

УДЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ
И ИСКУССТВЕННОГО ^{137}Cs В ПОЧВАХ И ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЯХ
РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2023 г. Е.А. Бураева*, О.С. Безуглова**

*Научно-исследовательский институт физики Южного федерального университета
Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, д. 194. E-mail: buraeva@sfedu.ru

**Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета.
Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, д. 194/1. E-mail: osbesuglova@sfedu.ru

Поступила в редакцию 20.10.2022. После доработки 23.11.2022. Принята к публикации 11.12.2022.

Работа посвящена изучению особенностей распределения в растениях и почвах естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) и искусственного ^{137}Cs в условиях сухих и полусухих степей на примере Ростовской области. В качестве объектов исследования использованы образцы почв и растений, отобранных в Цимлянском, Волгодонском, Дубовском, Пролетарском и Орловском районах Ростовской области в экспедициях 2001–2019 гг. Удельную активность (концентрацию) радионуклидов в почве и растениях измеряли гамма-спектрометрическим методом радионуклидного анализа. Искусственный радионуклид ^{137}Cs в почвенном покрове и в растениях Ростовской области распределен неравномерно в связи с особенностями его выпадений после аварии на Чернобыльской АЭС. Удельная активность естественных ^{226}Ra и ^{232}Th в почвах и растительной массе сопоставима в пределах стандартного отклонения (20–30%) и в среднем составляет 21.2 Бк/кг и 24.8 Бк/кг для ^{226}Ra и ^{232}Th в растениях и 22.0 Бк/кг и 27.1 Бк/кг для ^{226}Ra и ^{232}Th в почвах. Концентрация ^{40}K в растениях и почвах составляет 149.4 Бк/кг и 468.5 Бк/кг соответственно и обусловлено особенностями солонцеватых почв сухостепной зоны Ростовской области. Составлены ряды по удельной активности радионуклидов в вегетативной массе растений: $^{40}\text{K} > ^{226}\text{Ra} \geq ^{232}\text{Th} > ^{137}\text{Cs}$.

Ключевые слова: удельная активность, естественные радионуклиды, радиоцезий (^{137}Cs), степь, растение, распределение, почва.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-77-84

EDN: ZWRGEV

Урбанизация территорий, интенсификация сельскохозяйственного производства и промышленности, рост автотранспортных нагрузок, развитие ядерной топливной энергетики и функционирование тепловых станций – все эти реалии современного общества могут приводить к изменению концентрации радионуклидов (как естественных, так и искусственного происхождения) в объектах окружающей среды (почва, растения, вода, атмосферный воздух, донные отложения). Внимательный анализ экологической обстановки приводит к выводу, что аридизация многих территорий и изменение характера распределения осадков в течение года также обязывают к более тщательному мониторингу радиационной обстановки. Обусловлено это тем, что приуроченность радионуклидов к фракциям физической глины таит в себе опасность «размазывания» пятен загрязнения на большие территории с ветровым переносом и учащающимися пыльными бурями (Маханько, 2000; Черныш, Аношко, 2006). Актуальность данного утверждения очевидна как для Ростовской области (Безуглова и др., 2020, 2022; Парфенова, Дашкевич, 2021), так и для других регионов Юга России (Шинкаренко и др., 2020; Губарев и др., 2022; Залибеков и др., 2022). Причем, как показано в работе Акимова (2021), самое значительное потепление на европейской территории России в период с 1958 по 2017 годы происходило на широте 47.5° с.ш. в секторе $37.5\text{--}40.0^\circ$ в.д., в районе аридных земель Калмыкии, Ростовской области, Поволжья, Ставропольского края, части Волгоградской и Астраханской областей, Республики Дагестан, а также юга Центрально-Черноземного региона.

Особенно актуальны такие исследования на урбанизированных территориях этой природной зоны, так как плотность населения здесь наибольшая и загрязненность пылевыми частицами атмосферного воздуха чревата развитием множества заболеваний (Pagano et al., 1996; Thorpe and Harrison, 2008; Ладонин, Пляскина, 2009; Wei and Yang, 2010; Касимов и др., 2019; Укарханова и др., 2020).

Цель данной работы – анализ состояния естественных радионуклидов и искусственного ^{137}Cs в почвах и растениях сухостепной зоны Ростовской области.

Объекты и методы исследований

Эколого-географическая характеристика региона исследования. Ростовская область расположена в трех почвенных зонах: степная зона обыкновенных и южных черноземов, сухостепная зона темно-каштановых и каштановых почв, полупустынная зона светло-каштановых и бурых почв. Сухостепная зона представлена Донской провинцией, на территории которой выделяют все типы каштановых почв. Почвенный покров характеризуется комплексностью: широко распространены солонцы и лугово-каштановые почвы, встречаются солончаки. Растительность сухой степи представлена ковылями (тырса, украинский, Лессинга), распространены типчак, житняк и мятлик узколистный. Встречаются растения «перекати-поле»: катран, качим метельчатый, зопник колючий, различные кермеки. На пятнах средних и мелких солонцов господствуют белая полынь и прутняк, на корковых солонцах произрастают камфоросма и черная полынь (Горбачев, 1974).

Климатические условия сухостепной зоны характеризуются резко континентальным климатом, очень сухим летом и жесткой зимой. Годовое количество осадков составляет 320–390 мм, сумма активных температур – 3200–3300 °С, гидротермический коэффициент районов исследования – 0.4–0.5 (Безуглова, Хырхырова, 2008). Причем оценка состояния этой территории констатирует общую тенденцию нарастания степени аридизации климата территории юго-востока Ростовской области (Безуглова и др., 2021) и тенденцию к увеличению количества пыльных бурь (Парфенова, Дашкевич, 2021).

Исследования проводились на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) – в заповеднике «Ростовский», на природно-техногенных (ПТ) ландшафтах в зоне наблюдения Ростовской АЭС и урбанизированных территориях (г. Волгодонск, с. Орловское, г. Цимлянск, ст. Жуковская, ст. Подгоренская).

Измерение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения. Дозиметрия природных, природно-техногенных и урбанизированных территорий является неотъемлемой частью радиоэкологического мониторинга. В рамках дозиметрии в полевых условиях в данной работе проводили измерения мощности эквивалентной дозы (МЭД, мкЗв/ч) гамма-излучения с использованием поисковых дозиметров-радиометров типа СРП-88н, ДРБП-03 и ДКС-96 с блоком БДКС-96с. На природных и природно-техногенных территориях измерения МЭД проводили в районе заложения почвенных разрезов на высоте 2–3 см и 100 см от поверхности почвы (грунта) минимум в пятикратной повторности. Параллельно велась пешеходная гамма-съемка по всему контрольному участку. На каждом контрольном участке в рамках природных и природно-техногенных территорий было сделано 150–200 измерений МЭД.

На урбанизированных территориях измерения МЭД проводились на высоте 100 см от поверхности почвы (грунта) на оживленных улицах, в спальных и парковых районах, в районах размещения различных промышленных предприятий. В зависимости от размеров городского или сельского поселения в каждом населенном пункте было сделано от 150 до 1500 измерений МЭД.

Отбор и подготовка почвенных и растительных проб. В качестве объектов исследования использованы образцы почв и растений, отобранных в Цимлянском, Волгодонском, Дубовском, Орловском и Пролетарском районах Ростовской области в экспедициях 2003–2021 гг. Экспедиции проводились преимущественно в летний период (с июня по сентябрь). Контрольные участки, в основном, расположены на целинных или залежных почвах. Почву отбирали в пятикратной повторности из прикопок глубиной 0–10 см (поверхностные пробы, для определения запаса радионуклидов) и из почвенных разрезов глубиной до 150 см (последовательно, слоями 0–1, 1–3, 3–5, 5–10, 10–15, 15–25, 25–35 см и далее слоями по 10 см до дна). В ряде случаев почвы из разрезов отбирали по почвенным генетическим горизонтам.

Образцы почвы и растений высушивали до воздушно-сухого состояния. Почвы перетирались и просеивались через сито с диаметром ячейки 1 мм, растения измельчались до размеров порядка 1 см.

Методы измерений. Для оценки содержания радионуклидов в почвах и растениях использовались гамма-спектрометрическая установка «Прогресс-гамма сцинтилляционный» на основе NaI(Tl) детектора и низкофоновая спектрометрическая установка на основе полупроводникового коаксиального детектора из особо чистого германия (GeHP) с эффективностью 25% в диапазоне 13÷1500кэВ, отношением пик/комpton 51.7:1 (модель 7229N-7500sl-2520, Canberra Corporate Headquarters, Франция) (Бураева и др., 2007). Методики подготовки проб почвы и измерений удельной активности радионуклидов применялись стандартные (МВК №1.5.2(45)-11, 2011; Бодров и др., 2004). Использовались счетные геометрии Маринелли 0.5 л, Маринелли 1.0 л и Чашка Петри. Время измерения гамма-спектров составляло 1–2 ч для счетных геометрий Маринелли 0.5 л, Маринелли 1.0 л и 24 ч – для счетной геометрии Чашка Петри. Погрешность определения удельной активности радионуклидов в образцах почвы и растений составляла 15–30%.

Подготовку почвенных образцов к определению гранулометрического состава проводили пиррофосфатным способом (метод Долгова-Личмановой), а учет механических фракций – методом пипетирования по Качинскому (Морозов, Безуглова, 2011). Содержание гумуса в почвенных образцах определяли по методу Тюрина в модификации Симакова.

Результаты и обсуждение

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения. На рис. 1 и в табл. 1 приведены результаты статистической обработки данных МЭД на природных, природно-техногенных и урбанизированных территориях Ростовской области.

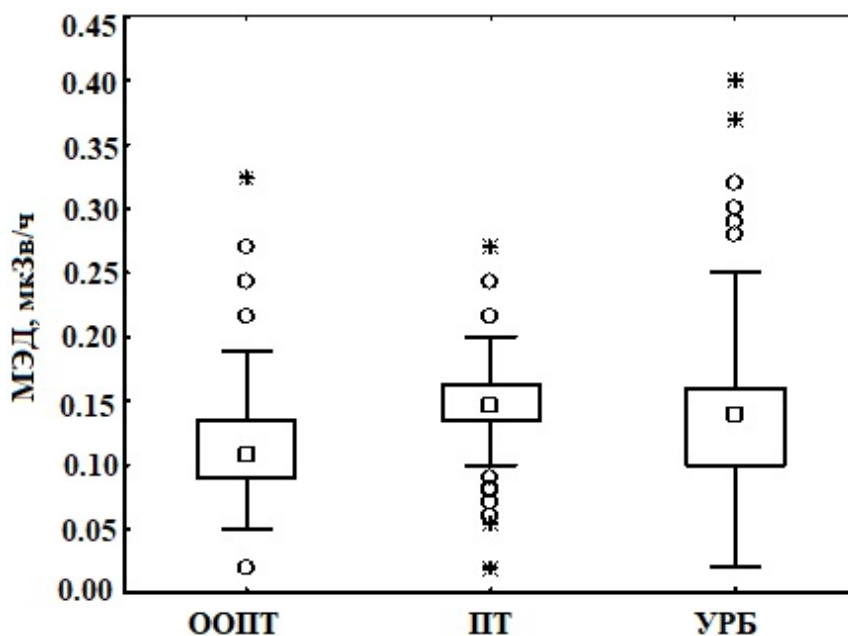


Рис. 1. Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на природных (ООПТ), природно-техногенных (ПТ) и урбанизированных территориях (УРБ).

Несмотря на то, что МЭД гамма-излучения на природных, природно-техногенных и урбанизированных территориях сухостепной зоны Ростовской области согласуется в пределах стандартного отклонения (см. рис.1 и табл. 1), на ООПТ гамма-фон фиксируется более низкий. Это может быть обусловлено тем, что измерения проводились на территории заповедника «Ростовский», на котором отсутствует промышленность и населенные пункты. Также на значения МЭД может оказывать влияние особенность выпадения радиоцезия после аварии на Чернобыльской АЭС (1986 год). Согласно оценкам плотности выпадений радиоцезия на территории Европы, включая Российскую Федерацию, Белоруссию и Украину (Атлас, 1998), на территории Ростовской области основные пятна загрязнений радиоцезием пришлись на северную и западную части. Юго-Восток Ростовской области оказался наименее загрязненным радиоцезием.

Таблица 1. Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на природных (ООПТ), природно-техногенных (ПТ) и урбанизированных территориях (УРБ).

Параметр	ООПТ	ПТ	УРБ
Минимум, мкЗв/ч	0.020	0.020	0.020
Максимум, мкЗв/ч	0.324	0.270	0.400
Среднее арифметическое, мкЗв/ч	0.118	0.146	0.139
Медиана, мкЗв/ч	0.108	0.146	0.140
Мода, мкЗв/ч	0.135	0.162	0.120
Стандартное отклонение, мкЗв/ч	0.038	0.029	0.053
Коэффициент вариации, %	32	20	38
Количество измерений, шт.	1003	1412	1783

На урбанизированных территориях дополнительный вклад в величину МЭД могут давать строительные материалы, дорожные покрытия, выхлопы автотранспорта, использование угля для отопления. В качестве природно-техногенных территорий в данной работе использовалась зона наблюдения Ростовской АЭС. Но в отсутствии влияния АЭС на радиационный фон (Ежегодник, 2022) необходимо учитывать удельную активность естественных дозообразующих радионуклидов в почвах (^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K).

В целом, распределение МЭД гамма-излучения на территории сухостепной зоны Ростовской области равномерное, без значимых его вариаций (коэффициенты вариации находятся в пределах 30–40%, что совпадает со стандартным отклонением (см. табл. 1).

Содержание радионуклидов в почвах. В табл. 2 представлены результаты измерений удельной активности естественных радионуклидов и искусственного ^{137}Cs в почвах природных, природно-техногенных и урбанизированных территорий Ростовской области.

Таблица 2. Удельная активность радионуклидов в верхнем (0–10 см) слое почвы природных (ООПТ) и урбанизированных территорий (УРБ).

Параметр	Радионуклид			
	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
ООПТ				
Минимум, Бк/кг	0.5	20.0	20.2	282.0
Максимум, Бк/кг	20.0	34.3	43.4	731.0
Среднее арифметическое, Бк/кг	6.3	26.5	31.9	535.8
Медиана, Бк/кг	5.6	26.4	32.2	547.0
Мода, Бк/кг	4.3	28.0	33.7	582.0
Стандартное отклонение, Бк/кг	4.3	4.0	5.9	123.9
Коэффициент вариации, %	69.2	15.1	18.7	23.1
Количество образцов, шт.	25			
УРБ				
Минимум, Бк/кг	0.0	2.8	3.6	77.8
Максимум, Бк/кг	54.4	43.3	80.1	1000.6
Среднее арифметическое, Бк/кг	14.5	20.5	26.9	451.0
Медиана, Бк/кг	7.8	20.3	25.4	417.2
Мода, Бк/кг	0.0	22.0	25.0	453.0
Стандартное отклонение, Бк/кг	14.8	5.9	10.1	179.6
Коэффициент вариации, %	102.4	28.9	37.7	39.8
Количество образцов, шт.	111			

Естественные радионуклиды ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th в почвах ООПТ и урбанизированных территорий сухостепной зоны Ростовской области сопоставимы в пределах стандартного отклонения, при этом максимальные значения ^{40}K фиксируются в заповеднике «Ростовский». Источниками ^{40}K , ^{232}Th и ^{226}Ra в почвах являются почвообразующие породы, поэтому эти изотопы относительно равномерно распределены по всему почвенному профилю (табл. 3).

Таблица 3. Распределение естественных радионуклидов и искусственного радиоцезия в профиле почв сухостепного комплекса.

Название почвы	Горизонт	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг				Гумус, %	Физическая глина, %
		^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K		
Лугово-каштановая тяжелосуглинистая почва	Ad 0-10(15)	16.8	21.3	24.6	523.0	4.15	45.71
	A 10(15)-35	0.4	26.6	27.9	551.0	2.10	49.22
	B1 35-60	0.9	25.7	28.8	552.0	1.45	52.84
	B2 60-85	< 0.1	20.1	22.7	433.0	0.84	52.25
	Cca 85-130	26.1	24.5	20.3	390.0	0.72	52.61
Солонец каштановый средний столбчатый тяжелосуглинистый	A 5(7)-15	21.4	27.1	28.1	501.0	2.76	46.48
	B1 15-30	< 0.1	24.2	23.8	479.0	1.30	50.82
	B2 30-52	1.54	26.1	24.5	447.0	0.56	50.69
	Csd 52-65	0.3	23.7	23.3	427.0	0.40	53.61
	Cca 65-95	< 0.1	26.0	23.6	428.0	0.57	56.34
Каштановая слабосолонцеватая тяжелосуглинистая почва	Ad 0-10	20.89	22.7	26.9	450.0	4.86	49.83
	A 10-20	0.7	26.3	29.4	553.0	1.57	50.85
	B1 20-45	0.8	22.7	33.6	547.0	1.51	55.10
	B2 45-63	< 0.1	25.4	27.9	432.0	0.79	54.70
	BC 63-80	< 0.1	25.3	24.1	463.0	0.56	55.44
	Cca 80-95	< 0.1	24.6	27.4	467.0	Не опр.	Не опр.

По некоторым данным (El-Arabi, 2007), ^{40}K , будучи биогенным элементом, накапливается в поверхностных слоях с относительно высокой биологической активностью. Для зоны сухих степей характерны комплексы каштановых почв, солонцов и лугово-каштановых почв (Безуглова и Хырхырова, 2008). И, несмотря на то, что в составе солей преобладают соли натрия, кальция и магния, в данных гидротермических условиях при чередовании обильных осадков и длительных засух не стоит исключать поднятие по почвенным капиллярам и солей калия, в том числе и ^{40}K . Однако данные, приведенные в табл. 3, скорее свидетельствуют об участии ^{40}K в элювиальном процессе, что доказывает его накопление в средней части профиля в каштановой слабосолонцеватой почве и в солонце. И только в лугово-каштановой почве, характеризующейся гораздо более богатым растительным покровом, четко идентифицируется биогенное накопление радиоизотопа этого элемента в гумусово-аккумулятивных горизонтах А и В.

Значимые различия в удельной активности искусственного радионуклида ^{137}Cs (см. табл. 2) в почвах на территориях ООПТ, как уже говорилось выше, обусловлены его неравномерным выпадением после аварии на Чернобыльской АЭС. И минимальные концентрации данного радионуклида фиксируются в заповеднике «Ростовский», который оказался наименее загрязненным радиоцезием.

Искусственные радионуклиды, такие как ^{137}Cs , попадают на поверхность почвы с радиоактивными выпадениями и мигрируют по почвенному профилю в виде солей, так как он в силу своей очень высокой реакционной способности активно реагирует со многими неметаллами и растворяется почти во всех кислотах, образуя соли. Возможно его передвижение по профилю и с тонкими илистыми частицами, так как большинство почв региона в той или иной степени солонцеваты, а, как известно, внедрение натрия в почвенно-поглощающий комплекс сопровождается

пептизацией минеральных коллоидов. Существует вероятность миграции радиоцезия по профилю и в виде комплексных соединений с гуминовыми веществами (Хелаль и др., 2007). Тем не менее, особенности водного режима изучаемой территории способствуют тому, что большая часть радиоцезия сосредотачивается в поверхностных горизонтах, как за счет необменной сорбции глинистыми минералами, так и путем образования малоподвижных комплексных соединений с гуминовыми кислотами и сорбции его гумином (см. табл.3). Удельная активность цезия коррелирует с содержанием гумуса: коэффициент корреляции между этими показателями составил 0.597, что характеризует силу связи между этими показателями как положительную среднюю.

Радионуклиды в растениях сухостепных регионов Ростовской области. Ниже представлены результаты оценки удельной активности радионуклидов в растениях природно-техногенных территорий сухостепных регионов Ростовской области. В качестве фитоиндикаторов были выбраны наиболее распространенные представители флоры региона – полынь австрийская (*Artemisia austriaca*) и шалфей остепненный (*Salvia tesquicola*). Эти данные (рис.2) четко продемонстрировали общие закономерности: полынь более предрасположена к накоплению радионуклидов, чем шалфей, особенно это справедливо в отношении ^{40}K . Причем максимальная концентрация этого изотопа калия в полыни обнаруживается на каштановой солонцеватой почве. В целом можно составить ряды по удельной активности радионуклидов в вегетативной массе растений: $^{40}\text{K} > ^{226}\text{Ra} \geq ^{232}\text{Th} > ^{137}\text{Cs}$. Следует отметить, что радиоцезий в растениях был обнаружен не на всех контрольных участках, что связано не только с неравномерностью выпадения этого элемента с осадками. Так, в растениях полыни на темно-каштановой солонцеватой почве ^{137}Cs присутствует, а в шалфее – нет. И, наоборот, в каштановой солонцеватой на лессовидных суглинках в полыни ^{137}Cs не обнаружен (как и ^{232}Th), а в шалфее эти радионуклиды присутствуют. Эти факты свидетельствуют об избирательности поглощения радионуклидов растениями, которая определяется их физиологическими особенностями.

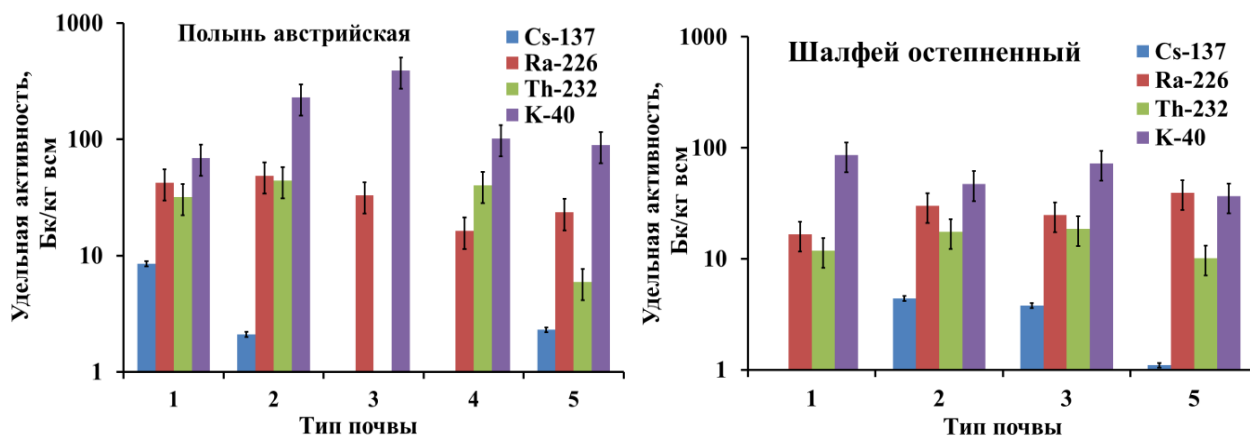


Рис. 2. Распределение радионуклидов в травянистых растениях, произрастающих на разных почвах. Условные обозначения: 1 – темно-каштановая солонцеватая тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках, 2 – лугово-каштановая мощная тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках, 3 – каштановая солонцеватая тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках, 4 – флювиально-луговая легкосуглинистая на аллювиальных погребенных отложениях, 5 – каштановая солонцеватая тяжелосуглинистая на желто-бурых глинах.

Данные, представленные в табл. 4, показывают, что удельная активность радиоцезия, тория и радия в растениях и почве сопоставимы в пределах стандартного отклонения.

Содержание ^{40}K в растениях примерно в три раза ниже, чем в почвах. Обусловлено это, вероятно тем, что почвы в основном хорошо обеспечены доступным обменным калием, представленным более легким изотопом, и растениям нет острой необходимости поглощать из почвы более тяжелый изотоп. Но в то же время в растениях коэффициенты вариации ^{137}Cs значительно выше (60–100%), что также обусловлено способностью растений селективно поглощать необходимые элементы в случае их недостатка. Комплексность почвенного покрова предопределяет разную степень доступности калия – этого важнейшего, особенно в засушливых условиях, элемента питания. На пятнах солонцовых почв

обменный калий наряду с натрием может вызывать пептизацию почвенных коллоидов (Окорков, 2020) и выносится вместе с коллоидными частицами в солонцовый горизонт, тем самым обеспечивая обеднение поверхностного (0–10 см) слоя одновалентными катионами K^+ . Учитывая, что цезий в силу своего сродства легко замещает калий в растениях и плохо передвигается в профиле почв, что обусловлено его сорбцией органическим веществом, можно предположить, что в таких условиях он восполняет недостаток калия в растениях.

Таблица 4. Удельная активность радионуклидов (Бк/кг высушенной массы – Бк/кг в см) в растениях и почвах (Бк/кг) природно-техногенных территорий сухостепной зоны Ростовской области.

Параметр	Радионуклид							
	Растения				Почвы			
	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Минимум, Бк/кгвсм	1.2	10.3	10.9	28.0	1.0	10.1	7.4	255.4
Максимум, Бк/кг всм	49.5	82.0	98.3	515.8	39.1	34.7	37.7	631.0
Среднее арифметическое, Бк/кг всм	13.2	21.2	24.8	149.4	13.4	22.0	27.1	468.5
Медиана, Бк/кгвсм	9.5	26.2	26.7	81.7	12.3	23.0	28.8	474.0
Мода, Бк/кг всм	–	37.1	13.8	455.4	11.3	25.4	33.0	493.0
Стандартное отклонение, Бк/кг всм	5.4	7.5	7.4	61.4	7.4	5.3	7.2	96.9
Коэффициент вариации, %	101.4	59.2	70.1	94.6	55.1	24.0	26.4	20.7
Количество образцов, шт.	55				105			

Выводы

1. Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на территориях сухостепных регионов Ростовской области распределена равномерно без ее значительных вариаций и в среднем составляет 0.118 мкЗв/ч, 0.146 мкЗв/ч и 0.139 мкЗв/ч для природных, природно-техногенных и урбанизированных территорий соответственно.

2. Удельная активность естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K) не зависит от степени урбанизации и антропогенной нагрузки.

3. Удельная активность искусственного радионуклида ^{137}Cs в почвах обусловлена его неравномерным выпадением после аварии на Чернобыльской АЭС, это определяет значимые различия этого показателя в почвах разных участков изученной территории. Большая часть радиоцезия сосредотачивается в поверхностных горизонтах, как за счет необменной сорбции глинистыми минералами, так и за счет соединений с органическим веществом почв.

4. По накоплению радионуклидов в вегетативной массе растений (полынь австрийская и шалфей остепненный) можно выстроить убывающий ряд: $^{40}\text{K} > ^{226}\text{Ra} \geq ^{232}\text{Th} > ^{137}\text{Cs}$. Причем полынь более предрасположена к накоплению радионуклидов, чем шалфей, особенно это справедливо в отношении ^{40}K , что позволяет рекомендовать полынь в качестве растения-индикатора.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Государственное задание в области научной деятельности, Южный федеральный университет, 2020 г.). Тема № БАЗ0110/20-3-07ИФ.

Исследование выполнено при поддержке программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акимов Л.М. 2021. Тенденции изменения термического режима на аридных и сопредельных территориях европейской части России в летний период // Аридные экосистемы. Т.27. № 4 (89). С. 3-12.

- Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины.* 1998. Разработан в Институте глобального климата и экологии Росгидромета и РАН под научным руководством Ю.А. Израэля. – М.: Федеральная служба геодезии и картографии России. 143с.
- Безуглова О.С., Ильинская И.Н., Гаевая Э.А., Минаева Е.Н.* 2021. Плодородие почв Ростовской области в связи с аридизацией // Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)». Коллективная монография / Р. С. Х. Эдельгериев, А. Л. Иванов, И. М. Донник [и др.]. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева. С. 172-177.
- Безуглова О.С., Ильинская И.Н., Закруткин В.Е., Назаренко О.Г., Литвинов Ю.А., Гаевая Э.А., Меженков А.А., Жумбей А.И.* 2022. Динамика деградации земель в Ростовской области // Известия Российской академии наук. Серия географическая. № 86(1). С. 41-54.
- Безуглова О.С., Назаренко О.Г., Ильинская И.Н.* 2020. Динамика деградации земель в Ростовской области // Аридные экосистемы. Т.26. №2 (83). С. 10-15.
- Безуглова О.С., Хырхырова М.М.* 2008. Почвы Ростовской области. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета. 352 с.
- Бодров И.В., Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Марескин С.А.* 2004. Инструментальное определение урана и тория в природных объектах. // Атомная энергия. Т.96. Вып.4. С. 271-276.
- Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Зорина Л.В., Стасов В.В.* 2007. Компоненты фона Ge(Li)- и GeNP-детектора в пассивной защите // Атомная энергия. Т.103. Вып.5. С. 318-322.
- Горбачев Б.Н.* 1974. Растительность и естественные кормовые угодья Ростовской области. Ростов-на-Дону: Ростовское книжное издательство. 153 с.
- Губарев Д.И., Левецкая Н.Г., Деревягин С.С.* 2022. Влияние изменений климата на деградацию почв в аридных зонах Поволжья // Аридные экосистемы. Т. 28. № 1 (90). С. 20-27.
- Ежегодник.* 2022. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2021 году (Росгидромет). Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун». 350 с.
- Залибеков З.Г., Мамаев С.А., Биарсланов А.Б., Курбанисмаилова А.С.* 2022. Почвы аридных регионов Юга России в базовой классификации почв мира // Аридные экосистемы. Т.28. № 1 (90). С. 42-52.
- Касимов Н.С., Безбердая Л.А., Власов Д.В., Лычагин М.Ю.* 2019. Металлы, металлоиды и бенз(а)пирен в микрочастицах почв и дорожной пыли Алушты // Почвоведение. №12. С. 1524-1538.
- Ладонин Д.В., Пляскина О.В.* 2009. Изотопный состав свинца в почвах и уличной пыли Юго-Восточного административного округа г. Москва // Почвоведение. № 1. С. 106-118.
- Маханько К.П.* 2000. Влияние ветрового подъема радиоактивной пыли на загрязнение атмосферы над территорией России // Атомная энергия. Вып. 6. С. 460-464.
- МВК № 1.5.2 (45)-11. Методика контроля удельной активности грунта (почвы) с применением пробоотбора. 2011. Свидетельство № 45090.1К196.
- Морозов И.В., Безуглова О.С.* 2011. Классификации элементарных почвенных частиц в разных школах почвоведения // Фундаментальные исследования. №12. С. 281-285.
- Окорков В.В.* 2020. О факторах пептизируемости солонцовых почв // Владимирский земледелец. № 4 (94). С. 21-32.
- Парфенова А.В., Дашкевич Л.В.* 2021. Аридизация климата Ростовской области // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Т. 1. № 6. С. 131-138.
- Укарханова Д.Т., Московченко Д.В., Юртаев А.А.* 2020. К вопросу об изучении пылевидных образований в городских экосистемах // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. Вып. 104. С. 241-269.
- Хелаль А.А., Арида Х.А., Ризк Х.Е., Халифа С.М.* 2007. Взаимодействие цезия с гумусовым веществом: исследование методами радиометрии и ионометрии // Радиохимия. Т. 49. №5. С. 458-463.
- Черныш А.Ф., Аношко В.С.* 2006. Миграция и аккумуляция радионуклидов в эродированных агроландшафтах Белорусского Полесья // Вестник БГУ. Сер. 2. № 1. С. 98-102 [<https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/22810/1/98-102.pdf> (15.06.2022)].
- Шинкаренко С.С., Ткаченко Н.А., Барталев С.А., Юферев В.Г., Кулик К.Н.* 2020. Пыльные бури на юге европейской части России в сентябре-октябре 2020 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 17. № 5. С. 291-296.
- El-Arabi A.M.* 2007. ²²⁶Ra, ²³²Th, and ⁴⁰K concentrations in igneous rocks from eastern desert, Egypt and its radiological implications // Radiation Measurements. V.42. I.1. P. 94-100
- Pagano P., De Zaiacomo T., Scarcella E., Bruni S., Calamosca M.* 1996. Mutagenic activity of total and particle-sized fractions of urban particulate matter // Environmental Science & Technology. V. 30. P. 3512-3516.
- Thorpe A., Harrison R.M.* 2008. Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: A review // Science of the Total Environment. V. 400. Is. 1-3. P. 270-282.
- Wei B., Yang L.* 2010. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China // Microchemical Journal. V. 94 (2). P. 99-107.