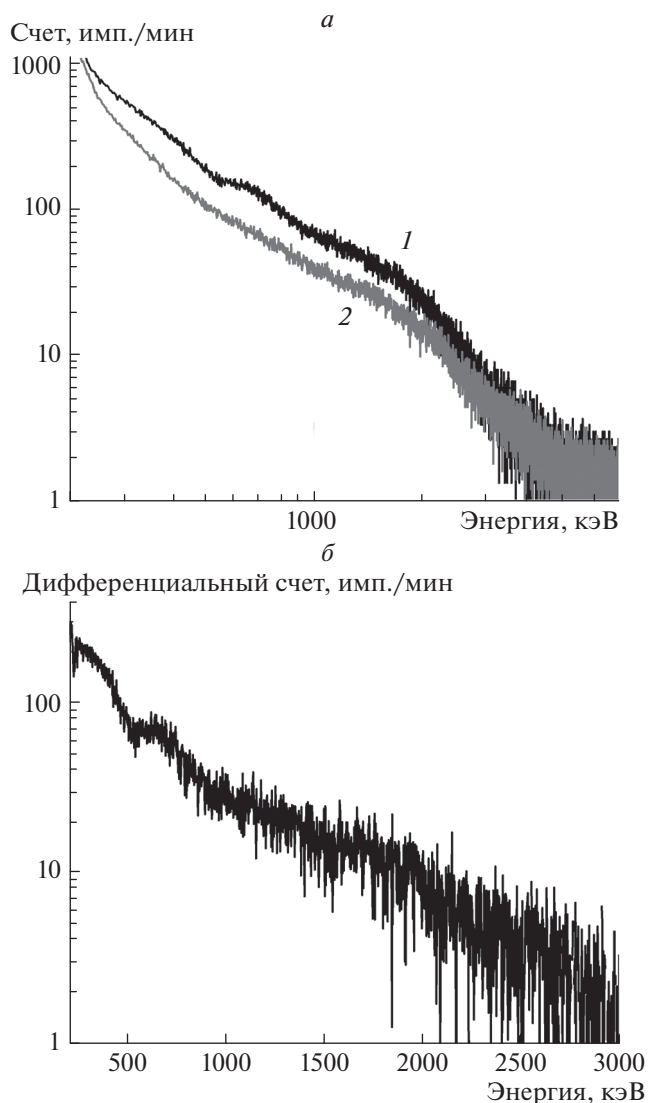
па ФЭУ-125. Совместно с детектором подключен 4096-канальный амплитудный анализатор, с помощью которого можно получать дифференциальные энергетические спектры регистрируемого излучения. Время записи одного файла со спектром составляет 30 мин. Детектор окружен свинцовыми кирпичами толщиной не менее 5 см, экранирующими фоновое излучение от земли.

### ЭФФЕКТ ВОЗРАСТАНИЯ ГАММА-ФОНА

Непрерывно на станциях наблюдается увеличение потока гамма-частиц при наличии атмосферных осадков. В настоящее время в Апатитах (с 2009 года) обнаружено более 1500 таких событий возрастания и более 500 на Шпицбергене на станции Баренцбург (с 2010 года), где установлен аналогичный детектор [6]. Эти события имеют длительность от 2–3 ч до нескольких дней, в зависимости от продолжительности осадков. Дополнительные эксперименты показали, что осадки не загрязнены никакими радионуклидами. На рис. 1 показано возрастание фонового гамма-излучения при наличии осадков. Максимум возрастания в 65% наблюдается уже через 15 мин, после того как был достигнут максимальный уровень осадков в этот день.

### ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ ВОЗРАСТАНИЙ

В течение периода с 2009–2018 гг. было зарегистрировано большое количество событий возрастания



**Рис. 2.** *a* – Энергетические спектры регистрируемого гамма-излучения: 1 – в период возрастания, 2 – фоновый спектр до возрастания; *б* – разность этих спектров.

таний. При этом постоянные измерения дифференциальных энергетических спектров потоков гамма-квантов на уровне земли включены в состав эксперимента с 2012 г. Принцип используемой методики заключается в следующем. Возрастание означает появление дополнительного потока излучения, возможно, другой природы и с другим спектром. Спектром возрастания назван энергетический спектр именно дополнительной части гамма-излучения, обеспечивающей возрастание. Спектральная характеристика частиц, которые вызвали возрастание, является результатом операции вычитания данных до наступления события из данных во время наблюдения явления. На рис. 2*a* показаны два спектра: при ясной погоде (2) и при осадках (1). Хорошая статистическая точность при получении спектра возрастаний достигается

путем усреднения наборов данных для интервала в несколько часов. Для получения фонового спектра перед возрастанием достаточно выбрать время с интервалом несколько часов до события возрастания, на профиле возрастания (рис. 1) этот период составляет с 6:00 до 7:30 ч. А для получения спектра во время осадков, который был бы удовлетворителен по точности, необходимо выбирать крупные события возрастания продолжительностью минимум 1–1.5 ч (на рис. 1 это время с 8:00 до 9:30) и амплитудой возрастания не менее 30%. Следует заметить, что энергетические спектры гамма-излучения имеют форму, близкую к степенной. Предположительно, такой вид спектра указывает, что излучение обусловлено процессами, связанными с тормозным излучением при взаимодействии ВКИ и атмосферы. Также форма спектра подтверждает отсутствие радиоактивных элементов в осадках. Разность двух спектров показана на рис. 2б путем применения численного интегрирования, рассчитали поток энергии возрастания излучения, который составляет около  $70 \text{ кэВ} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Описанный алгоритм был применен к десяткам крупных событий, наблюдаемых начиная с 2012 г. Полученный результат дает возможность оценить спектральные характеристики возрастания. Хотя нижняя граница спектральных измерений определяется нижним порогом детектора от 200 кэВ, стоит отметить, что поглощение гамма-излучения воздухом в диапазоне 200–500 кэВ сильно зависит от энергии, соответственно, измеренные спектры в этом диапазоне довольно существенно искажены и не отражают настоящий спектр излучения. Целесообразнее поднять нижнюю границу достоверных измерений спектра возрастаний до 500 кэВ. Верхний энергетический предел спектра возрастания составляет 2–2.5 МэВ. Соответственно, энергетический спектр возрастания имеет форму функци-

ональной зависимости, близкую к экспоненциальной, в диапазоне 0.5–2.5 МэВ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прямое вычисление разности спектров возможно только для возрастаний большой амплитуды и длительности. В других случаях флуктуации составляют десятки процентов. Возрастание вызывается дополнительным потоком излучения с экспоненциальным энергетическим спектром, суммирующимся с фоновым излучением, имеющим степенной энергетический спектр. В то же время вариации гамма-излучения в ясную погоду оказываются лишь вариациями интенсивности при сохранении формы спектра. Наблюдается отчетливый верхний энергетический предел излучения, сопровождающего осадки, который составляет 2–2.5 МэВ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика. Уч. пос. М.: Наука, 1980. 728 с.
2. Balabin Y.V., Germanenko A.V., Gvozdevsky B.B. et al. // J. Phys. Conf. Ser. 2013. V. 409. Art. no. 012243.
3. Балабин Ю.В., Германенко А.В., Гвоздевский Б.Б. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2013. Т. 77. С. 639; Balabin Yu.V., Germanenko A.V., Gvozdevsky B.B. et al. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2013. V. 77. P. 572.
4. Дорман Л.И. Метеорологические эффекты космических лучей. М.: Наука, 1972. 211 с.
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. Гвоздевский Б.Б., Балабин Ю.В., Германенко А.В. и др. // Вест. Кольского науч. центра РАН. 2010. Т. 2. С. 104.