

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
РЕСПУБЛИКАНСКОЕ НАУЧНОЕ ДОЧЕРНЕЕ УНИТАРНОЕ
ПРЕДПРИЯТИЕ «ИНСТИТУТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ»

УДК 631.421.1:631.8.022.3:633.2.031:631.438.2

ЕВСЕЕВ
ЕВГЕНИЙ БОРИСОВИЧ

ВЛИЯНИЕ АЗОТНОГО И КАЛИЙНОГО ПИТАНИЯ
НА ПОСТУПЛЕНИЕ ^{137}Cs В РАСТЕНИЯ И
ПРОДУКТИВНОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ ЗЛАКОВЫХ ТРАВ
НА ТОРФЯНИСТО-ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЕ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук
по специальности 06.01.04 – агрохимия

Минск, 2022

Работа выполнена в ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси»

Научный руководитель: **Цыбулько Николай Николаевич**,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
заместитель директора по научной работе РУП
«Институт почвоведения и агрохимии»

Официальные оппоненты: **Пироговская Галина Владимировна**,
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор, заведующий лабораторией новых
форм удобрений и мелиорантов РУП «Институт
почвоведения и агрохимии»

Мастеров Алексей Сергеевич,
кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент, заведующий кафедрой земледелия
УО «Белорусская государственная орденов
Октябрьской Революции и Трудового Красного
Знамени сельскохозяйственная академия»

Оппонирующая организация: УО «Гродненский государственный аграрный
университет»

Защита диссертации состоится 17 февраля 2022 г. в 10⁰⁰ часов на заседании совета
по защите диссертаций Д 01.50.01 при РУП «Институт почвоведения и
агрохимии» по адресу: ул. Казинца, 90, г. Минск, 220108, Республика Беларусь.
Тел.: (+375 17) 252-55-54, факс: (+375 17) 374-04-02, e-mail: brissa_aspirant@tut.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке при РУП «Институт
почвоведения и агрохимии»

Автореферат разослан « 11 » января 2022 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций, кандидат
сельскохозяйственных наук, доцент

О.В. Матыченкова

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в сельскохозяйственном пользовании находится 825,4 тыс. га земель, загрязненных ^{137}Cs в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Многочисленные исследования показали, что генетические особенности и свойства почв являются одним из важнейших факторов, определяющих процессы сорбции радионуклидов в почвенно-поглощающем комплексе и интенсивность поступления их в растения. 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 и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию. Установлено, что количественные параметры перехода ^{137}Cs в продукцию сельскохозяйственных культур на гидроморфных торфяно-болотных 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.

В Беларуси 1068,2 тыс. га осушенных торфяных почв используются в качестве сельскохозяйственных земель, в том числе на территории радиоактивного загрязнения около 245,0 тыс. га, из них 83,0 тыс. га с мощностью торфяного слоя менее 0,5 м. В среднем на каждый из 57 загрязненных радионуклидами административных районов приходится 4,3 тыс. га торфяных почв с различной мощностью торфяного слоя. В ряде районов Полесского региона эти почвы составляют основу сельскохозяйственного землепользования.

На торфяных почвах актуальным является изучение влияния разных доз, сроков внесения и соотношений азотных и калийных удобрений на поступление ^{137}Cs в сельскохозяйственные культуры, в частности в многолетние злаковые травы, определение оптимальных уровней азотного и калийного питания растений, обеспечивающих минимальное накопление радионуклида в продукции и высокую эффективность азотных и калийных удобрений.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

В диссертационную работу вошли результаты исследований соискателя, выполненные в 2016-2019 годах в соответствии с планом научно-исследовательских работ РНИУП «Институт радиологии» и ГНУ «Институт радиобиологии» в рамках научного раздела Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2011-2015 годы

и на период до 2020 года по заданию «Определить эффективность применения минеральных удобрений под многолетние злаковые травы, возделываемые на антропогенно-преобразованных торфяных почвах, загрязненных цезием-137» (№№ госрегистрации 20161994, 20161039, 20192073). Тема диссертационной работы соответствовала приоритетному направлению научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2015–2020 годы, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь №190 от 15 марта 2015 г., пунктам 9. Агропромышленный комплекс и продовольственная безопасность и 10. Экология и природопользование.

Цель и задачи исследования

Цель работы – установить влияние доз азотных и калийных удобрений, запасов минеральных соединений азота в торфянисто-глеевой почве на накопление ^{137}Cs в сене многолетних злаковых трав, их продуктивность и эффективность применения удобрений.

Исходя из поставленной в диссертационной работе цели исследования, определены следующие основные задачи:

- изучить влияние доз азотных и калийных удобрений, их совместного применения с медьсодержащими удобрениями на содержание ^{137}Cs в растениях и коэффициенты перехода его в сено многолетних злаковых трав;
- оценить азотный фонд торфянисто-глеевой почвы, изучить динамику минеральных форм азота в почве в период вегетации многолетних трав и влияние на неё азотных удобрений;
- установить зависимости перехода ^{137}Cs в растения и продуктивности многолетних злаковых трав от содержания минерального азота в почве;
- определить допустимые плотности загрязнения почвы ^{137}Cs для получения кормов при разных дозах азотных и калийных удобрений;
- определить ориентировочные уровни содержания и запасов минерального азота в почве на планируемую урожайность многолетних трав как основы для дифференцированного применения азотных удобрений;
- изучить влияние доз азотных и калийных удобрений, их совместного применения с медьсодержащими удобрениями на продуктивность многолетних злаковых трав;
- выполнить оценку агрономической и экономической эффективности применения разных доз азотных и калийных удобрений, их совместного применения с медьсодержащими удобрениями под многолетние злаковые травы на торфянисто-глеевой почве.

Объектами исследований являлись: загрязненная ^{137}Cs торфянисто-глеевая низинная осушенная почва, развивающаяся на тростниково-осоковых торфах, подстилаемых с глубины 0,26 м связными древнеаллювиальными песками, многолетняя среднеспелая злаковая травосмесь.

Предмет исследований – количественные параметры накопления ^{137}Cs многолетними злаковыми травами, абсолютные и относительные показатели эффективности применения азотных и калийных удобрений.

Научная новизна

Впервые в условиях радиоактивного загрязнения Белорусского Полесья на торфянисто-глеевой почве изучено влияние доз азотных и калийных удобрений, запасов минеральных соединений азота в почве на накопление ^{137}Cs в растениях многолетних злаковых трав, установлены зависимости поступления радионуклида в сено от соотношения азота и калия в питании растений. Определены оптимальные запасы минерального азота в почве для получения планируемой урожайности многолетних трав и установлены дозы азотных и калийных удобрений, обеспечивающие минимальное накопление радионуклида в продукции и эффективное применение удобрений.

Положения, выносимые на защиту

1. Применение на торфянисто-глеевых почвах с высокой и повышенной обеспеченностью P_2O_5 и K_2O фосфорных и калийных удобрений в дозах $\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ обеспечивает уменьшение удельной активности ^{137}Cs в сене многолетних злаковых трав первого укоса с 71,62 до 40,49 Бк/кг или на 43% по сравнению с контролем. Калийная подкормка трав второго укоса в дозе K_{30} на фоне $\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ снижает поступление радионуклида в растения на 50%. При внесении более высокой дозы калия (K_{60}) переход ^{137}Cs в растения уменьшается не существенно.

2. Азотные удобрения, применяемые под первый укос трав в дозах N_{60-80} , не приводят к существенному повышению накопления ^{137}Cs в растениях. Вторая азотная подкормка увеличивает переход ^{137}Cs в сено второго укоса по отношению к фосфорно-калийным фонам, однако концентрация его не превышает 35 Бк/кг, что более чем на порядок ниже допустимого уровня. Переход ^{137}Cs в растения при повышенных дозах азота ($\text{N}_{120-140}$) снижается на высоком фоне калийных удобрений ($\text{P}_{90}\text{K}_{180}$). Медьсодержащие удобрения не существенно снижают содержание ^{137}Cs в сене многолетних трав.

3. Существование сильных корреляционных зависимостей между содержанием $\text{N}_{\text{мин}}$ в почве и продуктивностью многолетних трав позволяет определять оптимальные уровни запасов азота в почве для получения планируемой урожайности. Для формирования урожайности сена многолетних трав первого укоса 70-80 ц/га сена содержание минерального азота в почве в начале их весеннего отрастания должно быть на уровне 120-130 кг/га, а для формирования урожайности сена второго укоса 60-65 ц/га – 110-115 кг/га.

4. Наиболее эффективной системой удобрения многолетних злаковых трав на торфянисто-глеевой почве с запасом в ранневесенний период минерального азота 50-55 кг/га и средней обеспеченностью подвижной медью (7,15-7,99 мг/кг) является дробное применение N_{120} (N_{80} – под первый укос и N_{40} – под второй укос)

на фоне $P_{90}K_{150}$ совместно с некорневой подкормкой медью ($Cu_{0,08}$). Данная система удобрения обеспечивает условный чистый доход 94,07 руб./га (38,71 долл. США/га), рентабельность 17,1% и окупаемость удобрений 18,3 кг сена или 9,3 кормовых единицы.

Личный вклад соискателя ученой степени

Автором самостоятельно или при его непосредственном участии, разработана программа исследований, проведены полевые и лабораторные исследования, получен и проанализирован экспериментальный материал. По основным положениям диссертационной работы автором самостоятельно подготовлены публикации [9, 11, 13]. В статьях и материалах конференций, подготовленных в соавторстве, соискателю принадлежит получение, обобщение и анализ экспериментальных данных по количественным параметрам миграции ^{137}Cs в системе почва–растение [1, 2, 6, 8, 9, 11, 12], урожайности культур [3, 4, 13] и эффективности применения минеральных удобрений [5, 7]. Результаты исследований использованы в рекомендациях по использованию почв с высокими параметрами перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию [14], а также стали основой для рекомендаций по применению минеральных удобрений при возделывании многолетних среднеспелых злаковых травосмесей на загрязнённых ^{137}Cs антропогенно-преобразованных торфяных почвах [10, 15].

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные положения диссертационной работы докладывались автором на следующих научных конференциях:

Международной научно-практической конференции «Проблемы устойчивого развития регионов Республики Беларусь и сопредельных стран» (Могилев, 1 февраля – 31 марта 2017 г.); Международной научно-практической конференции «Чернобыль и наука: опыт преодоления последствий» (Гомель, 19-20 апреля 2018 г.); Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века» (17-18 мая 2018 г.); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии» (Гродно, 3-5 октября 2018 г.); Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры растениеводства «Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур» (Горки, 2019 г.). Рекомендации производству по результатам исследований внедрены в КСУП «Синкевичский» Лунинецкого района Брестской области при возделывании многолетних злаковых трав. Результаты диссертационной работы внедрены в образовательный процесс в УО «Полесский государственный университет» на кафедре экономики и бизнеса, по дисциплине «Организация производства в АПК», специальность «Экономика и управление на предприятии».

Опубликование результатов диссертации

По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ общим объемом 7,28 авторских листа (2,72 принадлежит лично соискателю), из них: 7 работ – в научных изданиях, включенных в перечень ВАК Республики Беларусь, общим объемом 3,08 авторских листа (1,02 принадлежит лично соискателю); 1 работа в других рецензируемых научных изданиях; 2 рекомендаций; 5 материалы конференций и тезисы докладов.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, 6 глав, заключения, рекомендаций производству, библиографического списка и приложений. Диссертация изложена на 149 страницах машинописного текста, содержит 18 таблиц (13 страниц), 14 рисунков (11 страниц), 11 приложений (37 страниц). Библиографический список включает 275 наименований (28 страниц), в том числе 15 – собственные публикации соискателя (2 страницы).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Аналитический обзор литературы

В обзоре научных публикаций отечественных и зарубежных авторов изложен материал о влиянии генезиса почв на процессы сорбции и биологическую доступность радионуклидов. Рассмотрены общие принципы и целесообразность применения калийных и азотных удобрений на переход ^{137}Cs из почвы в растения. Отмечена необходимость более детального изучения оптимального соотношения азота и калия на торфянисто-глеевых почвах при возделывании многолетних трав, а, следовательно, и оптимальных уровней совместного применения азотных и калийных удобрений.

Объекты, условия и методы проведения исследований

Исследования проводили в 2016-2019 годах на территории землепользования КСУП «Синкевичский» Лунинецкого района Брестской области в стационарном полевом опыте на торфянисто-глеевой низинной осушенной почве, развивающейся на тростниково-осоковых торфах, подстилаемой с глубины 0,26 м связными древнеаллювиальными песками. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs составляла 3,2-5,1 Ки/км².

Почва опытного участка имела слабокислую реакцию среды ($\text{pH}_{\text{KCl}} - 5,29-5,48$). Содержание органического вещества в пахотном слое составляло в среднем 64,0%, общего азота – 1,67-1,77%, минерального азота – 49,36-62,03 мг/кг почвы. Обеспеченность подвижным фосфором составляла 875 мг/кг почвы, подвижным

калием – 805 мг/кг почвы. Обеспеченность подвижной медью соответствовала 2-й группе (средняя) – 7,15-7,99 мг/кг почвы.

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

Фосфорные удобрения (суперфосфат аммонизированный) в полной дозе вносили в один прием перед посевом трав и в дальнейшем в ранневесеннюю подкормку. Азотные удобрения (карбамид) и калийные удобрения (калий хлористый) применяли перед посевом трав и в дальнейшем в два приема под первый и второй укосы трав в дозах согласно схеме опыта. Дозы азотных удобрений под первый укос рассчитывались с учетом содержания азота в аммонизированном суперфосфате марки 8-38. Медьсодержащее удобрение в дозе 80 г/га Cu (сульфат меди 320 г/га) применяли в некорневую подкормку под первый укос трав. Схема опыта с разными дозами и сроками внесения азотных, калийных и медьсодержащих удобрений под многолетние злаковые травы включала 12 вариантов (таблица 1).

Таблица 1. – Схема опыта

Варианты опыта	Дозы удобрений под 1-й укос, кг/га д.в.			Дозы удобрений под 2-й укос, кг/га д.в.		
	N	P	K	N	P	K
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
5. N ₁₀₀ P ₉₀ K ₁₅₀	60	90	90	40	-	60
6. N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₅₀	80	90	90	40	-	60
7. N ₁₄₀ P ₉₀ K ₁₅₀	80	90	90	60	-	60
8. N ₁₀₀ P ₉₀ K ₁₈₀	60	90	120	40	-	60
9. N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₈₀	80	90	120	40	-	60
10. N ₁₄₀ P ₉₀ K ₁₈₀	80	90	120	60	-	60
11. N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₅₀ + Cu _{0,08}	80	90	90	40	-	60
12. N ₁₄₀ P ₉₀ K ₁₅₀ + Cu _{0,08}	80	90	90	60	-	60

Опыт проводили в 4-кратной повторности, размещение делянок – рендомизированное. Общая площадь делянки 20 м², учетная площадь – 12 м².

Ежегодно проводили два укоса трав, урожайность сена пересчитывали на 16% стандартную влажность. Уборка трав осуществлялась вручную, поделяночно.

Агрохимические анализы выполнены в соответствии с действующими ГОСТами. Удельную активность ¹³⁷Cs (Бк/кг) в почвенных пробах определяли на γ - β -спектрометре МКС-АТ1315, в растительных образцах – на γ -спектрометрическом комплексе «Canberra-Packard». Полученные данные обрабатывали методами дисперсионного и корреляционного анализов с

использованием компьютерного программного обеспечения (MS Excel 7.0, Statistica 6.0).

Метеорологические условия вегетационных периодов (апрель–август) различались. По степени увлажнения 2016 г. был слабозасушливым, 2017 г. – влажным, 2018 г. – засушливым, 2019 г. – оптимальным. ГТК составил соответственно 1,28, 2,24, 0,97 и 1,30.

Накопление ^{137}Cs многолетними травами в зависимости от доз азотных и калийных удобрений

В зависимости от метеорологических условий вегетационных периодов различия в накоплении ^{137}Cs в сене многолетних трав первого укоса достигали 4,3 раза, в сене второго укоса – 3,3 раза. Наибольшее поступление ^{137}Cs в сено наблюдалось в условиях повышенного увлажнения вегетационного периода, меньше – при засушливых условиях и самое низкое – при оптимальных условиях увлажнения. В неблагоприятные по увлажнению периоды отмечались более существенные различия между минимальным и максимальным содержанием радионуклида в растениях по сравнению с оптимальными условиями вегетации.

Накопление ^{137}Cs многолетними травами зависело от укосов и уровней применения минеральных удобрений. Среднее по всем вариантам опыта значение удельной активности радионуклида в травах первого укоса составило в 2016 году 74,76 Бк/кг, в 2017 году – 48,53 и в 2018 году – 29,72, в 2019 году – 23,69 Бк/кг. В целом за годы исследований удельная активность ^{137}Cs 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 (таблица 2).

Применение фосфорных и калийных удобрений в дозах $\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ обеспечивает уменьшение удельной активности ^{137}Cs в сене многолетних злаковых трав первого укоса с 71,62 до 40,49 Бк/кг или на 43% по сравнению с контролем. При внесении под первый укос K_{120} также наблюдалось снижение содержания ^{137}Cs в растениях. 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 50%. При внесении под второй укос K_{60} на фонах $\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ и $\text{P}_{90}\text{K}_{120}$ поступление радионуклида по отношению к варианту $\text{P}_{90}\text{K}_{120}$ уменьшалось не существенно.

Внесение под первый укос трав N_{60} и N_{80} не существенно увеличило поступление ^{137}Cs в растения. В среднем за годы исследований минимальное содержание ^{137}Cs в сене первого укоса (33,77 Бк/кг) отмечено в варианте с применением 60 кг/га азота на фоне $\text{P}_{90}\text{K}_{180}$. Вторая азотная подкормка привела к некоторому увеличению ^{137}Cs в сене трав второго укоса по отношению к фонам РК. Однако концентрация его не превышала 40 Бк/кг, что более чем на порядок

ниже допустимого уровня. Поступление ^{137}Cs в сено при повышенных дозах азотных удобрений ($\text{N}_{120-140}$) снижалось на высоком фоне применения калийных удобрений ($\text{P}_{90}\text{K}_{180}$). Медьсодержащие удобрения не оказали существенного влияния на содержание ^{137}Cs в сене по отношению к вариантам $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ и $\text{N}_{140}\text{P}_{90}\text{K}_{150}$.

Таблица 2. – Удельная активность ^{137}Cs в сене многолетних злаковых трав в зависимости от доз минеральных удобрений, Бк/кг

Варианты опыта	Годы				Среднее значение	Процент к контролю
	2016	2017	2018	2019		
Первый укос						
1. Контроль	103,88	81,37	65,10	36,12	71,62	100
2. $\text{P}_{90}\text{K}_{120}$	71,66	47,89	21,09	21,31	40,49	57
3. $\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ – Фон 1	71,03	48,32	21,36	20,12	40,21	56
4. Фон 1+ $\text{N}_{100(60+40)}$	67,68	38,95	26,39	26,31	39,83	56
5. Фон 1+ $\text{N}_{120(80+40)}$	72,69	47,42	29,37	27,63	44,28	62
6. Фон 1+ $\text{N}_{140(80+60)}$	70,01	46,62	34,50	27,74	44,72	62
7. $\text{P}_{90}\text{K}_{180}$ – Фон 2	51,85	36,13	11,44	17,21	29,16	41
8. Фон 2+ $\text{N}_{100(60+40)}$	61,72	30,31	21,91	21,14	33,77	47
9. Фон 2+ $\text{N}_{120(80+40)}$	66,19	39,91	24,26	24,33	38,67	54
10. Фон 2+ $\text{N}_{140(80+60)}$	64,75	40,67	27,82	30,24	40,87	57
Второй укос						
1. Контроль	-	73,97	50,08	49,41	57,82	100
2. $\text{P}_{90}\text{K}_{120(90+30)}$	-	30,58	17,38	31,32	26,42	46
3. $\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ – Фон 1	-	29,21	15,20	28,41	24,27	42
4. Фон 1+ $\text{N}_{100(60+40)}$	-	38,61	20,30	34,62	31,18	54
5. Фон 1+ $\text{N}_{120(80+40)}$	-	41,68	26,35	36,14	34,72	60
6. Фон 1+ $\text{N}_{140(80+60)}$	-	44,08	31,40	34,91	36,80	64
7. $\text{P}_{90}\text{K}_{180}$ – Фон 2	-	27,16	12,80	25,53	21,83	38
8. Фон 2+ $\text{N}_{100(60+40)}$	-	42,03	15,78	25,74	27,85	48
9. Фон 2+ $\text{N}_{120(80+40)}$	-	37,07	21,05	31,24	29,79	52
10. Фон 2+ $\text{N}_{140(80+60)}$	-	40,32	24,23	42,31	35,62	62

Определение за два укоса многолетних злаковых трав средних коэффициентов перехода ^{137}Cs из торфянисто-глеевой почвы в сено показало следующее. На контроле K_p составил 0,52. Применение фосфорных и калийных удобрений в дозах $\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ обеспечило уменьшение его до 0,30, или в 1,6 раза. Увеличение дозы калия до 180 кг/га также способствовало снижению перехода до 0,22. Азотные удобрения на фоне $\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ привели к некоторому повышению K_p ^{137}Cs в многолетние злаковые травы при внесении их в дозах 120-140 кг/га. В то же время на более высоком фоне применения калийных удобрений ($\text{P}_{90}\text{K}_{180}$) значения коэффициентов перехода радионуклида в сено и при повышенных дозах азотных удобрений ($\text{N}_{120-140}$) не превышали 0,30 Бк/кг: кБк/м² (рисунок 1).

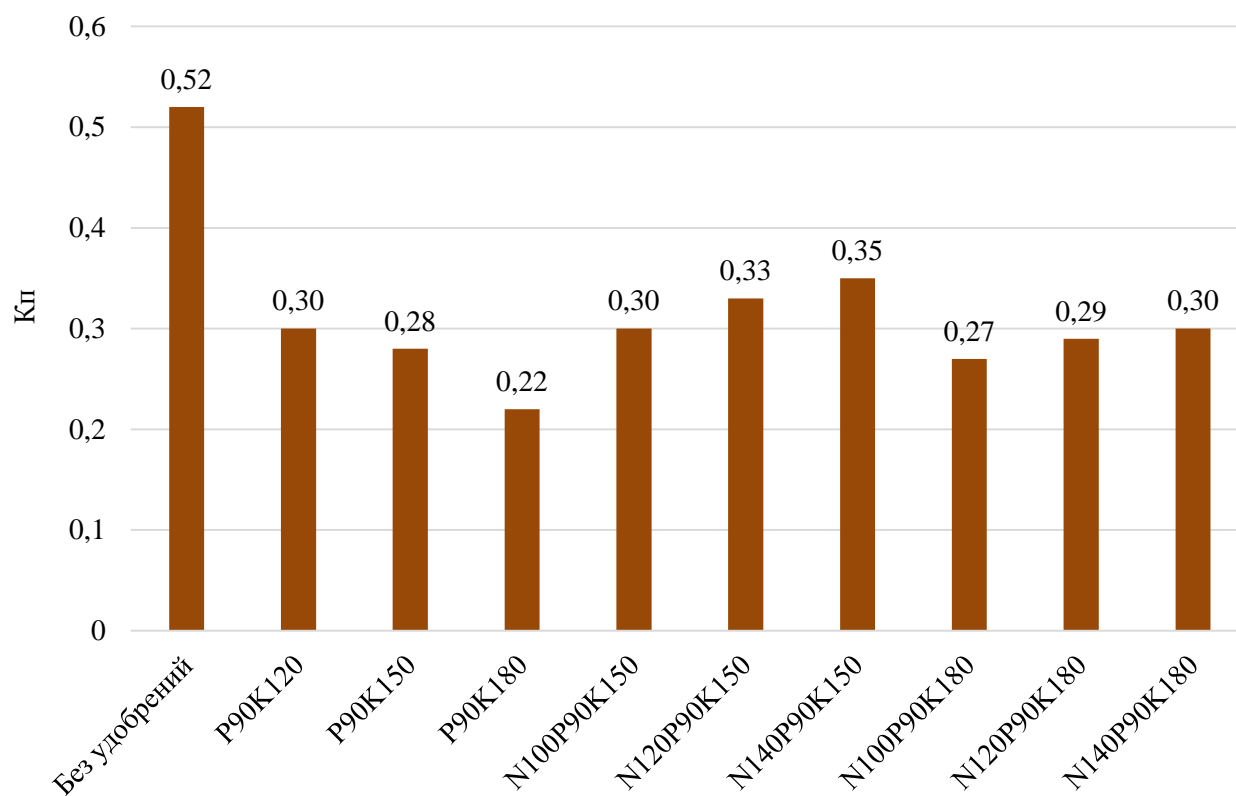


Рисунок 1. – Средние значения коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в сено (Бк/кг: кБк/м²) многолетних трав в зависимости от доз минеральных удобрений

На торфянисто-глеевой почве при внесении фосфорных и калийных удобрений в дозах P₉₀K₁₅₀₋₁₈₀ и азотных удобрений в дозах N₁₀₀₋₁₄₀ 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 и мяса, отвечающих республиканским допустимым уровням по содержанию радионуклида. Для производства мяса с содержанием ^{137}Cs до 200 Бк/кг нормативно чистое сено первого укоса возможно получить на фоне применения P₉₀K₁₂₀, P₉₀K₁₅₀ и N₁₀₀P₉₀K₁₅₀ при плотности загрязнения почвы до 28 Ки/км². При применении азотных удобрений в дозах 120-140 кг/га допустимая плотность загрязнения почвы ^{137}Cs снижается до 26 Ки/км². При высоком уровне применения калийных удобрений (P₉₀K₁₈₀) и повышенных дозах азота (120-140 кг/га) допустимая плотность загрязнения почвы составляет 28-29 Ки/км². Нормативно чистое по содержанию радионуклида сено трав второго укоса возможно получать при плотности загрязнения почвы до 30 Ки/км² даже при высокой дозе применения азотных удобрений (140 кг/га).

Азотный фонд почвы и его влияние на поступление ^{137}Cs в растения и продуктивность многолетних злаковых трав

В торфянисто-глеевой почве с содержанием органического вещества 61,4-66,0% в пахотном горизонте (Т_п) содержание общего азота (N_{общ}) составило 1,67-

1,73%. Запас $N_{\text{общ}}$ в слое 0-25 см изменялся в пределах 15030-15930 кг/га, а в среднем составил 15570 кг/га. Из общего запаса азота в пахотном слое основной удельный вес составлял азот органических соединений ($N_{\text{орг}}$) – 99,6-99,7%. На долю минерального азота ($N_{\text{мин}}$) приходилось всего 0,3-0,4%.

В ранневесенний период содержание $N\text{-NO}_3$ в пахотном (0-25 см) слое почвы изменялось по годам от 11,91 до 46,36 мг/кг, а в среднем за 2016-2019 годы составило 29,45 мг/кг. Различия между годами варьировали в 3,9 раза. Во время первого укоса трав содержание его в почве снизилось на фосфорно-калийном фоне в среднем до 9,33 мг/кг (в 3,2 раза), что обусловлено потреблением элемента растениями. В вариантах с применением под первый укос азотных удобрений в дозах 60 и 80 кг/га содержание $N\text{-NO}_3$ в пахотном слое почвы после укоса трав составило 11,32-13,93 мг/кг, то есть было выше по сравнению с фоновым вариантом всего на 2,0-4,6 мг/кг.

Содержание аммонийного азота ($N\text{-NH}_4$) в пахотном слое почвы в ранневесенний период изменялось по годам исследований от 14,49 до 52,72 мг/кг, а в среднем за 2016-2019 годы составило 25,55 мг/кг. Различия между годами достигали 3,6 раза. В период уборки трав первого укоса содержание $N\text{-NH}_4$ в почве на фосфорно-калийном фоне снизилось в среднем до 16,87 мг/кг, а в вариантах с применением при весеннем отрастании трав азотных удобрений в дозах 60 и 80 кг/га, наоборот, составило 29,72-34,36 мг/кг и было выше по сравнению с вариантом РК на 12,85-17,49 мг/кг.

Содержание минерального азота (суммы $N\text{-NO}_3$ и $N\text{-NH}_4$) в слое почвы 0-25 см в ранневесенний период находилось на уровне 55 мг/кг с колебаниями по годам исследований от 31,98 до 99,11 мг/кг, или в 3,1 раза. Во время уборки трав первого укоса содержание $N_{\text{мин}}$ в почве на фосфорно-калийном фоне было на уровне 26,57 мг/кг с незначительным варьированием по годам – от 21,43 до 35,30 мг/кг. В вариантах, где вносили при весеннем отрастании трав азотные удобрения в дозах 60 и 80 кг/га, содержание его составило соответственно 41,05 и 46,30-48,29 мг/кг.

В начале весенней вегетации многолетних злаковых трав в составе минерального азота в почве преобладал нитратный азот, на долю которого приходилось в среднем 53,5%, а в период первого укоса трав основной удельный вес по всем вариантам опыта занимал аммонийный азот – 64,9-72,4%. По принятой градации торфянисто-глеевая почва характеризовалась низкими запасами минерального азота в пахотном (Тп) слое, которые не превышали 100 кг/га, а в среднем за годы исследований колебались в пределах 24-50 кг/га.

Установлены средние корреляционные зависимости между содержанием $N_{\text{мин}}$ в почве в ранневесенний период и активностью ^{137}Cs в сене многолетних трав первого укоса (рисунок 2), а также между содержанием $N_{\text{мин}}$ в почве после первого укоса трав и активностью ^{137}Cs в сене второго укоса (рисунок 3).

С повышением содержания минерального азота в почве наблюдалось увеличение концентрации радионуклида в растениях.

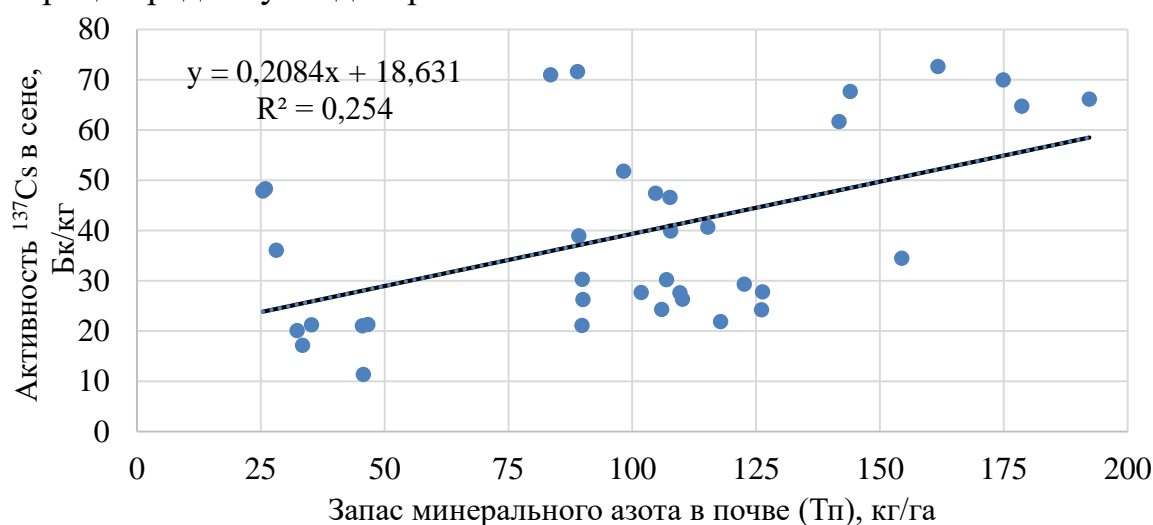


Рисунок 2. – Зависимость удельной активности ^{137}Cs в сене первого укоса от запасов минерального азота в почве

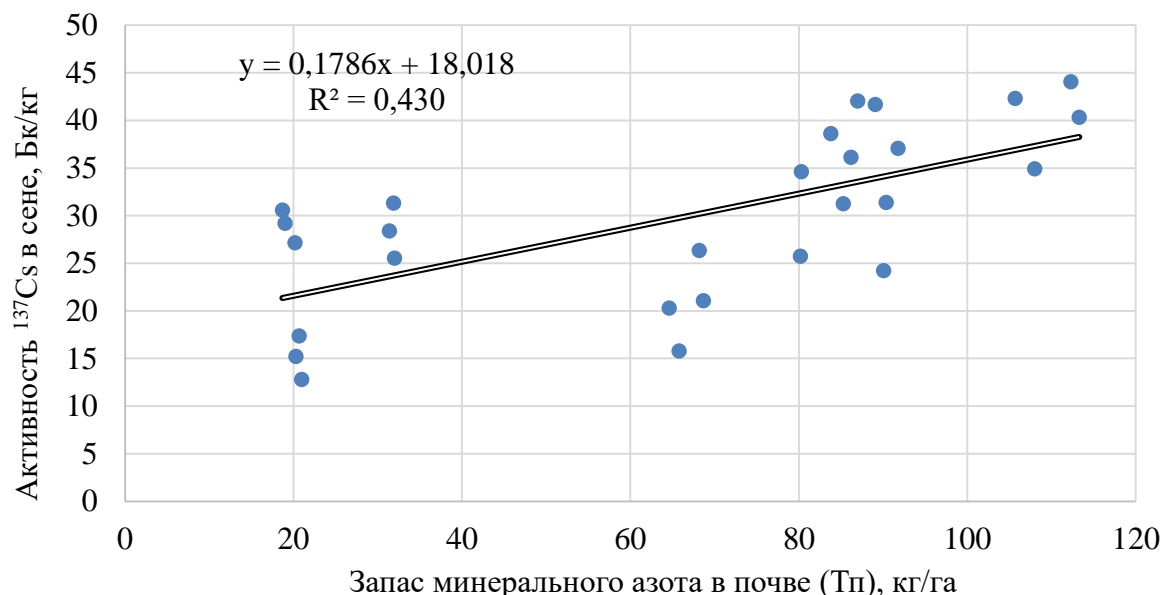


Рисунок 3. – Зависимость удельной активности ^{137}Cs в сене второго укоса от запасов минерального азота в почве

Высокие корреляционные зависимости установлены между содержанием минерального азота в почве в ранневесенний период и после первого укоса трав и урожайностью сена первого и второго укосов. Коэффициенты корреляции (r) составили соответственно 0,83 и 0,73. При повышении запасов $N_{\text{мин}}$ в почве наблюдалось достоверное повышение продуктивности (рисунки 4, 5).

Продуктивность многолетних трав первого укоса на уровне 70-80 ц/га сена обеспечивалась при содержании минерального азота в почве в начале их весеннего отрастания на уровне 120-130 кг/га. Для формирования урожайности сена второго укоса 60-65 ц/га запас $N_{\text{мин}}$ в почве должен составлять 110-115 кг/га.

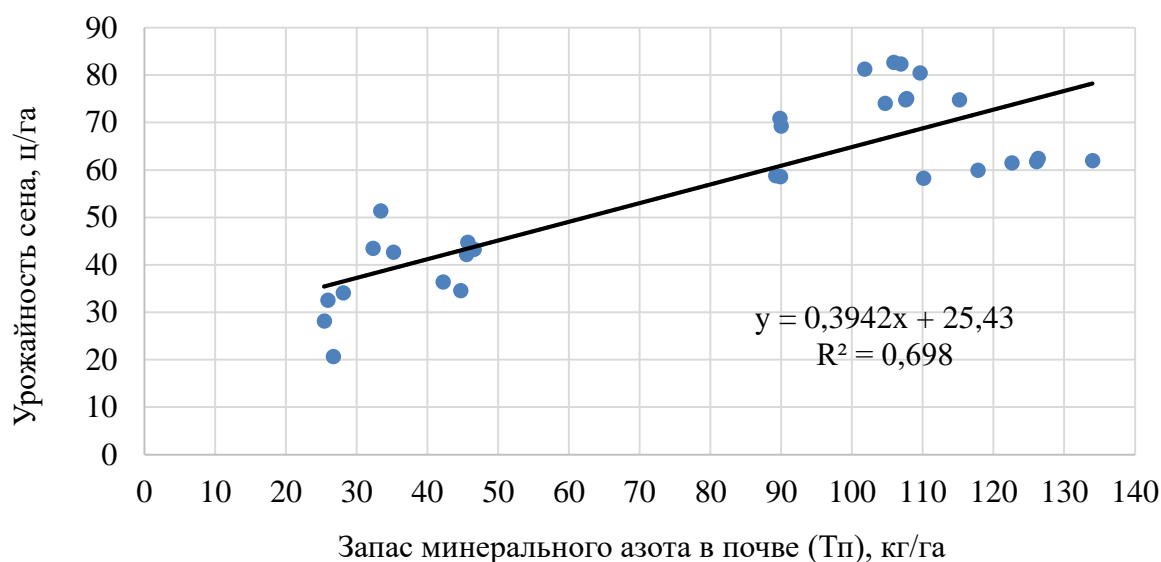


Рисунок 4. – Зависимость урожайности сена первого укоса от запасов минерального азота в почве в ранневесенний период

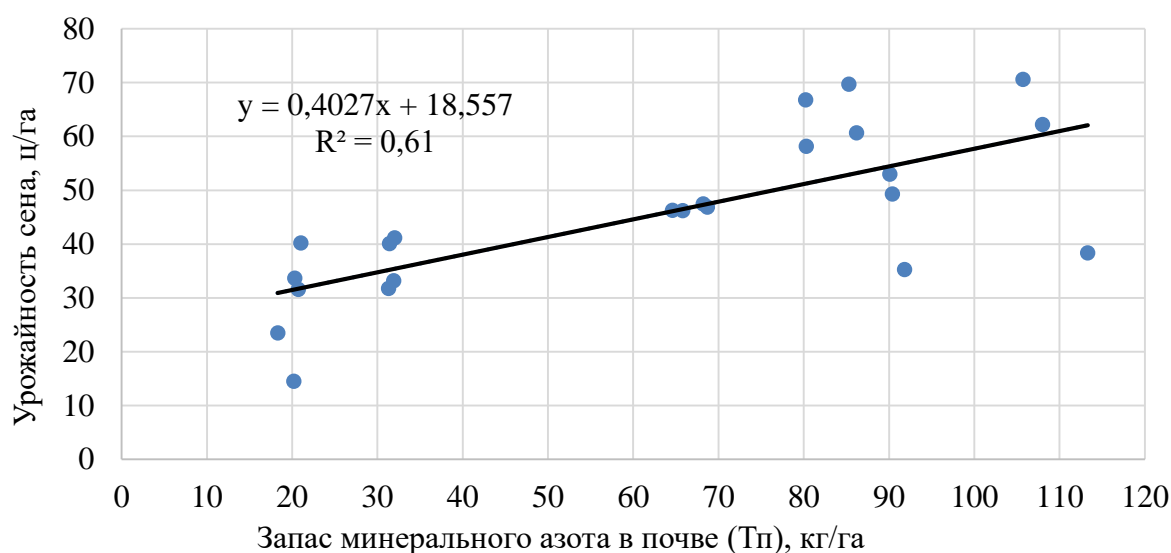


Рисунок 5. – Зависимость урожайности сена второго укоса от запасов минерального азота в почве после первого укоса трав

Определены градации обеспеченности торфянисто-глеевой почвы минеральным азотом для планируемой урожайности многолетних злаковых трав. Ориентировочные уровни содержания и запаса $N_{\text{мин}}$ предложены в качестве основы для дифференцированного применения азотных удобрений. Доза азота по каждому конкретному полю (участку) для внесения под укосы многолетних трав рассчитывается как разность между нормативным уровнем и фактическим содержанием $N_{\text{мин}}$ в почве по формуле:

$$N_{\text{уд.}} = N_{\text{опт.}} - N_{\text{факт.}},$$

где

$N_{\text{уд.}}$ – доза азота удобрений, кг/га д. в.;

$N_{\text{опт.}}$ и $N_{\text{факт.}}$ – оптимальное и фактическое содержание азота в почве, кг/га.

Влияние доз азотных и калийных удобрений на продуктивность многолетних трав

Продуктивность многолетних злаковых трав по годам исследований зависела от метеорологических условий, укосов и уровней применения удобрений. В среднем за 4 года исследований урожайность их на контроле составила 48,6 ц/га сена или 24,8 ц/га корм. ед. При применении фосфорных и калийных удобрений продуктивность возросла до 58,3-67,9 ц/га сена или 29,7-34,6 ц/га корм. ед. Внесение $P_{90}K_{120}$ (K_{90} – под первый укос и K_{30} – под второй укос) обеспечило урожайность 58,3 ц/га сена, прибавка к контролю 9,7 ц/га или 4,9 ц/га корм. ед. При увеличении дозы калия до 150 кг/га (в вторую подкормку 60 кг/га) урожайность возросла до 62,5 ц/га, прибавка 13,6 ц/га сена или 7,1 ц/га корм. ед. Повышение дозы калийного удобрения до 180 кг/га (K_{120} – под первый укос и K_{60} – под второй укос) способствовало росту урожайности – прибавка к контролю составила 19,3 ц/га сена (9,8 ц/га корм. ед.) и к варианту $P_{90}K_{150}$ – 5,4 ц/га сена (таблица 3).

Таблица 3. – Влияние доз и сроков внесения азотных удобрений на продуктивность многолетних злаковых трав в среднем за 4 года исследований

Варианты опыта	Урожайность в среднем за 4 года, ц/га		Прибавка, ц/га			
	сено	корм. ед.	к контролю		к РК	
			сено	корм. ед.	сено	корм. ед.
1. Контроль	48,6	24,8	-	-	-	-
2. $P_{90}K_{120}$	58,3	29,7	9,7	4,9	-	-
3. $P_{90}K_{150}$ – фон 1	62,5	31,9	13,9	7,1	-	-
4. Фон 1 + N_{100} (60 + 40)	92,9	47,4	44,3	22,6	30,4	15,5
5. Фон 1 + N_{120} (80 + 40)	103,1	52,6	54,5	27,8	40,6	20,7
6. Фон 1 + N_{140} (80 + 60)	105,9	54,0	57,3	29,2	43,4	22,1
7. $P_{90}K_{180}$ – фон 2	67,9	34,6	19,3	9,8	-	-
8. Фон 2 + N_{100} (60 + 40)	97,0	49,5	48,4	24,7	29,1	14,9
9. Фон 2 + N_{120} (80 + 40)	107,6	54,9	59,0	30,1	39,7	20,3
10. Фон 2 + N_{140} (80 + 60)	110,7	56,5	62,1	31,7	42,8	21,9
11. $N_{120}P_{90}K_{150} + Cu_{0,08}$	114,5	58,4	65,9	33,6	-	-
12. $N_{140}P_{90}K_{150} + Cu_{0,08}$	116,0	59,2	67,4	34,4	-	-
<i>HCP</i> _{0,5}	4,72	2,41	-	-	-	-

Применением азотных удобрений в дозах от 100 до 140 кг/га продуктивность многолетних трав возрастала на фоне $P_{90}K_{150}$ от 92,9 до 105,9 ц/га сена или от 47,4 до 54,0 ц/га корм. ед., на фоне $P_{90}K_{180}$ – от 97,0 до 110,7 ц/га сена или от 49,5 до 56,5 ц/га корм. ед. Суммарные (за все укосы) прибавки сена при внесении общей дозы N_{100} составили на первом и втором фонах соответственно 30,4 и 29,1 ц/га или 15,5 и 14,9 ц/га корм. ед. При увеличении общей дозы азотных удобрений до 120 кг/га также наблюдалось достоверное увеличение урожайности по отношению к варианту с N_{100} – прибавки сена получены 40,6 и 39,7 ц/га

соответственно к фонам $P_{90}K_{150}$ и $P_{90}K_{180}$. Увеличение дозы азотных удобрений до 140 кг/га (N_{80} – под первый укос и N_{60} – под второй укос) не привело к существенному увеличению продуктивности трав.

Изучение влияния медьсодержащих удобрений, которые применяли в дозе 80 г/га меди (320 г/га сульфата меди) в виде некорневой подкормки в фазе выхода в трубку многолетних трав, показало следующее. В слабозасушливом 2016 году и засушливом 2018 году они не оказали существенного влияния на продуктивность трав по отношению к фонам $N_{120}P_{90}K_{150}$ и $N_{140}P_{90}K_{150}$. Во влажном 2017 году медьсодержащие удобрения обеспечили по отношению к фонам РК прибавки сена 16,9-17,7 ц/га или 8,6-9,0 ц/га корм. ед. В 2019 году, который характеризовался оптимальными гидротермическими условиями, также наблюдалось увеличение продуктивности трав от медьсодержащих удобрений. Прибавка составила на фоне $N_{120}P_{90}K_{150}$ 22,0 ц/га сена или 11,2 ц/га корм. ед., на фоне $N_{140}P_{90}K_{150}$ – 19,7 ц/га сена или 10,0 ц/га корм. ед. В целом за 4 года исследований некорневые подкормки многолетних трав в начале их весеннего отрастания медьсодержащими удобрениями обеспечили увеличение урожайности на 10,1-11,4 ц/га сена или 5,2-5,8 ц/га корм. ед.

Эффективность применения макро- и микроудобрений под многолетние злаковые травы

Установлено, что окупаемость фосфорных и калийных удобрений прибавкой урожая несущественно зависела от уровней применения калийных удобрений и колебалась в пределах 4,6-7,1 кг сена злаковых трав или 2,5-3,6 корм. ед.

Эффективность азотных удобрений определялась дозами их внесения. В вариантах с применением N_{100} окупаемость азота составила 29,1-30,4 кг сена (14,9-15,5 корм. ед.). Наиболее высокая окупаемость азотных удобрений получены при внесении их в дозе 120 кг/га, составившая на фоне $P_{90}K_{150}$ 33,8 кг сена (17,3 корм. ед.), на фоне $P_{90}K_{180}$ – 33,1 кг сена (16,9 корм. ед.). При увеличении общей дозы азота до 140 кг/га окупаемость его снижалась до 30,6-31,0 кг сена.

Окупаемость полного (NPK) минерального удобрения по вариантам опыта изменялась в пределах 13,0-15,1 кг сена (6,6-7,7 корм. ед.). Применение под многолетние травы медьсодержащих удобрений способствовало более эффективному использованию минеральных удобрений. Так, в вариантах с некорневой подкормкой трав в фазе выхода в трубку медным купоросом в дозе 80 г/га действующего вещества окупаемость минеральных удобрений (NPK) прибавкой урожайности составила соответственно 18,3 и 17,7 кг сена (9,3 и 9,0 корм. ед.).

Производственные затраты (стоимость удобрений, затраты на их внесение, на уборку, транспортировку и доработку дополнительной продукции) при

возделывании многолетних злаковых трав колебались в зависимости от доз применения минеральных удобрений от 220,86 до 584,51 рублей на 1 га (от 90,88 до 240,54 долл. США). Затраты на приобретение и внесение минеральных удобрений изменялись в зависимости от их доз и находились в пределах от 195,07 до 409,50 руб./га (80,27 – 168,52 долл. США/га).

Экономическая эффективность минеральных удобрений существенно зависела от доз и сроков их внесения. Применение только фосфорных и калийных удобрений было неэффективным. В варианте с применением $P_{90}K_{120}$ при стоимости полученной прибавки урожая 104,34 рублей на 1 га убыток составил -116,52 руб./га (-48,36 долл. США/га). При увеличении доз калийных удобрений стоимость продукции возрастала за счет роста прибавки урожая, однако внесение фосфорных и калийных удобрений также было убыточным (таблица 4).

Таблица 4. – Экономическая эффективность применения удобрений под многолетние злаковые травы

Варианты опыта	Стоимость продукции	Общие затраты	Условный чистый доход (убыток)	Рентабельность (убыточность) применения удобрений, %
	рублей на 1 га			
1. $P_{90}K_{120}$	104,34	220,86	-116,52	-52,8
2. $P_{90}K_{150}$	146,34	238,43	-92,09	-38,6
3. $P_{90}K_{180}$	202,27	259,41	-57,14	-22,0
4. $N_{100}P_{90}K_{150}$	472,70	444,03	28,67	6,5
5. $N_{120}P_{90}K_{150}$	577,99	495,91	82,08	16,6
6. $N_{140}P_{90}K_{150}$	557,56	528,43	29,13	5,5
7. $N_{100}P_{90}K_{180}$	506,60	461,26	45,34	9,8
8. $N_{120}P_{90}K_{180}$	573,37	514,28	59,09	11,5
9. $N_{140}P_{90}K_{180}$	637,22	547,40	89,82	16,4
10. $N_{120}P_{90}K_{150} + Cu_{0,08}$	642,93	548,86	94,07	17,1
11. $N_{140}P_{90}K_{150} + Cu_{0,08}$	659,46	584,51	74,95	12,8

Среднегодовой курс доллара США по данным Национального банка РБ за 2020-й год составлял 2,43 рублей.

Применение азотных удобрений в дозах от 100 до 140 кг/га на фонах РК способствовало повышению эффективности возделывания многолетних злаковых трав. В варианте $N_{100}P_{90}K_{150}$ получен условный чистый доход 28,67 руб./га (11,80 долл. США/га) и рентабельность применения удобрений 6,5%. Внесение на этом же фоне 120 кг/га азота (N_{80} под первый укос и N_{40} под второй укос) обеспечило повышение условного чистого дохода до 82,08 руб./га (33,78 долл. США) и уровня рентабельности до 16,6%. При применении N_{140} наблюдалось снижение эффективности удобрений – рентабельность уменьшилась до 5,5%.

На фоне с более высокой дозой калийных удобрений ($P_{90}K_{180}$) эффективность минеральных удобрений возрастала. В варианте $N_{100}P_{90}K_{180}$ прибыль составила 45,34 руб./га (18,66 долл. США/га) и рентабельность 9,8%. Внесение на этом же фоне 140 кг/га азота (N_{80} под первый укос и N_{60} под второй укос) обеспечило условный чистый доход 89,82 руб./га (36,96 долл. США), при уровне рентабельности 16,4%. Наиболее эффективным было совместное применение минеральных и медьсодержащих удобрений. Самый высокий условный чистый доход 94,07 руб./га (38,7 долл. США/га) и рентабельность производства 17,1% при внесении $N_{120}P_{90}K_{150}$ и некорневой подкормке трав медью в дозе 80 г/га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. В зависимости от метеорологических условий вегетационных периодов различия в накоплении ^{137}Cs в сене многолетних трав первого укоса достигают 4,3 раза, в сене второго укоса – 3,3 раза. Наибольшее поступление ^{137}Cs наблюдается в условиях повышенного увлажнения вегетационного периода, меньше – при засушливых условиях и самое низкое – при оптимальных условиях увлажнения. В неблагоприятные по увлажнению вегетационные периоды отмечаются более существенные различия между минимальным и максимальным содержанием радионуклида в растениях по сравнению с оптимальным по увлажнению условиями вегетации [1, 2].

2. Применение на торфянисто-глеевых почвах фосфорных и калийных удобрений в дозах $P_{90}K_{90}$ обеспечивает уменьшение удельной активности ^{137}Cs в сене многолетних злаковых трав первого укоса с 71,62 до 40,49 Бк/кг или на 43% по сравнению с контролем. При внесении K_{120} также наблюдается снижение ^{137}Cs в растениях. Калийная подкормка трав второго укоса в дозе 30 кг/га на фоне $P_{90}K_{90}$ уменьшает коэффициент перехода радионуклида в сено на 50%. При внесении под второй укос K_{60} на фонах $P_{90}K_{90}$ и $P_{90}K_{120}$ поступление радионуклида в растения по отношению к варианту $P_{90}K_{120}$ снижается не существенно [1, 8, 9, 11, 12].

Внесение под первый укос трав N_{60-80} не существенно увеличивает поступление ^{137}Cs в растения. Минимальное содержание ^{137}Cs в травах первого укоса (33,77 Бк/кг) отмечается при применении 60 кг/га азота на фоне $P_{90}K_{180}$. Вторая азотная подкормка приводит к некоторому увеличению накопления ^{137}Cs в сене второго укоса по отношению к фосфорно-калийным фонам, однако концентрация его не превышает 35 Бк/кг, что более чем на порядок ниже допустимого уровня. Поступление ^{137}Cs в сено при повышенных дозах азотных удобрений ($N_{120-140}$) снижается на высоком фоне калийных удобрений ($P_{90}K_{180}$). Медьсодержащие удобрения не оказывают существенного влияния на снижение

содержания ^{137}Cs в растениях по отношению к вариантам $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ и $\text{N}_{140}\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ [2, 6, 8, 9, 11].

3. На торфянисто-глеевой почве при внесении фосфорных и калийных удобрений в дозах $\text{P}_{90}\text{K}_{150-180}$ и азотных удобрений в дозах $\text{N}_{100-140}$ многолетние злаковые травы можно возделывать при плотности загрязнения ^{137}Cs до 40 Ки/км² для производства сена, используя его на корм для получения цельного молока и мяса, отвечающих РДУ по содержанию радионуклида. Для производства мяса с содержанием ^{137}Cs до 200 Бк/кг нормативно чистое сено первого укоса возможно получить на фоне применения $\text{P}_{90}\text{K}_{120-150}$ и $\text{N}_{100}\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ при плотности загрязнения почвы до 28 Ки/км². При применении азотных удобрений в дозах 120-140 кг/га допустимая плотность загрязнения почвы ^{137}Cs снижается до 26 Ки/км². При высоком уровне применения калийных удобрений ($\text{P}_{90}\text{K}_{180}$) и повышенных дозах азота (120-140 кг/га) допустимая плотность загрязнения почвы составляет 28-29 Ки/км². Нормативно чистое по содержанию радионуклида сено трав второго укоса возможно получать при плотности загрязнения почвы до 30 Ки/км² даже при высокой дозе применения азотных удобрений (140 кг/га) [1, 2, 14].

4. В торфянисто-глеевой почве с содержанием органического вещества 61,4-66,0% в составе общего азота в пахотном слое основной удельный вес занимает азот органических соединений – 99,6-99,7%, а на долю минерального азота приходится всего 0,3-0,4%. В начале весенней вегетации многолетних трав в составе минерального азота преобладал нитратный азот, на долю которого приходилось в среднем 53,5%, а в середине вегетации (первый и второй укосы) основной удельный вес занимал аммонийный азот – 64,9-72,4% [6, 10].

Выявлены средние корреляционные зависимости ($r = 0,50-0,66$) между содержанием $\text{N}_{\text{мин}}$ в почве в ранневесенний период и после первого укоса и активностью ^{137}Cs в сене многолетних трав первого и второго укосов. С повышением содержания минеральных соединений азота в почве наблюдается увеличение удельной активности радионуклида в растениях. Высокие корреляционные зависимости установлены между содержанием минерального азота в почве в ранневесенний период и после первого укоса трав и урожайностью сена первого и второго укосов. Коэффициенты корреляции (r) составляют соответственно 0,83 и 0,78. При повышении запасов $\text{N}_{\text{мин}}$ в почве наблюдается достоверное повышение продуктивности [6].

5. На торфянисто-глеевой почве с оптимальными параметрами обеспеченности ее подвижными формами фосфора и калия максимальная продуктивность многолетних злаковых трав обеспечивается при применении $\text{N}_{140}\text{P}_{90}\text{K}_{180}$ – 110,7 ц/га сена или 56,5 ц/га кормовых единиц. Прибавки сена за счет азотных удобрений на фонах с разными дозами калийных удобрений близкие и составляют на фоне $\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ 30,4-43,4 ц/га сена или 15,5-22,1 ц/га кормовых

единиц, на фоне $P_{90}K_{180}$ – 29,1-42,8 ц/га сена или 14,9-21,9 ц/га кормовых единиц [3, 4, 13].

В засушливые годы медьсодержащие удобрения не оказали существенного влияния на продуктивность трав, а при влажных и оптимальных гидротермических условиях прибавки урожайности по отношению к фоновым вариантам составили соответственно 16,9-17,7 и 19,7-22,0 ц/га сена. В целом за годы исследований некорневые подкормки многолетних трав медьсодержащими удобрениями обеспечили повышение урожайности на 10,1-11,4 ц/га сена или 5,2-5,8 ц/га кормовых единиц [4].

6. На торфянисто-глеевой почве с запасом в ранневесенний период минерального азота 50-55 кг/га, высокой обеспеченностью подвижным фосфором (875 мг/кг), повышенной обеспеченностью подвижным калием (805 мг/кг) и средней обеспеченностью подвижной медью (7,15-7,99 мг/кг) наиболее эффективной системой удобрения многолетних среднеспелых злаковых трав является дробное применение N_{120} (N_{80} – под первый укос и N_{40} – под второй укос) на фоне $P_{90}K_{150}$ совместно с некорневой подкормкой медью ($Cu_{0,08}$). Данная система удобрения обеспечивает условный чистый доход 94,07 руб./га (38,71 долл. США/га), рентабельность 17,1% и окупаемость удобрений 18,3 кг сена или 9,3 кормовых единицы [5, 7, 15].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Рекомендуются в качестве основы для дифференцированного применения азотных удобрений ориентировочные уровни обеспеченности торфянисто-глеевой почвы минеральным азотом для планируемой урожайности многолетних злаковых трав:

Показатель	Уровень планируемой урожайности, ц/га сена					
	35-40	45-50	55-60	65-70	75-80	85-90
Содержание $N_{\text{мин}}$ в слое почвы 0-25 см, мг/кг	35-45	50-55	60-70	75-80	85-90	95-100
Запас $N_{\text{мин}}$ в слое почвы 0-25 см, кг/га	30-40	50-60	70-85	100-110	120-130	135-140

Доза азота по каждому конкретному полю (участку) для внесения под укосы многолетних трав рассчитывается как разность между нормативным уровнем и фактическим содержанием $N_{\text{мин}}$ в почве по формуле:

$$N_{\text{уд.}} = N_{\text{опт.}} - N_{\text{факт.}},$$

где

$N_{\text{уд.}}$ – доза азота удобрений, кг/га д. в.;

$N_{\text{опт.}}$ и $N_{\text{факт.}}$ – оптимальное и фактическое содержание азота в почве, кг/га.

2. При возделывании многолетних среднеспелых злаковых трав на загрязненных ^{137}Cs торфянисто-глеевых почвах с высокой обеспеченностью подвижным фосфором, повышенной обеспеченностью подвижным калием и средней обеспеченностью подвижной медью рекомендуется дробное применение 120 кг/га азотных удобрений (N_{80} – под первый укос и N_{40} – под второй укос) на фоне $\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ совместно с некорневой подкормкой медью ($\text{Cu}_{0,08}$). Данная система удобрения обеспечивает получение кормов (сено), пригодных для скармливания поголовью коров при производстве цельного молока, продуктивность на уровне 58 ц/га кормовых единиц, условный чистый доход 94,07 руб./га (38,71 долл. США/га), рентабельность 17,1%.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК

1. Цыбулько, Н.Н. Накопление ^{137}Cs многолетними злаковыми травами на торфянисто-глеевой почве в зависимости от доз калийных удобрений / Н.Н. Цыбулько, И.И. Жукова, Е.Б. Евсеев // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – №2 (61). – С. 112-120.

2. Цыбулько, Н.Н. Влияние азотных удобрений на накопление ^{137}Cs многолетними злаковыми травами на торфянисто-глеевой почве / Н.Н. Цыбулько, Г.В. Седукова, Е.Б. Евсеев, И.И. Жукова // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – №1 (62). – С. 157-168.

3. Цыбулько, Н.Н. Влияние калийных удобрений на продуктивность многолетних злаковых трав на торфянисто-глеевой почве / Н.Н. Цыбулько, Е.Б. Евсеев, И.И. Жукова // Мелиорация. – 2020. – №1 (91). – С. 56-60.

4. Цыбулько, Н.Н. Влияние азотных удобрений на продуктивность многолетних злаковых трав на торфянисто-глеевой почве / Н.Н. Цыбулько, Е.Б. Евсеев, И.И. Жукова // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – №1 (64). – С. 125-132.

5. Цыбулько, Н.Н. Эффективность применения минеральных удобрений под многолетние злаковые травы на торфянисто-глеевой почве / Н.Н. Цыбулько, Е.Б. Евсеев, И.И. Жукова // Мелиорация. – 2020. – №3 (93). – С. 65-70.

6. Цыбулько, Н.Н. Азотный режим торфянисто-глеевой почвы и его влияние на накопление ^{137}Cs в растениях и продуктивность многолетних злаковых трав / Н.Н. Цыбулько, Е.Б. Евсеев, И.И. Жукова // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – №2 (65). – С. 120-129.

7. Цыбулько, Н.Н. Агрономическая и экономическая эффективность применения минеральных удобрений под многолетние злаковые травы на торфянисто-глеевой почве / Н.Н. Цыбулько, Е.Б. Евсеев, И.И. Жукова // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – №1 (66). – С. 113-119.

Статьи в других рецензируемых научных изданиях

8. Евсеев, Е.Б. Определение влияния применения минеральных удобрений на накопление цезия-137 многолетними среднеспелыми злаковыми травами на антропогенно-преобразованной торфяной почве / Е.Б. Евсеев, В.С. Филипенко // Вестник Полесского государственного университета. Серия Биологические науки. – 2017. – №2 (2016). – С. 39-46.

Материалы конференций, тезисы докладов

9. Евсеев, Е.Б. Влияние системы удобрений на параметры накопления ^{137}Cs в травостое многолетних среднеспелых злаковых трав, возделываемых на торфяно-деградированной почве / Е.Б. Евсеев // «Чернобыль и наука: опыт преодоления последствий»: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (19-20 апр. 2018 г., г. Гомель). – Гомель: Ин-т радиологии, 2018. – С. 225-229.

10. Жукова, И.И. Структура азотного фонда антропогенно-преобразованной торфяной почвы / И.И. Жукова, В.С. Филипенко, Е.Б. Евсеев // Проблемы устойчивого развития регионов Республики Беларусь и сопредельных стран: сб. науч. статей VI Междунар. науч.-практ. интернет-конф., 1 февраля – 31 марта 2017 г., г. Могилев / под ред. И.И. Шаруха, А.Н. Пахоменко. – Могилев: МГУ имени А.А. Кулешова, 2018. – С.76-79.

11. Евсеев, Е.Б. Влияние системы удобрений на переход ^{137}Cs из торфяно-деградированной почвы в травостой многолетних среднеспелых злаковых трав / Е.Б. Евсеев // Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века: материалы 18-й международной научной конференции, 17-18 мая 2018 г., г. Минск, Республика Беларусь: в 3 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол.: А.Н. Батян [и др.]; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, д-ра с.-х. н., проф. С. С. Позняка. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – Ч. 2. – С. 203-205.

12. Жукова, И.И. Влияние уровней калийного питания на накопление ^{137}Cs многолетними злаковыми травами на антропогенно-преобразованной торфяной почве / И.И. Жукова, Н.Н. Цыбулько, Е.Б. Евсеев, А.В. Шашко // Актуальные проблемы экологии: сб. науч. ст. по материалам XIII Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 3–5 окт. 2018 г.) / Гродн. гос. ун-т; ред. кол.: И.Б. Заводник (отв. ред.), А.Е. Каревский, О.В. Янчуревич, О.В. Павлова – Гродно: ЮрСаПринт, 2018. – С. 258-261.

13. Евсеев, Е.Б. Технология получения высоких урожаев многолетних среднеспелых злаковых трав, возделываемых на торфяно-деградированной почве, загрязненной цезием-137 / Е.Б. Евсеев // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур: сборник статей по материалам XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию кафедры растениеводства. – Горки: БГСХА, 2019. – С. 72-75.

Рекомендации, методические указания

14. Рекомендации по использованию почв с высокими параметрами перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию / Н.Н. Цыбулько, А.М. Устинова, В.Б. Цырибко, А.Н. Червань, И.И. Жукова, А.В. Юхновец, Е.Б. Евсеев, И.А. Логачев, А.А. Митькова.; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 76 с.

15. Рекомендации по применению минеральных удобрений при возделывании многолетних среднеспелых злаковых травосмесей на загрязнённых ^{137}Cs антропогенно-преобразованных торфяных почвах/ Г.В. Седукова., С.А. Исаченко, Е.А. Тимченко, Л.И. Козлова, Е.Б. Евсеев, Н.В. Кристова; Нац. акад. наук Беларуси, Институт радиобиологии НАН Беларуси. – Гомель: Институт радиобиологии, 2020. – 26 с.

РЕЗЮМЕ

Евсеев Евгений Борисович

ВЛИЯНИЕ АЗОТНОГО И КАЛИЙНОГО ПИТАНИЯ НА ПОСТУПЛЕНИЕ ^{137}Cs В РАСТЕНИЯ И ПРОДУКТИВНОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ ЗЛАКОВЫХ ТРАВ НА ТОРФЯНИСТО-ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЕ

Ключевые слова: многолетние злаковые травы, торфянисто-глеевая почва, минеральные удобрения, продуктивность, экономическая эффективность.

Цель исследования: установить влияние доз азотных и калийных удобрений, запасов минеральных соединений азота в торфянисто-глеевой почве на накопление ^{137}Cs в сене многолетних злаковых трав, их продуктивность и эффективность применения удобрений.

Методы исследований: полевые, агрохимические, спектрометрические, статистические и стандартная аппаратура.

Полученные результаты и их новизна: впервые в условиях радиоактивного загрязнения Белорусского Полесья на торфянисто-глеевой почве изучено влияние доз азотных и калийных удобрений, запасов минеральных соединений азота в почве на накопление ^{137}Cs в растения многолетних злаковых трав, установлены зависимости поступления радионуклида в сено от соотношения азота и калия в питании растений. Определены оптимальные запасы минерального азота в почве для получения планируемой урожайности многолетних трав и установлены дозы азотных и калийных удобрений, обеспечивающие минимальное накопление радионуклида в продукции и эффективное применение удобрений.

Рекомендации по использованию: результаты исследований могут быть включены в технологию возделывания многолетних злаковых травосмесей на загрязненных цезием-137 торфянисто-глеевых почвах.

Область применения: сельскохозяйственное производство, научные исследования, образование.

Яўсееў Яўгеній Барысавіч

ЎПЛЫЎ АЗОТНАГА І КАЛІЙНАГА ЖЫЎЛЕННЯ НА ПАСТУПЛЕННЕ ^{137}Cs У РАСЛІНЫ І ПРАДУКТЫЎНАСЦЬ ШМАТГАДОВЫХ ЗЛАКАВЫХ ТРАЎ НА ТАРФЯНІСТА-ГЛЕЕВАЙ ГЛЕБЕ

Ключавыя словы: шматгадовыя злакавыя травы, тарфяніста-глеєвая глеба, мінеральныя ўгнаенні, прадуктыўнасць, эканамічная эфектыўнасць.

Мэта даследаванняў: устаноўць ўплыў доз азотных і калійных угнаенняў, запасаў мінеральных злучэнняў азоту ў тарфяніста-глеєвай глебе на назапашванне ^{137}Cs у сене шматгадовых злакавых траў, іх прадуктыўнасць і эфектыўнасць прымянення ўгнаенняў.

Метады даследаванняў: палявыя, аграхімічныя, спектраметрычныя, статыстычныя і стандартная апаратура.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: упершыню ва ўмовах радыеактыўнага забруджвання Беларускага Палесся на тарфяніста-глеєвай глебе ўстаноўлены ўплыў доз азотных і калійных угнаенняў, запасаў мінеральных злучэнняў азоту ў глебе на назапашванне ^{137}Cs у расліны шматгадовых злакавых траў, устаноўлены залежнасці паступлення радыенукліду ў сена ад суадносін азоту і калію ў жыўленні раслін. Вызначаны аптымальныя запасы мінеральнага азоту ў глебе для атрымання планаванай ураджайнасці шматгадовых траў і ўстаноўлены дозы азотных і калійных угнаенняў, якія забяспечваюць мінімальнае назапашванне радыенукліду ў прадукцыі і эфектыўнае прымяненне ўгнаенняў.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: вынікі даследаванняў могуць быць уключаны ў тэхналогію вырошчвання шматгадовых злакавых травасумесяў на забруджаных цэзіем-137 тарфяніста-глеєвых глебах.

Галіна выкарыстання: сельскагаспадарчая вытворчасць, навуковыя даследаванні, адукацыя.

SUMMARY

Yevseyev Evgeny Borisovich

THE EFFECT OF NITROGEN AND POTASSIUM NUTRITION ON THE INTAKE OF ^{137}Cs IN PLANTS AND THE PRODUCTIVITY OF PERENNIAL GRASSES ON PEAT-GLEY SOIL

Keywords: perennial grasses, peat-gley soil, mineral fertilizers, productivity, economic efficiency.

Aim of the research: to establish the effect of doses of nitrogen and potash fertilizers, reserves of mineral nitrogen compounds in peat-gley soil on the accumulation of ^{137}Cs in the hay of perennial grasses, their productivity and the effectiveness of fertilizers.

Methods of research: field, agrochemical, spectrometric, statistical and standard equipment.

Obtained results and their novelty: for the first time in the conditions of radioactive contamination of the Belarusian Polesie on peat-gley soil, the effect of doses of nitrogen and potassium fertilizers, reserves of mineral nitrogen compounds in the soil on the accumulation of ^{137}Cs in plants of perennial grasses was studied, the dependences of radionuclide intake in hay on the ratio of nitrogen and potassium in plant nutrition were established. Optimal reserves of mineral nitrogen in the soil for obtaining the planned yield of perennial grasses have been determined and doses of nitrogen and potash fertilizers have been established to ensure minimal accumulation of radionuclide in products and effective use of fertilizers.

Recommendations on application: the results of the research can be included in the technology of cultivation of perennial grass mixtures on caesium-137 polluted peat-gley soils.

Scope of application: agricultural production, scientific research, education.

Евсеев

Евгений Борисович

Влияние азотного и калийного питания
на поступление ^{137}CS в растения и продуктивность многолетних
злаковых трав на торфянисто-глеевой почве

Подписано в печать 05.01.2022. Формат 60×84 $\frac{1}{16}$.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л 1,42. Тираж 60 экз. Заказ 1.
Полиграфическое исполнение:
Государственное предприятие «Институт системных
исследований в АПК НАН Беларуси».
Ул. Казинца, 103, 220108, Минск.