

На правах рукописи

ЧЕСАЛИН
СЕРГЕЙ ФЕДОРОВИЧ

АГРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОРМОПРОИЗВОДСТВА
В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИИ
ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО РЕГИОНА РОССИИ

06.01.04 – агрохимия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора сельскохозяйственных наук

БРЯНСК – 2022

Работа выполнена в 2003-2019 гг. на кафедре агрохимии, почвоведения и экологии ФГБОУ ВО Брянский ГАУ и Новозыбковской СХОС – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»

Научный консультант БЕЛОУС Николай Максимович
доктор сельскохозяйственных наук, профессор
ректор ФГБОУ ВО Брянский ГАУ

Официальные оппоненты ТИТОВА Вера Ивановна
доктор сельскохозяйственных наук, профессор
заведующая кафедрой агрохимии и агроэкологии
ФГБОУ ВО Нижегородская ГСХА

КУЗНЕЦОВ Владимир Константинович
доктор биологических наук, заведующий лабораторией
радиоэкологии и агроэкологического мониторинга
ФГБНУ ВНИИРАЭ

КОЗЛОВА Людмила Михайловна
доктор сельскохозяйственных наук, заведующая отделом
земледелия, агрохимии и кормопроизводства
ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Всероссийский научно-исследовательский
институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

Защита состоится «___» _____ 2022 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д. 220.005.01 при ФГБОУ ВО Брянский ГАУ по адресу: 243365, Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская 2а, корпус 4. E-mail: uchsovet@bgsha.com. Тел. факс: +7 (48341) 24-7-21

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Брянский ГАУ и на сайте организации по адресу <http://www.bgsha.com>.

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г. и размещен на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru>.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направить по адресу: 243365, Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская 2а, ученому секретарю диссертационного совета. E-mail: uchsovet@bgsha.com.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Дьяченко
Владимир Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. Научно-обоснованное ведение кормопроизводства – основа ускоренного развития сельского хозяйства России. Занимая более 1/4 территории РФ, кормопроизводство, как неотделимая часть растениеводства, является важнейшим стабилизирующим фактором продуктивности и устойчивости агроландшафтов в целом. При этом необходимо не только успешное и стабильное развитие лугового, но и полевого кормопроизводства, на основе которого будет совершенствоваться структура посевных площадей пашни (Косолапов, 2009; Косолапов и др., 2012; 2014; Шпаков, 2014; Шпаков и др., 2016; Трофимов и др., 2018).

Особую актуальность ведение кормопроизводства приобретает в условиях радиоактивного загрязнения территории (Алексахин и др., 1999; Просянкин и др., 2000; Аверин, Подоляк, 2010; Санжарова, 2010; Белоус, 2016; Павлов и др., 2019). Проведение исследований, направленных на изучение продуктивности кормовых культур и качества получаемой продукции, позволяющих в условиях радиоактивного загрязнения аллювиальных и дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава научно обосновать применение минерального удобрения. В связи с этим необходимо использовать максимально адаптированные технологии возделывания одновидовых и смешанных посевов бобовых и мятликовых кормовых культур, полученные корма из которых соответствуют нормативам по содержанию ^{137}Cs , что весьма актуально.

Степень разработанности темы. В России и странах ближнего зарубежья, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС, имеется определенный положительный опыт применения защитных мероприятий при производстве кормов в условиях радиоактивно загрязненных кормовых угодий. Однако дальнейшего совершенствования и разработки требуют многие теоретические и практические вопросы.

Недостаточно изучена роль отдельных элементов, их сочетаний на повышение урожайности и снижения накопления ^{137}Cs массой травостоя в условиях луговых и полевых агроценозов.

Вопросы изменения агрохимических параметров аллювиальных почв, распределение радионуклидов по профилю почв в зависимости от локации в пойменном ландшафте недостаточно изучены.

Цель исследований – научно обосновать применение минерального удобрения при возделывании одновидовых, гетерогенных посевах кормовых культур на зеленую и воздушно-сухую массу, показать наиболее продуктивные кормовые культуры, их смеси, качество кормов, получаемых в условиях радиоактивного загрязнения луговых и полевых ценозов в 20-30 летний период после аварии на Чернобыльской АЭС.

Для достижения цели решался комплекс задач:

- установить результативность минерального удобрения, роль элементов питания в повышении урожайности кормовых культур, гетерогенных посевов в условиях лугового и полевого агроценозов;
- провести всестороннюю оценку адаптивных свойств мятликовых кормовых культур по параметрам экологической стабильности, пластичности, влияния на них минеральных удобрений в условиях юго-запада Брянской области, используя критерий «урожайность»;

- обосновать выбор компонентов для смешанных посевов;
- выявить значение минерального удобрения в изменении биохимических показателей, элементного состава различных кормовых культур лугового и полевого агроценозов;
- определить биологический вынос элементов питания из почвы посевами кормовых культур при внесении минерального удобрения;
- определить риск производства кормов в условиях юго-западной части Брянской области не соответствующего допустимому уровню содержания ^{137}Cs ;
- выявить эффективность минерального удобрения, роль элементов питания в снижении удельной активности ^{137}Cs воздушно-сухой массы кормовых культур, смешанных посевов в условиях лугового и полевого агроценозов;
- определить биологический вынос ^{137}Cs из почвы кормовыми культурами в связи с минеральным питанием и доступностью почвенной влаги;
- раскрыть значение минерального удобрения в ограничении перехода ^{137}Cs по трофической цепи;
- установить тенденции изменения почвенного плодородия территории исследования;
- оценить современное состояние естественного плодородия почв поймы реки Ипуть;
- выявить изменение содержания микроэлементов в аллювиальных почвах поймы;
- определить миграцию ^{137}Cs в аллювиальных почвах;
- установить эффективность минерального удобрения при возделывании кормовых культур в условиях лугового и полевого агроценозов.

Научная новизна. Впервые при возделывании кормовых культур в луговом и полевом агроландшафтах в зависимости от условий окружающей среды, в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС, проведена комплексная оценка результативности минерального удобрения.

Выявлена роль элементов минерального питания в системе удобрения в повышении продуктивности и снижении удельной активности ^{137}Cs зеленой и воздушно-сухой массой кормовых культур лугового и полевого кормопроизводства.

В отдаленный период после аварии на ЧАЭС определены параметры миграции ^{137}Cs по почвенному профилю в зависимости от подсистемы поймы.

Теоретическая и практическая значимость работы. Установлены закономерности и тенденции изменения продуктивности, качества продукции кормопроизводства, полученной на радиоактивно загрязнённых луговых, полевых агроландшафтах в зависимости от вида кормовой культуры и доз минерального удобрения. Результаты исследований служат теоретической основой для разработки адаптивных технологий возделывания кормовых культур луговых и полевых агроценозов, позволяющих получать нормативно «чистые» корма при снижении затрат калийных удобрений по сравнению с рекомендованными ранее.

Установлена возможность использования луговых и полевых агроландшафтов с плотностью загрязнения более 555 кБк/м^2 в качестве кормовых угодий для получения молока с допустимым уровнем загрязнения ^{137}Cs в зависимости от уровня минерального питания.

Методология и методы диссертационного исследования. Методология научно-исследовательской работы была основана на концепции альтернативного пути развития современного кормопроизводства. Представленные в

научных публикациях материалы теоретической и экспериментальной направленности по вопросам кормопроизводства использовали при разработке программы исследования. Экспериментальные данные, полученные в полевых исследованиях и лабораторных анализах стали основой диссертационной работы. Полевые исследования и лабораторные анализы проводили по общепринятым методикам, полученные результаты обрабатывали по средним математической статистики.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Результативность минерального удобрения в повышении продуктивности кормовых культур, качества кормов и адаптации кормовых угодий к условиям юго-запада Брянской области.

2. Возможный риск получения продукции кормопроизводства, не соответствующей допустимому уровню содержания ^{137}Cs , в отдалённый период после аварии на Чернобыльской АЭС на территории юго-западной части Брянской области и роль минерального удобрения в возвращении радиоактивно загрязнённых лугов и пашни в сельскохозяйственный оборот.

3. Снижение перехода ^{137}Cs из продукции кормопроизводства в продукцию животноводства при применении защитных мероприятий на радиоактивно загрязненной территории юго-запада Брянской области.

4. Изменения параметров плодородия почвы во времени. Распределение ^{137}Cs по профилю аллювиальной почвы в зависимости от условий почвообразования.

5. Эффективность использования минеральных удобрений при возделывании кормовых культур в луговых и полевых ценозах.

Степень достоверности результатов проведенных исследований подтверждается наличием большого экспериментального материала, достоверность которого подтверждается полевыми и лабораторными исследованиями с использованием современных лабораторных методов анализа, статистической обработкой данных и программного обеспечения. Полученные результаты исследований опубликованы в широкой печати и внедрены в практику сельскохозяйственного производства региона.

Апробация работы. Основные результаты исследований, вошедшие в диссертацию, были доложены автором и получили одобрение на международных, всероссийских конференциях и симпозиумах: «Инновационные технологии – в практику сельского хозяйства» (Киров, 2019), «Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК» (Брянск, 2016, 2018, 2019), «Приемы повышения плодородия почв и эффективности удобрения» (Горки, 2019), «Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий» (Новосибирск, 2018), «Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве» (Рязань, 2017), «Селекция гибридов кукурузы для современного семеноводства» (Белгород, 2016), «Чернобыль: 30 лет спустя» (Гомель, 2016), «Актуальные проблемы экологии, агрохимии и почвоведения в XXI веке» (Брянск, 2012).

По теме диссертации опубликовано: 41 научная работа в научных изданиях, сборниках и материалах всероссийских и международных конференций, в том числе 19 статей, опубликованных в журналах из перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ.

Личное участие автора в получении научных результатов состоит в определении цели, задач исследований, в проведении экспериментально-полевых и ла-

бораторных работ, сборе и обработке экспериментальных данных, их анализе, формулировании основных положений, выводов, подготовке научных статей, диссертации, автореферата, что составляет более 90%.

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 369 страницах машинописного текста, состоит из введения, 7 глав, заключения, рекомендаций производству, списка используемой литературы, приложений. Работа содержит 97 таблиц, 19 рисунков. Использовали 353 источника литературы, из них 45 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает признательность научному консультанту, доктору сельскохозяйственных наук, профессору Николаю Максимовичу Белоусу за ценные советы, за наставления и консультации в периоды подготовки и проведения научных исследований; докторам сельскохозяйственных наук Виктору Федоровичу Шаповалову и Людмиле Петровне Харкевич за ценные советы, замечания и неоценимую помощь в написании научной работы и помощь в проведении научных исследований. А также коллективу Центра коллективного пользования научным оборудованием при Брянском ГАУ за помощь в проведении лабораторных анализов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Состояние заливных сенокосов Брянской области, так же как и суходольных и низинных кормовых угодий, недостаточно хорошее: травостой сильно обеднен и засорен, большие площади сенокосов заросли кустарником и мелколесьем, изредка редким лесом, местами изобилуют кочками, заболочены, иногда выбиты скотом. Поэтому урожайность всех типов сенокосов – невысока. Для естественных сенокосов она составляет 11 ц/га, а улучшенных – 16 ц/га.

Умеренный выпас скота на лугах может быть в некоторых случаях даже желательным, поскольку при этом уменьшается количество разнотравья и усиливается развитие злаков. Однако нормы выпаса скота на заливных лугах по области не всегда выдерживаются.

В целом на пойменных лугах Брянской области наблюдается преимущественное развитие более влаголюбивых трав по сравнению с поймами рек более восточных областей Европейской части РФ.

В целом, в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС, радиологическая обстановка в Брянской области и юго-западной части области стабилизируется. В результате естественного распада искусственных радионуклидов и вертикального и горизонтального перемещений происходит снижение уровня радиоактивного загрязнения территории. При этом территория юго-запада Брянской области до сих пор остается критической в отношении производства кормов с допустимым содержанием ¹³⁷Cs.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по научному обоснованию применения минеральных удобрений при возделывании кормовых культур проводили в условиях радиоактивного загрязнения юго-запада Брянской области в полевых и луговых стационарных опытах в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС.

Агроклиматические показатели территории исследования получены на метеорологическом посту Новозыбковской СХОС - филиале ФНЦ «ВИК им.

В.Р. Вильямса» расположенном на 52°30'50" северной широты и на 31°51'36" восточной долготы, высота над уровнем моря – 190 м.

Температурный режим периодов исследования колебался как по месяцам, так и по годам исследований, наиболее теплый период исследований наблюдали с 2009 по 2011 годы, когда средняя температура вегетации была равна 17,8° С. По количеству осадков наиболее влажный период исследований наблюдали с 2003 по 2008 годы, когда количество выпавших осадков за вегетацию равнялось 386 мм, а наиболее засушливый – 2013-2015 годы (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Среднее значение агроклиматических показателей периода вегетации

<div> <div>Месяц</div> <div>Период, лет</div> </div>	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Вегетационный период
Температура воздуха, °С							
2003-2008	8,4	16,2	18,7	20,9	20,1	13,9	16,4
2009-2014	10,3	17,8	20,5	22,8	20,7	14,2	17,7
2009-2011	10,0	16,7	21,1	23,4	20,8	14,8	17,8
2011-2013	10,3	18,4	20,9	22,1	20,0	13,7	17,6
2013-2015	9,5	18,5	20,4	21,1	20,9	13,8	17,4
Климатическая норма	7,3	14,9	18,3	20,0	18,7	13,1	15,4
Количество выпавших осадков, мм							
2003-2008	37,9	45,5	83,4	86,3	86,4	46,9	386
2009-2014	37,8	50,7	70,6	75,3	57,3	51,9	344
2009-2011	22	52	73	87	61	56	351
2011-2013	60	37	74	66	64	56	357
2013-2015	27	55	59	65	26	59	291
Климатическая норма	39	54	72	80	70	55	370

Опыт №1. Период исследований 2003-2008 года, объекты исследований естественный и сеяный травостой на пойменном лугу и система удобрения (контроль, P₉₀K₁₂₀, P₁₂₀K₁₈₀, N₁₂₀P₉₀K₁₂₀, N₁₂₀P₉₀K₁₈₀, N₁₂₀P₉₀K₂₄₀, N₁₈₀P₁₂₀K₁₈₀, N₁₈₀P₁₂₀K₂₇₀, N₁₈₀P₁₂₀K₃₆₀), место – пойменный луг.

Опыт №2. Период исследований 2009-2014 года, объекты исследований естественный и сеяный травостой на пойменном лугу и система удобрения (Контроль, P₆₀K₉₀, P₆₀K₁₂₀, N₉₀P₆₀K₉₀, N₉₀P₆₀K₁₂₀, N₉₀P₆₀K₁₅₀, N₁₂₀P₆₀K₁₂₀, N₁₂₀P₆₀K₁₅₀, N₁₂₀P₆₀K₁₈₀), место – пойменный луг.

Применяли аммиачную селитру, простой гранулированный суперфосфат и хлористый калий, удобрения вносили ежегодно: азотные и калийные – в 2 приема (половина расчетной дозы под 1-й укос, вторая половина – под 2-й укос), фосфорные – полной дозой в один прием под 1-й укос.

Опыт №3. Период исследований 2009-2011 года, объекты исследований одновидовые посевы ежи сборной, овсяницы луговой, двукосточника тростникового и минеральные удобрения (контроль, P₆₀K₄₅, P₆₀K₆₀, N₄₅P₆₀K₄₅, N₄₅P₆₀K₆₀, N₄₅P₆₀K₇₅, N₆₀P₆₀K₆₀, N₆₀P₆₀K₇₅, N₆₀P₆₀K₉₀), место – пойменный луг.

Опыт №4. Период исследований 2011-2013 года, объекты исследований одновидовые посевы люпина желтого, овса посевного, райграса однолетнего,

суданской травы, просо посевного и минеральные удобрения (контроль, K_{180} , K_{210}), место – полевой агроценоз.

Опыт №5. Период исследований 2013-2015 года, объекты исследований: одновидовые посевы люцерны изменчивой, костреца безостого, тимopheевки луговой и минеральные удобрения (контроль, $P_{60}K_{60}$, $P_{60}K_{75}$, $P_{60}K_{90}$, $P_{60}K_{105}$), место – полевой агроценоз.

Опыт №6. Период исследований 2011-2013 года, объекты исследований: смешанные посевы люпина желтого с овсом посевным, райграсом однолетним, суданской травой, просом посевным и минеральные удобрения (контроль, K_{180} , K_{210}), место – полевой агроценоз.

Исследования в период с 2003 по 2014 годы в луговом опыте проводили на аллювиальной дерновой оглеенной супесчаной почве со следующими показателями плодородия: pH_{KCl} 5,2-5,6 ед., гумус 3,0-3,3 % (по Тюрину), P_2O_5 420-640 мг/кг, K_2O 90-120 мг/кг (по Кирсанову) и плотностью загрязнения ^{137}Cs территории 1221-1554 кБк/м² в период 2003-2008 годы, 559-867 кБк/м² в период 2008-2014 годы, в полевых опытах в период с 2011 по 2013 годы на дерново-подзолистой песчаной почве со следующими показателями плодородия: pH_{KCl} 5,7-5,9 ед., гумус 1,3-1,5 %, P_2O_5 350-380 мг/кг, K_2O 70-110 мг/кг и плотностью загрязнения ^{137}Cs в среднем за годы исследования 850 кБк/м² и в период с 2013 по 2015 год на дерново-подзолистой супесчаной почве со следующими показателями плодородия: pH_{KCl} 5,5-5,8 ед., гумус 1,5-1,7 %, P_2O_5 156-180 мг/кг, K_2O 90-120 мг/кг и плотностью загрязнения ^{137}Cs в среднем за годы исследования 238 кБк/м².

Луговой участок в период весеннего паводка в зависимости от года был затоплен от 2-3 до 15 дней.

Агротехника и мероприятия по защите растений при возделывании кормовых культур общеприняты для зоны исследования.

Размещение делянок рендомизированное, повторность трехкратная.

Опыты заложены в соответствии с Программой и методикой исследования в Географической сети опытов по комплексному применению средств химизации в земледелии (1990) и Методикой опытов на сенокосах и пастбищах (1971).

Отбор растительных образцов одновидовых посевов кормовых культур и бобово-злаковых смесей проводили вручную. Определение урожайности зелёной массы – укосным методом путем взвешивания с пересчетом на воздушно-сухую массу. Уборку урожая проводили для культур семейства мятликовые в фазу цветения, для культур семейства бобовые в фазу созревающего боба.

Статистическую обработку полученных экспериментальных данных, проводили с использованием MS Excel 2016 и STATISTICA.

В Центре коллективного пользования приборным и научным оборудованием при ФГБОУ ВО Брянский ГАУ выполнялись лабораторные анализы.

Анализ изменения плодородия почв и радиационной обстановки Брянской области и территории исследования выполнен на основе ежегодных мониторинговых наблюдений ФГБУ «Брянскагрохимрадиология».

Экономическую эффективность систем удобрения рассчитывали на основе типовых технологических карт и методики предложенной институтом почвоведения и агрохимии г. Минск (2010).

ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР

Влияние минеральных удобрений на урожайность многолетних трав и их окупаемость прибавкой урожая. Природно-климатические условия юго-запад Брянской области в период исследований с 2003 по 2008 годы позволяют получать урожай воздушно-сухой массы естественного травостоя соответственно 1,4 и 0,6 т/га первого и второго укоса. Продуктивность травостоя зависела, как от погодных условий, так и от времени уборки урожая, урожайность в период первого укоса была выше второго. Поверхностное улучшение заливного луга и последующий посев мятликовой травосмеси позволял получать урожай воздушно-сухой массы сеяного травостоя соответственно 1,8 и 0,9 т/га первого и второго укоса (табл. 3.1).

Коренное улучшение заливного луга и последующий посев мятликовой травосмеси позволял получать урожай воздушно-сухой массы сеяного травостоя в среднем соответственно 1,8 и 1,0 т/га первого и второго укоса. Установили, что изменчивость продуктивности луга под действием проведения поверхностного и коренного улучшения и посева многолетних трав в период первого укоса была средняя (13,0 %), а в период второго укоса – значительная (25,0 %).

Применение на естественном лугу возрастающих доз от $P_{90}K_{60}$ до $P_{120}K_{90}$ и от K_{60} до K_{90} удобрения соответственно под первый и второй укос позволяет достоверно увеличивать урожайность воздушно-сухой массы первого укоса в 2,4 в сравнении с контролем, в период второго укоса наблюдали тенденцию к увеличению урожайности до 1,7 т/га. При применении аналогичных возрастающих доз фосфорно-калийных и калийных удобрений на сеяном травостое при поверхностном и коренном улучшении вело к сходным закономерностям и тенденциям, но в другом количественном выражении.

Таблица 3.1 – Влияние минеральных удобрений и мероприятий улучшения на урожайность воздушно-сухой массы заливного луга в период с 2003 по 2008 годы, т/га

Вариант		Естественный травостой		Сеяный травостой				V, %	
				поверхностное улучшение		коренное улучшение			
1 укос	2 укос	1 укос	2 укос	1 укос	2 укос	1 укос	2 укос		
Контроль		1,4	0,6	1,8	0,9	1,8	1,0	13,9	25,0
P ₉₀ K ₆₀	K ₆₀	3,1	1,5	3,6	2,0	3,1	2,4	8,8	22,9
P ₁₂₀ K ₉₀	K ₉₀	3,4	1,7	3,9	2,3	3,3	2,5	9,1	19,2
*V ₁ , %		41,0	46,3	36,6	42,5	29,8	42,6	–	–
N ₆₀ P ₉₀ K ₆₀	N ₆₀ K ₆₀	5,7	3,4	8,1	4,1	8,2	4,5	19,3	13,9
N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀	N ₆₀ K ₉₀	6,0	3,3	6,9	4,2	6,5	4,4	7,0	14,8
N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀	N ₆₀ K ₁₂₀	5,8	3,2	6,8	4,1	6,3	4,6	7,9	17,9
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₉₀	N ₉₀ K ₉₀	7,6	4,0	8,6	4,7	8,7	4,9	7,3	10,4
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₃₅	N ₉₀ K ₁₃₅	6,1	3,4	7,8	4,3	7,7	4,4	13,2	13,7
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₈₀	N ₉₀ K ₁₈₀	6,3	3,5	7,7	4,2	7,4	4,3	10,3	10,9
V ₂ , %		34,9	36,4	33,8	34,0	34,7	33,5	–	–
V ₃ , %		39,0	42,4	39,3	38,9	42,7	36,9	–	–
HCP ₀₅		1,4	1,4	1,7	1,6	1,7	1,2	–	–

* Примечание: V_1 – коэффициент вариации при применении фосфорно-калийного и калийного удобрения; V_2 – коэффициент вариации при применении полного и азотно-калийного удобрения; V_3 – коэффициент вариации исследуемых систем удобрения.

Изменчивость урожайности воздушно-сухой массы под действием проведения поверхностного и коренного улучшения и посева многолетних трав и применения фосфорно-калийного удобрения под первый укос была незначительна, а калийного удобрения под второй – средняя или сильная.

Использование возрастающих доз от $N_{60}P_{90}K_{60}$ до $N_{90}P_{120}K_{90}$ (соотношение N / K как $1 / 1$) минерального удобрения под первый укос и от $N_{60}K_{60}$ до $N_{90}K_{90}$ под второй достоверно увеличивает урожайность воздушно-сухой массы естественного и сеяного в сравнении с вариантами без применения минеральных удобрений.

При увеличении дозы калийного удобрения в составе полного минерального и азотно-калийного удобрения соответственно под первый и второй укосы естественного и сеяного травостоя наблюдали разно направленные тенденции увеличения или снижения урожайности в зависимости от мероприятий улучшения пойменного луга.

Выявили значительную изменчивость урожайности воздушно-сухой массы под действием полного, фосфорно-калийного и калийного минерального удобрения соответственно под первый и второй укос.

Нами установлено, что в период исследований с 2003 по 2008 годы корреляционная зависимость между возрастающими дозами калийного удобрения и урожайностью воздушно-сухой массы естественного и сеяного травостоя колебалась в зависимости от периода уборки урожая и мероприятий по улучшению кормового угодья в пределах от 0,03 до 0,47, то есть зависимость между признаками была слабой или средней. Корреляционная зависимость между возрастающими дозами азотного удобрения и урожайностью воздушно-сухой массы естественного и сеяного травостоя колебалась в зависимости от периода уборки урожая и мероприятий по улучшению кормового угодья колебалась в пределах от 0,60 до 0,75, то есть зависимость между признаками была сильной.

Наименьшая окупаемость 8,7-10,0 прибавки урожая воздушно-сухой массы первого укоса естественного сеяного травостоя обуславливает применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{120}K_{90}$. Наименьшая окупаемость от 10,0 до 12,2 прибавки урожая воздушно-сухой массы второго укоса естественного и сеяного травостоя обуславливает применение азотно-калийного удобрения в дозе $N_{90}K_{180}$.

Применение полного минерального удобрения в дозе $N_{60}P_{90}K_{60}$ в условиях заливных лугов обуславливает наибольшую окупаемость прибавки урожайности воздушно-сухой массы естественного и сеяного травостоя и в зависимости от мероприятий по улучшению кормового угодья колеблется от 20,5 до 30,5.

Природно-климатические условия юго-запад Брянской области в период исследований с 2009 по 2014 годы позволяют получать урожай воздушно-сухой массы естественного травостоя соответственно 1,2 и 0,6 т/га первого и второго укоса. Поверхностное улучшение заливного луга и последующий посев мятликовой травосмеси позволял получать урожай воздушно-сухой массы сеяного травостоя соответственно 1,5 и 0,6 т/га первого и второго укоса, при коренном улучшении соответственно 1,5 и 0,6 т/га (табл. 3.2).

Установили, что изменчивость урожайности воздушно-сухой массы под действием проведения поверхностного и коренного улучшения и посева многолетних трав в период первого укоса была средняя (13,0 %), а в период второго укоса – незначительная (0,0 %).

Применение возрастающих доз от $P_{60}K_{45}$ до $P_{60}K_{60}$ и от K_{45} до K_{60} удобрений на естественном лугу ведет к тенденции увеличения урожайности воздушно-сухой массы соответственно первого и второго укосов до 3,1 и до 1,4 т/га, при поверхностном улучшении данные дозы удобрения под первый укос достоверно увеличивают урожайность воздушно-сухой массы в 2,3 раза по сравнению с контролем и ведет к увеличению второго укоса до 1,6 т/га. При корневом улучшении наблюдали тенденцию увеличения до 1,5 т/га первого укоса и достоверное увеличение урожайности воздушно-сухой массы второго укоса в 2,3 раза в сравнении с контролем.

Таблица 3.2 – Влияние минеральных удобрений и мероприятий улучшения на урожайность воздушно-сухой массы заливного луга в период с 2009 по 2014 годы, т/га

Вариант		Естественный травостой		Сеяный травостой				V, %	
				поверхностное улучшение		коренное улучшение			
1 укос	2 укос	1 укос	2 укос	1 укос	2 укос	1 укос	2 укос		
Контроль		1,2	0,6	1,5	0,6	1,5	0,6	12,4	0,0
P ₆₀ K ₄₅	K ₄₅	2,7	1,2	3,0	1,3	2,9	1,3	5,3	4,6
P ₆₀ K ₆₀	K ₆₀	3,1	1,4	3,5	1,6	3,4	1,5	6,2	6,7
*V ₁ , %		42,9	39,0	39,0	44,0	37,9	41,7	—	—
N ₄₅ P ₆₀ K ₄₅	N ₄₅ K ₄₅	4,8	2,2	5,3	2,5	5,5	2,6	6,9	8,6
N ₄₅ P ₆₀ K ₆₀	N ₄₅ K ₆₀	4,9	2,3	5,3	2,6	5,7	2,7	7,5	8,2
N ₄₅ P ₆₀ K ₇₅	N ₄₅ K ₇₅	5,4	2,5	5,8	2,9	6,4	2,9	8,6	8,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₆₀ K ₆₀	5,6	2,8	6,3	3,2	6,6	3,2	8,3	7,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₇₅	N ₆₀ K ₇₅	5,9	3,0	6,6	3,0	7,0	3,4	8,6	7,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	N ₆₀ K ₉₀	6,2	3,2	7,0	3,5	7,3	3,6	8,3	6,1
V ₂ , %		34,8	36,3	34,0	36,4	34,4	36,9	—	—
V ₃ , %		38,5	41,5	37,7	41,3	39,8	43,1	—	—
HCP ₀₅		2,2	0,8	1,6	1,1	1,5	1,1	—	—

* Примечание: V_1 – коэффициент вариации при применении фосфорно-калийного и калийного удобрения; V_2 – коэффициент вариации при применении полного и азотно-калийного удобрения; V_3 – коэффициент вариации исследуемых систем удобрения.

Использование возрастающих доз от $N_{45}P_{60}K_{45}$ до $N_{60}P_{60}K_{60}$ (соотношение N / K как 1 / 1) минерального удобрения под первый укос и от $N_{45}K_{45}$ до $N_{60}K_{60}$ под второй достоверно увеличивает урожайность воздушно-сухой массы естественного и сеяного в сравнении с вариантами без применения минеральных удобрений.

При увеличении дозы калийного удобрения в составе полного минерального и азотно-калийного удобрения соответственно под первый и второй укосы естественного и сеяного травостоя наблюдали разно направленные тенденции увеличения урожайности в зависимости от мероприятий улучшения пойменно-го луга.

Установили, что изменчивость урожайности воздушно-сухой массы естественного и сеяного травостоев под действием применения полного, фосфорно-калийного и калийного минерального удобрения под первый и второй укосы была значительна.

Корреляционная зависимость между возрастающими дозами калийного удобрения и урожайностью воздушно-сухой массы естественного и сеяного травостоя колебалась в зависимости от периода уборки урожая и мероприя-

тий по улучшению кормового угодья в пределах от 0,12 до 0,28, то есть зависимость между признаками была слабой. Корреляционная зависимость между возрастающими дозами азотного удобрения и урожайностью воздушно-сухой массы естественного и сеяного травостоя колебалась в зависимости от периода уборки урожая и мероприятий по улучшению кормового угодья колебалась в пределах от 0,52 до 0,76, то есть зависимость между признаками была средней или сильной.

Наименьшая окупаемость 13,3-14,3 прибавки урожая воздушно-сухой массы первого укоса естественного и сеяного травостоя обуславливает применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{45}$. Наименьшая окупаемость от 13,3 до 15,6 прибавки урожая воздушно-сухой массы второго укоса естественного и сеяного травостоя обуславливает применение калийного удобрения в дозе K_{45} .

Применение полного минерального удобрения в дозе $N_{60}P_{90}K_{60}$ в условиях заливных лугов обуславливает наибольшую окупаемость прибавки урожайности воздушно-сухой массы естественного и сеяного травостоя и в зависимости от мероприятий по улучшению кормового угодья колеблется от 24,4 до 28,3.

Исследуемые кормовые культуры при одновидовом возделывании по урожайности расположились в убывающий ряд: люпин желтый, суданская трава, люцерна изменчивая, просо, кострец безостый, тимopheевка луговая, райграс однолетний, овес, двукосточник тростниковый, овсяница луговая, ежа сборная. Выявили, что виды семейства бобовых, наиболее продуктивные кормовые культуры на низкоплодородных дерново-подзолистых легких по гранулометрическому составу почвах.

Применение полного минерального удобрения в дозе $N_{45}P_{60}K_{45}$ в условиях заливных лугов позволяет достоверно увеличивать урожайность воздушно-сухой массы в зависимости от вида культуры в среднем от 6,90 до 8,78 т/га.

При увеличении в дозе $N_{45}P_{60}K_{45}$ калийного удобрения от K_{45} до K_{75} наблюдали тенденцию к увеличению урожайности воздушно-сухой массы кормовых культур в сравнении с $N_{45}P_{60}K_{45}$, при этом в сравнении с контролем увеличение было достоверным.

Применение дозы $N_{60}P_{60}K_{60}$ в условиях заливных лугов позволяет достоверно увеличивать урожайность воздушно-сухой массы в зависимости от вида культуры в среднем от 7,47 до 7,81 т/га в сравнении с контролем.

При увеличении в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ калийного удобрения от K_{60} до K_{90} наблюдали тенденцию к увеличению урожайности в сравнении с $N_{60}P_{60}K_{60}$, при этом в сравнении с контролем увеличение было достоверным.

Существенной разницы между возрастающими дозами полного минерального удобрения в наших исследованиях не обнаружили, при этом наблюдали тенденцию увеличения урожайности воздушно-сухой массы кормовых культур с увеличением доз минерального удобрения.

Нашими исследованиями установлено, что корреляционная связь между возрастающими дозами азотного удобрения и урожайностью воздушно-сухой массы ежи сборной ($r = 0,65$), овсяницы луговой ($r = 0,64$) и двукосточника тростникового ($r = 0,62$) – средняя. Корреляционная связь между возрастающими дозами калийного удобрения и урожайностью воздушно-сухой массы ежи сборной, овсяницы луговой и двукосточника тростникового – слабая.

Эффективность применения систем удобрения в условиях юго-запада Брянской области при возделывании кормовых культур на воздушно-сухую массу

зависела от почвенно-климатических условий, доз и видов минерального удобрения и биологических особенностей возделываемых культур (таб. 3.3).

Таблица 3.3 – Роль фосфорно-калийного (калийного) удобрения в повышении урожайности воздушно-сухой массы кормовых культур, т/га

Культура		Ежа	Овсяница	Двуклосточник	
Вариант		сборная	луговая	тростниковый	
Среднее за 2009-2011 годы					
Контроль		1,77	1,80	1,86	
P ₆₀ K ₄₅		3,38	3,81	4,04	
P ₆₀ K ₆₀		3,81	4,22	4,33	
HCP ₀₅		2,51	3,45	3,18	
Среднее за 2011-2013 годы					
Культура	Люпин	Овес	Райграс	Суданская	Просо
Вариант	желтый		однолетний	трава	
Контроль	5,07	1,95	1,72	3,74	3,56
K ₁₈₀	5,54	2,77	2,00	3,86	3,78
K ₂₁₀	5,73	2,92	2,20	4,07	3,96
HCP ₀₅	2,48	1,80	0,98	1,51	1,19
Среднее за 2013-2015 годы					
Культура	Люцерна	Кострец	Тимофеевка		
Вариант	изменчивая	безостый	луговая		
Контроль	3,10	2,60	2,00		
P ₆₀ K ₆₀	3,52	2,86	2,40		
P ₆₀ K ₇₅	3,87	3,18	2,82		
P ₆₀ K ₉₀	4,73	3,40	3,23		
P ₆₀ K ₁₀₅	5,26	3,61	3,50		
HCP ₀₅	2,26	0,90	0,93		

При применении фосфорно-калийного удобрения в возрастающих дозах от P₆₀K₄₅ до P₆₀K₆₀ на пойменной почве наблюдали тенденцию к повышению урожайности воздушно-сухой массы ежи сборной, овсяницы луговой и двуклесточника тростникового соответственно в 2,1 и 2,3 раза в сравнении с вариантом без удобрения. При внесении возрастающих доз калийного удобрения от K₁₈₀ до K₂₁₀ на дерново-подзолистой песчаной почве наблюдали тенденцию к повышению урожайности воздушно-сухой массы полевых кормовых культур.

Внесение возрастающих доз калийного в составе фосфорно-калийного удобрения на дерново-подзолистой супесчаной почве достоверно повышало урожайность воздушно-сухой массы тимфеевки луговой при дозе P₆₀K₉₀ и выше в 1,8 раза и костреца безостого в 1,4 раза при дозе P₆₀K₁₀₅ в сравнении с вариантом без удобрения.

Эффективность удобрения в условиях юго-запада Брянской области при возделывании кормовых культур на воздушно-сухую массу зависела от почвенно-климатических условий, доз и видов минерального удобрения и биологических особенностей возделываемых культур.

Внесение фосфорно-калийного удобрения в дозах P₆₀K₄₅–P₆₀K₆₀ на пойменной почве позволяет на каждый внесенный кг д.в. получать от 15,3 до 20,8 кг воздушно-сухой массы кормовых культур, наиболее отзывчивы на применения минерального удобрения были овсяница луговая и двуклесточник тростниковый в 1,2 раза в сравнении с ежой сборной.

Внесение калийного удобрения в дозах K₁₈₀–K₂₁₀ на дерново-подзолистой песчаной почве позволяет на каждый внесенный кг д. в. получать от 0,7 до

4,6 кг воздушно-сухой массы кормовых культур, эффективность удобрения изменялась до 6,6 раз в зависимости от дозы удобрения и кормовой культуры. Наиболее отзывчивы на применения минерального удобрения были овес и люпин жёлтый. Установили, что при возделывании суданской травы эффективность калийного удобрения возрастала до 2,3 раз с возрастанием дозы.

Внесение возрастающих доз калийного в составе фосфорно-калийного удобрения на дерново-подзолистой супесчаной почве позволяет на каждый внесенный кг д. в. получать от 2,2 до 13,1 кг воздушно-сухой массы кормовых культур, эффективность удобрения изменялась до 5,9 раз в зависимости от дозы удобрения и кормовой культуры. Наиболее отзывчивой культурой на применения минерального удобрения была люцерна изменчивая.

Обнаружили аналогичные тенденции и закономерности изменения эффективности минерального удобрения на продуктивность при использовании кормовых угодий в качестве пастбищ, как и при использовании их в качестве сенокосов, но в другом количественном выражении.

Реализация потенциала продуктивности мятликовых кормовых культур в зависимости от почв и минеральных удобрений. Большинство изучаемых кормовых культур характеризуется широкими адаптивными свойствами, о чем свидетельствуют ареалы их возделывания в Нечерноземной зоне России. Разнообразие метеорологических условий вегетационных периодов по температурному режиму и влагообеспеченности позволяют объективно оценивать уровень варьирования урожая воздушно-сухой массы кормовых культур в зависимости от сложившихся внешних условий.

Индексы условий среды без применения удобрений по годам варьировали от – 6,36 до 6,08, при использовании минеральных удобрений варьировали в пределах от – 17,13 до 18,69. Наибольшие значения индекса среды наблюдали при возделывании кормовых культур на пойменной почве, в которой пойменный процесс проходил от 1-2 до 15 дней в зависимости от исследования года.

Обнаружили синергизм между минеральными удобрениями и погодными условиями, который был обусловлен увеличением индекса при благоприятных условиях среды и снижением при неблагоприятных условиях.

Наилучшими культурами считаются те, у которых коэффициент адаптации (K_A) выше 1, на пойменной почве такой культурой был двукисточник тростниковый (1,03), на дерново-подзолистой песчаной почве – суданская трава (1,37) и просо (1,33) и на дерново-подзолистой супесчаной почве – коострец безостый (1,13). Применение минеральных удобрений повышало потенциал реализации урожайности, при этом наблюдали, что с увеличением доз удобрения росла и продуктивность

Коэффициент вариации (V) урожайности кормовых культур без применения удобрений колебался от 10,8 до 30,0 % в зависимости от культуры, периода исследований и почвы. Наименьший коэффициент вариации обнаружили при возделывании коостреца безостого (10,8 %), просо (13,2 %) и райграса одностебельного (14,6 %).

Применение минеральных удобрений изменяло изменчивость урожайности, которая варьировала от 11,6 до 47,2 % в зависимости от культуры, периода исследований, почвы и доз минерального удобрения. Внесение минеральных удобрений увеличило коэффициент вариации в сравнении без их применения.

Наибольшую стрессоустойчивость выявили у райграса однолетнего (–6,00) костреца безостого (–6,20) и овса (–6,50), эти культуры в наименьшей степени снижают урожайность в экстремальных условиях.

Наибольший показатель средней урожайности в контрастных условиях возделывания сформировали суданская трава (38,25), просо (37,80) и кострец безостый (25,10) (табл. 3.4).

Таблица 3.4 – Стрессоустойчивость и адаптивность кормовых культур при использовании минерального удобрения

Культура		$y_{\min} - y_{\max}$	$(y_{\min} + y_{\max}) / 2$	d	b_i	S_d^2
Ежа сборная	–	-13,10	17,75	53,9	1,05	0,32
	P ₆₀ K ₄₅	-31,50	32,15	65,8	0,84	7,88
	P ₆₀ K ₆₀	-26,30	37,95	51,5	0,70	4,06
Овсяница луговая	–	-11,70	17,55	50,0	0,94	0,74
	P ₆₀ K ₄₅	-43,90	39,25	71,7	1,20	0,78
	P ₆₀ K ₆₀	-38,00	44,30	60,0	1,03	5,97
Двукосточник тростниковый	–	-12,50	18,55	50,4	1,00	0,09
	P ₆₀ K ₄₅	-38,20	42,00	62,5	1,04	3,87
	P ₆₀ K ₆₀	-37,00	45,00	58,3	1,01	5,50
Овес	–	-6,50	17,75	31,0	1,11	5,79
	K ₁₈₀	-18,60	29,70	47,7	1,37	1,28
	K ₂₁₀	-20,50	31,65	48,9	1,48	0,15
Райграс однолетний	–	-6,00	17,50	29,3	1,07	0,13
	K ₁₈₀	-10,80	20,60	41,5	0,72	2,00
	K ₂₁₀	-11,30	22,35	40,4	0,73	4,46
Суданская трава	–	-13,50	38,25	30,0	2,40	0,39
	K ₁₈₀	-14,30	39,55	30,6	0,97	2,00
	K ₂₁₀	-13,90	43,25	27,7	1,02	0,56
Просо	–	-8,60	37,80	20,4	1,64	6,91
	K ₁₈₀	-10,40	39,30	23,4	0,76	3,02
	K ₂₁₀	-12,50	40,55	26,7	0,93	0,90
Кострец безостый	–	-6,20	25,10	22,0	0,90	1,53
	P ₆₀ K ₆₀	-7,90	27,55	25,1	0,81	1,84
	P ₆₀ K ₇₅	-9,90	30,95	27,6	0,98	0,84
	P ₆₀ K ₉₀	-11,30	32,95	29,3	1,13	0,61
	P ₆₀ K ₁₀₅	-9,90	34,85	24,9	1,03	0,00
Тимофеевка луговая	–	-8,20	19,70	34,5	1,10	1,53
	P ₆₀ K ₆₀	-8,30	22,75	30,9	0,89	0,26
	P ₆₀ K ₇₅	-9,80	27,20	30,5	0,99	0,23
	P ₆₀ K ₉₀	-10,20	30,70	28,5	1,11	0,58
	P ₆₀ K ₁₀₅	-10,30	33,95	26,3	1,05	0,18

Стабильная урожайность кормовой культуры в конкретных условиях имеет низкий показатель размаха урожайности. Наименьший размах урожайности отмечен у проса (20,4) и костреца безостого (22,0). Наиболее стабильную урожайностью обнаружили у двукосточника тростникового, райграса однолетнего, ежи сборной, суданской травы, овсяницы луговой, самой высокоурожайной культурой была суданская трава.

Наиболее отзывчивыми на изменения условий возделывания были суданская трава (2,40), просо (1,64) и овес (1,11).

Суданская трава наиболее высокоинтенсивная кормовая культура ($b_i = 2,40$, а $Sd^2 = 0,39$) в условиях юго-запада Брянской области, а просо и овес обладают высокой отзывчивостью и низкой стабильностью урожая, кострец безостый слабо реагирует на улучшение внешних условий, но имеет достаточно высокую стабильность урожайности (табл. 3.4).

Применение минеральных удобрений увеличило разрыв между максимальной и минимальной урожайностью кормовых культур в зависимости от периода исследований, вида культуры и почвы. Наименьший показатель стрессоустойчивости наблюдали у кормовых культур: костреца безостого ($-7,90$), тимopheевка луговой ($-8,30$) при внесении $P_{60}K_{60}$ (табл. 3.4). Возрастающие количества удобрений снижали стрессоустойчивость при возделывании кормовых культур на пойменных почвах, на дерново-подзолистых почвах такую закономерность не обнаружили. Обнаружили, что при возрастающих количествах удобрения повышалась средняя урожайность культур в контрастных условиях.

Использование минеральных удобрений увеличило размах урожайности в зависимости от периода исследований, вида культуры и почвы. Наименьший показатель размаха урожайности наблюдали у проса (23,4), костреца безостого (24,9), эти культуры наиболее стабильно дают урожайность в контрастных условиях при применении минеральных удобрений.

Наиболее стабильными кормовыми культурами при внесении минеральных удобрений были: тимopheевка луговая, кострец безостый, суданская трава, просо, овсяница луговая. Наиболее отзывчивыми на изменения условий возделывания кормовыми культурами при применении минеральных удобрений были овес (1,48), овсяница луговая (1,20) и кострец безостый (1,13). Минеральные удобрения изменяют отзывчивость культур на условия среды и стабильность получения урожая.

Влияние минеральных удобрений на урожайность зеленой массы смешанных посевов полевых кормовых культур. Посевы смешанных кормовых культур получили широкое распространение во многих странах мира и, вероятно, были переняты человеком у природы, где особенностью посевов является стремление дополнить их такими культурами, которые способны восполнять плодородие почв, особенно это актуально на легких по гранулометрическому составу почвах.

Возделывание гетерогенных посевов при разном соотношении компонентов без применения минерального удобрения в природно-климатических условиях юго-запада Брянской области позволяет получать урожайность зеленой массы от 25,3 до 33,6 т/га в среднем за годы исследования.

Установили тенденцию к увеличению урожайности смешанных посевов люпина с овсом, райграсом и просом с увеличением мятликового компонента в посеве и снижению урожайности смешанных посевов люпина с суданской травой с увеличением мятликового компонента. Коэффициент вариации изменения урожайности смешанных посевов под действием нормы высева компонентов посева колебался в пределах 2,4-4,8 %.

Нами установлено, что возрастающие дозы калийного удобрения при возделывании смешанных посевов увеличивают продуктивность посевов, при этом изменения носят незначительный характер (коэффициент вариации находился в пределах от 2,6 до 5,7 %).

Влияние бобового компонента на урожайность смешанных посевов кормовых культур. Для выявления механизма влияния бобового компонента на урожайность кормовых культур использовали средние значения показателей климатических условий в весенне-летний период вегетации, урожайности, транспирации, доступности влаги и элементов питания посевам кормовых культур за период 2011-2013 годы.

Смешанные посевы овса посевного, райграса однолетнего, суданской травы, просо посевного с люпином жёлтым в среднем на трёх вариантах повысили урожайность воздушно-сухой массы трав по сравнению с одновидовыми посевами соответственно на 5,1; 5,6; 4,6; 4,3 т/га.

Если сравнивать урожайность смешанных посевов кормовых культур с одновидовыми посевами люпина жёлтого, то средняя прибавка на вариантах опыта составит соответственно 1,5; 1,3; 2,5; 2,2 т/га. Отсюда следует, что наибольшую прибавку урожайности смешанные посевы имеют с засухоустойчивыми культурами: (суданская трава, просо посевные) по сравнению с одновидовыми посевами люпина жёлтого.

Доступность почвенной влаги корневой системы растений смешанных посевов по сравнению одновидовыми посевами люпина жёлтого увеличилась незначительно, соответственно в 1,3; 1,3; 1,4; 1,4 раза.

Для выявления механизма, вызывающего увеличение скорости потока влаги к корневой системе смешанных посевов трав, были рассчитаны напряженности электростатических полей одновидовых и смешанных посевов трав. На смешанных посевах кормовых трав наблюдается повышение напряженности отрицательного электростатического поля вокруг корневых систем и поверхности почвенных капилляров. Напряженность электростатических полей смешанных посевов трав овса посевного, райграса однолетнего, суданской травы, проса посевного по сравнению с одновидовыми посевами повысилась соответственно в 9; 3; 1,5; 2,7 раза. Увеличение величины напряженности вызвало ускорение потоков влаги к корневой системе, изменение соотношения конвекции и диффузии в общем потоке влаги.

Увеличение конвенции и потока почвенной влаги к корневой системе растений оказало существенное влияние на доступность элементов питания культурам. Содержание макроэлементов P, K, Ca в воздушно-сухой массе трав на вариантах, за некоторым исключением, относящимся к посевам суданской травы, повышается на смешанных в сравнении с одновидовыми посевами культур.

Содержание азота в воздушно-сухой массе смешанных посевов трав в 1,5-2 раза больше, чем в одновидовых посевах. Увеличение содержания азота в смешанных посевах трав позволяет предположить, что фиксированный клубеньковыми бактериями на корнях люпина жёлтого азот доступен корневым системам компонентов травосмеси.

На всех вариантах одновидовых посевов трав значение $K \setminus N \geq 1$, тогда как на смешанных посевах – $K \setminus N < 1$. Увеличение содержания N в воздушно-сухой массе смешанных посевов трав вызваны доступностью N, фиксированного клубеньковыми бактериями на корнях люпина жёлтого, корневой системой основной культуры, не компенсируется необходимым количеством калия для синтеза сырого протеина, и возникают условия для синтеза БЭВ, в воздушно-сухой массе смешанных посевов трав.

Поэтому для повышения доступности влаги, элементов питания и урожайности одновидовых посевов кормовых трав необходимо добавлять бобовый компонент, при выборе которого необходимо чтобы природная среда обитания бобового компонента приблизительно совпадала со средой обитания основной культуры, а ёмкость катионного обмена корней бобового компонента должна превышать ёмкость катионного обмена корней сопутствующей культуры. Повышения содержания сырого протеина и уменьшения содержания безазотистых экстрактивных веществ в смешанных посевах кормовых трав, обусловленные доступностью фиксированного клубеньковыми бактериями азота к корневой системе основной культуры и вызванного недостатком калия в почве, для синтеза белковых веществ необходимо внесение калийного удобрения.

ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА КАЧЕСТВО КОРМОВ ОДНОВИДОВЫХ И СМЕШАННЫХ ПОСЕВОВ

Природно-климатические условия пойменных лугов юго-запада Брянской области в период исследований позволяют получать урожаи воздушно-сухой массы мятликовых трав с содержанием сырого протеина от 9,6 до 10,8 %, сырой золы от 7,3 до 7,4 %, сырой клетчатки от 27,3 до 27,6 %, сырого жира от 3,3 до 3,4 % и БЭВ от 50,8 до 52,6 % в зависимости от вида кормовой культуры, изменчивость показателей качества в зависимости от биологических особенностей мятликовых трав была незначительной ($V < 10 \%$) (табл. 4.1).

Раскрыли тенденции повышения сырого протеина, сырой клетчатки, сырого жира и снижения БЭВ в воздушно-сухой массе одновидовых посевов мятликовых трав под влиянием возрастающих доз полного минерального удобрения (соотношение азота к калию как 1 : 1). Увеличение доли калийного удобрения по отношению к азотному в системе удобрения вело к повышению сырого протеина, сырой клетчатки, сырого жира и снижения БЭВ в воздушно-сухой массе одновидовых посевов мятликовых трав.

Возрастающие дозы минерального удобрения при возделывании мятликовых трав повышают показателя качества кормов, при этом изменения носят незначительный или средний характер (коэффициент вариации находился в пределах от 4,7 до 14,9 %).

Обнаружили аналогичные тенденции изменения показателей качества кормов под влиянием фосфорно-калийного минерального удобрения при использовании пойменного луга, как и под влиянием полного минерального удобрения, но в другом количественном выражении.

Природно-климатические условия полевых агроценозов юго-запада Брянской области в период исследований позволяют получать урожаи воздушно-сухой массы кормовых культур с содержанием сырого протеина от 5,9 до 11,9 %, сырой золы от 3,8 до 5,8 %, сырой клетчатки от 26,2 до 32,9 %, сырого жира от 1,4 до 3,2 % и БЭВ от 36,8 до 49,8 % в зависимости от вида кормовой культуры, изменчивость показателей качества в зависимости от биологических особенностей кормовых культур колебалась от незначительной до значительной ($V = 9,6-35,0 \%$).

Раскрыли тенденции повышения сырого протеина, сырой клетчатки, сырого жира и снижения БЭВ в воздушно-сухой массе одновидовых посевов кормовых культур доз калийного удобрения.

Таблица 4.1 – Влияние минеральных удобрений на биохимические показатели воздушно-сухой массы мятликовых трав, %

Показатель	Культура	Контроль	N ₄₅ P ₆₀ K ₄₅	N ₄₅ P ₆₀ K ₆₀	N ₄₅ P ₆₀ K ₇₅	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₇₅	N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	V, %
Сырой протеин	Ежа сборная	9,6	14,6	14,8	15,1	14,8	15,4	15,5	14,9
	Овсяница луговая	10,4	13,9	14,9	15,1	15,3	15,3	15,5	12,7
	Двукисточник тростниковый	10,8	14,3	14,4	15,5	14,9	15,4	15,6	11,9
V, %		6,0	2,5	1,6	1,7	2,0	0,5	0,4	–
Сырая зола	Ежа сборная	7,3	7,4	8,2	8,4	8,3	9,2	9,4	10,2
	Овсяница луговая	7,3	8,8	8,9	9,0	8,9	9,0	9,3	7,5
	Двукисточник тростниковый	7,4	8,5	8,7	8,9	8,8	9,0	9,6	7,6
V, %		1,3	9,0	4,1	3,3	4,2	1,5	1,4	–
Сырая клетчатка	Ежа сборная	27,3	29,6	30,5	29,3	31,6	31,9	32,3	5,9
	Овсяница луговая	27,4	29,9	30,8	29,8	29,9	30,4	31,1	4,1
	Двукисточник тростниковый	27,6	29,1	31,2	31,8	29,6	31,6	31,7	5,4
V, %		0,6	1,4	1,3	4,4	3,6	2,5	2,0	–
Сырой жир	Ежа сборная	3,3	3,8	3,9	4,0	3,9	4,0	4,0	6,5
	Овсяница луговая	3,4	3,7	3,7	3,9	3,8	3,9	3,9	5,2
	Двукисточник тростниковый	3,4	3,6	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	4,7
V, %		2,0	2,7	3,1	1,8	0,8	1,2	0,8	–
БЭВ	Ежа сборная	52,6	44,7	42,6	44,3	41,5	39,6	32,8	13,5
	Овсяница луговая	51,5	43,9	41,8	42,4	42,1	41,5	40,6	8,5
	Двукисточник тростниковый	50,8	44,5	41,9	40,0	42,8	40,2	39,2	9,2
V, %		1,8	1,0	1,0	5,1	1,6	2,4	11,1	–

Возрастающие дозы калийного удобрения при возделывании кормовых культур на дерново-подзолистой песчаной почве повышают показателя качества кормов, при этом изменения носят незначительный или средний характер (коэффициент вариации находился в пределах от 1,1 до 12,4 %).

Схожие тенденции и закономерности изменении показателей качества кормов люцерны изменчивой, костреца безостого, тимopheевки луговой выявили под влиянием фосфорно-калийного удобрения при использовании полевых агроценозов на дерново-подзолистой супесчаной почве, как и под влиянием калийного удобрения, но в другом количественном выражении.

Возделывание гетерогенных посевов, люпина с мятликовым компонентом, без применения калийных удобрений в условиях дерново-подзолистой песчаной почвы юго-запада Брянской области позволяют получать грубые корма с содержанием сырого протеина от 8,9 до 10,6 %, сырой золы от 4,1 до 5,0 %, сырой клетчатки от 28,0 до 31,9 %, сырого жира 1,3 до 2,6 % и БЭВ от 39,3 до 44,6 %, в зависимости от кормовых культур, входящих в гетерогенный посев и норм их высева. Изменчивость показателей качества грубых кормов гетерогенных посевов колебалась незначительно ($V < 10\%$) вне зависимости от кормовых культур, входящих в гетерогенный посев и норм их высева, за исключением смешенного посева люпина и овса, где изменчивость сырого жира была средней. Установили, что увеличение доли мятликового компонента или снижения доли бобового компонента вело к снижению сырого протеина и увеличению сырой золы и БЭВ. Изменение сырой клетчатки и

сырого жира носило разнонаправленный характер, и завесила от компонентов входящих в гетерогенный посев.

Возрастающие дозы калийного удобрения при возделывании гетерогенных посевов повышают показателя качества кормов, за исключением содержания БЭВ.

Влияние минеральных удобрений на элементный состав воздушно-сухой массы кормовых культур. Условия пойменных лугов юго-запада Брянской области позволяют получать урожаи воздушно-сухой массы мятликовых трав с содержанием азота от 1,53 до 1,72 %, фосфора от 0,24 до 0,26 %, калия от 1,59 до 1,61 %, кальция 0,51 % и магния от 0,40 до 0,42 % в зависимости от вида кормовой культуры, изменчивость содержания макроэлементов в зависимости от биологических особенностей мятликовых трав была незначительной ($V < 10 \%$).

Раскрыли тенденции повышения содержания азота, фосфора, калия и кальция и снижение магния в воздушно-сухой массе одновидовых посевов мятликовых трав под влиянием возрастающих доз полного минерального удобрения. Изменения содержания макроэлементов под действием возрастающих доз минерального удобрения носили незначительный (кальция), средний (азот, фосфор, калий) и значительный (магний) характер.

Обнаружили аналогичные тенденции изменения содержания макроэлементов в кормах под влиянием фосфорно-калийного минерального удобрения при использовании пойменного луга, как и под влиянием полного минерального удобрения, но в другом количественном выражении.

Биологические особенности полевых кормовых культур и природно-климатические условия юго-запада Брянской области позволяют получать урожаи воздушно-сухой массы бобовых и мятликовых культур с содержанием азота от 0,91 до 2,02 %, фосфора от 0,18 до 0,41 %, калия от 1,15 до 1,98 %, кальция от 0,34 до 0,80 %, магния от 0,16 до 0,40 %. В ряду рассматриваемых культур люпин накапливал наибольшие количества элементов.

Установили значительную изменчивость показателей содержания элементов, коэффициент вариации был выше 20 %, однако если в этом ряду не размаривать культуру семейства бобовых, то изменчивость показателя будет средней.

Раскрыли тенденции повышения содержания азота, фосфора, калия и кальция и снижение магния в воздушно-сухой массе одновидовых посевов полевых культур под влиянием возрастающих доз калийного удобрения. Изменения содержания элементов под действием возрастающих доз калийного удобрения носили незначительный или средний характер.

Обнаружили аналогичные тенденции и закономерности изменения содержания элементов в воздушно-сухой массе люцерны изменчивой, костреча безостого, тимopheевки луговой возделываемых на дерново-подзолистой супесчаной почве под влиянием фосфорно-калийного удобрения, как и под влиянием калийного удобрения, но в другом количественном выражении.

Роль минеральных удобрений в биологическом выносе элементов питания из почвы посевами кормовых культур. При разработке систем удобрения для планируемого севооборота учитывается не только содержание элементов питания в почве, но и потребность в них культур. Изучены потребности большинства сельскохозяйственных культур в азоте, макро- и микроэлементах. При этом недостаточно изученными остаются механизмы,

регулирующие биологический вынос элементов питания в зависимости от видовых различий культур, почвенно-климатических ресурсов территории, действия минерального удобрения на доступность почвенной влаги к корневой системе растений и элементов питания.

Установили, что минеральные удобрения при растворении в почвенной влаге вызывают сжатие диффузного слоя ДЭС, формирующихся на стенках капилляров почвы и поверхности корней растений, увеличение напряженности электростатических полей и потоков влаги к корневой системе растения, доступности влаги и уменьшению числа Pe . При значениях числа Pe , равных 0,3-0,4, в большом количестве выносятся из почвы азот и калий, находящиеся в основном в диффузных слоях ДЭС, тогда как при значениях числа Pe , равных 0,8-0,9, элементы питания Ca^{2+} , Mg^{2+} , которые находятся в слое адсорбции.

Видовые различия биовыноса элементов питания ежи сборной, овсяницы луговой и двукисточника тростникового заключается в разности между поверхностной плотностью зарядов на поверхности корней и почвенных капилляров. Биовынос элементов питания описывается зависимостью, устанавливающей связь между содержанием элемента питания в воздушно-сухой массе растения, транспирацией посевов в течение вегетации и параметром биовыноса.

При возделывании различных видов кормовых культур на дерново-подзолистой песчаной почве установили, что корневая система кормовых культур формирует на своей поверхности электростатическое поле определенной напряженности, вектор которого направлен к отрицательно заряженной поверхности корней и вызывает поток почвенного раствора, увеличивая доступность влаги и элементов питания растениям.

Выявлена линейная прямопропорциональная зависимость между напряженностью электростатического поля, доступностью почвенной влаги и урожайностью культур. По величине напряженности электростатического поля, доступности влаги и урожайности виды культур располагаются в следующей последовательности: люпин жёлтый > суданская трава > просо посевное > овёс посевной > райграс однолетний. Эта последовательность соблюдается для биовыноса воздушно-сухой массой культур N, P, K, Ca, Mg, которая зависит не только от напряженности электростатического поля корневой системы, доступности почвенной влаги, но и числа Pe .

Установили, что при увеличении конвекции в общем потоке почвенного раствора к корневой системе в наибольшем количестве переносятся N и K, в наименьшем – Mg и P.

Обнаружили, что доступность элементов питания к корневой системе растений зависит от напряженности электростатического поля, доступности почвенной влаги, числа Pe , а также от физико-химических свойств ионов, с которыми передвигаются элементы питания. При недостатке K для синтеза белков, корни растений поглощают Mg для синтеза безазотистого экстрактивного вещества.

ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОРМОВ И ТЕРРИТОРИИ ЮГО-ЗАПАДА БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Риск получения кормов не соответствующих нормативам по содержанию ¹³⁷Cs в условиях юго-запада Брянской области. Риск, превышения допустимого уровня загрязнения продукции агропромышленного производства ис-

кусственными радионуклидами является основным критерием, определяющим проведения реабилитационных мероприятий в сельском производстве (Иванов и др., 2018; Фесенко, Спиридонов, 2020).

Анализ результатов вероятности получения продукции кормопроизводства, не соответствующей нормативам по содержанию ^{137}Cs для районов юго-запада Брянской области в общественных и личных хозяйствах выявил сильный разброс уровней загрязнения ^{137}Cs кормов. Критическими продуктами кормопроизводства в общественных и личных хозяйствах, по которым в зависимости от района риск колебался от 25,2 до 50,9 и от 9,1 до 56,8 % явились трава и сено (табл. 5.1).

Таблица 5.1 – Риск получения продукции кормопроизводства, не соответствующей допустимым уровням загрязнения ^{137}Cs , %

Район	Общественные хозяйства						Личные хозяйства	
	Силос	Сенаж	Концентраты	Солома	Трава	Сено	Трава	Сено
Новozyбковский	5,7	13,5	0,0	0,1	31,2	16,6	34,6	10,8
Злынковский	0,0	2,8	0,0	0,0	25,2	19,8	36,2	30,1
Клинцовский	1,1	6,0	0,0	0,0	33,4	18,6	44,1	28,0
Гордеевский	0,0	40,4	0,0	0,0	50,9	44,2	48,2	56,8
Красногорский	0,0	5,3	0,0	0,0	29,6	9,1	48,4	37,9

Производство сенажа в Гордеевском районе может привести к возможно-му риску 40,4 % получения продукции кормопроизводства не соответствующей допустимому уровню загрязнения ^{137}Cs , в остальных исследуемых районах этот показатель не превышал 10%, за исключением Новozyбковского, где он был равен 13,5 %.

При производстве силоса, концентратов и соломы риск получения кормов не соответствующей допустимому уровню загрязнения ^{137}Cs не превышал 10 %.

Влияние минеральных удобрений на накопление ^{137}Cs кормовыми культурами. После аварии на Чернобыльской АЭС прошло более 30 лет, были проведены защитные мероприятия на радиоактивно загрязненных кормовых угодьях, однако в некоторых районах юго-запада Брянской области ситуация при производстве кормов остается проблемной.

Природно-климатические условия и плотность загрязнения ^{137}Cs территории юго-запад Брянской области в период исследований с 2003 по 2008 годы позволяют получать урожай воздушно-сухой массы естественного травостоя с удельной активностью ^{137}Cs первого и второго укоса соответственно 2758 и 3312 Бк/кг, что соответственно в 6,9 и 8,3 раза выше допустимого уровня. Поверхностное улучшение заливного луга и последующий посев мятликовой травосмеси позволял получать урожай воздушно-сухой массы сеяного травостоя с удельной активностью ^{137}Cs первого и второго укоса соответственно 2550 и 2617 Бк/кг, при коренном улучшении соответственно 2522 и 2555 Бк/кг. Установили, что изменчивость удельной активности ^{137}Cs кормов под действием проведения поверхностного и коренного улучшения и посева мно-

голетних трав в период первого укоса была незначительной (4,9 %), а в период второго укоса – средней (14,9 %) (табл. 5.2).

Таблица 5.2 – Влияние минерального удобрения на удельную активность ^{137}Cs воздушно-сухой массы травостоя заливного луга в период с 2003 по 2008 годы, Бк/кг

Вариант		Естественный травостой		Сеяный травостой				V, %	
				поверхностное улучшение		коренное улучшение			
1 укос	2 укос	1 укос	2 укос	1 укос	2 укос	1 укос	2 укос		
Контроль		2758	3312	2550	2617	2522	2555	4,9	14,9
P ₉₀ K ₆₀	K ₆₀	381	423	367	425	289	319	14,3	15,6
P ₁₂₀ K ₉₀	K ₉₀	113	145	110	130	89	107	12,6	15,0
*V ₁ , %		134	136	133	129	140	136	—	—
N ₆₀ P ₉₀ K ₆₀	N ₆₀ K ₆₀	1247	1548	1236	1246	996	1136	12,2	16,3
N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀	N ₆₀ K ₉₀	303	365	301	329	307	319	1,0	7,2
N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀	N ₆₀ K ₁₂₀	165	178	179	186	143	161	11,2	7,3
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₉₀	N ₉₀ K ₉₀	376	492	383	451	355	404	3,9	9,8
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₃₅	N ₉₀ K ₁₃₅	170	163	157	172	124	141	15,8	10,1
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₈₀	N ₉₀ K ₁₈₀	71	90	67	74	58	65	10,2	16,6
V ₂ , %		135	135	130	127	138	132	—	—
V ₃ , %		141	142	137	132	146	140	—	—
HCP ₀₅		286	297	318	287	223	229	—	

* Примечание: V₁ – коэффициент вариации при применении фосфорно-калийного и калийного удобрения; V₂ – коэффициент вариации при применении полного и азотно-калийного удобрения; V₃ – коэффициент вариации исследуемых систем удобрения.

Применение на естественном лугу возрастающих доз от P₉₀K₆₀ до P₁₂₀K₉₀ и от K₆₀ до K₉₀ удобрения соответственно под первый и второй укос позволяет достоверно снизить удельную активность ^{137}Cs воздушно-сухой массы первого укоса в 24,4 и 22,8 раза в сравнении с контролем. При применении аналогичных возрастающих доз фосфорно-калийных и калийных удобрений на сеянном травостое при поверхностном и коренном улучшении вело к сходным закономерностям, но в другом количественном выражении. Изменчивость удельной активности ^{137}Cs воздушно-сухой массы под действием проведения поверхностного и коренного улучшения и посева многолетних трав и применения фосфорно-калийного и калийного удобрения соответственно под первый и второй укос была средняя.

Использование удобрений в дозах N₆₀P₉₀K₆₀ и N₆₀K₆₀ соответственно под первый и второй укосы позволяет достоверно снизить удельную активность ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя первого и второго укосов соответственно в 2,2 и 2,1 раза в сравнении с контролем и увеличить в сравнении с вариантами применения фосфорно-калийного и калийного удобрения. Применение аналогичных доз полного и азотно-калийного удобрения на сеянном травостое при поверхностном и коренном улучшении вело к сходным закономерностям, но в другом количественном выражении.

При увеличении дозы калийного удобрения от K₆₀ до K₁₂₀ в дозах N₆₀P₉₀K₆₀ и N₆₀K₆₀ соответственно под первый и второй укосы естественного травостоя установили достоверное снижение удельной активности ^{137}Cs воздушно-сухой массы первого и второго укосов в 7,6 и 8,7 раз соответственно в сравнении с N₆₀P₉₀K₆₀ и N₆₀K₆₀. При поверхностном и коренном улучшении

заливного луга выявили аналогичные закономерности снижения удельной активности ^{137}Cs под действием возрастающих доз калийного удобрения в дозах $\text{N}_{60}\text{P}_{90}\text{K}_{60}$ и $\text{N}_{60}\text{K}_{60}$, но в другом количественном выражении.

Выявили значительную изменчивость показателя удельной активности ^{137}Cs воздушно-сухой массы под действием полного, фосфорно-калийного и калийного минерального удобрения соответственно под первый и второй укос.

Корреляционная зависимость между возрастающими дозами калийного удобрения и удельной активностью ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного и сеяного травостоя колебалась в зависимости от периода уборки урожая и мероприятий по улучшению кормового угодья в пределах от 0,77 до 0,89, то есть зависимость между признаками была сильной.

Корреляционная зависимость между возрастающими дозами азотного удобрения и удельной активностью ^{137}Cs воздушно-сухой массы второго укоса естественного и сеяного травостоя колебалась в зависимости мероприятий по улучшению кормового угодья в пределах от 0,76 до 0,85, то есть зависимость между признаками была сильной.

В период исследований с 2003 по 2008 годы главным фактором снижения удельной активности ^{137}Cs воздушно-сухой массы явились калийные удобрения, а фактором увеличения накопления ^{137}Cs в кормах азотные удобрения.

В период исследований с 2009 по 2014 годы произошло изменение природно-климатических условий юго-запада Брянской области, а также снижение плотности загрязнения ^{137}Cs территории, в результате чего снизили применения доз азотных, фосфорных и калийных удобрений при возделывании естественного и сеяного травостоя на пойменном лугу.

В период исследований с 2009 по 2014 годы получали урожай воздушно-сухой массы естественного травостоя с удельной активностью ^{137}Cs первого и второго укоса соответственно 2320 и 2232 Бк/кг, что соответственно в 5,8 и 5,6 раза выше допустимого уровня. Поверхностное и коренное улучшение заливного луга и последующий посев мятликовой травосмеси изменял показатель удельной активности ^{137}Cs кормов незначительно.

Применение доз минерального удобрения, предусмотренных программой исследований 2009-2014 годов, под первый и второй укос естественного и сеяного травостоя приводило к тенденциям и закономерностям сходным, с действием доз минеральных удобрений, предусмотренных программой исследований 2003-2008 годов, но в другом количественном выражении.

Выявили значительную изменчивость показателя удельной активности ^{137}Cs воздушно-сухой массы под действием полного, фосфорно-калийного и калийного минерального удобрения соответственно под первый и второй укос.

Корреляционная зависимость, в период исследований 2009-2014 годов, между возрастающими дозами калийного удобрения и удельной активностью ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного и сеяного травостоя колебалась в зависимости от периода уборки урожая и мероприятий по улучшению кормового угодья в пределах от 0,62 до 0,97, то есть зависимость между признаками была средней или сильной.

Корреляционная зависимость между возрастающими дозами азотного удобрения и удельной активностью ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного и сеяного травостоя колебалась в зависимости мероприятий по улучшению кормового угодья в пределах от 0,38 до 0,58, то есть была средней.

В условиях пойменных лугов при возделывании одновидовых посевов кормовых культур, превышение допустимого содержания ^{137}Cs в зависимости от вида мятликовой травы варьировало от 5,8 до 7,3 раз, изменчивость показателя накопления ^{137}Cs в воздушно-сухой массе в зависимости от биологических особенностей культуры была средней.

Возделывание кормовых культур в полевых условиях на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава позволяет получать грубые корма с нормативным содержанием ^{137}Cs , исключение составило возделывание люпина желтого, в воздушно-сухой массе которого допустимый уровень содержания ^{137}Cs был превышен в 1,7 раза, также наблюдали более высокое содержание ^{137}Cs в люцерне изменчивой в сравнении с мятликовыми травами. Поэтому при возделывании бобовых культур должен быть постоянный мониторинг содержания радионуклидов в продукции кормопроизводства.

По накоплению ^{137}Cs кормовые культуры расположились в следующий убывающий ряд при полевом кормопроизводстве: люпин желтый, люцерна изменчивая, райграс однолетний, просо, овес, суданская трава, кострец безостый, тимopheвка луговая; при луговом кормопроизводстве: ежа сборная, овсяница луговая, двухисточник тростниковый.

Применение полного минерального удобрения при возделывании одновидовых посев ежи сборной, овсяницы луговой, двухисточника тростникового приводило к тенденциям и закономерностям изменения накопления ^{137}Cs сходным, с действием доз минеральных удобрений на естественном и сеяном травостое, предусмотренных программой исследований 2009-2014 годов, но в другом количественном выражении.

Корреляционная связь между возрастающими дозами азотного удобрения и удельной активностью ^{137}Cs воздушно-сухой массы ежи сборной ($r = 0,50$), овсяницы луговой ($r = 0,48$) и двухисточника тростникового ($r = 0,42$) – средняя, а между возрастающими дозами калийного удобрения и удельной активностью ^{137}Cs воздушно-сухой массы ежи сборной, овсяницы луговой и двухисточника тростникового – сильная ($r > 0,7$).

Применение калийного и (или) фосфорно-калийного удобрения в условиях юго-запада Брянской области вело к снижению удельной активности ^{137}Cs воздушно-сухой массы кормовых культур (табл. 5.3).

Применение фосфорно-калийного и калийного минерального удобрения при луговом и полевом кормопроизводстве на радиоактивно загрязнённой территории ведет к получению грубых кормов, отвечающих нормативному требованию по содержанию в них ^{137}Cs .

Анализируя изменения коэффициента вариации в зависимости от почвенных условий, радиологической обстановки территории и видового состава кормовой культуры обнаружили, что на заливных лугах величина коэффициента больше, чем на полевых агроценозах, что говорит о более эффективном действии минерального удобрения на заливных лугах в снижении аккумуляции ^{137}Cs в корме.

При возделывании гетерогенных посевов в условиях юго-запада Брянской области удельная активность ^{137}Cs воздушно-сухой массы в среднем за годы исследования составила 247-602 Бк/кг. Колебание удельной активности ^{137}Cs воздушно-сухой массы смешанных посевов зависело от погодных условий, компонентов посева и соотношения компонентов в смешанном посеве.

Возрастающие дозы калийного удобрения при возделывании смешанных посевов снижают накопление ^{137}Cs воздушно-сухой массой посевами, при этом изменения носят значительный характер (коэффициент вариации находился в пределах от 30 до 51 %). Наблюдали тенденцию к снижению накопления ^{137}Cs воздушно-сухой массой смешанных посевов с увеличением мятликового компонента в посевах.

Таблица 5.3 – Роль фосфорно-калийных и калийных удобрений в изменении удельной активности ^{137}Cs воздушно-сухой массы кормовых культур, Бк/кг

Культура		Ежа сборная	Овсяница луговая	Двукосточник тростниковый	V, %		
Вариант							
Пойменная дерновая оглееная почва, среднее за 2009-2011 гг.							
Контроль		2936	2851	2333	12		
P ₆₀ K ₄₅		441	451	436	2		
P ₆₀ K ₆₀		358	342	376	5		
HCP ₀₅		77	84	66	—		
V, %		118	116	106	—		
Дерново-подзолистая песчаная почва, среднее за 2011-2013 гг.							
Культура		Люпин желтый	Овес	Райграс однолетний	Суданская трава	Просо	V, %
Вариант							
Контроль		678	289	342	244	328	46
K ₁₈₀		354	170	241	189	202	32
K ₂₁₀		274	122	144	131	125	41
HCP ₀₅		347	243	290	154	141	—
V, %		49	44	41	30	47	—
Дерново-подзолистая супесчаная почва, среднее за 2013-2015 гг.							
Культура		Люцерна изменчивая	Кострец безостый	Тимофеевка луговая		V, %	
Вариант							
Контроль		362	225	217		30	
P ₆₀ K ₆₀		155	116	103		22	
P ₆₀ K ₇₅		138	85	98		26	
P ₆₀ K ₉₀		128	75	73		34	
P ₆₀ K ₁₀₅		96	62	63		26	
HCP ₀₅		78	47	31		—	
V, %		61	59	56		—	

Биовынос ^{137}Cs из почвы кормовыми культурами в зависимости от доступности почвенной влаги и минерального питания. Проведенные на одновидовых посевах мятликовых трав ежи сборной, овсяницы луговой, двукосточника тростникового выявили, что одной из основных причин обратно пропорциональной зависимости между удельной активностью ^{137}Cs и урожайностью воздушно-сухой массы трав служит увеличение относительной транспирации при повышении дозы полного минерального удобрения и уменьшении доли адсорбированных ионов ^{137}Cs в потоке почвенной влаги к корневой системе, вызванном сжатием двойных электрических слоев на стенках пор и уменьшением числа Pe при усилении конвекции в потоке.

Исследований биовыноса ^{137}Cs разными видами кормовых культур возделываемых на дерново-подзолистых песчаных почвах установили, что для всех исследуемых видов кормовых культур соблюдается линейная прямо пропорциональная зависимость между натуральным логарифмом кратности

снижения биовыноса ^{137}Cs из почвы на вариантах по сравнению с контролем и транспирацией посевов.

По средней величине биовыноса ^{137}Cs из почвы на вариантах с внесением калийного удобрения культуры составили следующую убывающую последовательность: люпин желтый, суданская трава > овёс посевной > просо посевное > райграс однолетний, биовынос ^{137}Cs из почвы определяется физико-химическими свойствами корневой системы культуры и данной почвы.

По величине биовыноса ^{137}Cs из дерново-подзолистой песчаной почвы люпин желтый, имея из изучаемых культур самую большую удельную поверхность, способен усваивать труднодоступную влагу с основной долей адсорбированного ^{137}Cs и поддерживать на оптимальном уровне относительную транспирацию в засушливый вегетационный период.

Влияние минерального удобрения при возделывании кормовых культур на радиэкологические показатели территории юго-запада Брянской области. В период исследований 2003-2008 годов на заливном лугу при возделывании естественного и сеяного травостоя установлено, что максимальный переход ^{137}Cs из почвы в продукцию кормопроизводства от 1,87 до 2,45 происходил в условиях без применения минерального удобрения, при этом снижение коэффициента перехода ^{137}Cs происходило от естественного травостоя до сеяного травостоя при коренном улучшении. Применение возрастающих доз минерального удобрения в условиях радиоактивно загрязненного заливного луга позволяет снизить коэффициент перехода ^{137}Cs в зависимости от мероприятий по улучшению от 0,04 до 0,05 Бк/кг : кБк/м².

В период исследований 2009-2014 годов на заливном лугу при возделывании естественного и сеяного травостоя установлено, что максимальный переход ^{137}Cs из почвы в продукцию кормопроизводства от 2,63 до 2,79 происходил в условиях без применения минерального удобрения, при этом снижение коэффициента перехода ^{137}Cs от применения только агротехнических мероприятий не обнаружили.

Применение возрастающих доз минерального удобрения в условиях радиоактивно загрязненного заливного луга позволяет снизить коэффициент перехода ^{137}Cs в зависимости от мероприятий по улучшению от 0,25 до 0,34 Бк/кг : кБк/м².

Установление количественных параметров перехода радионуклидов в продукцию кормопроизводства в зависимости от биологических особенностей кормовых культур и уровня минерального питания. Установили, что по снижению коэффициента перехода ^{137}Cs из почвы в растения, культуры расположились в следующий ряд: ежа сборная, овсяница луговая, двуклесточник тростниковый.

Сравнивая количественные параметры перехода радионуклидов в продукцию кормопроизводства в зависимости от местоположения кормовых угодий, биологических особенностей кормовых культур и уровня применения фосфорно-калийного (калийного) удобрения нами было установлено, что максимальный переход ^{137}Cs из почвы в продукцию кормопроизводства от 3,26 до 4,11 происходил в условиях заливного луга. Переход ^{137}Cs из почвы в продукцию кормопроизводства в условиях полевого агроценоза был в разы меньше, при этом радиоактивное загрязнение было сопоставимо, при этом наибольший переход радионуклида наблюдали на культурах семейства бобовые.

Применение фосфорно-калийного и калийного минерального удобрения при луговом и полевом кормопроизводстве на радиоактивно загрязнённой территории ведет к снижению перехода ^{137}Cs из почвы в продукцию кормопроизводства.

При возделывании кормовых культур в смешанных посевах наблюдали колебания коэффициент перехода ^{137}Cs от 0,29 до 0,71 Бк/кг : кБк/м² в зависимости от видов входящих в смешанный посев и соотношений компонентов смешанного посева. Увеличение мятликового компонента в смешанном посеве снижает коэффициент перехода ^{137}Cs , применение калийного удобрения усиливало этот эффект, минимальный от 0,16 до 0,22 коэффициент перехода ^{137}Cs в воздушно-сухую массу смешанных посевов кормовых культур обнаружил при применении калийного удобрения в дозе K_{210} и наибольшем соотношении мятликового к бобовому компоненту.

Основным источником поступления радиоактивных веществ в организм животных является корм, к сожалению, набор приемов, способствующих уменьшению перехода радионуклидов из корма и воды в продукты животноводства, весьма ограничен. Практически он сводится к двум мероприятиям: правильному составлению рационов и включению в рацион добавок и препаратов, препятствующих такому переходу. Поэтому ограничение перехода радионуклидов в системе почва → растение (корм) является важнейшим мероприятием по повышению производства – нормативно «чистой» продукции животноводства (молока).

Плотность загрязнения ^{137}Cs территории в период исследований 2003-2008 годы колебалась в пределах 1221-1554 кБк/м². Использовать пойменный луг для сенокоса без применения защитных мероприятий в таких условиях недопустимо, так как поедание грубого корма с таких угодий крупным рогатым скотом (КРС) приводит к получению молока с содержанием ^{137}Cs от 126 до 166 Бк/л в зависимости от мероприятий по улучшению заливного луга, которое не отвечает допустимому уровню содержания ^{137}Cs в молоке (100 Бк/л) установленное нормативом (Гигиенические требования..., 2002).

Применение возрастающих доз минерального удобрения в условиях радиоактивно загрязненного заливного луга позволяет снизить перехода ^{137}Cs из почвы в продукцию кормопроизводства, что при дальнейшем его поедании приведет к получению молока с содержанием ^{137}Cs ниже допустимого уровня.

Плотность загрязнения ^{137}Cs территории в период исследований 2009-2014 годы колебалась в пределах 559-867 кБк/м². Использовать пойменный луг для сенокоса без применения защитных мероприятий в таких условиях недопустимо, так как поедание грубого корма крупным рогатым скотом (КРС) приводит к получению молока с содержанием ^{137}Cs от 112 до 119 Бк/л в зависимости от мероприятий по улучшению заливного луга, которое не отвечает допустимому уровню содержания ^{137}Cs в молоке (100 Бк/л) установленное нормативом (Гигиенические требования..., 2002).

Применение возрастающих доз минерального удобрения в условиях радиоактивно загрязненного заливного луга позволяет снизить перехода ^{137}Cs из почвы в продукцию кормопроизводства, что при дальнейшем его поедании приведет к получению молока с содержанием ^{137}Cs ниже допустимого уровня.

Использование полевого агроценоза для кормопроизводства допустимо, полученные корма, впоследствии скормленные скоту, приводят к получению молока с допустимым уровнем содержания ^{137}Cs .

Применение в полевом кормопроизводстве калийного и фосфорно-калийного удобрения в дозах, предусмотренных программой исследования на дерново-подзолистой песчаной и супесчаной почвах, способствует уменьшению перехода ^{137}Cs из почвы в продукцию кормопроизводства, и вследствие этого снижению его содержания в молоке до допустимого уровня соответственно 6-14 и 4-7 Бк/кг в зависимости от культуры, используемой на корм.

В отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС при использовании радиоактивно загрязненной территории юго-запада Брянской области для лугового и полевого кормопроизводства необходимо подбирать кормовые культуры с наименьшим накоплением ^{137}Cs в воздушно-сухой массе, наши исследования показывают, что на заливных лугах необходимо возделывать двукосточник тростниковый, в полевых агроценозах – тимopheевку луговую и суданскую траву.

В отдаленный период после аварии на ЧАЭС есть вероятность получения молока с содержанием ^{137}Cs выше допустимого уровня, наиболее критическая ситуация при использовании заливных лугов.

Использование смешанных посевов в агроценозах для получения сена и использования его в кормлении КРС приводит к получению молока с содержанием ^{137}Cs от 7 до 30 Бк/л в зависимости от соотношения мятликового и бобового компонента в посеве и применения доз калийного удобрения, полученное молоко отвечает допустимому уровню содержания ^{137}Cs .

Увеличение доли мятликового компонента в смешанном посеве снижает накопление ^{137}Cs в кормах, применение калийных удобрений усиливает этот эффект. Минимальное содержание ^{137}Cs в молоке от 7 до 8 Бк/л обнаружили при использовании в кормлении КРС воздушно-сухой массы смешанных посевов с применением калийного удобрения в дозе K_{210} и наибольшем соотношении мятликового к бобовому компоненту.

В настоящее время сохраняется вероятность получения продукции животноводства с содержанием ^{137}Cs выше норматива при использовании пойменных лугов с плотностью загрязнения ^{137}Cs больше 850 кБк/м^2 , при этом применение калийного удобрения позволяет возвращать кормовые угодья в сельскохозяйственный оборот.

ГЛАВА 6. ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ КОРМОВЫХ УГОДИЙ

Для полной и объективной оценки плодородия используют условные показатели – индексы, так как свойства почв находятся на разном уровне и комплексная оценка уровня плодородия по отдельным агрохимическим показателям весьма затруднительна. Индексы выражены в относительных единицах (от 0,1 до 1,0), которые отражают степень соответствия требованиям растений к данному свойству почвы.

По результатам обследования почв территории Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции комплексный индекс окультуренности составил 0,94 единиц для почв сенокосов и пастбищ, что указывает на высокую степень окультуренности сельскохозяйственных угодий. Индекс окультуренности достиг такого уровня из-за высокого содержания фосфора в почве, при этом необходимо помнить закон минимума, по которому содержание калия будет ограничивать рост и развитие сельскохозяйственных культур, возделываемых на территории хозяйства, что впоследствии снизит их продуктивность и качество получаемой продукции.

Радиационная обстановка в целом по хозяйству улучшается, но до кардинальных изменений еще далеко, а получение нормативно чистой продукции будет зависеть от уровня выполнения защитных мероприятий.

Рассматривая почвы сенокосов и пастбищ в условиях исследования, то, необходимо отметить, что по естественному плодородию аллювиальная луговая слоистая супесчаная почва более плодородна зональных почв региона (Воробьев и др., 1995), при этом радиационная обстановка на сенокосах и пастбищах более сложна в получении продукции кормопроизводства с допустимым содержанием радионуклидов. Поэтому нами особое внимание было уделено почвам сенокосов и пастбищ, территории с наибольшим возможным риском получения кормов с содержанием ^{137}Cs выше норматива.

Показатели плодородия пойменных почв формируются за счет климатических условий, растительности, гидрологии, геоморфологии, литологии территории юго-запада Брянской области (табл. 6.1). Содержание органического вещества возрастало в 2,7 раза от прирусловой к притеррасной подсистеме поймы реки Ипуть. Подобную закономерность трансформации наблюдали при изменении содержания обменного кальция и магния.

Кислая реакция почвенного раствора колеблется в пределах от 4,12 до 5,36 ед. в зависимости от местоположения почвы в пойменном ландшафте, природно-климатических условий юго-западной части Брянской области формируют почвы с кислой реакцией среды.

Таблица 6.1 – Показатели плодородия почв поймы р. Ипуть (слой 0-20 см)

Органическое вещество	pH _{KCl}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
%	ед.	мг / кг почвы		ммоль / 100 г почвы	
Аллювиальная дерновая кислая слоистая примитивная укороченная супесчаная почва (P16)					
3,93	4,12	57	102	5,82	1,10
Аллювиальная луговая кислая маломощная укороченная среднесуглинистая почва (P14)					
7,15	4,13	116	140	12,32	1,35
Аллювиальная перегнойно-болотная тяжелосуглинистая почва (P13)					
10,67	4,36	339	122	19,12	2,06

В притеррасной части поймы реки Ипуть выявили очень высокое 339 мг/кг содержание подвижного фосфора, наблюдали тенденцию его возрастания от прирусловой к притеррасной части поймы. В прирусловой подсистеме поймы установили самые низкие значения обменного калия – 57 мг/кг

Обнаружили, что максимальное содержание 140 мг/кг обменного калия было в почве центральной части поймы. В почве притеррасной поймы оно также было повышенное, а в прирусловой – среднее.

Проведенный в условиях юго-запада Брянской области мониторинг современного состояния радиоактивно загрязненных пойменных почв установил следующее, в пойме от прирусловой к центральной и далее к притеррасной подсистемам росло содержание органического вещества, подвижного фосфора, обменных кальция и магния; в центральной подсистеме исследуемого пойменного ландшафта выявили максимальное содержание обменного калия.

Обеспеченность аллювиальных почв пойменного ландшафта р. Ипуть микроэлементами в результате наших исследований отображали посредством геохимических индексов.

Аллювиальная дерновая кислая слоистая примитивная укороченная супесчаная почва имеет следующий геохимический индекс:

Cu 0,92	Mo 0,02, Co 0,08, As 0,17, Ni 0,25, Mn 0,30, Zn 0,55, Cr 0,58, Cd 0,66, Pb 0,67
---------	---

Аллювиальная луговая кислая маломощная укороченная среднесуглинистая почва имеет следующий геохимический индекс:

Mo 0,04, Co 0,07, As 0,15, Mn 0,35, Ni 0,37, Zn 0,53, Cd 0,54, Pb 0,59, Cu 0,65, Cr 0,66
--

Аллювиальная перегнойно-болотная тяжелосуглинистая почва имеет следующий геохимический индекс:

Mo 0,04, Co 0,12, As 0,24, Ni 0,40, Mn 0,51, Pb 0,68, Zn 0,74, Cu 0,75, Cd 0,82 Cr 0,84

Для почв, развивающихся на бедных породах и имеющих примитивное (укороченное) строением профиля исследуемые по величине кларка концентрации микроэлементы относятся к группе рассеивающихся. Исключение составляет концентрация меди, которая в почве прирусловой части поймы находится на уровне кларка (0,92).

В результате исследований не установлено значимой корреляции между содержанием микроэлементов и показателями плодородия аллювиальных почв. Это может быть связано с процессом преобразования поймы в ходе ее улушения и наличием мелиоративной системы на изучаемом участке.

В почвах естественных кормовых угодий при проведении исследования установили, что большинство микроэлементов имеют относительно низкое содержание. Поэтому для получения стабильных урожаев надлежащего качества остается актуальным вопрос подкормок луговых трав микроэлементными удобрениями.

Травостоя естественных кормовых угодий после аварии на ЧАЭС показал широкий разброс удельной активности ^{137}Cs , что обусловлено многими факторами: различными формами нахождения радионуклида в почве, неодинаковой удаленностью обследуемых площадей от места аварии, различиями по генезису и гранулометрическому составу почв, неоднородностью загрязнения почв

Возникает необходимость исследования вертикального и горизонтального распределения ^{137}Cs в пойменном ландшафте для прогноза его перехода в естественный травостой.

Наибольшую удельную активность ^{137}Cs обнаружили в дернине и горизонте A_1 , она варьировала в зависимости от типа аллювиальной почвы от 2712 до 9523 Бк/кг. При этом для менее обводненных почв прируслового вала и центральной поймы максимум приходится на дернину, а в болотной почве прирусловой части поймы максимум отмечен в горизонте A_1 . Далее с глубиной происходило снижение удельной активности по исследуемым почвам. В почве прирусловой части поймы ^{137}Cs активно мигрировал в горизонт В, и продолжает вертикальную миграцию далее в горизонт С. Подобной активной вертикальной миграции способствует легкий гранулометрический состав данной почвы. В почве центральной части поймы вертикальная миграция

идет более медленными темпами, и говорить достоверно о наличии ^{137}Cs в горизонте Bg в настоящее время нельзя, учитывая незначительные значения удельной активности. В болотной почве притеррасной части поймы распределение имеет вид резко убывающей кривой, при этом часть радионуклида мигрировала в горизонт Bg, где, по-видимому, имеются условия для его закрепления, несмотря на высокую обводненность профиля.

Рассматривая горизонтальное распределение ^{137}Cs в пойменном ландшафте, установили следующий тренд: удельная активность ^{137}Cs возрастает от прирусловой к притеррасной подсистеме поймы, с минимумами в центральной подсистеме поймы, что, по-видимому, связано с постоянным выносом ^{137}Cs с продукцией кормопроизводства.

Корнеобитаемый слой почв обладает наибольшей информативностью с точки зрения ландшафтно-геохимических исследований на заливных лугах, включающий собственно гумусовый горизонт и частично следующий за ним слой аллювия разной степени вовлеченности в почвообразовательный процесс. Формирования урожая естественных кормовых трав являются чувствительным индикатором, который характеризует свойства данного слоя и является показателем возможного техногенного загрязнения территории.

В 2019 году, через 33 года после аварии на ЧАЭС, в зависимости от типа аллювиальной почвы в корнеобитаемом слое 0-20 см было от 96,11 до 99,79 % ^{137}Cs , при этом в слое от 20 до 60 см ^{137}Cs было от 3,89 до 0,21 % (рис. 6.1).

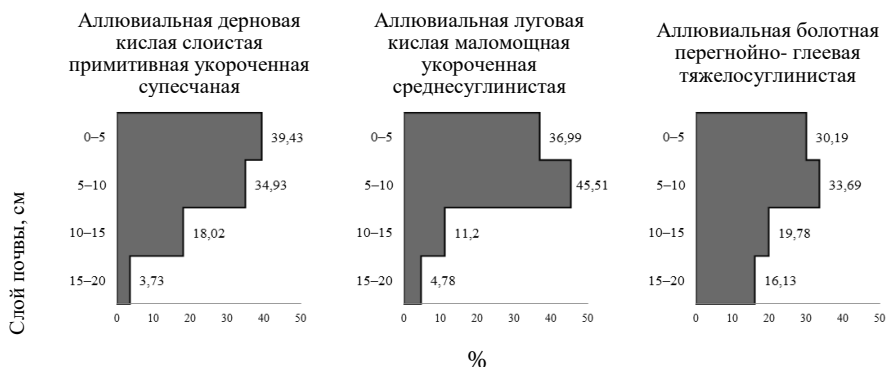


Рисунок 6.1 – Распределение ^{137}Cs по слоям аллювиальной почвы, % от общего количества в слое 0-60 см

Сравнивая распределение ^{137}Cs по слоям почвы, выявили, что в почве прирусловой (аллювиальной дерновой кислой слоистой примитивной укороченной супесчаной) около 40% ^{137}Cs находилось в слое 0-5 см, в то время как далее в притеррасной подсистеме ландшафта (аллювиальная перегнойно-болотная тяжелосуглинистая почва) шло его снижения до 30%, на наш взгляд, это связано гранулометрическим составом почв, на легких почвах основная часть ^{137}Cs закрепляется в слое с наибольшим количеством корней, для тяжелых почв характерно более равномерное распределение ^{137}Cs .

В почве центральной поймы (аллювиальной луговой кислой маломощной укороченной среднесуглинистой) основное содержание ^{137}Cs находилось в слое от 0 до 10 см (около 80%), далее шло резкое снижение.

Корреляционный анализ между агрохимическими показателями почвенного плодородия и удельной активностью ^{137}Cs выявил сильную положительную связь между содержанием органического вещества, обменного кальция и магния и подвижного фосфора и калия и удельной активностью ^{137}Cs .

Миграция ^{137}Cs из почвы в многолетние травы зависела от типа аллювиальной почвы и ее гранулометрического состава. Так, наибольший (1,4) коэффициент перехода выявили для условий прирусловой подсистемы пойменного ландшафта, а наименьший 0,1 для притеррасной подсистемы пойменного ландшафта (табл. 6.2).

Таблица 6.2 – Удельная активность ^{137}Cs почвы и растений

Почва	Удельная активность ^{137}Cs , Бк/кг		Коэффициент перехода ^{137}Cs из почвы в воздушно-сухую массу растений
	почва, слой 0-20	воздушно-сухая масса трав	
Аллювиальная дерновая кислая слоистая примитивная укороченная супесчаная	2257,3	1661,5	1,4
Аллювиальная луговая кислая маломощная укороченная среднесуглинистая	1467,3	1599,5	0,9
Аллювиальная перегнойно-болотная тяжелосуглинистая	7052,9	553,1	0,1

Установили тенденцию снижения коэффициента перехода ^{137}Cs из почвы в воздушно-сухую массу растений от прирусловой до притеррасной подсистем пойменного ландшафта, при изменении гранулометрического состава от супесчаного до тяжелосуглинистого. При этом наиболее ценная в хозяйственной отношении часть пойменного ландшафта имела средний коэффициент перехода 0,9.

Горизонтальное распределение ^{137}Cs в почвах пойменного ландшафта р. Ипуть определялось генезисом почв пойменных подсистем, максимум удельной активности ^{137}Cs 9523 Бк/кг установили в притеррасной части пойменного ландшафта. Вертикальное распределение ^{137}Cs в слое 0–60 см определяется генезисом почв пойменных подсистем, обнаружили, что наибольшее количество ^{137}Cs находится в слое 5-10 см и от пойменной подсистемы варьировало от 33 до 45 % от общего количества в исследуемом слое. В пойменном ландшафте р. Ипуть коэффициент перехода ^{137}Cs из почвы в растения снижается от прирусловой к притеррасной подсистеме пойменного ландшафта.

ГЛАВА 7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР

Проведенными исследованиями в условиях юго-западной части Брянской области установлено, что эффективность применения минерального удобрения при возделывании кормовых культур, семейства мятликовых, в условиях заливного луга зависела от видов, доз минерального удобрения и соотношения в нём элементов питания, а также биологических особенностей возделываемой культуры.

Использование возрастающих доз калийного удобрения в фосфорно-калийном от $\text{P}_{60}\text{K}_{45}$ до $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ обуславливает повышение рентабельности про-

изводства сена от – 19 до 6 % в зависимости от возделываемого кормовой культуры. Наиболее отзывчивой культурой на применение фосфорно-калийного удобрения явился двукисточник тростниковый, рентабельность варьировала от 1 до 6 %.

Использование возрастающих доз полного минерального удобрения от $N_{45}P_{60}K_{45}$ до $N_{60}P_{60}K_{60}$ обуславливает повышение рентабельности производства сена от 45 до 55 % в зависимости от возделываемой кормовой культуры.

Использование возрастающих доз калийного удобрения в полном минеральном от K_{45} до K_{75} в $N_{45}P_{60}K_{45}$ и от K_{60} до K_{90} в $N_{60}P_{60}K_{60}$ обуславливает повышение рентабельности производства сена от 45 до 58 % в зависимости от возделываемой кормовой культуры.

В условиях радиоактивно загрязненного центрального заливного луга наибольший экономический эффект (рентабельность 58 %) выявлен при возделывании двукисточника тростникового с применением полного минерального удобрения в дозе $N_{60}P_{60}K_{90}$.

Проведенными исследованиями в условиях юго-запада Брянской области установлено, что эффективность минерального удобрения при возделывании кормовых культур, семейств бобовых и мятликовых, в условиях полевого агроценоза зависела от доз минерального удобрения и биологических особенностей возделываемой культуры.

Использование возрастающих доз калийного удобрения от K_{180} до K_{210} обуславливает повышение рентабельности производства сена от 11 до 53 % в зависимости от возделываемой кормовой культуры. Наиболее отзывчивой культурой на применение калийного удобрения явился овес посевной, рентабельность которого варьировала от 51 до 53 %.

В условиях радиоактивно загрязненного полевого агроценоза возделывание райграса однолетнего, суданской травы и просо посевного при применении возрастающих доз калийного удобрения ведет к убыточности от –62 до –1 % в зависимости от возделываемой культуры.

Использование возрастающих доз калийного удобрения в фосфорно-калийном от $P_{60}K_{60}$ до $P_{60}K_{105}$ обуславливает снижение убыточности производства сена от –84 до –2 % в зависимости от возделываемой кормовой культуры. Наиболее отзывчивой культурой на применение фосфорно-калийного удобрения явилась люцерна изменчивая, убыточность которой варьировала от –74 до –2 %.

В условиях радиоактивно загрязненного полевого агроценоза обнаружили тенденцию снижения убыточности с увеличением доз минерального удобрения при возделывании райграса однолетнего, суданской травы, просо посевного, люцерны изменчивой, костреца безостого и тимopheевки луговой.

Рассматривая применение минерального удобрения без азотного компонента на кормовых угодьях юго-запада Брянской области установили, что возделывание мятликовых кормовых культур более рентабельно на пойменных почвах, так как они более плодородны. Для повышения рентабельности производства сена в полевых агроценозах необходимо применение азотных удобрений, при этом необходим постоянный мониторинг получаемой продукции, особенно бобовых культур, так как азотные удобрения способствуют накоплению ^{137}Cs в корне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате полевых и лабораторных исследований, проведенных в период с 2003 по 2019 годы на радиоактивно загрязнённых аллювиальных и дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава юго-западной части Брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС были установлены закономерности и тенденции изменения количественных и качественных показателей продукции кормопроизводства при возделывании кормовых культур под действием минерального удобрения.

1. Агроклиматические ресурсы, плодородие пойменных почв юго-запада Брянской области обеспечивали в период исследований с 2003 по 2014 годы минимальную урожайность зеленой и воздушно-сухой массы естественного травостоя соответственно на уровне около 7,0 и 2,0 т/га и сеяного – около 9 и 2,8 т/га за два укоса. Поверхностное и коренное улучшение позволяет увеличить продуктивность заливного луга от 4 до 25 % в зависимости от периода уборки урожая в сравнении с естественным травостоем. Главным фактором повышения урожайности зеленой и воздушно-сухой массы естественного и сеяного травостоя первого и второго укосов явились азотные удобрения, которые достоверно повышали урожайность, с максимальным сбором зелёной массы около 47 т/га и воздушно-сухой массы около 13 т/га за два укоса при применении системы удобрения $N_{180}P_{120}K_{180}$. Эффективность минеральных удобрений снижалась с увеличением доли калийного удобрения в системе удобрения, максимальную окупаемость минеральных удобрений прибавкой урожая естественного и сеяного травостоя выявили при применении $N_{120}P_{60}K_{120}$, которая составила соответственно в пределах 100-120 первого и 77-98 кг/кг д.в. второго укоса зеленой массы и 21-24 первого и 18-21 кг/кг д.в. второго укоса воздушно-сухой массы. Данные по действию и эффективности азотного удобрения в увеличении урожайности травостоя подтверждаются корреляционным анализом, который выявил, что связь между урожайностью и возрастающими дозами азотного удобрения сильная, а связь между возрастающими дозами калийного удобрения и урожайностью – слабая или средняя. Обнаружили более полное использование растениями первого укоса многолетних трав минерального удобрения и почвенно-климатического потенциала территории, разница в урожайности первого и второго укосов достигала до 2 раз.

2. Возделывание одновидовых посевов в условиях юго-запада Брянской области позволяло получать урожай зеленой и воздушно-сухой массы в зависимости от семейства и вида культуры соответственно от 5,8 до 23,1 и от 1,8 до 5,1 т/га. Кормовые культуры по урожайности расположились в следующий убывающий ряд: люпин желтый → суданская трава → люцерна изменчивая → просо посевное, кострец безостый → тимофеевка луговая → райграс однолетний → овес посевной → двукосточник тростниковый → овсяница луговая → ежа сборная.

3. Применение возрастающих доз полного минерального удобрения в условиях заливного луга позволяет существенно увеличивать урожайность зеленой и воздушно-сухой массы кормовых культур в зависимости от вида соответственно от 29,4 до 30,9 и от 8,1 и до 8,6 т/га. Нами установлено, что главным фактором увеличения урожайности в условиях заливного луга явились азотные удобрения. Корреляционный анализ выявил сильную и среднюю связь между

урожаем зеленой и воздушно-сухой массы кормовых культур и возрастающими дозами азотного удобрения и слабую – при применении возрастающих доз калийного удобрения. Наибольшую окупаемость, прибавки урожая зеленой и воздушно-сухой массы кормовых культур, минерального удобрения соответственно от 130,0 до 142,0 и от 34,2 до 37,5 кг на кг д. в. обеспечивает применение полного минерального удобрения в дозе $N_{45}P_{60}K_{45}$.

4. Применение возрастающих доз калия в составе фосфорно-калийного удобрения вело к достоверному увеличению урожайности зеленой массы кормовых культур при этом возделывание на аллювиальных почвах соответственно от 13,2 до 14,8 т/га в зависимости от вида культуры. Наблюдали тенденцию к увеличению урожайности кормовых культур при применении калийного и фосфорно-калийного удобрения на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава.

5. Наиболее высокоинтенсивной кормовой культурой в условиях юго-запада Брянской области является суданская трава, а просо и овес обладают высокой отзывчивостью с сочетанием низкой стабильностью урожая, кострец безостый слабо реагирует на улучшение внешних условий, но имеет достаточно высокую стабильность урожайности. Применение минерального удобрения повышает адаптацию, изменчивость урожайности кормовых культур, увеличивает разрыв между максимальной и минимальной урожайностью, а также усиливает стабильность и снижает отзывчивость культур на изменения среды.

6. Почвенно-климатические ресурсы юго-запада Брянской области позволяют получать в полевых условиях урожай зеленой массы смешанных посевов от 25,3 до 32,2 т/га в зависимости от погодных условий, компонентов посева и их соотношения. Возрастающие дозы калийного удобрения увеличивают урожайность смешанных посевов, однако изменения незначительны. Наблюдали тенденцию к увеличению урожайности смешанных посевов люпина с овсом, райграсом и просом с увеличением мятликового компонента в посевах и снижению урожайности смешанных посевов люпина с суданской травой с увеличением мятликового компонента.

7. Выявили действия бобового компонента на увеличение урожайности смешанного посева, который за счет высокой ЕКО корневой поверхности повышает напряженность отрицательного поля вокруг общей корневой системы. Увеличение напряженности вызывает ускорение потока влаги к корневой системе смешанного посева, увеличению конвекции в общем потоке влаги, повышению доступности влаги и элементов питания, урожайности по сравнению с одновидовым посевом. Бобовый компонент увеличивает в 1,5-2,0 раза содержание азота в смешанном посеве трав из-за доступности клубенькового азота корневым системам посева, если содержание азота в массе смешанного посева не компенсируется необходимым количеством K^+ для синтеза сырого протеина, то повышается синтез БЭВ.

8. Применение минерального удобрения при возделывании кормовых культур в условиях агроландшафтов ведет к изменению биохимических показателей воздушно-сухой массы культур. Установили тенденции к повышению протеина, зола, клетчатки и жира в кормах при применении возрастающих доз полного, фосфорно-калийного и калийного минерального удобрения и снижению БЭВ при аналогичных условиях.

9. Обнаружили аналогичное действие минерального удобрения на изменение биохимических показателей корма при возделывании кормовых культур в сме-

шанных посевах. Установили, что с увеличением мятликового компонента в смешанном посеве происходило снижение содержания протеина, золы, клетчатки и жира и повышение БЭВ в воздушно-сухой массе кормов.

10. Применение минерального удобрения при возделывании кормовых культур в условиях агроландшафтов изменяло элементный состав воздушно-сухой массы. Установили тенденции к повышению азота, фосфора, калия и кальция в кормах при применении возрастающих доз полного, фосфорно-калийного и калийного минерального удобрения и снижению магния при аналогичных условиях.

11. Нами выявлено, что корневая система каждого вида культуры формирует на своей поверхности электростатическое поле определенной напряженности, вектор которого направлен к отрицательно заряженной поверхности корней и вызывает поток почвенного раствора, увеличивая доступность влаги и элементов питания растениям. Установлена линейная прямопропорциональная зависимость между напряженностью электростатического поля, доступностью почвенной влаги и урожайностью культур. По величине напряженности электростатического поля, доступности влаги виды культур располагаются в следующую последовательность: люпин желтый > суданская трава > просо посевное > овёс посевной > райграс однолетний. Эта последовательность соблюдается для биологического выноса воздушно-сухой массой N, P, K, Ca, Mg, при увеличении конвекции в общем потоке почвенного раствора к корневой системе в наибольшем количестве переносятся N и K, в наименьшем – Mg и P. Обнаружено, что при недостатке K для синтеза белков, корни растений поглощают Mg для синтеза безазотистого экстрактивного вещества. Минеральные удобрения при растворении в почвенной влаге вызывают сжатие диффузного слоя ДЭС, формирующихся на стенках капилляров почвы и поверхности корней растений, увеличение напряженности электростатических полей и потоков влаги к корневой системе растения, доступности влаги. Видовые различия биовыноса элементов питания обусловлены разностью между поверхностной плотностью зарядов на поверхности корней и почвенных капилляров. Биовынос элементов питания описывается зависимостью, устанавливающей связь между содержанием элемента питания в воздушно-сухой массе растения, транспирацией посевов в течение вегетации и параметром биовыноса.

2. В отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС в условиях юго-запада Брянской области по-прежнему ситуация с ведением кормопроизводства остается критичной, особенно это характерно для личных подсобных хозяйств, где из общего объема получаемого корма до 50 % превышает допустимый уровень по содержанию ^{137}Cs .

13. Агроклиматические ресурсы, плотность загрязнения ^{137}Cs и плодородие пойменных почв юго-запада Брянской области в период исследований с 2003 по 2008 годы обеспечивают получение воздушно-сухой массы естественного травостоя с максимальной удельной активностью ^{137}Cs на уровне около 3000 Бк/кг и сеяного – около 2560 Бк/кг в среднем за два укоса. Уменьшение плотности загрязнения ^{137}Cs территории вело к снижению в период исследований с 2009 по 2014 годы удельной активностью ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного и сеяного травостоя соответственно 2276 и 2340 Бк/кг в среднем за два укоса. Поверхностное и коренное улучшение позволяет снизить удельную активность ^{137}Cs урожая от 1 до 15 % в зависимости от периода уборки урожая

и мероприятий улучшения в сравнении с естественным травостоем. Главным фактором снижения удельной активности ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного и сеяного травостоя явились калийные удобрения, которые существенно снижали данный показатель. Минимальную удельную активность ^{137}Cs воздушно-сухой массы около 71 Бк/кг в среднем за два укоса при применении системы удобрения $\text{N}_{180}\text{P}_{120}\text{K}_{360}$. В период с 2003 по 2008 годы уровень загрязнения был около 1221 кБк/м², наибольший эффект от минерального удобрения был получен при соотношении в нем азота к калию как 1 : 2, в период с 2009 по 2014 годы уровень загрязнения был около 755 кБк/м², наибольший эффект был получен при соотношении азота к калию как 1 : 1,5. Данные по действию и эффективности калийного удобрения в снижении удельной активности ^{137}Cs воздушно-сухой массы травостоя подтверждаются корреляционным анализом, который выявил, что связь между удельной активностью ^{137}Cs воздушно-сухой массы и возрастающими дозами азотного удобрения сильная или средняя, а связь между возрастающими дозами калийного удобрения и удельной активностью ^{137}Cs воздушно-сухой массы – сильная. При этом обнаружили, что высокие дозы калийного удобрения нивелируют негативное действие азотного удобрения.

14. Возделывание одновидовых посевов в условиях юго-запада Брянской области не позволяют получать нормативно «чистые» грубые корма в условиях пойменных лугов, превышение допустимого содержания ^{137}Cs в зависимости от вида кормовой культуры варьировало от 5,8 до 7,3 раз. Возделывание кормовых культур в полевых условиях позволяет получать грубые корма с нормативным содержанием ^{137}Cs , исключение составило возделывание люпина желтого, допустимый уровень содержания ^{137}Cs был превышен в 1,7 раза, также наблюдали более высокое содержание ^{137}Cs в люцерне изменчивой в сравнении с мятликовыми травами.

15. Применение возрастающих доз полного, фосфорно-калийного и калийного минерального удобрения в условиях агроценозов юго-запада Брянской области позволяет получать корма с допустимым содержанием ^{137}Cs . Корреляционный анализ установил среднюю связь между возрастающими дозами азотного удобрения и удельной активностью ^{137}Cs корма и сильную связь между возрастающими дозами калийного удобрения и удельной активностью ^{137}Cs корма.

16. При ведении кормопроизводства на радиоактивно загрязненной территории необходимо подбирать кормовые культуры с наименьшим накоплением ^{137}Cs , на заливных лугах необходимо возделывать двухкосточник тростниковый, а в полевых агроценозах – тимopheевку луговую и суданскую траву.

17. В настоящее время сохраняется вероятность получения продукции животноводства с содержанием ^{137}Cs выше норматива при использовании пойменных лугов с плотностью загрязнения ^{137}Cs больше 755 кБк/м², при этом применение калийного удобрения позволяет возвращать кормовые угодья в сельскохозяйственный оборот.

18. Установили, что почвы сенокосов и пастбищ в условиях исследования по естественному плодородию более плодородны, чем зональные почвы региона исследования. Радиационная обстановка на сенокосах и пастбищах более сложна, здесь существует риск получения кормов с содержанием ^{137}Cs выше норматива.

19. Проведенный мониторинг современного состояния плодородия аллювиальных почв выявил, что содержание гумуса, подвижного фосфора, обменных форм кальция и магния увеличивались в ландшафте пойм по подсистемам: прирусловой → центральной → притеррасной; наибольшее содержание обменного калия установили в центральной подсистеме пойменного ландшафта.

20. Использование пойменного ландшафта в производстве кормов должно основываться на знании геохимических индексов аллювиальных почв, для того, чтобы четко понимать распределение микроэлементов в почвах пойм. Нами установлено относительно низкие концентрации большинства микроэлементов в почвах естественных кормовых угодий.

21. Горизонтальное распределение ^{137}Cs в почвах пойменного ландшафта реки Ипуть определялось генезисом почв пойменных подсистем, максимум удельной активности ^{137}Cs 9523 Бк/кг установили в притеррасной части пойменного ландшафта. Вертикальное распределение ^{137}Cs в слое 0–60 см определяется генезисом почв пойменных подсистем, обнаружили, что наибольшее количество ^{137}Cs находится в слое 5–10 см и от пойменной подсистемы варьировало от 33 до 45 % от общего количества в исследуемом слое. Выявили сильную положительную связь между содержанием органического вещества, обменных катионов, подвижного фосфора и удельной активностью ^{137}Cs почвы. Выявили, что коэффициент перехода ^{137}Cs из почвы в растения зависит от гранулометрического состава почв и снижается от прирусловой к притеррасной подсистеме пойменного ландшафта.

22. В условиях радиоактивного загрязнения юго-запада Брянской области при производстве грубых кормов рекомендуем возделывать двукисточник тростниковый на аллювиальных почвах с применением полного минерального удобрения в дозе $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$, рентабельность производства составляет 58 %. При производстве грубых кормов в условиях дерново-подзолистых почв рекомендуем возделывать овес посевной с применением калийного минерального удобрения в дозе K_{180} , рентабельность производства составляет 53 %.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

На аллювиальных и дерново-подзолистых почвах юго-запада Брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС необходимо научно обоснованное применение минерального удобрения при возделывании кормовых культур с целью получения максимального урожая с наилучшими показателями качества корма и наибольшей экономической эффективности.

В луговых агроценозах для производства наибольшего объема кормов, с допустимым содержанием ^{137}Cs , необходимо применять минеральное удобрение в дозе $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$. В полевых агроценозах – в дозе K_{180} при возделывании люпина желтого и овса посевного. Для повышения урожайности одновидовых посевов кормовых культур необходимо добавлять бобовый компонент, при выборе которого необходимо соблюдать следующие условия: природная среда обитания бобового компонента должна приблизительно совпадать со средой обитания основных культур и ёмкость катионного обмена корней бобового компонента должна превышать ёмкость катионного обмена корней основной культуры.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИОННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК РФ:

1. **Чесалин, С.Ф.** Радиоэкологическая оценка калийных удобрений в кормопроизводстве в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС / С.Ф. Чесалин, В.Ф. Шаповалов, Г.П. Малявко, Е.В. Смольский, Л.П. Харкевич // Плодородие. – 2021. – №5. – С. 90-94.
2. **Чесалин, С.Ф.** Современное распределение ¹³⁷Cs в почвах естественных кормовых угодий / С.Ф. Чесалин, А.Л. Силаев, Г.В. Чекин, Е.В. Смольский // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 9. – С 28–34.
3. Силаев, А.Л. Содержание микроэлементов в аллювиальных почвах ландшафта поймы р. Ипуть / А.Л. Силаев, С.Ф. Чесалин, Г.В. Чекин, Е.В. Смольский // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 8. – С. 34–38.
4. **Чесалин, С.Ф.** Реализация потенциала продуктивности кормовых культур в условиях запада Брянской области / С.Ф. Чесалин, Е.В. Смольский, М.М. Нечаев // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 1 (58). – С. 64–74.
5. **Чесалин, С.Ф.** Калийные удобрения в продуктивности кормовых культур в условиях радиоактивного загрязнения территории / С.Ф. Чесалин, Е.В. Смольский, Л.П. Харкевич // Аграрная наука. – 2020. – № 11-12. – С. 108–111.
6. Пакшина, С.М. К теории биологического выноса элементов питания из почвы посевами мятликовых трав при внесении минерального удобрения / С.М. Пакшина, Н.М. Белоус, С.Ф. Чесалин, Е.В. Смольский // Пермский аграрный вестник. – 2020. – № 3 (31). – С. 52–65.
7. Пакшина, С.М. Влияние бобового компонента на урожайность смешанных посевов злаковых кормовых культур / С.М. Пакшина, С.Ф. Чесалин, В.Ф. Шаповалов, Е.В. Смольский // Кормопроизводство. – 2020. – № 9. – С. 12–18.
8. Пакшина, С.М. Вклад различных кормовых культур в биологический вынос элементов питания из почвы / С.М. Пакшина, С.Ф. Чесалин, В.Ф. Шаповалов, Е.В. Смольский // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 5. – С. 56–64.
9. Пакшина, С.М. Биовынос ¹³⁷Cs из почвы многолетними мятликовыми травами в связи с минеральным питанием и доступностью почвенной влаги / С.М. Пакшина, В.Ф. Шаповалов, С.Ф. Чесалин, Е.В. Смольский, В.Б. Коренев // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54, № 4. – С. 832–841.
10. Смольский, Е.В. Применение минеральных удобрений в условиях радиоактивно загрязненного пойменного луга / Е.В. Смольский, Н.М. Белоус, В.Ф. Шаповалов, Л.П. Харкевич, С.Ф. Чесалин, К.А. Сердюкова // Агрохимия. – 2018. – № 1. – С. 87–96.
11. Белоус, Н.М. Роль минерального калия в снижении поступления ¹³⁷Cs в кормовые травы и повышении их урожайности на радиоактивно загрязненных угодьях / Н.М. Белоус, Е.В. Смольский, С.Ф. Чесалин, В.Ф. Шаповалов // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51, № 4. – С. 543–552.
12. Белоус Н.М. Риск получения молока и кормов не соответствующих нормативам по содержанию цезия-137 / Н.М. Белоус, И.И. Сидоров, Е.В.

Смольский, С.Ф. Чесалин, Т.В. Дробышевская // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 5. – С. 75–77.

13. **Чесалин, С.Ф.** Применения минеральных удобрений при коренном улучшении радиоактивно загрязненных пойменных угодий / **С.Ф. Чесалин**, А.П. Сердюков, Л.М. Батуру, Н.К. Жолудева // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 4. С. 45–49.

14. Иванов, Ю.И. Урожайность и качество одновидовых и смешанных посевов кормовых культур, возделываемых на зерносеяж при радиоактивном загрязнении / Ю.И. Иванов, И.Н. Белоус, **С.Ф. Чесалин**, А.С. Кононов // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 1. – С. 55–58.

15. **Чесалин, С.Ф.** Возделывание кормовых культур в условиях радиоактивно загрязненных территорий / **С.Ф. Чесалин**, Е.В. Смольский, Н.Н. Бокатуру, А.Г. Агешин // Известия КГТУ. – 2015. – № 39. – С. 128–137.

16. Смольский, Е.В. Эффективность мероприятий по улучшению продуктивности сенокосов / Е.В. Смольский, Л.П. Харкевич, **С.Ф. Чесалин**, И.А. Божин, Н.Н. Бокатуру // Агрохимический вестник. – 2015. – № 5. – С. 25–28.

17. Харкевич, Л.П. Эффективность применения минеральных удобрений на естественном травостое пойменного луга / Л.П. Харкевич, **С.Ф. Чесалин**, Н.К. Жолудева, А.П. Сердюков, Л.М. Батуру // Кормопроизводство. – 2015. – № 6. – С. 13–17.

18. Харкевич, Л.П. Воздействие агротехнических и агрохимических мероприятий на урожайность многолетних трав и плодородие почвы / Л.П. Харкевич, Н.М. Белоус, Е.В. Смольский, **С.Ф. Чесалин** // Плодородие. – 2013. – № 4. – С. 25–27.

19. Белоус, Н.М. Радиационная оценка применения минеральных удобрений на естественных кормовых угодьях / Н.М. Белоус, В.Ф. Шаповалов, Е.В. Смольский, **С.Ф. Чесалин** // Проблемы агрохимии и экологии. – 2013. – № 1. – С. 9–15.

Статьи, опубликованные в других изданиях из базы Scopus и Web of Science:

20. Pakshina, S.M. Calculation of ¹³⁷Cs accumulation by phytomass of motley herbs / S.M. Pakshina, N.M. Belous, V.F. Shapovalov, **S.F. Chesalin**, E.V. Smolsky, A.L. Silaev // International Journal of Green Pharmacy. – 2018. – Т. 12, № 3. – С. 704–711.

21. Chirkov, E.P. Economic importance of information and consulting support / E.P. Chirkov, I.N. Belous, **S.F. Chesalin**, E.V. Smolsky, T.V. Drobyshevskaya // International Journal of Economic Perspectives. – 2017. – Т. 11, № 4. – С. 376–387.

Статьи, входящие в РИНЦ:

22. Смольский, Е.В. Распределение в аллювиальной почве ¹³⁷Cs в зависимости от применения минерального удобрения / Е.В. Смольский, **С.Ф. Чесалин** // В сборнике: Инновационные технологии – в практику сельского хозяйства. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 75-летию со дня образования агрономического факультета ФГБОУ ВО Вятская ГСХА. – 2019. – С. 373–375.

23. **Чесалин, С.Ф.** Агрономическая эффективность применения минерального удобрения на пойменном лугу / **С.Ф. Чесалин**, Смольский Е.В. // В сборнике:

Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК. материалы XVI Международной научной конференции. – 2019. – С. 217–221.

24. Смольский, Е.В. Динамика накопления цезия–137 многолетними травами луга центральной поймы в зависимости от применяемых защитных мероприятий / Е.В. Смольский, **С.Ф. Чесалин** // В сборнике: Приемы повышения плодородия почв и эффективности удобрения. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти ученых: Анны Ивановны Горбылевой, Юрия Павловича Сиротина и Вадима Ивановича Тюльпанова. – 2019. – С. 168–170.

25. Смольский, Е.В. Анализ рисков получения продукции кормопроизводства с содержанием цезия-137 выше допустимого уровня / Е.В. Смольский, **С.Ф. Чесалин** // В сборнике: Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий. Сборник III Всероссийской (национальной) научной конференции. – 2018. – С. 402–405.

26. Смольский, Е.В. Прогноз миграции ^{137}Cs по пищевой цепи в зависимости от доз минеральных удобрений применяемых на пойменном лугу / Е.В. Смольский, **С.Ф. Чесалин** // В сборнике: Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК. материалы XV Международной научной конференции. – 2018. – С. 117–121.

27. Смольский, Е.В. Возделывание многолетних трав в условиях радиоактивного загрязнения / Е.В. Смольский, **С.Ф. Чесалин**, И.А. Божин, Н.Н. Бокатура // В сборнике: Селекция гибридов кукурузы для современного семеноводства. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием Белгородского научно-исследовательского института сельского хозяйства. – 2016. – С. 111–116.

28. Шаповалов, В.Ф. Пастбищное использование пойменных лугов в отдаленный период после аварии на ЧАЭС // В.Ф. Шаповалов, А.Л. Силаев, **С.Ф. Чесалин**, И.А. Божин // Агроконсультант. – 2016. – № 2. – С. 15–21.

29. Пакшина, С.М. Количественная оценка биологического выноса ^{137}Cs из почвы наземной массой мятликовых трав при внесении минеральных удобрений / С.М. Пакшина, Н.М. Белоус, **С.Ф. Чесалин**, Е.В. Смольский // В сборнике: Получение биологически ценной и экологически безопасной продукции сельского хозяйства. научные труды. – 2017. – С. 95–102.

30. Смольский, Е.В. Зависимость урожайности и удельной активности ^{137}Cs зеленой массы многолетних трав от систем удобрения при коренном улучшении кормовых угодий / Е.В. Смольский, **С.Ф. Чесалин**, А.П. Сердюков // В сборнике: Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве. Материалы 68-ой Международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – 2017. – С. 495–500.

31. **Чесалин, С.Ф.** Корреляционная зависимость между урожайностью, минеральными удобрениями и удельной активностью корма / **С.Ф. Чесалин**, Е.В. Смольский // В сборнике: Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК. Материалы XIII Международной научной конференции. ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет». – 2016. – С. 253–257.

32. Белоус, Н.М. Риск получения радиоактивно загрязненной сельскохозяйственной продукции на юго-западе Брянской области / Н.М. Белоус, **С.Ф. Чесалин**, И.Н. Белоус // В сборнике: Чернобыль: 30 лет спустя. Материалы международной научной конференции. Институт радиобиологии и др., 2016. – С. 281–284.

33. Шаповалов В.Ф. Пастбищное использование радиоактивно загрязненных пойменных лугов в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС / В.Ф. Шаповалов, А.Л. Силаев, **С.Ф. Чесалин**, И.А. Божин // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 2 (54). – С. 19–27.

34. Анишина, Ю.А. Агрономическая эффективность возделывания мятликовых трав в условиях радиоактивного загрязнения / Ю.А. Анишина, Г.П. Малявко, А.Л. Силаев, **С.Ф. Чесалин**, О.А. Меркелов // В сборнике: Актуальные проблемы экологии, агрохимии и почвоведения в XXI веке. Материалы международной научно-практической конференции. Брянская государственная сельскохозяйственная академия. – 2012. – С. 260–265.

35. **Чесалин, С.Ф.** Действие азотных удобрений на урожайность многолетних трав пойменных угодий / **С.Ф. Чесалин**, Е.В. Смольский, Н.Н. Бокатуро, А.Г. Агешин // Агроконсультант. – 2015. – № 4. – С. 10–15.

36. Божин, И.А. Урожайность естественных кормовых угодий в зависимости от приемов их улучшения / И.А. Божин, **С.Ф. Чесалин** // Агроконсультант. – 2015. – № 3. – С. 11–15.

37. **Чесалин, С.Ф.** Качество сена многолетних трав в зависимости от комплексного применения агротехнических и агрохимических мероприятий / **С.Ф. Чесалин** // Агроконсультант. – 2013. – № 4. – С. 21–30.

38. **Чесалин, С.Ф.** Влияние азотных удобрений на урожайность и содержание ¹³⁷Cs в многолетних травах пойменных угодий / **С.Ф. Чесалин**, Е.В. Смольский, Н.Н. Бокатуро, А.Г. Агешин // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 4. – С. 3–8.

39. **Чесалин, С.Ф.** Оценка применения минеральных удобрений при возделывании многолетних трав на сено / **С.Ф. Чесалин**, Е.В. Смольский // В сборнике: Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК. Материалы X Международной научной конференции. – 2013. – С. 38–45.

40. Божин, И.А. Продуктивность естественных кормовых угодий в зависимости от мероприятий их улучшения / И.А. Божин, **С.Ф. Чесалин** // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3-1. – С. 3–6.

41. **Чесалин, С.Ф.** Влияние комплексного применения агротехнических и агрохимических мероприятий на показатели качества сена многолетних трав / **С.Ф. Чесалин** // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 4. – С. 10–18.

