

ПРИМЕР ОБРАБОТКИ СПЕКТРОВ

Регистрация гамма-излучения ведется с помощью сцинтилляционных кристаллов. Работают два разных прибора. Первый: на основе счетного кристалла NaI(Tl) измеряются интегральные потоки >20 и >100 кэВ. Второй: на основе спектрометрического кристалла $\text{Ø}65 \times 65$ мм NaI(Tl) с разрешением лучше 5.5 % (на линии 660 кэВ) проводятся измерения **дифференциального спектра** излучения в диапазоне энергий 0.1-3.5 МэВ. Время сбора одного спектра 30 мин.

На рис.1. представлено событие 14.07.22. Во время дождя отмечено возрастание потока рентгеновского и гамма-излучения в интегральных каналах ~ 50 % от уровня хорошей погоды непосредственно перед дождем. Это типичное летнее возрастание, связанное с осадками. Начало события соответствует началу дождя, тогда как спад продолжается и после окончания дождя. В данном событии, как следует из трех локальных максимумов на профиле, имели место три кратковременных периода выпадения осадков: около 11, после 12 и около 16 часов.

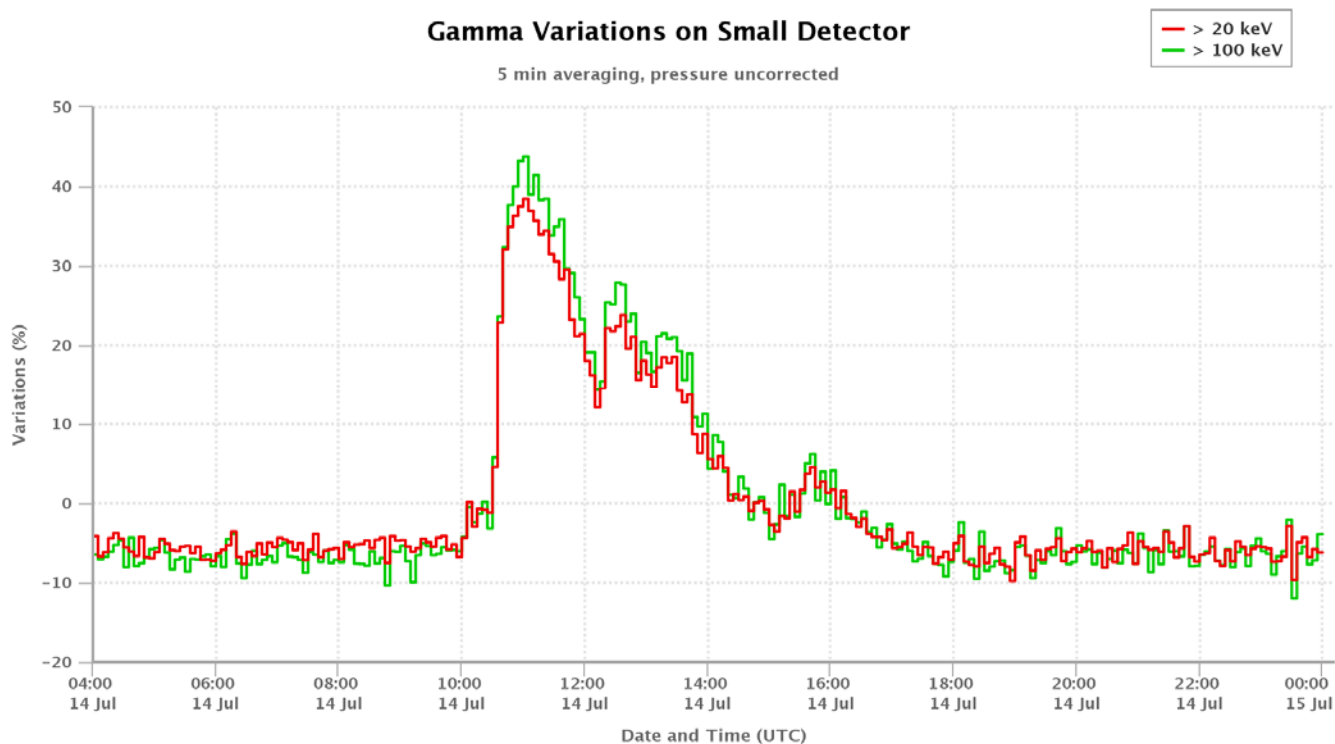


Рис.1. Профиль возрастания гамма-излучения 14.07.22 в каналах >20 и >100 кэВ. Пятиминутное усреднение.

На рис.2 приводятся дифференциальные спектры гамма-излучения в период до возрастания и в период максимума. Время накопления одного спектра выбрано 30 мин. из тех соображений, чтобы иметь возможность измерять спектр в разные фазы возрастания. В то же время слишком малое время сбора спектра ведет к большим флуктуациям измеренных значений, величина 30 минут выбрана как разумный компромисс. Базовый спектр определяется как средний из нескольких спектров, измеренных за некоторый интервал, когда поток не изменялся. Исходя из рис.1 базовый спектр (красная линия на рис.2) получен как средний от 12-ти спектров, полученных за время с 04

до 10 UT. Спектр во время возрастания (синяя линия на рис.2) является средним от двух спектров, измеренных в 11:00 и 11:30 UT в период первого максимума возрастания. Салатным цветом показан разность двух предыдущих спектров.

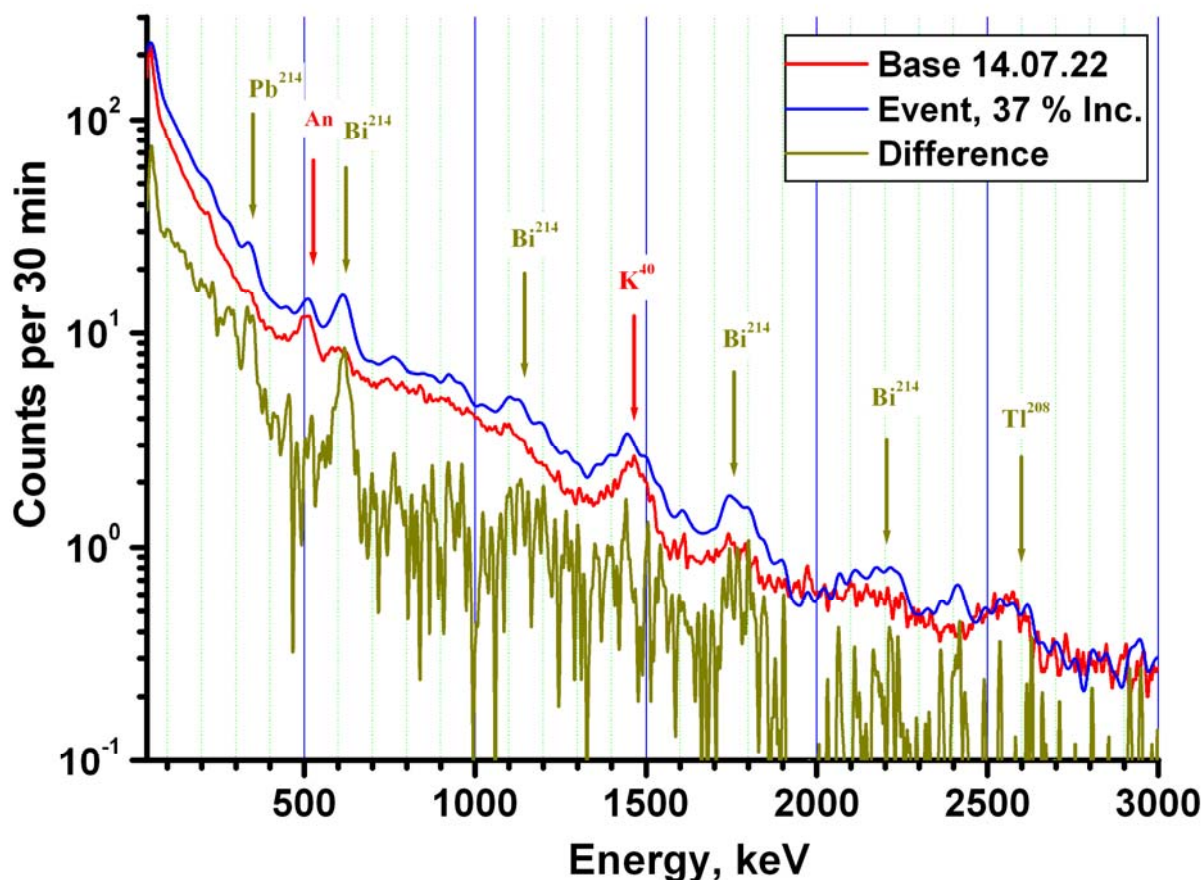


Рис.2. Дифференциальные спектры гамма-излучения, полученные перед осадками (Base), во время осадков (Event) и разность между ними (Difference). Амплитуда 37 % является средней амплитудой возрастания за все время сбора двух спектров. Дифференциальный спектр измерен с шагом 1 кэВ.

Спектр разностный (Difference) является собственно спектром того дополнительного излучения, которое вызвало возрастание на рис.1. Другими словами, спектр Difference есть спектр излучения, которое создали (вызвали) осадки.

Прежде всего проанализируем спектр Base. Он представляет собой непрерывную убывающую функцию с небольшим числом заметных линий. Общая форма спектра является степенной функцией и соответствует спектру тормозного излучения. Стрелками помечены линии An, K^{40} и Tl^{208} . An – это линия 511 кэВ, линия аннигиляции позитронов, возникающих от распада мюонов, образующихся в атмосфере от космических лучей. K^{40} – это линия 1460 кэВ, возникающая при его распаде. Линию 2600 кэВ дает распад Tl^{208} , видимо, находящийся в окружающих предметах. Есть еще две слабые линии Bi^{214} (609 кэВ и 1750 кэВ). Bi, Pb и Tl являются дочерними элементами при распаде урана.

Спектр Event имеет несколько новых линий, отсутствующих или очень слабых на спектре Base. Однако, примечательно, что на разностном спектре Difference линий An, K^{40} и Tl^{208} вообще нет. Это говорит о том, что при осадках поток этих квантов не изменяется. Что означает: эти линии излучения обусловлены внешними постоянными источниками.

В осадках присутствуют следы свинца Pb^{214} и Bi^{214} . Однако, можно видеть, что интенсивность линий этих элементов невелика, между линиями элементов имеются протяженные участки, где нет никаких линий, спектр на этом участке повторяет спектр Base, только сдвинутый вверх (поток квантов этих энергий больше). Таковы участки 400-550 кэВ, 700-1050 кэВ и далее. Можно сказать, спектр Event (при возрастании) повторяет спектр Base с небольшим добавлением слабых линий ряда элементов.

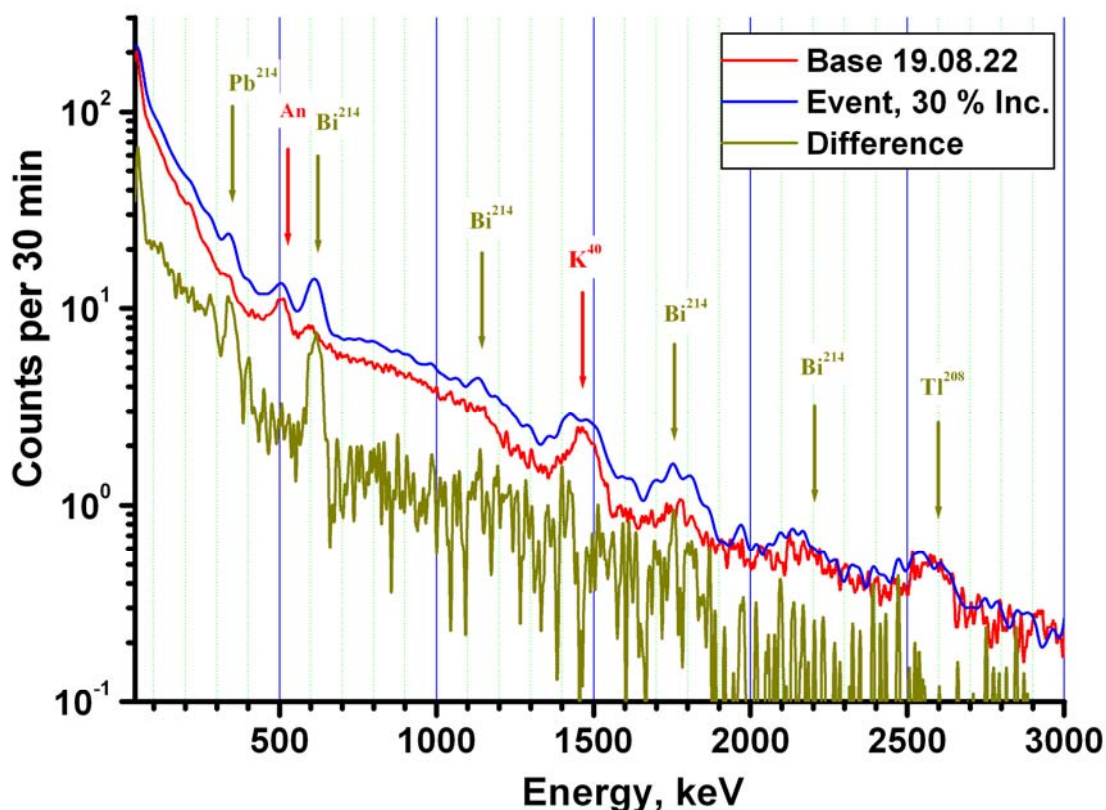


Рис.3. Пример спектров в событии 19.08.22. В этом событии линия Bi^{214} 1750 кэВ слабее, едва отличима от фона.

Дифференциальный спектр позволяет отдельно вычислить число квантов, связанных с линиями нуклидов, а также определить принесенную ими энергию, и сравнить ее с полным числом квантов и полной энергией, дополнительно выделившимся во время события возрастания. Так, для события 14.07.22 число квантов по спектру Base ~ 41000 , по спектру Difference - ~ 16000 . А число квантов, излученных всеми линиями радионуклидов составляет ~ 1500 . Т.е. радионуклиды обеспечивают только $\sim 10\%$ от всей энергии, поступившей на спектрометр за событие.

На рис.4 приведены средние спектры по 9-ти событиям, зарегистрированным в течение лета 2022 г. Используются события с амплитудой $>20\%$. Средняя амплитуда получилась $\sim 27\%$.

Также по рис.4 можно определить верхний предел спектра возрастания по энергии. Он составляет ~2500 кэВ.

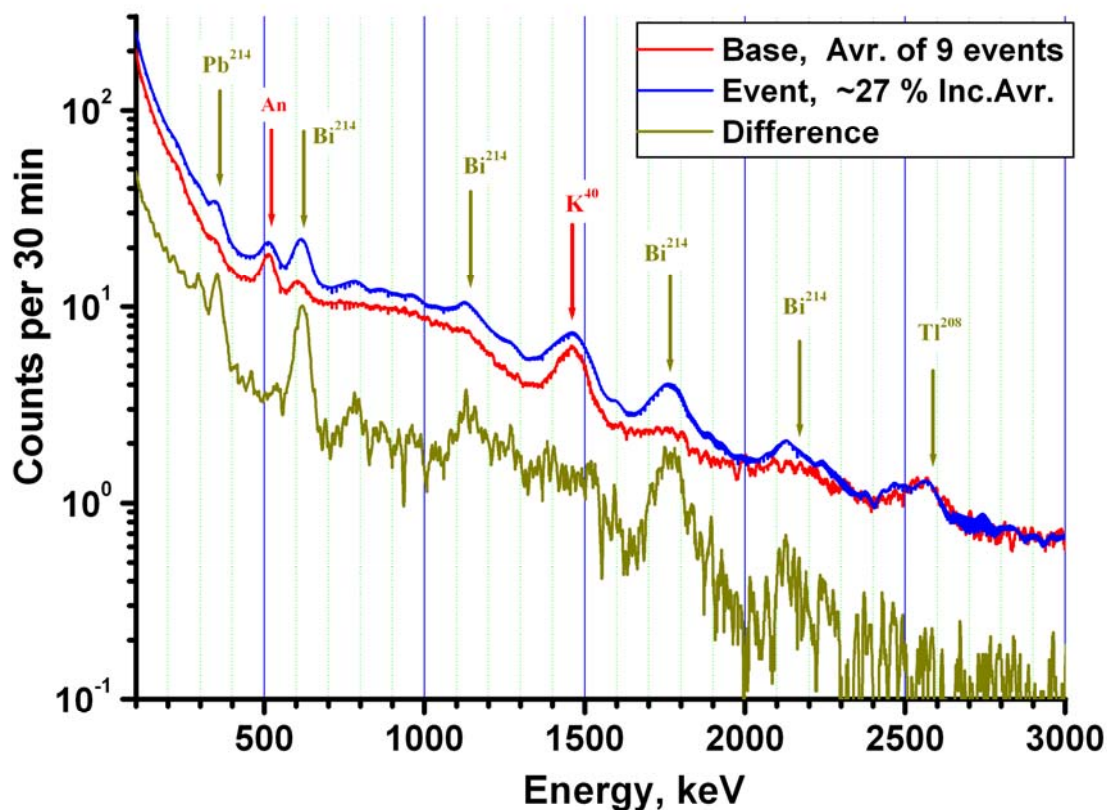


Рис.4. Средние спектры по 9-ти событиям с амплитудой >20 %.

Вывод. Во время возрастаний (рис.1) фонового излучения, вызванных осадками, в спектре гамма-излучения (рис.2-4) в диапазоне 0.1-3 МэВ появляются слабые линии некоторых радионуклидов. Однако, этих линий недостаточно, чтобы объяснить увеличение потока излучения по всем энергиям от 100 кэВ до 3 МэВ. Соответственно, нельзя объяснить эффект возрастания гамма-излучения при осадках только наличием радионуклидов в осадках. За возрастание ответственна другая причина, увеличивающая интенсивность потока квантов непрерывно во всем исследуемом диапазоне.