

**Мазилев А. В.**, канд. физ.-мат. наук, старш. науч. сотр.,  
**Сосипатров М. В.**, канд. физ.-мат. наук, старш. науч. сотр.,  
**Гончаров И. Г.**,  
**Светличная И. П.**

Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт» ННЦ ХФТИ,  
 г. Харьков, Украина

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА РАДИОНУКЛИДОВ И ИХ АКТИВНОСТИ В ПРОБАХ ГРАНИТА

Радиационная защита ядерной подкритической установки «Источник нейтронов» предполагает использование так называемого тяжелого бетона, включающего в себя железную руду и гранит. В данной работе исследован элементный состав основных радионуклидов и определены их активности в гранитах, взятых из различных карьеров.

Измерение состава гамма-излучающих радионуклидов, содержащихся в представленных образцах гранита, выполнены в лаборатории радиационных исследований и охраны окружающей среды Национального научного центра "Харьковский физико-технический институт" (свидетельство о соответствии системы измерений лаборатории РИиООС ННЦ ХФТИ требованиям ДСТУ ISO 10012, выданный ХГЦСМС, № 01 – 0166/2017 от 21.11.2017 г. [1]). Измерения проводились с помощью гамма-спектрометра СЭГ-50(П) на базе полупроводникового германий-литиевого диффузионно-дрейфового детектора ДГДК-60В, окруженного 5 см свинцовой защитой и слоем меди 0.1 мм для уменьшения естественного гамма-фона [2]. В спектрометре применен одноплатный анализатор SBS-75 и программы набора и анализа спектров фирмы „Грин Стар” г. Москва 2675.

Детектор ДГДК-60В предназначен для измерения энергетических спектров гамма-излучения в диапазоне энергий 0.05–10 МэВ. Конструктивно детектор выполнен в виде герметичного неразборного блока детектирования — криостата. Кристалл германия установлен на верхнем конце хладопровода и закрыт цилиндрическим кожухом из алюминиевого сплава диаметром 90 мм. Нижний конец хладопровода погружен в сосуд Дьюара, заполненного жидким азотом.

Технические данные:

1. Диапазон регистрируемых энергий, МэВ	0.05 – 10
2. Энергетическое разрешение, кэВ:	
а) для энергии 122 кэВ по изотопу Со-57 ПШПВ	1.2
б) для энергии 1332 кэВ по изотопу Со-60 ПШПВ	2.2
в) для энергии 1332 кэВ по изотопу Со-60 ПШДВ	4.7
3. Чувствительность для энергии 1332 кэВ по изотопу Со-60, мм <sup>2</sup>	63
4. Абсолютная эффективность, %	$6.8 \cdot 10^{-3}$
5. Площадь чувствительной поверхности, см <sup>2</sup>	12
6. Толщина чувствительной поверхности, мм	14

Образцы гранита помещались в стандартные сосуды Маринелли емкостью 1 дм<sup>3</sup>.

Первоначальные измерения гамма-спектров образцов были проведены с экспозицией 100 минут. В полученных спектрах были обнаружены гамма-линии, соответствующие рядам естественных радионуклидов, уран-радиевого ( $^{238}\text{U}$  —  $^{226}\text{Ra}$ ) и ториевого ( $^{232}\text{Th}$ ), а также естественного радионуклида  $^{40}\text{K}$ . Схемы распада рядов ЕРН с указанием периодов полураспада представлены на рис. 1 и рис. 2.



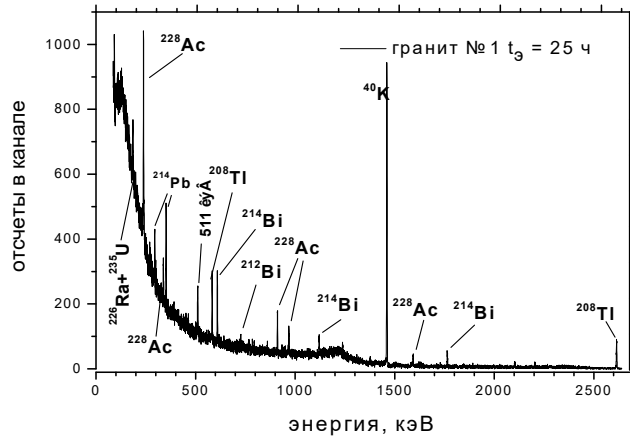


Рисунок 4 – Гамма спектр образца гранита №1

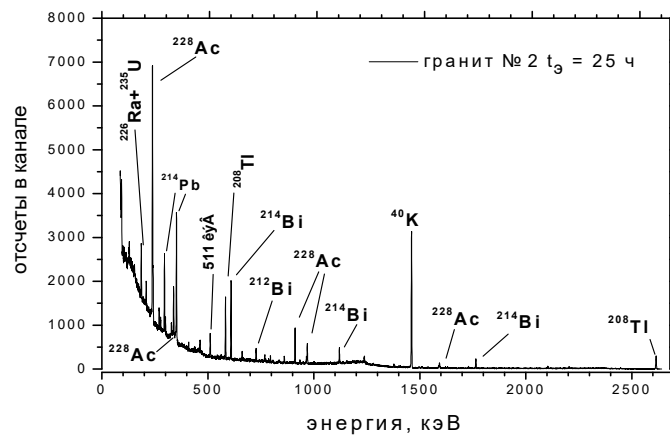


Рисунок 5 – Гамма спектр образца гранита №2

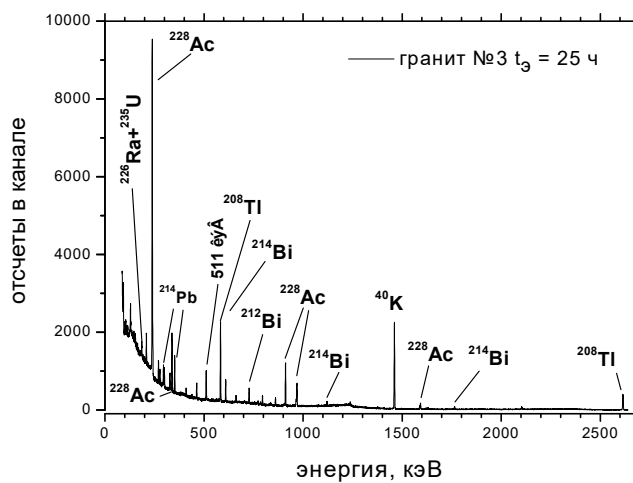


Рисунок 6 – Гамма спектр образца гранита №3

На рисунках 4 – 6 представлены аппаратные спектры образцов гранита. Активность  $^{232}\text{Th}$  вычислялась по активности  $^{228}\text{Ac}$ , исходя из предположения их

радиоактивного равновесия (цепочка распада  $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{228}\text{Ra} \rightarrow ^{228}\text{Ac}$ ), активность. Активность  $^{226}\text{Ra}$  по активности изотопов  $^{214}\text{Pb}$  и  $^{214}\text{Bi}$  (цепочка распада  $^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{222}\text{Rn} \rightarrow ^{218}\text{Po} \rightarrow ^{214}\text{Pb} \rightarrow ^{214}\text{Bi}$ ).

При условии сохранения векового радиоактивного равновесия между родоначальником ряда  $^{238}\text{U}$  и дочерним радионуклидом  $^{226}\text{Ra}$  их активности равны. Непосредственному определению активности  $^{238}\text{U}$  по линиям изотопов  $^{234}\text{Th}$  –  $\gamma$ -линии: 92.38 кэВ (2.81%); 92.80 кэВ (2.77%), X-линия: 92.282 кэВ (0.5%)(Pa  $K_{\alpha 3}$ ) (на аппаратурном спектре они не разделяются) мешают  $\gamma$ -линии и X-линии семейств EPH, расположенные в этом диапазоне, в частности X-линия  $^{228}\text{Ac}$  93.35 (3.19%)(Th  $K_{\alpha 1}$ ). Измерения активности  $^{238}\text{U}$ , проведенные по  $\gamma$ -линии  $^{234\text{m}}\text{Pa}$  1001.03 кэВ (0.837%) (цепочка распада  $^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{Th} \rightarrow ^{234\text{m}}\text{Pa}$ ) дали завышенные значения по сравнению с цифрами для активностей  $^{226}\text{Ra}$ . Это связано большой погрешностью определения площади соответствующих пиков на аппаратурных спектрах, измеряемых проб.

В естественном уране содержится 99.27%  $^{238}\text{U}$ , 0.72%  $^{235}\text{U}$ ,  $5.5 \cdot 10^{-3}\%$   $^{234}\text{U}$ .

Уран-235 в объектах окружающей среды практически невозможно определить прямым инструментальным гамма-спектрометрическим методом из-за интерференции основной высокоинтенсивной гамма-линии 185.71 кэВ (57.2%) с энергетической линией 186,21 кэВ (3.59 %) дочернего радионуклида  $^{226}\text{Ra}$  из ряда  $^{238}\text{U}$ .

Эффективная удельная активность естественных радионуклидов в строительных материалах и минерального сырья по НРБУ-97 определяется как взвешенная сумма удельных активностей радия-226 ( $A_{\text{Ra}}$ ), тория-232 ( $A_{\text{Th}}$ ) и калия-40 ( $A_{\text{K}}$ ) по формуле:

$$A_{\text{эф}} = A_{\text{Ra}} + 1,31 \cdot A_{\text{Th}} + 0,085 \cdot A_{\text{K}}$$

где 1.31 и 0.085 взвешенные коэффициенты для тория-232 и калия-40 соответственно по отношению к радю-226

Результаты измерений представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты измерений

Проба	$A_{\text{эф}}$ , Бк/кг	$A_{\text{Ra}}$	$A_{\text{Th}}$	$A_{\text{K}}$
Гранит №1	60	9.1±20%	14±20%	380±15%
Гранит №2	280	69±15%	73±15%	1400±15%
Гранит №3	370	33±15%	150±15%	1700±15%

Эффективная удельная активность естественных радионуклидов в образце гранита №1 и №2 ниже 370 Бк/кг. Это означает, что эти материалы относятся к I классу и может использоваться для всех видов строительства без ограничений. Эффективная удельная активность естественных радионуклидов в образце №3 выше 370 Бк/кг, но ниже 740 Бк/кг. Это означает, что этот материал относятся к II классу и может использоваться для промышленного строительства и для строительства дорог

Таким образом, в радиационной защите ядерной подкритической установки «Источник нейтронов» следует использовать граниты №1 и №2.

## Литература

1. Свидетельство №7241 от 26.09.2008 г. о государственной поверке спектрометра энергий гамма-излучения. СЕПГ-50(П) № 0082, действительно до 26.09.2019 г. Выдано Харьковским государственным центром «Институт метрологии».
2. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре. Харьков. ННЦ ХФТИ. 2000. 14 с.