Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 631.41:631.438

Распределение радионуклидов в горных почвах (на примере Майкопского района Республики Адыгея)

Бураева Е.А.[1], Ширяева А.А.[2], Безуглова О.С.[3]

[1]Научно-исследовательский институт физики Южного федерального университета

[2]Общество с ограниченной ответственностью «Конрад»

[3]Академия биологии и биотехнологии имени Д.И. Ивановского Южного федерального университета

Аннотация

В работе представлены результаты исследований удельной активности радионуклидов в зональных и интразональных горных почвах Северного Кавказа (на примере Майкопского района Республики Адыгея). Оценивался радионуклидный состав бурых лесных, дерново-силикатных, дерново-аллювиальных и луговых почв. Участки отбора почвенных проб расположены на различных элементах рельефа. Показано, что максимальные удельные активности искусственного ^{137}Cs фиксируются на участках, расположенных в понижениях рельефа. Установлено, что в отсутствие техногенного влияния (штольни, разработки месторождений и др.) удельная активность естественных радионуклидов слабо дифференцируется в зависимости от типа почвы и материнских пород и составляет, в среднем 25,0 Бк/кг, 30,3 Бк/кг и 425,1 Бк/кг для ^{226}Ra, ^{232}Th и ^{40}К соответственно.

Ключевые слова: ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ, ^{137}Cs, ПОЧВЫ, УДЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Введение

В настоящее время, в связи с бурной урбанизацией, развитием промышленности и автотранспорта возрастает интерес исследователей к оценке загрязненности объектов окружающей среды различными поллютантами, в том числе и радионуклидами. Этому послужили и крупные аварии на предприятиях ядерного топливного цикла (Кыштымская

авария – 1957 год, авария на Чернобыльской АЭС – 1986 год, авария на АЭС Фукусима – 2011 год). Радионуклиды, оседая на земную поверхность перераспределяются как по территории, так и по глубине почвы, включаются в биологические циклы, внося дополнительные вклады в дозовые нагрузки на живые объекты.

В условиях горных территорий значительное влияние на перераспределение ^{137}Cs и естественных радионуклидов (ЕРН) в почвах, прежде всего, будут оказывать особенности рельефа, а для ЕРН – важным фактором является радиоактивность почвообразующих пород.

Как показывает практика, содержание радиоцезия в почвах горных районов увеличивается с высотой над уровнем моря [1, 2]. Тем не менее, рельеф местности и климатические условия (обильные атмосферные осадки, температура и т. д.) способствуют накоплению цезия в локальных точках, таких как ложбины, русла горных рек и др. [3], а также промыванию радионуклида вглубь по почвенному профилю и вниз по склону [4].

Помимо рельефа, немаловажную роль в перераспределении радиоцезия и ЕРН на горных территориях играют условия формирования почв под лесным массивом [5]. Древесные растения, влияя в течение своей жизни на многие почвенные процессы (накопление гумуса, выщелачивание, оподзоливание, подкисление и т. п.), создают пестроту почвенного покрова, что обусловливает отличие лесных почв от почв других биоценозов. Биологический круговорот в лесных почвах отличается большой емкостью и интенсивностью обмена веществ [6].

Для Республики Адыгея информация по уровню загрязненности территории искусственными радионуклидами в результате испытаний ядерного оружия и аварии на Чернобыльской АЭС практически отсутствует. До 1992 года Адыгея входила в состав Краснодарского края, отнесенного к территориям, на которых содержание ^{137}Cs не превышало 1 Ки/км^2 [7]. Концентрация естественных радионуклидов в почвах изучалась эпизодически [8].

Среднегодовая мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (по данным НПО «Тайфун» [9] в Республике Адыгея в 2021 году составляла 0,15мкЗв/ч. Максимальное суточное значение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения 0,26 мкЗв/ч наблюдалось в п. Даховское в горном районе Республики Адыгея. Среднегодовое

значение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в этом пункте – 0,146 мкЗв/ч.

В данной работе представлены результаты оценки удельной активности радиоцезия и ЕРН в верхнем (0–10 см) слое почвы на контрольных участках (модельных площадках) на территории Майкопского района Республики Адыгея.

Объекты и методы исследования

Контрольные участки (КУ) заложены в пределах Даховского кристаллического массива между с. Даховская и с. Хамышки Майкопского района Республики Адыгея на высотах 480–1475 м над у.м. Расположение КУ представлено на рис. 1. Данный район характеризуется сложным геологическим строением и сильно расчлененным рельефом.

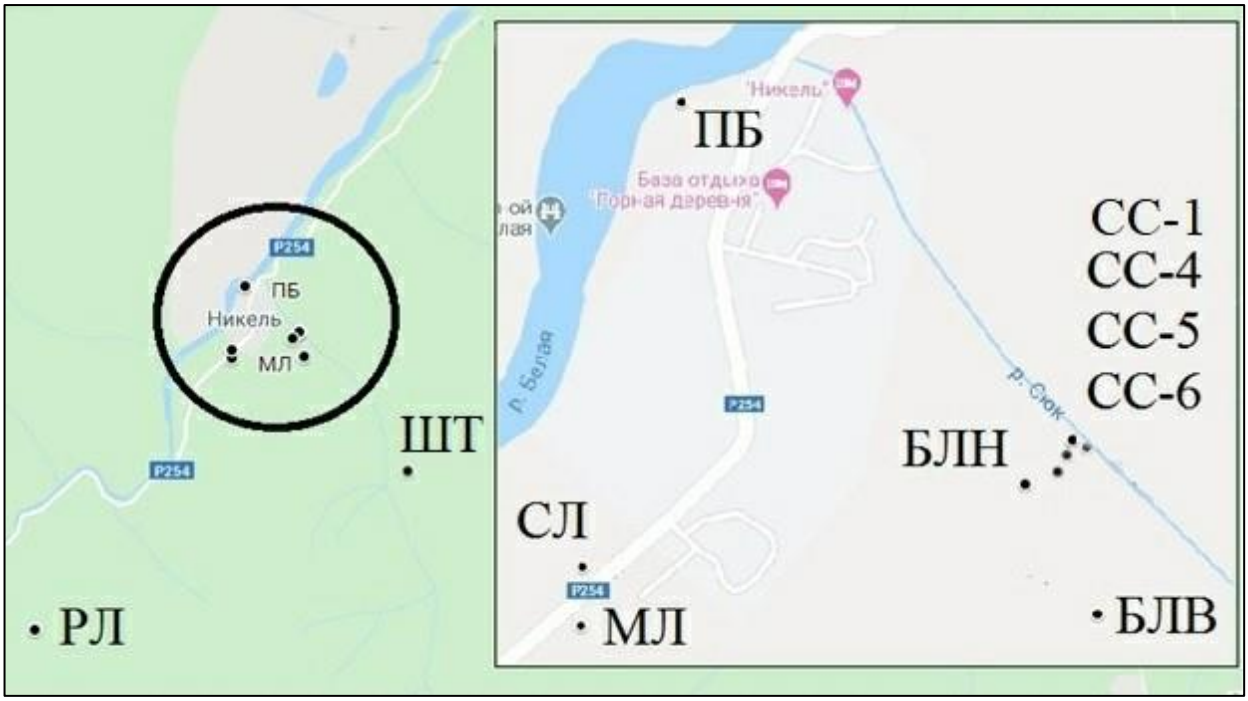


Рис. 1. Карта-схема расположения контрольных участков

Почвенные пробы на различных участках отбирались методом конверта (со стороной квадрата 10×10 м) глубиной 0–10 см [10, 11]. Все почвенные пробы высушивали при температуре t = 100 ºС, измельчали до размера частиц не более 1,0 мм и герметично упаковывали в счетные геометрии Маринелли 1 л, Маринелли 0,5 л, чашки Петри, Дента 0,02 л (диск высотой 7 мм и диаметром 70 мм) [12].

Удельную активность ^{137}Cs и естественных радионуклидов в почвах определяли

инструментальным гамма-спектрометрическим методом радионуклидного анализа с использованием низкофоновой спектрометрической установки РЭУС-II-15 (Россия) на основе полупроводникового коаксиального детектора из особо чистого германия (GeHP) с эффективностью 25% в диапазоне 13÷1500кэВ, отношением пик/комптон 51.7:1 (модель 7229N-7500sl-2520, Canberra Corporate Headquarters, Франция) и сцинтилляционного гамма-спектрометра «Прогресс-гамма» (детектор NaI(Tl), ЗАО НПП «Доза», Россия) [12, 13].

Результаты и их обсуждение

Ниже (рис. 2 и табл. 1) представлены диаграммы распределения радионуклидов в верхнем почвенном слое на территории исследования за весь период наблюдений.

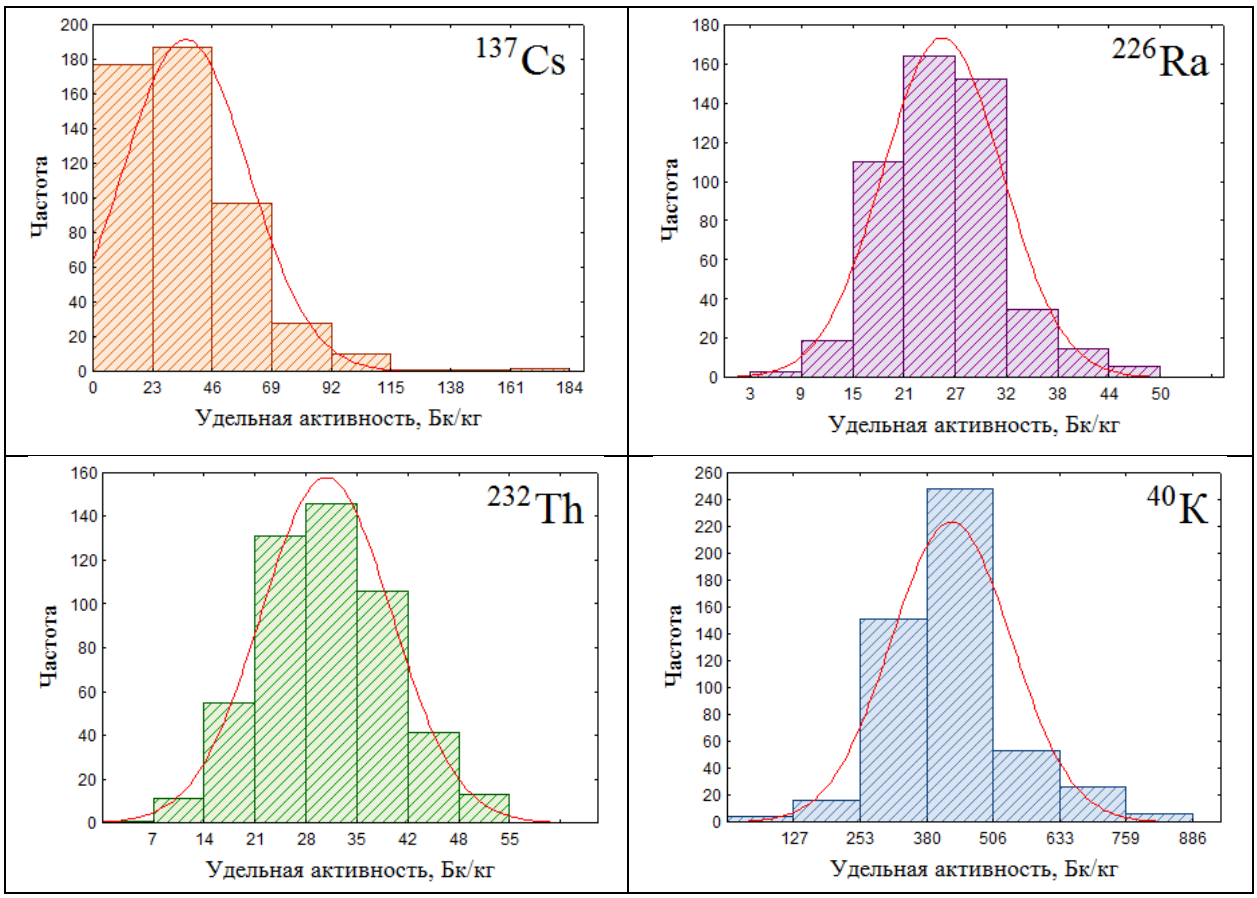


Рис. 2. Радионуклиды в почвах горной Адыгеи

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Таблица 1. Статистический анализ результатов определения радионуклидного состава почвенных проб на модельных площадках Майкопского района

Параметр	Радионуклид			
	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Минимум, Бк/кг	0,1	3,0	0,9	101,1
Максимум, Бк/кг	184,2	50,1	55,4	886,0
Среднее арифметическое, Бк/кг	35,7	25,0	30,3	425,1
Среднее геометрическое, Бк/кг	28,0	19,3	24,2	422,6
Медиана, Бк/кг	32,4	24,8	29,9	417,0
Мода, Бк/кг	60,4	26,9	32,4	438,0
Стандартная ошибка, Бк/кг	1,1	0,3	0,4	5,1
Стандартное отклонение, Бк/кг	24,2	6,8	8,8	114,0
Дисперсия выборки, отн.ед.	584,6	46,8	78,0	13002,6
Эксцесс, отн.ед.	5,9	0,9	0,0	1,9
Асимметричность, отн.ед.	1,7	0,4	0,1	0,6
Количество измерений, шт	504			

Подобное распределение удельной активности ^{137}Cs в верхнем 0–10 см слое почвы горных районов объясняется как неравномерностью выпадения данного радионуклида по территории региона, так и влиянием рельефа, свойствами почвы, водным режимом и климатическими условиями районов исследования. В условиях горного ландшафта происходит вымывание ^{137}Cs из почв с последующим его накоплением на низинных территориях и на дне ущелий.

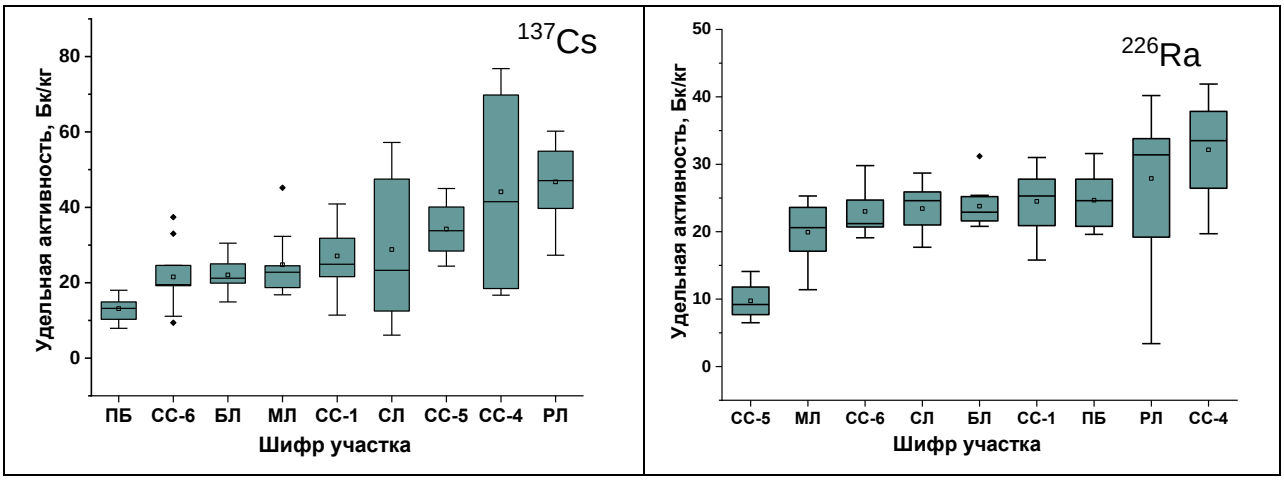
Поведение радиоактивного ^{137}Cs в компонентах почвенно-растительного покрова и циклы биогеохимической миграции изучаются многими исследователями [14-17]. Распределение ^{137}Cs в почвах анализируется не только в долговременных исследованиях загрязненных и фоновых территорий, но и при учете доз облучения населения от искусственных радионуклидов, оценке эрозии почв [18, 19], изучении источников поступления искусственных радионуклидов [20]. Также данный радионуклид изучается в модельных экспериментах для определения механизмов миграции ^{137}Cs по почвенным профилям [21, 22], скорости диффузии данного радионуклида [23], особенности его накопления в почвах [24].

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Первичная конфигурация загрязнения почв ^{137}Cs в настоящее время осложняется процессами вертикальной и горизонтальной миграции. В результате прочной фиксации ^{137}Cs в поверхностных горизонтах почв ведущее значение приобретает особенно характерный для агроландшафтов горизонтальный эрозионный массоперенос, на который, в основном, влияют климатические условия: скорость ветра, способствующая дефляции и переносу частиц, обогащенных ^{137}Cs, на дальние расстояния [25], и количество осадков, обеспечивающих смыв ^{137}Cs в понижения рельефа [3]. Вертикальный перенос ^{137}Cs в почвах может происходить в результате конвективного переноса и диффузии, а также в ходе биотурбации, связанной с деятельностью почвенной фауны. На данные процессы переноса ^{137}Cs влияют физико-химические свойства почвы – содержание гумуса, химический и гранулометрический составы, уровень кислотности [4, 26-29], рельеф [3], климатические особенности региона [30] и растительность [31].

Удельная активность ЕРН на контрольных участках горной Адыгеи распределена достаточно равномерно. Необходимо отметить, что в представленные результаты статистического анализа не включены почвенные пробы, загрязненные обломочным материалом горных пород с высоким содержанием ЕРН и участки, расположенные в непосредственной близости от штолен.

Ниже (рис. 3) представлены особенности распределения радионуклидов в почвах различных участков.



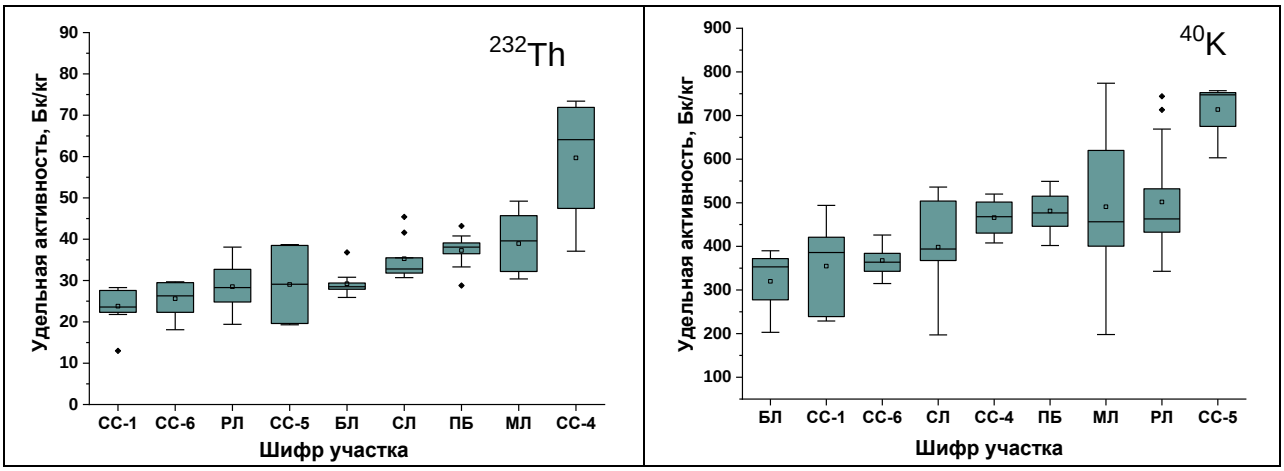


Рис. 3. Распределение радионуклидов в верхнем почвенном слое на различных участках (на примере 2018 года) (шифры участков и приуроченность к ним почв даны в таблице 2)

Для искусственного ^{137}Cs характерно максимальное накопление его на участке РЛ, обладающей следующим типом почвы: ранкер лесной на элювии гранитов. Участок расположен на дне гранитного ущелья, где происходит латеральный и радиальный смыв и переотложение данного радионуклида в этой точке. Точки СС-4 и СС-5 расположены на крутом склоне в ущелье реки Сюк, характеризуются бурыми лесными примитивными (СС-4) и неполноразвитыми (СС-5) почвами, на этих местах сформировались осыпи, наблюдаются оползневые и обвальные процессы, почвы зачастую не успевают формироваться, и при этом цезий также мигрирует вниз по склону.

Максимальное содержание естественного радионуклида ^{226}Ra зафиксировано также на участке РЛ. Как упоминалось выше, это гранитное ущелье; почвообразующие породы – – граниты с достаточно высоким содержанием естественных радионуклидов. Удельная активность ^{226}Ra, ^{232}Th и ^{40}К в точках СС-4 и СС-5 достаточно высока, что может быть обусловлено новыми обвальными, оползневыми процессами, которые происходят на склоне в ущелье реке Сюк и привнесением обломочного материала с различным содержанием радионуклидов.

Минимальные средние удельные активности ^{226}Ra фиксируются на КУ СС-5 (Бурая лесная неполноразвитая почва), при высоких концентрациях ^{40}К (калий повышен и на СС-4 с примитивными почвами). В таблице 2 представлены бурые неполноразвитые почвы, отобранные в верхней части склона в ущелье реки Сюк (СС-1) и внизу склона (СС-5), участок СС-4 расположен выше СС-5 на полтора метра по вертикали. Участок ШТ расположен у входа в штольню Белореченского месторождения баритов. С пластовыми

водами может происходить вымывание урансодержащих минералов из штольни и накапливаться в почвах.

Таблица 2. Средние удельные активности естественных радионуклидов в различных почвах горной Адыгеи

Тип почвы	Контрольный участок	Средняя арифметическая удельная активность, Бк/кг		
		^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Дерново-силикатная лесная (ранкер) среднесуглинистая ненасыщенная на делювии гранитов	РЛ	26,1	25,3	492,3
Луговая ненасыщенная глееватая мощная тяжелосуглинистая на валунно-галечниковых отложениях	МЛ	19,1	31,7	386,0
Луговая ненасыщенная маломощная среднесуглинистая на валунно-галечниковых отложениях	СЛ	23,6	36,7	428,3
Бурая лесная неполноразвитая ненасыщенная тяжелосуглинистая на элювии аргиллитов	СС-5	14,5	38,8	578,9
	СС-1	25,9	34,9	380,6
	ШТ	89,5	23,0	393,4
Бурая лесная примитивная легкосуглинистая на элювии аргиллитов	СС-4	29,4	34,6	627,3
Бурая лесная малогумусная ненасыщенная глинистая на желто-бурой глине	БЛН	22,3	27,5	326,2
Бурая лесная многогумусная ненасыщенная глинистая на желто-бурой глине	БЛВ	25,7	31,2	355,5
Аллювиально-дерновая ненасыщенная тяжелосуглинистая на аллювиально-делювиальных отложениях	СС-6	22,0	24,7	358,7
Аллювиально-дерновая ненасыщенная супесчаная на аллювиально-делювиальных отложениях	ПБ	28,7	38,0	504,1

Повышенное содержание ^{40}К в верхних слоях почвы на СС-5 и СС-4 может быть обусловлено несколькими факторами: регулярное разрушение склона приводит к тому, что с каждым годом вскрываются более глубокие почвенные горизонты, в которых ранее происходило (и возможно происходит) накопление ^{40}К, привносимого с глинистыми минералами (например, иллитами); возможно загрязнение участков глинистыми фракциями (обломочным материалом) в периоды паводков, когда вода в реке Сюк

поднимается на несколько метров, а в летний засушливый период зеркало воды в реке расположено всего в двух (и трех) метрах ниже от КУ.

Заключение

Значимые различия в средних удельных активностях ЕРН в зональных и интразональных горных почвах Северного Кавказа (на примере Майкопского района Республики Адыгея) отсутствуют. Вариации ЕРН обусловлены либо техногенными факторами, либо особенностями расположения КУ в элементах рельефа, либо обвально-оползневыми и эрозионными склоновыми процессами. Так же, как и в высокогорных почвах Северного Кавказа [32], решающим фактором, определяющим распределение радионуклидов в почвах низких и средних гор, является рельеф, перераспределяющий осадки, и геохимические потоки.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Государственное задание в сфере научной деятельности научный проект № 0852-2020-0032), (БА30110/20-3-07ИФ).

Список использованных источников

1. Szabó K.Z., Udvardi B., Horváth Á., Bakacsi Z., Pásztor L., Szabó J., Laczkó L., Szabó C. Cesium-137 concentration of soils in Pest County, Hungary // Journal of Environmental Radioactivity. - 2012. – № 110. – P. 38 – 45.

2. Lettner H., Griesebner A., Peer T., Hubmer A.K., Pintaric M. Altitude dependent ^{137}Cs concentrations in different plant species in alpine agricultural areas // Journal of Environmental Radioactivity. – 2006. – 86. – P. 12-30.

3. Korobova E., Romanov S. Experience of mapping spatial structure of Cs-137 in natural landscape and patterns of its distribution in soil toposequence // Journal of Geochemical Exploration. – 2011. – 109. – P. 139-145.

4. Gaspar L., Navas A. Vertical and lateral distributions of ^{137}Cs in cultivated and uncultivated soils on Mediterranean hillslopes // Geoderma. – 2013. – 207-208. – P. 131-143.

5. Karadeniz Ö., Karakurt H., Çakır R., Çoban F., Büyükok E., Akal C. 2015. Persistence of 137Cs in the litter layers of forest soil horizons of Mount IDA/Kazdagi, Turkey // Journal of Environmental Radioactivity. – 2015. – 139. – P. 125-134.

6. Лесная энциклопедия: В 2-х т. / Гл. ред. Воробьев Г.И.; Ред.кол.: Анучин Н.А., Атрохин В.Г., Виноградов В.Н. и др. - М.: Сов. энциклопедия, 1985. – 563 с.

7. Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины. Разработан в Институте глобального климата и экологии Росгидромета и РАН под научным руководством Ю.А. Израэля. – М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 1998. - 143 с.

8. Асварова Т.А., Абдулаева А.С., Магомедов М Естественные радионуклиды в породах и почвах высокогорных районов большого Кавказа // Почвоведение. – 2012. – № 6. – С. 695.

9. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2021 году. Ежегодник. - Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун», Росгидромет, 2022. - 350 с.

10. ГОСТ Р Р3091-2008. Качество почвы. Отбор проб. Часть 3. Руководство по безопасности. - М.: Стандартинформ, 2009. – 20 с.

11. Государственная система обеспечения единства измерений. «Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре МИ 2143-91». Утверждена Государственным комитетом СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1991. – 24 с.

12. Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Зорина Л.В., Стасов В.В. Компоненты фона Ge(Li)- и GeHP-детектора в пассивной защите. // Атомная энергия. – 2007. – Т. 103. – Вып. 5. – С. 318-322.

13. Бодров И.В., Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Марескин С.А. Инструментальное определение урана и тория в природных объектах // Атомная энергия. – 2004. – Т.96. – Вып. 4. – С. 271-276.

14. Park K.-H., Kang T.-W., Kim W.-J., Park J.W. ^{134}Cs and ^{137}Cs radioactivity in soil and moss samples of JejuIsl and after Fukushima nuclear reactor accident // Applied Radiation and Isotopes. – 2013. – 81. – P. 379–382.

15. Nabyvanets Y.B., Gesell T.F., Jen M.H., Chang W.P. Distribution of ^{137}Cs in soil along Ta-han River Valley in Tau-Yuan County in Taiwan // Environmental Radioactivity. – 2000. – 54. – P. 391-400.

16. Matisoff G., Ketterer M.E., Rosen K., Mietelski J.W., Vitko L.F., Persson H., Lokas E. Downward migration of Chernobyl-derived radionuclides in soils in Poland and Sweden // Applied Geochemistry. – 2011. – 26. – P. 105–115.

17. Li J., Li Y., Wang Y., Wu J. Applicability study of using in-situ gamma-ray spectrometry technique for ^{137}Cs and $^{210}Pb_{ex}$ inventories measurement in grassland environments. // Applied Radiation and Isotopes. – 2010. – 68. – P. 1143–1149.

18. Chappell A., Warren A. Spatial scales of ^{137}Cs-derived soil flux by wind in a 25 km^2 arable area of eastern England. // Catena. – 2003. – 52. – P. 209– 234.

19. Collins A.L., Walling D.E., Sichingabula H.M., Leeks G.J.L. Using ^{137}Cs measurements to quantify soil erosion and redistribution rates for areas under different land use

in the Upper Kaleya River basin, southern Zambia. // Geoderma. – 2001. – 104. – P. 299-323.

20. Lee S.H., Oh J.S., Lee J.M., Lee K.B., Park T.S., Lujaniene G., Valiulis D., Šakalys J. 2013. Distribution characteristicsof ^{137}Cs, Pu isotopes and ^{241}Am in soil in Korea. // Applied Radiation and Isotopes. – 81. – P. 315–320.

21. Shinonaga T., Schimmack W., Gerzabek M.H. Vertical migration of ^{60}Co, ^{137}Cs and ^{226}Ra in agricultural soils as observed in lysimeters under crop rotation. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2005. – 79. – P. 93–106.

22. Almgren S., Isaksson M. 2006. Vertical migration studies of 137Cs from nuclear weapons fallout and the Chernobyl accident. // Journal of Environmental Radioactivity. - 91. - P. 90-102.

24. Krstic D., Nikezic D., Stevanovic N., Jelic M. Vertical profile of ^{137}Cs in soil. // Applied Radiation and Isotopes. – 2004. – 61. – P. 1487–1492.

25. Bai Z.G., Wan G.J., Huang R.G., Liu T.S. A comparison on the accumulation characteristics of ^{7}Be and ^{137}Cs in lake sediments and surface soils in western Yunnan and central Guizhou, China. - Catena. – 2002. – 49. – P. 253– 270.

26. Evangeliou N., Balkanski Y., Cozic A., Møller A. P. How “lucky” we are that the Fukushima disaster occurred in early spring Predictions on the contamination levels from various fission products released from the accident and updates on the risk assessment for solid and thyroid cancers. // Science of the Total Environment. – 2014. – 500–501. – P. 155-172.

27. Askbrant S., Melin J., Sandalls J., Rauret G., Vallejo R., Hinton T., Cremers A., Vandecastelle C., Lewyckyj N., Ivanov Y. A., Firsakova S. K., Arkhipov N. P., Alexakhin R. M. Mobility of Radionuclides in Undisturbed and Cultivated Soils in Ukraine, Belarus and Russia Six Years After the Chernobyl Fallout. // Journal of Environmental Radioactivity. – 1996. – 31 (3). – P. 287-312.

28. Koarashi J., Atarashi-Andoh M., Matsunaga T., Sato T., Nagao S., Nagai H. Factors affecting vertical distribution of Fukushima accident-derived radiocesium in soil under different land-use conditions. // Science of the Total Environment. – 2012. – 431. – P. 392-401.

29. Matsunaga T., Koarashi J., Atarashi-Andoh M., Nagao S., Sato T., Nagai H. Comparison of the vertical distributions of Fukushima nuclear accident radiocesium in soil before and after the first rainy season, with physicochemical and mineralogical interpretations. // Science of the Total Environment. – 2013. – 447. – P. 301-314.

30. Legarda F., Romero L.M., Herranz M., Barrera M., Idoeta R., Valiño F., Olondo C., Caro A.Inventory and vertical migration of ^{137}Cs in Spanish mainland soils. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2011. – 102. – P. 589-597.

31. Gastberger M., Steinhäusler F., Gerzabek M., Lettner H., Hubmer A. Soil-to-plant transfer of fallout caesium and strontium in Austrian lowland and Alpine pastures. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2000. – 49. – P. 217-233.

32. Бураева Е.А. Радионуклиды в почвах высокогорных районов Северного Кавказа [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. –

2022. – № 4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/4/st_409.pdf
DOI: https://doi.org/10.51419/202124409.

Цитирование:

Бураева Е.А., Ширяева А.А., Безуглова О.С. Распределение радионуклидов в горных почвах (на примере Майкопского района Республики Адыгея) [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/4/st_423.pdf.
DOI: https://doi.org/10.51419/202124423.