

Радиологическая эффективность применения калийных удобрений под яровую пшеницу и многолетние бобово-злаковые травы на торфяных почвах

А. В. Шашко, кандидат с.-х. наук
Полесский государственный университет

(Дата поступления статьи в редакцию 11.03.2022)

На торфяно-глеевой почве изучено влияние возрастающих доз калийных удобрений и обеспеченности почвы подвижным калием на поступление ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы и сено многолетних бобово-злаковых трав. При содержании в почве P_2O_5 748 мг/кг и K_2O 625 мг/кг наиболее эффективным под яровую пшеницу является применение фосфорных и калийных удобрений в дозах $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$, снижающее поступление ^{137}Cs в зерно в среднем на 24 %. При возделывании многолетних бобово-злаковых трав максимальное снижение содержания ^{137}Cs в сене (в 2,2–3,0 раза) обеспечивает применение фосфорных удобрений в дозе P_{60} и калийных удобрений в дозе K_{240} .

On peat-gley soil, the effect of increasing doses of potash fertilizers and soil supply with mobile potassium on the intake of ^{137}Cs in spring wheat grain and hay of perennial legume-grass grasses was studied. With the content of P_2O_5 748 mg/kg and K_2O 625 mg/kg in the soil, the most effective under spring wheat is the use of phosphorus and potassium fertilizers in doses of $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$, which reduces the flow of ^{137}Cs into grain by an average of 24 %. When cultivating perennial legumes and grasses, the maximum reduction in the content of ^{137}Cs in hay (2.2–3.0 times) is ensured by the use of phosphorus fertilizers at a dose of P_{60} and potash fertilizers at a dose of K_{240} .

Введение

В настоящее время в сельскохозяйственном пользовании находится 825,4 тыс. га земель, загрязненных ^{137}Cs в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС [1]. Проблемы в использовании загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных земель сконцентрированы преимущественно на легких по гранулометрическому составу песчаных, переувлажненных аллювиальных, торфяно-болотных, торфяно-глеевых, торфянисто-глеевых и торфяно-минеральных почвах разной степени деградации, которые характеризуются высокими параметрами перехода ^{137}Cs в растениеводческую продукцию. Установлено, что количественные параметры перехода ^{137}Cs в продукцию сельскохозяйственных культур на гидроморфных торфяных почвах в 1,5–6,0 раз выше по сравнению с почвами автоморфного ряда. Эти почвы являются наиболее критичными для получения сельскохозяйственной продукции с допустимым содержанием радионуклидов [2]. Основным агрохимическим приемом, снижающим поступление ^{137}Cs в сельскохозяйственные культуры, является внесение калийных удобрений. На почвах разного генезиса под влиянием калия поступление ^{137}Cs в сельскохозяйственные культуры может уменьшаться от 2 до 20 раз [3]. Положительная роль его в снижении поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию возрастает на фоне оптимальных параметров минерального питания растений [4].

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.

Методика и объекты исследований

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 %, $\text{N}_{\text{общ.}}$ – 1,71 %, pH в KCl – 5,44; подвижные формы (в 0,2 М 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 [5] ко второй группе (1,0–4,9 Ки/км²) по степени загрязнения ^{137}Cs . Плотность загрязнения колебалась от 3,2 до 4,5 Ки/км² (в среднем 4,0 Ки/км²) на опытном участке с яровой пшеницей и от 4,1 до 4,7 Ки/км² (в среднем 4,3 Ки/км²) – 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. $\text{P}_{60}\text{K}_{80}$;
3. $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$;
4. $\text{P}_{60}\text{K}_{160}$.

Варианты опыта с многолетними бобово-злаковыми травами:

1. Без удобрений (контроль);
2. $\text{P}_{90}\text{K}_{120}$ – под 1-й укос;
3. $\text{P}_{90}\text{K}_{180}$ (K_{120} – под 1-й укос + K_{60} – под 2-й укос);
4. $\text{P}_{90}\text{K}_{240}$ (K_{180} – под 1-й укос + K_{60} – под 2-й укос).

На пробных (реперных) площадках размером 1 м² в производственных посевах отбирали сопряженные почвенные и растительные пробы. В почвенных пробах определяли активность ^{137}Cs и агрохимические показатели



Опытный участок яровой пшеницы



Опытный участок бобово-злаковых трав

(pH_{KCl} , содержание P_2O_5 и K_2O), в растительных пробах (зерне яровой пшеницы) – удельную активность ^{137}Cs .

Результаты исследований и их обсуждение

Проведенные нами исследования определили влияние разных доз калийных удобрений на поступление ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы и сено многолетних бобово-злаковых трав, а также установлены зависимости между содержанием подвижного калия в почве и коэффициентом перехода радионуклида в продукцию. В наших исследованиях при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs до $5,0 \text{ Ки/км}^2$ 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 г. $7,11 \text{ Бк/кг}$, в 2013 г. – $18,80$ и в 2014 г. – $16,29 \text{ Бк/кг}$. Различия в содержании ^{137}Cs по годам составляли 2,7 раза. 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 4 до 27 % в зависимости от года, а в среднем на 18 % (таблица 1).

Более низкие значения отмечались во влажные годы. По степени увлажнения 2012 и 2014 г. характеризовались как влажные – ГТК составили соответственно 1,66 и 2,02, а 2013 г. был слабозасушливым – ГТК равен 1,16. Активность ^{137}Cs в зерне при увеличении дозы в 1,5

раза (K_{120}) уменьшилась в среднем на 26 % к контролю и на 8 % к варианту с K_{80} . Удвоение дозы калийных удобрений (K_{160}) способствовало снижению содержания радионуклида в продукции по отношению к варианту $P_{60}K_{120}$ на 4 %.

Расчеты коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в зерно яровой пшеницы за годы исследований показали, что в зависимости от метеорологических условий вегетационных периодов различия в переходе ^{137}Cs в зерно составили 1,5–1,8 раза. В контроле коэффициент перехода варьировал по годам от 0,064 до 0,113 $\text{Бк/кг} : \text{кБк/м}^2$, в среднем был равен 0,088 $\text{Бк/кг} : \text{кБк/м}^2$. В варианте с внесением фосфорных и калийных удобрений в дозах соответственно 60 и 80 кг/га он снизился по отношению к контролю в среднем на 13 %, и величина его изменялась по годам от 0,058 до 0,086 при среднем значении 0,076 $\text{Бк/кг} : \text{кБк/м}^2$. 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 $\text{Бк/кг} : \text{кБк/м}^2$.

В качестве защитной меры на загрязненных радионуклидами почвах применение повышенных доз калийных удобрений приводит к увеличению затрат на производство растениеводческой продукции. Поэтому определение пороговых значений содержания K_2O в почве, при которых наблюдается минимальное накопление ^{137}Cs в растениях, необходимо. По результатам анализа сопряженных почвенных и растительных проб, отобран-

Таблица 1 – Параметры накопления ^{137}Cs яровой пшеницей в зависимости от доз фосфорных и калийных удобрений

Вариант	Годы			Среднее значение	Процент к контролю
	2012	2013	2014		
<i>Удельная активность ^{137}Cs в зерне, Бк/кг</i>					
1. Контроль	7,11±1,99	18,80±4,93	16,29±4,11	14,07	100
2. $P_{60}K_{80}$	6,82±1,72	13,72±3,19	14,25±3,09	11,60	82
3. $P_{60}K_{120}$	5,84±1,38	12,81±3,29	12,64±3,32	10,43	74
4. $P_{60}K_{160}$	5,81±1,56	10,50±2,56	13,38±3,39	9,89	70
<i>Коэффициенты перехода ^{137}Cs в зерно, Бк/кг : кБк/м²</i>					
1. Контроль	0,064	0,113	0,087	0,088	100
2. $P_{60}K_{80}$	0,058	0,086	0,086	0,077	87
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

ных в производственных посевах с разным содержанием подвижного калия в почве, рассчитана корреляционно-регрессионная зависимость между обеспеченностью антропогенно-преобразованной торфяной почвы K_2O и величиной коэффициента 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 связь 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 уменьшение данного показателя наблюдалось при повышении обеспеченности почвы K_2O в диапазоне от 200 до 700 мг/кг почвы (рисунок 1).

Накопление ^{137}Cs многолетними бобово-злаковыми травами зависело от метеорологических условий вегетационных периодов, укосов и уровней применения минеральных удобрений.

При плотности загрязнения торфяной маломощной почвы ^{137}Cs 4,3 Ки/км² содержание радионуклида колебалось по годам в 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 раза. В целом за годы исследованной удельная активность ^{137}Cs в сене не превышала 350 Бк/кг при допустимом уровне 1300 Бк/кг для скармливания дойному поголовью и получения цельного молока (таблица 2). 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 29 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 действующего вещества 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 бобово-злаковые травы показали следующее. За годы исследований в зависимости от метеорологических условий вегетационных периодов различия в переходе ^{137}Cs в сено первого укоса достигали 3,0 раза, в сене второго укоса – 4,0 раза. В контрольном варианте (без удобрений) коэффициент перехода изменялся по годам для трав первого укоса незначительно – в пределах 0,21–0,24 Бк/кг : кБк/м², тогда как для второго укоса он варьировал от 0,47 до 1,57 Бк/кг : кБк/м² (таблица 3). Фосфорные и калийные

Таблица 2 – Удельная активность ^{137}Cs в сене многолетних бобово-злаковых трав в зависимости от доз фосфорных и калийных удобрений

Вариант	Удельная активность ^{137}Cs в сене, Бк/кг				Процент к контролю
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	среднее	
<i>Первый укос</i>					
1. Контроль	40,50 ±9,96	36,37 ±10,78	29,77 ±6,91	35,55	100
2. $P_{90}K_{120}$	23,26 ±6,54	29,13 ±7,57	23,11 ±5,93	25,17	71
3. $P_{90}K_{180}$	24,10 ±5,87	27,87 ±6,75	22,79 ±5,23	24,92	70
4. $P_{90}K_{240}$	12,67 ±3,52	17,17 ±4,57	17,60 ±4,28	15,81	44
<i>Второй укос</i>					
1. Контроль	71,36 ±17,48	123,52 ±30,54	256,48 ±69,94	150,45	100
2. $P_{90}K_{120}$	42,64 ±11,87	87,32 ±23,19	167,29 ±40,22	99,08	66
3. $P_{90}K_{180}$	37,63 ±9,57	63,39 ±16,02	99,77 ±25,93	66,93	44
4. $P_{90}K_{240}$	27,04 ±7,06	59,48 ±13,82	60,55 ±14,21	49,02	33

Таблица 3 – Коэффициенты перехода ^{137}Cs в сено многолетних бобово-злаковых трав в зависимости от доз фосфорных и калийных удобрений

Вариант	Коэффициенты перехода ^{137}Cs в сено, Бк/кг : кБк/м ²				Процент к контролю
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	среднее	
<i>Первый укос</i>					
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
<i>Второй укос</i>					
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

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 $\text{P}_{90}\text{K}_{120}$ показатель перехода ^{137}Cs из почвы в растения снизился с 0,63 до 0,43 Бк/кг : кБк/м².

Применение под первый укос $\text{P}_{90}\text{K}_{180}$ и под второй укос K_{60} (вариант 4) уменьшило коэффициент перехода ^{137}Cs по отношению к варианту 3 ($\text{P}_{90}\text{K}_{180}$) в травы первого укоса с 0,16 до 0,10 Бк/кг : кБк/м², в травы второго укоса – с 0,43 до 0,31 Бк/кг : кБк/м².

Проведен сравнительный анализ коэффициентов перехода ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы и сено многолетних бобово-злаковых трав на торфянисто-глеевой и торфяной маломощной, торфяно-болотной и дерново-подзолистой супесчаной почве (рисунок 2).

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 [1]. Как видно из приведенных данных, среднее значение коэффициента перехода ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы на торфянисто-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 торфяной маломощной и дерново-подзолистой почвах близкие по значению между собой – 0,58 и 0,56 Бк/кг : кБк/м² соответственно, а по сравнению с торфяно-болотной почвой – ниже в 2,2 раза.

В результате статистической обработки данных, полученных в 3-летних опытах, установлена тесная обратно пропорциональная

зависимость перехода радионуклида из почвы в зерно яровой пшеницы и сено многолетних бобово-злаковых трав от уровня урожайности этих культур при внесении возрастающих доз калийных удобрений.

Величина достоверности аппроксимации (R^2) составила для яровой пшеницы 0,61, для многолетних трав – 0,78. С повышением доз калийных удобрений наблюдалось увеличение урожайности зерна и сена

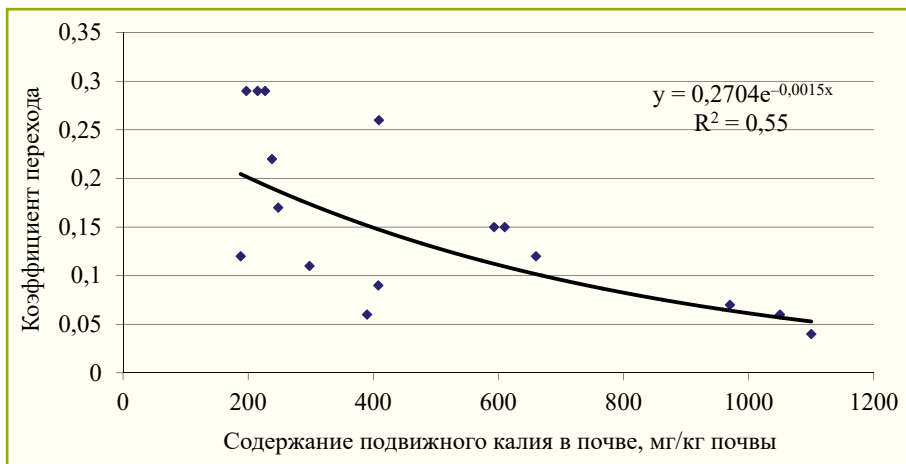


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента перехода ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы от содержания подвижного калия в почве

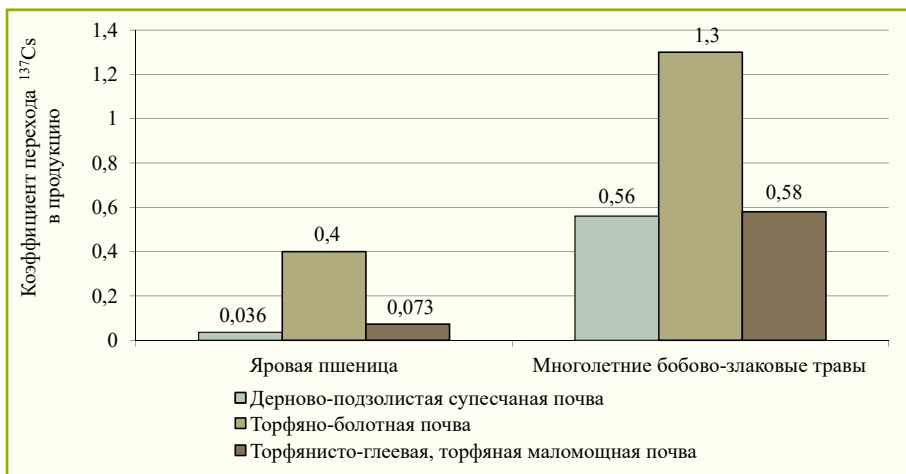
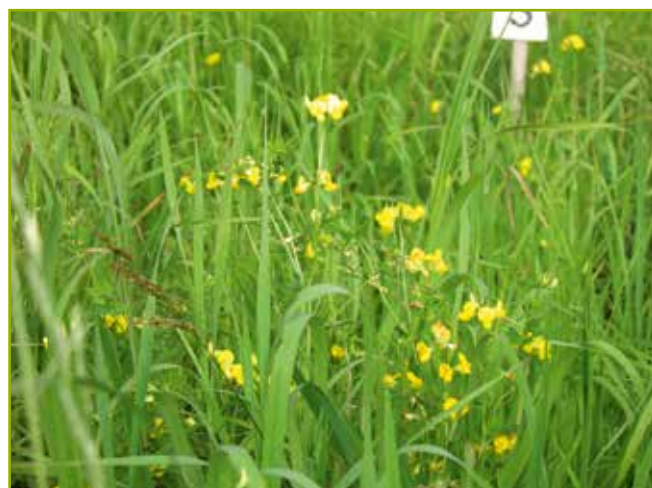


Рисунок 2 – Значения коэффициентов перехода ^{137}Cs из почв в зерно яровой пшеницы и сено многолетних бобово-злаковых трав



Злаковые травы и льдвенец



Опытный участок пшеницы

и соответственно уменьшение параметра перехода ^{137}Cs в продукцию (рисунок 3, 4).

Заключение

Между содержанием подвижного калия в почве и поступлением ^{137}Cs в продукцию существует тесная обратно пропорциональная связь ($r = 0,74$). Наиболее существенное снижение коэффициента перехода ^{137}Cs в растения наблюдается при повышении обеспеченности почвы K_2O в диапазоне от 200 до 700 мг/кг почвы.

На торфянисто-глеевой почве с содержанием P_2O_5 737–748 мг/кг и K_2O 625–665 мг/кг применение под яровую пшеницу фосфорных и калийных удобрений в дозах $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ обеспечивает уменьшение поступления ^{137}Cs в зерно в среднем на 26 %, а внесение K_{160} не приводит к дальнейшему существенному снижению перехода радионуклида в продукцию. В многолетних бобово-злаковых травах максимальное снижение содержания ^{137}Cs в сене первого и второго укоса – соответственно 2,2 и 3,0 раза – обеспечивает применение $\text{P}_{60}\text{K}_{240}$ (K_{180} под первый укос и K_{60} под второй укос).

На торфянисто-глеевой и торфяной маломощной почве в отличие от исходной 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.

Литература

1. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы / Н. Н. Цыбулько [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, М-во с.-х. и продовольствия Респ. Беларусь, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 144 с.
2. Осушенные торфяные и дегроторфяные почвы в составе сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапа; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 215 с.
3. 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 Республики Беларусь, 2006. – 112 с.
4. Поведение ^{137}Cs в системе почва-растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклида в урожае / Р. М. Алексахин [и др.] // Агрохимия. – 1992. – № 8. – С. 127–138.
5. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики

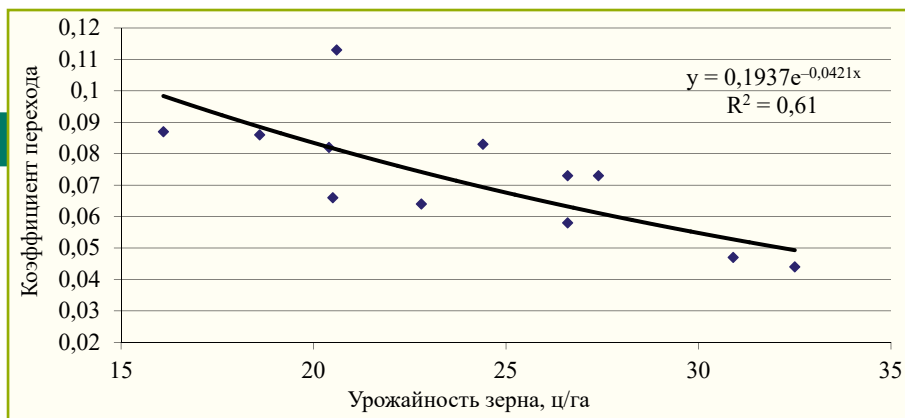


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента перехода ^{137}Cs из почвы в зерно яровой пшеницы от уровня продуктивности при внесении разных доз калийных удобрений

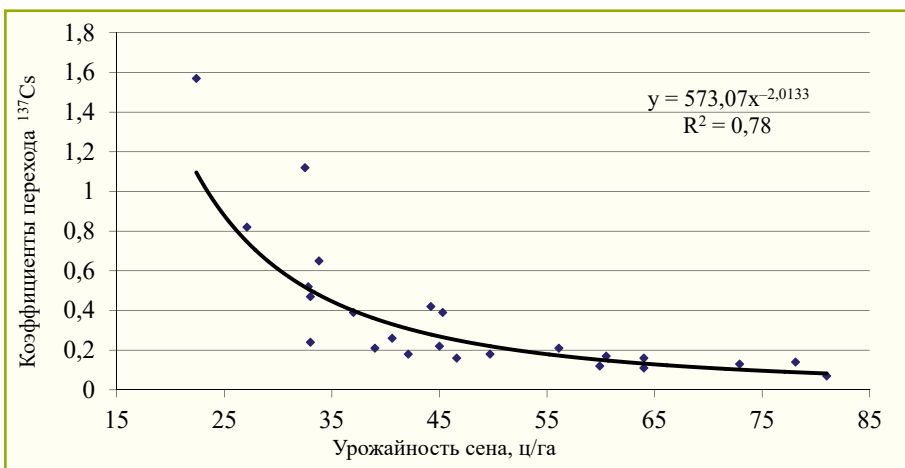


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента перехода ^{137}Cs из почвы в сено многолетних бобово-злаковых трав от уровня их продуктивности при внесении разных доз калийных удобрений

Беларусь: методические указания / И. М. Богдевич [и др.]; под ред. И. М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 48 с.

