

# НЕПРЕРЫВНАЯ РЕГИСТРАЦИЯ СПЕКТРОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ ВО ВРЕМЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Б.Б. Гвоздевский, Э.В. Вашенюк (*Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия*)

**Аннотация.** В лаборатории космических лучей ПГИ в Апатитах создан прибор для непрерывной регистрации дифференциальных спектров гамма-излучения на основе спектрометра БДЭГ2-39 с размерами сцинтилляционного кристалла NaI(Tl)  $\varnothing 150 \times 100$  мм. Регистрация спектров гамма-излучения производится с высоким разрешением при помощи 4096-канального амплитудного анализатора в диапазоне энергий от 100 кэВ до 4 МэВ. Отклик кристалла (эффективность регистрации) на входящее излучение был рассчитан с помощью пакета GEANT-4. Прибор поставлен на непрерывную регистрацию дифференциальных спектров гамма-фона. Спектры рентгеновского фона в диапазоне 20-300 кэВ, полученные ранее на основе кристалла  $\varnothing 63 \times 20$  мм, хорошо согласуются с новыми данными. Объединение двух детекторов предоставляет возможность исследовать спектры гамма-фона и их вариации от 20 кэВ до 4 МэВ.

## 1. Введение

Используемые для регистрации вариаций приземного рентгеновского излучения сцинтилляционные детекторы на основе кристалла NaI(Tl) размером  $\varnothing 63 \times 20$  мм эффективны до энергий 300-400 кэВ. Использование этих детекторов в спектральных измерениях показало, что вариации спектра простираются за верхний порог эффективности кристалла. Именно с целью расширить диапазон измерений спектров гамма-излучения был создан спектрометр на основе кристалла NaI(Tl) размером  $\varnothing 150 \times 100$  мм.

## 2. Новый спектрометр для дифференциальных измерений

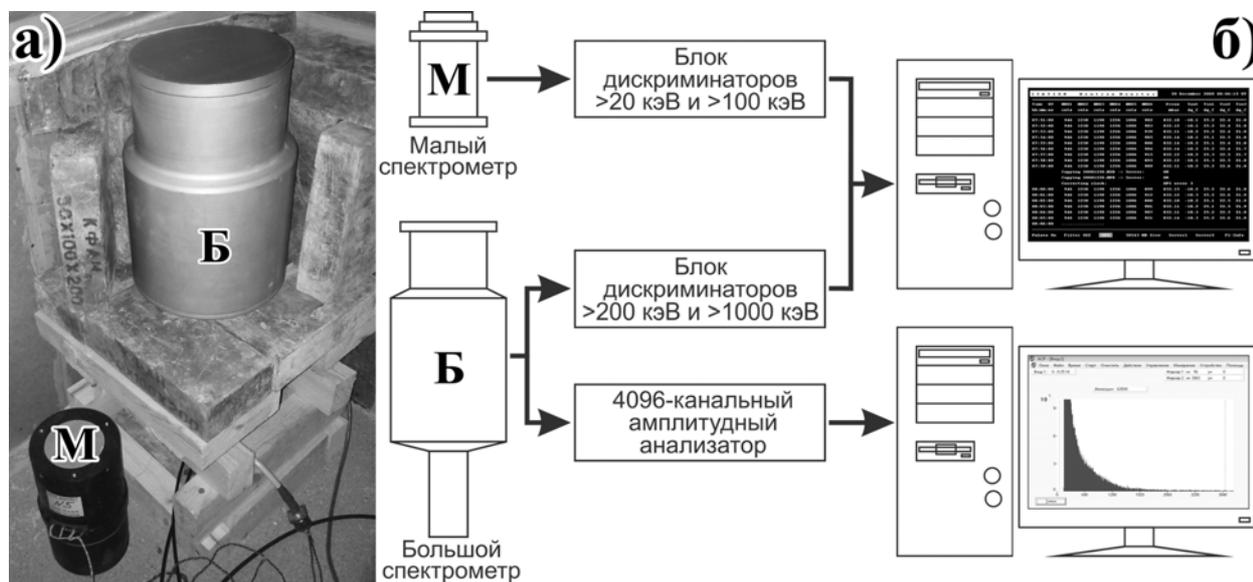
На основе спектрометра БДЭГ2-39 (кристалл NaI(Tl)  $\varnothing 150 \times 100$  мм) создан новый детектор гамма-излучения (рис. 1а). Это расширило энергетический диапазон принимаемого излучения на порядок: с 300 кэВ до 4 МэВ. Эффективность регистрации нового детектора во всем диапазоне была рассчитана с помощью пакета GEANT-4. Детектор прокалиброван источниками Cs137 (линия 660 кэВ) и Co60 (линии 1.17 и 1.33 МэВ). Энергетическое разрешение составило около 23 %.

Новый детектор (названный Самоваром) включен в комплекс, осуществляющий непрерывную регистрацию излучения. Таким образом, в настоящее время на станции космических лучей ПГИ производится непрерывный мониторинг излучения от 20 кэВ до 4 МэВ. В поддиапазоне 20-300 кэВ датчиком служит малый сцинтилляционный детектор на основе кристалла NaI(Tl) размерами  $\varnothing 63 \times 20$  мм, а в интервале 0.2-4 МэВ – новый детектор Самовар. О результатах измерений малым детектором подробнее можно найти в [1-3]. Приборы установлены в термостабилизированном боксе на чердаке здания. Детекторы обложены свинцовыми кирпичами толщиной 5 см, излучение принимается только из верхней полусферы.

Регистрация спектров гамма-излучения производится по двум различным каналам (рис. 1б). По первому (интегральному) каналу импульсы, амплитуда которых пропорциональна энергии поглощенного кванта, с малого детектора и с Самовара поступают на соответствующие дискриминаторы, формирующие каналы >20, >100, >200, >1000 кэВ, которые далее подаются на компьютер-сборщик. Второй канал – дифференциальный. Импульсы от Самовара подаются на 4096-канальный анализатор импульсов. Информация с анализатора записывается на отдельный компьютер. Таким образом, в диапазоне 200 кэВ – 4 МэВ измеряется дифференциальный спектр гамма-излучения. Время накопления одного спектра установлено 30 мин; чем больше время накопления – тем точнее спектр, однако, сверху на время сбора накладывает ограничение длительность наблюдаемых возрастаний. Самые короткие из них длятся 2-3 часа, и нужно иметь за это время несколько замеров спектра.

Ранее с помощью 4096-канального анализатора импульсов были получены дифференциальные спектры рентгеновского излучения в поддиапазоне 20-300 кэВ с таким же временем накопления. Кроме того, в виду модульности данной установки и унифицированности электрических сигналов от всех используемых детекторов, периодически анализатор подключается к малому детектору. Поэтому необходимо было провести стыковку спектров от разных приборов, чтобы говорить об измерении дифференциальных спектров гамма-излучения во всем исследуемом интервале энергий от 20 кэВ до 4 МэВ (см. рис.2а). После учета геометрических факторов и внесения поправок на эффективность регистрации, вычисленной с

помощью пакета GEANT-4, абсолютные значения спектра Самовара (200-4000 кэВ) потребовалось умножить на 1.5 для точной стыковки со спектром, полученным на малом детекторе (20-300 кэВ). По нашему мнению, такая поправка допустима и отражает конструктивные особенности применяющихся ФЭУ и различий их чувствительности, которые при моделировании не могут быть учтены.



**Рис.1. а)** внешний вид большого (Б) и малого (М) детекторов, установленных на чердаке здания. Для исключения влияния гамма-фона от окружающих предметов детекторы обложены со всех сторон, кроме верха, свинцовыми кирпичами (для демонстрации часть кирпичей снята). Поле зрения детекторов составляет конус с углом при вершине около 1600-1700, т.е. практически вся верхняя полусфера. **б)** блок-схема установки для измерения спектров гамма-излучения. Импульсы от обоих детекторов через соответствующие дискриминаторы поступают на компьютер-сборщик, формируя интегральный канал измерения спектра: >20, >100, >200, >1000 кэВ. Параллельно посредством амплитудного анализатора импульсов формируется канал дифференциального спектра с дискретностью 1 кэВ, который сохраняется в файл другим сборщиком. Время набора одного спектра – 30 мин. Измерение дифференциального спектра производится в интервале 200 кэВ – 4 МэВ.

### 3. Измерения спектра во время возрастаний

Основной задачей Самовара является измерения дифференциальных спектров во время возрастаний. Ранее верхний энергетический предел дополнительного гамма-излучения, возникающего при осадках, определялся косвенным методом [4] и довольно приближенно. С вводом в работу Самовара этот предел можно наблюдать непосредственно и ясно.

Измерение дифференциальных спектров с помощью Самовара во время возрастаний гамма-фона, показало, что в спектрах отсутствуют характеристические линии каких-либо элементов во всем диапазоне измерений. Средний спектр гамма-фона хорошо описывается степенной функцией (рис.2б) с показателем  $\gamma = -1.8$ . Это указывает на то, что происхождение этого излучения связано с космическими лучами [5] и имеет тормозную природу. Таким образом, подтвердился ранее [3] сделанный на основе измерений малым спектрометром вывод, что возрастания, связанные с осадками, не обусловлены присутствием в них радионуклидов. Теперь это можно утверждать на весь энергетический диапазон 20 кэВ – 4 МэВ. Сравнение дифференциальных спектров, полученных во время возрастания, с фоновыми показывает (рис. 2б), что форма спектра в целом сохраняется (нет отдельных линий), происходит увеличение интенсивности на всех энергиях вплоть до 2.5 МэВ.

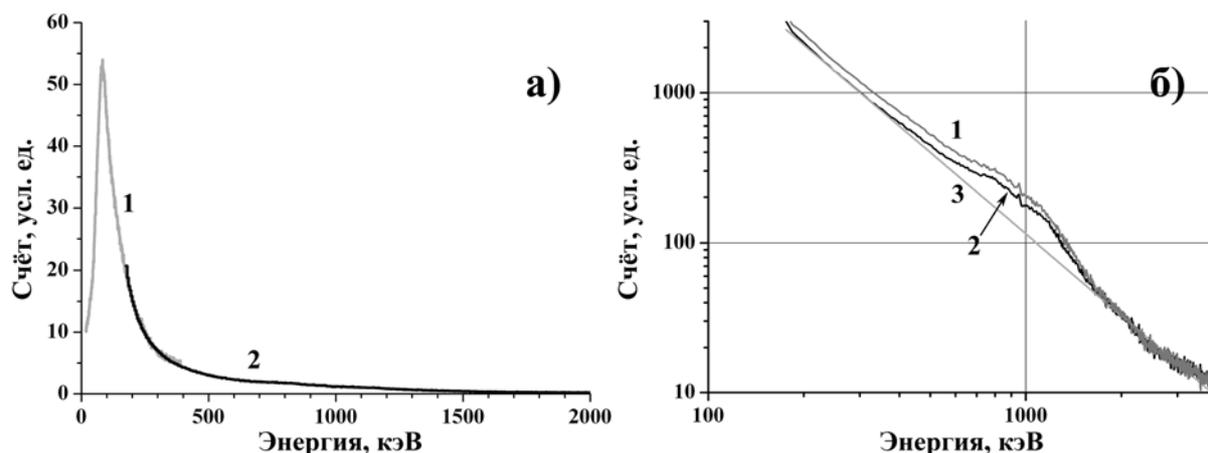
Таким образом, впервые с начала наблюдения вариаций гамма-излучения во время осадков непосредственно измерен верхний энергетический предел этих вариаций. Ранее на основе одного малого детектора такие измерения выполнить было невозможно. Установление этого энергетического предела несет важную информацию о процессе генерации дополнительного излучения, ответственного за возрастания при осадках.

#### 4. Заключение

Создан новый прибор для измерения дифференциального и интегрального спектров гамма-излучения в приземной атмосфере в диапазоне 20 кэВ – 4 МэВ.

Выполненные измерения спектров во время возрастаний фона, сопровождающихся осадками, показали, что возрастания не обусловлены присутствием в осадках каких-либо радионуклидов. Спектр во время возрастаний в целом сохраняет свою степенную форму, увеличение потока наблюдается в широком энергетическом диапазоне.

Обнаружено, что верхний энергетический предел, до которого распространяются вариации во время возрастаний при осадках, составляет ~2-2.5 МэВ.



**Рис.2. а)** Стыковка дифференциальных спектров, полученных от двух детекторов. Дифференциальный спектр от малого детектора также был получен с помощью амплитудного анализатора импульсов. **б)** Дифференциальные спектры, полученные с помощью Самовара во время возрастания 22.01.12 и в спокойных (фоновых) условиях. На большей части спектр описывается степенной функцией (красная линия) с показателем  $\gamma = -1.8$  за исключением утолщения около 1 МэВ. Видно, что во время возрастания происходит увеличение интенсивности потока гамма-квантов всех энергий вплоть до 2-2.5 МэВ. Этот же порог наблюдается и при других возрастаниях.

#### Список литературы

- A.V. Germanenko, Yu.V. Balabin, B.B. Gvozdevsky, L.I. Schur, E.V. Vashenyuk // Proc. of 33rd annual seminar «Physics of Auroral phenomena», 2 - 5 March, 2010, KSC RAS, PGI-10-01-126, P 163 – 166.
- E.V. Vashenyuk, Yu.V. Balabin, A.V. Germanenko, B.B. Gvozdevsky // Proc. of 32nd ICRC (China, Beijing, 11–18 August 2011), id 328.
- A.V. Germanenko, Yu.V. Balabin, B.B. Gvozdevsky, L.I. Schur, E.V. Vashenyuk // Astrophys. Space Sci. Transactions, 2011, V.7, p.471-475.
- B.B. Gvozdevsky, Yu.V. Balabin, A.V. Germanenko, E.V. Vashenyuk // Proc. of 32nd ICRC (China, Beijing, 11–18 August 2011), Id 863.
- Хаякава С. Физика космических лучей. Часть I. М.: Мир. 1973, 701 с.