THE INFLUENCE OF PHYSICAL AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF SOIL ON THE BIOAVAILABILITY OF TRACE ELEMENTS

A.M. Shemet, A.I. Fateev

Summary

In the conditions of a glasshouse experiment, the authors revealed some regularities of trace elements uptake by plants of pea, barley, buckwheat and corn from soils with different basic indicators. A close correlation relationship between the trace elements uptake by plants and the content of their mobile forms in soil, soil texture and pH was determined.

Поступила 27.10.16

УДК 633.112.9:631.445.2:631.438

ПОСТУПЛЕНИЕ ^{137}CS В РАСТЕНИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ И МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ НА ТОРФЯНО-ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЕЙ КАЛИЙНОГО ПИТАНИЯ

Н.Н. Цыбулько[1], А.В. Шашко[2]

[1]Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, г. Минск, Беларусь

[2]Брестский филиал института радиологии, г. Пинск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Генетические особенности почв оказывают существенное влияние на процессы сорбции радионуклидов и интенсивность перехода их в растения. В зависимости от свойств почв содержание обменной формы радионуклидов варьирует от 9 до 40 % для ^{137}Cs и от 64 до 93 % – для ^{90}Sr [1].

На территории радиоактивного загрязнения в составе сельскохозяйственных земель значительный удельный вес занимают торфяные почвы. В настоящее время площади торфяных почв с разной мощностью торфа и деградированных торфяно-минеральных почв в наиболее загрязненных радионуклидами Гомельской, Могилевской и Брестской областях составляют около 500 тыс. га [2, 3].

Органогенные почвы отличаются от минеральных более высоким поступлением радионуклидов в растения и являются критичными для получения нормативно чистой сельскохозяйственной продукции. Высокие показатели миграции радионуклидов в растения на этих почвах обусловлены особенностями их морфологического и генетического строения, водно-физическими и агрохимическими свойствами. Из-за повышенной адсорбционной способности органического вещества и емкости катионного обмена, низкого отрицательного поверхностного заряда этих

почв значительное количество веществ, в том числе и радионуклидов, удерживается в доступных для растений формах. Ведущим механизмом взаимодействия радионуклидов с почвой является ионный обмен, а основную роль играют фульво- и гуминовые кислоты, находящиеся в почвенном растворе [4, 5].

Применение калийных удобрений основной агрохимический прием, снижающий поступление ^{137}Cs в сельскохозяйственные культуры. На почвах разного генезиса под влиянием калия накопление ^{137}Cs в растениях может уменьшаться от 2 до 20 раз [6]. Положительная роль его возрастает на фоне оптимальных параметров минерального питания растений [7].

Снижение перехода радионуклидов в растения при внесении калийных удобрений существенно зависят от исходной обеспеченности почвы подвижным калием [8]. Установлено, что уровень содержания подвижного калия в почве, превышение которого не снижает накопление ^{137}Cs в полевых культурах, составляет 240–260 мг/кг почвы. Внесение высоких доз калийных удобрений (180-240 кг/га) на слабообеспеченных почвах (150 мг/кг почвы) снижает в 1,5-2,7 раза содержание ^{137}Cs. На почвах с повышенным (250 мг/кг почвы) и высоким (350 мг/кг почвы) содержанием подвижного калия внесение повышенных доз калийных удобрений малоэффективно [9].

Для прогнозирования поступления радионуклидов из почвы в растения используют такой показатель, как коэффициент перехода ($K_п$) – отношение удельной активности радионуклида в растениях к плотности загрязнения почвы на единицу площади (Бк/кг:кБк/м^2). В международных публикациях используется аналогичный показатель – Aggregated transfer factor (T_{ag}) [10]. С целью прогноза загрязнения радионуклидами продукции сельскохозяйственных культур разработаны усредненные $K_п$ для основных типов почв, в том числе для торфяно-болотных почв [11]. В то же время для деградированных торфяно-минеральных почв эти показатели отсутствуют, что не позволяет прогнозировать накопление радионуклидов в растениеводческой продукции, определить дозы калийных удобрений, как защитной меры, обеспечивающие минимальное накопление радионуклидов в продукции сельскохозяйственных культур.

Цель настоящей работы – изучить влияние возрастающих доз калийных удобрений и обеспеченности торфяно-глеевой почвы подвижным калием на поступление ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы и сено многолетних бобово-злаковых трав.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в 2012-2014 гг. в стационарных полевых опытах на территории землепользования Государственного предприятия «Новое Полесье» Лунинецкого района Брестской области, а также на подобранных пробных (реперных) площадках с разными показателями плодородия почв в производственных посевах яровой пшеницы. Объектом исследования являлись торфяно-глеевые почвы. Агрохимические показатели пахотного (0–25 см) слоя почвы следующие (средние значения):

– опытный участок №1 с яровой пшеницей: органическое вещество – 60,4 %, $N_{общ}$ – 1,71 %, pH в KCl – 5,44; подвижные формы (в 0,2 M HCl) P_2O_5 – 748 и K_2O – 625 мг/кг почвы;

– опытный участок № 2 с многолетними травами: органическое вещество – 53,1 %; общий азот – 1,54 %; pH в KCl – 5,44; подвижные формы (в 0,2 М HCl) P_2O_5 – 737 и K_2O – 665 мг/кг почвы.

Почва относится согласно градации [12] ко второй группе (1,0–4,9 Ки/км^2) по степени загрязнения ^{137}Cs. Плотность загрязнения колебалась от 3,2 до 4,5 Ки/км^2 (в среднем 4,0 Ки/км^2) на опытном участке с яровой пшеницей и от 4,1 до 4,7 Ки/км^2 (в среднем 4,3 Ки/км^2) – на опытном участке с многолетними травами.

Возделывали яровую пшеницу сорта Ростань и бобово-злаковую травосмесь, включающую тимофеевку луговую (6 кг/га), овсяницу луговую (6 кг/га), кострец безостый (6 кг/га) и лядвенец рогатый (5 кг/кг). Посев трав беспокровный.

Варианты опыта с яровой пшеницей: 1. Без удобрений (контроль); 2. $P_{60}K_{80}$; 3. $P_{60}K_{120}$; 4. $P_{60}K_{160}$. Варианты опыта с многолетними бобово-злаковыми травами: 1. Без удобрений (контроль); 2. $P_{90}K_{120}$ – под 1-й укос; 3. $P_{90}K_{180}$ (K_{120} – под 1-й укос + K_{60} – под 2-й укос); 4. $P_{90}K_{240}$ (K_{180} – под 1-й укос + K_{60} – под 2-й укос).

Размещение делянок в опыте рендомизированное. Повторность вариантов в опыте четырехкратная. В опыте с яровой пшеницей общая площадь делянки составляла 29 м^2, учетная площадь – 24 м^2, в опыте с многолетними травами 20 и 12 м^2 соответственно.

На пробных (реперных) площадках размером 1 м^2 в производственных посевах отбирали сопряженные почвенные и растительные пробы. В почвенных пробах определяли активность ^{137}Cs и агрохимические показатели (pH_{KCl}, содержание P_2O_5 и K_2O), в растительных пробах (зерне яровой пшеницы) – удельную активность ^{137}Cs.

Агрохимические показатели почв определяли по методикам: органическое вещество – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212–91 [13]; pH_{KCl} – потенциометрическим методом по ГОСТ 26483–85 [14]; подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207–91 [15]; общий азот – по ГОСТ 26107-84 [16].

Отбор проб почвы для определения содержания ^{137}Cs проводили согласно методике [17], подготовку почвенных и растительных проб – по методикам [18, 19]. Определение удельной активности ^{137}Cs (Бк/кг) в почвенных пробах выполняли на γ-β–спектрометре МКС–АТ1315, в растительных образцах – на γ-спектрометрическом комплексе «Canberra-Packard». Основная относительная погрешность измерений при доверительном интервале P = 95 % не превышала 15–30 %. Аппаратурная ошибка измерений не превышала 15 %. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs рассчитывали согласно методике [12]. Для количественной оценки поступления ^{137}Cs из почвы в растения рассчитывали коэффициент перехода ($K_п$) – отношение удельной активности радионуклида в растениях к плотности загрязнения почвы на единицу площади (Бк/кг:кБк/м^2).

Полученные данные обрабатывали методами корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализа [20] с использованием компьютерного программного обеспечения (*Excel 7.0, Statistic 7.0*).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В условиях радиоактивного загрязнения земель наиболее «жестко» нормируется содержание радионуклидов в продукции на пищевые цели. В соответствии с Республиканскими допустимыми уровнями содержания радионуклидов цезия-137 и

стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ–99) предельное содержание ^{137}Cs в зерне на пищевые цели не должно превышать 90 Бк/кг [21], а согласно техническому регламенту Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011) допустимый уровень ^{137}Cs в пищевом зерне 60 Бк/кг [22].

В наших исследованиях при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs до 5 Ки/км^2 удельная активность радионуклида в зерне яровой пшеницы даже в варианте без применения удобрений (контроль) не превышала 20 Бк/кг и составила в среднем в 2012 году 6,67 Бк/кг, в 2013 г. – 18,15 и в 2014 г. – 16,23 Бк/кг. Различия в содержании ^{137}Cs по годам составляли 2,7 раза. Более низкие значения отмечались во влажные годы. По степени увлажнения 2012 и 2014 гг.характеризовались как влажные – ГТК составили 1,66 и 2,02 соответственно, а 2013 г. был слабозасушливым – ГТК равен 1,16.

Применение фосфорных и калийных удобрений в дозах $P_{60}K_{80}$, при содержании в почве P_2O_5 748 мг/кг и K_2O 625 мг/кг почвы, снижало накопление ^{137}Cs в зерне по отношению к контролю от 12 до 20 % в зависимости от года, а в среднем на 14 %.

Дальнейшее повышение доз калия было менее эффективным. Активность ^{137}Cs в зерне при увеличении дозы в 1,5 раза (K_{120}) уменьшилась в среднем на 24 % к контролю и на 8 % к варианту с K_{80}. Удвоение дозы калийных удобрений (K_{160}) практически не способствовало снижению содержания радионуклида в продукции по отношению к варианту $P_{60}K_{120}$ (табл. 1).

Расчеты коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в зерно яровой пшеницы показали следующее. За годы исследований в зависимости от метеорологических условий вегетационных периодов различия в переходе ^{137}Cs в зерно составили 1,5–1,8 раза. На контрольном варианте коэффициент перехода варьировал по годам от 0,064 до 0,113 Бк/кг:кБк/м^2, в среднем был равен 0,088 Бк/кг:кБк/м^2. В варианте с внесением фосфорных и калийных удобрений в дозах 60 и 80 кг/га соответственно он снизился по отношению к контролю в среднем на 14 % и величина его изменялась по годам от 0,058 до 0,086 при среднем значении 0,076 Бк/кг:кБк/м^2. При внесении K_{120} и K_{160} переход радионуклида уменьшился по отношению к контрольному варианту соответственно на 24 и 25 % и составил в среднем за 3 года исследований 0,067 и 0,066 Бк/кг:кБк/м^2.

Таблица 1

Параметры накопления ^{137}Cs яровой пшеницей в зависимости от доз фосфорных и калийных удобрений

Вариант опыта	Годы			Среднее значение	Процент к контролю
	2012	2013	2014		
	Удельная активность ^{137}Cs в зерне, Бк/кг				
1. Контроль	6,67±1,99	18,15±5,44	16,23±4,87	13,68	100
2. $P_{60}K_{80}$	5,72±1,72	14,60±4,38	14,22±4,34	11,51	86
3. $P_{60}K_{120}$	4,67±1,38	14,07±4,22	12,54±3,76	10,43	76
4. $P_{60}K_{160}$	5,21±1,56	14,20±4,24	11,32±3,39	10,24	75
	Коэффициенты перехода ^{137}Cs в зерно, Бк/кг:кБк/м^2				
1. Контроль	0,064	0,113	0,087	0,088	100
2. $P_{60}K_{80}$	0,058	0,083	0,086	0,076	86
3. $P_{60}K_{120}$	0,047	0,073	0,082	0,067	76
4. $P_{60}K_{160}$	0,047	0,073	0,076	0,066	75

В своих исследованиях мы попытались установить зависимости между коэффициентами перехода ^{137}Cs в растения и продуктивностью яровой пшеницы. В результате статистической обработки данных, полученных в 3-летних опытах, установлена тесная обратно пропорциональная зависимость коэффициентов перехода радионуклида из почвы в зерно от уровня урожайности. Величина достоверности аппроксимации (R^2) составила 0,61. С повышением урожайности наблюдалось уменьшение параметра перехода ^{137}Cs в продукцию (рис. 1).

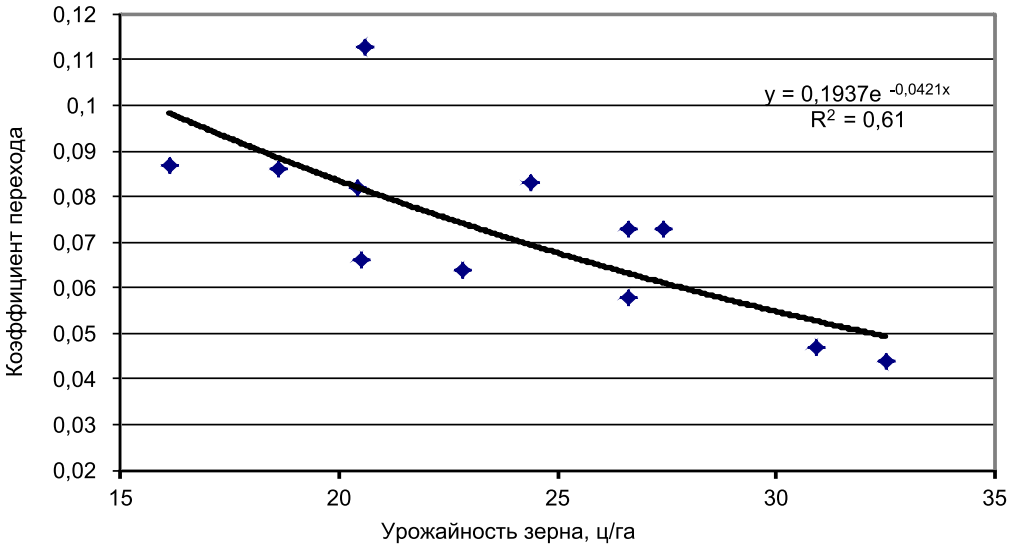

Рис. 1. Зависимость коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в зерно яровой пшеницы от уровня урожайности

Применение повышенных доз калийных удобрений в качестве защитной меры на загрязненных радионуклидами почвах приводит к увеличению затрат на производство растениеводческой продукции. Поэтому важным является определение пороговых значений содержания K_2O в почве, при которых наблюдается минимальное накопление ^{137}Cs в растениях. Данный вопрос детально проработан в исследованиях на дерново-подзолистых супесчаных почвах, что позволило установить агроэкологические оптимумы обеспеченности этих почв подвижным калием и рекомендовать наиболее эффективное применение удобрений [4, 9, 23, 24].

По результатам анализа сопряженных почвенных и растительных проб, отобранных в производственных посевах с разным содержанием подвижного калия в почве, рассчитана корреляционно-регрессионная зависимость между обеспеченностью торфяно-глеевой почвы K_2O и величиной коэффициентов перехода ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы. Установлено, что между содержанием подвижного калия в почве и переходом ^{137}Cs в продукцию существует тесная обратно пропорциональная взаимосвязь с величиной достоверности аппроксимации (R^2) равной 0,55. С повышением обеспеченности почвы K_2O наблюдалось снижение параметров миграции ^{137}Cs в растения. Наиболее существенное уменьшения данного показателя наблюдалось при повышении обеспеченности почвы K_2O в диапазоне от 200 до 700 мг/кг почвы (рис. 2).

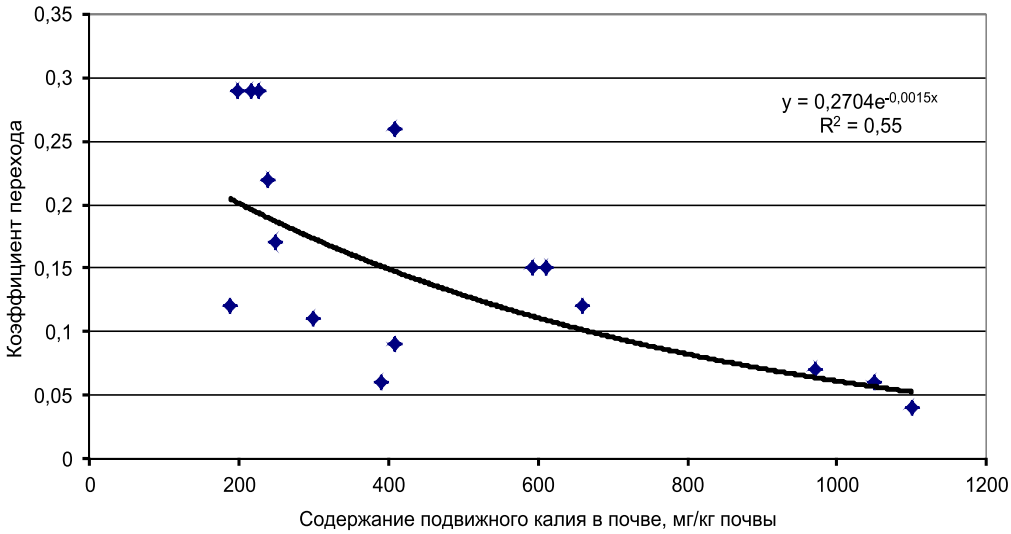

Рис. 2. Зависимость коэффициентов перехода ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы от содержания подвижного калия в почве

Накопление ^{137}Cs многолетними бобово-злаковыми травами зависело от метеорологических условий вегетационных периодов, укосов и уровней применения минеральных удобрений. При плотности загрязнения почвы ^{137}Cs 4,3 Ки/км^2 содержание радионуклида колебалось по годам на контроле от 29,77 до 256,48 Бк/кг. Различия в активности ^{137}Cs в травах первого укоса достигали 1,4 раза, второго укоса – 3,6 раза, а между укосами – 8,6 раз. В целом за годы исследований удельная активность радионуклида в сене не превышала 350 Бк/кг при допустимом содержании 1300 Бк/кг для скармливания дойному поголовью и получения цельного молока (табл. 2).

Таблица 2

Удельная активность ^{137}Cs в сене многолетних бобово-злаковых трав в зависимости от доз фосфорных и калийных удобрений, Бк/кг

Вариант опыта	Годы			Среднее значение	Процент к контролю
	2012	2013	2014		
Первый укос					
1. Контроль	40,50±12,46	36,37±10,78	29,77±8,91	35,55	100
2. $P_{90}K_{120}$	23,26±10,14	29,13±8,57	23,11±6,93	25,17	71
3. $P_{90}K_{180}$	24,10±5,87	27,87±7,75	22,79±6,23	24,92	70
4. $P_{90}K_{240}$	12,67±5,52	17,17±5,57	17,60±5,28	15,81	44
Второй укос					
1. Контроль	71,36±21,48	123,52±37,54	256,48±76,94	150,45	100
2. $P_{90}K_{120}$	42,64±12,87	87,32±26,19	167,29±46,22	99,08	66
3. $P_{90}K_{180}$	37,63±11,57	63,39±19,02	99,77±29,93	66,93	44
4. $P_{90}K_{240}$	27,04±8,06	59,48±17,82	60,55±18,21	49,02	33

Фосфорные и калийные удобрения, внесенные под первый укос трав в дозах $P_{90}K_{120}$, при содержании в почве P_2O_5 737 и K_2O – 665 мг/кг почвы, уменьшали

накопление ^{137}Cs в зависимости от года пользования трав в сене первого укоса от 20 до 43 %, в сене второго укоса – от 29 до 40 %, а в среднем снижение составило 30 и 34 %, соответственно.

Применение под первый укос трав дозы калия 180 кг/га также было эффективным. активность радионуклида в сене уменьшилась в среднем с 25,17 до 15,81 Бк/кг или в 1,6 раза. Подкормка трав под второй укос калием в дозе 60 кг/га на фоне $P_{90}K_{120}$ (вариант 3) способствовала уменьшению содержания ^{137}Cs в сене по отношению к контролю в среднем в 2,2 раза, по отношению к варианту с $P_{90}K_{120}$ – в 1,5 раза. При внесении K_{60} под второй укос на фоне $P_{90}K_{180}$ (вариант 4) также наблюдалось снижение активности ^{137}Cs в сене по сравнению с вариантом 3 с 66,93 до 49,02 Бк/кг.

Расчеты коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в многолетние травы показали следующее. За годы исследований в зависимости от метеорологических условий вегетационных периодов различия в переходе ^{137}Cs в многолетние травы первого укоса достигали 1,7 раза, второго укоса – 4,3 раза. На контрольном варианте коэффициент перехода изменялся по годам для трав первого укоса незначительно – 0,21–0,24 Бк/кг: кБк/м^2, тогда как для второго укоса он варьировал от 0,47 до 1,57 0,088 Бк/кг: кБк/м^2 (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты перехода ^{137}Cs в сено многолетних бобово-злаковых трав в зависимости от доз фосфорных и калийных удобрений, Бк/кг

Вариант опыта	Годы			Среднее значение	Процент к контролю
	2012	2013	2014		
Первый укос					
1. Контроль	0,21	0,24	0,21	0,22	100
2. $P_{90}K_{120}$	0,13	0,18	0,18	0,16	73
3. $P_{90}K_{180}$	0,14	0,16	0,17	0,16	73
4. $P_{90}K_{240}$	0,07	0,11	0,12	0,10	45
Второй укос					
1. Контроль	0,47	0,82	1,57	0,95	100
2. $P_{90}K_{120}$	0,26	0,52	1,12	0,63	66
3. $P_{90}K_{180}$	0,22	0,42	0,65	0,43	45
4. $P_{90}K_{240}$	0,16	0,39	0,39	0,31	33

Фосфорные и калийные удобрения в дозах соответственно 90 и 120 кг/га снизили параметры перехода ^{137}Cs из почвы в травы первого и второго укосов на 27–34 %. При внесении под второй укос K_{60} на фоне $P_{90}K_{120}$ показатель перехода ^{137}Cs из почвы в растения снизился с 0,63 до 0,43 Бк/кг: кБк/м^2. Применение под первый укос $P_{90}K_{180}$ и под второй укос K_{60} (вариант 4) уменьшило коэффициент перехода ^{137}Cs по отношению к варианту 3 ($P_{90}K_{180}$) в травы первого укоса с 0,16 до 0,10 Бк/кг: кБк/м^2, в травы второго укоса – с 0,43 до 0,31 Бк/кг: кБк/м^2.

В результате статистической обработки 3-летних данных установлена тесная обратно пропорциональная зависимость коэффициентов перехода радионуклида из почвы в сено многолетних бобово-злаковых трав от уровня продуктивности. Величина достоверности аппроксимации (R^2) составила 0,78. С повышением урожайности наблюдалось уменьшение параметра перехода ^{137}Cs в сено (рис. 3).

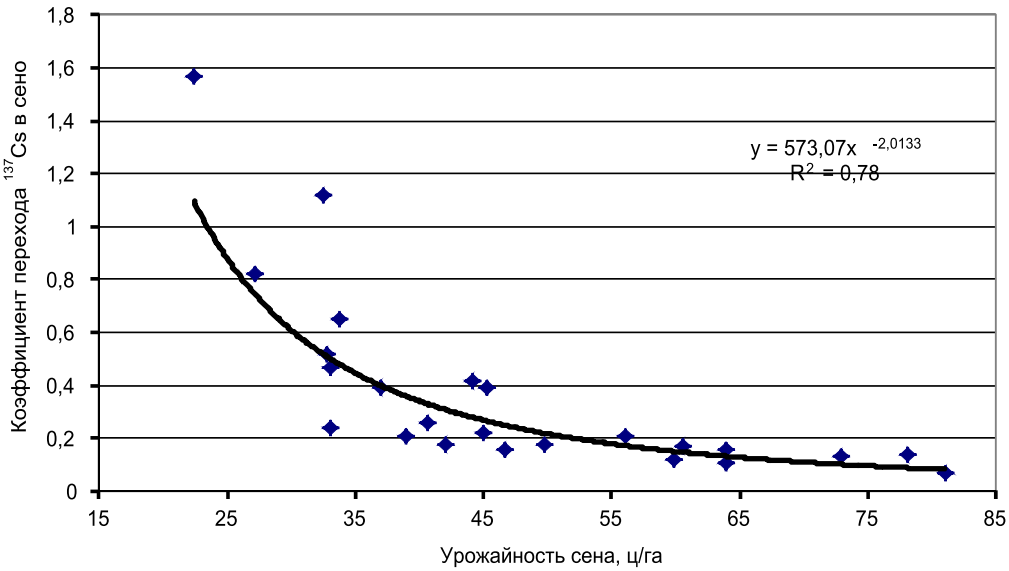

Рис. 3. Зависимость коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в сено многолетних бобово-злаковых трав от уровня их продуктивности

Проведен сравнительный анализ коэффициентов перехода ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы и сено многолетних бобово-злаковых трав на торфяно-глеевой, торфяно-болотной и дерново-подзолистой супесчаной почвах (рис. 4). Для анализа использованы средние коэффициенты перехода ^{137}Cs в зерно и сено на дерново-подзолистой супесчаной и торфяно-болотной почвах, рекомендуемые для прогнозирования загрязнения продукции растениеводства [11].

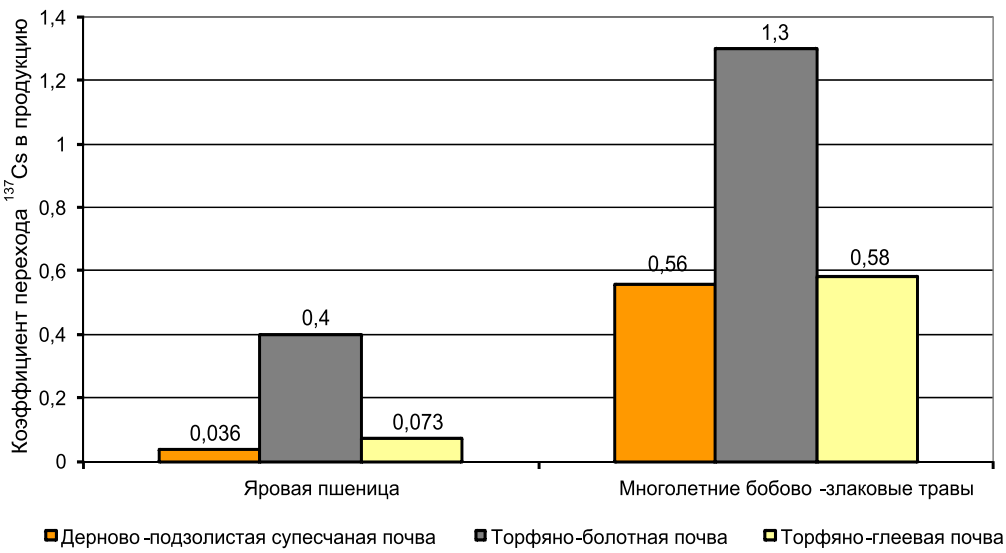

Рис. 4. Значения коэффициентов перехода ^{137}Cs из почв в зерно яровой пшеницы и сено многолетних бобово-злаковых трав

Как видно из приведенных данных, среднее значение коэффициента перехода ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы на торфяно-глеевой почве выше, чем на дерново-подзолистой супесчаной почве в 2 раза, но ниже по сравнению с торфяно-болотной почвой более чем в 5 раз. Параметры перехода радионуклида в сено многолетних бобово-злаковых трав на торфяно-глеевой и дерново-подзолистой почвах близкие по значению между собой 0,58 и 0,56 Бк/кг: кБк/м^2 соответственно, а по сравнению с торфяно-болотной почвой – ниже в 2,2 раза.

ВЫВОДЫ

1. В зависимости от условий вегетационных периодов различия по годам в активности ^{137}Cs в зерне яровой пшеницы достигали 2,7 раз, в сене многолетних бобово-злаковых трав – 3,6 раз, минимальные и максимальные значения между укосами достигали 8,6 раз. Такие колебания в содержании радионуклида в продукции в значительной степени обусловлены уровнями формируемой продуктивности возделываемых культур. Установлены тесные обратно пропорциональные зависимости коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в зерно яровой пшеницы и сено многолетних трав от урожайности с величинами достоверности аппроксимации (R^2) 0,61 и 0,78 соответственно.

2. Между содержанием подвижного калия в почве и поступлением ^{137}Cs в продукцию существует тесная обратно пропорциональная взаимосвязь R^2 = 0,55. Наиболее существенное снижение коэффициентов перехода ^{137}Cs в растения наблюдается при повышении обеспеченности почвы K_2O в диапазоне от 200 до 700 мг/кг почвы.

3. На торфяно-глеевой почве с содержанием P_2O_5 737–748 мг/кг и K_2O 625–665 мг/кг наиболее эффективным под яровую пшеницу является применение фосфорных и калийных удобрений в дозах $P_{60}K_{120}$, снижающее поступление ^{137}Cs в зерно в среднем на 24 %. Внесение K_{160} не приводит к дальнейшему существенному снижению перехода радионуклида в продукцию. При возделывании многолетних бобово-злаковых трав максимальное снижение содержания ^{137}Cs в сене первого укоса в 2,2 раза, в сене второго укоса в 3,0 раза обеспечивает применение фосфорных удобрений в дозе P_{60} и калийных удобрений в дозе K_{240} (K_{180} под первый укос и K_{60} под второй укос).

4. На торфяно-глеевой почве в отличие от торфяно-болотной почвы коэффициенты перехода ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы ниже в среднем в 5 раз, в сено многолетних бобово-злаковых трав – в 2 раза. Однако по сравнению с дерново-подзолистой супесчаной почвой параметры миграции радионуклида в зерно яровой пшеницы выше в 2 раза, а в сено многолетних бобово-злаковых трав – близкие по значению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сысоева, А.А.* Экспериментальное исследование и моделирование процессов, определяющих подвижность ^{90}Sr и ^{137}Cs в системе почва–растение: автореф. дис. … канд. биол. наук / А.А. Сысоева. – Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2004. – 29 с.

2. Национальный доклад о состоянии, использовании и охране земельных ресурсов (по сост. на 1 янв. 2011 г.) / Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь; под ред. Г.И. Кузнецова. – Минск: БелНИЦзем, 2011. – 184 с.

3. *Мееровский, А.С.* Проблемы использования и сохранения торфяных почв / А.С. Мееровский, В.П. Трибис // Новости науки и технологий. – 2010. – № 4(23). – С. 3–9.

4. *Путятин, Ю.В.* Минимизация поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию / Ю.В. Путятин. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 268 с.

5. *Соколик, Г.А.* Действие фульво- и гуминовых кислот на механизмы накопления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr растительными клетками / Г.А. Соколик // Радиоэкология торфяных почв: материалы Междунар. конф., Санкт-Петербургский гос. аграр. ун-т. – С-Пб, 1994. – С. 23–24.

6. 20 лет после чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление. Национальный доклад; под ред. В.Е. Шевчука, В.Л. Гурачевского. – Минск: Комитет по проблемам преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров Респ. Беларусь, 2006. – 112 с.

7. *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.

8. *Путятин, Ю.В.* Влияние кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы и доз калийных удобрений на переход ^{137}Cs и ^{90}Sr в яровую пшеницу / Ю.В. Путятин, Т.М. Серая, О.М. Петрикевич // Почвоведение и агрохимия. – 2004. – Вып. 33. – С. 163-169.

9. *Богдевич, И.М.* Урожай и поступление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в сельскохозяйственные культуры в зависимости от доз калийных удобрений / И.М. Богдевич // Почвенные исследования и применение удобрений. – 2003. – № 27. – С. 158-168.

10. Quantities, Units and Terms in Radioecology. International Commission on Radiation Units and Measurements. ICRU Report 65 // J. ICRU. – 2001. – V. 1, № 2. – P. 2–44.

11. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 годы. – Минск: Департамент по ликвидации катастрофы на ЧАЭС, 2012. – 121 с.

12. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: методические указания / И.М. Богдевич [и др.]; под ред. И.М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 48 с.

13. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26212–91. – Введ. 1993.07.01. – Минск: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.

14. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение pH по методу ЦИНАО: ГОСТ 26483–85. – Введ. 07.01.86. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1987. – 4 с.

15. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26207–91. – Введ. 07.01.93. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 6 с.

16. Почвы. Методы определения общего азота: ГОСТ 26107-84. – Введ. 07.01.85. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1985. – 6 с.

17. Почвы. Отбор проб: ГОСТ 28168-89. – Введ. 01.04.90. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.

18. СТБ 1056.98. Радиационный контроль. Отбор проб сельхозсырья и кормов. – Введ. 01.07.1998. – Минск: Белстандарт, 1998. – 7 с.

19. СТБ 1059.98. Радиационный контроль. Подготовка проб для определения ^{90}Sr и ^{137}Cs. – Введ. 01.07.1998. – Минск: Белстандарт,1998. – 22 с.

20. *Доспехов, Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

21. ГН №10–117–99. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99): утвержден постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь № 6 от 26.04.1999.

22. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»: утв. решением Комиссии Таможенного союза № 880 от 9.12.2011.

23. *Богдевич, И.М.* Прогноз накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в кормах по степени окультуренности дерново-подзолистых почвах / И.М. Богдевич, А.Г. Подоляк // Агрохимический вестник. – 2004. – № 3. – С. 28–32.

24. *Путятин, Ю.В.* Динамика радиологической эффективности калийных удобрений и обеспеченности почв подвижным калием на накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr сельскохозяйственными культурами / Ю.В. Путятин // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 2(41). – С. 224–234.

ACCUMULATION OF ^{137}CS IN SPRING WHEAT AND PERENNIAL GRASSES ON PEATY GLEY SOIL DEPENDING ON POTASSIUM NUTRITION LEVELS

N.N. Tsybulka, A.V. Shashko

Summary

On peaty gley soil the authors studied the effect of increasing rates of potassium fertilizers and soil provision with mobile potassium on entry of ^{137}Cs into grain of spring wheat and hay of perennial grasses. It was established that between the content of mobile potassium in soil and the entry of ^{137}Cs into products there was a strong inverse relationship ($R^2 = 0,55$). The most significant decrease in the transfer factor of ^{137}Cs into plants was observed in case of increasing soil provision with K_2O in the range of 200–700 mg/kg.

On condition of content of P_2O_5 737–748 mg/kg and K_2O 625–665 mg/kg in soil, the most effective under spring wheat was the use of phosphate and potash fertilizers in $R_{60}K_{120}$ rates, reducing ^{137}Cs grain intake by an average of 24 %. During cultivation of perennial grasses the maximum reduction of ^{137}Cs in hay (2.2–3.0 times) was provided by the use of phosphate fertilizers in rates of P_{60} and potash fertilizers in rates of K_{240}.

On peaty gley soil, in contrast to the peat-bog soil, the ^{137}Cs transfer factor into grain of spring wheat was 5 times below the average one; into hay of perennial grasses it was 2 times lower. In addition, in comparison with sod-podzolic sandy loam soil, the parameters of ^{137}Cs migration into grain of spring wheat were 2 times higher, into hay of perennial grasses the parameters showed similar values.

Поступила 27.11.16