УДК 631.452 DOI: 10.25680/S19948603.2026.149.04

МОНИТОРИНГОВАЯ ОЦЕНКА И УЧЕТ ВЗАИМОСВЯЗИ СОДЕРЖАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ И ^{137}CS В РАЗНЫХ ТИПАХ ПОЧВ

Г.А. Ступакова[1], к.б.н., А.А. Лапушкина[1], к.б.н., Е.Э. Игнатьева[1], М.А. Эдомская[2], к.б.н, М.В. Маркова[2]

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт имени Д.Н. Прянишникова» (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»)

127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31 А

[2]Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

123182, г. Москва, пл. Академика Курчатова, 1

Исследованы 63 стандартных образца основных типов почв из коллекционного фонда ФГБНУ «ВНИИ агрохимии». Установлены диапазоны содержания естественных радионуклидов ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{238}U, ^{40}K и техногенного ^{137}Cs, а также их средние значения по основным типам почв. Проведен анализ содержания радиоактивного и подвижного калия в разных типах почв. Отмечено, что в некарбонатных черноземах самое высокое содержание радиоактивного калия (612 Бк/кг), а подвижного калия – в карбонатных черноземах и каштановых почвах (240 мг/кг). Дерново-подзолистые и серые лесные почвы отличаются самой большой вариабельностью значений радиоактивного и подвижного калия. У некарбонатных черноземов зафиксирована сильная, отрицательно направленная (r = -0,76) взаимосвязь между калием радиоактивным и подвижным. Исследование почв с различными типом и степенью засоления выявило, что концентрации ^{226}Ra, ^{232}Th , ^{238}U были сопоставимы. Содержание ^{137}Cs в почвах с хлоридно-натриевым засолением значительно превышало (7,3 Бк/кг) его уровень в почвах с другим типом засоления (0,9–1,5 Бк/кг). Содержание ^{40}K не зависит от типа засоления.

Ключевые слова: стандартные образцы, тип почвы, естественные радионуклиды, цезий-137.

Для цитирования: *Ступакова Г.А., Лапушкина А.А., Игнатьева Е.Э., Эдомская М.А., Маркова М.В.* Мониторинговая оценка и учет взаимосвязи содержания естественных радионуклидов и ^{137}Cs в разных типах почв// Плодородие. – 2026. – №2. – С. 20-26. DOI: 10.25680/S19948603.2026.149.04.

Известно, что содержание естественных радионуклидов в почве зависит от целого ряда условий: состава материнских пород, климатических условий, содержания в почве органического вещества, физико-химических свойств радионуклидов и др. [1, 2].

Главным источником естественной радиоактивности почвы является изотоп калия – ^{40}K. Хотя в почве присутствуют и другие радиоактивные элементы, например, радий (^{226}Ra), торий (^{232}Th), уран (^{238}U), их вклад в общую радиоактивность значительно меньше – примерно в 10-100 раз [3].

Анализу, обобщению и систематизации данных по содержанию естественных радионуклидов в почвах России, выявлению закономерностей содержания их в зависимости от типа и гранулометрического состава почв посвящено достаточно много исследований [3-6 и др.].

Данная работа является продолжением исследований по содержанию естественных радионуклидов в коллекции стандартных образцов ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» [3, 7], ежегодно пополняемой новыми типами почв.

Интерес представляет тот факт, что все образцы отбирались в ненарушенном слое почвы в местах, где не применялись средства химизации, т.е. фактически все стандартные образцы (СО) коллекции являются представителями естественного радиационного фона конкретного географического места отбора.

Методика. В качестве объекта исследований были 63 СО разных типов почв из коллекции почв ФГБНУ «ВНИИ агрохимии». Тип почвы, ее гранулометрический состав, место и год отбора представлены в таблице 3.

Почвы для разработки СО отбирали в таежно-лесной, лесостепной, степной и полупустынной зонах Российской Федерации и стран СНГ в период с 1980 по 2025 г. На территориях, с которых проводили отбор почвы, в течение последних пяти лет средства химизации не вносили.

Для определения удельной активности гамма-излучающих радионуклидов навески почвы массой 200 г помещали в специальные измерительные контейнеры. Измерение активности проводили с использованием гамма-спектрометра с коаксиальным германиевым детектором фирмы Canberra Industries Inc. (США) в диапазоне энергий 25–3000 кэВ. Время экспозиции 12 ч. Калибровку спектрометра выполняли с применением эталонных спектрометрических гамма-источников (ОСГИ-3) и объемных стандартных образцов МАГАТЭ. Обработку спектров и коррекцию фона осуществляли с использованием программного обеспечения Genie 2000 (версия V3.4.1). Идентификацию радионуклидов проводили по аналитическим линиям в спектрах гамма-излучения: ^{40}K – 1460 кэВ, ^{232}Th – 239, 583, 911, 2614 кэВ, ^{238}U – 1001 кэВ, ^{226}Ra – 352, 609 кэВ.

Для установления содержания подвижного калия в СО почвы использовали зональные методы [8-10].

СО почвы были сгруппированы в соответствии с их типами и методами определения подвижного калия: дерново-подзолистые и серые лесные почвы объединены в группу «Кирсанов», черноземы оподзоленные, выщелоченные и типичные в группу «Чириков», черноземы обыкновенные, южные и каштановые почвы в группу «Мачигин». Для каждой группы определяли коэффициент вариации, коэффициент прямолинейной и криволинейной корреляции между удельной активностью радиоактивного калия ($К_{рад}$) и содержанием подвижного калия ($К_{под}$).

Результаты и их обсуждение. Содержание ^{40}K, ^{232}Th, ^{238}U, ^{226}Ra и ^{137}Cs в СО разных типов почв представлено в таблице 1. Полученные результаты по диапазонам содержания ^{238}U (8 – 60 Бк/кг), ^{232}Th (9 – 63 Бк/кг), ^{40}K (150-950 Бк/кг), ^{226}Ra (6,7-38 Бк/кг) в разных типах почв в целом соответствуют диапазонам и средним значениям в опубликованных источниках [5]. Аномально высокое содержание ^{137}Cs (до 440 Бк/кг) в СО серой лесной почвы обусловлено загрязнением после аварии на Чернобыльской АЭС. Образцы отобраны в период с 2012 по 2015 г. в Скопинском, Захаровском и Рязанском районах Рязанской области. По данным радиационного мониторинга, очаги загрязнения цезием-137 обнаружены па территории 19 районов Рязанской области. Общая площадь этих очагов составляет 14% территории области [11].

1. Содержание естественных радионуклидов и ^{137}Cs в СО разных типов почв

Радионуклиды, Бк/кг	^{137}Cs	^{40}K	^{232}Th	^{238}U	^{226}Ra
Дерново-подзолистые почвы					
Среднее значение	16,1	561	29,0	26,0	22,5
Интервал значений	1,0-150	150-950	8,8-53	8,2-42	6,7-34
Количество образцов	17	17	17	17	17
Серые лесные почвы					
Среднее значение	75,9	605	35,8	30,0	26,0
Интервал значений	3,2-440	420-820	24,0-44	21-60	21-31
Количество образцов	7	7	7	7	7
Черноземы					
Среднее значение	18,1	585	38,0	25,4	28,1
Интервал значений	1,2-99	380-680	26-45	17,0-31,0	17-38
Количество образцов	28	28	28	28	28
Каштановые почвы					
Среднее значение	3,5	642	32,8	27,9	24,2
Интервал значений	0,9-7,3	303-775	18-47	15-42	17-38
Количество образцов	10	10	10	10	10

Таблица 2 иллюстрирует распределение естественных радионуклидов в почвах, дифференцированных по гранулометрическому составу. Отмечено, что концентрации ^{40}K, ^{232}Th, ^{238}U, ^{226}Ra демонстрируют минимальные значения в песчаных и супесчаных почвах, достигая максимума в глинистых почвах, при этом содержание ^{137}Cs является исключением из данной закономерности.

2. Содержание естественных радионуклидов и ^{137}Cs в СО почв разного гранулометрического состава, Бк/кг

Показатель	^{137}Cs	^{40}K	^{232}Th	^{238}U	^{226}Ra
Песчаные, супесчаные почвы					
Среднее значение	76,2	418	21,5	18,8	17,7
Интервал значений	2,6-440	160-660	8,8-44,0	8,2-39,0	6,7-36
Количество образцов	8	8	8	8	8
Легкосуглинистые почвы					
Среднее значение	12,2	619	37,7	29,4	28,6
Интервал значений	3,2-40,0	420-820	25,0-46,0	21,0-60,0	20,1-36,0
Количество образцов	11	11	11		
Среднесуглинистые почвы					
Среднее значение	15,5	613	36,1	28,8	26,0
Интервал значений	0,9-57,0	380-801	23,0-53,0	18,0-42,0	17,0-38
Количество образцов	18	18	18	18	18
Тяжелосуглинистые почвы					
Среднее значение	11,6	556	35,0	24,6	26,6
Интервал значений	1,2-99,0	303-910	17,9-52,0	14,8-42,0	16,6-36,0
Количество образцов	24	24	24	24	24
Глинистые почвы					
Среднее значение	16,7	700	43,1	29,5	29,1
Интервал значений	6,3-27,0	630-769	39,0-47,1	29,0-30,0	25,0-33,3
Количество образцов	2	2	2	2	2

Согласно литературным данным [12], содержание радиоактивного ^{40}K в почве находится в прямой зависимости от содержания в ней общего и подвижного калия. В таблице 3 представлены данные по содержанию радиоактивного и подвижного калия и гранулометрическому составу в почвах разных типов, отобранных в разных временных и пространственных условиях.

3. Содержание радиоактивного и подвижного калия в СО разных типов почв

№ п/п	Номер СО в реестре ВНИИА	Тип почвы, гранулометрический состав, индекс образца	Место отбора образца	Год и месяц отбора	^{40}K, Бк/кг	K_2O, млн$^{-1}$
1	**10601***	СО состава почвы дерново-подзолистой среднесуглинистой (САДПП-10/11)	Новгородская обл., Новгородский р-он	2006 август	570	374
2	**10801***	СО состава почвы дерново-подзолистой легкосуглинистой (САДПП-09/7)	Калужская обл. Малоярославецкий р-он	2008 май	690	168
3	**10902***	СО состава почвы дерново-подзолистой супесчаной (САДПП-08/6)	Владимирская обл., Судогодский р-он	2008 октябрь	250	130
4	**10904***	СО состава почвы дерново-подзолистой супесчаной (САДПП-08/7)	Тверская обл., Калининский р-он	2009 август	460	133
5	**11201***	СО состава почвы светло-серой лесной супесчаной (САСлП-04/1)	Рязанская обл., Скопинский р-он	2012 июль	660	288
6	**11501***	СО состава почвы серой лесной тяжелосуглинистой (САСлП-03/6)	Рязанская обл. Захаровский р-он	2015 июнь	640	66
7	**11502***	СО состава почвы дерново-подзолистой супесчаной (САДПП-08/9)	Рязанская обл., Кораблинский р-он	2015 июнь	220	63
8	**11801***	СО состава почвы дерново-подзолистой тяжелосуглинистой (САДПП-07/7)	Новгородская обл., Новгородский р-он	2018 июнь	910	330
9	**11802***	СО состава почвы светло-серой лесной легкосуглинистой (САСлП-02/2)	Калужская обл., Малоярославецкий р-он	2018 июль	820	94
10	**18203***	СО состава почвы дерново-подзолистой тяжелосуглинистой (САДПП-02)	Свердловская обл., Свердловский р-он	1982 июнь	700	88
11	**18301***	СО состава почвы дерново-подзолистой среднесуглинистой (САДПП-10/6)	Псковская обл., Великолукский р-он,	1983 июнь	530	48

Продолжение таблицы 3

№ п/п	Номер СО в реестре ВНИИА	Тип почвы, гранулометрический состав, индекс образца	Место отбора образца	Год и месяц отбора	^{40}К, Бк/кг	K_2O, млн$^{-1}$
12	**18302***	СО состава почвы дерново-среднеподзолистой пылевато-легкосуглинистой (САДПП-06)	Черновицкая обл., Вижницкий р-он	1983 июнь	530	115
13	**18303***	СО состава почвы дерново-среднеподзолистой супесчаной	Черниговская обл., Черниговский р-он	1983 август	420	56
14	**18305***	СО состава почвы серой лесной (САСлП-01)	Рязанская обл., Рязанский р-он	1983 август	660	102
15	**18306***	СО состава почвы дерново-подзолистой среднесуглинистой (САДПП-10/2)	Кировская обл., Куменский р-он	1983 август	600	113
16	**18402***	СО состава почвы дерново-подзолистой супесчаной (САДПП-08/1)	Горьковская обл., Кетовский р-он,	1984 июль	160	56
17	**18403***	СО состава почвы дерново-подзолистой тяжелосуглинистой (САДПП-07/5)	Кемеровская обл., Яшкинский р-он	1984 август	530	58
18	**18404***	СО состава почвы дерново-подзолистой среднесуглинистой	Костромская обл., Костромской р-он	1984 август	640	132
19	**18406***	СО состава почвы серой оподзоленной песчанолекгосуглинистой	Ровенская обл., Гощанский р-он	1984 май	420	116
20	**18407***	СО состава почвы дерново-подзолистой тяжелосуглинистой (САДПП-07/2)	Латвия, Рижская обл.	1984 июнь	800	175
21	**18409***	СО состава почвы дерново-подзолистой тяжелосуглинистой (САДПП-07/1)	Новгородская обл., Новгородский р-он	1984 июль	890	263
22	**18505***	СО состава почвы дерново-подзолистой среднеоподзоленной супеси (САДПП-08/4)	Литва, Каунаская обл., Укмергех р-он,	1985 июнь	640	75
23	**19107***	СО состава почвы светло-серой лесной тяжелосуглинистой (САСлП-03/2)	Свердловская обл., Свердловский р-он,	1989 май	470	148
24	**19201***	СО состава почвы чернозем оподзоленный среднесуглинистый (САЧопП-03/3)	Калужская обл., Малоярославецкий р-он	1992 июнь	640	153
25	**20201****	СО состава почвы чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый (САЧП-04/1)	Орловская обл., Ливенский р-он,	2001 май	610	115
26	**20601****	СО состава почвы чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый (САЧвП-06/7)	Курганская обл., Шадринский р-он	2006 август	540	342
27	**20901****	СО состава почвы чернозем выщелоченный среднегумусный среднемощный глинистый (САЧвП-07/1)	Мордовия, Саранская обл., Лямбирский р-он	2009 июнь	630	178
28	**21001****	СО состава почвы чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый (САЧобП-01/4)	Воронежская обл., Россошанский р-он	2010 июнь	620	145
29	**21501****	СО состава почвы чернозем оподзоленный малогумусный среднемощный, среднесуглинистый (САЧопП-02/2)	Курская обл., Курский р-он	2015 сентябрь	680	86
30	**28011****	СО состава почвы чернозем южный малогумусный тяжелосуглинистый на лёссе (САЧП-01)	Одесская обл., Овидиопольский р-он	1980 май	670	115
31	**28014****	СО состава почвы чернозем оподзоленный на лёссе среднесуглинистый (САЧвП-01)	Черкасская обл., Звенигородский р-он	1980 август	670	122
32	**28402****	СО состава почвы чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый (САЧП-02)	Днепропетровская обл., Днепропетровский р-он	1984 сентябрь	610	198
33	**28404****	СО состава почвы чернозем южный легкосуглинистый	Николаевская обл., Новоодесский р-он	1984 сентябрь	640	118
34	**28405****	СО состава почвы чернозем оподзоленный легкосуглинистый (САЧопП-01/1)	Винницкая обл., Винницкий р-он	1984 август	630	173
35	**28406****	СО состава почвы чернозем выщелоченный среднесуглинистой (САЧвП-05/3)	Пензенская обл., Пензенский р-он	1984 июнь	380	86
36	**28812****	СО состава почвы каштановой легкосуглинистой (САКашП-02/1)	Бурятия, Иволгинский р-он	1988 июнь	590	83
37	**28813****	СО состава почвы чернозем выщелоченный среднесуглинистой (САЧвП-05/2)	Новосибирская обл., Новосибирский р-он	1988 июль	540	340

Продолжение таблицы 3

№ п/п	Номер СО в реестре ВНИИА	Тип почвы, гранулометрический состав, индекс образца	Место отбора образца	Год и месяц отбора	^{40}К, Бк/кг	K_2O, млн$^{-1}$
38	**28814****	СО состава почвы чернозем оподзоленный среднесуглинистый (САЧопП-02/1)	Винницкая обл., Винницкий р-он	1988 август	630	59,9
39	**29001****	СО состава почвы чернозем типичный среднесуглинистый (САЧвП-05/4)	Киевская обл., Обуховский р-он	1990 август	610	94
40	**29107****	СО состава почвы чернозем тяжелосуглинистый (САЧобП-01/1) пахотный	Донецкая обл., Краматорский р-он	1991 август	570	148
41	**29108****	СО состава почвы чернозем тяжелосуглинистый (САЧобП-01/2) подпахотный	Донецкая обл., Краматорский р-он	1991 август	590	80
42	**29509****	СО состава почвы чернозем выщелоченный среднесуглинистой (САЧвП-05/5)	Тамбовская обл., Тамбовский р-он	1995 август	563	148
43	**29601****	СО состава почвы темно-серой лесной тяжелосуглинистой (САСлП-06/1)	Чувашская республика, Ивильский р-он	1996 июль	453	104
44	**29901****	СО состава почвы чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый (САЧвП-06/4)	Ульяновская обл., Ульяновский р-он	1999 июнь	602	161
45	**30001*****	СО состава почвы бурой легкосуглинистой (САБурП-01/1)	Республика Бурятия, Волгинский р-он	2000 август	624	464
46	**30402*****	СО состава почвы светло-каштановой солонцеватой тяжелосуглинистой (САКашП-04/3)	Волгоградская обл., Волгоградский р-он	2004 июль	303	218
47	**30501*****	СО состава почвы чернозем южный карбонатный тяжелосуглинистый (САЧюжП-01/1)	Оренбургская обл., Оренбургский р-он	2005 май	600	444
48	**30701*****	СО состава почвы солонец каштановый средний тяжелосуглинистый (САСолП-04/2)	Республика Калмыкия, Яшалтинский р-он	2007 июнь	672	391
49	**38302*****	СО состава почвы чернозем карбонатный тяжелосуглинистый (САЧкП-05/1)	Республика Молдавия, Куманский р-он	1983 июль	578	310
50	**38305*****	СО состава почвы чернозем предкавказский малогумусный карбонатный тяжелосуглинистый (САЧкП-03)	Краснодарский кр., Ейский р-он	1983 август	637	366
51	**38306*****	СО состава почвы светлокаштановой карбонатной глинистой (САКашП-02/1)	Республика Казахстан, Алма-Атинская обл., Каскеленский р-он	1983 август	769	471
52	**38307*****	СО состава почвы каштановой карбонатной легкосуглинистой (САКашП-02/2)	Ростовская обл., Дубовский р-он,	1983 июнь	651	318
53	**38409*****	СО состава почвы чернозем карбонатный тяжелосуглинистый (САЧкП-05/2)	Республика Молдавия, Кагульский р-он	1984 май	395	200
54	**38501*****	СО состава почвы каштановой карбонатной тяжелосуглинистой (САКашП-01/1)	Волгоградская обл., Волгоградский р-он	1985 июнь	389	206
55	**38805*****	СО состава почвы чернозем карбонатный среднесуглинистый (САЧкП-06/3)	Белгородская обл, Белгородский р-он	1988 сентябрь	530	267
56	**39101*****	СО состава почвы чернозем карбонатный южный легкосуглинистый (САЧкП-05/4)	Ростовская обл., Цимлянский р-он	1991 июль	647	338
57	**39103*****	СО состава почвы серой лесной легкосуглинистой (САСлП-05/1)	Киевская обл., Васильевский р-он	1991 август	568	156
58	**39601*****	СО состава почвы чернозем карбонатный тяжелосуглинистый (САЧкП-07/2)	Республика Калмыкия, Яшалтинский р-он	1996 май	629	343
59	**39901*****	СО состава почвы чернозем обыкновенный среднесуглинисты (САЧобП-02/1)	Саратовская обл., Балашихинский р-он	1999 август	475	207
60	**30901*****	СО состава почвы солонец бурый полупустынный солончаковатый тяжелосуглинистый (САСолП-05/1)	Республика Калмыкия, Яшкульский р-он	2008 ноябрь	698	543
61	**31601*****	СО состава почвы лугово-каштановой солонцевато-солончаковатой среднесуглинистой (САЛугП-01/1)	Ставропольский кр, Левокумский р-он	2016 июнь	801	-

Продолжение таблицы 3

№ п/п	Номер СО в реестре ВНИИА	Тип почвы, гранулометрический состав, индекс образца,	Место отбора образца,	Год и месяц отбора	^{40}К, Бк/кг	K_2O, млн$^{-1}$
62	**32002*****	СО состава почвы лугово-каштановой солонцевато-солончаковатой (после орошения) среднесуглинистой (САЛугП-01/2)	Ставропольский кр, Левокумский р-он	2020 май	775	-
63	**32401*****	СО состава почвы светло-каштановой среднесуглинистой с солонцами каштановыми среднемощными 25-50 % (САКашП-05/4)	Волгоградская обл., Светлоярский р-он	2025 август	733	-

* K_2O по методу Кирсанова (экстрагирующий р-р HCl, 02 ммоль/дм^3);
** K_2O по методу Чирикова (экстрагирующий р-р уксусная кислота CH_3COOH, 05 ммоль/дм^3);
*** K_2O по методу Мачигина (экстрагирующий р-р углекислый аммоний, 10 г/дм^3)

На рисунке 1 представлен разброс полученных значений удельной активности радиоактивного калия и содержания подвижного калия. На диаграммах вертикальная черта обозначает медиану, границы блока – верхний и нижний квартили; крест (х) – среднее арифметическое; «усы» соответствуют диапазону наблюдаемых минимумов и максимумов.

При рассмотрении результатов анализа удельной активности калия, во-первых, необходимо подчеркнуть равномерность распределения значений для всех трех групп, во-вторых, отметить очень близкие значения среднего арифметического и медианы в пределах каждой группы, в-третьих, средняя удельная активность $К_{рад}$ для групп «Кирсанов», «Чириков» и «Мачигин» равна 576, 612 и 573 Бк/кг соответственно, что в совокупности может свидетельствовать об относительной выравненности почв по наличию радиоактивного калия.

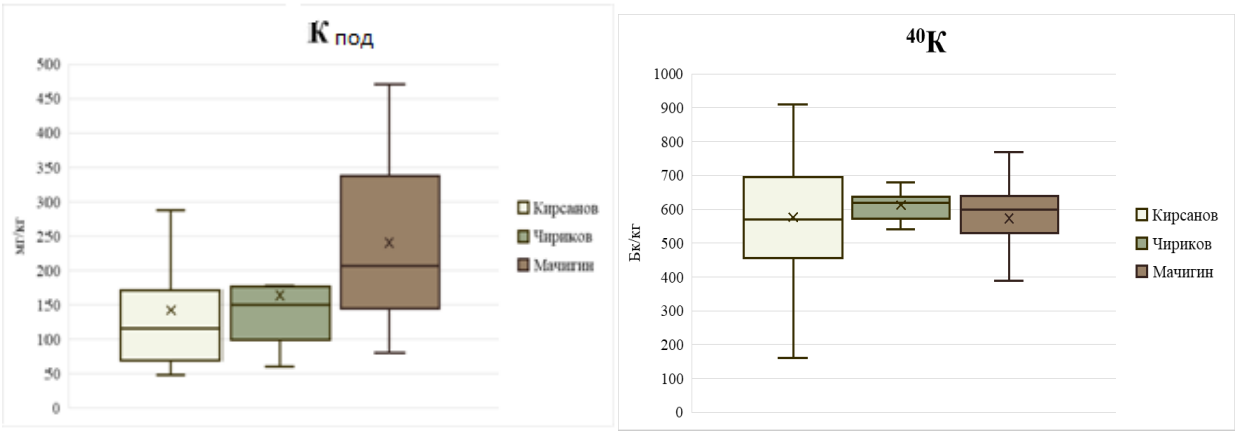

Рис. 1. Распределение данных удельной активности ^{40}К и содержания подвижного калия в зависимости от типа почвы и метода её анализа

При анализе содержания подвижного калия в исследуемых типах почв наблюдается существенная вариабельность данных. Минимальное содержание $К_{под}$ зафиксировано в почвах группы «Кирсанов», где среднее значение составляет 143 мг/кг. Почвы группы «Чириков» демонстрируют несколько более высокое содержание подвижного калия (164 мг/кг). Наибольшее количество $К_{под}$ отмечено в почвах группы «Мачигин» (240 мг/кг).

Для установления выраженности разброса данных в выборке СО, и соответственно, изменчивости почв по содержанию калия, был использован коэффициент вариации (Cv). В контексте данных таблицы 4 в целом наблюдается высокая неоднородность численных значений (Cv ≥ 50%) подвижного калия вне зависимости от групп почв; в то время как величины удельной активности радиоактивного калия более близкие между собой. Анализ данных по почвам группы «Чириков» выявил низкую степень вариабельности (7%), тогда как для группы «Мачигин» характерна средняя вариабельность (20%). При этом в группе «Кирсанов» наблюдается значительный разброс значений для подвижного и радиоактивного калия.

Для поиска взаимосвязи удельной активности радиоактивного калия и содержания подвижного калия использовали два вида коэффициента корреляции: прямолинейная (r) и криволинейная (Η). В случае установления низкого значения прямолинейной корреляции рекомендуется определить коэффициент криволинейной корреляции, так как не всегда данные в выборке линейно возрастают или уменьшаются относительно друг друга.

4. Коэффициенты вариации и корреляций для разных групп СО почвы

	Группа «Кирсанов» (25 обр.)		Группа «Чириков» (12 обр.)		Группа «Мачигин» (19 обр.)	
	$К_{рад}$	$К_{стаб}$	$К_{рад}$	$К_{стаб}$	$К_{рад}$	$К_{стаб}$
r		0,52		-0,76		0,29
	0,52		-0,76		0,29	
Η		0,64		0,76		0,30
	0,58		0,77		0,83	
Cv, %	34	66	7	55	20	50

Среди представленных СО почв сильной теснотой связи (r = -0,76, Η= 0,76) между двумя показателями обладают некарбонатные черноземы, причём чем выше удельная активность ^{40}К, тем ниже содержание в почве подвижного калия. Связь средней силы (r = 0,52, Η = 0,58 и 0,64) отмечается для сильно- и среднекислых почв группы «Кирсанов». Интересными для рассмотрения представляются коэффициенты корреляции

карбонатных почв, r = 0,29, что свидетельствует об отсутствии прямолинейной изменчивости величин, так же как и для пары $К_{рад}$ – $К_{под}$, где Ƞ=0,30. Но если произвести расчет Ƞ для $К_{под}$ – $К_{рад}$, то отмечается сильная криволинейная связь. Очевидно, такое расхождение в значениях коэффициентов корреляции в пределах группы «Мачигин» связано с возможностью группировки данных в паре $К_{под}$ – $К_{рад}$ таким образом, что в пределах каждого кластера прослеживается парное увеличение или уменьшение значений.

Исходя из вышеизложенного, самой высокой удельной активностью обладают некарбонатные черноземы (612 Бк/кг), а наибольшим содержанием подвижного калия – карбонатные черноземы и каштановые почвы (240 мг/кг). Дерново-подзолистые и серые лесные почвы характеризуются самой большой вариабельностью значений радиоактивного и подвижного калия. Для СО некарбонатных черноземов зафиксирована сильная, отрицательно направленная (r = -0,76) взаимосвязь между $К_{под}$ и $К_{рад}$.

Анализ содержания таких природных радионуклидов, как ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{238}U в почвах с неодинаковыми типом и степенью засоления, отобранных в разных почвенно-климатических зонах (Калмыкия, Ставропольский край, Оренбургская и Волгоградская обл.), показал близкие значения (Бк/кг): радий от 20,8 до 27,1, торий от 30,7 до 39,2, уран от 32 до 42. Исключение составил ^{137}Cs, содержание которого в почвах с хлоридно-натриевым типом засоления было в несколько раз выше (7,3 Бк/кг), в остальных типах от 0,9 до 1,5 Бк/кг (рис. 2).

Установлено, что радиокалий содержится в засоленных почвах гораздо в больших количествах (от 535 до 860 Бк/кг) по сравнению с тяжелыми радионуклидами, такими как торий и уран, но его содержание не зависит от типа засоления (рис. 3).

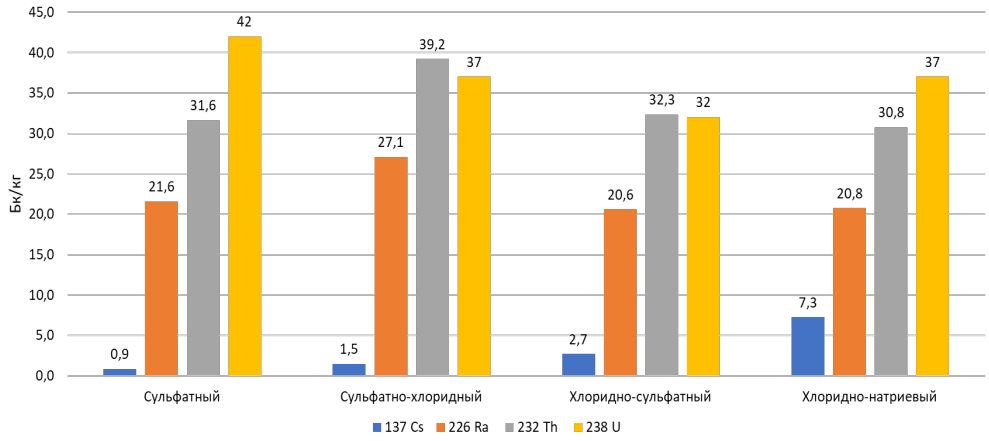

Рис. 2. Содержание ^{137}Cs, ^{226}Ra, ^{232}Th , ^{238}U в почве при различных типах засоления

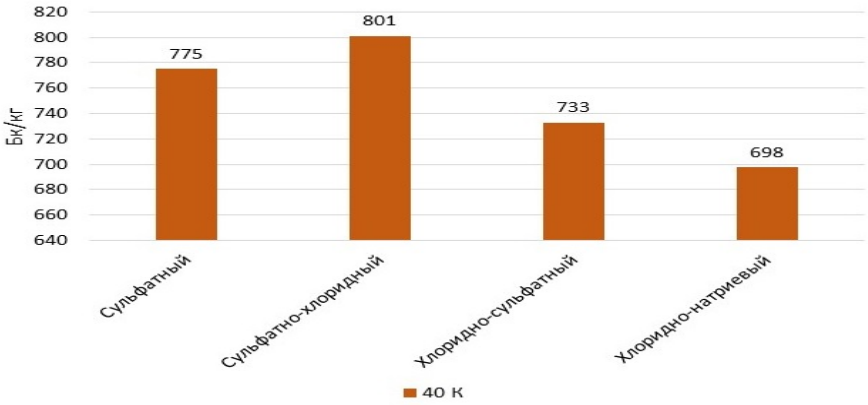

Рис.3. Содержание ^{40}K в почве при различных типах засоления

Заключение. Установленные диапазоны содержания естественных радионуклидов (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{238}U и ^{40}K), их средние значения по основным типам почв, а также увеличение содержания от легких почв к глинистым, в целом согласуются с данными научной литературы. Это свидетельствует об отсутствии антропогенных или геологических аномалий в местах отбора СО. Вариация содержания ^{137}Cs в СО, отобранных в загрязненных районах Рязанской области, ожидаемо повысила уровень его присутствия по сравнению с базовым.

Исследование взаимосвязи удельной активности ^{40}K и содержание подвижного калия показали, что из всех представленных типов почв сильной теснотой связи (r = -0,76, Ƞ= 0,76) между двумя показателями обладают некарбонатные черноземы, причём, чем выше удельная активность ^{40}K, тем ниже содержание в почве подвижного калия. Самая большая вариабельность значений радиоактивного и подвижного калия у дерново-подзолистых и серых лесных почв.

Анализ содержания ^{226}Ra, ^{232}Th и ^{238}U, ^{40}K не зависит от типа и степени засоления почвы, исключением является ^{137}Cs, содержание которого в почвах с хлоридно-натриевым типом засоления значительно выше (7,3 Бк/кг) по сравнению с остальными типами засоления (0,9-2,7 Бк/кг).

Литература
1. *Мингареева Е.В., Апарин Б.Ф., Коровин С.В., Санжарова Н.И., Сухачева Е.Ю.* Естественные радионуклиды (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K) в почвообразующих породах европейской территории России // Радиационная биология, радиоэкология. – 2022. – №1. – С. 96-110.
2. *Мингареева Е.*В. Радионуклиды (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K, ^{137}Cs) в почвах Северо-Западного региона России, сформированных на трех типах почвообразующих пород // В кн.: Материалы по изучению Русских почв. – 2020. – №12. – С. 92-98.
3. *Торшин С.П., Лукашенко С.Н., Ступакова Г.А., Смолина Г.А., Эдомская М.А.* Вариабельность содержания природных радионуклидов в стандартных образцах почв // Плодородие. – 2022. – №1. – С.61-65.
4. *Орлов П.М., Аканова Н.И.* Радиоактивность почв сельскохозяйственных угодий Сибири в условиях различной интенсивности химизации сельскохозяйственного производства // Агрохимия. – 2019. – №6. – С. 91-96.
5. *Орлов П.М., Сычев В.Г., Аканова Н.И.* Естественные радионуклиды в почвах России и фосфатных рудах планеты // Международный сельскохозяйственный журнал. -2020. -№ 4. – С. 62-67.
6. *Маркова М.В., Эдомская М.А., Лукашенко С.Н., Ступакова Г.А.* Естественные радионуклиды в стандартных образцах разных типов почв. В сб.: Генетические и радиационные технологии в сельском хозяйстве. Сборник докладов III международной молодежной конференции. – Обнинск, 2024. – С. 235-238.
7. *Ступакова Г.А., Игнатьева Е.Э., Деньгина С.А.* Стандартные образцы в обеспечении лабораторий АПК. Коллекция стандартных образцов состава разных типов почв, растениеводческой продукции ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» // Плодородие. – 2021. -№ 5. – С. 84-90.
8. ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. – М.: Изд-во стандартов, 2013.
9. ГОСТ 26204-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. – М.: Изд-во стандартов, 1992.
10. ГОСТ 26205-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. – М.: Изд-во стандартов, 1992.
11. *Экологические* проблемы Рязани и Рязанской области: https://web.archive.org/web/20161124211804/http://ptrud.ru/index.php/2013-04-23-15-47-25/187-ekologicheskie-problemy-ryazani-i-ryazanskoj-oblasti
12. Содержание и формы нахождения естественных радионуклидов в почве: https://studfile.net/preview/16702044/page:4/

MONITORING ASSESSMENT AND ACCOUNTING OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE CONTENT OF NATURAL RADIONUCLIDES AND ^{137}CS IN DIFFERENT TYPES OF SOILS

G. A. Stupakova[1], Ph.D., A.A. Lapushkina[1], Ph.D., E. E. Ignatieva[1], M.A. Edomskaya[2], Ph.D., M.V. Markova[2]
[1]FGBNU All-Russian Research Institute named after D.N. Pryanishnikova (FGBNU "VNII Agrochemistry"), 127434, Moscow, Pryanishnikova str., 31A
[2]National Research Centre "Kurchatov Institute", 123182, Moscow, Kurchatov square, 1

A total of 63 standard samples of the main soil types from the collection fund of FGBNU "VNII Agrochemistry" were analyzed. The ranges of natural radionuclides ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{238}U, ^{40}K and technogenic ^{137}Cs contents, as well as their average values for the main soil types were determined. The content of radioactive and mobile potassium in different soil types was analyzed. It was founded that non-carbonate chernozems have the highest content of radioactive potassium (612 Bq/kg), while the content of mobile potassium is highest in carbonate chernozems and chestnut soils (240 mg/kg). Sod-podzolic and gray forest soils are characterized by the greatest variability in the values of radioactive and mobile potassium. A strong, negatively directed (r = -0.76) relationship between radioactive and mobile potassium was determined in non-carbonate chernozems. A study of soils with different types and degrees of salinity revealed comparable concentrations of ^{226}Ra, ^{232}Th, and ^{238}U. The ^{137}Cs content in soils with sodium chloride salinity was significantly higher (7.3 Bq/kg) than in soils with other types of salinity (0.9–1.5 Bq/kg). The content of ^{40}K does not depend on the type of salinity.
Key words: standard soil samples, soil types, natural radionuclides, radiocesium