

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦАХ ПОЧВ

С.П. Торишин¹, д.б.н., С.Н. Лукашенко³, д.б.н., Г.А. Ступакова², к.б.н.
Г.А. Смолина¹, к.б.н., М.А. Эдомская³

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева (РГАУ-МСХА)
127550, Москва ул. Тимирязевская, 51

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт имени Д.Н. Прянишникова» (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»)
127550, г. Москва, ул. Прянишникова, д.31А

³Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ)
249032, Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км

Представлены результаты анализа научной коллекции стандартных образцов разных типов почв на содержание природных радионуклидов. Образцы отбирали по одной методике с 1978 по 2018 г., имеют статус Государственных. Во всех образцах почв определено содержание наиболее экологически значимых естественных радионуклидов: ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U , ^{226}Ra и ^{210}Pb . Показано наличие связи изучаемых радиоактивных изотопов с типом и гранулометрическим составом почв.

Ключевые слова: природные радионуклиды, стандартные образцы, почвы, вариабельность, гранулометрический состав.

Для цитирования: Торишин 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.

DOI: 10.25680/S19948603.2022.124.16.

Природные радионуклиды всегда привлекали внимание исследователей-радиологов [1-3, 5] по нескольким причинам. Эти радиоактивные изотопы, хотя и не включены в нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009 [4]), вносят существенный вклад в природный радиационный фон (ПРФ) планеты Земля. Так, тяжёлые естественные радионуклиды совместно с радиокалийем представляют большую часть облучения человека – 85% от общего ПРФ (в том числе 75% от внутреннего облучения и 10% – от внешнего), что составляет дозовую нагрузку 1,6 мкЗв/год на человека [7]. Кроме того, эманация радиоактивного газа ^{222}Rn – продукта распада ^{226}Ra в радиоактивном семействе ^{238}U представляет серьёзную экологическую опасность. Данные по его содержанию в приземном слое воздуха являются обязательными для территорий, на которых планируют строительство жилых и производственных помещений [3, 4]. При всём интересе к природным радионуклидам их содержание в почвах не нормируется [4], а вариабельность ярко выражена [1, 2, 5, 6].

В работе [5] авторы обобщили обширный материал (более 900 образцов) по содержанию естественных радионуклидов в почвах России. Данные локального мониторинга агрохимической службы РФ обработаны методами вариационной статистики и получены интервальные значения с размахами колебаний. В нашем исследовании количество образцов было на порядок меньше, так как в анализ включена научная коллекция из 58 стандартных образцов почв. Почвенные образцы представлены практически всеми типами почв РФ и постсоветского пространства: дерново-подзолистыми,

серыми лесными, черноземами выщелоченными, типичными, оподзоленными, южными, обыкновенными, карбонатными, каштановыми и бурыми, сероземами, солонцами. СО имеют разный гранулометрический состав (легкосуглинистый, среднесуглинистый, тяжело-суглинистый, супесчаный и др.). География отбора почвенных образцов обширна, представлена почвами лесной, лесостепной, степной, сухостепной, полупустынной и пустынной зон [8].

Методика. Для получения достоверной информации о плодородии обследуемых земель и осуществления контроля за качеством проведения анализов при агроэкологическом мониторинге, возникает необходимость в разработке СО, соответствующих по матрице типу анализируемого объекта (в данном случае типу почвы). ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» на протяжении более сорока лет разрабатывает (СО) почв разного ранга (межгосударственные, государственные, отраслевые) для метрологического обеспечения работ при агроэкологическом мониторинге и изучении физико-химических особенностей разных типов почв. В связи с большим разнообразием почвенных ресурсов России на протяжении многих лет создавалась коллекция стандартных образцов разных типов почв, отобранных по единой методике. Территория, на которой были отобраны образцы, отличается большим разнообразием почвенного покрова. Это дерново-подзолистые (супесчаные, легко- и среднесуглинистые, тяжелосуглинистые), серые лесные (светло-, темно-серые) почвы, черноземы (обыкновенные, южные, оподзоленные, выщелоченные, карбонатные и т.д.) и каштановые (разной степени засоления) почвы.

Отбор почвенного материала производили на антропогенно малонарушенных участках площадью 8 м² на глубину пахотного горизонта (0-20 см). Участки выбирали на полях без механического нарушения почвенного покрова, где удобрения (органические, минеральные, торф) и средства защиты не вносились в течение трех последних лет. Масса исходного материала 300-500 кг. Почвенный материал высушивали на воздухе при температуре не выше +30°C, измельчали на размольной машине с просеиванием через сито с диаметром ячеек 2 мм. Оставшиеся на сите органические остатки (камни и др. включения) отбрасывали. Усреднение почвенного материала проводили по методике «ручного усреднения». Полного усреднения достигали после 20 циклов смешивания.

Во всех СО определены метрологические характеристики: однородность, стабильность, сертифицированное (аттестованное) значение, стандартная неопределенность сертифицированного (аттестованного) значения. Оценку характеристик однородности почвенного материала рассчитывали для каждого аттестуемого показателя. Статистическая обработка результатов экспериментальной оценки однородности стандартных образцов состава почвы, показала, что материал каждого аттестуемого образца однороден по всем исследуемым компонентам. Аттестованные значения СО установлены по результатам межлабораторного эксперимента при участии не менее 30 аналитических лабораторий. СО хранят в условиях, исключающих вибрацию, воздействие химических веществ и влаги. На каждый СО имеется паспорт стандартного образца утвержденного типа с аттестованными характеристиками.

200 г каждого образца почвы помещали в специальные контейнеры для определения концентрации радионуклидов методом гамма-спектрометрии. Измерения активности радионуклидов в образцах почвы проводили германиевыми детекторами коаксиального типа

фирмы Canberra Industries Inc., США в течение 12 ч на гамма-спектрометре с диапазоном энергий (25-3000) кэВ. Калибровка спектрометра выполнялась с использованием набора образцовых спектрометрических гамма-источников ОСГИ-3 и объемных стандартных образцов СО МАГАТЭ. Спектральный анализ и вычитание фона проводили с помощью программного обеспечения Genie 2000, версии V3.4.1 от 01.11.2016 (Canberra Industries Inc., США).

Характерные гамма-пики, выбранные для определения различных радионуклидов, были следующими: 1460 кэВ для ⁴⁰K, (239, 583, 911, 2614) кэВ для ²³²Th, 63 кэВ для ²³⁸U, (352, 609) кэВ для ²²⁶Ra, 46,5 кэВ для ²¹⁰Pb.

Результаты и их обсуждение. В таблице 1 представлены результаты содержания природных радионуклидов (⁴⁰K, ²³²Th, ²³⁸U, ²²⁶Ra и ²¹⁰Pb) в разных типах СО почв. Наибольшие количества по концентрации в почвах – 540-590 Бк/кг приходятся на ⁴⁰K, что составляет 83-84% от общего содержания рассматриваемых радионуклидов. Активность других анализируемых природных радионуклидов гораздо меньше и составляла (%): ²³²Th – 4,4-5,4, ²³⁸U – 3,5-4,0, ²²⁶Ra – 3,4-4,1 и ²¹⁰Pb – 3,8-4,1.

Следует отметить, что по средним показателям содержания всех природных радионуклидов в большинстве случаев достоверных различий между разными типами почв не обнаружено. Отдельные достоверные различия по средним значениям показывают небольшие отклонения.

Анализ цифрового материала с использованием коэффициента вариации показал, что наиболее однородными массивами характеризуются черноземы и серые лесные почвы. Коэффициенты вариации содержания радионуклидов в этих почвах составляли 12,3-16,7 и 16,7-24,9% соответственно. Самые высокие коэффициенты вариации, а, следовательно, и наибольшая вариабельность, свойственны каштановым и дерново-подзолистым почвам, соответственно, 26,2-35,4 и 32,4-48,7%.

1. Содержание природных радионуклидов в разных типах почв, Бк/кг

Показатель	Радионуклиды					Σ всех радионуклидов
	⁴⁰ K	²³² Th	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	
Все обследованные почвы (59 образцов)						
Среднее	579±19	34,7±1,3	25,5±1,1	26,0±0,9	26,9±0,8	692±22
V*: %	24,8	29,7	32,0	26,4	22,7	24,1
% от суммы	83,6	5,0	3,7	3,8	3,9	100
Дерново-подзолистые почвы (18 образцов)						
Среднее	576±51	30,1±3,4	27,4±3,1	23,0±2,2	26,1±2,0	682±60
V: %	37,9	48,1	48,7	40,3	32,4	37,1
% от суммы	84,4	4,4	4,0	3,4	3,8	100
Серые лесные почвы (7 образцов)						
Среднее	553±39	33,1±3,1	24,8±1,6	24,3±1,5	27,0±1,9	662±47
V: %	18,9	24,9	16,6	16,7	18,2	18,6
% от суммы	83,5	5,0	3,7	3,7	4,1	100,0
Черноземы (7 образцов)						
Среднее	590±14	38,3±1,0	25,1±0,8	28,5±0,9	28,0±0,8	710±17
V, %	12,7	14,1	16,3	16,7	15,1	12,3
% от суммы	83,1	5,4	3,5	4,0	4,0	100
Каштановые почвы (5 образцов)						
Среднее	540±86	35,4±5,5	22,8±2,7	26,4±3,1	24,8±3,6	650±100
V: %	35,4	35,1	26,2	26,3	32,6	34,3
% от суммы	83,2	5,4	3,5	4,1	3,8	100

*V – коэффициент вариации (здесь и далее).

Среди стандартных образцов удалось обнаружить два типа почв – дерново-подзолистую и чернозем, характеризующих практически весь спектр по гранулометрическому составу. В таблице 2 приведены данные распределения природных радионуклидов в почвах по этому показателю.

Данные показывают, что гранулометрический состав оказал более существенное влияние на содержание природных радионуклидов по сравнению с типом почвы. Были установлены закономерности и тенденции к увеличению активности радиокалия и представителей тяжёлых радиоизотопов по мере изменения гранулометрического состава от легких таксонов к тяжёлым.

Так, содержание ^{40}K в исследованных образцах дерново-подзолистых почв колебалось от 205 до 1070 Бк/кг, составляя в среднем достоверные различия в супесчаных почвах 358 Бк/кг, в легко- и среднесуглинистых – 603 Бк/кг, в тяжелосуглинистых почвах – 765 Бк/кг. В то время, как содержание ^{40}K в черноземных почвах разного гранулометрического состава различалось незначительно, демонстрируя стойкую, аналогичную дерново-подзолистым почвам, тенденцию. Особенно наглядно это представлено на рисунке 1. Отметим также, что несмотря на достоверные различия, разброс значе-

ний (коэффициенты вариации) в дерново-подзолистых почвах был выше (см. табл. 2).

В отношении содержания тяжёлых естественных радионуклидов: ^{232}Th , ^{238}U , ^{226}Ra и ^{210}Pb наблюдались такие же закономерности и тенденции (табл. 2, рис. 2) – достоверные различия в зависимости от гранулометрического состава для дерново-подзолистых почв и несущественные тенденции для чернозёмов. Подчеркнем, что содержание ^{232}Th во всех типах почв было выше, чем ^{238}U , что подтверждают известные данные [6].

2. Содержание природных радионуклидов в почвах разного гранулометрического состава, Бк/кг

Показатель	Радионуклиды					Σ всех радионуклидов
	⁴⁰ K	²³² Th	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	
Дерново-подзолистые почвы (18 образцов):						
супесчаные (6 образцов)						
Среднее	358±74	14,4±2,0	14,2±1,9	12,9±2,2	17,5±0,8	417±80
V, %	50,5	34,3	33,4	42,0	10,7	46,7
% от суммы	85,9	3,5	3,4	3,1	4,2	100
легко- и среднесуглинистые (6 образцов)						
Среднее	603±31	32,7±2,9	29,3±3,1	25,3±2,6	30,0±3,6	721±34
V, %	12,6	21,4	26,1	24,9	29,3	11,5
% от суммы	83,7	4,5	4,1	3,5	4,2	100
тяжелосуглинистые (6 образцов)						
Среднее	765±61	43,3±4,6	38,7±5,2	30,8±1,8	30,7±2,2	909±66
V, %	19,5	25,7	32,7	14,4	17,6	17,7
% от суммы	84,2	4,8	4,3	3,3	3,4	100
Черноземы (23 образца):						
легкосуглинистые (6 образцов)						
Среднее	545±51	37,1±3,2	25,0±2,1	28,1±2,5	26,6±1,9	662±59
V, %	22,8	21,4	20,9	22,1	17,8	21,9
% от суммы	82,4	5,6	3,8	4,2	4,0	100
среднесуглинистые (10 образцов)						
Среднее	558±18	36,0±1,7	24,8±1,3	27,7±1,3	27,7±1,3	674±23
V, %	10,1	15,1	16,9	14,4	15,3	10,6
% от суммы	82,8	5,3	3,7	4,1	4,1	100
тяжелосуглинистые (7 образцов)						
Среднее	589±12	37,9±2,2	23,8±1,9	29,0±2,0	26,9±1,5	706±16
V, %	5,2	15,5	21,5	18,7	15,1	5,9
% от суммы	83,4	5,4	3,4	4,1	3,8	100

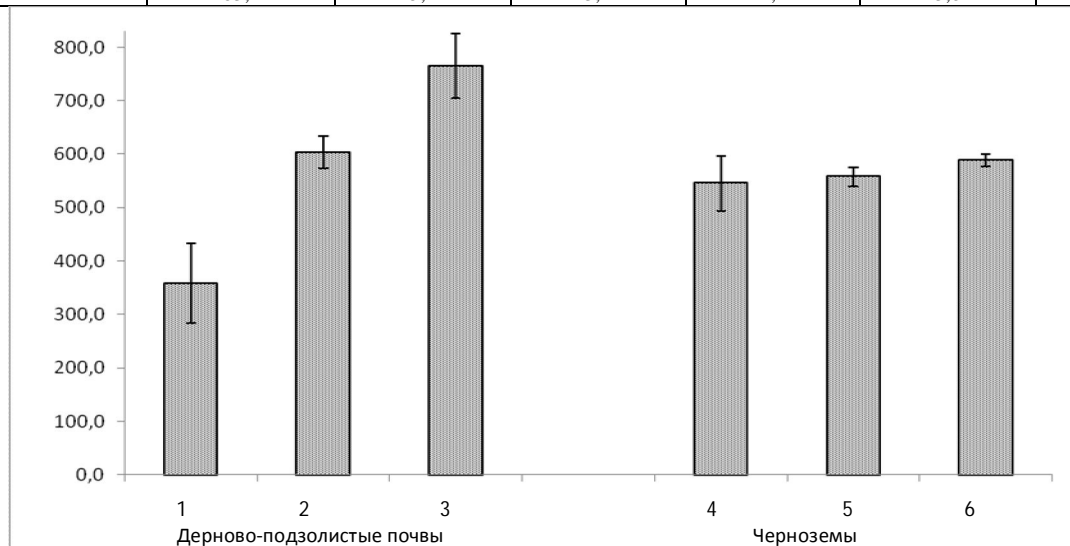


Рис. 1. Содержание ^{40}K в почвах разного гранулометрического состава, Бк/кг: дерново-подзолистые почвы: 1) супесчаные, 2) легко- и среднесуглинистые, 3) тяжелосуглинистые; черноземы: 4) легкосуглинистые, 5) среднесуглинистые, 6) тяжелосуглинистые

В таблице 3 представлены коэффициенты корреляции для пар некоторых природных радионуклидов. В большинстве случаев обнаружена тесная связь между природными радионуклидами, хотя следует указать на встречающиеся особенности. Некоторые пары изотопов, а именно – $^{238}\text{U}/^{226}\text{Ra}$ и $^{226}\text{Ra}/^{210}\text{Pb}$ связаны генетически в радиоактивном семействе ^{238}U , и можно было ожидать очень высоких значений коэффициентов кор-

реляции. Однако, это не всегда наблюдалось, особенно для $^{226}\text{Ra}/^{210}\text{Pb}$ ($r = 0,50-0,86$), что можно объяснить разной интенсивностью вовлечения этих радионуклидов в биогеохимические циклы.

Следует отметить самую слабую связь между радионуклидами тяжелого гранулометрического состава как для дерново-подзолистой ($r = 0,27-0,58$), так и для чернозёма ($r = 0,52-0,86$) по сравнению с более лёгкими

почвами, где этот показатель в большинстве случаев был больше. Однако, такая закономерность не просле-

живается для пары $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$, коэффициент корреляции достигал 0,95.

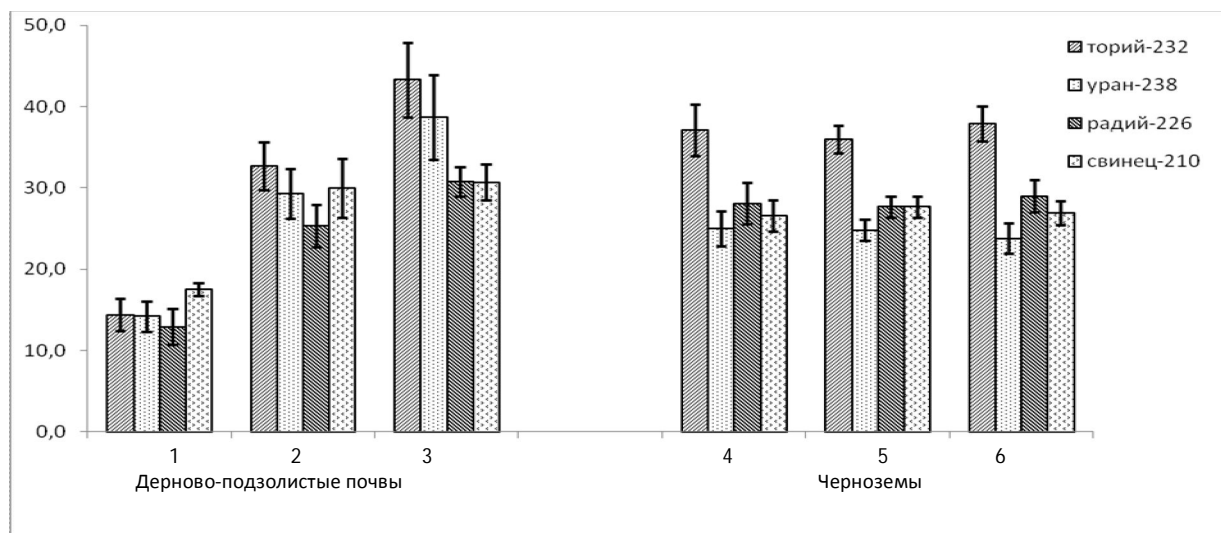


Рис. 2. Содержание ^{232}Th , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb в почвах разного гранулометрического состава, Бк/кг: дерново-подзолистые почвы: 1) супесчаные, 2) легко- и среднесуглинистые, 3) тяжелосуглинистые; черноземы: 4) легкосуглинистые, 5) среднесуглинистые, 6) тяжелосуглинистые

3. Коэффициенты корреляции (r) взаимосвязи изучаемых радионуклидов в дерново-подзолистых и чернозёмах различного гранулометрического состава

Почвы	Радионуклиды				
	$^{40}\text{K}/^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}/^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{238}\text{U}/^{226}\text{Ra}$	$^{226}\text{Ra}/^{210}\text{Pb}$
Дерново-подзолистые: супесчаные (6 образцов)	0,85	0,89	0,96	0,95	0,69
легко- и среднесуглинистые (6 образцов)	0,06	-0,06	0,96	0,75	0,61
тяжелосуглинистые (6 образцов)	0,27	0,23	0,58	0,47	0,50
Черноземы: легкосуглинистые (6 образцов)	0,92	0,65	0,85	0,86	0,86
среднесуглинистые (10 образцов)	0,86	0,72	0,66	0,65	0,52
тяжелосуглинистые (7 образцов)	0,18	0,29	0,95	0,77	0,67

Отметим также менее тесную связь ^{40}K с тяжёлыми представителями естественных радионуклидов в целом (см. табл. 3) и практическое отсутствие и трудно объяснимые взаимосвязи $^{40}\text{K}/^{232}\text{Th}$ и $^{40}\text{K}/^{238}\text{U}$ для дерново-подзолистых легко- и среднесуглинисты почв.

Заключение. При анализе содержания некоторых природных радионуклидов (^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U , ^{226}Ra и ^{210}Pb) в стандартных образцах почв были определены интервалы пределов колебаний значений. Показано, что радиокалий содержится в почвах в гораздо больших количествах (в среднем 579 ± 19 Бк/кг) по сравнению с тяжёлыми радионуклидами – ^{232}Th ($34,7 \pm 1,3$), ^{238}U ($25,5 \pm 1,1$), ^{226}Ra ($26,0 \pm 0,9$) и ^{210}Pb ($26,9 \pm 0,8$ Бк/кг). В большинстве случаев достоверных различий для отдельных радионуклидов по типам почв не было, хотя обнаружена существенная разница содержания ^{40}K в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава: по мере продвижения от лёгких почв к тяжёлым активности радиокалия возрастали. Обнаружена тесная корреляционная связь для большинства изучаемых радионуклидов. Отмечаются низкие значения корреляции между радионуклидами почв тяжелого гранулометрического состава, например дерново-

подзолистой ($r = 0,27-0,58$) и чернозёма ($r = 0,52-0,86$), по сравнению с более лёгкими почвами. Низкие корреляционные значения наблюдались между ^{40}K и тяжёлыми представителями естественных радионуклидов.

Литература

1. Алексахин Р.М., Васильев А.В., Дикарев В.Г. и др. Сельскохозяйственная радиоэкология. – М.: Экология, 1992. – 400 с.
2. Гроздинский Д.М. Естественная радиоактивность почв и растений. – Киев: Наукова думка, 1965.
3. Леонтьев А. В., Фомичева О. А., Проскурнина М. В., Зефиоров Н. С. Современное состояние химии радона // *Успехи химии*. – РАН, 1982. – Т. 51. – № 1. – С. 23-39.
4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
5. Орлов П.М., Сычев В.Г., Аканова Н.И. // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2020. – Т. 63. – № 4 (376). – С. 62-67.
6. Ториин С.П., Смолина Г.А. Биогеохимия радионуклидов. – М.: Инфра-М, 2016. – 320 с.
7. Фокин А.Д., Лурье А.А., Ториин С.П. Сельскохозяйственная радиология. – М.: Проспект, 2017. – 352 с.
8. Ступакова Г.А., Е. Э. 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(122). – С. 84-90.

VARIABILITY OF THE CONTENT OF NATURAL RADIONUCLIDES IN STANDARD SOIL SAMPLES

S.P. Torshin¹, S.N. Lukashenko³, G.A. Stupakova², G.A. Smolina¹, M.A. Edomsкая³

¹ – Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev (RGAU-Moscow Agricultural Academy), 127550 Moscow, 51 Timiryazevskaya str.

² – All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov (VNIIA);

³ – Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute of Radiology and Agroecology» (FGBNU VNIIRAE) 249032, Kaluga region, Obninsk, Kievskoe highway, 109 km;

The paper presents the results of the analysis of the scientific collection of standard samples of different types of soils for the content of natural radionuclides. Samples were taken by the same method from 1978 to 2018, have the status of State. The content of the most ecologically significant natural radionuclides was determined in all soil samples: ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U , ^{226}Ra and ^{210}Pb . They are shown in the presence of a connection of the studied radioactive isotopes with the type and granulometric composition of soils.
Keywords: natural radionuclides, standard samples, soils, variability, granulometric composition.

УДК 631.631.9:631.95

DOI: 10.25680/S19948603.2022.124.17

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОГИПСА В СИСТЕМЕ ПИТАНИЯ СОИ

Н.И. Аканова¹, д.б.н., Л.Н. Холомьева², М.Н. Можаренко², к.б.н., К.Е. Денисов³, д.с.-х.н.

¹ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

г. Москва, E-mail: N.Akanova@mail.ru ORCID: 0000-0003-3153-6740

²АО «АПАТИТ», г. Москва E-mail: ldubrovskikh@phosagro.ru, E-mail: MMozharensko@phosagro.ru

³ФГБУО ВО «Саратовский ГАУ имени Н.И. Вавилова», г. Саратов, E-mail: denisovke@sgau.ru

Показано, что внесение фосфогипса в сочетании с минеральными удобрениями способствует снижению гидролитической кислотности, повышению содержания водорастворимого кальция в посевах сои до 17,25 ммоль/100 г почвы, доступного фосфора и нитратного азота. Включение в систему питания сои фосфогипса обеспечивает получение достоверной прибавки зерна сои, в зависимости от дозы, на 0,4-0,68 т/га. Наибольшая урожайность получена в варианте с внесением 6 т/га фосфогипса, при этом улучшается качество зерна: содержание белка – 49,10%, жира – 14,2 %

Ключевые слова: фосфогипс, плодородие почв, урожайность, чернозем, соя, орошение.

Для цитирования: Аканова Н.И., Холомьева Л.Н., Можаренко М.Н., Денисов К.Е. Эффективность применения фосфогипса в системе питания сои// Плодородие. – 2022. – №1. – С. 65-68. DOI: 10.25680/S19948603.2022.124.17.

К вторичным сырьевым ресурсам относятся отходы, остающиеся после использования сырья и вспомогательных производственных материалов для получения основной продукции данного производства, а также побочная и попутная продукция, получающаяся в процессе производства параллельно с основной. Основная сфера применения вторичного ресурса, образующегося при производстве фосфорной кислоты – фосфогипс (ФГ), по составу и качеству, отвечающий современным требованиям – сельскохозяйственное производство [1-3]. Эта проблема имеет межотраслевой характер. Отсюда вытекает необходимость изучения и решения вопросов применения ФГ. Его рациональное использование предусматривает сохранение экологического потенциала, повышение эффективности земледелия [4, 5]. Применение ФГ позволит обеспечить существенный рост продуктивности агроценоза, производительности труда за счет увеличения выхода конечного продукта и создать условия для повышения ресурсоотдачи и получения дополнительной прибыли. Использование ФГ в качестве мелиоранта и комплексного кальций-фосфор-серосодержащего удобрения значительно увеличит резервы, и снизит стоимость продовольственных ресурсов [6, 7]. Целесообразны совершенствование и разработка новых приемов применения ФГ, научно обоснованных доз внесения. Рациональный подход к его использованию позволит совершенствовать действующие технологии безотходного производства и будет способствовать широкомасштабному экологически безопасному применению высокоэффективного мелиоранта и комплексного удобрения.

Поддержание почвенного плодородия – актуальная задача для почв Саратовской области. Почвы Саратовской области смытые, подвержены водной эрозии, деградированы, переуплотнены, декарбонизированы

[8]. Вследствие смывости содержание гумуса в пахотном слое не превышает 3,5%. Выявлены ухудшение водопроницаемости почвы и снижение запаса влаги в нижних горизонтах. Ухудшение структуры почвы способствует увеличению поверхностного стока в весенний период и приводит к усилению водной эрозии. В результате ухудшается воздухообмен почвы с атмосферой, снижается биологическая активность почвы [9, 10]. Эти процессы препятствуют переходу труднодоступных соединений фосфора в доступную для растений форму.

Предполагается, что внесение в почву фосфогипса (кальций-серо-фосфорсодержащего удобрения) приведет к насыщению почвенного поглощающего комплекса кальцием, пополнению фосфорными соединениями и снизит дефицит серы, что обеспечит улучшение структуры и улучшит пищевой режим почвы [11].

Цель наших исследований – дать агроэкологическую оценку и установить биологическую эффективность применения ФГ в качестве системы питания сои в условиях орошения для оптимизации технологии ее возделывания. В задачи исследований входило изучение влияния различных доз внесения ФГ на урожайность сои и агрохимические параметры почвы.

Методика. Полевые опыты с посевами сои при орошении проводили на темно-каштановой тяжелосуглинистой крупнопылевато-иловатой почве. Содержание гумуса – 2,8% в 2021 г. в стационарном севообороте Саратовского ГАУ (Саратовская область, Энгельский район). Мощность гумусового горизонта (A+ B₁) 41 см, вспахивание на глубине 46-75 см, pH_{водн.} 6,73. Сумма поглощенных оснований 22,0–32,89 мг-экв/100 г почвы, на долю катионов приходится 77,4–85,8% от суммы оснований, в их составе преобладает обменный кальций, доля магния составляет 12,1-20,0%, содержание натрия 1,0–1,7%. По сухому остатку почвы являются