

Sheudzhen A.Kh., Academician of Russian Academy of Science, Dr. of biology, head of chair

Bondareva T.N., Ph.D. in agriculture, associate professor

Khurum Kh.D., Dr. of agricultural sciences, professor

Perepelin M.A., post-graduate (e-mail: maxim.perepelin@yandex.ru)

FSBEI HE «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin», Kalinina 13, Krasnodar, 350044, Russian Federation

The article presents results of studying the effect of the urease inhibitor NBPT (N-(n-butyl) thiophosphorotriamide) on the nitrogen losses from carbamide and the nitrogen regime of the meadow chernozem soil under rice crops. It has been established that the introduction of the NBPT urease inhibitor (UTEC) into urea reduces the loss of ammonium nitrogen with seepage and waste water by 27.1, 37.0, 16.2% and 25.0, 31.8, 30.3%, respectively, when applying fertilizer at the rate of N_{55} , N_{64} , N_{138} . The total loss of ammonium nitrogen is reduced by 22.8–34.5%. The urease inhibitor NBPT slows down the process of transformation of amide nitrogen into its ammonium form, which leads to a decrease in UTEC urea nitrogen losses. This, in turn, limits the flow of nitrates into waste and seepage waters, which prevents environmental pollution and positively affects the nitrogen status of the soil.

Studies of the nitrogen regime of the soil and the productivity of rice agrocenosis were carried out on the rice irrigation system of "ANTC Rice" LLC (Republic of Adygea, Takhtamukaysky district). Urea and UTEC urea were applied at the rate of N_{138} in one, two and three doses. The management technology was taken as control – the introduction of common urea in three steps. It was experimentally confirmed that the NBPT inhibitor sprayed on urea granules (UTEC) contributed to the fixation of fertilizer nitrogen in the soil, which was manifested in an increase in the content of ammonium nitrogen in the soil. When applying UTEC urea before rice sowing and during the seedling phase, its content in the soil in the seedling and early tillering phases was lower than with a similar scheme for using urea by 6.1 and 4.0%, and in subsequent vegetation phases it was higher by 4.5 and 5.3%. When applying nitrogen fertilizer in three stages, the content of ammonium nitrogen in the soil throughout the growing season with the use of UTEC was higher by 4.3–4.9% and 13.5–16.5%, respectively, in the germination and tillering phases. After the heading phase, there were no significant differences in the nitrogen nutrition of rice plants.

Due to the increase in the supply of rice plants with nitrogen when using UTEC urea, the grain yield, depending on the scheme for applying nitrogen fertilizer, increased by 3.7–6.5% compared to common urea.

Key words: nitrogen, ammonification inhibitor, urea, UTEC urea, rice soils, rice, yield.

УДК 631.42:631.438

DOI: 10.25680/S19948603.2023.130.03

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ПЛУТОНИЯ И ЦЕЗИЯ-137 В ПОЧВЕ И РАЗНОТРАВЬЕ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

М.А. Эдомская¹, С.Н. Лукашенко¹, д.б.н., Г.А. Ступакова², к.б.н., А.А. Шупик¹, С.Г. Шаповалов¹

¹*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ),
Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, 249032, Российская Федерация*

²*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт имени Д.Н. Прянишникова» (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»)
ул. Прянишникова, д. 31А, Москва, 127434, Российская Федерация*

Статья посвящена оценке уровней содержания плутония и цезия в почве и разнотравье Калужской области. Анализ концентраций ^{137}Cs проводили гамма-спектрометрическим методом, $^{239+240}\text{Pu}$ – методом альфа-спектрометрии с предварительным радиохимическим выделением при полном разложении образцов. Установлено, что для Калужской области наблюдается большой диапазон значений концентраций для цезия – от 2,9 Бк/кг на границе с Московской областью до 2400 Бк/кг в южной части Калужской области. Значительно меньшее расхождение в содержании плутония – от 0,1 до 0,47 Бк/кг. Среднее содержание рассматриваемых радионуклидов в 20 см слое составляет ~95 %, а в поверхностном слое (5 см) ~ 35 %. Коэффициенты накопления плутония разнотравьем Калужской области равны $2,1 \cdot 10^{-2}$ – $4,4 \cdot 10^{-2}$ на все растение.

Ключевые слова: плутоний, цезий, глобальные выпадения, чернобыльские выпадения, концентрация в почвах, концентрация в разнотравье, коэффициент накопления плутония.

Для цитирования: Эдомская М.А., Лукашенко С.Н., Ступакова Г.А., Шупик А.А., Шаповалов С.Г. Оценка содержания плутония и цезия-137 в почве и разнотравье Калужской области// Плодородие. – 2023. – №1. – С. 14-19.
DOI: 10.25680/S19948603.2023.130.03.

Начиная с XX в. искусственные радионуклиды стали постоянными компонентами биосферы. Источниками антропогенной радиоактивности являются атмосферные, наземные и подземные ядерные взрывы, аварии на атомных предприятиях и электростанциях, выбросы радиоактивности в процессе работы этих предприятий и др. Основные источники, изменившие уровень радиационного фона Земли – глобальные выпадения долго-

живущих продуктов вследствие ядерных испытаний.

Выпадение радиоактивных продуктов ядерного взрыва начинается вскоре после взрыва. В непосредственной близости от эпицентра выпадают довольно крупные частицы. Часть продуктов ядерного взрыва находится в мелких частицах (5 мк и менее), которые оказываются в верхних слоях тропосферы, где воздушные массы переносят их на многие тысячи километров

от места взрыва [1]. При этом наибольшая интенсивность глобальных выпадений приходится на широту 50-60° [2].

Одним из основных источников поступления искусственных радионуклидов в окружающую среду являются атмосферные выпадения после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. В результате аварии 3,2 % территории бывшего СССР были загрязнены ^{137}Cs с плотностью более 37 кБк/м². Большинство загрязненных вследствие аварий территорий являются территориями сельскохозяйственного назначения. Поэтому оценка и прогнозирование содержания радионуклидов на таких территориях являются важной экологической задачей.

Радиационную обстановку в Калужской области определяет вторичный ветровой перенос глобальных радиоактивных выпадений, обусловленных проведенными ранее ядерными взрывами, а также радиоактивных выпадений вследствие чернобыльской аварии. Дополнительно на локальном уровне прослеживается влияние радиационно опасных объектов (РОО) [3].

Чернобыльские радиоактивные осадки выпали на территории 9 административных районов Калужской области (Думиничский, Жиздринский, Куйбышевский, Кировский, Козельский, Людиновский, Мещовский, Ульяновский, Хвостовичский). Общая площадь загрязнения почвы ^{137}Cs составила более 16 % всей территории области. Наиболее сильному радиационному воздействию подверглись южные районы [4]. При этом радиоактивные выпадения носили «пятнистый» характер [5].

За 36 лет уровни загрязнения ^{137}Cs территорий Калужской области значительно уменьшились, в основном за счет радиоактивного распада и миграции в глубь почвы. Количество населенных пунктов Калужской области, расположенных на загрязненных территориях, на 01.01.2022 г. было следующим [3]:

с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs менее 1 Ки/км² – 382;

с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs от 1 до 5 Ки/км² – 176;

с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs от 5 до 15 Ки/км² – 4.

Механизм закрепления радиоактивных изотопов в почве, их сорбция имеют большое значение, так как сорбция определяет миграционные качества радионуклидов, интенсивность поглощения их почвами, а, следовательно, и способность проникать в корни растений. Сорбция радионуклидов зависит от многих факторов, и одним из основных является тип почвы. Тяжелыми по гранулометрическому составу почвами ^{137}Cs закрепляется сильнее, чем легкими. Наиболее прочно закрепляются радионуклиды илистой фракцией почвы. Почвы Калужской области преимущественно дерново-подзолистые различного гранулометрического состава. В центральных и восточных районах они сменяются серыми лесными почвами. Встречаются на территории региона и другие типы почв: подзолистые, болотные, пойменные.

Поступление ^{137}Cs в растения зависит от типа почвы. По степени уменьшения накопления цезия растениями почвы можно расположить в такой последовательности: дерново-подзолистые супесчаные, дерново-подзолистые суглинистые, серые лесные. В зависимости от свойств почвы содержание ^{137}Cs в растениях может изменяться в среднем в 10-15 раз [6,7].

Следует отметить, что степень опасности чернобыльских радиоактивных выпадений определяется в первую очередь ^{137}Cs , в меньшей степени ^{90}Sr и в еще меньшей степени трансурановыми элементами, соотношение $^{137}\text{Cs}/^{239+240}\text{Pu}$ составляет ($n \cdot 10^2 - n \cdot 10^3$) [8]. Поэтому в настоящее время радиационную обстановку на загрязненных сельскохозяйственных угодьях России определяет ^{137}Cs [9].

Однако, во время аварии было выброшено в окружающую среду около 20 ТБк ^{238}Pu , 15 ТБк ^{239}Pu , 23 ТБк ^{240}Pu , 3000 ТБк ^{241}Pu и 0,04 ТБк ^{242}Pu , что делает актуальным радиоэкологическую оценку состояния сельскохозяйственных территорий по содержанию изотопов плутония. Радиотоксичность изотопов плутония существенно выше изотопов цезия и стронция. Так согласно [10], ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ относятся к группе А (изотопы с особо высокой радиотоксичностью), в то время как ^{90}Sr относится к группе Б (изотопы с высокой радиотоксичностью), а ^{137}Cs – к группе В (изотопы со средней радиотоксичностью). Более того, особое внимание к трансурановым элементам обуславливается большим периодом полураспада (тысячи и десятки тысяч лет).

Цель исследования – оценить уровень концентрации цезия и изотопов плутония в разных типах почв и разнотравье Калужской области.

Методика. *Отбор и первичная подготовка образцов.* Отбор образцов проводили в 2021 г. вдоль Киевского шоссе (трасса М3) от границы Московской области до г. Калуга и далее вдоль автодороги 29К до границы с Брянской областью. Отдельно проведен отбор по трассе М3 в районе пятна чернобыльских выпадений [11]. Таким образом, территория отбора проб включает в себя территории глобальных выпадений (северные районы Калужской области) и территории чернобыльских выпадений (преимущественно южные районы). Координаты точек отбора представлены в таблице 1.

Отбор почвенного материала проводили на глубину 5 см. В четырех точках отбора проведены послойный отбор почвенных образцов на глубину до 25 см с шагом в 5 см, а также сопряженный отбор проб растительности в виде разнотравья. Отобранные образцы окружающей среды высушивали в сушильном шкафу при температуре 75°C. Высушенные образцы почвы измельчали в ступке и просеивали через сито диаметром 2 мм. Оставшиеся на сите органические остатки, камни и другие включения отбрасывали.

Определение изотопов плутония проводили по методике, описанной в [12].

Сухие образцы почвы и растений (объединенный образец надземной части и корневой системы) помещали в керамические тигли, вносили ^{242}Pu в качестве трассера и проводили отжиг в муфельной печи при температуре 500°C в течение 7-8 ч. Озоленную пробу количественно переносили в тefлоновый стакан и растворяли смесью концентрированных HNO_3 и HCl кислот до полного растворения с получением 7,5 М HNO_3 раствора.

В полученный после разложения раствор вносили 0,2-0,3 г NaNO_2 для стабилизации плутония в состоянии Pu^{4+} . Радиохимическое выделение плутония проводили методом ионнообменной хроматографии на анионите АВ-17 х 8. Элюирование изотопов плутония осуществляли 5%-ным раствором гидроксилamina солянокислого. Из полученного элюента методом соосаждения с фторидом лантана и последующей фильтрации на мембране из полиэфирсульфона с максимальным раз-

мером пор 0,1 мкм получали спектрометрические источники плутония.

Измерение удельной активности альфа-излучающих изотопов плутония в подготовленном источнике проводили альфа-спектрометрическим методом в альфа-спектрометре Alpha Duo alpha, ORTEC, в течение 24 ч. Расчет активности изотопов плутония (^{239}Pu и ^{240}Pu в сумме) выполнялся из соотношения регистрируемых импульсов, исходя из известной активности предварительно введенной в пробу изотопной метки ^{242}Pu .

Коэффициенты накопления изотопов $^{239+240}\text{Pu}$, необходимых для количественного описания параметров переноса радионуклидов из почвы в растения, рассчитывали как отношение содержания элементов в сухой биомассе растений к содержанию их в сухой почве.

Гамма-спектрометрическое измерение образцов. 200 г каждого образца почвы помещали в специальные контейнеры для определения концентрации ряда гамма-излучающих радионуклидов методом гамма-

спектрометрии. Измерения активности радионуклидов в образцах почвы проводили германиевыми детекторами коаксиального типа фирмы Canberra Industries Inc. (США) в течение 7 ч на гамма-спектрометре с диапазоном энергий (25-3000 кэВ). Калибровку спектрометра выполняли 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 ^{137}Cs , фиксировали при 662 кэВ.

Результаты и их обсуждение. Результаты анализа по определению содержания ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ в образцах почвы и разнотравья территории Калужской области представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.

1. Концентрации ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ в почвах на территории Калужской области, Бк/кг

№ пп	Код образца	Координаты	Глубина отбора, см	^{137}Cs	$^{239+240}\text{Pu}$
1	КлП-21-1	55°15'46.8"N; 36°41'38.1"E	0-5	5,9±1,8	0,21±0,066
2	КлП-21-3	54°52'39.41"N; 36°22'42.39"E	0-5	2,9±0,7	<0,1
3	КлП-21-4	54°44'42.6"N; 36°17'51.6"E	0-5	14±4,0	<0,1
4	КлП-21-5	54°36'41.8"N; 36°18'26.6"E	0-5	9,0±5,0	0,16±0,05
5	КлП-21-6	54°21'09.1"N; 36°11'54.1"E	0-5	12±6,0	0,47±0,15
6	КлП-21-7	54°23'26.6"N; 35°41'53.1"E	0-5	36±4,7	0,43±0,13
7			5-10	19±3,6	0,29±0,09
8			10-15	6,5±1,9	0,15±0,047
9			15-20	6,1±1,8	<0,1
10			20-25	3,5±1,4	<0,1
11	КлП-21-8	54°19'22.0"N; 35°30'18.4"E	0-5	32±7,0	0,26±0,081
12	КлП-21-9	54°16'52.2"N; 35°28'13.7"E	0-5	110±10	0,21±0,066
13	КлП-21-10	54°16'12.55"N; 35°27'37.93"E	0-5	41±6,6	0,20±0,062
14			5-10	47±6,6	0,23±0,072
15			10-15	27±4,9	0,25±0,078
16			15-20	15±4,5	0,20±0,062
17			20-25	13±2,6	<0,1
18	КлП-21-11	54°15'01.5"N; 35°26'25.9"E	0-5	17±5,0	0,19±0,059
19	КлП-21-12	54°16'05.3"N; 36°08'05.3"E	0-5	19±5,0	0,15±0,047
20	КлП-21-13	54°13'30.8"N; 36°02'25.4"E	0-5	12±5,0	0,14±0,044
21	КлП-21-14	54°12'36.0"N; 35°58'47.5"E	0-5	-	<0,1
22	КлП-21-15	54°11'08.1"N; 35°56'35.3"E	0-5	82±9,0	<0,1
23	КлП-21-16	54°09'52.2"N; 35°54'54.0"E	0-5	7,1±1,9	<0,1
24	КлП-21-17	54°06'47.9"N; 35°51'28.0"E	0-5	70±9,8	0,37±0,12
25			5-10	41±6,6	0,35±0,11
26			10-15	27±5,7	0,38±0,12
27			15-20	13±5,2	<0,1
28			20-25	10±3,0	0,38±0,12
29	КлП-21-18	54°04'58.9"N; 35°49'23.1"E	0-5	59±8,0	<0,1
30	КлП-21-19	53°56'48.3"N; 35°41'02.9"E	0-5	23±6,0	0,17±0,053
31	КлП-21-20	53°48'15.5"N; 35°32'20.3"E	0-5	23±5,0	0,19±0,059
32	КлП-21-21	53°45'28.9"N; 35°26'47.0"E	0-5	88±8,0	0,18±0,056
33	КлП-21-22	53°43'34.9"N; 35°27'32.9"E	0-5	360±18	0,36±0,11
34	КлП-21-23	53°41'06.4"N; 35°24'24.6"E	0-5	20±6,0	<0,1
35	КлП-21-24	53°39'24.3"N; 35°19'44.8"E	0-5	2400±61	0,23±0,072
36	КлП-21-25	53°38'34.6"N; 35°16'09.8"E	0-5	790±24	<0,1
37	КлП-21-26	53°37'09.8"N; 35°11'59.0"E	0-5	210±11	<0,1
38	КлП-21-27	53°34'13.9"N; 35°11'30.7"E	0-5	630±19	0,19±0,059
39	КлП-21-28	54°04'58.9"N; 35°49'23.1"E	0-5	933±26	<0,1
40			5-10	911±26	0,19±0,059
41			10-15	567±17	0,16±0,05
42			15-20	425±17	0,16±0,05
43			20-25	241±12	0,15±0,047
44	КлП-21-29	53°31'24.4"N; 35°10'34.5"E	0-5	500±20	<0,1
45	КлП-21-30	53°29'45.8"N; 35°08'09.5"E	0-5	300±12	0,19±0,059
46	КлП-21-31	53°28'47.6"N; 35°06'51.3"E	0-5	100±7,0	<0,1
47	КлП-21-32	53°25'41.5"N; 34°55'40.8"E	0-5	60±6,0	0,16±0,05
48	КлП-21-33	53°25'03.6"N; 34°52'29.4"E	0-5	21±5,0	<0,1

2. Концентрации ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ в образцах радиотравья на территории Калужской области

№ пп	Образец	Содержание $^{239+240}\text{Pu}$, Бк/кг	Содержание $^{239+240}\text{Pu}$ в 25 см слое почвы, Бк/кг	Кн
1	КлП-21-7	0,0045±0,0020	0,21±0,065	0,021±0,009
2	КлП-21-10	0,0055±0,0025	0,20±0,065	0,027±0,012
3	КлП-21-17	0,0075±0,0034	0,32±0,099	0,023±0,010
4	КлП-21-28	0,0066±0,0030	0,15±0,053	0,044±0,020

Содержание ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ в почвах. Результаты анализа содержания ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ в почвах Калужской области показывают большой диапазон концентраций цезия – от 2,9 Бк/кг на границе с Московской областью до 2400 Бк/кг в южной части Калужской области. Значительно меньшее расхождение наблюдается в содержании плутония – от 0,1 до 0,47 Бк/кг.

Содержание ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ в почвах обусловлено глобальными выпадениями, при 20 см отборе проб составляет $3,9\pm 1,7$ и $0,18\pm 0,08$ Бк/кг соответственно. С

учетом распределения данных радионуклидов по глубине на антропогенно нетронутых территориях и средней плотности почвы оно равно $1,2\pm 0,5$ кБк/м² для ^{137}Cs и $55,0\pm 24,0$ Бк/м² для $^{239+240}\text{Pu}$. При этом изотопные соотношения $^{137}\text{Cs}/^{239+240}\text{Pu}$ для территории СНГ находятся на уровне 25 ± 15 [12].

Для сравнения данных, полученных в ходе настоящего исследования, с литературными данными, учитывая разную глубину отбора образцов почвы необходимо понимание распределения рассматриваемых радионуклидов по глубине почвенного горизонта.

По результатам анализа содержания рассматриваемых радионуклидов в образцах почв, отобранных на разной глубине, посчитаны среднеарифметические значения их содержания в почвенном горизонте. Распределение концентраций Cs и Pu по глубине показано на рисунке 1.

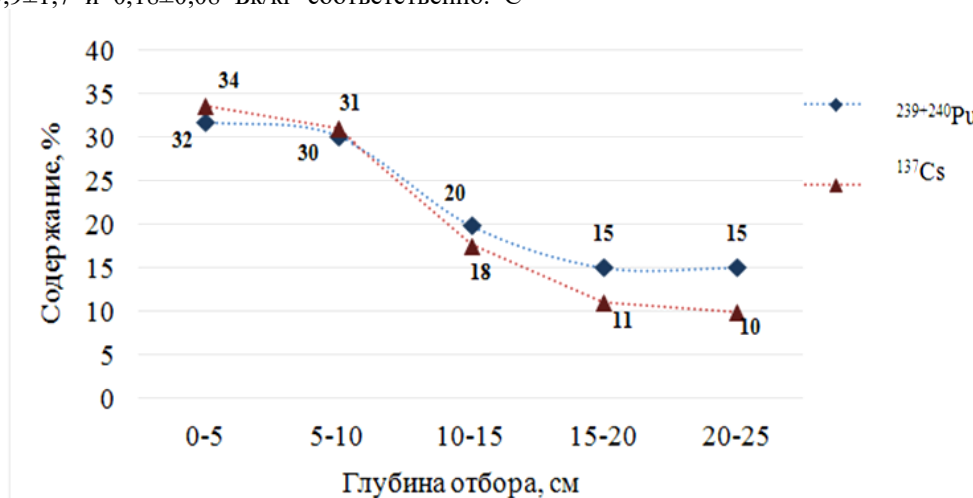


Рис. 1. Среднее содержание Cs и Pu по глубине почвенного горизонта в Калужской области

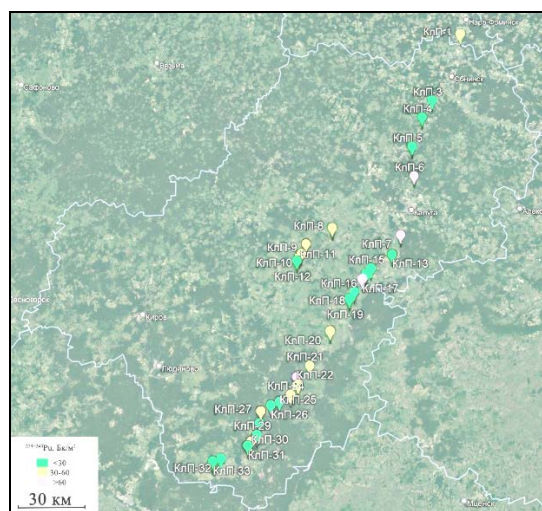
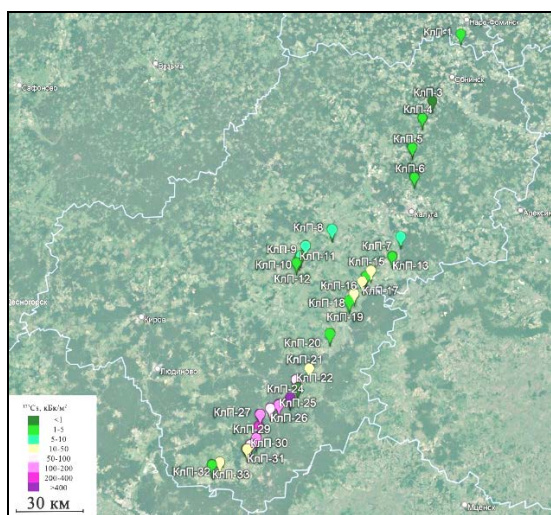


Рис. 2. Выпадения ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ на территории Калужской области, Бк/м²

Результаты анализа показывают снижение рассматриваемых радионуклидов с глубиной. В целом, среднее содержание рассматриваемых радионуклидов в 20 см слое составляет ~95 %, а в поверхностном слое (5 см) ~35 %.

Произведен расчет выпадений ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ в Бк/м² с учетом средней плотности почвы наиболее

представленных в Калужской области дерново-подзолистых почв $1,2$ г/см³ [13] и их среднего содержания в 5 см слое почвы, равного 35 %. Ранжированные результаты выпадений представлены на рисунке 2.

Для территории Калужской области наблюдаются выпадения ^{137}Cs , которые составляют $0,49\text{--}400$ кБк/м². Для северной части области наблюдаются значения

концентраций ^{137}Cs , близкие к глобальным выпадениям. Для южной части области фиксируется существенное превышение содержания ^{137}Cs по отношению к глобальным выпадениям – в среднем в 40 раз.

Выпадение плутония для рассматриваемой территории составляет 24-80 Бк/м². Данные значения близки к уровню глобальных выпадений 55 Бк/м², что не позволяет сделать однозначных выводов о количестве плутония, привнесенного черновыльскими выпадениями. При этом максимальное значение $^{137}\text{Cs}/^{239+240}\text{Pu}$ составляет более 1000.

Таким образом, черновыльские выпадения на территории Калужской области наблюдаются в южных районах и обусловлены в основном ^{137}Cs .

Содержание ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ в растительности. Для оценки полученных Кн плутония для выращенных в ходе вегетационных опытов с-х культур проведено сравнение с аналогичными Кн, приведенными в литературных источниках. Все значимые результаты мировых исследований по переходу радионуклидов из почвы в растения были обобщены группой экспертов МАГАТЭ и освещены в специальных публикациях [14-16]. Коэффициенты накопления, представленные в специальных публикациях МАГАТЭ ниже полученных значений для Калужской области более чем на порядок. Так максимальное значение Кн, по обобщенным данным МАГАТЭ, составляет $3,9 \cdot 10^{-3}$, что на порядок меньше коэффициентов накопления, полученных в ходе настоящей работы ($2,1 \cdot 10^{-2}$ - $4,4 \cdot 10^{-2}$), а минимальное значение, составляющее $5,0 \cdot 10^{-5}$, меньше на три порядка. Следует отметить, что диапазон значений для обобщенных данных значительно шире. Это связано, вероятно, с обобщением большего количества видов растений, произрастающих в разных условиях окружающей среды (тип почв, климатические условия и др.).

Большой объем исследований коэффициентов накопления изотопов плутония в дикорастущей растительности проведен на территории 30 км зоны отчуждения и Полесского государственного радиэкологического заповедника [17-20]. Коэффициенты накопления (Кн) плутония разнотравьем Калужской области, полученные в ходе настоящей работы, входят в диапазон значений Кн для 30 км зоны черновыльских выпадений, который составляет $8,7 \cdot 10^{-4}$ - $7,8 \cdot 10^{-1}$.

Заключение. В ходе исследования установлено, что для Калужской области характерен большой диапазон значений концентраций для цезия – от 2,9 Бк/кг на границе с Московской областью до 2400 Бк/кг в южной части Калужской области. Значительно меньшее расхождение в содержании плутония – от 0,1 до 0,47 Бк/кг.

Среднее содержание рассматриваемых радионуклидов в 20 см слое равно ~95 %, а в поверхностном слое (5 см) ~35 %.

Максимальное значение соотношения $^{137}\text{Cs}/^{239+240}\text{Pu}$ составляет более 1000.

Коэффициенты накопления плутония разнотравьем (рассчитанные на все растение) Калужской области, полученные в ходе настоящей работы, составляют $2,1 \cdot 10^{-2}$ - $4,4 \cdot 10^{-2}$, что сопоставимо со значениями Кн для территории, подверженной черновыльским выпадениям. Средние значения коэффициентов накопления, представленных в специальных публикациях МАГАТЭ,

ниже полученных значений для Калужской области более чем на порядок.

Литература

1. The Effects of Nuclear Weapons. by Samuel Glasstone (Editor). – P. 672.
2. Умаров М.А., Артемьев О.И. Радиоактивные выпадения от атмосферных ядерных испытаний // Вестник НЯЦ РК. Радиоэкология. Охрана окружающей среды. – 2001. – № 3. – С. 20-25.
3. О состоянии природных ресурсов и охране окружающей среды на территории Калужской области в 2021 году: гос. доклад / Правительство Калужской области Мин. природ. ресурсов и экологии Калужской области. – Калуга, 2022. 2.
4. Аишито А.Г., Золочевский Д.В., Овсянникова Л.В., Рожкова С.А. Радиационная обстановка на территории Калужской области 30 лет спустя после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена. – 2016. – Т.9. №2. – С. 40-47.
5. Кручинин А.А., Фадеев А.А., Дичковский Л.И., Золочевский Д.В., Феоктистова Т.А. Радиационно-гигиенический мониторинг на территориях Калужской области, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена. – 2009. – Т.2. №2. – С. 14-19.
6. Самофалова И.А. Химический состав почв и почвообразующих пород. – Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2009. – 132 с.
7. Белоус Н.М., Шаповалов В.Ф., Корень В.Б. Влияние средств химизации на динамику накопления радиоцезия в сельскохозяйственных культурах, его миграцию и плодородие дерново-подзолистой песчаной почвы // Проблемы агрохимии экологии. – 2011. – №2. – С. 5-12.
8. Конопля Е.Ф., Кудряшов В.П., В.П. Гриневич В.П. и др. Трансформационные элементы на территории Белоруссии // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2009. – Т.49. №4. – С. 495-501.
9. Алексахин Р.М. Итоги преодоления последствий Чернобыльской катастрофы в агрофере // Агрохимический вестник. – 2006. – №2. – С. 2-5.
10. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)». Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)».
11. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия-Беларусь) / Под ред. Ю.А. Израэля, И.М. Богдеева. Москва: Фонд «Иносфера». НИИ Природа; Минск: Белкартография. – 2009. – 140 с.
12. Edomskaia M.A., Lukashenko S.N., Stupakova G.A., Kharkin P.V., Gluchshenko V.N., Korovin S.V. Estimation of radionuclides global fallout levels in the soils of CIS and eastern Europe territory // Journal of Environmental Radioactivity. – 2022. – Т.247. – P. 106865. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106865>
13. Биологический круговорот питательных веществ при использовании удобрений и биоресурсов в системах земледелия различной интенсификации: Коллективная монография // под ред. Л.И. Ильина, С.И. Зинченко. – Иваново: ПресСт. 2021. – 312 с.
14. Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments, IAEA -TECDOC-1616, Vienna: IAEA, 2009. – P. 155-178.
15. International Atomic Energy Agency (IAEA) (2010). Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. Technical Reports Series No. 472. IAEA, Vienna.
16. International Atomic Energy Agency (IAEA), 2014. Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer to Wildlife. Technical Reports Series No. 479. IAEA, Vienna. http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Trs479_web.pdf.
17. Sokolik, G. Soil-plant transfer of plutonium and americium in contaminated regions of Belarus after the Chernobyl catastrophe / Sokolik, G., Ovsianikova, S., Ivanova, T., & Leinova, S. // Environment International. – 2004. – № 30(7). – P. 939-947. doi:10.1016/j.envint.2004.03.003.
18. Lux D. Cycling of Pu, Sr, Cs, and other long living radionuclides in forest ecosystems of the 30-km zone around Chernobyl / Lux D., Kammerer L., Rühm W., & Wirth E. // Science of The Total Environment. – 1995. – V 173. – P. 375-384. doi:10.1016/0048-9697(95)04741-7.
19. Шуранкова О.А. Поступление трансформационных элементов ($^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am) Чернобыльского происхождения в луговую растительность / Шуранкова О.А., В.П. Кудряшов // Проблемы здоровья и экологии. – 2006. – №1(7). – С.67-71.
20. Спиров Р.К. Аккумуляция трансформационных элементов надземными и подземными органами сосудистых растений / Спиров Р.К., Никитин А.Н., Чешик И.А., Король Р.А. // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2017. – Т.61. – № 2. – С. 51-57.

M.A. Edemskaya 1, S.N. Lukashenko 1, Doctor of Biological Sciences, G.A. Stupakova 2, Candidate of Biological Sciences, A.A. Shupik 1, S.G. Shapovalov 1

1Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology" (FGBNU VNIIRAE), Kaluga region, Obninsk, Kievskoe highway, 109 km, 249032, Russian Federation

2Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute named after D.N. Pryanishnikov" (FGBNU "Research Institute of Agrochemistry")

31A Pryanishnikova str., Moscow, 127434, Russian Federation

The article is devoted to the assessment of the levels of plutonium and caesium in the soil and various grasses of the Kaluga region. Concentrations of ^{137}Cs were analyzed by gamma-spectrometric method, $^{239+240}\text{Pu}$ – by alpha-spectrometry with preliminary radiochemical isolation with complete decomposition of samples. It was found that for the Kaluga region there is a large range of concentrations for caesium – from 2.9 Bq/kg on the border with the Moscow region to 2400 Bq/kg in the southern part of the Kaluga region. A much smaller distribution is observed in the plutonium content – from 0.1 to 0.47 Bq/kg. The average content of the radionuclides under consideration in the 20 cm layer is ~95%, and in the surface layer (5 cm) ~ 35%. The coefficients of accumulation of plutonium by various grasses of the Kaluga region are equal 2,1·10⁻²- 4,4·10⁻² for the whole plant.

Keywords: plutonium, caesium, global precipitation, Chernobyl precipitation, concentration in soils, concentration in various grasses, plutonium accumulation coefficient.

УДК: 631.5:631.8:633.34

DOI: 10.25680/S19948603.2023.130.04

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИЕМОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАГНИЕВОГО УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ БРУСИТА

Н.А. Аканова¹, А.В. Козлова², Е.Г. Животовская³, С.В. Есипенко⁴, И.И. Серегина⁵

¹ ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», г. Москва

² ООО «РГХО», г. Москва

³ ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»

⁴ ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ имени И.Т. Трубилина»

⁵ ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»

Представлены результаты двух полевых опытов на выщелоченных черноземах Краснодарского края с применением магниевого удобрения, произведенного из природного минерала брусит при возделывании кукурузы. Установлено, что способ применения удобрения АгроМаг гранулированный влияет на его эффективность при формировании урожайности культуры. В засушливых условиях 2020 г. магнеевое удобрение, внесенное осенью под основную обработку почвы, позволило получить прибавку урожайности на уровне 11-17%, в то время как применение в корневую подкормку при междурядной культивации весной было менее эффективным.

Ключевые слова: чернозем выщелоченный, кукуруза, магниевый, магниевые удобрения, брусит, урожайность, способ применения, сроки внесения, качество зерна.

Для цитирования: Аканова Н.А., Козлова А.В., Животовская Е.Г., Есипенко С.В., Серегина И.И. Сравнительная эффективность приемов использования магниевого удобрения на основе брусита// Плодородие. – 2023. – №1. – С. 19-22. DOI: 10.25680/S19948603.2023.130.04.

Роль магния в формировании урожайности связана, в первую очередь, с влиянием на активность многих ферментов, которые играют важную роль в процессе фотосинтеза. Магний принимает непосредственное участие в синтезе АТФ-носителя энергии в растениях, во всех процессах в клетках растений, где происходит передача химической энергии или ее накопление, благодаря чему формируется хорошо развитая корневая система растений [1, 2].

Поэтому теоретически все знают о необходимости внесения магния. Однако на практике в большинстве случаев преобладает листовое внесение, которое не может покрыть всю потребность растения в магнии. Предложение магниесодержащих сложных удобрений на рынке весьма недостаточно. В составе тукосмесей магний содержится в малых количествах. Поэтому именно магний, несколько недооцененный элемент, может стать ограничивающим фактором дальнейшего роста урожайности полевых культур.

Недостаток магния, который возможен в основном на легких низкоплодородных кислых почвах, приводит к торможению роста и развития растений. Однако из-

быток магния может также негативно повлиять на растения, что возможно при преобладании содержания магния над кальцием, когда соотношение между этими элементами больше единицы [3]. Оптимальное соотношение обменного кальция и магния варьирует у разных авторов от 2 до 8, из-за того, что почвы различаются по относительной силе связывания этих элементов на катионообменных участках [4-6].

Важным фактором, оказывающим существенное влияние на эффективность минеральных удобрений, является способ их внесения. От приема внесения и способа заделки удобрений зависят их размещение в пахотном слое и доступность растениям. Выбор же приема внесения зависит от таких факторов, как климатические условия, свойства почвы, а также свойства самих удобрений и биологические особенности культуры (7).

Широко распространено мнение, что недостаток магния можно восполнить с помощью некорневой подкормки. Для зерновых культур рекомендуется проведение трех листовых подкормок за вегетацию дозой около 4-6 кг д.в./га, что способствует, например у пшеницы, повышению урожайности на 0,6 т/га [8].