

УДК 631.445.24:631.84:631.438.2

Н. Н. ЦЫБУЛЬКО¹, Т. П. ШАПШЕЕВА², Ю. В. ШИПИЛОВ², И. И. ЖУКОВА³

**РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАЗНЫХ ФОРМ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ
НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ**

¹Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС,
Минск, Республика Беларусь, e-mail: Tsybulka@komchern.org.by

²Могилевский филиал РНИУП «Институт радиологии», Республика Беларусь

³Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка, Минск,
Республика Беларусь

(Поступила в редакцию 03.10.2013)

Существует ряд данных, свидетельствующих об усилении миграции радионуклидов из почвы в растения под влиянием азотных удобрений [1–4], поэтому с целью уменьшения накопления ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в растениеводческой продукции на фоне повышенных доз фосфорных и калийных удобрений рекомендуется ограничивать дозы азотных удобрений.

Принято считать, что основная причина увеличения поступления ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в растения при внесении азотных удобрений – возможное подкисление почвенного раствора в результате повышения подвижности в почве элементов питания, в том числе и радионуклидов. Так, установлено, что длительное применение высоких доз азотных удобрений в форме аммиачной селитры вызывает подкисление почвенной среды, поскольку NH_4^+ , взаимодействуя с почвенным поглощающим комплексом (ППК), подкисляет почвенный раствор [5]. Однако прямых данных об изменении реакции почвенного раствора при внесении этих или других аммонийных форм азотных удобрений нет, приводятся лишь случаи, когда длительное применение самых физиологически кислых азотных удобрений в течение нескольких десятилетий изменяло pH солевой вытяжки дерново-подзолистой почвы с 4,8 до 4,6 и повышало гидролитическую кислотность от 4,4 до 6,1 мг-экв на 100 г почвы.

В научной литературе высказываются разные мнения о влиянии на переход радионуклидов из почвы в растения азотных удобрений, содержащих разные формы азотного соединения (нитратную, аммонийную, амидную). Известно, что разные формы азотных удобрений проявляют различное действие на реакцию почвы при их внесении и взаимодействие с ППК. Нитратные формы азота (NaNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) являются физиологически щелочными удобрениями, аммонийные формы ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) – физиологически кислыми. Амидные формы ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) также физиологически кислые, поскольку карбамид, разлагаясь в почве на аммиак и уголекислоту, может также способствовать смещению реакции среды в сторону подкисления. Однако после усвоения азота мочевина растениями в почве не остается ни щелочных, ни кислотных остатков.

Усиление поглощения ¹³⁷Cs при внесении азотных удобрений в аммонийной форме объясняется увеличением количества подвижного радионуклида в почве под влиянием гидратированных ионов аммония, которые имеют с радиоцезием сходный по величине ионный радиус и способны вытеснять его из мест сорбции в почвенный раствор, в том числе и кристаллической решетки минералов [6, 7]. Однако, и NH_4^+ , и K^+ десорбирует ¹³⁷Cs как с поверхности почвенных частиц, так и с поверхности корней [8], но следует отметить, что при применении калия содержание радионуклидов цезия в растениях многократно уменьшается, а при применении азотных удобрений – увеличивается.

Подобная точка зрения по данному вопросу существует и в зарубежных работах. Так, отмечается [9], что прочную связь между $^{137}\text{Cs}^+$ и илистыми частицами почвы может разрушить избыток ионов NH_4^+ , поэтому внесение аммонийных азотных удобрений может по-разному влиять на загрязнение культур. С одной стороны, избыток NH_4^+ в почве приводит к разбавлению $^{137}\text{Cs}^+$, что снижает поглощение, в то же самое время избыток этого катиона может привести к десорбции уже связанного $^{137}\text{Cs}^+$, что увеличивает поглощение. С другой стороны, внесение нитратной формы азота также усиливает поглощение ^{137}Cs растениями, хотя и в меньшей степени (в среднем в 2 раза), чем азот в аммонийной форме [10]. Этот факт плохо согласуется с известной закономерностью, состоящей в стимуляции притока в растения калия и других катионов (в том числе и ^{137}Cs) на фоне NO_3^- .

Отмечается [11], что лучшей формой стандартных и медленнодействующих азотных удобрений под яровые и озимые зерновые культуры на дерново-подзолистых почвах с точки зрения снижения поступления радионуклидов в растениеводческую продукцию является мочевиная, затем – сульфат аммония и КАС. Однако в других работах [12] мочевиная, сульфат аммония и аммиачная селитра по накоплению ^{137}Cs в продукции существенно не различались. Следовательно, влияние форм азотных удобрений на поступление радионуклидов в растения является достаточно сложным и разносторонним процессом.

Цель настоящей работы – изучение влияния форм азотных удобрений, различающихся характером и интенсивностью трансформации в почве, взаимодействия с ППК и потребления растениями, на накопление ^{137}Cs сельскохозяйственными культурами на дерново-подзолистых супесчаных почвах разной степени гидроморфности.

Объекты и методы исследований. Исследования проводили в 2008–2010 гг. в условиях полевого опыта на территории землепользования СПК «Зарянский» Славгородского района Могилевской области. В 2008 г. возделывали зернобобовую смесь (пелюшка + овес), в 2009 г. – яровую пшеницу сорта Мунк, в 2010 г. – пайзу на зеленую массу.

Объектом исследования выступали дерново-подзолистые супесчаные автоморфная и глееватая на водно-ледниковых рыхлых супесях почвы. Агрохимические показатели почв (Ап):

дерново-подзолистая супесчаная автоморфная почва: pH_{KCl} 5,93, содержание гумуса – 2,1 %, P_2O_5 – 218, K_2O – 173 мг/кг почвы, T – 5,5 мг-экв/100 г почвы, V – 60 %;

дерново-подзолистая супесчаная глееватая почва: pH_{KCl} 6,3, содержание гумуса – 2,3 %, P_2O_5 – 117, K_2O – 210 мг/кг почвы, T – 7,6 мг-экв/100 г почвы, V – 93 %.

Плотность загрязнения автоморфной почвы составляла 14,5 Ки/км² (537 кБк/м²), глееватой почвы – 13,3 Ки/км² (492 кБк/м²).

Исследования проводили в звене зернотравяного севооборота. В 2008 г. возделывали бобово-злаковую (пелюшко-овсяную) смесь (овес сорта Стрелец и пелюшка сорта Устьянская), в 2009 г. – яровую пшеницу сорта Мунк, в 2010 г. – пайзу сорта Удаляя-2. Элементы технологии возделывания культур соответствовали принятым отраслевым регламентам [13].

Азотные, фосфорные (суперфосфат аммонизированный) и калийные (калий хлористый) удобрения вносили перед посевом культур. Схема опыта с разными дозами и формами применения азотных удобрений, дозами фосфорных и калийных удобрений представлена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Схема опыта, кг/га д. в.

Пелюшко-овсяная смесь	Яровая пшеница	Пайза
1. Контроль (без удобрений)	1. Контроль (без удобрений)	1. Контроль (без удобрений)
2. $\text{P}_{60}\text{K}_{150}$ – фон	2. $\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ – фон	2. $\text{P}_{60}\text{K}_{100}$ – фон
3. Фон + $\text{N}_{60\text{м}}$	3. Фон + $\text{N}_{90\text{м}}$	3. Фон + $\text{N}_{60\text{м}}$
4. Фон + $\text{N}_{60\text{а}}$	4. Фон + $\text{N}_{90\text{ммд}}$	4. Фон + $\text{N}_{60\text{ммд}}$
5. Фон + $\text{N}_{60\text{аа}}$	5. Фон + $\text{N}_{90\text{а}}$	5. Фон + $\text{N}_{60\text{а}}$
6. Фон + $\text{N}_{60\text{КАС}}$	6. Фон + $\text{N}_{90\text{аа}}$	6. Фон + $\text{N}_{60\text{аа}}$
–	7. Фон + $\text{N}_{90\text{КАС}}$	7. Фон + $\text{N}_{60\text{КАС}}$

П р и м е ч а н и е. При обозначении форм азотных удобрений использовали следующие сокращения: $\text{N}_{\text{м}}$ – карбамид (мочевина); $\text{N}_{\text{ммд}}$ – мочевиная медленнодействующая; $\text{N}_{\text{а}}$ – аммоний серноокислый (сульфат аммония); $\text{N}_{\text{аа}}$ – аммоний азотнокислый (селитра аммиачная); $\text{N}_{\text{КАС}}$ – жидкое азотное удобрение (смесь растворов карбамида и аммиачной селитры).

Размещение делянок в опыте – рендомизированное. Общая площадь делянки – 20 м², учетная площадь – 15 м². Повторность вариантов в опыте – четырехкратная.

Метеорологические условия вегетационных периодов существенно различались. По степени увлажнения (величине гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова) 2008 и 2009 гг. характеризовались как избыточно влажные, ГТК = 2,0 и ГТК = 2,2 соответственно, а 2010 г. – как засушливый, ГТК = 0,6.

Удельную активность ¹³⁷Cs в почвенных пробах определяли на γ-β-спектрометре МКС-АТ1315, в растительных – на спектрометрических комплексах «Теннелес» и «Canberra» [14]. Аппаратурная ошибка измерений не превышала 15–20 %. В почвенных пробах определяли: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212–91 [15]; рН_{KCl} – потенциометрическим методом [16]; подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову [17]. Полученные данные обрабатывали методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа по Б. А. Доспехову [18] с использованием стандартного компьютерного программного обеспечения (*Excel 7.0, Statistic 7.0*).

Результаты и их обсуждение. На дерново-подзолистых автоморфной и глееватой супесчаных почвах, плотность загрязнения ¹³⁷Cs 14,5 и 13,3 Ки/км² соответственно, средним (173 мг/кг почвы) и повышенным (210 мг/кг почвы) содержанием подвижного калия в пахотном слое удельная активность ¹³⁷Cs в зерне бобово-злаковой смеси на контроле (без применения удобрений) на автоморфной почве колебалась в пределах 16,6–22,3 Бк/кг, на глееватой почве – 17,1–19,4 Бк/кг. Содержание ¹³⁷Cs в зерне яровой пшеницы на автоморфной почве не превышало 8,0 Бк/кг, на глееватой почве – 6,4 Бк/кг (рис. 1).

Внесение фосфорных и калийных удобрений под бобово-злаковую смесь в дозах P₆₀K₁₅₀ обеспечило существенное снижение ¹³⁷Cs в зерне. На автоморфной почве активность радионуклида уменьшилась в среднем с 19,1 до 9,5 Бк/кг (в 2 раза), на глееватой почве – с 15,2 до 9,4 Бк/кг (в 1,6 раза).

Разные формы азотных удобрений, которые применяли перед посевом бобово-злаковой смеси в дозе 60 кг/га, по-разному повлияли на поступление ¹³⁷Cs в зернобобовую смесь, их действие также зависело от гидроморфности почвы.

На автоморфной почве в вариантах с применением азотных удобрений активность ¹³⁷Cs в зерне колебалась в среднем от 10,0 до 15,9 Бк/кг (НСР₀₅ = 4,58). Достоверное увеличение содержания радионуклида в продукции по отношению к фосфорно-калийному фону и вариантам с аммиачной селитрой (N_{aa}) и КАС (N_{КАС}) наблюдалось при внесении сульфата аммония (N_a). Формы азотных удобрений – мочевины, аммиачная селитра и КАС – существенных различий между собой не имели.

На глееватой почве достоверного повышения содержания ¹³⁷Cs в зерне при внесении всех форм азотных удобрений по отношению к фосфорно-калийному фону не установлено. В то же время минимальное содержание радионуклида наблюдалось в вариантах с применением аммиачной селитры и сульфата аммония – 8,2 и 8,4 Бк/кг соответственно.

Удельная активность ¹³⁷Cs в зерне яровой пшеницы изменялась по вариантам опыта на автоморфной почве в пределах 5,6–6,8 Бк/кг, на глееватой почве – 5,2–6,0 Бк/кг. Вследствие очень низких значений поступления радионуклида из почвы в растения не установлено достоверного увеличения его накопления под влиянием азотных удобрений, которые вносили в дозе 90 кг/га, по сравнению с фосфорно-калийным фоном, а также существенных различий между вариантами с разными формами вносимого азота.

Содержание ¹³⁷Cs в зеленой массе бобово-злаковой смеси изменялось по вариантам опыта на автоморфной почве в среднем от 19,7 до 30,7 Бк/кг, на глееватой почве – от 28,6 до 47,5 Бк/кг (рис. 2).

Удельная активность ¹³⁷Cs в зеленой массе бобово-злаковой травосмеси на контроле (без удобрений) на автоморфной и глееватой почвах составила 30,7 и 29,9 Бк/кг соответственно. При внесении фосфорных и калийных удобрений в дозах P₆₀K₁₅₀ достоверное снижение содержания радионуклида в растениях наблюдалось только на автоморфной почве – 6,4 Бк/кг (НСР₀₅ = 6,08). На глееватой почве на фоне РК активность ¹³⁷Cs в зеленой массе несущественно отличалась от контроля – 28,6 Бк/кг.

Влияние разных форм азотных удобрений, которые вносили в дозе 60 кг/га, на поступление радиоцезия в зеленую массу трав зависело от степени гидроморфности почвы.

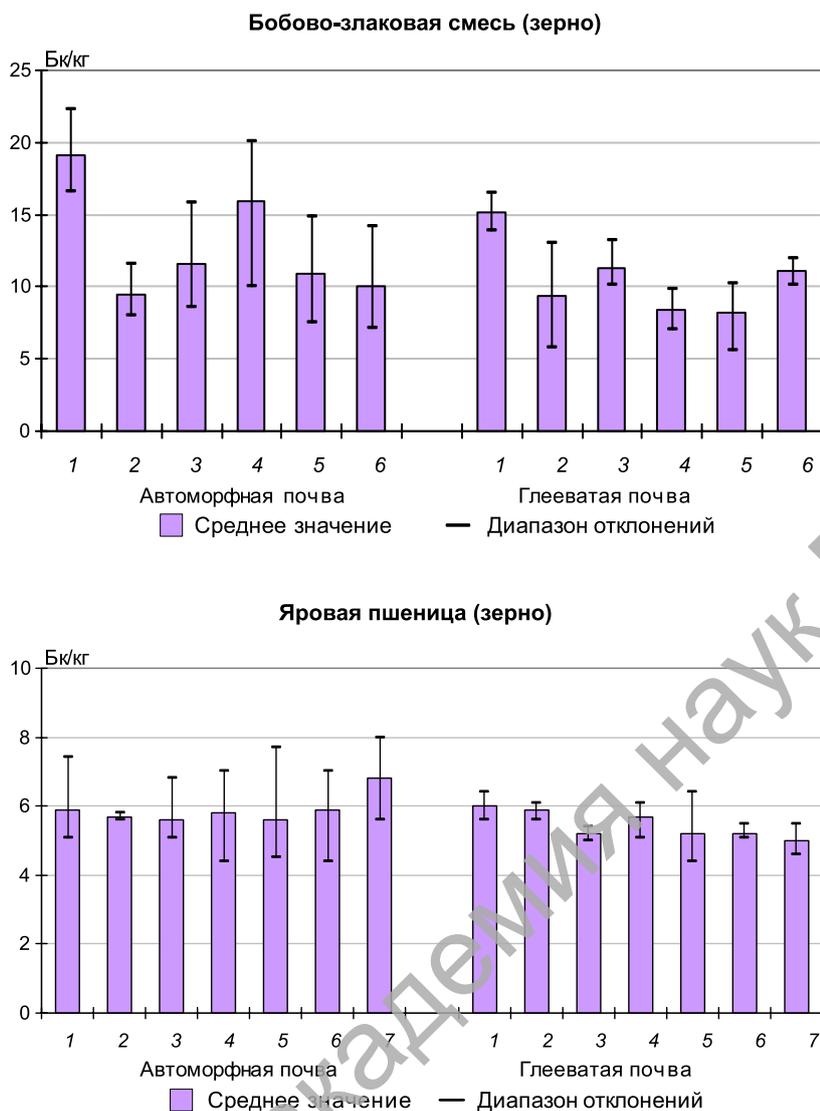


Рис. 1. Влияние форм азотных удобрений на поступление ¹³⁷Cs в зерно бобово-злаковой смеси и яровой пшеницы: 1 – контроль (без удобрений); 2 – фон РК; 3 – РК + N_M; 4 – РК + N_{MMd}; 5 – РК + N_a; 6 – РК + N_{aa}; 7 – РК + N_{KAC}

На автоморфной почве применение мочевины, аммиачной селитры и КАС не привело к усилению поступления радионуклида в продукцию, активность его в зеленой массе в этих вариантах колебалась в пределах 19,7–25,1 Бк/кг при содержании на фоне РК – 24,3 Бк/кг (НСР₀₅ = 6,08). Существенное повышение ¹³⁷Cs наблюдалось только в варианте с внесением сульфата аммония, где содержание его в зеленой массе составило 31,4 Бк/кг.

На глеевой почве наблюдалась обратная закономерность. Несущественные различия в накоплении ¹³⁷Cs в зеленой массе трав (1,5 Бк/кг при НСР₀₅ = 7,94) были между фосфорно-калийным фоном и вариантом с применением сульфата аммония, тогда как по остальным формам азотных удобрений происходило достоверное увеличение содержания радионуклида в продукции. Максимальная активность его отмечалась в варианте с применением мочевины, которая составила в среднем 47,5 Бк/кг с колебаниями от 39,6 до 54,9 Бк/кг.

Накопление ¹³⁷Cs в зеленой массе пайзы изменялось в следующих пределах: на автоморфной почве – 27,8–32,8 Бк/кг (НСР₀₅ = 5,09), на глеевой почве – 27,0–32,2 Бк/кг (НСР₀₅ = 8,37). Не установлено достоверных различий между изучаемыми вариантами, в том числе и формами азотных удобрений, в содержании радионуклида в продукции. Наблюдалась только тенденция к увеличению активности ¹³⁷Cs в зеленой массе к фону РК при внесении как на автоморфной, так и на глеевой почве мочевины стандартной.

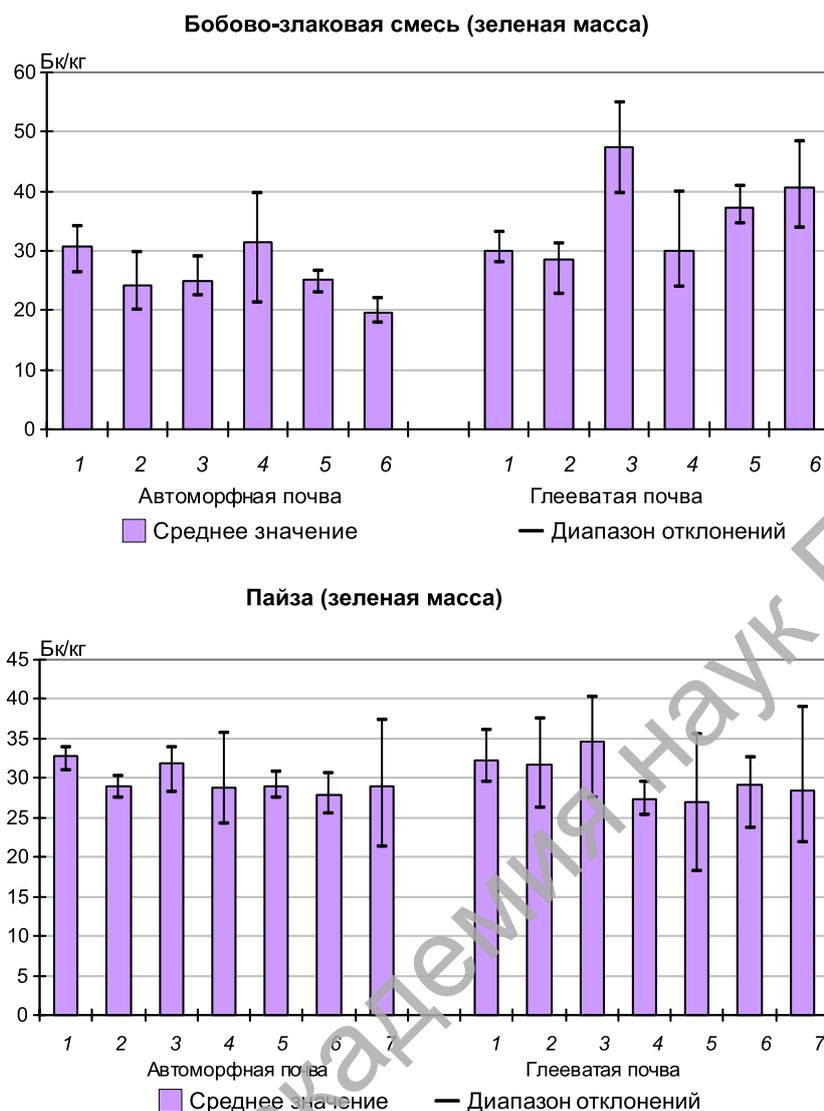


Рис. 2. Влияние форм азотных удобрений на поступление ^{137}Cs в зеленую массу бобово-злаковой смеси и пайзы: 1 – контроль (без удобрений); 2 – фон РК; 3 – РК + N_m ; 4 – РК + $\text{N}_{\text{мд}}$; 5 – РК + N_a ; 6 – РК + $\text{N}_{\text{аа}}$; 7 – РК + $\text{N}_{\text{кас}}$

Для оценки поступления радионуклидов из почвы в растения используют различные количественные показатели: коэффициент накопления ($K_{\text{н}}$) – отношение активности радионуклида к единице массы растений и почвы (Бк/кг:Бк/кг); коэффициент перехода ($K_{\text{п}}$) – отношение удельной активности радионуклида в растениях к плотности загрязнения почвы на единицу площади (Бк/кг:Бк/м²). В международных публикациях, в соответствии с рекомендациями Международного союза радиозащиты, используются аналогичные показатели: Transfer factor (F_v или TF) – аналог коэффициента накопления и Aggregated transfer factor ($T_{\text{аг}}$) – аналог коэффициента перехода [19].

Нами определены коэффициенты перехода ^{137}Cs из дерново-подзолистой автоморфной и глееватой супесчаной почвы в зерно бобово-злаковой смеси и яровой пшеницы, а также в зеленую массу бобово-злаковой травосмеси и пайзы.

Параметры перехода ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы изменялись на автоморфной почве в пределах 0,013–0,015, на глееватой почве – 0,011–0,014. Коэффициенты перехода радионуклида в зерно бобово-злаковой смеси были выше, чем в зерно яровой пшеницы, и составляли на автоморфной и глееватой почвах 0,021–0,042 и 0,019–0,035 соответственно. Более высокие значения $K_{\text{п}}$ получены в вариантах без применения удобрений, а также в вариантах с внесением на автоморфной почве сульфата аммония, на глееватой почве – мочевины (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. Влияние форм азотных удобрений на коэффициенты перехода ^{137}Cs в продукцию возделываемых культур

Вариант опыта	Зерно		Зеленая масса	
	бобово-злаковая смесь	яровая пшеница	бобово-злаковая смесь	пайза
<i>Дерново-подзолистая автоморфная супесчаная почва</i>				
1. Контроль (без удобрений)	0,042	0,013	0,068	0,072
2. РК – фон	0,022	0,013	0,057	0,067
3. Фон + N _м	0,029	0,014	0,062	0,080
4. Фон + N _{ммд}	–	0,015	–	0,072
5. Фон + N _а	0,040	0,014	0,079	0,072
6. Фон + N _{аа}	0,025	0,014	0,058	0,064
7. Фон + N _{кас}	0,021	0,014	0,042	0,061
<i>Дерново-подзолистая глееватая супесчаная почва</i>				
1. Контроль (без удобрений)	0,035	0,014	0,069	0,074
2. РК – фон	0,022	0,014	0,066	0,073
3. Фон + N _м	0,027	0,013	0,115	0,084
4. Фон + N _{ммд}	–	0,014	–	0,066
5. Фон + N _а	0,020	0,013	0,073	0,065
6. Фон + N _{аа}	0,019	0,012	0,088	0,068
7. Фон + N _{кас}	0,024	0,011	0,087	0,061

Следует отметить, что в условиях опыта получены более низкие значения $K_{\text{п}}^{137}\text{Cs}$ в зерно яровой пшеницы по сравнению с принятыми в рекомендательных документах, который составляет 0,036 для дерново-подзолистой супесчаной почвы при обеспеченности подвижным калием 141–200 мг/кг почвы [20].

Коэффициенты перехода радионуклида в зеленую массу бобово-злаковой травосмеси и пайзы колебались на автоморфной почве в пределах 0,042–0,079 и 0,061–0,080, на глееватой почве – 0,066–0,115 и 0,061–0,084 соответственно.

На основании полученных параметров перехода ^{137}Cs в зерно и зеленую массу изучаемых сельскохозяйственных культур определены допустимые плотности загрязнения почв ($\text{ДП}_{\text{п}}$) при внесении разных форм азотных удобрений для получения различных видов конечной растениеводческой и животноводческой продукции, отвечающей республиканским допустимым уровням (РДУ) и допустимым уровням, принятым в рамках Таможенного союза (ДУ ТС). Расчеты проводили по формуле

$$\text{ДП}_{\text{п}} = \frac{\text{ДУ}}{K_{\text{п}} \cdot 37},$$

где $\text{ДП}_{\text{п}}$ – допустимая плотность загрязнения почвы радионуклидом, Ки/км²; ДУ – республиканский допустимый уровень или допустимый уровень в рамках Таможенного союза содержания радионуклида в продукции, Бк/кг, л; $K_{\text{п}}$ – коэффициент перехода радионуклида из почвы в растениеводческую продукцию, Бк/кг : кБк/м²; 37 – коэффициент пересчета нКи/кг в Бк/кг.

При прогнозе допустимой плотности загрязнения почв учитывали определенную степень консервативности (прочности прогноза), предусматривающую изменения коэффициентов перехода радионуклидов в растениеводческую продукцию, связанные с особенностями гидротермических условий вегетационных периодов, колебания которых оцениваются в $\pm 30\%$. В наших оценках допустимая плотность загрязнения почв ^{137}Cs , где возможно производство продукции изучаемых культур в пределах РДУ или ДУ ТС, принималась на уровне 70 % от расчетной величины.

В условиях радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных земель наиболее жестко нормируется содержание радионуклидов в продукции сельскохозяйственных культур, возделываемых на продовольственные цели. Возделывание сельскохозяйственных культур, согласно

законодательству Республики Беларусь, разрешено на землях с плотностью загрязнения почв ^{137}Cs до 40 Ки/км² и ^{90}Sr – до 3,0 Ки/км² [21].

В соответствии с республиканскими допустимыми уровнями, предельное содержание ^{137}Cs в зерне зерновых и зернобобовых культур на пищевые цели не должно превышать – 90 Бк/кг, в зерне на детское питание – 55 Бк/кг [20]. Согласно Техническому регламенту Таможенного союза «О безопасности зерна», содержание ^{137}Cs в зерне на пищевые цели не должно превышать 60 Бк/кг.

Результаты прогнозных оценок показали, что на дерново-подзолистых автоморфной и глееватой супесчаных почвах со средним (173 мг/кг почвы) и повышенным (210 мг/кг почвы) содержанием подвижного калия в пахотном слое возделывать яровую пшеницу для производства зерна на пищевые цели и на детское питание допустимо при плотности загрязнения ^{137}Cs до 40 Ки/км². На фоне внесения под культуру фосфорных и калийных удобрений в дозах 90 и 150 кг/га соответственно возможно применение без ограничений всех изучаемых форм азотных удобрений (мочевина стандартной, мочевины медленнодействующей, сульфата аммония, аммиачной селитры, КАС) в дозах 90 кг/га д. в. (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Ограничения по допустимой плотности загрязнения почв ^{137}Cs при применении разных форм азотных удобрений для производства различных видов растениеводческой продукции и целевого ее назначения, Ки/км²

Вид продукции	Целевое назначение	Почва*	Форма азотного удобрения			
			N _{ммл}	N _а	N _{аа}	N _{кас}
Зерно яровой пшеницы	На пищевые цели, РДУ – 90 Бк/кг и ДУ ТС – 60 Бк/кг	1	40,0	40,0	40,0	40,0
		2	40,0	40,0	40,0	40,0
	На детское питание, РДУ – 55 Бк/кг	1	40,0	40,0	40,0	40,0
		2	40,0	40,0	40,0	40,0
	На фураж для производства цельного молока, РДУ – 100 Бк/л	1	40,0	40,0	40,0	40,0
		2	40,0	40,0	40,0	40,0
На фураж для производства мяса, ДУ ТС – 200 Бк/кг	1	40,0	40,0	40,0	40,0	
	2	40,0	40,0	40,0	40,0	
Зерно бобово-злаковой смеси	На фураж для производства цельного молока, РДУ – 100 Бк/л	1	40,0	40,0	40,0	40,0
		2	40,0	40,0	40,0	40,0
	На фураж для производства мяса, ДУ ТС – 200 Бк/кг	1	40,0	40,0	40,0	40,0
		2	40,0	40,0	40,0	40,0
Зеленая масса бобово-злаковой травосмеси	Для производства цельного молока, РДУ – 100 Бк/л	1	40,0	40,0	40,0	40,0
		2	29,5	–	40,0	38,5
	Для производства мяса, ДУ ТС – 200 Бк/кг	1	40,0	40,0	40,0	40,0
		2	31,0	40,0	40,0	40,0
Зеленая масса пайзы	Для производства цельного молока, РДУ – 100 Бк/л	1	40,0	40,0	40,0	40,0
		2	40,0	40,0	40,0	40,0
	Для производства мяса, ДУ ТС – 200 Бк/кг	1	40,0	40,0	40,0	40,0
		2	40,0	40,0	40,0	40,0

* 1 – автоморфная почва, 2 – глееватая почва.

Не лимитируется также плотностью загрязнения ^{137}Cs как автоморфной, так и глееватой почв возделывание яровой пшеницы и бобово-злаковой смеси при получении фуражного зерна для использования его при производстве цельного молока и мяса (говядины).

В то же время имеются ограничения по применению отдельных форм азотных удобрений под бобово-злаковую травосмесь на зеленую массу. Так, на дерново-подзолистой глееватой супесчаной почве применение мочевины стандартной ограничено плотностью загрязнения ^{137}Cs 29,5 Ки/км² при получении зеленой массы для производства цельного молока, отвечающего допустимому уровню по содержанию радионуклида (100 Бк/л), а также плотностью загрязнения 31,0 Ки/км² – при получении зеленой массы для производства мяса с содержанием радиоцезия до 200 Бк/кг.

Ограничено плотностью загрязнения ^{137}Cs 38,5–39,0 Ки/км² применение аммиачной селитры и КАС при возделывании на глееватой почве бобово-злаковой травосмеси на зеленую массу для скармливания дойному стаду и получения цельного молока.

В связи с более низкими параметрами перехода ^{137}Cs в растения пайзы по сравнению с бобово-злаковой смесью нет ограничений по ее возделыванию на зеленую массу как на автоморфной, так и на глееватой почве.

Выводы

1. Влияние разных форм азотных удобрений на поступление ^{137}Cs в растения зависело от степени гидроморфности почвы и биологических особенностей возделываемых культур. На автоморфной почве внесение сульфата аммония существенно увеличило содержание радионуклида в зерне и зеленой массе бобово-злаковой смеси. При применении мочевины, аммиачной селитры и КАС не наблюдалось усиления поступления ^{137}Cs в продукцию по сравнению с фосфорно-калийным фоном. На глееватой почве формы азотных удобрений по накоплению ^{137}Cs в зерне бобово-злаковой смеси различались несущественно, а в зеленой массе – максимальная активность радионуклида отмечена при внесении мочевины стандартной. Не установлено достоверных различий между изучаемыми формами азотных удобрений в поступлении ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы и зеленую массу пайзы. Наблюдалась только тенденция к увеличению активности его в зеленой массе пайзы по отношению к фосфорно-калийному фону при внесении мочевины стандартной.

2. На дерново-подзолистых супесчаных автоморфной и глееватой почвах с повышенной и средней обеспеченностью подвижным калием возможно применение мочевины стандартной, мочевины медленнодействующей, сульфата аммония, аммиачной селитры и КАС без ограничений по плотности загрязнения почвы ^{137}Cs при производстве зерна яровой пшеницы на пищевые и фуражные цели, зерна бобово-злаковой смеси на фураж и зеленой массы пайзы для получения цельного молока и мяса.

3. На дерново-подзолистой глееватой супесчаной почве ограничено применение мочевины стандартной плотностью загрязнения ^{137}Cs 29,5 Ки/км² при получении зеленой массы бобово-злаковой травосмеси для производства цельного молока с содержанием радионуклида до 100 Бк/л, плотностью загрязнения 31,0 Ки/км² – при получении зеленой массы для производства мяса с содержанием радионуклида до 200 Бк/кг. Также ограничено применение аммиачной селитры и КАС плотностью загрязнения ^{137}Cs 38,5–39,0 Ки/км² при возделывании бобово-злаковой травосмеси на зеленую массу для скармливания дойному стаду и получения цельного молока.

Литература

1. Светов, В. А. Агропромышленное производство на загрязненных радионуклидами территориях РСФСР / В. А. Светов // Химизация сельского хозяйства. – 1991. – № 11. – С. 9–13.
2. Бондарь, П. Ф. Некоторые аспекты научного сопровождения ведения растениеводства на загрязненной территории / П. Ф. Бондарь // Проблема сельскохозяйственной радиологии: сб. науч. тр. / Укр. науч.-исслед. ин-т с.-х. радиологии; под ред. Н. А. Лощилова. – Киев, 1996. – Вып. 4. – С. 107–123.
3. Пристер, Б. С. Актуальные проблемы кормопроизводства в условиях радиоактивного загрязнения территории / Б. С. Пристер, Г. П. Перепелятникова, М. И. Ильин // Проблема сельскохозяйственной радиологии: сб. науч. тр. / Укр. науч.-исслед. ин-т с.-х. радиологии; под ред. Н. А. Лощилова. – Киев, 1992. – Вып. 2. – С. 71–88.
4. Тулина, А. С. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений на дерново-подзолистых песчаных почвах, загрязненных ^{137}Cs : автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.04 / А. С. Тулина; ИФХБПП РАН. – М., 2002. – 24 с.
5. Расширенное воспроизводство плодородия почв / А. А. Волокитина [и др.]. – Калинин, 1985. – 113 с.
6. Алексахин, Р. М. Поведение ^{137}Cs в системе почва – растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклида в урожае / Р. М. Алексахин, И. Т. Моисеев, Ф. А. Тихомиров // Агрохимия. – 1992. – № 8. – С. 127–138.
7. Моисеев, И. Т. К вопросу о влиянии минеральных удобрений на доступность ^{137}Cs из почвы сельскохозяйственными растениями / И. Т. Моисеев, Л. А. Рерих, Ф. А. Тихомиров // Агрохимия. – 1986. – № 2. – С. 89.
8. Handy, R. Effect of various cations upon absorption of carrier-free cesium / R. Handy, R. Overstreet // Plant Physiology. – 1961. – N 36. – P. 66–69.
9. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Радиэкология после Чернобыля: пер. с англ. / Л. Дж. Апплби [и др.]; под ред. Ф. Уорнера, Р. Харрисона. – М.: Мир, 1999. – 512 с.

10. *Evans, E. J.* Effect of nitrogen on caesium-137 in soils and its uptake by oat plants / E. J. Evans, A. J. Dekker // Canadian Journal of Soil Science. – 1968. – Vol. 49. – P. 349–355.
11. *Пироговская, Г. В.* Медленнодействующие удобрения / Г. В. Пироговская. – Минск: БНИИПА, 2000. – 287 с.
12. *Алексахин, Р. М.* Поведение ^{137}Cs в системе «почва–растение» и влияние внесения удобрений на накопление в урожае / Р. М. Алексахин // Агрохимия. – 1992. – № 8. – С. 127–131.
13. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур : сб. отраслевых регламентов / Ин-т аграр. экономики НАН Беларуси; рук. разработ.: В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск : Беларус. наука, 2005. – 460 с.
14. Методические указания по определению ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвах и растениях / А. В. Кузнецов [и др.]. – Минск : ЦИНАО, 1985. – 64 с.
15. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26212–91. – Введ. 1993.07.01. – Минск: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
16. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение pH по методу ЦИНАО: ГОСТ 26483–85. – Введ. 07.01.86. – Минск: Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1987. – 4 с.
17. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26207–91. – Введ. 07.01.93. – Минск: Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 6 с.
18. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – 5-е изд. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
19. Quantities, Units and Terms in Radioecology. International Commission on Radiation Units and Measurements. ICRU Report 65 // J. ICRU. – 2001. – Vol. 1. – N 2. – P. 2–44.
20. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 годы. – Минск, 2012. – 121 с.
21. О Правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС: Закон Респ. Беларусь от 26 мая 2012 г. № 385-3 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь (29 мая 2012 г. N 2/1937).

N. N. TSYBULKO, T. P. SHAPSHEEVA, Ju. V. SHIPILOV, I. I. ZHUKOVA

RADIOLOGICAL ASSESSMENT OF DIFFERENT FORMS OF NITROGEN FERTILIZERS ON SOD-PODSOLIC SANDY SOILS

Summary

Researched is the influence of different forms of nitrogen fertilizers on ^{137}Cs accumulation on sod-podsolic sandy soils with different hydromorphic features.

Application of ammonium sulphate to sod-podsolic automorphic sandy soil increases essentially radionuclide content in grain and green weight of legume grass mixture. When urea, ammonium saltpeter and UAM are applied the increased penetration of ^{137}Cs into crops isn't observed. Concerning ^{137}Cs accumulation in the grain of legume grass mixture the forms of nitrogen fertilizers don't differ significantly on gleyic soil. The maximum activity of the radionuclide in herbage is observed when standard urea is applied. It is not established that there is significant difference between the forms of nitrogen fertilizers in respect of ^{137}Cs penetration into spring wheat grain and green weight of millet. When standard urea is applied the tendency to the increase of ^{137}Cs activity in green weight of millet in relation to phosphorus and potassium background is observed.