

УДК 539.163

Научная статья

 <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-1-135-146>

 RZDNKN

## Определение активности примордиальных радионуклидов в образце вулканического туфа

М. Б. Масаев<sup>✉1</sup>, А. М. Гангапшев<sup>1,2</sup>, Д. А. Текуева<sup>1,2</sup>, А. М. Масаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х. М. Бербекова  
360004, Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173

<sup>2</sup>Институт ядерных исследований Российской академии наук  
117312, Россия, Москва, В-312, проспект 60-летия Октября, 7а

**Аннотация.** Учитывая широкое применение вулканического туфа в строительстве в Кабардино-Балкарской Республике и возможное негативное влияние радиационной активности на состояние здоровья людей, актуальной становится задача определения наличия естественной радиационной активности в подобных образцах. Это необходимо для обеспечения контроля радиационного фона и минимизации неустраняемых дозовых нагрузок в период эксплуатации зданий, построенных с использованием вулканического туфа.

**Цель исследования** состоит в определении наличия естественной радиационной активности в образце вулканического туфа в низкофоновых условиях, что может стать основой для разработки метода сортировки туфовых минералов по степени загрязнения примордиальными радионуклидами.

**Материалы и методы исследования.** Образец вулканической брекчии розового туфа собран на берегу р. Баксан в районе п. Эльбрус в КБР. Для образца измеряются удельные активности и определяется состав примордиальных радионуклидов  $^{40}\text{K}$ , дочерних продуктов распада  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  с помощью сцинтилляционного  $\gamma$ -спектрометра высокого разрешения МКГБ-01 «РАДЭК» в условиях сниженного космогенного фона. Сцинтилляционный спектрометр использует кристалл NaI (Tl) размером 150 x150 мм. Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения – от 40 до 10000 кэВ. В кристалле детектора предусмотрен колодец, позволяющий проводить измерения с высокой эффективностью в режиме 4 $\pi$  геометрии.

**Результаты.** Проведено исследование  $\gamma$ -активности природных радионуклидов в образце туфовой брекчии сложного минерального состава, набранного в зоне вулканических рекреаций Эльбруса. Измерения активности проводились по пикам полного поглощения  $\gamma$ -линий  $^{212}\text{Pb}$  ( $^{232}\text{Th}$ ),  $^{214}\text{Bi}$  ( $^{226}\text{Ra}$ ) и  $^{40}\text{K}$ . На основе проведенного исследования предложен метод определения содержания примордиальных радионуклидов в туфовых минералах для минимизации неустраняемых дозовых нагрузок при их использовании в строительстве объектов социального назначения. Суть метода состоит в измерении удельной активности радионуклидов  $^{40}\text{K}$ , дочерних продуктов распада  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  с помощью сцинтилляционного  $\gamma$ -спектрометра высокого разрешения в низкофоновых условиях.

**Выводы.** В результате проведенного анализа гамма-спектров образца туфовой брекчии сложного минерального состава, набранного в зоне вулканических рекреаций Эльбруса, показано, что минеральное сырье, используемое в строительстве, содержит радиоактивные вещества природного происхождения. В основном это  $^{40}\text{K}$ , дочерние продукты  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ . Суммарная активность естественных радионуклидов в образце розового вулканического туфа составила 829 Бк/кг.

**Ключевые слова:** примордиальные радионуклиды, удельная активность, сцинтилляционная спектрометрия, пирокластические породы, туф

© Масаев М. Б., Гангапшев А. М., Текуева Д. А., Масаев А. М., 2026



Контент доступен под лицензией [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Поступила 31.12.2025, одобрена после рецензирования 03.02.2026, принята к публикации 10.02.2026

Для цитирования. Масаев М. Б., Гангапшев А. М., Текуева Д. А., Масаев А. М. Определение активности примордиальных радионуклидов в образце вулканического туфа // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 1. С. 135–146. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-1-135-146

Scientific article

## Determination of primordial radionuclides activity in a sample of volcanic tuff

M.B. Maseev<sup>✉1</sup>, A.M. Gangapshev<sup>1,2</sup>, D.A. Tekueva<sup>1,2</sup>, A.M. Maseev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov  
173, Chernyshevsky street, Nalchik, 360004, Russia

<sup>2</sup>Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences  
7a, 60<sup>th</sup> Anniversary of October prospekt, V-312, Moscow, 117312, Russia

**Abstract.** Given the widespread use of volcanic tuff in construction in the Kabardino-Balkarian Republic and the potential negative impact of radiation on health, it is becoming increasingly important to determine the presence of natural radiation in these materials. This is necessary to ensure background radiation control and minimize unavoidable radiation exposure during the operation of buildings constructed using volcanic tuff.

**Aim.** The study is to determine the presence of natural radiation activity in a sample of volcanic tuff under low-background conditions, which can form the basis for developing a method for sorting tuff minerals according to the degree of contamination with primordial radionuclides.

**Materials and methods.** A sample of pink tuff volcanic breccia was collected on the bank of the Baksan River near the village of Elbrus in the Kabardino-Balkarian Republic. The specific activities of the sample were measured, and the composition of the primordial radionuclides <sup>40</sup>K and the daughter products of <sup>238</sup>U and <sup>232</sup>Th was determined using a high-resolution MKGB-01 "RADEK" scintillation  $\gamma$ -ray spectrometer under reduced cosmogenic background conditions. The scintillation spectrometer uses a 150x150 mm NaI (Tl) crystal. The energy range of the detected gamma radiation is from 40 to 10,000 keV. The detector crystal has a well, allowing for highly efficient measurements in a  $4\pi$  geometry.

**Results.** A study of the  $\gamma$ -activity of natural radionuclides in a sample of tuff breccia with complex mineral composition collected in the Elbrus volcanic recreation zone was conducted. Activity measurements were carried out using the peaks of total absorption of  $\gamma$ -lines of <sup>212</sup>Pb (<sup>232</sup>Th), <sup>214</sup>Bi (<sup>226</sup>Ra), and <sup>40</sup>K. Based on the research, a method for determining the content of primordial radionuclides in tuff minerals is proposed to minimize unavoidable dose loads during their use in the construction of social facilities. The essence of the method consists of measuring the specific activity of <sup>40</sup>K radionuclides, daughter products of <sup>238</sup>U and <sup>232</sup>Th decay, using a high-resolution scintillation  $\gamma$ -spectrometer under low-background conditions.

**Conclusions.** A gamma-spectrum analysis of a tuff breccia sample with a complex mineral composition collected in the Elbrus volcanic recreation zone revealed that the mineral raw materials used in construction contain naturally occurring radioactive substances. These are primarily <sup>40</sup>K and daughter products of <sup>238</sup>U and <sup>232</sup>Th. The total activity of natural radionuclides in the pink volcanic tuff sample was 829 Bq/kg.

**Keywords:** primordial radionuclides, specific activity, scintillation spectrometry, pyroclastic rocks, tuff

Submitted 31.12.2025,

approved after reviewing 03.02.2026,

accepted for publication 10.02.2026



Content is available under license [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

**For citation.** Mashaev M.B., Gangapshev A.M., Tekueva D.A., Mashaev A.M. Determination of primordial radionuclides activity in a sample of volcanic tuff. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2026. Vol. 28. No. 1. Pp. 135–146. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-1-135-146

## ВВЕДЕНИЕ

Задачи экологически безопасного природопользования в настоящее время приобрели особую актуальность. До недавнего времени в качестве важнейших загрязняющих веществ рассматривались главным образом угарный и углекислый газы, оксиды серы и азота, углеводороды. Радионуклиды рассматривались в меньшей степени. В настоящее время интерес к загрязнению радиоактивными веществами неизмеримо вырос, главным образом в связи с потенциальной опасностью дозовых нагрузок, усугубляемых техногенным загрязнением, например, стронцием и цезием. Однако основную роль в формировании неустраняемых дозовых нагрузок в экосистеме человека играют так называемые природные (примордиальные) радионуклиды, постоянно присутствующие в строительных материалах минерального состава, используемых при возведении жилых домов, административных зданий и промышленных объектов. Особое место в ряду таких природных материалов занимает туф – минерал вулканического происхождения, содержащий типичные примордиальные радионуклиды [1, 2] с периодами полураспада порядка  $10^9$  лет, изначально присутствующие в веществе нашей планеты со времени ее формирования. Природные радионуклиды  $^{40}\text{K}$ , дочерние продукты распадов (д.п.р.)  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  в составе туфовых строительных материалов при аномально высокой концентрации могут оказывать неблагоприятное воздействие на организм человека. Таким образом, строительные материалы минерального состава являются критическим звеном в экосистеме человека [3, 4] с точки зрения неустраняемых дозовых нагрузок.

В этой связи в данной работе проводится исследование естественной радиационной активности образца вулканического туфа, добываемого на территории КБР. При этом измеряются удельные активности и определяется состав примордиальных радионуклидов  $^{40}\text{K}$ , д.п.р.  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  с помощью сцинтилляционного  $\gamma$ -спектрометра высокого разрешения МКГБ-01 «РАДЭК» в условиях сниженного космогенного фона совместной КБГУ и ИЯИ РАН лаборатории АФКЛ. Конечной целью работы является разработка метода сортировки туфовых минералов по степени загрязнения примордиальными радионуклидами для выработки рекомендаций по их использованию при строительстве жилых и гражданских объектов социального назначения с целью возможной минимизации неустраняемых дозовых нагрузок в период эксплуатации.

### 1. ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ТУФОВЫХ ПОРОД КБР

Показатели радиоактивности туфовых минералов могут отличаться в зависимости от географии месторождения [5], возможен значительный разброс данных от известных средних значений. Радиационную активность строительных материалов минерального состава можно прогнозировать по их химическому составу и содержанию в них элементов тяжелых металлов, изотопы которых наиболее радиоактивны [6].

На территории РФ в КБР контроль за радиационной безопасностью строительных материалов минерального состава проводится в соответствии с требованиями федеральных законов № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» от 09.01.1996 г. и № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 г. [7]. В соответствии с ГОСТом 30108-94 «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов» критерием оценки является

удельная эффективная активность ЕРН (Бк/кг) радионуклидов Радия-226, Тория-232 и Калия-40, характеризующая их биологическое воздействие на организм человека (формула 1 ГОСТ 30108-94) [8]. Определяющей основой для расчета удельной эффективной активности ЕРН по ГОСТу и являются точные прямые измерения активности образцов туфовых минералов.

Туф, пепел – нерудные полезные ископаемые вулканического происхождения основных типов в Кабардино-Балкарии встречаются повсеместно. Туф – цементированные рыхлые породы вулканических извержений: пепла, песка, бомб, а также обломков пород невулканического происхождения; пепел – несцементированные рыхлые туфовые накопления. Туф, обладающий прочностью, легкостью и низкой теплопроводностью, применяется как стеновой строительный материал [9]. Из разрезанных туфовых блоков возводят многоэтажные дома, хозяйственные постройки.

Самые известные месторождения на территории КБР – Заюковское (известковый туф), Каменское (известковый туф), Куркужинское (известковый туф, пепел), Лечинкаевское (известковый облицовочный розовый туф), Нальчикское (известковый туф, пепел, пемза), Кенженское (пепел, вулканический туф), Белореченское (пепел). Мощными толщами туфа, пемзы и пепла сложены Лесистый и Пастбищный хребты. На территории КБР добывается туф трех основных видов: известковый, кремнистый (гейзерит) и вулканический в виде различных сложных брекчий.



**Рис. 1.** Вулканический туф (брекчия) – содержит лавовые породы, дацит, базальт, оксид железа, кремний и т.д.

**Fig. 1.** Volcanic tuff (breccia) – contains lava rocks, dacite, basalt, iron oxide, silicon, etc.



**Рис. 2.** Розовая брекчия – весовая проба 149 г (в чистом контейнере)

**Fig. 2.** Pink breccia – weight sample 149 g (in a clean container)

Образец типичной пирокластической горной породы [10, 11] – брекчии вулканического туфа – для определения активности примордиальных радионуклидов был отобран на берегу р. Баксан в районе п. Эльбрус.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Для измерения активности природных радионуклидов в образцах туфа была использована экспериментальная установка на базе спектрометра МКГБ-01 «РАДЭК» высокого разрешения. Сцинтилляционный спектрометр МКГБ-01 «РАДЭК» на основе кристалла NaI (Тl) размером 150 x 150 мм, представленный на рисунке 3, имеет следующие характеристики. Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения – от 40 до 10000 кэВ. Разрешение для энергии 661,7 кэВ при измерении с радионуклидным источником  $^{137}\text{Cs}$  типа ОСГИ – не более 9,5 %. В кристалле детектора предусмотрен колодец, позволяющий проводить измерения в режиме 4л геометрии.



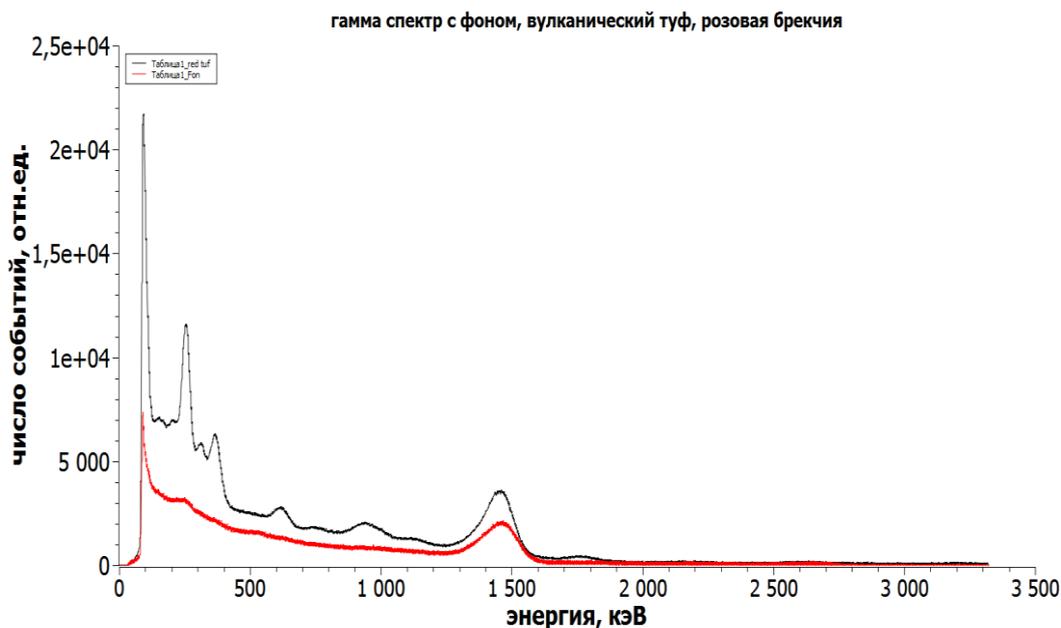
**Рис. 3.** Общий вид сцинтилляционного спектрометра МКГБ-01 «РАДЭК» в составе:  
 1 – пассивная защита в виде свинцового контейнера со сдвигаемой крышкой с механическим приводом;  
 2 – ПК с модулем расширения АЦП и рабочей программой анализатора для визуализации спектра регистрируемых гамма-квантов;  
 3 – станина для защитного контейнера со сцинтилляционным детектором внутри

**Fig. 3.** General view of the MKGB-01 "RADEK" scintillation spectrometer consisting of:  
 1 – passive protection in the form of a lead container with a sliding lid with a mechanical drive;  
 2 – PC with an ADC expansion module and an analyzer operating program for visualizing the spectrum of registered gamma quanta;  
 3 – frame for a protective container with a scintillation detector inside

Измерения проводились в низкофоновых условиях совместной КБГУ и ИЯИ РАН лаборатории АФКЛ. Снижение внешнего космогенного фона производилось как за счет 4л геометрии пассивной защиты из свинца (100 мм) самого спектрометра, так и за счет 4л геометрии пассивной защиты из стен заглубленного в грунт помещения (толщина стен – 2 м, бетон). При этом в свинцовой защите толщиной 10 см кратность ослабления внешнего гамма-фона по энергии 511 кэВ составила  $10^3$ , по энергии 1.5 МэВ –  $10^2$ . Пассивная защита из бетона позволила на порядок снизить уровень фона от мягкой части мюонной компоненты вторичных космических лучей.

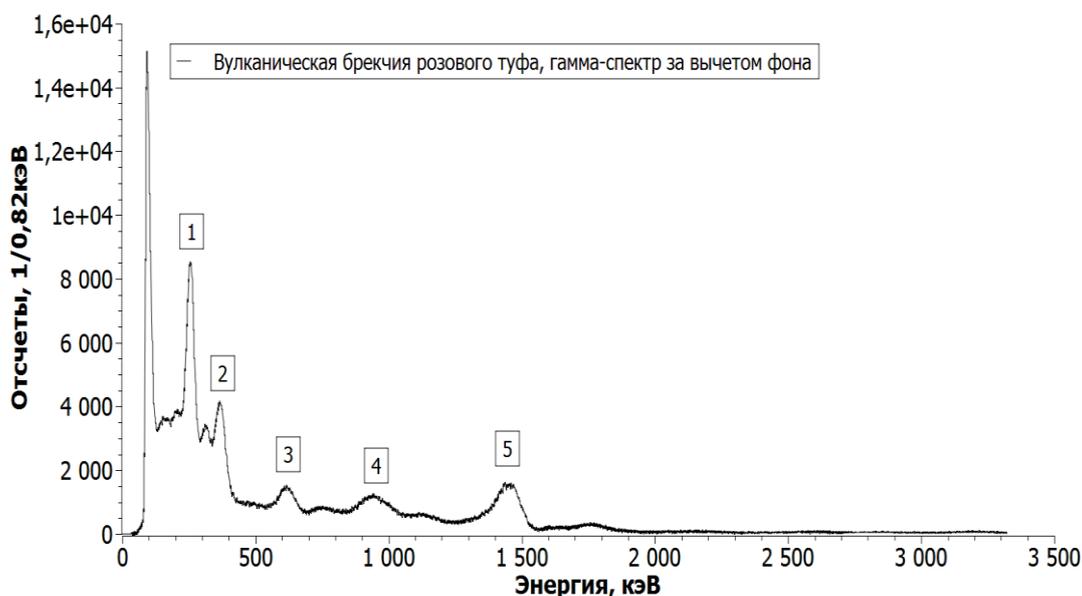
До начала измерений была выполнена калибровка спектрометра с помощью источника  $^{60}\text{Co}$  по гамма-линиям 1.17 и 1.33 МэВ.

Результат измерений активности образца вулканической брекчии розового туфа в виде гамма-спектра представлен на рис. 4.



**Рис. 4.** Гамма-спектр образца вулканической брекчии розового туфа.  
Красным цветом выделена фоновая подложка

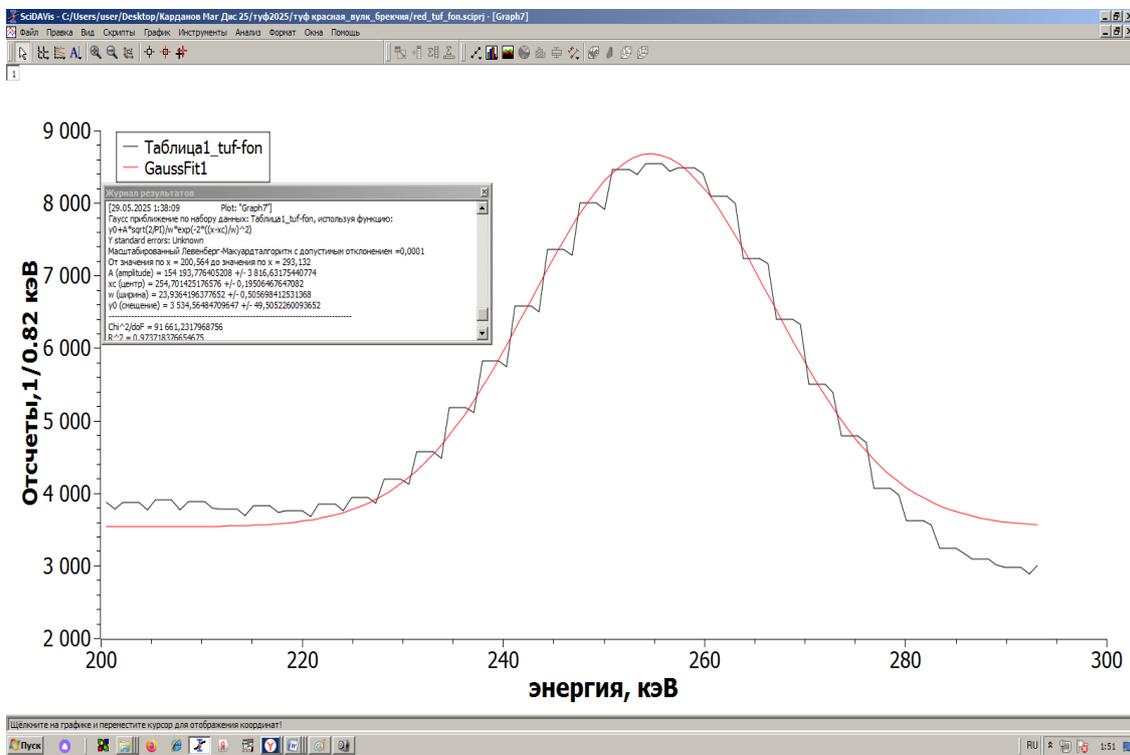
**Fig. 4.** Gamma spectrum of a pink tuff volcanic breccia sample.  
The background is highlighted in red



**Рис. 5.** Гамма-спектр (с вычетом фона) образца вулканической брекчии розового туфа, собранного на берегу р. Баксан в районе п. Эльбрус. Отчетливо видны яркие пики полного поглощения 1 –  $^{212}\text{Pb}$  с энергией 239 кэВ (43%) – д.п.р  $^{232}\text{Th}$ , 2 –  $^{214}\text{Pb}$  с энергией 352 кэВ (38%) – д.п.р  $^{226}\text{Ra}$ , 3 –  $^{214}\text{Bi}$  с энергией 609 кэВ (46%) – д.п.р  $^{226}\text{Ra}$ , 4 –  $^{228}\text{Ac}$  с энергией 968 кэВ (21%) – д.п.р  $^{232}\text{Th}$ , 5 –  $^{40}\text{K}$  с энергией 1462 кэВ (10,7%). Время экспозиции составило 20 часов

**Fig. 5.** Gamma spectrum (with background subtraction) of a sample of volcanic breccia of pink tuff collected on the bank of the Baksan river, in the vicinity of the village of Elbrus. Bright peaks of total absorption are clearly visible: 1 –  $^{212}\text{Pb}$  with an energy of 239 keV (43%) – d.p.r  $^{232}\text{Th}$ , 2 –  $^{214}\text{Pb}$  with an energy of 352 keV (38%) – d.p.r  $^{226}\text{Ra}$ , 3 –  $^{214}\text{Bi}$  with an energy of 609 keV (46%) – d.p.r  $^{226}\text{Ra}$ , 4 –  $^{228}\text{Ac}$  with an energy of 968 keV (21%) – d.p.r  $^{232}\text{Th}$ , 5 –  $^{40}\text{K}$  with an energy of 1462 keV (10.7%). The exposure time is 20 hours

На рисунке 5 представлен итоговый гамма-спектр за вычетом фона, на котором идентифицированы наиболее яркие гамма-пики полного поглощения. Образец вулканической брекчии розового туфа собран на берегу р. Баксан в районе п. Эльбрус в КБР, в 20 километрах от вулкана Эльбрус в марте 2025 г.



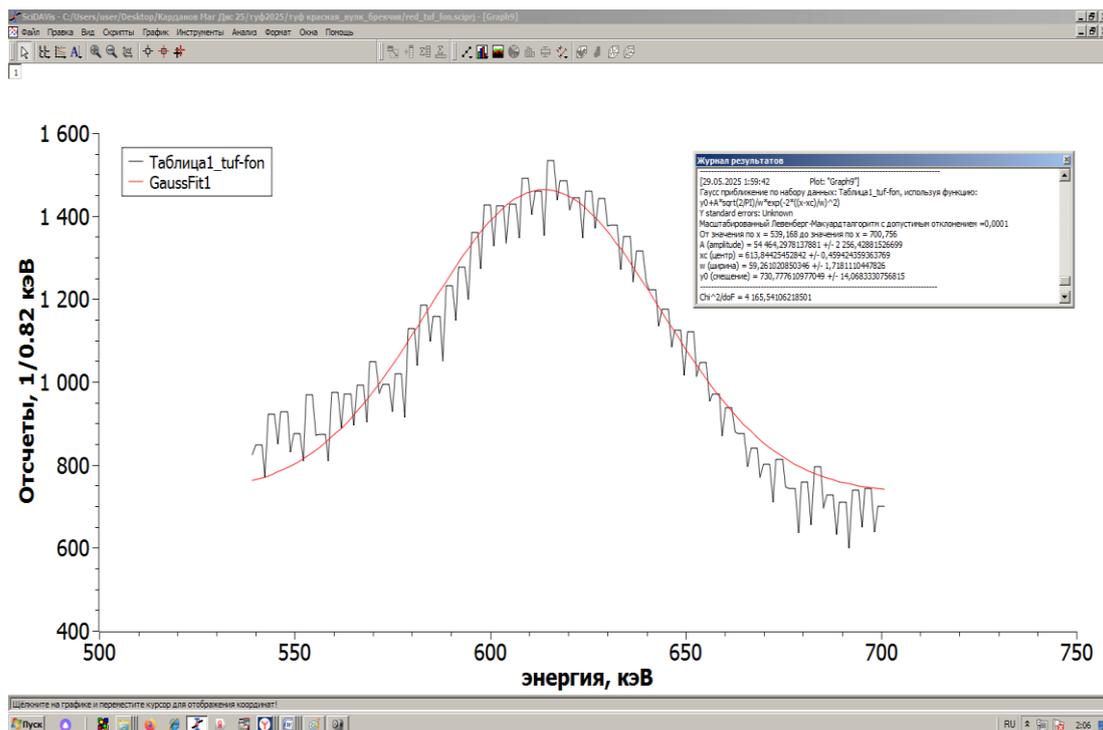
**Рис. 6.** В пике полного поглощения  $^{212}\text{Pb}$  (в равновесии с  $^{232}\text{Th}$ ) за вычетом фона за 20 часов измерений зарегистрировано 154 193.8 событий

**Fig. 6.** At the peak of total absorption of  $^{212}\text{Pb}$  (in equilibrium with  $^{232}\text{Th}$ ) after subtracting the background, 154 193.8 events were recorded over 20 hours of measurements

Анализ спектра на рисунке 6 показывает, что первая линия с энергией 239 кэВ, зарегистрированная с высокой эффективностью, идентифицируется как пик полного поглощения гамма-квантов  $^{212}\text{Pb}$  – д.п.р  $^{232}\text{Th}$  с яркостью 43%.

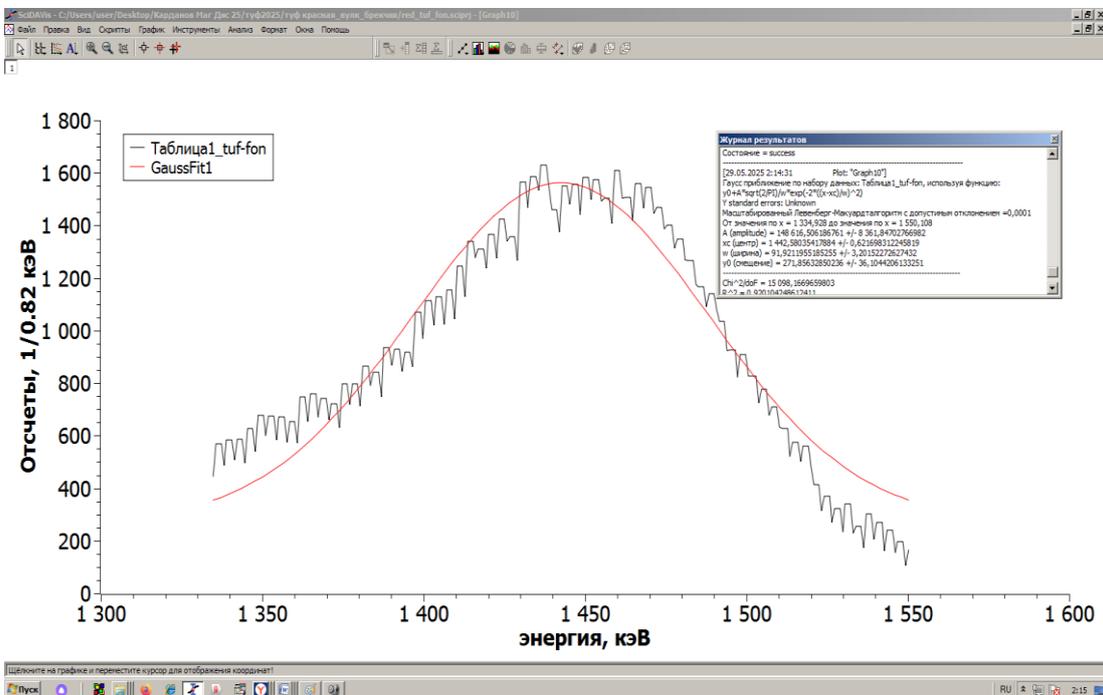
Гамма-линия 3, соответствующая энергии 609 кэВ, идентифицируется как пик полного поглощения гамма-квантов  $^{214}\text{Bi}$  – д.п.р  $^{226}\text{Ra}$  с яркостью 47% [3].

В области энергий 1.5 МэВ гамма-линия 5 надежно идентифицируется как пик полного поглощения гамма-квантов с энергией 1462 кэВ примордиального радионуклида  $^{40}\text{K}$  с яркостью 10,7%.



**Рис. 7.** В пике полного поглощения  $^{214}\text{Bi}$  (д.п.р.  $^{226}\text{Ra}$ ) за вычетом фона за 20 часов измерений зарегистрировано 54 464 события

**Fig. 7.** At the peak of total absorption of  $^{214}\text{Bi}$  (d.p.r.  $^{226}\text{Ra}$ ), excluding the background, 54 464 events are recorded over 20 hours of measurements



**Рис. 8.** В пике полного поглощения  $^{40}\text{K}$  за вычетом фона за 20 часов измерений зарегистрировано 148616 событий

**Fig. 8.** At the peak of total absorption of  $^{40}\text{K}$ , 148,616 events are recorded after 20 hours of measurements, minus the background

Для оценки эффективности регистрации гамма-квантов от распадов примордиальных радионуклидов можно использовать результаты оценок эффективности регистрации. Данные результаты представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Количество регистрируемых гамма-квантов на 1 распад изотопа

**Table 1.** Number of registered gamma quanta per 1 isotope decay

$E_{\gamma} = 1460$ кэВ $^{40}\text{K}$	$E_{\gamma} = 238$ кэВ $^{212}\text{Pb}$ ( $^{232}\text{Th}$ )	$E_{\gamma} = 609$ кэВ $^{214}\text{Bi}$ ( $^{226}\text{Ra}$ )
0.01861	0.258	0.17112

Определим удельную активность исследуемого образца брекчии из розового вулканического туфа массой 149 г с учетом эффективности регистрации и времени измерений 20 часов.

Для  $^{212}\text{Pb}$  ( $^{232}\text{Th}$ ) с учетом эффективности регистрации 0.258 реальное число гамма-событий за 20 часов составляет 597650.4, что в пересчете активности на 1 кг образца соответствует 55.7 Бк/кг

Для  $^{214}\text{Bi}$  ( $^{226}\text{Ra}$ ) с учетом эффективности регистрации 0.17112 реальное число гамма-событий за 20 часов составляет 318281.4, что в пересчете активности на 1 кг образца соответствует 29.7 Бк/кг

Для К-40 с учетом эффективности 0.01861 регистрации реальное число гамма-событий за 20 часов составляет 7985814.1, что в пересчете активности на 1 кг образца соответствует 744.3 Бк/кг.

Таким образом, туфовые породы, сформированные в виде брекчий [12, 13], содержат значительное количество примордиальных радионуклидов.

Из рассмотренных радионуклидов все три  $^{212}\text{Pb}$  ( $^{232}\text{Th}$ ),  $^{214}\text{Bi}$  ( $^{226}\text{Ra}$ ) и  $^{40}\text{K}$  являются примордиальными радионуклидами. Данные радионуклиды находятся в рассеянном состоянии во всех компонентах природной среды [14].

### Выводы

1. Показано, что минеральное сырье, используемое в строительстве, содержит радиоактивные вещества природного происхождения. В основном это  $^{40}\text{K}$ , дочерние продукты  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ . При действующих контрольных мерах по радиометрии естественных радионуклидов строительные материалы минерального состава были, есть и остаются критическим звеном в экосистеме человека с точки зрения неустранимых дозовых нагрузок.

2. В условиях сниженного внешнего гамма- и космогенного фона проведены тестовые измерения гамма-активности природных радионуклидов длительностью 20 часов в образце туфовых пород, собранных в природных вулканических рекреациях Эльбруса. По ярким пикам полного поглощения гамма-спектров удалось идентифицировать гамма-линии  $^{212}\text{Pb}$  ( $^{232}\text{Th}$ ),  $E_{\gamma}=238$ кэВ,  $^{214}\text{Bi}$  ( $^{226}\text{Ra}$ ),  $E_{\gamma}= 609$  кэВ и  $^{40}\text{K}$ ,  $E_{\gamma}= 1460.2$  кэВ.

3. Выполнены измерения активности естественных радионуклидов в образце розового вулканического туфа. В пересчете на единицу массы активность по  $^{212}\text{Pb}$  ( $^{232}\text{Th}$ ) составила 55.7 Бк/кг, по  $^{214}\text{Bi}$  ( $^{226}\text{Ra}$ ) – 29.7 Бк/кг и по  $^{40}\text{K}$  – 744.3 Бк/кг. Это в сумме дает удельную активность 829.7 Бк/кг.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимов М. Т., Оджагов Г. О. Радиоактивные загрязнения и их измерение: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1989. 304 с.

2. Радиоактивные ряды // Таблицы физических величин: справочник / Под ред. акад. И. К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1976. С. 872–873. 1008 с.
3. *Ким Д., Геращенко Л. А.* Радиационная экология. Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2010. 213 с.
4. *Титаева Н. А.* Геохимия природных радиоактивных рядов распада. М.: Геос, 2005. 225 с.
5. *Ежова А. В.* Состав, условия накопления и геофизическая характеристика брекчий Нюрольского осадочного бассейна (Томская область) // Известия ТПУ. 2011. № 1. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_16463776\\_25837838.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_16463776_25837838.pdf).
6. *Демирчян Г. А., Мовсисян Н. Э., Пюскюлян К. И., Беляева О. А.* Радиологические исследования в крупнейших горнодобывающих центрах Армении // Геохимия. 2022. Т. 67. № 1. С. 84–98. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_47488134\\_49466683.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_47488134_49466683.pdf)
7. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). Санитарные правила. СП 2.6.1.758-99. Утв. Минздравом РФ от 02.07.1999. Библиотека Российской газеты. Вып. 16. 2001.
8. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов.
9. *Сугробов Н. П., Фролов В. В.* Строительная экология: учебник для СУЗ. М.: Академия, 2004. 413 с.
10. Пирокластические породы // Большая советская энциклопедия: в 30 т. 3-е изд. М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.
11. *Титаева Н. А.* Ядерная геохимия. М.: МГУ, 2000. 336 с.
12. *Ершов В. В., Перестнева Ю. А.* Литохимическая характеристика сопочной брекчии грязевых вулканов мира // Отечественная геология. 2018. № 4. С. 72–83. DOI: 10.24411/0869-7175-2018-10007
13. *Гудзенко В. В., Деяк М. А., Кутний В. А., Науменко С. П.* Радиоактивность продуктов грязевого вулканизма // ГПИМО. 2007. № 4. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_15232883\\_76858346.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_15232883_76858346.pdf)
14. *Сапожников Ю. А., Алиев Р. А., Калмыков С. Н.* Радиоактивность окружающей среды. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006.

## REFERENCES

1. Maksimov M.T., Odzhagov G.O. *Radioaktivnyye zagryazneniya i ikh izmereniye* [Radioactive Contamination and Its Measurement]: textbook. 2nd ed., revised and expanded. Moscow: Energoatomizdat, 1989. 304 p. (In Russian)
2. *Radioaktivnyye ryady* [Radioactive Series]. Tables of Physical Quantities: Handbook. Ed. by Academician I.K. Kikoin. Moscow: Atomizdat, 1976. Pp. 872–873. 1008 p. (In Russian)
3. Kim D., Gerashchenko L.A. *Radiatsionnaya ekologiya* [Radiation Ecology]. Bratsk: State Educational Institution of Higher Professional Education “BrSU”, 2010. 213 p. (In Russian)
4. Titaeva N.A. *Geokhimiya prirodnykh radioaktivnykh ryadov raspada* [Geochemistry of Natural Radioactive Decay Series]. Moscow: Geos, 2005. 225 p. (In Russian)
5. Ezhova A.V. Composition, accumulation conditions and geophysical characteristics of breccias of the Nyurol sedimentary basin (Tomsk region). *Izvestiya TPU*. 2011. No. 1. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_16463776\\_25837838.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_16463776_25837838.pdf). (In Russian)
6. Demirchyan G.A., Movsisyan N.E., Pyuskyulyan K.I., Belyaeva O.A. Radiological studies in the largest mining centers of Armenia. *Geochemistry*. 2022. Vol. 67. No. 1. Pp. 84–98. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_47488134\\_49466683.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_47488134_49466683.pdf). (In Russian)

7. *Normy radiatsionnoy bezopasnosti (NRB-99)* [Radiation Safety Standards (NRB-99)]. Sanitary Rules. SP 2.6.1.758-99. Approved by the Ministry of Health of the Russian Federation on July 2, 1999. Biblioteka Rossiyskoy gazety. Issue 16. 2001. (In Russian)
8. GOST 30108-94. *Materialy i izdeliya stroitel'nyye. Opredeleniye udel'noy effektivnoy aktivnosti yestestvennykh radionuklidov* [Construction Materials and Products. Determination of the Specific Effective Activity of Natural Radionuclides]. (In Russian)
9. Sugrobov N.P., Frolov V.V. *Stroitel'naya ekologiya* [Construction Ecology]: textbook for SUZ. Moscow: Academy, 2004. 413 p. (In Russian)
10. *Piroklasticheskiye porody* [Pyroclastic Rocks]. Great Soviet Encyclopedia: in 30 volumes. 3rd ed. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya, 1969–1978. (In Russian)
11. Titaeva N.A. *Yadernaya geokhimiya* [Nuclear Geochemistry]. Moscow: Moscow State University, 2000. 336 p. (In Russian)
12. Ershov V.V., Perestneva Yu.A. Lithochemical characteristics of mud breccia of mud volcanoes of the world. *Otechestvennaya Geologiya* [Domestic Geology]. 2018. No. 4. Pp. 72–83. DOI: 10.24411/0869-7175-2018-10007. (In Russian)
13. Gudzenko V.V., Deyak M.A., Kutniy V.A., Naumenko S.P. Radioactivity of mud volcanism products. *GPIMO*. 2007. No. 4. URL: //elibrary.ru/download/elibrary\_15232883\_76858346.pdf. (In Russian)
14. Sapozhnikov Yu.A., Aliev R.A., Kalmykov S.N. *Radioaktivnost' okruzhayushchey sredy* [Environmental Radioactivity]. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2006. (In Russian)

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

**Funding.** The study was performed without external funding.

### Информация об авторах

**Масаев Мартин Батарбиевич**, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры ТиЭФ института математики и естественных наук, Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х. М. Бербекова; 360004, Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173;

masmartin@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6459-0221>, SPIN-код: 6700-6542

**Ганганшев Альберт Мусаевич**, канд. физ.-мат. наук, зам. зав. по научной работе БНО, Институт ядерных исследований Российской академии наук;

117312, Россия, Москва, В-312, проспект 60-летия Октября, 7а;

gangapsh@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6086-0569>, SPIN-код: 9323-4493

**Текуева Джамиля Ануаровна**, канд. физ.-мат. наук, науч. сотр. БНО, Институт ядерных исследований Российской академии наук;

117312, Россия, Москва, В-312, проспект 60-летия Октября, 7а;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5676-1605>, SPIN-код: 3777-7427

**Масаев Аслан-Гирей Мартинович**, инженер-исследователь, Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х. М. Бербекова;

360004, Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173;

masmartin@mail.ru

**Information about the authors**

**Martin B. Masaev**, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Department of Telecommunications and Electronics, Institute of Mathematics and Natural Sciences, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov;

173, Chernyshevsky street, Nalchik, 360004, Russia;

masmartin@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6459-0221>, SPIN-code: 6700-6542

**Albert M. Gangapshev**, Candidat of Physics and Mathematics, Deputy Head of Research, Department of Scientific Work, Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences;

7a, 60th Anniversary of October prospekt, V-312, Moscow, 117312, Russia;

gangapsh@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6086-0569>, SPIN-code: 9323-4493

**Dzhamilya A. Tekueva**, Candidat of Physics and Mathematics, Researcher, INR RAS, Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences;

7a, 60th Anniversary of October prospekt, V-312, Moscow, 117312, Russia;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5676-1605>, SPIN-code: 3777-7427

**Aslan-Girey M. Masaev**, Research Engineer, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov;

173, Chernyshevsky street, Nalchik, 360004, Russia;

masmartin@mail.ru