Спектральные измерения гамма-излучения в Апатитах: новые данные и связь с метеорологическими процессами

Ю.В. Балабин[1], А.В. Германенко[1], Е.А. Маурчев[2], Е.А. Михалко[1], Б.Б. Гвоздевский[1]

1. Полярный Геофизический Институт, г. Апатиты

2. ИЗМИРАН, г. Троицк, г. Москва

Введение.

Измерения гамма-излучения, приходящего из атмосферы, ведется в ПГИ уже десяток лет. Это излучения является одной из компонент вторичных космических лучей, возникающих в атмосфере. С начала наблюдений было обнаружено новое явление: возрастание гамма-излучения во время осадков, не связанное с загрязнением радионуклидами, а имеющее происхождение от вторичных космических лучей. Помимо Апатитов измерения проводятся на ряде станций: Шпицберген, В.Саяны, С.Кавказ. Используются одинаковые детекторы на основе кристалла NaI(Tl), во всех точках наблюдений эффект возрастания потока излучения при осадках отмечается. Амплитуда возрастания составляет десятки процентов, доходя иногда до 100 %. Дополнительными оригинальными экспериментами было показано, что радионуклиды в осадках в значимых количествах отсутствуют, однако, это был качественный результат. В настоящее время в Апатитах установлен спектрометр для измерения дифференциального энергетического спектра гамма-излучения. Используется спектрометрический кристалл NaI(Tl) размером Ø62×62 мм. Время сбора одного спектра 30 мин, энергетический диапазон 100 кэВ – 4 МэВ. Энергетическое разрешение составляет 5 %. Спектрометр калиброван по ряду известных линий: цезий-137, натрий-22, кобальт-60. Спектрометр размещен на чердаке здания в термобоксе. Методом Монте-Карло рассчитана эффективность кристалла к разным энергиям; определен по табличным данным коэффициент поглощения материалом крыши. При обработке измеренные спектры корректируются на полученные зависимости, чтобы спектр соответствовал излучению, присутствующему в атмосфере. Спектрометр включен в непрерывный мониторинг излучения. Зарегистрировано около сотни событий возрастания >10 %. Ниже представлены результаты спектральных наблюдений.

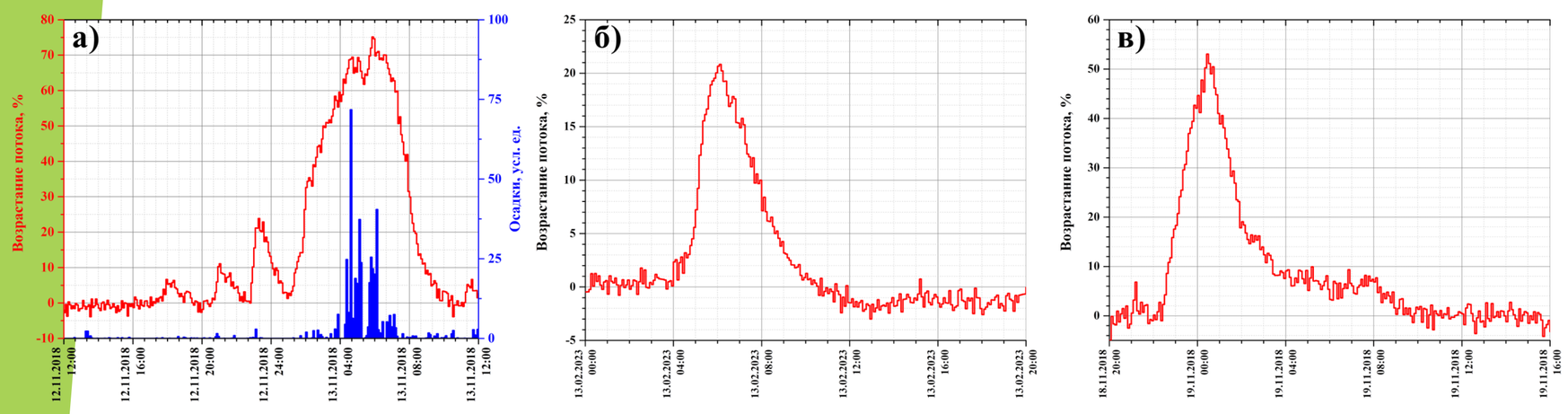


Рис.1 *Примеры событий возрастания на разных станциях. а) Апатиты, синей линией показан профиль осадков, на станции имеется дифференциальный осадкомер; б) Баренцбург; в) Монды, Вост. Саяны. Использован канал >100 кэВ интегрального детектора гамма-излучения. Эти детекторы используются на всех станциях.*

Рис.2 *Спектрометрические сцинтиблоки с кристаллами Ø62×62 мм, использующиеся в работе. Имеют два сигнальных выхода для диапазонов энергий 50-2000 кэВ и 100 – 4000 кэВ.*

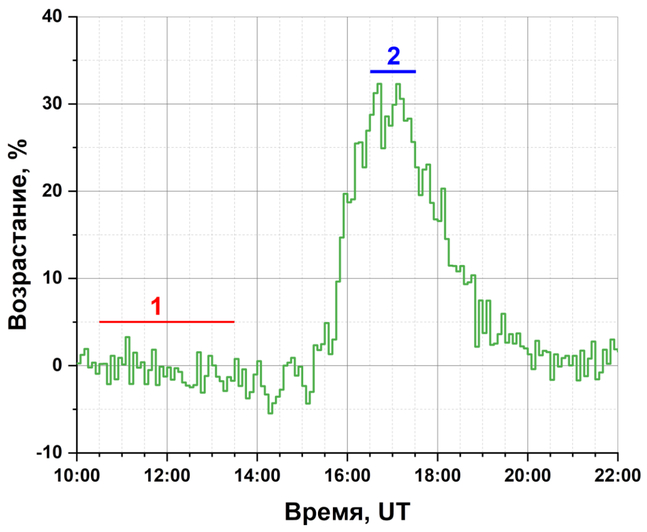
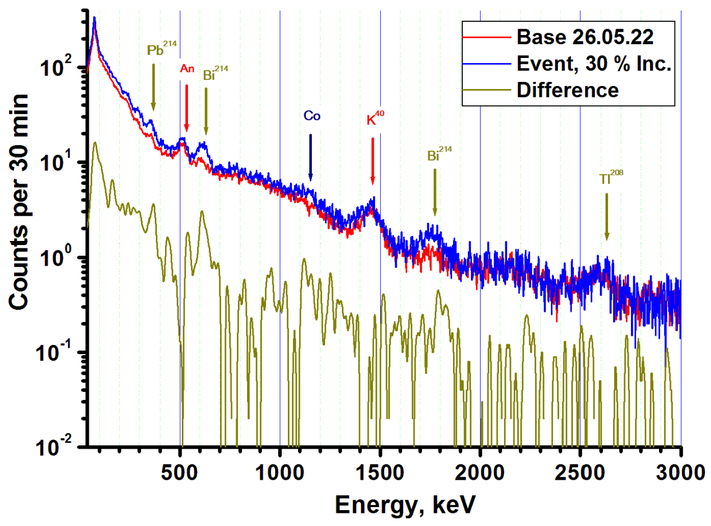


Рис.3. *Пример обработки спектров. Перед событием выбирается интервал длительностью 4-8 часов с постоянным потоком излучения (отмечено* ***отрезком 1****), и вычисляется средний фоновый спектр, называемый фоновый (****Base****). В области максимума возрастания выбирается интервал (отмечен* ***отрезком 2****) и также вычисляется средний спектр на этом временно́м интервале, назван он спектром события (****Event****). Затем находится разность двух дифференциальных спектров, называемая спектром возрастания (на рис. Difference). Это спектр того дополнительного излучения, которое собственно вызвало событие возрастания. Анализ и вся обработка выполняются именно со спектром возрастания.*



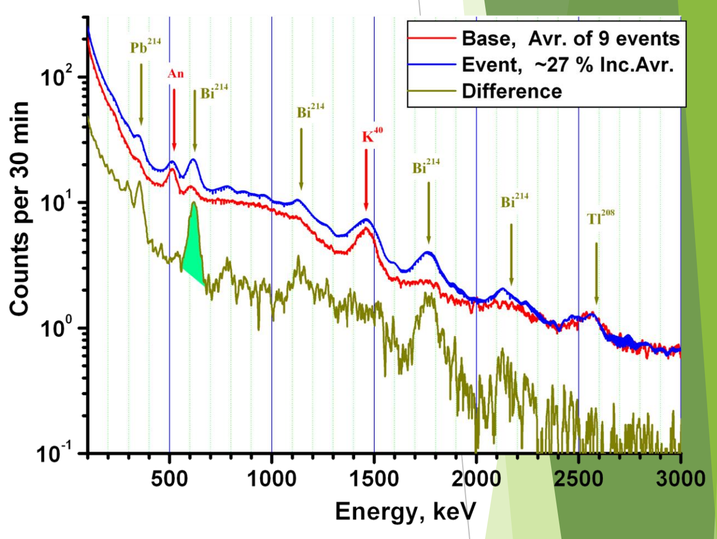


Рис.4. *Средние спектры по девяти событиям возрастания с амплитудой >20 %. Средний фоновый (Base), средний по 9 событиям возрастания (Event) и их разность – средний спектр возрастания (Difference). Заливкой показан вычисление вклада отдельной линии. Вклад характеризуется как числом квантов, так и принесенной энергией. Также и для всего спектра возрастания можно определить общее число квантов и полную энергию, принесенную этими квантами.*

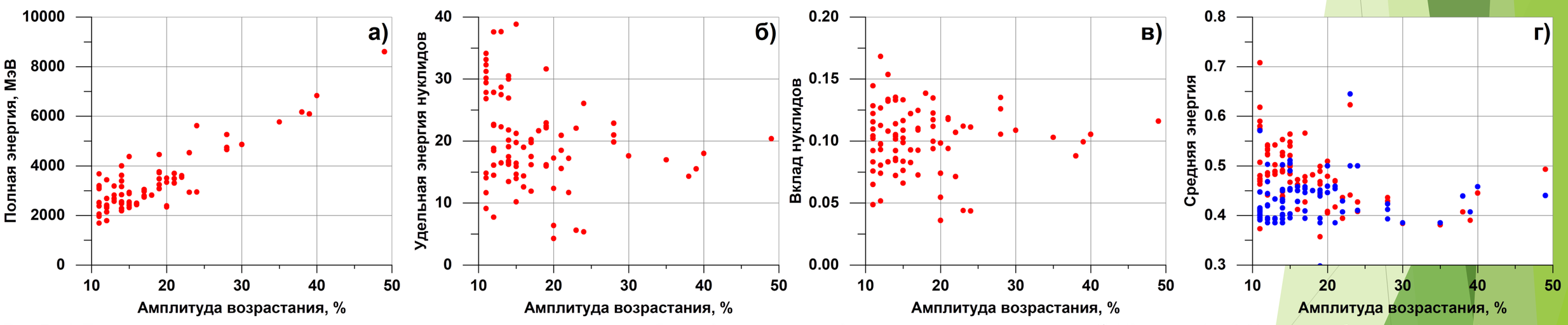


Рис.5. а) *Полная энергия, принесенная в кристалл спектрометра за время сбора одного спектра дополнительным излучением;* ***б)*** *Удельная (на 1 % амплитуды возрастания) энергия, обеспеченная всеми поступившими квантами радионуклидов;* ***в)*** *Доля радионуклидов в полной энергии;* ***г)*** *Средняя энергия спектра, вычисленная по всему рабочему диапазону 0.1-4 МэВ. Красным приведена средняя энергия для спектров возрастания, синим – для базовых спектров*

Как видим, вклад радионуклидов в общий поток энергии, поступившей в кристалл, не зависит от амплитуды, их доля составляет 0.1-0.12. Т.е. не радионуклиды обеспечивают основной поток квантов и энергии. Также и близость средних энергий базового спектра (0.44 МэВ) и спектра возрастания (0.45 МэВ) также указывает, что радионуклиды не являются определяющими при возрастании. При этом отметим, что все линии радионуклидов на спектре, кроме линии 352 кэВ висмута-214, превосходят среднюю энергию (450 кэВ) спектров, что также указывает на несущественность вклада радионуклидов. Иначе бы средняя энергия спектра возрастания была бы существенно выше (заметные линии – это 609 кэВ, 1120 кэВ, 1750 кэВ, 2170 кэВ).

Заключение

Точные измерения дифференциального спектра гамма-излучения показали, что во всех спектрах присутствуют слабые линии калия-40 и таллия-208, а также аннигиляционная линия 511 кэВ, образуемая аннигиляцией позитронов. Во время возрастаний дополнительно появляются линии естественных радионуклидов свинца-214 и висмута-214. Однако, эти линии редкие и довольно слабые, в целом спектр является непрерывным, падающим, с зависимостью от энергии, близкой к степенной. Всего за прошедший период зарегистрировано и обработано более восьмидесяти событий возрастания >10 % со своими спектрами. В процессе обработки спектров получаются интегральные величины, характеризующие каждый спектр: полная энергия, поступившая на кристалл, средняя энергия, энергия, принесенная линиями радионуклидов, и др. Анализ этих характеристик показал следующее. Доля радионуклидов в эффекте возрастания составляет ~0.1 и не зависит от амплитуды возрастания. Средняя энергия по спектру также не зависит от амплитуды возрастания. Кроме того, при возрастании отмечается пропорциональное увеличение потока на всех энергиях, а не только в линиях нуклидов. Таким образом, можно однозначно утверждать, что спектральными измерениями установлено: возрастание при осадках гамма-излучения, являющегося вторичной компонентой космических лучей, не обусловлено присутствием радионуклидов в осадках. Вероятнее всего, причина возрастания связана с изменением взаимодействия вторичных космических лучей в атмосфере с метеорологическими процессами. Эту причину предстоит выяснить новыми наблюдениями и экспериментами.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 18-77-10018.