

НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs МНОГОЛЕТНИМИ ЗЛАКОВЫМИ ТРАВАМИ НА ТОРФЯНИСТО-ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ

Н.Н. Цыбулько¹, И.И. Жукова², Е.Б. Евсеев³

¹Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

²Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка, г. Минск, Беларусь

³Институт радиологии, г. Гомель, 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].

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 [3, 4].

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 [5]. Положительная роль его возрастает на фоне оптимальных параметров минерального питания растений [6].

Снижение перехода радионуклидов в растения при внесении калийных удобрений существенно зависит от исходной обеспеченности почвы подвижным калием [7]. 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 [8].

Для прогнозирования поступления радионуклидов из почвы в растения используют такой показатель, как коэффициент перехода (K_p) – отношение удельной активности радионуклида в растениях к плотности загрязнения почвы на единицу площади (Бк/кг:Бк/м²). В международных публикациях используется аналогичный показатель – Aggregated transfer factor (T_{ag}) [9]. С целью прогноза загрязнения радионуклидами продукции сельскохозяйственных культур разработаны усредненные K_p для основных типов почв, в том числе для торфяно-болотных почв [10]. В то же время для деградированных торфяно-минеральных почв эти показатели отсутствуют, что не позволяет прогнозировать накопление радионуклидов в растениеводческой продукции, определять дозы калийных удобрений как защитной меры, обеспечивающей минимальное накопление радионуклидов в продукции сельскохозяйственных культур.

Цель настоящей работы – изучить влияние возрастающих доз калийных удобрений на поступление ^{137}Cs в сено многолетних злаковых трав на торфянисто-глеевой почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в 2016–2018 гг. в стационарных полевых опытах на территории землепользования СПК «Новое Полесье» Лунинецкого района Брестской области. Объектом исследования являлась торфянисто-глеевая низинная осушенная, развивающаяся на тростниково-осоковых торфах, подстилаемых с глубины 0,26 м связными древнеаллювиальными песками, почва. Агрохимические показатели пахотного (0–25 см) слоя почвы следующие (средние значения): органическое вещество – 60,4 %, $N_{\text{общ}}$ – 1,74 %, pH в KCl – 5,37; подвижные формы (в 0,2 М HCl) P_2O_5 – 876 и K_2O – 818 мг/кг почвы.

Почва относится, согласно градации [11], ко второй группе (1,0–4,9 Ки/км²) по степени загрязнения ^{137}Cs . Плотность загрязнения колебалась от 3,5 до 4,5 Ки/км², в среднем – 4,0 Ки/км².

Возделывали многолетнюю среднеспелую злаковую травосмесь, включающую тимopheевку луговую (2 кг/га), овсяницу луговую (5 кг/га), кострец безостый (6 кг/га).

Схема опыта, дозы и сроки применения фосфорных и калийных удобрений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Схема применения минеральных удобрений в опыте

Варианты опыта	Дозы удобрений под 1-й укос, кг/га д.в.		Дозы удобрений под 2-й укос, кг/га д.в.	
	Р	К	Р	К
1. Контроль (без удобрений)	–	–	–	–
2. P ₉₀ K ₁₂₀	90	90	–	30
3. P ₉₀ K ₁₅₀	90	90	–	60
4. P ₉₀ K ₁₈₀	90	120	–	60

Размещение делянок в опыте рендомизированное. Повторность вариантов в опыте четырехкратная. Общая площадь делянки составляла 20 м², учетная площадь – 12 м².

Агрохимические показатели почв определяли по методикам: органическое вещество – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212-91 [12]; рН_{KCl} – потенциометрическим методом по ГОСТ 26483-85 [13]; подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207-91 [14]; общий азот – по ГОСТ 26107-84 [15].

Отбор проб почвы для определения содержания ¹³⁷Cs проводили согласно методике [16], подготовку почвенных и растительных проб – по методикам [17, 18]. Определение удельной активности ¹³⁷Cs (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 Р = 95 % не превышала 15–30 %. Аппаратурная ошибка измерений не превышала 15 %. Плотность загрязнения почвы ¹³⁷Cs рассчитывали согласно методике [11]. Для количественной оценки поступления ¹³⁷Cs из почвы в растения рассчитывали коэффициент перехода (K_п) – отношение удельной активности радионуклида в растениях к плотности загрязнения почвы на единицу площади (Бк/кг:Бк/м²).

Полученные данные обрабатывали методами корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализа [19] с использованием компьютерного программного обеспечения (Excel 7.0, Statistic 7.0).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что миграция радионуклидов в системе почва-растение и накопление их в растениеводческой продукции существенно зависит от метеорологических условий в период возделывания сельскохозяйственных культур. За период проведения наших исследований по гидротермическим условиям 2016 г. характеризовался как слабозасушливый (ГТК – 1,28), 2017 г. отличался повышенным увлажнением (ГТК – 2,24), а 2018 г. был засушливым (ГТК – 0,97). Вегетационный период 2016 г. характеризовался неустойчивым режимом влагообеспеченности. Наиболее близкая к среднему многолетнему значению среднесуточная температура воздуха за время активной вегетации культур (апрель-август) наблюдалась в 2017 г. В 2018 г. метеорологические условия отмечались очень низким количеством влаги за вегетационный период.

Накопление ¹³⁷Cs многолетними злаковыми травами зависело от метеорологических условий вегетационных периодов, укосов и уровней применения минеральных удобрений. Среднее по всем вариантам опыта значение удельной активности радионуклида в травах первого укоса составило в 2016 г. 74,76 Бк/кг, в 2017 г. – 48,53 и в 2018 г. – 29,72 Бк/кг.

В целом за годы исследований удельная активность радионуклида в сене не превышала 150 Бк/кг при допустимом содержании 1300 Бк/кг для скармливания дойному поголовью при получении цельного молока и 520 Бк/кг для скармливания поголовью при получении мяса (табл. 2).

Содержание ¹³⁷Cs в сене трав первого укоса на контроле (без применения удобрений) колебалось по годам в среднем от 61,37 до 103,88 Бк/кг. Фосфорные и калийные удобрения, внесенные под первый укос трав в дозах Р₉₀К₉₀ (варианты 2 и 3), уменьшали накопление радионуклида в сене первого укоса 21 до 67 %, в среднем на 39 % (в зависимости от года пользования трав). Наибольшее снижение отмечено в засушливом 2018 г., наименьшее – в 2017 г. с повышенным увлажнением.

Применение под первый укос трав дозы калия 120 кг/га (вариант 4) также было эффективным. Удельная активность радионуклида в сене уменьшилась в среднем с 46,88–46,90 до 33,14 Бк/кг, или на 29% по отношению к варианту Р₉₀К₉₀.

Содержание ¹³⁷Cs в сене трав второго укоса на контроле изменялось по годам от 50,08 до 73,97 Бк/кг. Подкормка трав под второй укос калием в дозе 30 кг/га на фоне Р₉₀К₉₀ (вариант 2) способствовала уменьшению удельной активности ¹³⁷Cs в сене по отношению к контролю в среднем с 62,03 до 23,98 Бк/кг, или в 2,6 раза. Внесение под второй укос К₆₀ на фонах Р₉₀К₉₀ (вариант 3) и Р₉₀К₁₂₀ (вариант 4) не способствовало существенному снижению поступления радионуклида в сено по сравнению с вариантом 2.

Таблица 2

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

Вариант опыта	Годы			Среднее значение	Процент к контролю
	2016	2017	2018		
Первый укос					
1. Контроль	103,88	61,37	65,10	76,78	100
2. P ₉₀ K ₁₂₀ (90 + 30)	71,66	47,89	21,09	46,88	61
3. P ₉₀ K ₁₅₀ (90 + 60)	71,03	48,32	21,36	46,90	61
4. P ₉₀ K ₁₈₀ (120 + 60)	51,85	36,13	11,44	33,14	43
Второй укос					
1. Контроль	—	73,97	50,08	62,03	100
2. P ₉₀ K ₁₂₀ (90 + 30)	—	30,58	17,38	23,98	39
3. P ₉₀ K ₁₅₀ (90 + 60)	—	29,21	15,20	22,21	36
4. P ₉₀ K ₁₈₀ (120 + 60)	—	27,16	8,80	17,98	29

Расчеты коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в многолетние травы показали следующее. За годы исследований различия в переходе ^{137}Cs в многолетние травы первого укоса достигали 4,3 раза, второго укоса – 3,3 раза (в зависимости от метеорологических условий вегетационных периодов). На контрольном варианте коэффициент перехода изменялся по годам для трав первого укоса в пределах – 0,51–0,87 Бк/кг: кБк/м², для второго укоса – в пределах 0,42–0,62 Бк/кг: кБк/м² (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
	2016	2017	2018		
Первый укос					
1. Контроль	0,87	0,51	0,54	0,64	100
2. P ₉₀ K ₁₂₀ (90 +30)	0,61	0,40	0,19	0,40	63
3. P ₉₀ K ₁₅₀ (90 +60)	0,60	0,41	0,18	0,40	63
4. P ₉₀ K ₁₈₀ (120 +60)	0,43	0,30	0,10	0,28	44
Второй укос					
1. Контроль	—	0,62	0,42	0,52	100
2. P ₉₀ K ₁₂₀ (90 +30)	—	0,26	0,15	0,21	40
3. P ₉₀ K ₁₅₀ (90 +60)	—	0,24	0,13	0,19	37
4. P ₉₀ K ₁₈₀ (120 +60)	—	0,23	0,07	0,15	29

Фосфорные и калийные удобрения в дозах $\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ снизили переход ^{137}Cs из почвы в травы первого укоса с 0,64 до 0,40, или на 27 % по отношению к контролю. При внесении под первый укос K_{120} также наблюдалось снижение показателя перехода ^{137}Cs из почвы в растения с 0,40 до 0,28 Бк/кг: кБк/м².

Подкормка трав второго укоса калием в дозе 30 кг/га на фоне $\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ обеспечила уменьшение коэффициента перехода радионуклида в сено на 60%. Внесение под второй укос K_{60} на фонах $\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ (вариант 3) и $\text{P}_{90}\text{K}_{120}$ (вариант 4) также наблюдалось снижение коэффициента перехода ^{137}Cs по отношению к варианту 2 ($\text{P}_{90}\text{K}_{120}$), однако оно было не существенным.

На основании коэффициентов перехода ^{137}Cs в многолетние злаковые травы, полученных при разных дозах применения фосфорных и калийных удобрений, определены допустимые плотности загрязнения почвы ($\text{ДП}_{\text{п}}$) при возделывании их для получения сена, при скормливании его поголовью с целью получения цельного молока и мяса, отвечающих республиканским допустимым уровням (РДУ) и допустимым уровням, принятым в рамках Таможенного союза (ДУ ТС). Расчеты проводились по формуле [10]:

$$\text{ДП}_{\text{п}} = \frac{\text{ДУ}}{\text{K}_{\text{п}} * 37},$$

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; $\text{K}_{\text{п}}$ – коэффициент перехода радионуклида из почвы в растениеводческую продукцию, Бк/кг : кБк/м²; 37 – коэффициент пересчета нКи/кг в Бк/кг.

В соответствии с Республиканскими допустимыми уровнями для получения нормативно чистого цельного молока (< 100 Бк/л) и мяса (< 500 Бк/л) допустимый уровень ^{137}Cs в сене составляет 1300 Бк/кг, для получения нормативно чистого молока-сырья при переработке на масло – 1850 Бк/кг. Техническим регла-

ментом (ТР ТС 021/2011) «О безопасности пищевой продукции» в рамках Таможенного союза установлен более «жесткий» по сравнению с РДУ-99 норматив на содержание ^{137}Cs в мясе, который составляет 200 Бк/кг. Поэтому предельно допустимое содержание радионуклида в сене для заключительной стадии откормки животных примерно в 2,5 раза ниже и не должно превышать 520 Бк/кг [20, 21].

Установлено, что на торфянисто-глеевой почве с содержанием подвижных форм фосфора и калия соответственно 876 и 818 мг/кг почвы, применяя фосфорные и калийные удобрения, многолетние злаковые травы можно возделывать без ограничений по плотности загрязнения ^{137}Cs (до 40 Ки/км²) для производства сена при использовании его на корм для получения цельного молока, молока-сырья при переработке на масло и мяса, отвечающих республиканским нормативным требованиям по содержанию радионуклида (табл. 4).

Таблица 4

Допустимые плотности (Ки/км²) загрязнения ^{137}Cs торфянисто-глеевой почвы при производстве сена многолетних злаковых трав в зависимости от его кормового назначения

Вариант опыта	Получение сена первого укоса			Получение сена второго укоса		
	РДУ 1300 Бк/кг	РДУ 1850 Бк/кг	ДУ ТР ТС 520 Бк/кг	РДУ 1300 Бк/кг	РДУ 1850 Бк/кг	ДУ ТР ТС 520 Бк/кг
1. Контроль	40,0	40,0	22,0	40,0	40,0	27,0
2. Р ₉₀ К ₁₂₀	40,0	40,0	35,1	40,0	40,0	40,0
3. Р ₉₀ К ₁₅₀	40,0	40,0	35,1	40,0	40,0	40,0
4. Р ₉₀ К ₁₈₀	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0

Для производства мяса с содержанием ^{137}Cs до 200 Бк/кг нормативно чистое сено многолетних злаковых трав возможно получить на фоне применения фосфорных и калийных удобрений в дозах Р₉₀К₁₂₀ и Р₉₀К₁₅₀ при плотности радиоактивного загрязнения почвы 35,0 Ки/км², а при дозах Р₉₀К₁₈₀ – плотностью загрязнения до 40,0 Ки/км².

ВЫВОДЫ

1. В зависимости от метеорологических условий вегетационных периодов переход ^{137}Cs в сено многолетних трав первого укоса изменяется до 4,3 раза, в сено второго укоса – до 3,3 раза. Такие колебания в содержании радионуклида в продукции в значительной степени обусловлены уровнями формируемой продуктивности трав.

2. При возделывании многолетних злаковых трав на торфянисто-глеевой почве с содержанием Р₂О₅ 876 мг/кг и К₂О 818 мг/кг максимальное снижение содержания ^{137}Cs в сене первого укоса в 2,3 раза, в сене второго укоса в 3,5 раза обеспечивает применение фосфорных удобрений в дозе Р₉₀ и калийных удобрений в дозе К₁₈₀ (К₁₂₀ под первый укос и К₆₀ под второй укос).

3. Производство сена многолетних злаковых трав, пригодного по содержанию ^{137}Cs для получения цельного молока, молока-сырья при переработке на масло и мясо, отвечающих РДУ, возможно без ограничений по плотности загрязнения торфянисто-глеевой почвы при применении фосфорных и калийных удобрений в дозах Р₉₀К₁₂₀ (К₉₀ под первый укос и К₃₀ под второй укос).

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. 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.
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. – С-Пб, 1994. – С. 23–24.
5. 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.
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. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: метод. указания / И. М. Богдевич [и др.]; под ред. И. М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 48 с.
12. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26212-91. – Введ. 1993.07.01. – Минск: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
13. 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.
14. 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.
15. Почвы. Методы определения общего азота: ГОСТ 26107-84. – Введ. 07.01.85. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1985. – 6 с.
16. Почвы. Отбор проб: ГОСТ 28168-89. – Введ. 01.04.90. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.
17. СТБ 1056.98. Радиационный контроль. Отбор проб сельхозсырья и кормов. – Введ. 01.07.1998. – Минск: Белстандарт, 1998. – 7 с.
18. СТБ 1059.98. Радиационный контроль. Подготовка проб для определения ^{90}Sr и ^{137}Cs . – Введ. 01.07.1998. – Минск: Белстандарт, 1998. – 22 с.
19. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
20. 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.
21. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»: утв. решением Комиссии Таможенного союза № 880 от 9.12.2011.

ACCUMULATION OF ^{137}CS PERENNIAL CEREAL GRASSES ON PEARLY-GLAY SOIL DEPENDING FROM RATES OF POTASSIUM FERTILIZERS

N. N. Tsybulka, I. I. Zhukova, E. B. Evseev

Summary

Depending on the meteorological conditions of the growing season, the transition of ^{137}Cs to the hay of perennial grasses of the first cut changes up to 4.3 times, and to the hay of the second cut – up to 3.3 times. Such fluctuations in the content of radionuclides in products are largely due to the levels of the formed productivity of herbs.

When cultivating perennial grasses on peaty gley soil with a P_2O_5 content of 876 mg/kg and K_2O 818 mg/kg, the maximum reduction of ^{137}Cs content in hay of the first crop by 2,3 times provides 3,5 times in hay of the second cut phosphate fertilizers in a rate of P_{90} and potash fertilizers in a rate of K_{180} (K_{120} for the first cut and K_{60} for the second cut). Hay production of perennial cereal grasses, suitable for ^{137}Cs content for obtaining whole milk, raw milk during processing for oil and meat, meets RDU, is possible without restrictions on the density of contamination of peaty-gley soil using phosphorus and potash fertilizers in rates of $\text{P}_{90}\text{K}_{120}$ (K_{90} under the first cut and K_{30} under the second cut).

Поступила 29.11.18