

УДК 551.521.2

И. Н. Сенин<sup>1</sup>  
К. В. Антохина<sup>1</sup>  
А. А. Ширяева<sup>1</sup>  
Е. Ю. Антонова<sup>2</sup>  
У. А. Сидорина<sup>2</sup>  
Е. А. Буреаева<sup>2</sup>

## **Радионуклиды в компонентах экосистем горных районов Республики Адыгея**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО Южный федеральный университет,  
физический факультет, Ростов-на-Дону,  
Российская Федерация  
e-mail: senjokusa@gmail.com

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт физики Южного  
федерального университета, Ростов-на-Дону,  
Российская Федерация  
e-mail: buraeva\_elena@mail.ru

**Аннотация.** В работе представлены результаты измерения удельной активности радионуклидов в различных элементах экосистемы в горных районах Республики Адыгея. На исследуемой территории были проведены пешеходная гамма-съёмка и отбор проб почв, мхов, опада и грибов. В работе используются данные, полученные за 10 лет экспедиций (с 2010 г. по 2020 г.). Сделаны выводы о величине коэффициента накопления в разных элементах экосистем. Полученная информация позволяет судить об активности разных видов почв.

Среди рассмотренных элементов экосистем можно выделить грибы, так как они имеют наибольший коэффициент накопления радионуклидов. Удельная активность грибов в среднем в 3,4 раза больше удельной активности почв.

В работе были рассмотрены следующие виды почв: ранкер лесной среднесуглинистый ненасыщенный на элювии гранитов, луговая ненасыщенная (кислая) тяжелосуглинистая на валунно-галечниковых отложениях, луговая ненасыщенная маломощная глееватая среднесуглинистая на валунно-галечниковых отложениях, аллювиально-дерновая ненасыщенная тяжелосуглинистая на аллювиально-делювиальных отложениях, аллювиально-дерновая ненасыщенная супесчаная на аллювиально-делювиальных отложениях, бурая лесная ненасыщенная глееватая глинистая на желто-бурой глине. Среди рассмотренных видов почв выделяются почвы, залегающие на гранитах. Они являются самыми высокоактивными, наблюдается особенно высокая удельная активность <sup>137</sup>Cs.

**Ключевые слова:** удельная активность, естественные радионуклиды, искусственные радионуклиды, горные породы, почвы, мхи, грибы, опад, Адыгея, экосистема.

### **Введение**

Исследование радиационной обстановки является важнейшей задачей для человечества. В почвах присутствуют почти все известные в природе химические элементы, в том числе и радиоактивные. Среди элементов биосферы почвы обладают наиболее высокой степенью радиоактивности [1-3].

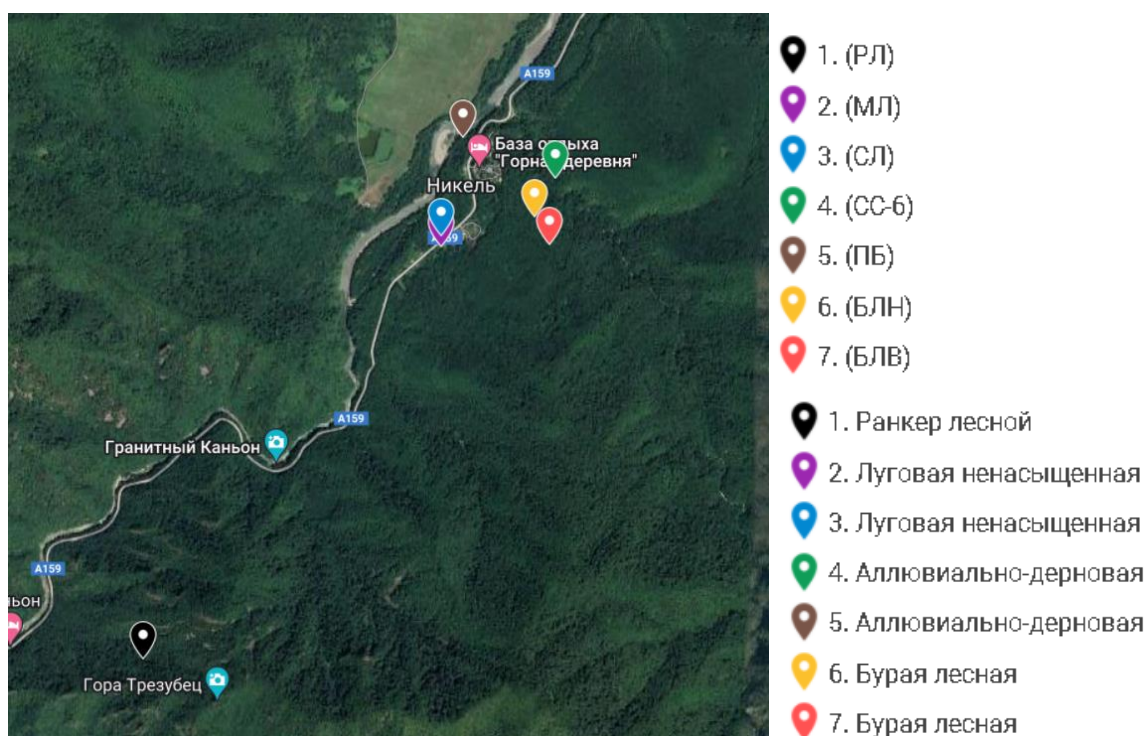
По результатам данной работы можно проследить за распределением радионуклидов на территории Республики Адыгея, которая входит в состав Южного федерального округа Российской Федерации. Это важно, прежде всего, потому что элементы экосистемы являются продуктами питания различных

животных и растений, которые могут быть использованы человеком, и, следовательно, оказать влияние на его здоровье. Южная часть Российской Федерации является курортным регионом, поэтому безопасность здоровья людей напрямую зависит от состояния почвы. Помимо этого, Адыгея – индустриально-аграрная республика с такими отраслями промышленности, как пищевая, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная.

Цель работы – выявление закономерности распределения, миграции и накопления радионуклидов в элементах экосистемы горной Адыгеи.

### Материалы и методы

В данной работе использованы данные, полученные в ходе регулярных экспедиций в горные районы Республики Адыгеи. За время экспедиции отбирались пробы почв, растений и грибов на контрольных участках, отмеченных на карте-схеме (рис. 1).



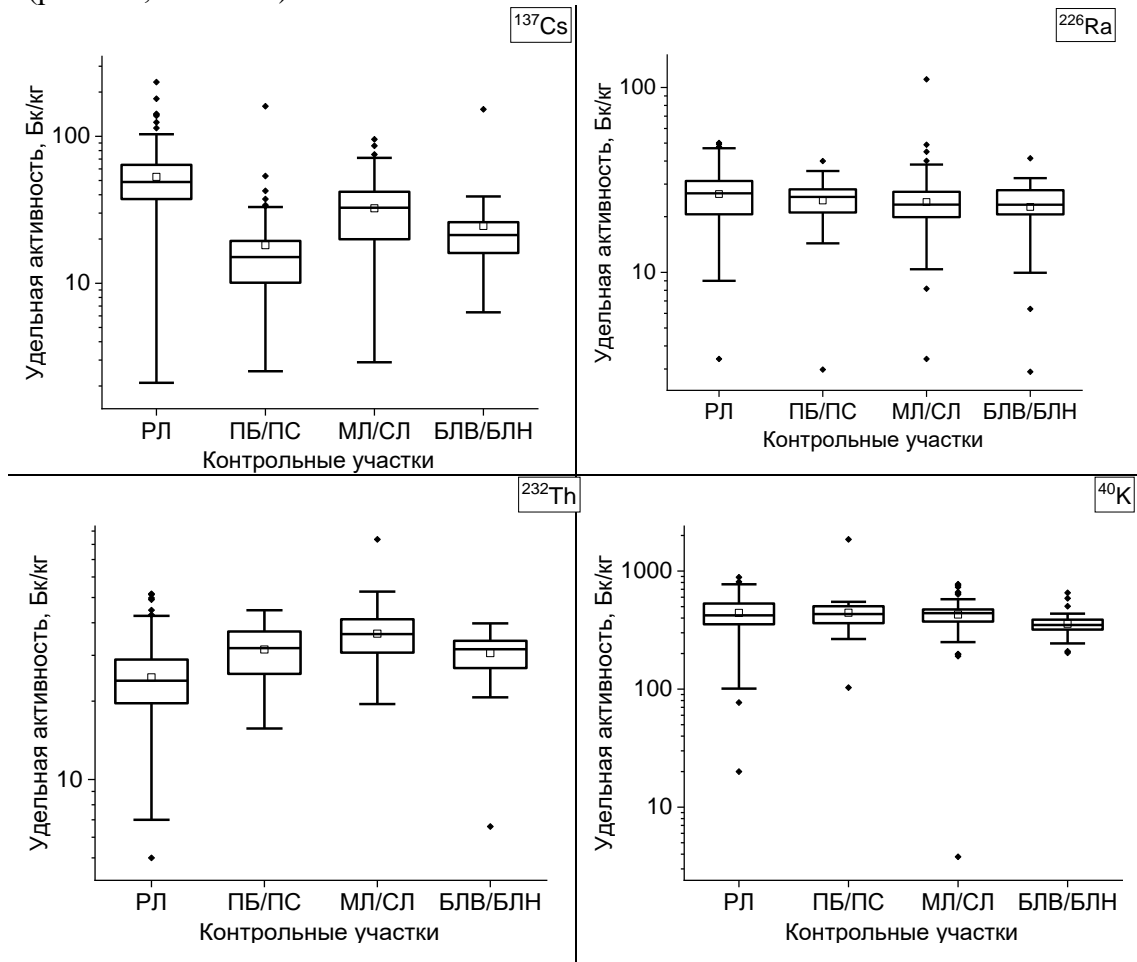
**Рис. 1.** Карта-схема контрольных участков в горных районах Республики Адыгея  
*Составлено авторами*

Для отбора проб использовалось полевое оборудование: лопаты, рулетки, линейки, пакеты, секаторы, ножи. После отбора пробы фиксируется информация о ней, включая дату и время отбора, данные об участке, глубина отбора пробы, данные о типе почвы, площадь отбора (для растительности). Перед дальнейшим анализом все пробы прошли пробоподготовку, которая включает в себя: высушивание пробы, измельчение, просеивание, озоление (для растительных проб).

Для определения удельной активности гамма-излучающих радионуклидов (искусственного  $^{137}\text{Cs}$ , естественных  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) в пробе проводится гамма-спектрометрия на сцинтилляционном спектрометре «Прогресс-гамма».

## Результаты и обсуждение

После проведения анализа данных были получены следующие результаты (рис. 2-5, табл. 1-4):



**Рис. 2.** Распределение радионуклидов в почвах Майкопского района, Республики Адыгея (индексы контрольных участков представлены на рис. 1)  
Составлено авторами

**Таблица 1**

Результаты статистического анализа удельной активности радионуклидов в почвах Майкопского района, Республики Адыгея

<i>Распределение радионуклидов в опаде по контрольным участкам</i>				
Параметр	РЛ	ПБ/ПС	МЛ/СЛ	БЛВ/БЛН
<i><sup>137</sup>Cs</i>				
Минимум, Бк/кг	0,2	1,8	0,2	1,0
Максимум, Бк/кг	62,7	10,3	40,7	16,4
Среднее арифметическое, Бк/кг	15,0	4,7	14,4	7,1
Медиана, Бк/кг	9,7	4,4	12,2	7,2
<i><sup>226</sup>Ra</i>				
Минимум, Бк/кг	1,2	0,4	6,0	3,3
Максимум, Бк/кг	44,4	40,1	19,2	36,1

Среднее арифметическое, Бк/кг	18,2	17,3	11,6	12,3
Медиана, Бк/кг	11,6	15,6	9,75	10,7
$^{232}\text{Th}$				
Минимум, Бк/кг	2,6	0,7	1,8	2,1
Максимум, Бк/кг	59,2	37,6	27,9	23,3
Среднее арифметическое, Бк/кг	18,6	15,2	10,8	10,1
Медиана, Бк/кг	10,4	9,3	6,8	9,15
$^{40}\text{K}$				
Минимум, Бк/кг	20,0	103,0	3,8	203,0
Максимум, Бк/кг	886,0	1855,0	774,0	654,0
Среднее арифметическое, Бк/кг	441,4	443,6	427,7	357,4
Медиана, Бк/кг	421,8	432,5	440,0	349,0

Составлено авторами

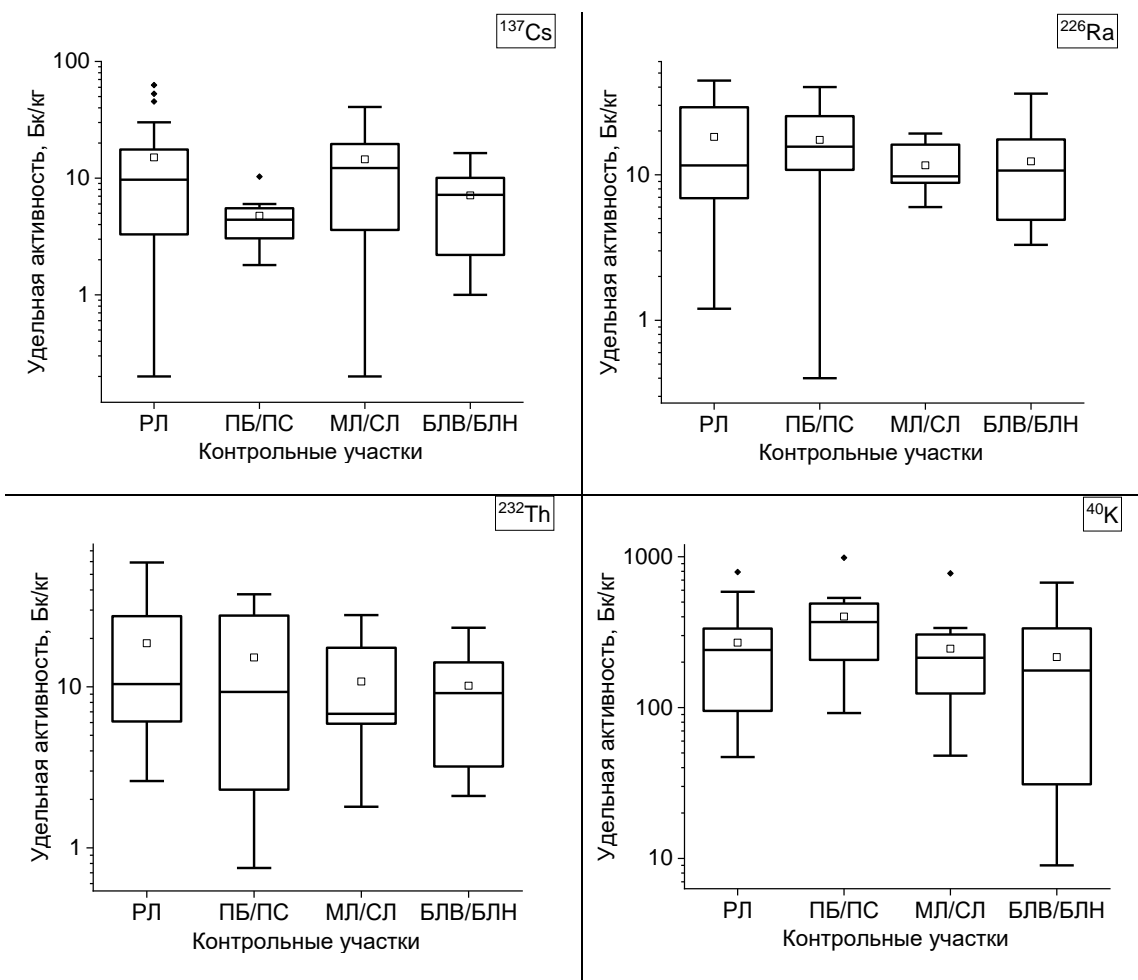


Рис. 3. Распределение радионуклидов в опаде Майкопского района, Республики Адыгея (индексы контрольных участков представлены на рис. 1)

Составлено авторами

Судя по графикам, представленным на рисунке 2, можно сделать вывод о том, что ранкер лесной имеет наибольшую активность цезия-137. Этот контрольный участок расположен на дне гранитного ущелья и отличается высоким содержанием радионуклидов, в том числе и радиоцезия. Удельная активность естественных радионуклидов  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  в различных типах почв не сильно разнится. Согласно работам многих авторов для разных регионов, содержание тория, калия и радия в почвах зачастую устойчиво [4-5].

**Таблица 2**

Результаты статистического анализа удельной активности радионуклидов в опаде Майкопского района, Республики Адыгея

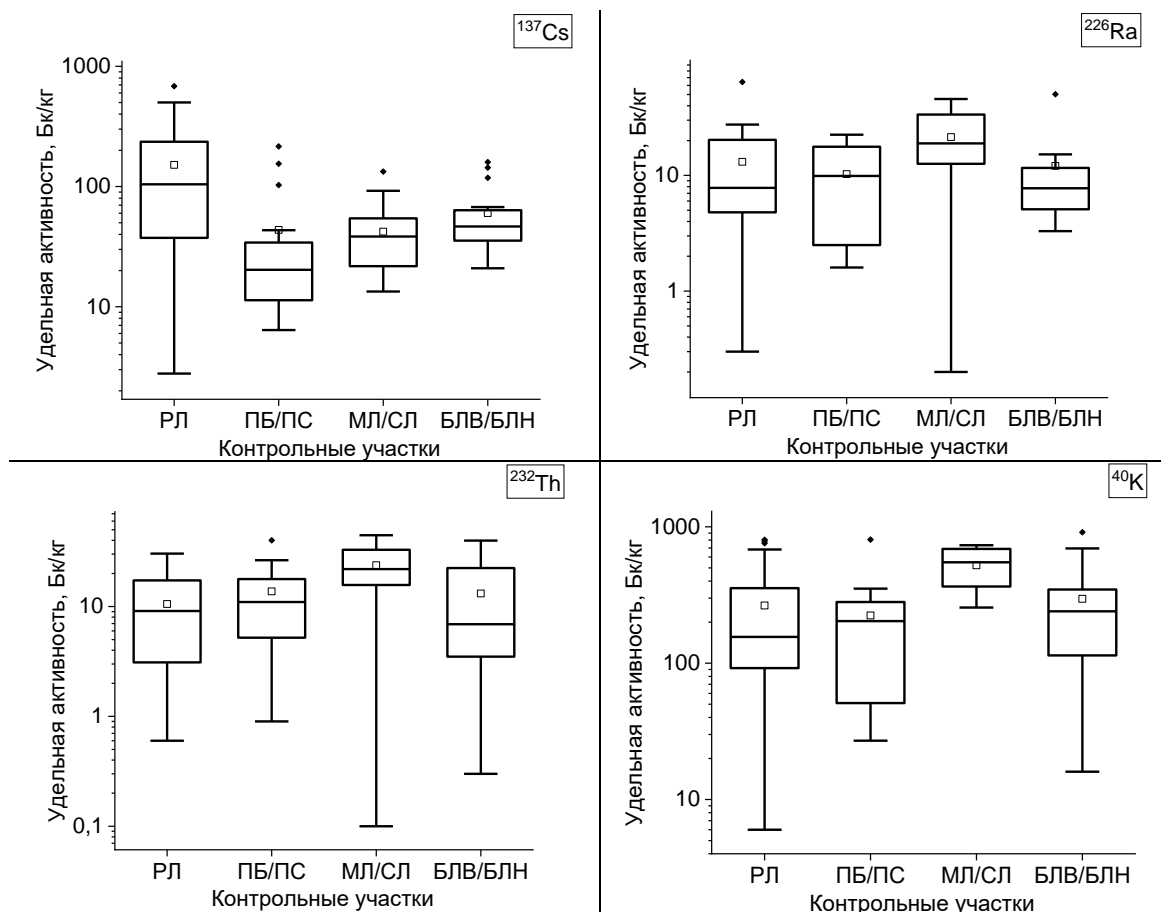
<i>Распределение радионуклидов в опаде по контрольным участкам</i>				
Параметр	РЛ	ПБ/ПС	МЛ/СЛ	БЛВ/БЛН
$^{137}\text{Cs}$				
Минимум, Бк/кг	0,2	1,8	0,2	1,0
Максимум, Бк/кг	62,7	10,3	40,7	16,4
Среднее арифметическое, Бк/кг	15,0	4,7	14,4	7,1
Медиана, Бк/кг	9,7	4,4	12,2	7,2
$^{226}\text{Ra}$				
Минимум, Бк/кг	1,2	0,4	6,0	3,3
Максимум, Бк/кг	44,4	40,1	19,2	36,1
Среднее арифметическое, Бк/кг	18,2	17,3	11,6	12,3
Медиана, Бк/кг	11,6	15,6	9,75	10,7
$^{232}\text{Th}$				
Минимум, Бк/кг	2,6	0,7	1,8	2,1
Максимум, Бк/кг	59,2	37,6	27,9	23,3
Среднее арифметическое, Бк/кг	18,6	15,2	10,8	10,1
Медиана, Бк/кг	10,4	9,3	6,8	9,15
$^{40}\text{K}$				
Минимум, Бк/кг	47,0	92,0	48,0	9,0
Максимум, Бк/кг	792,0	985,0	775,0	673,0
Среднее арифметическое, Бк/кг	269,3	401,0	245,6	216,2
Медиана, Бк/кг	241,0	369,0	214,0	176,0

*Составлено авторами*

Листья накапливают радионуклиды как из почвы, так и из атмосферы. В целом тенденция распределения активности радионуклидов в опаде совпадает с распределением в почвах по соответствующим участкам. Но заметно, что абсолютное значение активности в опаде в среднем в 2 раза меньше, чем в почвах. Это можно объяснить смыванием радиоактивных осадков дождями с поверхности листьев. Также низкую удельную активность в опаде можно объяснить тем, что во время вегетационного периода растение может сбрасывать листву несколько раз, тем самым в опавших листьях не накапливается слишком большого количества радионуклидов.

Радионуклиды поступают в мхи из атмосферы. На данных графиках (рис. 4) заметны высокие значения удельной активности цезия-137 в мхах на участке РЛ.

Как уже говорилось выше, почвы на этом участке залегают на гранитах, который отличается высоким содержанием радиоцезия. Ветровые потоки в ущелье способны поднимать пыль вместе с цезием в атмосферу, откуда она поступает в мхи.



**Рис. 4.** Распределение радионуклидов во мхах Майкопского района, Республики Адыгея (индексы контрольных участков представлены на рис. 1)

Составлено авторами

**Таблица 3**

Результаты статистического анализа удельной активности радионуклидов в мхах Майкопского района, Республики Адыгея

<i>Распределение радионуклидов в мхах по контрольным участкам</i>				
Параметр	РЛ	ПБ/ПС	МЛ/СЛ	БЛВ/БЛН
<b><sup>137</sup>Cs</b>				
Минимум, Бк/кг	2,7	6,4	13,4	20,9
Максимум, Бк/кг	683,6	215,4	133,2	159,6
Среднее арифметическое, Бк/кг	151,2	43,5	42,1	60,0
Медиана, Бк/кг	104,3	20,3	38,4	46,5
<b><sup>226</sup>Ra</b>				
Минимум, Бк/кг	0,3	1,6	0,2	3,3
Максимум, Бк/кг	64,2	22,5	45,8	50,3

Среднее арифметическое, Бк/кг	13,1	10,2	21,4	12,0
Медиана, Бк/кг	7,8	9,9	18,9	7,7
$^{232}\text{Th}$				
Минимум, Бк/кг	0,6	0,9	0,1	0,3
Максимум, Бк/кг	30,3	40,1	44,6	39,8
Среднее арифметическое, Бк/кг	10,5	13,7	23,7	13,1
Медиана, Бк/кг	9,1	11,0	21,9	6,9
$^{40}\text{K}$				
Минимум, Бк/кг	6,0	27,0	256,0	16,0
Максимум, Бк/кг	804,0	806,0	733,0	913,0
Среднее арифметическое, Бк/кг	264,6	223,6	522,8	296,7
Медиана, Бк/кг	156,0	203,5	550,0	240,0

Составлено авторами

Грибы всей своей поверхностью плодового тела и мицелием (грибницей) поглощают различные микроэлементы, но особенно хорошо – радиоактивный  $^{137}\text{Cs}$ , который концентрируется в верхнем слое почвы. Благодаря своей корневой системе один гриб способен поглощать радионуклиды с территории свыше одного квадратного метра, что и объясняет высокую удельную активность радионуклидов в грибах (табл. 4, рис. 5).

**Таблица 4**

Результаты статистического анализа удельной активности радионуклидов в грибах Майкопского района, Республики Адыгея

<i>Распределение радионуклидов в грибах по контрольным участкам</i>				
Параметр	РЛ	ПБ/ПС	МЛ/СЛ	БЛВ/БЛН
$^{137}\text{Cs}$				
Минимум, Бк/кг	14,5	16,0	12,1	2,7
Максимум, Бк/кг	1065,0	35,1	13,7	258,2
Среднее арифметическое, Бк/кг	291,2	25,5	12,9	64,8
Медиана, Бк/кг	141,5	25,5	12,9	43,0
$^{226}\text{Ra}$				
Минимум, Бк/кг	38,0	6,6	5,3	20,5
Максимум, Бк/кг	88,0	37,0	13,0	23,3
Среднее арифметическое, Бк/кг	63,3	15,12	9,15	21,9
Медиана, Бк/кг	64,0	8,3	9,15	21,9
$^{232}\text{Th}$				
Минимум, Бк/кг	62,3	5,0	13,9	12,7
Максимум, Бк/кг	134,0	214,0	67,0	92,0
Среднее арифметическое, Бк/кг	90,3	91,5	32,8	55,3
Медиана, Бк/кг	82,5	54,65	17,5	52,0
$^{40}\text{K}$				
Минимум, Бк/кг	401,1	635,0	485,0	193,0
Максимум, Бк/кг	6148,0	3508,0	1368,0	2439,0

Среднее арифметическое, Бк/кг	2023,0	1856,0	901,6	1165,1
Медиана, Бк/кг	2141,0	1602,5	852,0	1201,5

Составлено авторами

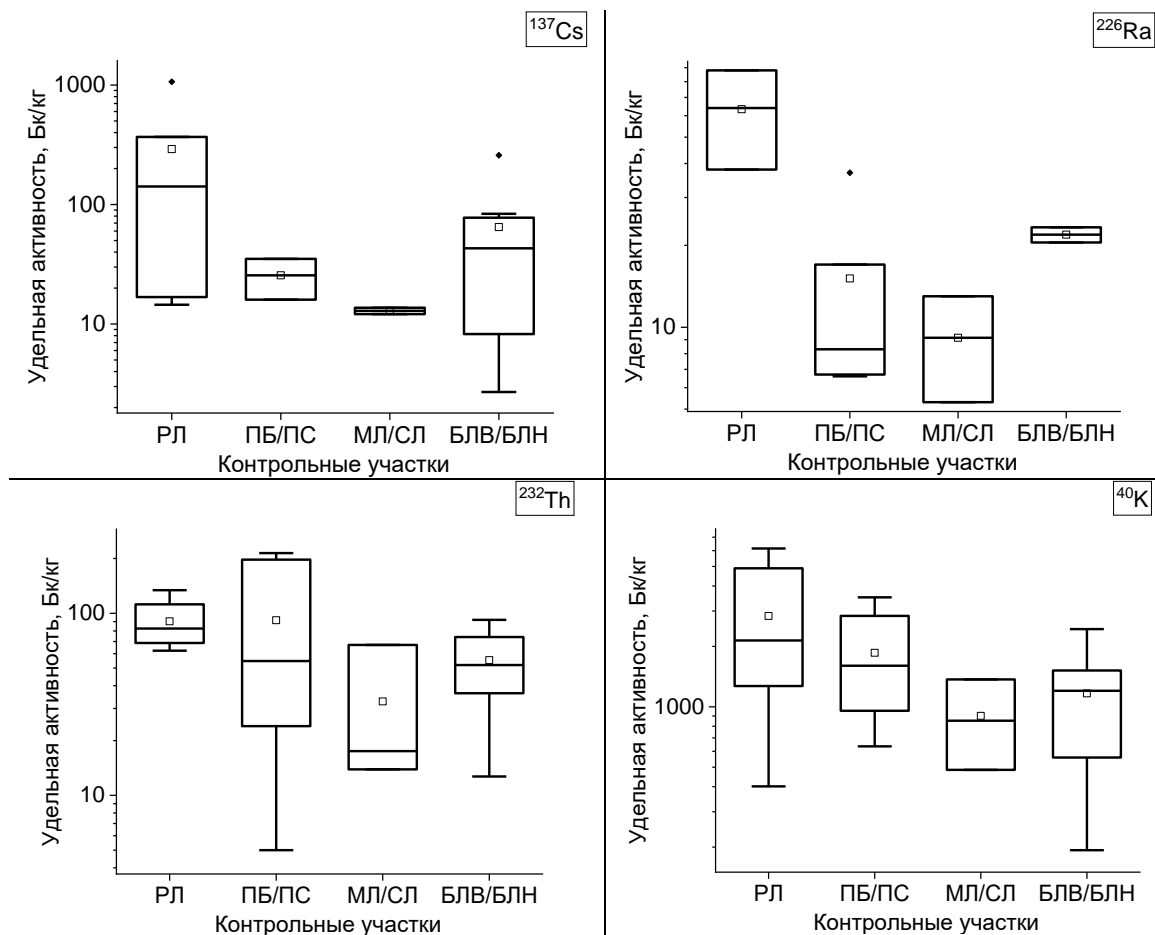


Рис. 5. Распределение радионуклидов в грибах Майкопского района, Республика Адыгея (индексы контрольных участков представлены на рис. 1)

Составлено авторами

### Выводы

Анализируя графики, можно заметить, что грибы накапливают радионуклиды лучше остальных рассмотренных элементов экосистемы, так как имеют особую корневую систему – грибницу, которая может охватывать несколько десятков квадратных метров почвы. Кроме того, грибы имеют особое строение и, благодаря этому, всей поверхностью тела могут накапливать радионуклиды. В почвах, которые залегают на гранитах, наблюдается особенно высокая удельная активность  $^{137}\text{Cs}$ . Это обуславливается тем, что это граниты магматического происхождения. Удельная активность радионуклидов различается в зависимости от типа пород. Это может быть связано как с химическим составом пород, так и с внешним воздействием на почвы (затопление



почв, вымывание и выдувание радионуклидов). Также важно отметить, что опад является неким защитным экраном почвы от воздействия радионуклидов из атмосферы. Удельная активность радионуклидов в опаде обусловлена также тем, что растения во время роста получают питательные вещества из почвы, а вместе с ними и радионуклиды. Мхи получают основную часть радионуклидов из воздуха. По данным исследования удельная активность в мхах достаточно мала по сравнению с другими элементами экосистемы.

*Работа выполнялась на кафедре общей физики физического факультета и в лаборатории радиоэкологических исследований Отдела аналитического приборостроения НИИ физики Южного федерального университета.*

### **Литература**

1. Айтбаева А., Бисекенов Т. Д., Есенаманова М. С. Радиоактивность почв и радиационное состояние хвостохранилища «Кошкар-ата» в Мангистауской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.rusnauka.com/2\\_KAND\\_2013/Ecologia/3\\_125418.doc.htm](http://www.rusnauka.com/2_KAND_2013/Ecologia/3_125418.doc.htm).
2. Юдинцева Е. В., Гулякин И. В. Агрохимия радиоактивных изотопов стронция и цезия. М.: Атомиздат, 1968. 472 с.
3. Баранов В. И., Титаева Н. А. Радиогеология М.: Издательство Московского университета, 1973. 124 с.
4. Бровцын А. К., Силантьев А. Н., Чершнева Г.С. Радиационная экология и мониторинг в системе «минералы-материалы-человек» // Экология и промышленность России. 1997. №12. С. 9-12.
5. Переволоцкий А. Н., Переволоцкая Т. В. Оценка воздействия радиоактивных выбросов на биоту // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90. №. 6. С. 575-582.
6. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа (введен в действие Приказом Росстандарта от 17.04.2018 № 202-ст). Москва: Стандартинформ, 2018 13 с.
7. "ГОСТ Р 58588-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Отбор и подготовка растительных проб для изотопного анализа" (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 09.10.2019 N 928-ст). М.: Стандартинформ, 2019. 17 с.
8. ГОСТ Р 54643-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Грибы белые свежие. Общие технические условия (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 13 декабря 2011 г. № 792-ст) . М.: Стандартинформ, 2013. 8 с.
9. Могирев А. М. Модели и методы идентификации радиоактивных источников по результатам гамма-спектрометрических измерений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2009. Т. 2. №. 12. С. 221-225.

I. N. Senin <sup>1</sup>  
K. V. Antokhina <sup>1</sup>  
A. A. Shiryaeva <sup>1</sup>  
U. A. Sidorina <sup>2</sup>  
E. Y. Antonova <sup>2</sup>  
E. A. Buraeva <sup>2</sup>

***Radionuclides in the components  
of ecosystems of mountainous regions  
of the Republic of Adygea***

---

<sup>1</sup> Southern Federal University, Faculty of Physics, Rostov-on-Don, Russian Federation

*e-mail: senjokusa@gmail.com*

<sup>2</sup> Research Institute of Physics, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

*e-mail: buraeva\_elen@mail.ru*

**Abstract.** *The paper presents measurements of the specific activity of radionuclides in the elements of the ecosystem on the territory of the Republic of Adygea. Field gamma-ray survey and sampling of soils, mosses, litter and fungi were carried out in the study area. The paper processed data obtained over 10 years of expeditions (from 2010 to 2020). An analysis of the results obtained was carried out and conclusions were drawn about the value of the accumulation coefficient in different elements of ecosystems. Also, according to the results obtained, one can judge the activity of different types of soils.*

*Among the considered elements of ecosystems, fungi can be distinguished: they have the highest radionuclide accumulation coefficient. The specific activity of fungi is on average 3.4 times higher than the specific activity of soils.*

*The following types of soils were considered in the work: forest ranker medium loamy unsaturated on granite eluvium, meadow unsaturated (acid) heavy loamy on boulder-pebble deposits, meadow unsaturated thin gleyic medium loamy on boulder-pebble deposits, alluvial-soddy unsaturated heavy loamy on alluvial-deluvial deposits, alluvial-soddy unsaturated sandy loam on alluvial-deluvial deposits, brown forest unsaturated gleyic clayey on yellow-brown clay. Among the types of soils considered, it is possible to single out soils that lie on granites. They are the most highly active, they have a particularly high specific activity of cesium.*

**Keywords:** *specific activity, natural radionuclides, artificial radionuclides, rocks, soils, mosses, fungi, litter, Adygea, ecosystem.*

### ***References***

1. Ajtbaeva A., Bisekenov T. D., Ezenamanova M. S. Radioaktivnost' pochv i radiacionnoe sostoyanie hvostohranilishcha «Koshkar-ata» v Mangistauskoj oblasti. URL: [http://www.rusnauka.com/ 2\\_KAND\\_2013/Ecologia/3\\_125418.doc.htm](http://www.rusnauka.com/2_KAND_2013/Ecologia/3_125418.doc.htm) (in Russian)
2. YUdinceva E. V., Gulyakin I. V. Agrohimiya radioaktivnyh izotopov stronciya i ceziya. M.: Atomizdat, 1968. 472 s. (in Russian)
3. Baranov V. I., Titaeva N. A. Radiogeologiya M.: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1973. 124 s. (in Russian)
4. Brovcyn A. K., Silant'ev A. N., CHershneva G. S. Radiacionnaya ekologiya i monitoring v sisteme «mineraly-materialy-chelovek» // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 1997. №12. S. 9-12. (in Russian)

5. Perevolockij A. N., Perevolockaya T. V. Ocenka vozdejstviya radioaktivnyh vybrosov na biotu // Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2020. T. 90. №. 6. S. 575-582. (in Russian)
6. GOST 17.4.4.02-2017. Mezhhgosudarstvennyj standart. Ohrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlya himicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza (vveden v dejstvie Prikazom Rosstandarta ot 17.04.2018 № 202-st). Moskva: Standartinform, 2018 13 s. (in Russian)
7. "GOST R 58588-2019. Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii. Otkor i podgotovka rastitel'nyh prob dlya izotopnogo analiza" (utv. i vveden v dejstvie Prikazom Rosstandarta ot 09.10.2019 N 928-st). M.: Standartinform, 2019. 17 s. (in Russian)
8. GOST R 54643-2011. Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii. Griby belye svezhie. Obshchie tekhnicheskie usloviya (utv. i vveden v dejstvie Prikazom Rosstandarta ot 13 dekabrya 2011 g. № 792-st) . M.: Standartinform, 2013. 8 s. (in Russian)
9. Mogirev A. M. Modeli i metody identifikacii radioaktivnyh istochnikov po rezul'tatam gamma-spektrmetricheskikh izmerenij // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal). 2009. T. 2. №. 12. S. 221-225. (in Russian)

*Поступила в редакцию 29.09.2022 г.*