

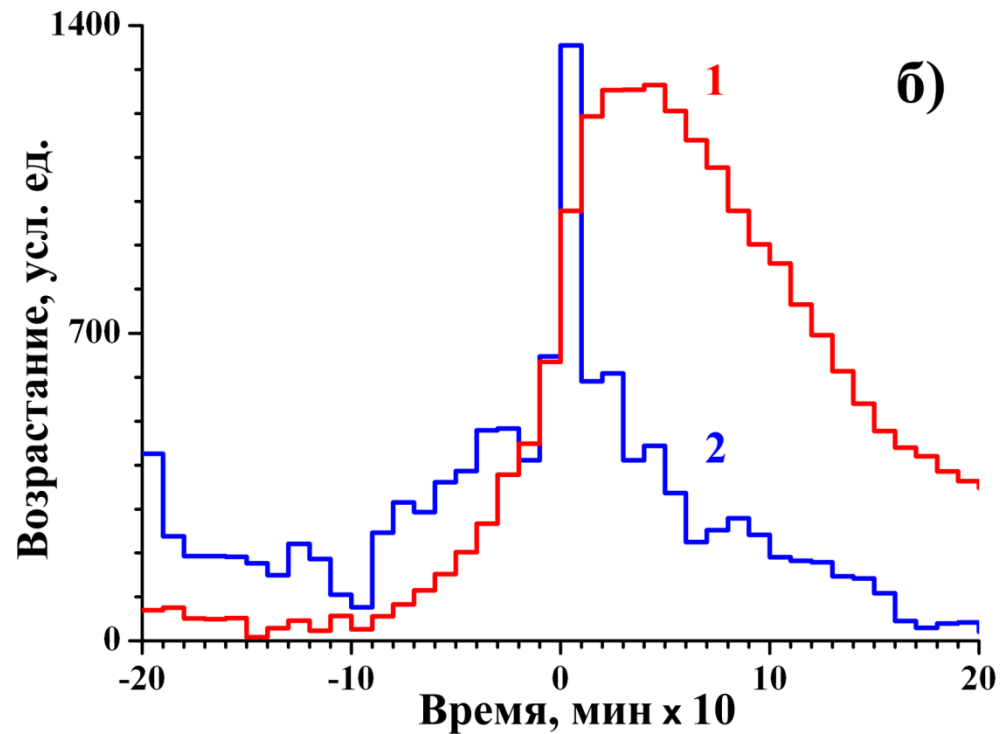
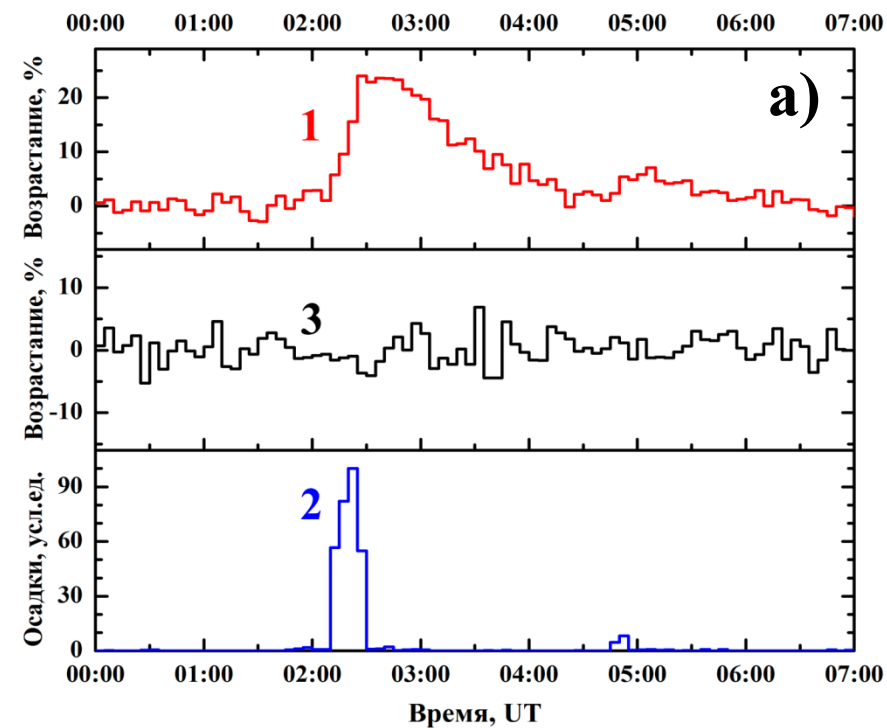
СПЕКТРЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ВОЗРАСТАНИЯХ, ИЗМЕРЕННЫЕ В ТРЕХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ

**Балабин Ю.В., Гвоздевский Б.Б., Германенко А.В.,
Михалко Е.А.**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Полярный геофизический институт" Российской академии наук, Апатиты, Россия.

В Апатитах и Баренцбурге с 2009 г. проводится мониторинг электромагнитного излучения, приходящего из атмосферы. Это излучения является мягкой компонентой вторичных космических лучей, возникающих в атмосфере Земли от первичных космических лучей. Отмечаются возрастания потока электромагнитного излучения, связанные с осадками, и достигающие в отдельных событиях 100 % от уровня при ясной погоде. С 2022 г. начаты измерения дифференциального спектра гамма-излучения в диапазоне 0.1-4 МэВ в трех пунктах. Используются спектрометрические сцинтилляционные кристаллы NaI(Tl) Ø75×75 мм. Поле зрения ограничено свинцовой защитой и соответствует конусу с углом около 90°, обращенным в зенит. Спектрометры прокалиброваны по линиям радионуклидов: К-40, Na-22, Cs-137, Co-60. Разработана методика выделения спектра дополнительного потока, создающего возрастание. Проводились измерения в трех значительно различающихся по геофизическим условиям пунктах: в средних широтах (Тацинская, Ростовская обл.), в субарктической зоне (Апатиты) и в арктической тундре (Баренцбург). Указанные пункты различаются по антропогенному воздействию. Вблизи от Тацинской и Апатитов находятся многочисленные промышленные объекты, плотность населения значительная. Баренцбург удален от населенных и промышленных областей на 1000 км.

В Тацинской получены спектры гамма-излучения при возрастаниях потока гамма-излучения во время гроз и ливней. В Апатитах грозы редки, а возрастания отмечаются летом и зимой при осадках любой формы. За время спектральных измерений в Апатитах накоплены сотни спектров во время возрастаний. В Баренцбурге, возрастания имеют меньшую амплитуду, поэтому не все возрастания позволяют выполнить спектральные измерения. Дополнительный поток излучения, связанный с возрастанием, имеет энергетический предел ~2.5 МэВ для всех наблюдений. На спектрах присутствуют линии естественных радионуклидов: К-40, Pb-214, Bi-214. Наблюдается слабая линия аннигиляции позитронов 511 кэВ. Однако, для всех спектров суммарный вклад всех линий в спектр ~10 %, в основном спектр представляет собой континуум с убывающей функциональной зависимостью от энергии. Таким образом, возрастания гамма-излучения не обусловлены радионуклидами в осадках, а имеют иную природу и, по-видимому, вызваны влиянием метеорологических процессов в атмосфере на генерацию вторичных космических лучей.



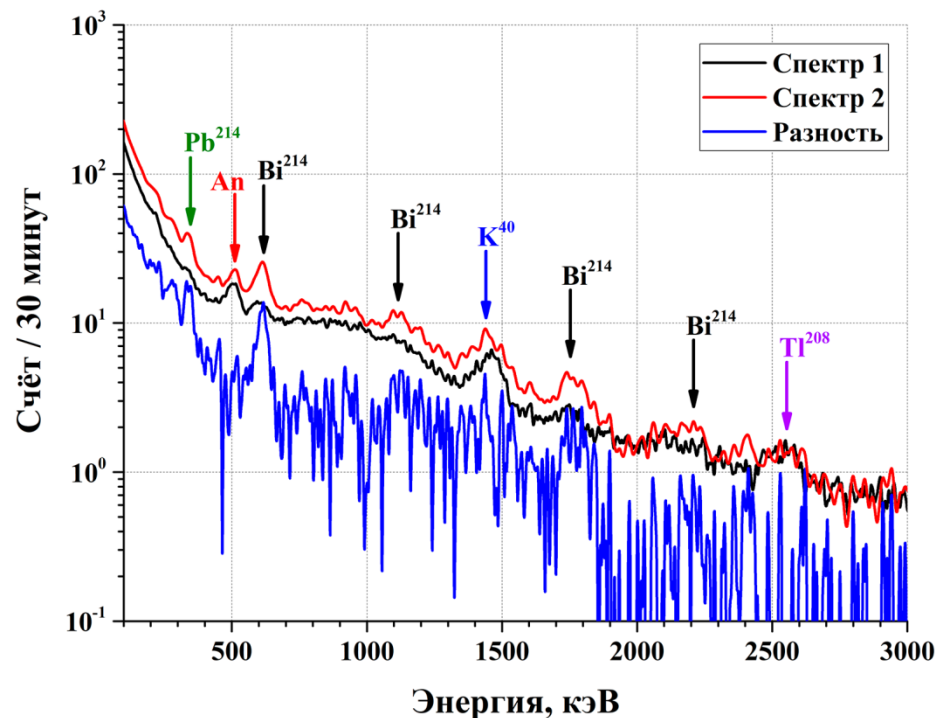
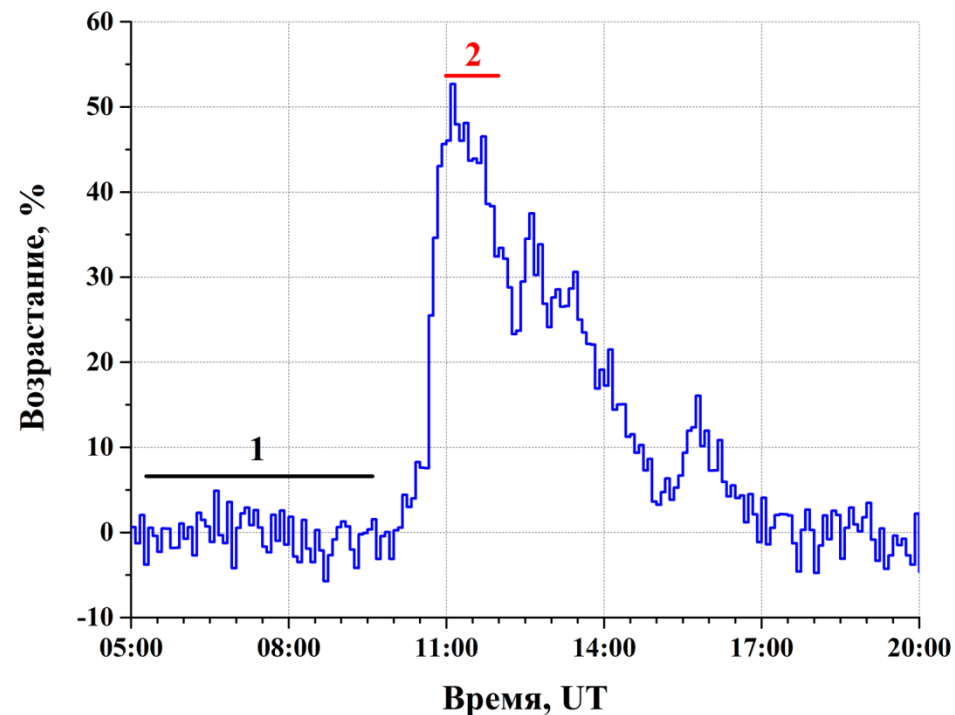
Ранее в результате многолетних наблюдений вариаций естественного рентгеновского фона, поступающего из атмосферы, установлено, что возрастание наблюдается только в электромагнитной компоненте, как это видно по рис. слева. Детектор заряженных частиц, собранный на линейке счетчиков Гейгера, не показывает никакого эффекта. На рисунке справа (б) показаны средние профили осадков и гамма-излучения, полученные методом наложения эпох, использовано около 120-ти событий с амплитудой возрастания $>20\%$. Примечателен сдвиг максимумов осадков и возрастания. Максимум осадков приходится на максимальный рост возрастания.

Используемые детекторы



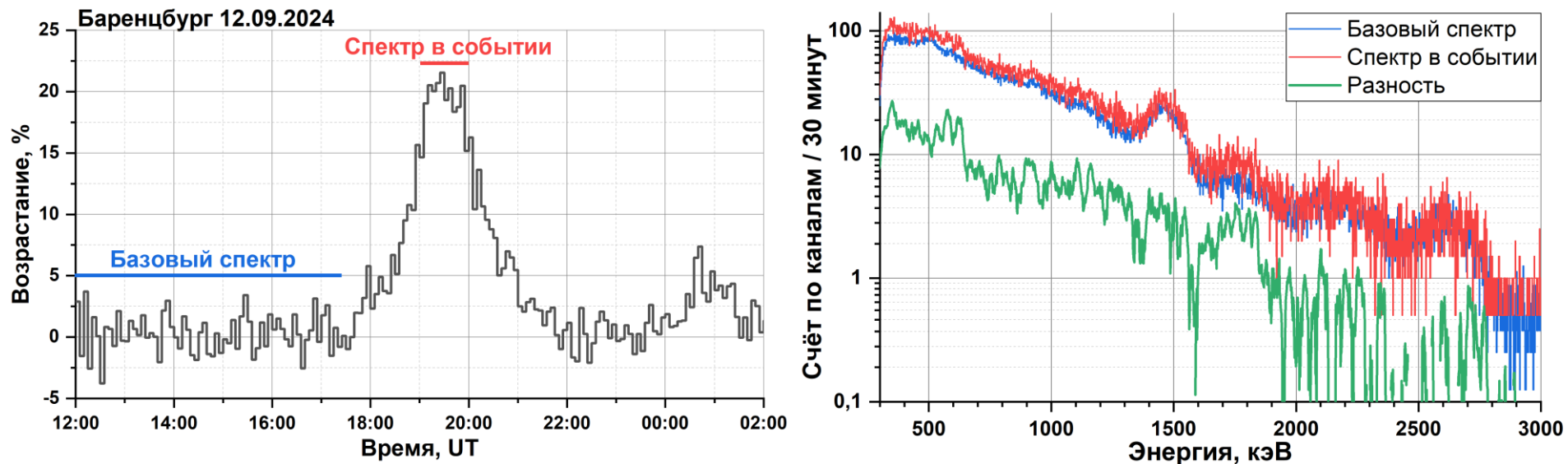
Используемые в работе спектрометры собраны на сцинтилляционных кристаллах NaI(Tl) размерами $\varnothing 75 \times 75$ мм и размещены в свинцовых оболочках, ограничивающих поле зрения детекторов конусом с углом около 90 градусов, обращенным в зенит. Энергетический диапазон установлен 0.1-4 МэВ, время сбора одного дифференциального спектра задано 30 мин. С кристаллом используется скоростной 4096-канальный амплитудный анализатор импульсов, что обеспечивает измерение дифференциального спектра с шагом ~ 1 кэВ на канал при выбранном энергетически диапазоне. Спектрометр прокалиброван по линиям нескольких радионуклидов: К-40, Na-22, Cs-137, Co-60. По линии Cs-137 (660 кэВ) энергетическое разрешение детекторов определено и составило около 5%.

Апатиты



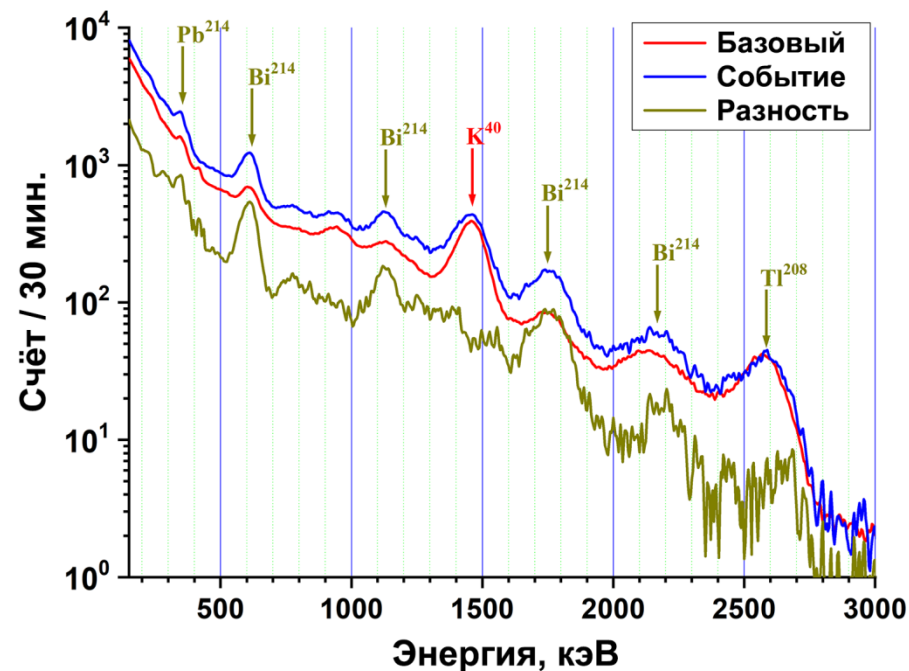
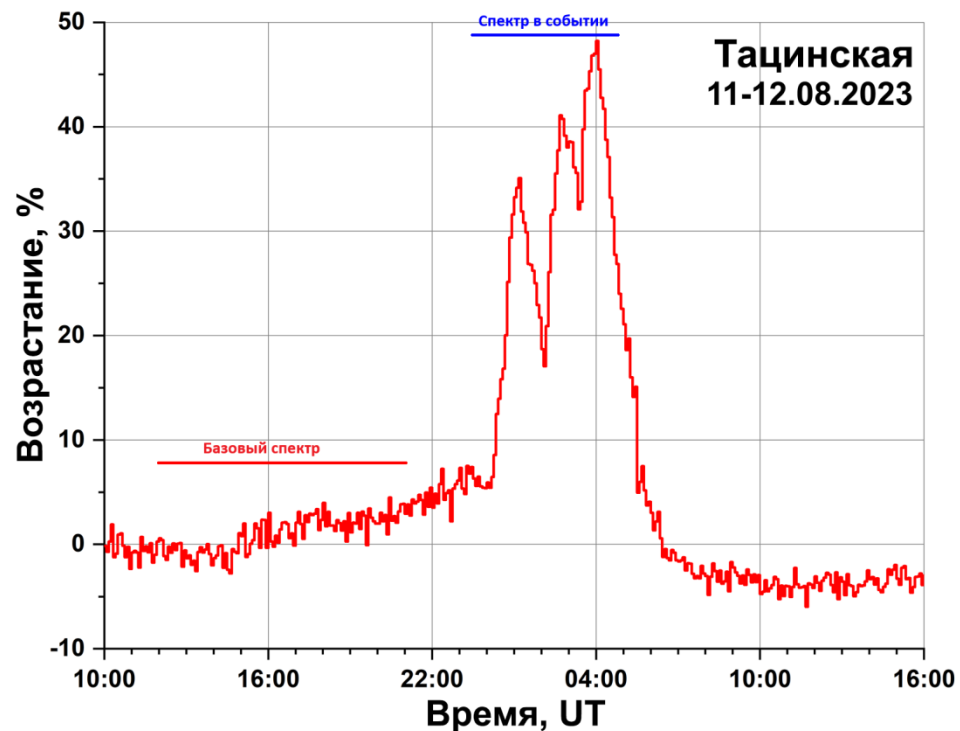
Типовое событие возрастания в Апатитах. **Слева** – профиль по данным интегрального детектора >100 кэВ. **Справа** – дифференциальный спектр излучения, приходящего из атмосферы на кристалл спектрометра. Линии некоторых радионуклидов присутствуют на спектрах 1 и 2, однако, их суммарный вклад составляет $\sim 10\%$. Разность спектров 1 и 2 является спектром того излучения, которое вызвало возрастание. В нем меньше линий радионуклидов. Его форма – континуальный падающий спектр.

Баренцбург



Событие возрастания гамма-излучения в Баренцбурге 12.09.2024 г. **Слева** - синей линией показан период излучения при ясной погоде накануне возрастания, использованный как базовый, красной – период во время возрастания. **Справа** – энергетические спектры излучения в этом событии. Синей линией показан спектр излучения при ясной погоде накануне возрастания, красной – спектр во время возрастания, салатной – спектр собственно возрастания (разность первых двух).

Тацинская



Событие возрастания гамма-излучения в Тацинской 11-12.08.2023 г. Слева - красной линией показан период излучения при ясной погоде накануне возрастания, синей – период во время возрастания. Справа – энергетические спектры излучения в этом событии. Красной линией показан спектр излучения при ясной погоде накануне возрастания (базовый), синей – спектр во время возрастания, салатной – спектр собственно возрастания (разность первых двух).

ВЫВОДЫ

На основе созданного спектрометра гамма-излучения получены дифференциальные спектры в диапазоне 0.1-4 МэВ в трех различных пунктах: Тацинской (Ростовская обл.), Апатитах и Баренцбурге (Шпицберген) Создана методика выделения дифференциальных спектров излучения, вызывающего возрастания. Анализ этих спектров показал, что во время возрастаний, связанных с осадками, происходит увеличение потока во всех энергиях, а вклад присутствующих в осадках радионуклидов мал. Также эти спектры имеют одинаковый энергетический предел ~ 2.5 МэВ. Таким образом, окончательно установлено, что возрастания потока гамма-излучения, образующегося в атмосфере, хоть и связаны с осадками, но не обусловлены радионуклидами. По-видимому, эти возрастания обусловлены взаимодействием метеорологических процессов со вторичными космическими лучами, образующимися в атмосфере.