

ВЛИЯНИЕ ДОЗ АЗОТНЫХ И КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПОСТУПЛЕНИЕ ^{137}Cs В ЗЕРНО И УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА АНТРОПОГЕННО- ПРЕОБРАЗОВАННОЙ ТОРФЯНОЙ ПОЧВЕ

Н.Н. Цыбулько¹, А.А. Зайцев², Н.Н. Семененко³

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

²Брестский филиал РНИУП «Институт радиологии», г. Пинск, Беларусь

³Институт мелиорации, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Многочисленными исследованиями установлено, что генетические особенности почв оказывают существенное влияние как на процессы сорбции радионуклидов, так и на интенсивность перехода их в растения. Определение показателей подвижности и биологической доступности ^{137}Cs и ^{90}Sr на разных типах почв показало, что в зависимости от их свойств 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 пахотных земель значительные площади занимают торфяно-болотные почвы, а также антропогенно-преобразованные почвы, образовавшиеся в результате длительного использования и минерализации органического вещества торфяно-болотных почв. Органогенные почвы отличаются от минеральных более высокими параметрами поступления радионуклидов в растения и являются наиболее критичными для получения сельскохозяйственной продукции с допустимым содержанием радионуклидов.

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 [2–4].

В научно-исследовательской работе и практических рекомендациях для оценки поступления радионуклидов из почвы в растения используют такой показатель, как коэффициент перехода (K_n) – отношение удельной активности радионуклида в растениях к плотности загрязнения почвы на единицу площади (Бк/кг: кБк/м²). В международных публикациях используется аналогичный показатель – Aggregated transfer factor (T_{ag}) [5]. Для прогноза загрязнения радионуклидами продукции сельскохозяйственных культур разработаны усредненные K_n по основным типам почв [6]. В то же время для антропогенно-преобразованных торфяных почв

2. Плодородие почв и применение удобрений

эти показатели отсутствуют, что не позволяет прогнозировать накопление радионуклидов в растениеводческой продукции.

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 [7–10]. Положительная его роль в снижении поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию возрастает на фоне оптимальных параметров минерального питания растений [11, 12].

Снижение перехода радионуклидов в растения при внесении калийных удобрений существенно зависит от исходной обеспеченности почвы подвижным калием [13]. 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 [14].

В отличие от калия, азотные удобрения, особенно в повышенных дозах, увеличивают в 1,5–4,0 раза накопление радионуклидов в сельскохозяйственных культурах [12]. Принято считать, что основной причиной высокого перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в растения при внесении азотных удобрений является возможное подкисление почвенного раствора и в результате этого повышение подвижности в почве элементов питания, в том числе и радионуклидов.

Усиление поглощения ^{137}Cs при внесении азотных удобрений объясняется повышением количества подвижного радионуклида в почве под влиянием гидратированных ионов аммония, имеющих с радиоцезием сходный по величине ионный радиус и способных вытеснить его из мест сорбции в почвенный раствор [11]. Однако внесение нитратной формы азота также усиливает поглощение ^{137}Cs , хотя и в меньшей степени (в среднем в 2 раза), чем азот в аммиачной форме [15]. Предполагается, что повышенное накопление ^{137}Cs в растениях при внесении азота может происходить в результате сдвига в соотношениях элементов в почвенном растворе [16].

Установлено, что азотные удобрения усиливают поступление радионуклидов в растения при внесении их только в повышенных дозах, тогда как оптимальные дозы способствуют получению высокой урожайности культур с минимальным содержанием радионуклидов [17–19].

Действие азотных удобрений на миграцию радионуклидов в системе почва–растение зависит от соотношения азота и калия. Увеличение аккумуляции ^{137}Cs в растениях от азотных удобрений наблюдается при сужении соотношения доступных растениям азота и калия в почве ниже 1:3–1:4. Внесение калийных удобрений в более высоких дозах, чем азотных, способствует снижению загрязнения продукции. При расширении N:K более 1:3–1:4 существенного уменьшения накопления растениями ^{137}Cs не происходило [20].

Цель работы – изучить влияние уровней азотного и калийного питания яровой пшеницы на поступление ^{137}Cs в зерно на антропогенно-преобразованной торфяной почве.

. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2011–2013 гг. в условиях стационарного полевого опыта на территории землепользования СПК «Новое Полесье» Лунинецкого района Брестской области. Объектом исследования являлась антропогенно-преобразованная торфяная почва, подстилаемая с глубины 40–45 см песком, загрязненная ^{137}Cs с плотностью 144–156 кБк/м² (3,9–4,2 Ки/км²). Агрохимические показатели почвы (Ап): органическое вещество – 60–65%; общий азот – 1,43–1,71%; рН в КСl – 5,4–5,7; подвижные формы (в 0,2 М НСl) P_2O_5 – 582–752 и K_2O – 682–794 мг/кг почвы.

Возделывали яровую пшеницу сорта Ростань. Технология возделывания культуры соответствовала принятому отраслевому регламенту [13].

Схема опыта включала варианты: 1. Без удобрений (контроль); 2. $\text{P}_{60}\text{K}_{80}$; 3. $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$; 4. $\text{P}_{60}\text{K}_{160}$; 5. $\text{P}_{60}\text{K}_{120}+\text{N}_{60}$ (N_{30} – перед посевом + N_{30} – в фазу выхода в трубку растений); 6. $\text{P}_{60}\text{K}_{120}+\text{N}_{90}$ (N_{60} – перед посевом + N_{30} – в фазу выхода в трубку растений); 7. $\text{P}_{60}\text{K}_{120}+\text{N}_{120}$ (N_{90} – перед посевом + N_{30} – в фазу выхода в трубку растений); 8. $\text{P}_{60}\text{K}_{120}+\text{N}_{120}+\text{Cu}_{200}+\text{PP}$ (N_{90} – перед посевом + N_{30} – в фазу выхода в трубку растений + медь в дозе 200 г/га CuSO_4 + регулятор роста Терпал 2 л/га и Экосил 100 мл/га).

Фосфорные (суперфосфат аммонизированный) и калийные (калий хлористый) удобрения вносили перед посевом яровой пшеницы. Азотные удобрения применяли в форме мочевины (карбамида) в основное внесение (N^*) и в форме смеси растворов карбамида и аммиачной селитры (КАС) – в подкормку в начале фазы выхода в трубку растений (N^{**}).

Размещение делянок в опыте рендомизированное. Общая площадь делянки – 29 м², учетная площадь – 24 м². Повторность вариантов в опыте – четырехкратная.

Агрохимические показатели почв определяли по следующим методикам: органическое вещество – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212–91 [21]; рН_(КСl) – потенциометрическим методом по ГОСТ 26483–85 [22]; подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207–91 [23]; общий азот – по ГОСТ 26107–84 [24].

Отбор проб почвы для определения содержания ^{137}Cs проводили согласно методике [25], подготовку почвенных и растительных проб по методикам [26, 27]. 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 [28]. Для количественной оценки поступления ^{137}Cs из почвы в растения рассчитывали коэффициент перехода (K_p) – отношение удельной активности радионуклида в растениях к плотности загрязнения почвы на единицу площади (Бк/кг:кБк/м²).

Полученные данные обрабатывали методами дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [29] с использованием стандартного компьютерного программного обеспечения (*Excel 7.0, Statistic 7.0*).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За годы исследований метеорологические условия вегетационных периодов различались. По степени увлажнения 2011 г. и 2012 г. характеризовались хорошим увлажнением – ГТК составили 1,1 и 1,5 соответственно, 2013 г. отличался избыточной увлажненностью – ГТК равен 1,7. Удельная активность ^{137}Cs в зерне яровой пшеницы колебалась по годам в зависимости от гидрометеорологических условий вегетационных периодов.

На рисунке 1 приведены средние по годам данные содержания ^{137}Cs в зерне яровой пшеницы и диапазон их изменения (минимальные и максимальные значения) по вариантам опыта. В 2011 г. при нормальном увлажнении содержание ^{137}Cs в зерне в варианте без применения удобрений изменялось в пределах 6,7–8,1 Бк/кг (в среднем 7,4 Бк/кг). Применение фосфорных и калийных удобрений в дозах $\text{P}_{60}\text{K}_{80}$ достоверно снизило накопление ^{137}Cs , которое составило в среднем 5,9 Бк/кг ($\text{НСР}_{05} = 0,58$). Более высокие дозы калия 120 и 160 кг/га действующего вещества не привели к дальнейшему существенному снижению содержания радионуклида в товарной продукции.

В 2012 г., который также характеризовался хорошей увлажненностью, удельная активность ^{137}Cs в зерне яровой пшеницы колебалась на контрольном варианте в пределах 6,6–8,7 Бк/кг (в среднем 7,5 Бк/кг).

Фосфорные и калийные удобрения в дозах $\text{P}_{60}\text{K}_{80}$ обеспечили снижение накопления радионуклида в продукции, однако оно было несущественным. В то же время достоверное уменьшение содержания ^{137}Cs в зерне как к контролю, так и к варианту с $\text{P}_{60}\text{K}_{80}$ наблюдалось при внесении калийных удобрений в дозе 120 кг/га действующего вещества. Более высокая доза калия (K_{160}) не приводила к дальнейшему существенному снижению активности радиоцезия в зерне.

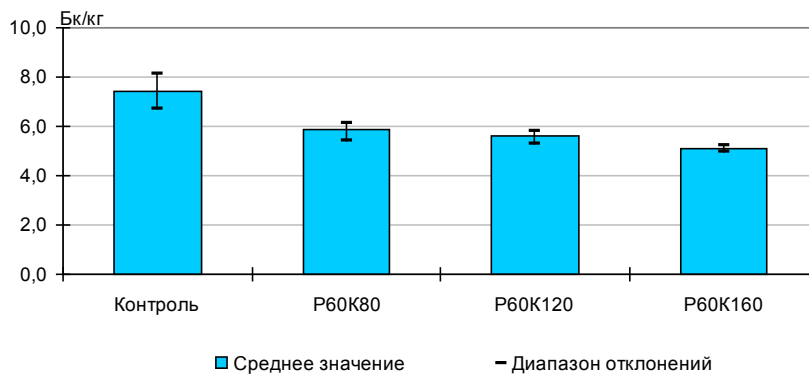
Вегетационный период 2013 г. отличался от 2011 г. и 2012 г. избыточной увлажненностью. Удельная активность ^{137}Cs в зерне яровой пшеницы в этот год была в среднем в 2,0–2,4 раза выше по сравнению с предыдущими годами. На контрольном варианте содержание его колебалось от 13,9 до 24,9 Бк/кг при среднем значении 18,2 Бк/кг.

На фоне внесения фосфорных и калийных удобрений в дозах соответственно 60 и 80 кг/га наблюдалось достоверное уменьшение накопления ^{137}Cs в зерне. К контролю снижение составило 26%. При более высоких дозах калийных удобрений K_{120} и K_{160} содержание радионуклида в продукции уменьшилось на 35–36% по отношению к контрольному варианту.

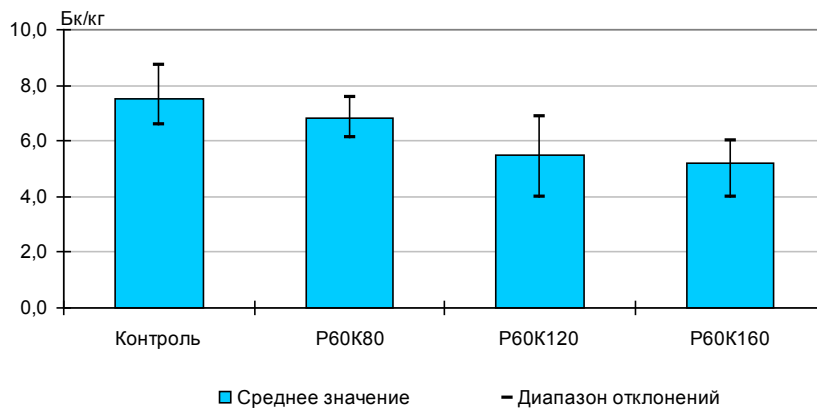
Азотные удобрения применяли под яровую пшеницу дробно перед посевом и в подкормку в фазу выхода в трубку растений в дозах от 60 до 120 кг/га действующего вещества на фоне $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$.

Влияние азотных удобрений на поступление радиоцезия в растения зависело от доз их внесения и метеорологических условий вегетационного периода в годы исследований. На рисунке 2 приведены средние по годам данные содержания ^{137}Cs в зерне яровой пшеницы и диапазон их изменения (минимальные и максимальные значения) по вариантам с азотными удобрениями.

2011 год



2012 год



2013 год

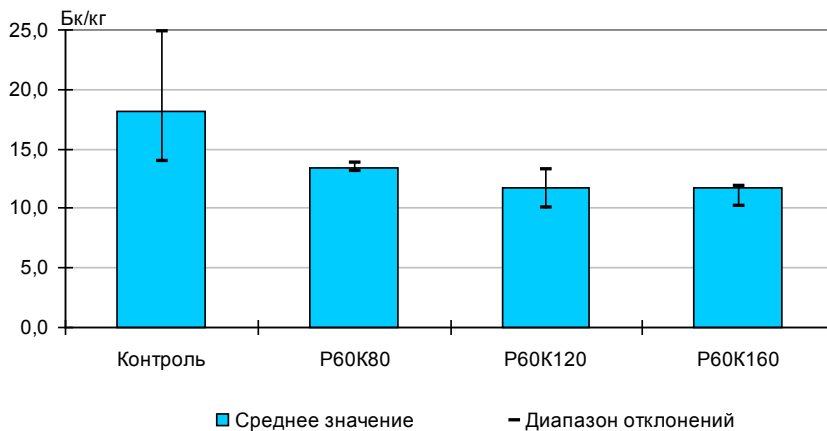


Рис. 1. Влияние доз калийных удобрений на содержание ^{137}Cs в зерне яровой пшеницы

2. Плодородие почв и применение удобрений

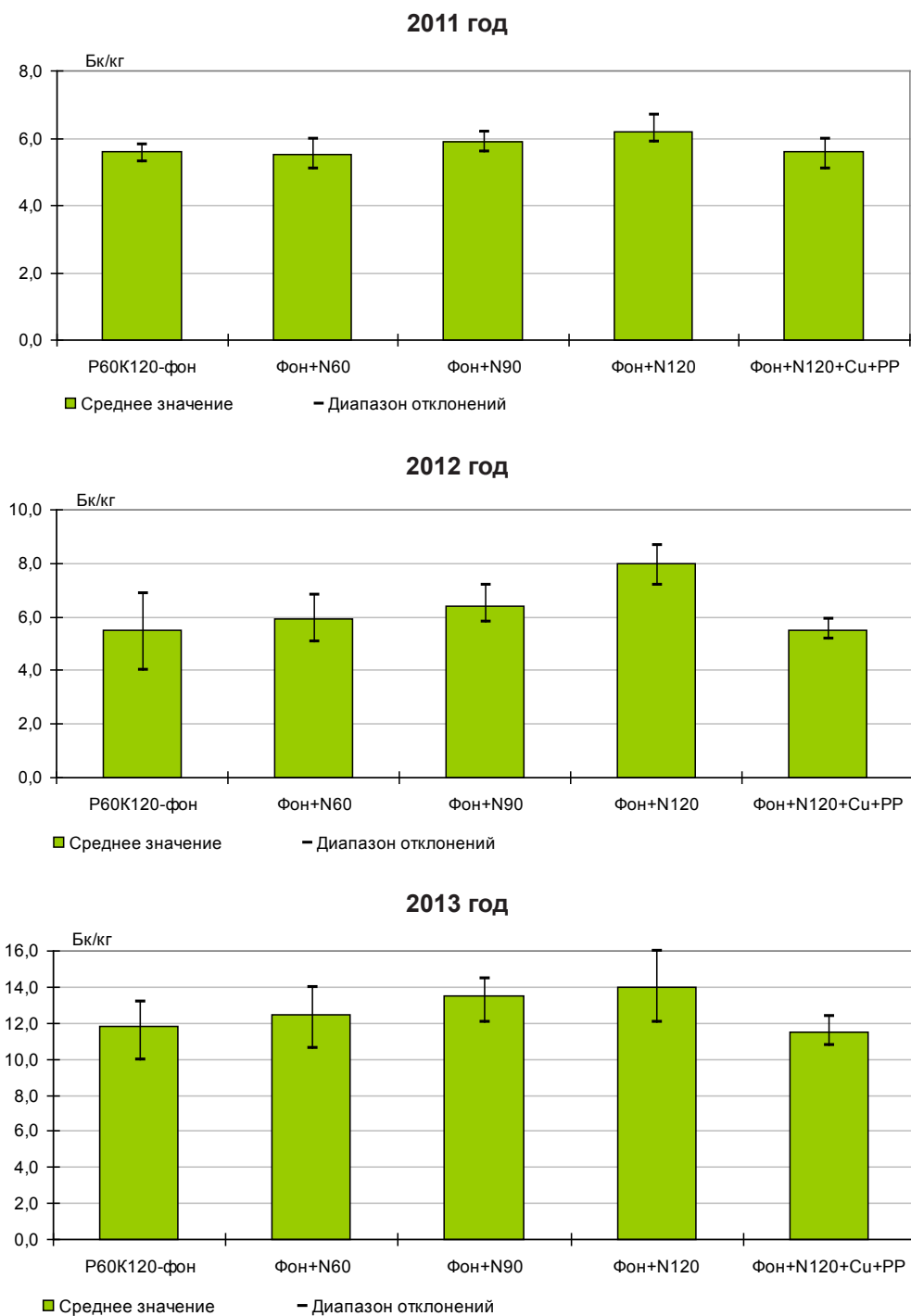


Рис. 2. Влияние доз азотных удобрений на содержание ^{137}Cs в зерне яровой пшеницы

В условиях 2011 г. при содержании ^{137}Cs в зерне на фосфорно-калийном фоне 5,6 Бк/кг применение азотных удобрений не привело к увеличению его накопления в продукции. Удельная активность ^{137}Cs в зерне изменялась по вариантам с разными дозами азота в пределах 5,5–6,3 Бк/кг при $\text{HCP}_{05} = 0,6$.

В 2012 г. при внесении N_{60} и N_{90} также не наблюдалось существенного увеличения накопления ^{137}Cs в зерне яровой пшеницы по отношению к фону $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$. Достоверное повышение содержания радионуклида в продукции отмечено только при применении 120 кг/га азота удобрений.

В условиях влажного вегетационного периода 2013 г. удельная активность ^{137}Cs в зерне в вариантах с разными дозами азотных удобрений колебалась в пределах 12,5–14,0 Бк/кг при содержании его на фосфорно-калийном фоне 11,8 Бк/кг и HCP_{05} , равным 3,0 Бк/кг, то есть различия между вариантами были несущественными.

В наших исследованиях изучена радиологическая эффективность внекорневой подкормки яровой пшеницы медьсодержащим удобрением и применения регулятора роста растений на фоне $\text{N}_{120}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$. Установлено, что во все годы исследований содержание ^{137}Cs в зерне в этом варианте было ниже по сравнению с вариантом $\text{N}_{120}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ и находилось на уровне варианта $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$.

Расчеты коэффициентов перехода радиоцезия 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 2–2,3 раза. На контрольном варианте коэффициент перехода варьировал по годам от 0,050 до 0,113 Бк/кг:кБк/м², а в среднем составил 0,076 Бк/кг:кБк/м² (табл. 1).

Применение фосфорных и калийных удобрений в дозах соответственно 60 и 80 кг/га действующего вещества снизило Kп ^{137}Cs в зерно на 20% по отношению к контролю. Величина его изменялась по годам от 0,042 до 0,083 при среднем значении 0,061 Бк/кг:кБк/м². Радиологически эффективным было также внесение дозы калия 120 кг/га. Коэффициент перехода радионуклида уменьшился по отношению к контрольному варианту на 30% и составил в среднем за 3 года исследований 0,053 Бк/кг:кБк/м². Применение K_{160} не привело к заметному уменьшению коэффициента перехода.

Азотные удобрения, вносимые в дозах 60, 90 и 120 кг/га на фоне $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$, привели к некоторому повышению коэффициентов перехода радиоцезия в зерно яровой пшеницы, однако они были значительно ниже по сравнению с контролем и находились на уровне варианта $\text{P}_{60}\text{K}_{80}$. Кроме этого, дополнительная обработка посевов медьсодержащим удобрением и регуляторами роста растений значительно снижали величину Kп .

Возделывание сельскохозяйственных культур в соответствии с законодательством Республики Беларусь разрешено на землях с плотностью загрязнения почв ^{137}Cs до 1480 кБк/м² (до 40 Ки/км²) и ^{90}Sr – до 111 кБк/м² (до 3,0 Ки/км²).

Для оптимизации размещения сельскохозяйственных культур по полям и рабочим участкам на загрязненных радионуклидами землях проводится оценка их радиологической пригодности на основе определения предельно допустимой плотности загрязнения почвы ^{137}Cs или ^{90}Sr [30].

2. Плодородие почв и применение удобрений

В условиях радиоактивного загрязнения земель наиболее жестко нормируются по содержанию радионуклидов продовольственные сельскохозяйственные культуры: зерновые (озимая рожь, озимая пшеница, ячмень, яровая пшеница, овес), зернобобовые (горох), картофель.

Таблица 1

Коэффициенты перехода ^{137}Cs из почвы в зерно яровой пшеницы

Варианты	Кп, Бк/кг:кБк/м ²			Среднее значение	
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Кп	% к контролю
1. Контроль	0,050	0,064	0,113	0,076	100
2. P ₆₀ K ₈₀	0,042	0,058	0,083	0,061	80
3. P ₆₀ K ₁₂₀	0,040	0,047	0,073	0,053	70
4. P ₆₀ K ₁₆₀	0,036	0,044	0,073	0,051	67
5. P ₆₀ K ₁₂₀ + N ₆₀	0,039	0,050	0,078	0,056	74
6. P ₆₀ K ₁₂₀ + N ₉₀	0,042	0,055	0,084	0,060	79
7. P ₆₀ K ₁₂₀ + N ₁₂₀	0,044	0,068	0,087	0,066	87
8. P ₆₀ K ₁₂₀ + N ₁₂₀ + Cu ₂₀₀ + PP	0,040	0,047	0,072	0,053	70
<i>НСР₀₅</i>	<i>0,0040</i>	<i>0,0090</i>	<i>0,0190</i>	<i>0,0106</i>	

В соответствии с Республиканскими допустимыми уровнями (РДУ), содержание ^{137}Cs в зерне на пищевые цели не должно превышать 90 Бк/кг, а в зерне на детское питание – 55 Бк/кг. Согласно Техническому регламенту Таможенного союза (ТР ТС 015/2011) «О безопасности зерна», предельно допустимый уровень ^{137}Cs в зерне, поставляемом на пищевые цели, составляет 60 Бк/кг.

Менее «жесткие» нормативы установлены на содержание ^{137}Cs в зерне на фураж. При получении нормативно чистого цельного молока (^{137}Cs < 100 Бк/л) допустимый уровень радионуклида в зернофураже составляет 150 Бк/кг, при получении нормативно чистого мяса (^{137}Cs < 500 Бк/л) на заключительной стадии откорма – 480 Бк/кг. Техническим регламентом (ТР ТС 021/2011) «О безопасности пищевой продукции» в рамках Таможенного союза установлен более «жесткий» по сравнению с РДУ–99 норматив на содержание радиоцезия в мясе, который составляет 200 Бк/кг.

На основе полученных в опыте значений коэффициентов перехода ^{137}Cs в зерно яровой пшеницы определены предельно допустимые плотности загрязнения почвы данным радионуклидом для получения разных видов конечной продукции (табл. 2).

**Предельно допустимые плотности загрязнения почвы ¹³⁷Cs
для получения разных видов конечной продукции**

Варианты	Зерно на пищевые цели			Зернофураж		
	РДУ 90 Бк/кг	РДУ 55 Бк/кг	ТР ТС 60 Бк/кг	РДУ-99 для цельного молока (100 Бк/л)	РДУ-99 для мяса (500 Бк/кг)	ТР ТС для мяса (200 Бк/кг)
Годы с нормальной увлажненностью вегетационного периода (ГТК = 1,1–1,5)						
1. Контроль	> 40,0	26,1	28,4	> 40,0	> 40,0	> 40,0
2. P ₆₀ K ₈₀	> 40,0	29,7	32,4	> 40,0	> 40,0	> 40,0
3. P ₆₀ K ₁₂₀	> 40,0	34,2	37,3	> 40,0	> 40,0	> 40,0
4. P ₆₀ K ₁₆₀	> 40,0	37,2	40,5	> 40,0	> 40,0	> 40,0
5. P ₆₀ K ₁₂₀ + N ₆₀	> 40,0	33,4	36,4	> 40,0	> 40,0	> 40,0
6. P ₆₀ K ₁₂₀ + N ₉₀	> 40,0	30,6	33,4	> 40,0	> 40,0	> 40,0
7. P ₆₀ K ₁₂₀ + N ₁₂₀	> 40,0	26,5	29,0	> 40,0	> 40,0	> 40,0
8. P ₆₀ K ₁₂₀ + N ₁₂₀ + Cu ₂₀₀ + PP	> 40,0	34,2	37,3	> 40,0	> 40,0	> 40,0
Годы с избыточной увлажненностью вегетационного периода (ГТК ≥ 1,7)						
1. Контроль	21,5	13,2	14,4	35,9	> 40,0	> 40,0
2. P ₆₀ K ₈₀	29,3	17,9	19,5	> 40,0	> 40,0	> 40,0
3. P ₆₀ K ₁₂₀	33,3	20,4	22,2	> 40,0	> 40,0	> 40,0
4. P ₆₀ K ₁₆₀	33,3	20,4	22,2	> 40,0	> 40,0	> 40,0
5. P ₆₀ K ₁₂₀ + N ₆₀	31,2	19,1	20,8	> 40,0	> 40,0	> 40,0
6. P ₆₀ K ₁₂₀ + N ₉₀	29,0	17,7	19,3	> 40,0	> 40,0	> 40,0
7. P ₆₀ K ₁₂₀ + N ₁₂₀	28,0	17,1	18,6	> 40,0	> 40,0	> 40,0
8. P ₆₀ K ₁₂₀ + N ₁₂₀ + Cu ₂₀₀ + PP	33,8	20,6	22,5	> 40,0	> 40,0	> 40,0

Установлено, что на антропогенно-преобразованной торфяной почве с содержанием подвижных форм фосфора и калия соответственно 582–752 и 682–794 мг/кг почвы и при применении минеральных удобрений яровую пшеницу можно возделывать без ограничений по плотности загрязнения ¹³⁷Cs для

2. Плодородие почв и применение удобрений

производства фуражного зерна при использовании его для получения цельного молока и мяса.

В годы с нормальным увлажнением вегетационного периода возможно возделывать культуру без ограничений по радиационному фактору на данных почвах при производстве зерна на пищевые цели с допустимым содержанием ^{137}Cs 90 Бк/кг. При избыточной увлажненности предельная плотность загрязнения почвы для получения продовольственного зерна составляет при внесении фосфорных удобрений в дозе 60 кг/га и калийных удобрений в повышенных дозах ($K_{120-160}$) – 33 Ки/км², а при применении на фоне $P_{60}K_{120}$ азотных удобрений в дозах 60–120 кг/га – 28–31 Ки/км².

Более жесткие ограничения установлены в отношении размещения яровой пшеницы на антропогенно-преобразованных торфяных почвах при возделывании ее для получения зерна на детское питание и зерна на пищевые цели с допустимым содержанием радиоцезия, принятом в Таможенном союзе. В годы с нормальной увлажненностью вегетационного периода получить продовольственное зерно с содержанием ^{137}Cs до 60 Бк/кг возможно на фонах с полным минеральным удобрением – $N_{60}P_{60}K_{120}$, $N_{90}P_{60}K_{120}$ и $N_{120}P_{60}K_{120}$ при плотности загрязнения почвы соответственно 36, 33 и 29 Ки/км². В годы с избыточным увлажнением возделывание культуры ограничено плотностями загрязнения почвы соответственно 20, 19 и 18 Ки/км².

Приведенные в таблице 3 данные показывают, что урожайность яровой пшеницы в варианте без удобрений (контроль) изменялась по годам от 20,6 до 32,2 ц/га и в среднем составила 25,2 ц/га.

Таблица 3

Урожайность яровой пшеницы за годы исследований

Варианты	Урожайность, ц/га				Прибавка, ц/га	
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	в среднем за 3 года	к контролю	к РК
1. Контроль	32,2	22,8	20,6	25,2	–	–
2. $P_{60}K_{80}$	35,1	26,6	24,4	28,7	3,5	–
3. $P_{60}K_{120}$	40,8	30,9	26,6	32,8	7,6	–
4. $P_{60}K_{160}$	44,7	32,5	27,4	34,9	9,7	–
5. $P_{60}K_{120} + N_{60}$	45,6	40,3	30,3	38,7	13,5	5,9
6. $P_{60}K_{120} + N_{90}$	50,1	42,5	32,7	41,8	16,6	9,0
7. $P_{60}K_{120} + N_{120}$	46,7	43,3	32,8	40,9	15,7	8,1
8. $P_{60}K_{120} + N_{120} + Cu_{200} + PP$	45,4	46,9	36,1	42,8	17,6	10,0
HCP_{05}	2,77	1,87	1,21	1,95	–	–

Применение фосфорных и калийных удобрений в дозах $P_{60}K_{80}$ обеспечило достоверную прибавку зерна, которая составила в среднем 3,5 ц/га с колебаниями по годам от 2,9 до 3,8 ц/га. Дозы калия 120 и 160 кг/га на фоне P_{60} способствовали дальнейшему существенному росту урожайности как по отношению к контролю, так и к варианту $P_{60}K_{80}$. В среднем за 3 года опытов прибавки зерна к контрольному варианту составили при внесении $P_{60}K_{120}$ и $P_{60}K_{160}$ соответственно 7,6 и 9,7 ц/га.

Эффективность азотных удобрений различалась по годам исследований. В 2011 г. применение 60 и 90 кг/га азота на фоне $P_{60}K_{120}$ увеличило урожайность по отношению к фоновому варианту соответственно на 4,8 и 9,3 ц/га. При более высокой дозе азота (N_{120}), а также совместном внесении N_{120} , медьсодержащего удобрения и регуляторов роста растений не наблюдалось дальнейшего повышения продуктивности яровой пшеницы из-за полегания посевов.

В 2012 г. при урожайности яровой пшеницы на фоне $P_{60}K_{120}$ 30,9 ц/га дозы азота 60, 90 и 120 кг/га обеспечили прибавки зерна соответственно 9,4, 11,6 и 12,4 ц/га. Различия между вариантами N_{90} и N_{120} были незначительными. Наиболее высокая продуктивность получена при внесении N_{120} совместно с медьсодержащим удобрением и регуляторами роста растений, составившая 46,9 ц/га.

В 2013 г. эффективность азотных удобрений была ниже по сравнению с 2012 г. В варианте $N_{60}P_{60}K_{120}$ получена урожайность 30,3 ц/га, прибавка к фону $P_{60}K_{120}$ – 3,7 ц/га. При внесении более высоких доз азота достоверный рост урожайности обеспечила только доза N_{90} , а при применении N_{120} прибавка была незначительной. В то же время совместное внесение N_{120} , медьсодержащего удобрения и регуляторов роста растений существенно повысило урожайность, которая была в этом варианте самой высокой – 36,1 ц/га зерна.

Самая высокая продуктивность яровой пшеницы за 3 года исследования сформирована в варианте с применением на фоне $P_{60}K_{120}$ азота в дозе N_{120} совместно с медьсодержащим удобрением (200 г/га) и регуляторами роста растений, которая составила 42,8 ц/га. Получены прибавки зерна к контролю 17,6 ц/га, к фону $P_{60}K_{120}$ – 10,0 ц/га.

ВЫВОДЫ

1. В зависимости от метеорологических условий вегетационного периода различия в параметрах накопления ^{137}Cs в зерне яровой пшеницы могут составлять 2–2,4 раза.

2. На антропогенно-преобразованной торфяной почве с содержанием P_2O_5 582–752 мг/кг почвы и K_2O – 682–794 мг/кг почвы внесение фосфорных и калийных удобрений в дозах $P_{60}K_{80-120}$ уменьшает поступление ^{137}Cs в зерно на 20–30%. Применение K_{160} не приводит к дальнейшему существенному снижению перехода радионуклида в продукцию.

3. Азотные удобрения в дозах 60–90 кг/га на фоне $P_{60}K_{120}$ незначительно (на 4–9%) увеличивают поступление ^{137}Cs в зерно по сравнению с фосфорно-калийным фоном, а совместное внесение их с медьсодержащим удобрением и регуляторами роста растений снижают коэффициент перехода радионуклида.

2. Плодородие почв и применение удобрений

4. На антропогенно-преобразованной торфяной почве без ограничений по плотности загрязнения почвы ^{137}Cs можно возделывать яровую пшеницу на фуражные цели. В годы с нормальным увлажнением не ограничено по радиационному фактору возделывание культуры и на пищевые цели с допустимым содержанием ^{137}Cs 90 Бк/кг. При избыточной увлажненности предельная плотность загрязнения почвы для получения продовольственного зерна составляет при внесении $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ и азота в дозах 60–120 кг/га – 28–31 Ки/км². Получить продовольственное зерно с содержанием ^{137}Cs до 60 Бк/кг в годы с нормальной увлажненностью возможно при применении $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$, $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ и $\text{N}_{120}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ и плотностях загрязнения почвы соответственно 36, 33 и 29 Ки/км². В годы с избыточным увлажнением возделывание культуры ограничено загрязнением почвы соответственно 20, 19 и 18 Ки/км².

5. Рекомендуется на антропогенно-преобразованных торфяных почвах под яровую пшеницу дробное применение азотных удобрений в дозе 120 кг/га в комплексе с медьсодержащими удобрениями и регуляторами роста растений, что обеспечивает наиболее высокую урожайность зерна – в среднем 42,8 ц/га. При внесении азота без микроэлемента и регуляторов роста более эффективной является доза 90 кг/га.

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. Агеец, В.Ю. Система радиоэкологических контрмер в агрофере Беларуси / В.Ю. Агеец. – Минск, 2001. – 250 с.
3. 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.
4. 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. – СПб., 1994. – С. 23–24.
5. Quantities, Units and Terms in Radioecology. International Commission on Radiation Units and Measurements. ICRU Report 65 // J. ICRU. – 2001. – Vol. 1. – № 2. – P. 2–44.
6. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 годы. – Минск, 2012. – 121 с.
7. Белоус, Н.М. Эффективность различных факторов по снижению накопления ^{137}Cs в урожае сельскохозяйственных культур / Н.М. Белоус // Новозыбковская гос. с.-х. опыт. станция. – 2002. – Вып. 7. – С. 3–26.
8. Фокин, А.Д. Сельскохозяйственная радиология: учебник для вузов / А.Д. Фокин, А.А. Лурье, С.П. Торшин. – М.: Дорфа, 2005. – 367 с.
9. 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.

10. Научные основы реабилитации сельскохозяйственных территорий, загрязненных в результате крупных радиационных аварий / Н.Н. Цыбулько [и др.]; под общ. ред. Н.Н. Цыбулько. – Минск: Ин-т радиологии, 2011. – 438 с.

11. Алексахин, Р.М. Поведение ^{137}Cs в системе почва – растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклида в урожай / Р.М. Алексахин, И.Т. Моисеев, Ф.А. Тихомиров // Агрохимия. – 1992. – № 8. – С. 127–138.

12. Роль химии в реабилитации сельскохозяйственных угодий, подвергшихся радиоактивному загрязнению / Н.И. Санжарова [и др.] // Российский химический журнал. – 2005. – Т. XLIX. – № 3. – С. 26–34.

13. 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.

14. 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: межвед. тематич. сб. – 2003. – Вып. 27. – С. 158–168.

15. 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.

16. Моисеев, И.Т. К вопросу о влиянии минеральных удобрений на доступность ^{137}Cs из почвы сельскохозяйственным растениям / И.Т. Моисеев, Л.А. Рерих, Ф.А. Тихомиров // Агрохимия. – 1986. – № 2. – С. 89.

17. Тулина, А.С. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений на дерново-подзолистых песчаных почвах, загрязненных ^{137}Cs : автореф. дис. ... канд. биол. наук / А.С. Тулина. – М.: ИФХБПП РАН, 2002. – 24 с.

18. Агеец, В.Ю. Влияние минеральных удобрений и известкования на урожайность зерна ячменя и накопление ^{90}Sr на дерново-подзолистой песчаной почве / В.Ю. Агеец, В.В. Дробышевская // Земляробства і ахова раслін. – 2005. – № 2. – С. 27–28.

19. Дробышевская, В.В. Влияние условий питания и сортовых особенностей на накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr растениями ячменя: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук / В.В. Дробышевская. – Гомель: Ин-т радиологии, 2006. – 21 с.

20. Тулина, А.С. Закономерности поступления ^{137}Cs в растения из дерново-подзолистой песчаной почвы при внесении азотных удобрений / А.С. Тулина, Н.Г. Ставрава, В.М. Семенов // Агрохимия. – 2007. – № 11. – С. 61–70.

21. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26212–91. – Введ. 07.01.93. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 6 с.

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

2. Плодородие почв и применение удобрений

23. 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.
24. Почвы. Методы определения общего азота: ГОСТ 26107–84. – Введ. 07.01.85. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1985. – 6 с.
25. Почвы. Отбор проб: ГОСТ 28168–89. – Введ. 01.04.90. – М.: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1989. – 6 с.
26. СТБ 1056.98. Радиационный контроль. Отбор проб сельхозсырья и кормов. – Введ. 01.07.1998. – Минск: Белстандарт, 1998. – 7 с.
27. СТБ 1059.98. Радиационный контроль. Подготовка проб для определения ^{90}Sr и ^{137}Cs . – Введ. 01.07.1998. – Минск: Белстандарт. – 22 с.
28. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: метод. указания / под ред. И.М. Богдевича. – Минск, 2006. – 64 с.
29. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
30. Рекомендации по организации севооборотов на загрязненных радионуклидами землях / Н.Н. Цыбулько [и др.]. – Минск: Ин-т радиологии, 2011. – 84 с.

INFLUENCE OF DOSES OF NITROGEN AND POTASSIUM FERTILIZERS ON ^{137}Cs IN GRAIN AND PRODUCTS SPRING WHEAT IN ANTHROPOGENNO-TRANSFORMED PEAT SOIL

N.N. Tsybul'ka, A.A. Zaitsev, N.N. Semenenko

Summary

On anthropogenno-transformed peat soils found that phosphate and potash fertilizers in rates of $\text{P}_{60}\text{K}_{80-120}$ reduce intake of ^{137}Cs in grain by 20–30%. Application of K_{160} does not lead to a further substantial reduction in the transfer of radionuclides in products. Nitrogen fertilizers in rates of 60–90 kg/ha on the background $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ slightly (on 4–9%) increase intake of ^{137}Cs in grain compared with phosphorus-potassium background, and sharing them with the introduction of the copper-containing fertilizer and plant growth regulators reduce radionuclide transfer factors.

Without restrictions on ^{137}Cs soil contamination density can be cultivated spring wheat fodder purposes. In years with normal moisture possible without restrictions to cultivate the culture and food purposes with a valid ^{137}Cs content of 90 Bq/kg. When excessive moisture limiting density of soil contamination for food grains is when making $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ and nitrogen rates of 60–120 kg/ha – 28–31 Ku/km². Get food grains with ^{137}Cs content of up to 60 Bq/kg in years with normal moisture content possible using $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$, $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ and $\text{N}_{120}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ densities and soil contamination, respectively 36, 33 and 29 Ku/km². In years with abundant moisture cultivation culture is limited soil contamination, respectively 20, 19 and 18 Ku/km².

Recommended in anthropogenno-transformed peat soils under spring wheat fractional application of nitrogen fertilizer rate of 120 kg/ha in combination with copper-containing fertilizers and plant growth regulators, which provides an average grain yield of 42.8 q/ha.

Поступила 17.04.14

УДК 633.16:631.82:631.445.2

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И ВЫНОС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ЯЧМЕНЕМ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

А.И. Щетко, А.Р. Рыбак

Гродненский зональный институт растениеводства, г. Щучин, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Ячмень – одна из важнейших продовольственных, кормовых и технических культур. Его зерно используют для приготовления круп, в пивоваренном производстве и как корм для крупного рогатого скота, свиней, птицы. В 2013 г. в Гродненской области ячмень, возделываемый на площади 96,0 тыс. га, обеспечил урожайность 40,1 ц/га.

Получение высоких и устойчивых урожаев ячменя тесно связано с потреблением питательных веществ. Из зерновых культур он наиболее требователен к элементам питания. При этом очень важно, чтобы растения были обеспечены в полной мере доступными элементами с самого начала их развития [1, 2].

Минеральные удобрения имеют решающее значение среди мероприятий, направленных на повышение урожайности. Кроме урожайности, они могут повысить или снизить показатели качества зерна. Сложившаяся экономическая ситуация требует неординарного подхода ко многим современным проблемам агропромышленного комплекса. Возможность увеличения сборов зерна ячменя за счет современных технологий, к числу которых относится и научно обоснованное применение удобрений – задача актуальная и перспективная [3].

Цель исследований – оценка эффективности применения удобрений при возделывании ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению влияния различных систем применения удобрений на продуктивность ячменя проводили в длительном стационарном опыте на опытном поле РУП «Гродненский зональный институт растениеводства