

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

СИТНОВ
ОЛЕГ ДМИТРИЕВИЧ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФОСФОРНО-КАЛИЙНОГО
УДОБРЕНИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО МНОГОЛЕТНИХ
ТРАВ В ОДНОВИДОВЫХ И ГЕТЕРОГЕННЫХ ПОСЕВАХ В
ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС

Специальность: 4.1.3 – Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин
растений

ДИССЕРТАЦИЯ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:
ДОКТОР СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК,
ПРОФЕССОР Н. М. БЕЛОУС

БРЯНСК – 2026

Оглавление

Введение.....	5
Основная часть.....	12
Глава 1. Почвенно-агроклиматические условия проведения исследований..	12
1.1 Агроклиматические ресурсы Брянской области	12
1.2 Характеристика почв Брянской области.....	16
1.3 Характеристика почв Новозыбковского района.....	20
1.4 Агроклиматические условия Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции	27
1.5 Характеристика почв места проведения научных исследований	33
Глава 2. Схема опытов, программа и методика проведения исследований ...	36
Глава 3. Эффективность воздействия фосфорно-калийного удобрения на урожайность многолетних трав и их травосмесей	39
3.1 Действие фосфорно-калийного удобрения на урожайность люцерны желтой	42
3.2 Влияние фосфорно-калийного удобрения на урожайность костреца безостого	45
3.3 Роль фосфорно-калийного удобрения в формировании урожайности житняка гребневидного	48
3.4 Влияние фосфорно-калийного удобрения на урожайность травосмеси люцерны желтой и костреца безостого	50
3.5 Действие фосфорно-калийного удобрения на урожайность травосмеси люцерны желтой и житняка гребневидного	53
Глава 4. Влияние фосфорно-калийного удобрения на продуктивность и качество многолетних трав и их травосмесей	56
4.1 Влияние фосфорно-калийного удобрения на продуктивность сельскохозяйственных культур многолетних трав	56
4.1.1 Действие систем фосфорно-калийного удобрения на сбор сухого вещества и сырого протеина.....	58
4.1.2 Влияние систем фосфорно-калийного удобрения на сбор кормовых единиц и обменной энергии	61
4.1.3 Воздействие систем фосфорно-калийного удобрения на сбор сырого жира и сырой клетчатки.....	63
4.2 Факторы, определяющие качество многолетних трав	68
4.2.1 Влияние фосфорно-калийного удобрения на содержание безазотистых экстрактивных веществ и сырого протеина.....	73
4.2.2 Воздействие фосфорно-калийного удобрения на содержание обменной энергии и перевариваемого протеина	76

4.2.3 Влияние доз фосфорно-калийного удобрения на содержание сырого жира и сырой клетчатки	78
4.2.4 Воздействие доз фосфорно-калийного удобрения на содержание кормовых единиц и обеспеченность кормовых единиц переваримым протеином.....	81
Глава 5. Экологические аспекты безопасности производства кормов при радиоактивном загрязнении агроландшафтов.....	84
5.1 Радиологическая обстановка сельскохозяйственных угодий Брянской области и почв Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции	84
5.2 Комплекс защитных мероприятий, проводимых на радиоактивно загрязнённых сельскохозяйственных угодьях	87
5.2.1 Организационные мероприятия.....	87
5.2.2 Агротехнические мероприятия.....	88
5.2.3 Агрохимические мероприятия.....	89
5.3 Влияние фосфорно-калийного удобрения на снижение удельной активности ^{137}Cs в продукции многолетних трав.....	93
5.3.1 Влияние фосфорно-калийного удобрения на удельную активность ^{137}Cs в зеленой массе многолетних трав	96
5.3.2 Влияние фосфорно-калийного удобрения на переход ^{137}Cs по трофической цепи «корм-животное-человек»	103
5.3.3 Влияние фосфорно-калийного удобрения на переход ^{137}Cs из почвы в растение	110
Глава 6. Влияние фосфорно-калийного удобрения на баланс питательных веществ	117
Глава 7. Экономическая эффективность фосфорно-калийного удобрения..	126
Заключение	134
Список литературы	140
Приложения	171
Приложение А. Агроклиматические условия Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции.....	171
Приложение Б. Эффективность воздействия фосфорно-калийного удобрения на урожайность многолетних трав и их травосмесей	174
Приложение В. Влияние фосфорно-калийного удобрения на продуктивность многолетних трав и их травосмесей.....	177
Приложение Г. Влияние фосфорно-калийного удобрения на качество многолетних трав и их травосмесей	184
Приложение Д. Влияние фосфорно-калийного удобрения на содержание ^{137}Cs в зеленой массе многолетних трав	191

Приложение Ж. Экономическая эффективность производства зеленой массы многолетних трав одновидовых и гетерогенных посевов сельскохозяйственных культур в зависимости от доз фосфорно-калийного удобрения	196
Приложение И. Акты внедрения результатов научно-исследовательской работы	198

Введение

Актуальность темы. Обеспечение продовольственной безопасности является важнейшей задачей каждой суверенной страны. В Российской Федерации уже многие годы проводится политика обеспечения населения собственными продуктами питания высокого качества, а для этого необходима прочная и обширная кормовая база (Бекбергенева, 2022).

Кормопроизводители заинтересованы в оптимизации производственных затрат, повышении рентабельности, что стимулирует поиск эффективных агрономических приемов повышения урожайности, качества кормов при минимальных затратах. Результаты наших исследований приумножат теоретическую и практическую базу, выведут на более высокий научно-методический уровень применение фосфорно-калийного удобрения для одновидовых и гетерогенных посевов многолетних трав на дерново-подзолистых песчаных почвах.

Также стоит отметить, что ключевая роль в качестве кормов отводится содержанию белковых компонентов, что актуализирует изучение эффективного возделывания бобовых трав, в том числе люцерны желтой.

Спустя 40 лет после Чернобыльской катастрофы радиологическая обстановка на территории юго-западных районов Брянской области значительно улучшилась. Произошел распад короткоживущих радионуклидов. Завершился первый период полураспада ^{137}Cs , основного дозообразующего радионуклида. С 2016 года начался второй период полураспада ^{137}Cs . При этом радиологическое состояние юго-западных районов остается неблагоприятным, на них приходится 100% загрязненной территории сельскохозяйственных угодий с плотностью загрязнения ^{137}Cs свыше 185 кБк/м^2 , а средневзвешенная плотность загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий – $155,2$, пашни – $113,5$, сенокосов и пастбищ – $270,3 \text{ кБк/м}^2$ (Сычев и др., 2026).

«Как в первый, так и в отдаленный периоды после аварии на ЧАЭС существует необходимость в разработке оптимальных защитных мероприятий,

позволяющих получать стабильные урожаи с учетом закономерностей поведения радионуклидов в системе «почва-растение» и агрохимических свойств почв. Особое внимание надо уделять сельскохозяйственным угодьям, загрязненным радиоактивными веществами, поскольку на этих территориях одновременно необходимо обеспечивать производство продукции соответствующей допустимому уровню содержания ^{137}Cs и поддерживать плодородие почв. Оптимизация защитных мероприятий предполагает оценку эффективности их проведения в растениеводстве в различные периоды после аварии на ЧАЭС» (Музалевская, 2010).

Изучение минерального питания, особенно фосфорно-калийного удобрения, расширение ассортимента сельскохозяйственных культур многолетних трав во втором периоде полураспада ^{137}Cs направленно не только на повышение урожайности, оценки питательной ценности кормов, но и на снижение удельной активности ^{137}Cs в зеленой массе одновидовых и гетерогенных посевов, а также в животноводческой продукции (молоко и мясо), соответствующей допустимым уровням по содержанию радионуклидов, является весьма актуальной научной и практической задачей, которая положена в основу нашей научной работы.

Степень разработанности темы. После аварии на Чернобыльской АЭС и вступления в первый период полураспада ^{137}Cs учеными Российской Федерации, стран ближнего зарубежья (Беларусь, Украина) были проведены масштабные, многоплановые исследования. Эти работы были направлены на минимизацию перехода радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию, в частности, при производстве кормов на радиоактивно загрязненных территориях. В период 1990–2010-е гг. был накоплен обширный экспериментальный материал, заложивший фундаментальные основы применения систем удобрения как основного средства реабилитации загрязненных угодий.

Исследованиями Алексахин с соавторами (1992), Кузнецов и Савенок (1999), были определены общие закономерности поведения ^{137}Cs в системе «почва–растение». Работы белорусских ученых - Богдевич с соавторами (1996), российских исследователей – Просянных (1996), Санжарова (1997), Моисеенко с соавторами

(2008), Воробьева с соавторами (2008) – доказали эффективность известкования кислых почв и применения повышенных доз калийного удобрения как главного фактора, блокирующего поступление ^{137}Cs в кормовые культуры.

Эти подходы получили развитие в трудах Белоус (2000), Шаповалов (2006), Воробьев (2002), где акцент сместился на изучение долгосрочных последствий применения удобрения, их влияния на плодородие почв. В работах Прудников (2006), Харкевич (2012), Сычев с соавторами (2016) была подчеркнута необходимость дифференциации агротехнологий в зависимости от плотности загрязнения и типологических особенностей почв.

Исследования, включая данные Смольский (2020), Чесалин с соавторами (2020), Подоляк, Дробышевская (2023), свидетельствуют о сохранении значимости мер противодействия перехода ^{137}Cs в фитомассу и подтверждают необходимость адаптации систем удобрения к современным условиям, сложившимся во второй период после аварии, когда вследствие многолетних почвенных процессов произошло существенное изменение физико-химических форм ^{137}Cs в почве и, как следствие, его доступности для растений.

Учитывая все вышеизложенное, можно констатировать, что, несмотря на обширное изучение данного вопроса, вплоть до настоящего времени, проблема эффективного производства кормов на радиоактивно загрязненных почвах далека от окончательного решения. Смена радиационной обстановки и эволюция почвенных процессов во втором периоде полураспада ^{137}Cs ставят новые научные задачи.

В связи с этим изучение влияния фосфорно-калийного удобрения на урожайность, качество кормов на радиоактивно загрязненной дерново-подзолистой почве в отдаленный период после аварии на ЧАЭС является актуальной задачей. Ее решение имеет не только теоретическое значение, но и важный практический аспект, что позволит оптимизировать системы доз удобрения для получения нормативно чистой продукции с минимальными экономическими затратами в нынешних условиях ведения сельского хозяйства.

Цель исследования. Изучить эффективность фосфорно-калийного удобрения на урожайность, качество сельскохозяйственных культур многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах на дерново-подзолистой песчаной почве в отдаленный период после аварии на ЧАЭС.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Определить эффективность воздействия доз фосфорно-калийного удобрения на урожайность многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах;
2. Установить влияние фосфорно-калийного удобрения на продуктивность многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах;
3. Оценить качество надземной массы многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах в зависимости от уровня фосфорно-калийного питания;
4. Выявить действие фосфорно-калийного удобрения в снижении удельной активности ^{137}Cs в зеленой массе одновидовых и гетерогенных посевов;
5. Проанализировать влияние фосфорно-калийного удобрения на баланс питательных веществ в почве при выращивании многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах;
6. Провести экономическую оценку эффективности доз фосфорно-калийного удобрения при возделывании многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах.

Научная новизна. Впервые в условиях дерново-подзолистых песчаных почв Брянской области научно и экономически обоснована эффективность применения фосфорно-калийного удобрения на продуктивность, качество многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах в отдаленный период после аварии на ЧАЭС.

Установлена роль фосфорно-калийного удобрения в снижении коэффициентов накопления и перехода ^{137}Cs из почвы в растения в одновидовых и гетерогенных посевах многолетних трав. Выявлены закономерности аккумуляции радионуклида в надземной массе в зависимости от ботанического состава травостоя и уровня минерального питания.

Определена роль фосфорно-калийного удобрения в выносе питательных веществ и балансе основных элементов питания (азота, фосфора и калия) в почве при выращивании многолетних трав на дерново-подзолистых песчаных почвах.

Теоретическая и практическая ценность работы. На основании экспериментальных данных в диссертационной работе сформированы научные положения, практические рекомендации, которые позволят на более высоком научно-методическом уровне применять фосфорно-калийное удобрение при возделывании многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах в условиях радиоактивного загрязнения в отдаленный период, получать экологически безопасную продукцию, соответствующую санитарно-гигиеническим нормативам.

Результаты исследований прошли производственную проверку в Новозыбковском районе в хозяйствах: «Заречье» и «Ударник», подтвердив эффективность фосфорно-калийного удобрения в исследуемых дозах при возделывании многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах.

Основные теоретические и практические положения диссертационной работы могут быть использованы в учебном процессе при подготовке студентов, магистров, аспирантов агрономических дисциплин: Агрохимия, Агрономия, Системы удобрения, Системы земледелия, а также специалистами сельскохозяйственных предприятий в практической деятельности.

Методология и методы исследования. Методология, методы исследований основаны на проведении анализа научных трудов отечественных и зарубежных ученых по рассматриваемой проблеме. В работе применяли экспериментальные, аналитические, статистические и экономические методы исследований. Статистическую обработку данных выполняли методом дисперсионного анализа, а лабораторные и агрономические исследования – с использованием современных общепринятых методик (Доспехов, 2011).

Полевые и лабораторно-аналитические работы проводили на Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Комплексная оценка эффективности применения фосфорно-калийного удобрения на урожайность многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах;
2. Обоснование влияния фосфорно-калийного удобрения на продуктивность многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах;
3. Сравнительная оценка влияния удобрения на качество зеленой массы многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах;
4. Анализ действия фосфорно-калийного удобрения на снижение удельной активности ^{137}Cs в зеленой массе многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах;
5. Оценка влияния фосфорно-калийного удобрения на баланс питательных веществ в почве;
6. Экономическая эффективность фосфорно-калийного удобрения при возделывании многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах сельскохозяйственных культур многолетних трав.

Личный вклад автора состоял в выборе объектов исследования, разработке программы, цели и задач. Проведение экспериментальных, полевых, аналитических работ, учет урожая, отбор образцов и подготовка их к анализу, а также анализ полученных данных. Работа с научной литературой, подготовка статей, участие в конференциях, формулировании основных положений, выводов, рекомендаций производству, написание диссертации и автореферата. Личный вклад в диссертацию составил свыше 90%.

Апробация работы. Основные результаты исследования были доложены на конференции «Современные тенденции развития аграрной науки» (Брянск, 2022), на II Международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития аграрной науки» (Брянск, 2023), на IV Международной научно-практической конференции "Современные тенденции развития аграрной науки" (Брянск, 2025).

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 9 научных статей, в том числе 5 в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 199 страницах машинописного текста, состоит из введения, основной части, 7 глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа содержит 28 таблиц, 19 рисунков.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю профессору Белоусу Н.М. за постоянную помощь в работе, ценные советы, замечания, а также сотрудникам Новозыбковской СХОС – филиала ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» за помощь в проведении полевых опытов и лабораторных исследований.

Основная часть

Глава 1. Почвенно-агроклиматические условия проведения исследований

1.1 Агроклиматические ресурсы Брянской области

Агроклиматические ресурсы являются системообразующим фактором в процессе формирования и территориальной дифференциации сельскохозяйственного производства. Эффективное возделывание конкретных культур определяется комплексом климатических показателей, ключевыми из которых выступают: сумма активных температур (выше 10 °С), режим увлажнения в течение вегетационного периода, а также годовая сумма осадков. Совокупное воздействие этих параметров формирует потенциал агроклиматической продуктивности региона. Таким образом, комплексный анализ указанных факторов и их корреляционных взаимосвязей составляет научную основу для оптимизации пространственного размещения и специализации агроценозов.

Новozyбковская сельскохозяйственная опытная станция, где проводили исследования в рамках данной диссертации, входит в состав Новozyбковского р-на Брянской области. Поэтому сначала опишем агроклиматические ресурсы области в целом.

Площадь Брянской области составляет 34,8 тыс. км², и простирается на 270 км с запада на восток и на 245 км с севера на юг. С географической точки зрения регион расположен между 51° и 54° северной широты, 31° и 35° восточной долготы. Важнейшей особенностью региона является его приграничное положение: на западе область граничит с Гомельской и Могилёвской областями Республики Беларусь, а на юге – с Сумской и Черниговской областями Украины. В системе административных границ Российской Федерации Брянская область сопредельна со Смоленской и Калужской областями на севере и северо-востоке, а также с Орловской и Курской областями на востоке и юго-востоке (Атлас Брянской Области ..., 1976).

Брянская область расположена на стыке двух географических поясов – бореального (умеренно холодного) и суббореального (умеренного); двух почвенно-

биоклиматических областей – Европейско Западно-Сибирской таежно-лесной и Центральной лиственный-лесной и степной; двух почвенных зон – дерново-подзолистых почв и дерново-подзолов южной тайги и серых лесных почв лиственных лесов; двух почвенных провинций – Среднерусской и Приокско-Сурской (Шевченков, Шевченкова, 2002; Национальный атлас почв ..., 2011; Современное состояние природных ресурсов растениеводства ..., 2021).

Область расположена на водораздельной равнине, находящейся на Украинско-Воронежском блоке земной коры. Вместе с ним она совершает сложные тектонические движения: вращается очень медленно по часовой стрелке; ежегодно территория правобережья р. Десны поднимается со скоростью 0,7–3,5 мм, а левобережье, особенно его южная часть, опускается со скоростью до 2 мм. Средняя высота территории области составляет 180 м, около 15 % возвышаются над уровнем моря более чем на 200 м, около 73 % – средневысотные (150–200 м), а 12 % – ниже 150 м (Агроэкологическая оценка земель..., 2005; Демихов и др., 2015).

Территория Брянской области располагается в зоне влияния умеренно-континентального типа климата, для которого характерна четко выраженная сезонность с теплым летним и умеренно-холодным зимним периодами. На данной территории наблюдается устойчивый рост среднегодовых температурных показателей в диапазоне: от 4,5 °С на севере региона до 6,0 °С на его южных рубежах. Температурный режим в январе в среднем достигает -8,5 °С, в то время как июль характеризуется значениями около +17,9 °С. Сумма активных температур, являющаяся важным агроклиматическим индикатором, находится в пределах 2150–2450 °С, что отражает существующие широтные различия в теплообеспеченности территории. Анализ многолетних метеорологических наблюдений за период 1996 – 2019 гг. свидетельствует о выраженной тенденции к повышению температурного фона приземного слоя атмосферы. За рассматриваемый временной интервал среднегодовая температура воздуха увеличилась с 5,5 до 7,4 °С, что соответствует росту на 1,9 °С. Указанные изменения отражают устойчивое потепление климатических условий региона.

Повышение температур сопровождалось изменением водного режима территории, выражающимся в тенденции к аридизации климата. За тот же период среднегодовая сумма атмосферных осадков сократилась на 73,5 мм. В целом величина годового количества осадков характеризуется значительной межгодовой вариабельностью и, как правило, находится в интервале 500–550 мм (Просянных и др., 2020).

Анализ многолетней динамики годовых сумм осадков во второй половине XX – начале XXI вв. выявил выраженную пространственную неоднородность климатических изменений в пределах Брянской области. По направленности и интенсивности трендов территория региона условно разделяется на два района: западный, характеризующийся увеличением годовых сумм осадков, и восточный, для которого типична их отрицательная динамика. Различия между районами статистически значимы на уровне 95 %.

В западной части области в 1951 – 2010 гг. прирост осадков составил в среднем 21 мм за десятилетие (около 125 мм за 60 лет), а в 1976 – 2010 гг. интенсивность положительного тренда возросла до 33 мм/10 лет (115 мм за 35 лет). В восточном районе за тот же период отмечено устойчивое снижение увлажнённости: суммарное уменьшение осадков достигло 85 мм в 1951 – 2010 гг. и 95 мм в 1976 – 2010 гг. при усилении отрицательного тренда.

Полученные данные свидетельствуют о нарастании пространственной контрастности климатических изменений в регионе в условиях современного потепления, что проявляется в усилении разнонаправленных тенденций увлажнённости между западной и восточной частями Брянской области (Лемешко, 2006; Переведенцев, 2007; Оценочный доклад об изменениях климата..., 2008; Селютин, 2015).

Гидрометеорологические условия Брянской области в 2022 – 2024 гг. формировались на фоне устойчивого повышения теплообеспеченности и изменчивого режима увлажнения. В рассматриваемый период среднегодовая температура воздуха колебалась от 6,7 до 8,5 °С, что в среднем на 1,0–1,2 °С выше климатической нормы. В некоторые годы сумма эффективных температур (выше 5

°С) достигала 2087 °С, превышая среднеголетний показатель на 260 °С, а сумма активных температур (выше 10 °С) поднималась до 2807 °С, что на 500 °С больше нормы. Указанные изменения свидетельствуют об удлинении вегетационного периода и усилении тепловых ресурсов агроэкосистем.

Анализ погодных условий свидетельствует о том, что среднегодовой объем осадков в регионе составлял порядка 723 мм, что превышает норму на 16 %. Однако распределение влаги в течение года было крайне неравномерным. Если весной в некоторые годы наблюдался избыток осадков, достигавший 145–196 % от сезонной нормы (максимум до 230 мм), то летом их количество падало до 74–95 % (203–254 мм). Осень же, напротив, характеризовалась переувлажнением: 139–166 % от нормы при среднем объеме около 164 мм.

Зимние сезоны в рассматриваемые годы отличались повышенным температурным фоном. В зимние месяцы средняя температура воздуха находилась в диапазоне от –2 до –4 °С, превышая климатическую норму на 1–5 °С. При этом продолжительность зимнего периода сокращалась до 109–117 дней, что на 2–24 дня меньше среднеголетних показателей. За зиму выпадало от 127 до 272 мм осадков, или 109–150 % нормы, при этом глубина промерзания почвы оставалась незначительной из-за частых оттепелей и повторяющихся циклов замерзания и оттаивания.

Весна наступала на 5–10 дней раньше климатических сроков, средняя температура составляла 7,5–8,6 °С. Лето было умеренно тёплым (17,7–19,7 °С), но с неравномерным увлажнением и периодами пониженной относительной влажности. В отдельные периоды весной и летом днём влажность опускалась ниже 30 % на 9–16 дней, что говорит о кратковременных атмосферных засухах.

Химический состав атмосферных осадков в г. Брянске в 2022–2023 гг. характеризовался устойчиво нейтральной и слабощелочной реакцией. Значения pH колебались в интервале 6,80–7,10, при среднеголетних показателях 7,01–7,05. Минимальные значения pH не приближались к критическому уровню (<5,0), что свидетельствует об отсутствии угрозы кислых осадков для почвенного покрова и растительности региона.

В целом климатические условия последних лет характеризуются сочетанием повышенного температурного фона, увеличения сумм тепла и неустойчивого режима атмосферного увлажнения, что формирует специфические агроэкологические условия и должно учитываться при анализе динамики почвенного плодородия, агрохимического состояния и устойчивости агроэкосистем Брянской области (Природные ресурсы и окружающая среда Брянской области..., 2023; Природные ресурсы и окружающая среда Брянской области..., 2024; Природные ресурсы и окружающая среда Брянской области..., 2025;).

1.2 Характеристика почв Брянской области

Почвенный покров Брянской области характеризуется тремя определяющими особенностями: 1) природным полиморфизмом, обусловленным вариабельностью почвообразующих факторов; 2) преобладанием в структуре земельного фонда сельскохозяйственных угодий с признаками истощения и дегумификации; 3) наличием устойчивого фона загрязнения долгоживущими радионуклидами, что накладывает отпечаток на всю почвенно-экологическую обстановку.

Почвенный покров региона формирует фундамент его аграрного потенциала, отличаясь значительной пространственной неоднородностью. Преобладают дерново-подзолистые почвы (более 1 млн га), из которых свыше 700 тыс. га занято пашней. Существенный вклад вносят и серые лесные почвы: свыше 360 тыс. га, в том числе около 195 тыс. га под пашней. Два этих типа почвы формируют основу земельного фонда области — более 60 % сельхозугодий и около 42 % пахотных земель (Таблица 1).

Таблица 1 – Типы почв Брянской области

Почва	Общая площадь сельскохозяйственных угодий	
	тыс.га	%
Дерново-подзолистая	1031,9	60,3
в т.ч. песчаная	83,9	4,9
супесчаные	350,8	20,5
легкосуглинистые	575,0	33,6
эродированные	22,2	1,3
Серая лесная	362,6	21,1
Пойменные дерновые и дерновые оглеенные	101,5	5,9
Пойменные иловато-торфяные	65,3	3,8
Болотные	61,8	3,6
Овражно-балочного комплекса	61,8	3,6
Дерново-карбонатная	4,7	0,3
Дерново-глеевые	15,5	0,9
Другие почвы	8,8	0,5
Всего	1719	100

Важной особенностью дерново-подзолистых почв является преобладание легких гранулометрических составов: супесчаные (20,5 %) и легкосуглинистые (33,6 %) разновидности широко представлены наряду с песчаными (4,9 %). Ареал их распространения приурочен преимущественно к западным, юго-западным и северо-западным административным районам, включая территорию Новозыбковского района (Воробьев, 1993; Прудников и др., 2022).

Одним из важнейших агрохимических показателей почвы является содержание органического вещества, которое на более чем 90 % представлено гумусом. Гумус является ключевым компонентом почвенного плодородия, в котором аккумулируется значительная доля элементов минерального питания. Он выполняет важную энергетическую функцию, обеспечивая жизнедеятельность почвенной микробиоты, а также участвует в формировании углекислотного режима, необходимого для процессов фотосинтеза растений. Наличие гумусовых

соединений в почве определяет её водоудерживающую способность, катионообменные свойства и уровень биологической активности, что влияет на эффективность применения агрохимических средств, общую продуктивность пахотных земель в целом и на урожайность многолетних трав в частности (Ториков, 2015; Свечников, 2025).

За счёт минерализации гумуса обеспечивается значительная часть потребности сельскохозяйственных культур в элементах питания: порядка 60–70 % – в азоте, 30–40 % – в фосфоре и до 90 % – в сере, что подчёркивает его ведущую роль в функционировании агроэкосистем (Заварзина, 2021; Курбанов, 2021).

Результаты агрохимического мониторинга сельскохозяйственных угодий Брянской области за 2021 г. свидетельствуют, что средневзвешенное содержание *органического вещества* в пахотных почвах региона составляет 1,95 % (Прудников, 2022).

Кислотность — один из главных показателей плодородия почвы, влияющий на рост и продуктивность культур. В агрохимии наибольшую роль играет обменная кислотность, которая формируется обменными ионами водорода и подвижными формами алюминия, присутствующими в почвенном поглощающем комплексе. Несмотря на относительно небольшую долю в общей кислотности, именно эта форма оказывает наиболее выраженное неблагоприятное воздействие на растения и почвенные процессы.

Согласно данным на начало 2022 года, в Брянской области кислые почвы с показателем pH 4,1–5,5 охватывали 507,5 тыс. га, что составляет 51 % от обследованных пахотных земель региона (Некрасов, 2019; Прудников, 2022).

Фосфор — один из важнейших элементов питания растений. Он играет ключевую роль в энергетическом и пластическом обмене, входит в состав органических соединений, участвующих в синтезе и распаде веществ, и обеспечивает основные физиолого-биохимические реакции в растении (Юрков, 2017).

Агрохимическое состояние почв Брянской области в целом характеризуется высоким уровнем фосфорного обеспечения. Средневзвешенное содержание

подвижных форм фосфора по региону составляет 211 мг/кг, что превышает оптимальное значение, принимаемое на уровне 200 мг/кг. В пределах области отмечается выраженная территориальная дифференциация данного показателя: минимальные значения зафиксированы в Выгоничском районе (139 мг/кг), тогда как максимальные – в Новозыбковском районе (289 мг/кг).

В то же время в структуре пашни сохраняются площади с пониженным содержанием подвижного фосфора. Почвы, характеризующиеся концентрацией данного элемента менее 100 мг/кг, занимают 215,8 тыс. га, что соответствует 22 % общей площади пахотных земель области. Указанное обстоятельство подчёркивает необходимость дифференцированного подхода к системе фосфорного удобрения с учётом пространственной неоднородности агрохимического состояния почв (Прудников, 2022).

Калий относится к числу ключевых элементов минерального питания, определяющих физиологическое состояние и продуктивность сельскохозяйственных культур. Он участвует в регуляции фотосинтетической деятельности растений и накоплении ассимилятов в генеративных и запасающих органах. Дефицит калия приводит к нарушению водного режима тканей, снижению тургора и появлению характерных симптомов хлороза, начинающихся с краевого пожелтения и побурения листьев, которые в дальнейшем быстро отмирают (Ягмырова, 2024).

Достаточное содержание калия улучшает продуктивность и качество урожая, включая выполненность зерна злаков, и повышает эффективность использования азота. Кроме того, калий оптимизирует водный режим, повышая устойчивость растений к чрезмерному увлажнению, и снижает накопление радионуклидов в растительных тканях (Пилипенко, 2019).

Агрохимическая оценка пахотных земель Брянской области свидетельствует, что в 2021 г. пониженной обеспеченностью подвижным калием характеризуются 711,1 тыс. га, что составляет 71 % площади пашни. При этом за десятилетний период отмечено увеличение доли почв с недостаточным содержанием K_2O : с 66 %

в 2011 г. до 71 % в 2021 г., что указывает на нарастание калийного дефицита в почвах региона (Прудников, 2022).

1.3 Характеристика почв Новозыбковского района

Территория, на которой расположен наш опыт входит в состав Новозыбковского района Брянской области. Так как область достаточно разнородно по содержанию ключевых компонентов почвенного плодородия, то уделим отдельное внимание району проведения исследования. Рассмотрим почвы Новозыбковского района по нескольким ключевым параметрам: органическое вещество, кислотность (рН), содержание подвижного фосфора и калия. При этом мы будем проводить анализ данных Центра химизации и сельскохозяйственной радиологии «Брянский» за 2023 год. Данный центр проводит систематический мониторинг, включающий два ключевых направления: агрохимический и радиологический контроль состояния почв. Отчеты Центра химизации и сельскохозяйственной радиологии «Брянский» представляют собой хорошую первичную информационную базу для последующего научного анализа.

Органическое вещество

Средневзвешенное содержание органического вещества по всем обследованным угодьям пашни Новозыбковского района составляет 1,60 %, что характеризует общий агрохимический фон как низкий. Данный показатель указывает на дефицит гумуса, являющийся лимитирующим фактором плодородия, его низкое значение является потенциальным риском деградации почвенного покрова в агроландшафтах района (Таблица 2).

Таблица 2 – Средневзвешенное содержание органического вещества в почвах Новозыбковского района

Вид угодий	Средневзвешенное содержание органического, %
Пашня	1,60
Многолетние насаждения	1,40
Сенокосы	1,54
Пастбища	1,52

Почвы с низким и очень низким содержанием органического вещества в совокупности занимают 39 % (18 % + 21 %) обследованной площади. Это свидетельствует о широком распространении процессов гумусной деградации (Таблица 3).

Доля земель со средним содержанием (1,40–1,99 % по принятой шкале) является наибольшей и составляет 36 %. Данные почвы находятся в пограничном состоянии, требующем активных агротехнических мер для предотвращения перехода в категорию низкообеспеченных.

Таблица 3 – Содержание органического вещества в почвах Новозыбковского района, га / %

Вид угодий	Обследовано	Содержание органического вещества по группам				
		Очень низкое	Низкое	Среднее	Повышенное	Высокое
Пашня	32173,3	5697	6632,3	11437	5328	3079
	100	18	21	36	17	10
Многолетние насаждения	13	–	–	13	–	–
	100	–	–	100	–	–
Сенокосы	91	9	35	47	–	–
	100	10	38	52	–	–
Пастбища	145	26	41	60	18	–
	100	20	28	41	11	–

Повышенная и высокая обеспеченность отмечена лишь на 27 % (17 % + 10 %) пахотных площадей, что подтверждает тезис о преобладании низкогумусных почв в регионе.

Для того, чтобы показать, насколько количество органического вещества влияет на урожайность, приведем в пример агроэкологическое исследование пашни Новозыбковской опытной станции, проведенное Белоусом и Прудниковым (2019). Согласно их данным, прирост содержания гумуса в почве даже на 0,1 % приводит к существенному повышению продуктивности агроценозов. Это выражается в прибавке урожая зерновых в диапазоне от 0,8 до 1,2 центнера с гектара. Более того, данный уровень гумусированности повышает коэффициент полезного действия вносимых минеральных удобрений, делая их эффективнее в 1,5 – 2 раза.

Кислотность почв

Современные сорта сельскохозяйственных культур, адаптированные для интенсивных технологий, демонстрируют максимальную продуктивность и физиологическую устойчивость в определенном интервале агрохимических параметров. Ключевым из них является слабокислая и нейтральная реакция почвенной среды с уровнем $pH_{(KCl)}$ в диапазоне 5,5–7,0. Данный оптимум обеспечивает баланс доступности макро- и микроэлементов, активность симбиотической микрофлоры и благоприятные физико-химические свойства почв (Агрохимия, 2017).

Однако результаты проведенного агрохимического мониторинга выявляют системное отклонение почвенного покрова Новозыбковского района от этого агрохимического идеала. Средневзвешенные значения кислотности пашни составляет 5,35 единиц $pH_{(KCl)}$, что существенно смещено в область кислой реакции (Таблица 4).

Таблица 4 – Средневзвешенная величина $pH_{(KCl)}$ в почвах Новозыбковского района

Вид угодий	Средневзвешенная величина $pH_{(KCl)}$
Пашня	5,35
Многолетние насаждения	4,50
Сенокосы	5,89
Пастбища	5,11

Количественная оценка масштаба проблемы носит тревожный характер: две трети (63 %) обследованной пашни, или 20,3 тыс. га, характеризуются как кислые ($pH < 5,5$). Ситуация усугубляется тем, что негативная тенденция не ограничивается пахотными землями. Все 100 % площадей многолетних насаждений (133 га) относятся к кислым.

На сенокосах и пастбищах доля кислых почв достигает 51 % (212 га) и 67 % (320,6 га) соответственно, что указывает на распространение ацидификации за пределы наиболее интенсивно используемых угодий (Таблица 5).

Таблица 5 – Степень кислотности почв Новозыбковского района

Вид угодий	Обследовано, га / %	Степень кислотности, pH						Всего кислых почв, pH, <5,5
		Очень сильно кислые, < 4,0	Сильнокислые, 4,1–4,5	Среднекислые, 4,6–5,0	Слабокислые, 5,1–5,5	Близкие к нейтральным, 5,6–6,0	Нейтральные, > 6,0	
Пашня	32173,3	1333	3304	6705,3	8977	6998	4856	20319,3
	100	4	10	21	28	22	15	63
Многолетние насаждения	13	–	13	–	–	–	–	13
	100	–	100	–	–	–	–	100
Сенокосы	91	9	–	–	13	22	47	22
	100	10	–	–	14	24	52	24
Пастбища	145	–	3	95	–	23	24	98
	100	–	2	66	–	15	17	68

Преобладание кислых и сильнокислых почв формирует устойчивый лимитирующий фактор, блокирующий реализацию генетического потенциала культур, снижающий эффективность минеральных удобрений и ведущий к постепенной деградации почвенного ресурса.

Содержание подвижного фосфора в почвах

Достаточное обеспечение растений фосфором является ключевым фактором не только для увеличения массы урожая, но и для принципиального улучшения его потребительских свойств. У злаковых культур это выражается в повышении выхода полноценного зерна и его крупности. В продукции овощеводства, садоводства и выращивания корнеплодов отмечается значительный прирост концентрации сахаров, а в картофеле – крахмала (Фосфатный уровень почв ..., 2015).

В отличие от азота, который частично пополняется из атмосферы, естественных источников восполнения фосфора в агроэкосистемах практически не существует. Его запасы в пахотном слое непрерывно истощаются с выносом урожаем. Поэтому систематическое внесение фосфорного удобрения – единственный эффективный способ поддержать оптимальный уровень фосфатного питания (P_2O_5) в почве и гарантировать стабильно высокие результаты урожайности (Иванов и др., 2012).

Результаты агрохимического исследования, приведенные в Таблицах 6 и 7, свидетельствуют о достаточно высоком уровне содержания подвижных фосфатов

в пахотном слое почв изучаемой территории. Средневзвешенный показатель достигает 244 мг/кг, что выше оптимального значения 200 мг/кг.

Таблица 6 – Распределение почв Новозыбковского района по содержанию фосфора

Вид угодий	Обследовано, га / %	Содержание фосфора, мг / кг					
		Низкое, 26–50	Среднее, 51–100	Повышенное, 101–150	Высокое, 151–250	Очень высокое, > 250	Пониженное, < 100
Пашня	32173,3	302	1875	3265	8158	18573,3	2177
	100	1	6	10	25	58	7
Многолетние насаждения	13	–	13	–	–	–	13
	100	–	100	–	–	–	100
Сенокосы	91	47	–	13	–	31	47
	100	52	–	14	–	34	52
Пастбища	145	24	44	26	23	28	68
	100	17	30	18	16	19	47

Однако пространственное распределение данного показателя носит гетерогенный характер. Выделяется значительный массив земель с дефицитным уровнем фосфорного питания. Площадь пашни с содержанием подвижного фосфора ниже 100 мг/кг составляет 10801 га, или 10 % от общей площади обследованных агроценозов. Это указывает на существование локальных зон, где фосфор является лимитирующим фактором продуктивности и где требуется корректировка системы фосфорного питания.

Таблица 7 – Содержание фосфора в различных видах угодий Новозыбковского района

Виды угодий	Средневзвешенное содержание P_2O_5 , мг/кг
Пашня	274
Многолетние насаждения	68
Сенокосы	132
Пастбища	164

Содержание подвижного калия в почвах

Калий является незаменимым макроэлементом, выполняющим в растениях регуляторные и каталитические функции. Его физиологическая роль проявляется в активизации ключевых метаболических процессов: интенсификации фотосинтеза, транспорта углеводов в запасные органы, синтеза белков и ферментов.

Достаточное калийное питание повышает не только урожайность, но и качество сельскохозяйственной продукции – увеличивается сахаристость корнеплодов, крахмалистость клубней. Кроме того, калий усиливает устойчивость растений к абиотическим стрессам (засуха, низкие температуры) и биотическим угрозам (грибковые заболевания), а также снижает накопление радионуклидов в растительных тканях, что для Новозыбковского района особенно актуально (Агрохимия, 2017).

Супесчаные и песчаные почвы характеризуются низкой емкостью катионного обмена, слабой способностью удерживать подвижные формы калия и склонностью к его вымыванию. Следствием является высокая степень эффективности калийного удобрения, которые на таких землях обеспечивают значительную прибавку урожая и должны вноситься регулярно в рамках научно обоснованной системы удобрения. Таким образом, поддержание оптимального калийного режима в данных почвенно-климатических условиях является необходимым условием устойчивой продуктивности агроценозов (Прокошев, 2005).

Несмотря на общий средний показатель содержания подвижного калия в пахотном слое, достигающий 158 мг/кг почвы и характеризующийся как повышенный, наблюдается выраженная пространственная неоднородность в распределении данного элемента (Таблица 8).

Таблица 8 – Содержание калия в различных видах угодий Новозыбковского района, мг/кг

Вид угодий	Средневзвешенное содержание K_2O
Пашня	131
Многолетние насаждения	32
Сенокосы	87
Пастбища	104

Значительная часть агроландшафта (44 % от общей площади пашни) – характеризуется пониженной и низкой обеспеченностью подвижным калием (Таблица 9).

Таблица 9 – Распределение почв Новозыбковского района по содержанию подвижного калия

Вид угодий	Обследовано, га / %	Содержание подвижного калия, мг / кг						
		Очень низкое, < 40	Низкое, 41–80	Среднее, 81–120	Повышенное, 121–170	Высокое, 171–250	Очень высокое, > 250	Пониженное, < 120
Пашня	32173,3	5195	6502	4922	5717,3	6448	3389	16619
	100	16	20	15	18	20	11	52
Многолетние насаждения	13	13	–	–	–	–	–	13
	100	100	–	–	–	–	–	100
Сенокосы	91	47	22	–	–	13	9	69
	100	52	24	–	–	14	10	76
Пастбища	145	27	67	23	–	–	28	117

Для подведения итога по плодородию почв Новозыбковского района нам необходимо вывести общий показатель, объединяющий полученные нами ранее сведения. Затруднения в комплексной оценке плодородия связаны с изначальной разнородностью и различной размерностью агрохимических показателей. Преодолеть эту методологическую проблему позволяет переход к относительным величинам – специальным индексам, конвертирующим разрозненные данные в унифицированную систему, что и делает итоговую оценку полной и объективной, для перехода к такой системе мы рассчитаем индекс окультуренности (Таблица 10).

Таблица 10 – Комплексная агрохимическая характеристика почв пашни Новозыбковского района

Агрохимический показатель	Параметры плодородия		
	Фактическая средневзвешенная величина	Оптимальный уровень	Индекс окультуренности
Органическое вещество, %	1,6	3	0,53
Кислотность почв, $pH_{(KCl)}$	5,35	6	0,89
Содержание подвижного фосфора, мг/кг	274	260	1,05
Содержание подвижного калия, мг/кг	131	220	0,59
Индекс плодородия пашни Новозыбковского р-на	–	–	0,765

1.4 Агроклиматические условия Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции

Полевые исследования в рамках данной диссертации мы проводили на Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции (СХОС) – филиала Федерального научного центра «Всероссийский институт кормов им. В.Р. Вильямса». Станция располагается в юго-западной части Брянской области, максимальная высота территории станции – 195 м, минимальная – 135 м над уровнем моря, климат умеренно-континентальный.

Перейдем к анализу средних температур за 2022 – 2024 гг., представленному в виде графика на Рисунке 1 (Приложение А).

Две тысячи двадцать второй год характеризуется контрастным температурным режимом. В мае температура ниже нормы (12,9–14,6 °С, на 1,5–2,0 °С ниже среднегодовых значений). В июне наблюдается значительное превышение нормы, особенно в третьей декаде – 25,5 °С, что на 6,1 °С выше нормы. В июле отмечается неустойчивость: во второй декаде температура снижается до 17,0 °С (на 3,5 °С ниже нормы), затем снова повышается. В августе температуры стабильно выше нормы на 2,3–5,4 °С.

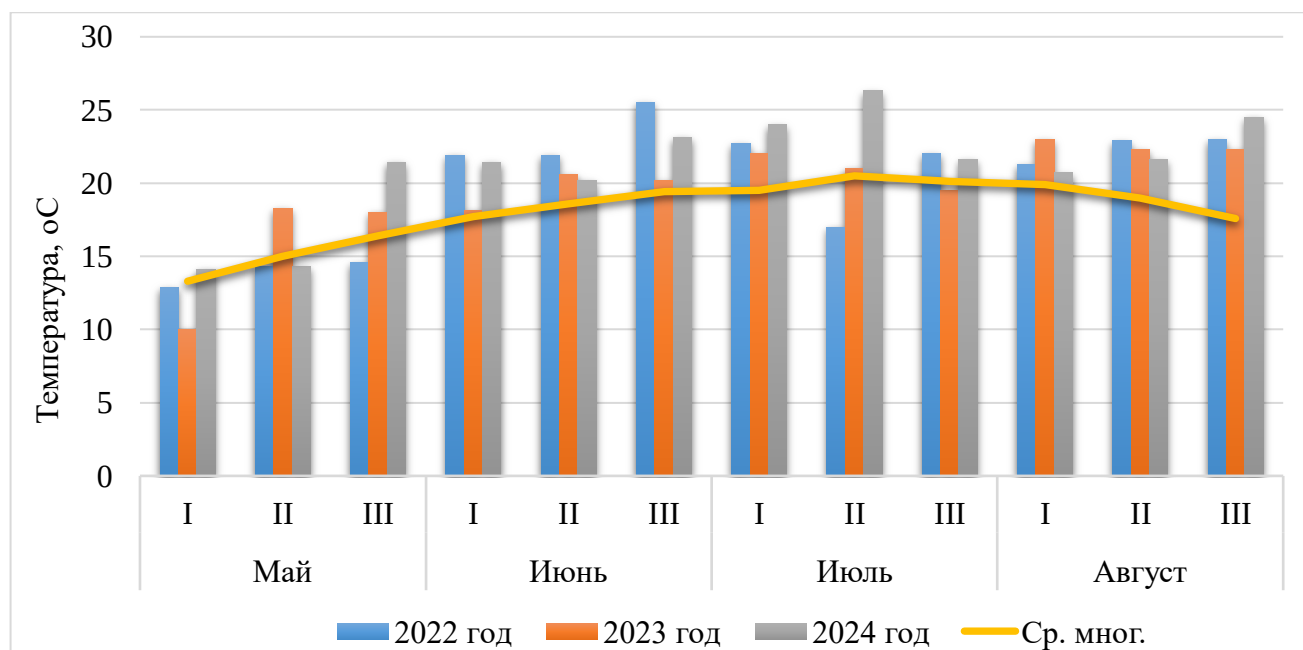


Рисунок 1 – Температура воздуха за вегетационный период 2022 – 2024 гг., °С

Две тысячи двадцать третий год отличается более выровненным температурным режимом. В мае температуры колеблются от 10,0 до 18,3 °С, с отклонениями от нормы от –3,3 до +2,0 °С. В июне показатели близки к среднемноголетним (18,1–20,6 °С). В июле температуры соответствуют или немного превышают норму (на 0,5–1,5 °С). В августе сохраняется умеренное превышение – до 3,3 °С.

Две тысячи двадцать четвертый год является наиболее тёплым. Резкое потепление начинается в третьей декаде мая: температура достигает 21,4 °С, превышая норму на 5,0 °С. Июньские температуры в целом на 1,6–3,7 °С выше среднемноголетних. Максимум за весь период зафиксирован во второй декаде июля – 26,3 °С, что на 5,8 °С больше нормы. Август также отличается превышением среднемноголетних значений на 1,7–6,9 °С – температура доходит до 24,5 °С.

Установлено, что 2024 год является наиболее тёплым, с устойчивым превышением нормы на протяжении всего периода; 2023 год наиболее стабильный, с умеренными отклонениями; 2022 год наиболее контрастный, с сочетанием пониженных весенних и повышенных летних температур.

Максимальные отклонения от среднемноголетних значений достигают +6,9 °С и –3,5 °С, что свидетельствует о значительной изменчивости температурных условий в годы исследований.

Анализ данных Рисунка 2 (Приложение А) свидетельствует о высокой неравномерности распределения осадков за 2022 – 2024 годы как по декадам, так и по годам.

Две тысячи двадцать второй год отличается выраженной неравномерностью и дефицитом осадков в начале вегетации. В мае количество осадков ниже нормы (3,7–7,1 мм против 13,9–18 мм), однако в третьей декаде выпадает 33,7 мм, что на 11,2 мм выше нормы. В июне сохраняется дефицит (2,9–5,0 мм), за исключением третьей декады (27,3 мм, близко к норме). В июле наблюдается резкое увеличение осадков во второй декаде – 42,1 мм (на 16,4 мм выше нормы), тогда как в августе осадки распределены крайне неравномерно: 32,6 мм в первой декаде и всего 1,4 – 3,0 мм в последующих.

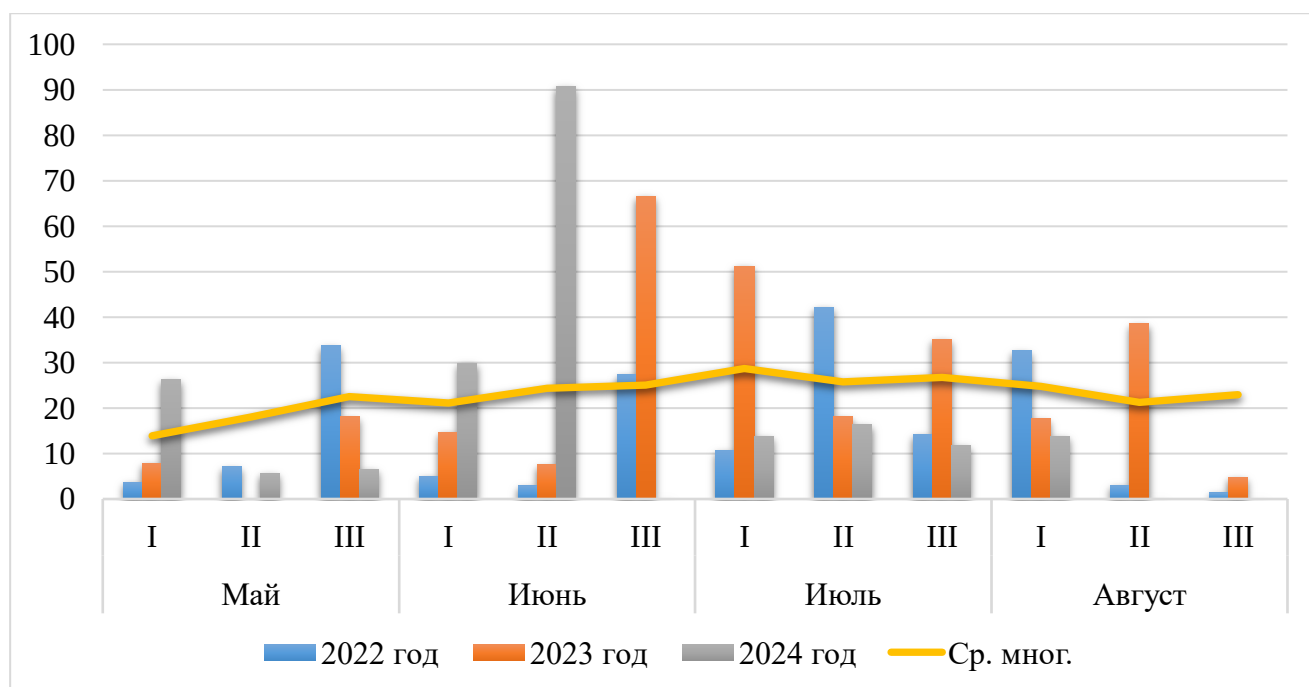


Рисунок 2 – Осадки за вегетационный период 2022 – 2024 гг., мм

Две тысячи двадцать третий год характеризуется более высоким, но также неравномерным увлажнением. В мае осадки колеблются от 0,2 до 18,1 мм, что в большинстве декад ниже нормы. В июне наблюдается резкое превышение нормы в третьей декаде – 66,6 мм (на 41,5 мм выше нормы). В июле в первой декаде выпадает 51,2 мм (на 22,5 мм выше нормы), затем количество осадков выравнивается. В августе отмечается значительное превышение во второй декаде – 38,5 мм (на 17,2 мм выше нормы).

Две тысячи двадцать четвертый год отличается контрастным и крайне неравномерным распределением осадков. В мае в первой декаде выпадает 26,3 мм (на 12,4 мм выше нормы), однако в последующие декады наблюдается дефицит. В июне фиксируется максимальное значение за весь период – 90,8 мм во второй декаде, что превышает норму на 66,4 мм, при полном отсутствии осадков в третьей декаде. В июле количество осадков ниже нормы (11,7–16,3 мм против 25,7–28,7 мм). В августе наблюдается резкий дефицит: во второй и третьей декадах осадки отсутствуют.

В целом установлено, что осадки в исследуемые годы распределяются крайне неравномерно. Две тысячи двадцать третий год, и особенно 2024 г.,

характеризуются резкими пиками увлажнения (до 90,8 мм) и периодами полного отсутствия осадков, тогда как две тысячи двадцать второй год отличается более умеренными, но также нестабильными условиями. Такие колебания влагообеспеченности могут существенно влиять на рост и продуктивность сельскохозяйственных культур.

Для наиболее объективной оценки влагообеспеченности и температурного режима территории используется гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК). Его вычисляют путём деления суммы атмосферных осадков, выпавших за рассматриваемый период (в мм), на сумму среднесуточных температур воздуха выше 10 °С за тот же интервал, уменьшенную в десять раз.

Гидротермический коэффициент — интегральный показатель погодных условий, позволяющий наиболее полно оценить соотношение тепла и влаги как в отдельные декады, так и за весь вегетационный период. По его величине определяют степень увлажнения: ГТК менее 1,0 — засушливые условия, ниже 0,5 — сильная засушливость, менее 0,4 — засуха.

За период исследований линия среднесноголетних значений ГТК в течение вегетационного периода колебалась в пределах 0,9–1,4, что указывает на удовлетворительный уровень влагообеспеченности растений (Рисунок 3 (Приложение А)). При этом наиболее благоприятные условия по увлажнению наблюдались в конце весны и начале лета, когда среднесноголетние значения коэффициента достигали 1,3–1,4, что соответствует условиям достаточного увлажнения. В последующие периоды вегетации наблюдалось некоторое снижение показателя, особенно в середине лета, когда значения приближались к 1,0–1,1, что характеризует условия, близкие к оптимальным.

Анализ распределения ГТК по отдельным годам свидетельствует, что в 2022 году начало вегетационного периода характеризовалось пониженными значениями коэффициента, особенно в мае, где ГТК находился в пределах 0,3–0,5, что соответствует засушливым и местами очень засушливым условиям. Однако уже в июне отмечалось постепенное повышение влагообеспеченности, а в июле наблюдалось значительное увеличение коэффициента – до 2,5, что указывает на

временное избыточное увлажнение. В августе вновь отмечалось снижение показателя до 0,1–1,5, что свидетельствует о неустойчивости влагообеспеченности во второй половине вегетационного периода.

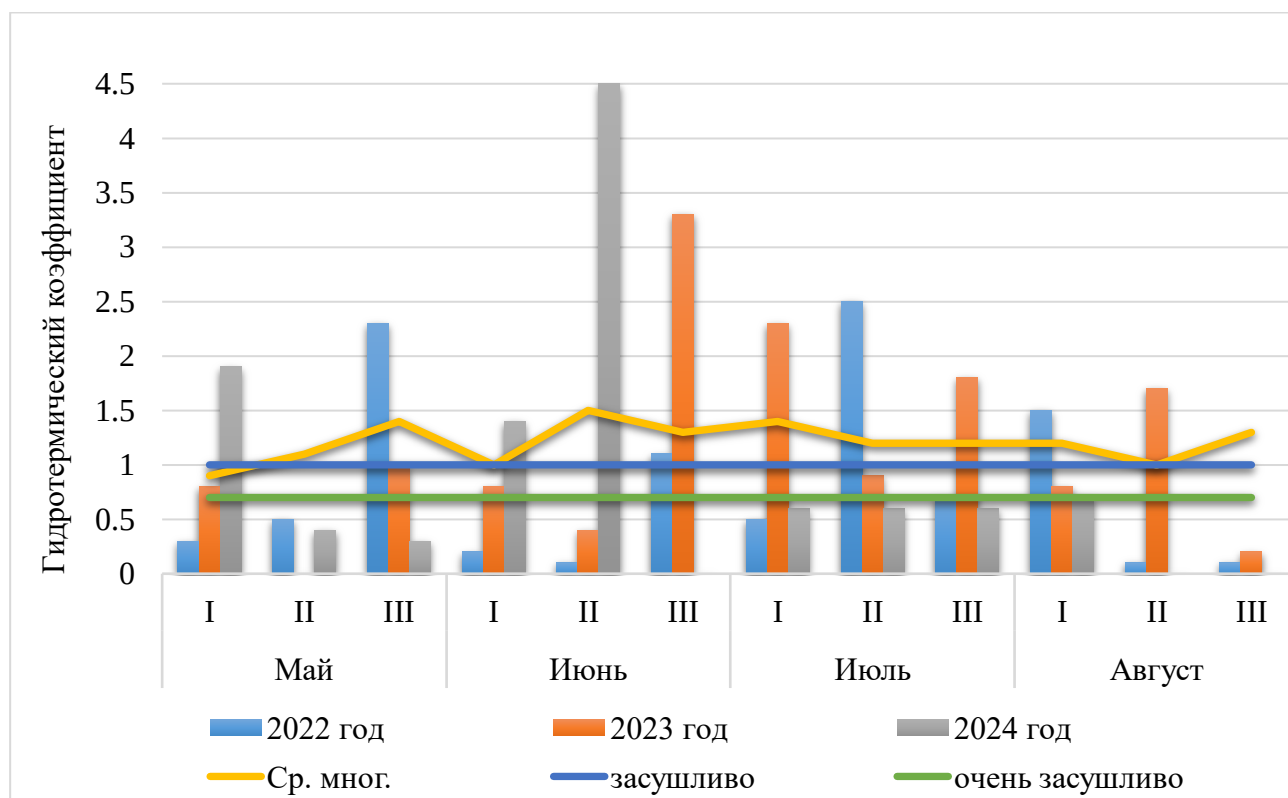


Рисунок 3 – Уровень влагообеспеченности вегетационного периода 2022 – 2024 гг.

2023 год отличался более равномерным распределением влаги в течение сезона. В мае значения ГТК составляли 0,8–1,0, что соответствует условиям, близким к оптимальным. Наиболее высокий показатель был отмечен во второй декаде июня – около 3,3, что характеризует значительное превышение нормы увлажнения. В дальнейшем, в июле и августе, коэффициент в основном находился в пределах 0,8–1,8, что соответствует умеренно влажным условиям и в целом благоприятно для роста растений.

В 2024 году наблюдалась высокая контрастность условий увлажнения. В мае значения ГТК изменялись от 0,4 до 2,3, что указывает на резкие колебания погодных условий. Наиболее экстремальное значение было зафиксировано во второй декаде июня – около 4,5, что свидетельствует о сильном переувлажнении.

Однако в июле и августе показатель резко снизился и в большинстве декад находился в пределах 0,6–0,7, что соответствует засушливым условиям.

В среднем за 2022 – 2024 гг. гидротермический режим вегетационного периода характеризовался условиями, близкими к оптимальным ($ГТК = 1,1–1,2$). В отдельные декады отмечались значительные отклонения как в сторону дефицита влаги, так и избыточного увлажнения, что свидетельствует о высокой внутрисезонной изменчивости погодных условий в годы проведения исследований. Наиболее благоприятные условия влагообеспеченности складывались в конце весны и начале лета, тогда как во второй половине лета чаще наблюдалось снижение коэффициента, что указывает на тенденцию к усилению засушливости в этот период вегетации.

Среднемноголетние значения коэффициента в большинстве декад находились в пределах 1,0–1,3, что соответствует условиям, близким к оптимальным, но детальный анализ графика свидетельствует о том, что такие показатели были результатом компенсации экстремальных значений. В отдельные периоды наблюдались значительные пики влагообеспеченности, когда $ГТК$ превышал 2,0–3,0 и более, что характеризует условия избыточного увлажнения. Одновременно в другие декады фиксировались резкие просадки показателя ниже 0,7, что соответствует очень засушливым условиям.

Таким образом, относительно благоприятное среднемноголетнее значение гидротермического коэффициента формировалось за счёт усреднения контрастных погодных условий, когда периоды избыточного увлажнения компенсировали периоды выраженного дефицита влаги. Подобная ситуация особенно характерна для отдельных декад июня и июля, где высокие значения $ГТК$ существенно повышали общий уровень среднемноголетнего показателя.

Следует отметить, что подобная структура среднемноголетних данных не отражает стабильности влагообеспеченности, а напротив указывает на высокую вариабельность гидротермических условий в течение вегетационного периода. Для роста и развития многолетних трав более благоприятным является равномерное распределение влаги, тогда как чередование засушливых периодов и эпизодов

избыточного увлажнения может создавать стрессовые условия для растений, влияя на интенсивность роста, формирование надземной биомассы и продуктивность укосов.

Таким образом, средние значения ГТК в годы исследований формально соответствовали оптимальным условиям, но фактические погодные условия характеризовались значительной контрастностью влагообеспеченности, что необходимо учитывать при интерпретации результатов урожайности и продуктивности травостоя.

1.5 Характеристика почв места проведения научных исследований

Кратко охарактеризуем почвы Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции, где непосредственно проводилось наше исследование. Данная территория расположена на равнинной местности с уклоном до 3° в восточном и северо-восточном направлениях. Главенствующим типом почвы являются дерново-подзолистые почвы легкого гранулометрического состава (Камынин, 1959).

Данные почвы характеризуются повышенной кислотностью, низким содержанием гумуса и элементов питания, а также небольшой ёмкости катионного обмена (Титова, 2023). В то же время они обладают хорошей водопроницаемостью и аэрацией, что способствует высокой эффективности применения удобрений при соблюдении рациональной агротехники (Шафран, 2015).

Основой для оценки агрохимических свойств почв Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции послужили данные Центра химизации и сельскохозяйственной радиологии «Брянский».

Кислотность

Обследованная площадь пашни Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции составила 402 га. Средневзвешенное значение $pH_{(KCl)}$ равняется 5,67, однако оно не отражает неоднородность почвенного покрова. Оптимальную реакцию среды имеют 56 % пашни (224 га), тогда как 44 % (178 га) были представлены кислыми почвами.

Наибольшую проблему представляют сильноокислые почвы (15 %), для которых характерны токсичность подвижного алюминия, снижение эффективности удобрений и повышение накопления тяжелых металлов в растениях. Почвы с реакцией, близкой к нейтральной и нейтральной, занимают 56 % обследованной площади. (Кидин, 2016).

Результаты проведенных исследований указывают на целесообразность дифференцированного известкования, которое способствовало бы повышению плодородия почв и эффективности их использования в сельском хозяйстве (Лукин, 2023; Макаров, 2025).

Содержание подвижного фосфора в почвах

Почвы пашни Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции характеризуются высоким уровнем фосфорного обеспечения. Средневзвешенное содержание подвижного фосфора составило 295 мг P_2O_5 /кг почвы, что соответствует категории очень высокой обеспеченности.

Почвы с высоким содержанием P_2O_5 (151–250 мг/кг) занимают 138 га (34 %), с очень высоким – 264 га (66 %). Таким образом, вся обследованная площадь характеризуется повышенным содержанием доступных соединений фосфора, что свидетельствует о сформированном запасе данного элемента в пахотном слое (Сахабиев, 2025).

Полученные данные указывают на отсутствие дефицита фосфора в системе минерального питания сельскохозяйственных культур. Это свидетельствует о целесообразности поддержания его баланса за счёт компенсации выноса с урожаем без дальнейшего увеличения запасов подвижного фосфора в почве (Лапушкин, 2022).

Содержание подвижного калия в почвах

Девяносто четыре процента обследованной территории характеризуется очень низким (27 %) и низким (67 %) содержанием подвижного калия, что говорит о выраженном дефиците элемента и его лимитирующем влиянии на урожайность и качество культур. Средневзвешенный показатель подвижного калия — 50 мг/кг почвы (низкий уровень обеспеченности). При этом участки с повышенным,

высоким и очень высоким содержанием калия отсутствуют, что свидетельствует о необходимости применения калийного удобрения для повышения плодородия почв.

Особое значение калийные удобрения имеют на радиоактивно загрязнённых территориях, поскольку их применение не только улучшает условия минерального питания растений, но и способствует снижению накопления ^{137}Cs в сельскохозяйственной продукции.

Органическое вещество

Почвы Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции характеризуются средним уровнем обеспеченности органическим веществом.

Наибольшую площадь занимают почвы со средним содержанием органического вещества (58 %), повышенное содержание отмечается на 29 % обследованной территории, а низкое – на 13 %. Средневзвешенное содержание гумуса составляет 1,65 %, что соответствует средней степени гумусированности. Почвы с очень низким и высоким содержанием гумуса отсутствуют.

Полученные данные свидетельствуют о в целом удовлетворительном гумусовом состоянии пахотных почв, однако наличие участков с низким содержанием органического вещества указывает на необходимость проведения мероприятий по поддержанию и повышению их плодородия.

Глава 2. Схема опытов, программа и методика проведения исследований

Экспериментальные исследования выполнены на базе Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции, расположенной в юго-западной части Брянской области. Исследования проводили в рамках многолетнего стационарного опыта, заложенного и последовательно реализуемого в период 2022 – 2024 гг.

Территория опытного поля относится к зоне дерново-подзолистых почв лёгкого гранулометрического состава, характеризуется устойчивым радиоактивным загрязнением почвенного покрова радионуклидом ^{137}Cs , что определяет специфику ведения сельскохозяйственного производства и методологию научных исследований.

Почвенный покров опытного участка представлен дерново-подзолистыми песчаными разновидностями, для которых характерны низкое естественное плодородие, высокая водопроницаемость и ограниченная влагоёмкость. Мощность гумусового горизонта достигает 20–22 см. Агрохимические показатели пахотного слоя: содержание органического вещества (по Тюрину) — 1,3–1,5 %, реакция почвенного раствора $\text{pH}(\text{KCl})$ — 5,5–5,8, гидролитическая кислотность — 2,41, сумма поглощённых оснований (по Каппену–Гильковицу) — 2,2 мг-экв/100 г почвы, обеспеченность подвижным фосфором и обменным калием (по Кирсанову) — 321 и 108 мг/кг почвы соответственно. Плотность радиоактивного загрязнения почвы ^{137}Cs в период исследований составляла 296–522 кБк/м², что соответствует условиям контролируемого сельскохозяйственного использования земель.

Объектом исследований являются фосфорно-калийные удобрения и многолетние травы, представленные бобовыми и злаковыми видами, возделываемыми в одновидовых и гетерогенных посевах: люцерна жёлтая (*Medicago falcata*), костреч безостый (*Bromopsis inermis*) и житняк гребневидный (*Agropyron cristatum*), а также травосмеси на основе люцерны с участием вышеописанных трав.

Предметом исследований являются влияние фосфорно-калийного удобрения на процессы формирования продуктивности многолетних трав, качества

зелёной массы и грубых кормов, а также на уровень накопления ^{137}Cs в зависимости от ботанического состава посевов.

Полевой опыт был заложен в соответствии с требованиями методики стационарных агрономических исследований.

Схема опыта

Размер опытного участка: 30×72 м (2160 м^2 , 21,6 сотки). Общая площадь опытной делянки составляла 30 м^2 , учётная площадь – 20 м^2 . Ширина делянки – 3 м, длина – 10 м. Защитные полосы – 3000 м^2 . Повторность опыта – трёхкратная. Размещение делянок осуществляли систематическим способом, что обеспечивало сопоставимость вариантов и достоверность полученных результатов.

Схема опыта предусматривает изучение различных уровней минерального питания, их влияния на продуктивность, качество зеленой массы многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах на фоне различного уровня минерального питания (Таблица 11). В опыте были заложены следующие варианты:

- контроль – без внесения минерального удобрения;
- фосфорно-калийное удобрение в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$;
- фосфорно-калийное удобрение в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$.

Таблица 11 – Схема опыта посевов сельскохозяйственных культур многолетних трав

Почва	Вариант			Культура	Норма высева, кг/га	
					основная	подсеваемая
дерново-подзолистая песчаная	Контроль	$\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	$\text{P}_{60}\text{K}_{180}$	Люцерна желтая	15,0	–
	Контроль	$\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	$\text{P}_{60}\text{K}_{180}$	Кострец безостый	18,0	–
	Контроль	$\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	$\text{P}_{60}\text{K}_{180}$	Житняк гребневидный	12,0	–
	Контроль	$\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	$\text{P}_{60}\text{K}_{180}$	Люцерна + кострец	10,0	12,0
	Контроль	$\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	$\text{P}_{60}\text{K}_{180}$	Люцерна + житняк	10,0	10,0

В качестве источника калия применяли хлористый калий (60 %), фосфора – суперфосфат простой (20 %) гранулированный. Внесение удобрения осуществляли в фазу активного отрастания культур.

Учёт урожайности зелёной массы и грубых кормов люцерны жёлтой выполняли в фазу начала цветения. У костреца безостого и житняка гребневидного урожай учитывали в фазу вымётывания метёлки — начала цветения. В бобово-злаковых травосмесях уборку, учёт урожая проводили в фазу начала цветения люцерны жёлтой. Определение урожайности выполняли поделочно с последующим пересчётом на гектарную площадь (Лукомец и др., 2024).

Лабораторные исследования включали проведение зоотехнического анализа кормов с определением содержания сухого вещества, сырого протеина, сырой клетчатки, сырого жира, сырой золы, обменной энергии по общепринятым методикам. Радиологический контроль почвы, растительной продукции осуществляли в соответствии с действующими нормативно-методическими документами по определению содержания радионуклидов в объектах агроэкосистем.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа по Доспехову (2011). Экономическую оценку эффективности возделывания сельскохозяйственных культур многолетних трав выполняли на основе типовых технологических карт с учетом затрат на производство и выхода кормовой продукции.

Полученные экспериментальные данные характеризуются репрезентативностью для условий дерново-подзолистых песчаных почв юго-западной части Брянской области, могут быть использованы при разработке научно обоснованных технологий производства нормативно чистых кормов в условиях радиоактивного загрязнения.

Глава 3. Эффективность воздействия фосфорно-калийного удобрения на урожайность многолетних трав и их травосмесей

Цель агропромышленной стратегии России – это обеспечение продовольственной безопасности и суверенитета через устойчивое производство. Ключевой приоритет – не просто насыщение рынка, а предоставление гражданам доступного, качественного продовольствия в полном ассортименте, соответствующем современным стандартам здоровья. Основа для стабильно высоких урожаев, питательной ценности продукции – это грамотное управление агроэкосистемами. Передовые агротехнологии на данный момент нацелены на поддержание сбалансированного биологического круговорота, который восстанавливает плодородие почв, минимизирует экологический след, создает основу для долгосрочной продуктивности (Донских, Веселков, 2023; Князев и др., 2025).

Эффективность современных агротехнологий во многом определяется именно применением минерального удобрения. Они выступают ключевым агрономическим фактором, лимитирующим урожайность, качество и продуктивность сельскохозяйственной продукции. Оптимизация их внесения позволяет достигать пиковых значений урожайности, минимизируя при этом непродуктивные потери питательных элементов (Агрохимия: учебник, 2009).

Современный агроклиматический тренд характеризуется прогрессирующей аридностью, что приводит к комплексному усилению абиотических (дефицит влаги, термические аномалии) и биотических (распространение патогенов и насекомых вредителей) стрессов у культурных растений. В этой связи сельскохозяйственная продукция, ориентированная на высокопродуктивный потенциал, предъявляет исключительно жёсткие требования к уровню и сбалансированности минерального питания (Голосной, 2008).

Калий относится к числу важнейших элементов минерального питания растений. Калий участвует в регуляции большинства физиологических процессов, обеспечивая нормальное функционирование растений. Для Брянской области

особая значимость калийного питания обусловлена преобладанием почв лёгкого гранулометрического состава – легкосуглинистых, супесчаных и песчаных, – которые характеризуются низким естественным обеспечением этим элементом (Агрохимия, 2014; Агрохимия: курс лекций ..., 2015).

Оптимальное содержание подвижного фосфора на дерново-подзолистой почве в севообороте составляет 200–300 мг/кг почвы. В растительном организме фосфор интенсифицирует фотосинтетические процессы и принимает активное участие в метаболизме на всех этапах развития (Агрохимия, 2002; Фосфор в жизни растений..., 2002; Фосфор в земледелии..., 2005; Чекмарев, Прудников, 2016; Лапушкин, Нестеренко, 2019).

Чесалин с соавторами (2022) выявили следующие закономерности. Внесение фосфорно-калийного удобрения в минимально исследуемой дозе $P_{60}K_{90}$ обеспечивает резкий прирост урожайности: на естественном травостое суммарный сбор увеличивается в 2,4 раза (с 6,9 до 15,9 т/га). Увеличение дозы удобрения до $P_{60}K_{120}$ увеличивает урожайность до 17,8 т/га. На сеяных травостоях внесение дозы фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{90}$ приводит к приросту урожайности с 9 т/га до 18,9 т/га, при этом повышение дозы до $P_{60}K_{120}$ повышает урожайность лишь до 20,9 т/га.

Белоус с соавторами (2016) установил, что применение дозы фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{120}$ повышает урожайность люцерны желтой с 5,56 до 6,64 т/га (+19,4%), $P_{60}K_{150}$ – до 7,51 т/га (+35,1%), $P_{60}K_{180}$ – до 9,21 т/га (+65,6%), а $P_{60}K_{210}$ до 10,36 т/га (+86,3%). Аналогичная тенденция отмечена для костреца безостого: применение дозы фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{120}$ увеличивает урожайность с 3,95 до 4,40 т/га (+11,4%), $P_{60}K_{150}$ – до 4,89 т/га (+23,8%), $P_{60}K_{180}$ – до 5,24 т/га (+32,7%), $P_{60}K_{210}$ – до 5,73 т/га (+45,1%).

В контроле урожайность составила 26,3 т/га, при применении дозы фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{120}$ урожайность увеличивалась до 31,0 т/га (+17,9%), $P_{60}K_{150}$ – до 33,8 т/га (+28,5%), $P_{60}K_{210}$ – 41,6 т/га (+58,2%). Аналогично, для костреца безостого – применение дозы $P_{60}K_{120}$ обеспечило прирост 2,1 т/га

(+11,5%), $P_{60}K_{150}$ – 4,5 т/га (+24,6%), $P_{60}K_{210}$ – 7,0 т/га (+38,3%) (Шаповалов и др., 2022).

На дерново-подзолистой песчаной почве применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{210}$ повышает урожайность в люцерне с 5,56 до 10,36 т/га, у костреца безостого – с 3,95 до 5,73 т/га, а в травосмеси происходит прирост с 7,26 в контроле до 11,10 т/га. Увеличение дозы удобрения сопровождается последовательным ростом урожайности на каждом этапе ($P_{60}K_{120} \rightarrow P_{60}K_{150} \rightarrow P_{60}K_{180} \rightarrow P_{60}K_{210}$), однако наибольший абсолютный прирост наблюдается у люцерны, тогда как у костреца безостого он менее выражен (Белоус, 2015).

Анализ эффективности систем удобрения, проведенный учеными Уральского государственного университета выявил следующее. Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ обеспечивает увеличение сбора грубого корма люцерны желтой с 3,67 до 3,98 т/га в первом укосе и с 2,26 до 2,51 т/га во втором, $P_{60}K_{180}$ – до 4,65 и 2,78 т/га соответственно. У костреца безостого применение дозы фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{120}$ увеличивает урожайность с 2,06 до 2,28 т/га в первом укосе и с 1,50 до 1,71 т/га во втором, $P_{60}K_{180}$ – до 2,47 и 1,91 т/га соответственно. В травосмеси применение $P_{60}K_{120}$ повышает урожайность с 4,17 до 4,97 т/га в первом укосе и с 2,83 до 3,10 т/га во втором, достигая при дозе удобрения $P_{60}K_{180}$ 5,71 и 3,54 т/га соответственно (Гринец, 2024).

Выявлен прирост урожайности люцерно-кострецовой травосмеси от внесения фосфорно-калийного удобрения ($P_{60}K_{90}$) — 3,4 т/га зелёной массы, что составляет 8,2 % к уровню контроля. Применение $N_{45}P_{60}K_{90}$ обеспечило прибавку урожайности 3,3 т/га (8,0 %), то есть эффективность удобрения практически совпала с действием $P_{60}K_{90}$ (Тимошкин, 2022).

В одном из исследований по влиянию систем фосфорно-калийного удобрения на многокомпонентную травосмесь – люцерна посевная, житняк гребневидный и кострец безостый – было установлено, что рекордную урожайность травосмеси на второй год пользования вне зависимости от вида обработки почв удается достичь применением дозы фосфорного удобрения P_{60} , урожайность в таком случае увеличивается на 2,09–2,14 т/га (контроль 6,61–6,76

т/га), применение дозы удобрения $P_{60}K_{60}$ обеспечивает прибавку 2,00–2,08 т/га. Применение дозы азотно-калийного удобрения $N_{30}K_{60}$ увеличивает урожайность лишь на 0,18–0,29 т/га (Пасько, Федюшкина, 2019).

Гараева, Кузьмина (2019) установили, что применение системы удобрения в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ на дерново-подзолистой почве обеспечило прибавку урожайности многолетних трав в диапазоне от 5,1 до 17,8 %.

Красноперов (2025) в одном из своих исследований установил, что внесение фосфорно-калийного удобрения ($P_{120}K_{120}$) на почвах польдерного типа сопровождается существенным ростом урожайности многолетних трав: превышение над контролем составило 51,1 %.

При внесении минерального удобрения $N_{120}P_{60}K_{180}$ урожайность сена ежи сборной, овсяницы луговой и двукисточника тростникового достигает 11,49–12,39 т/га, тогда как на контроле этот показатель составляет 2,67–2,85 т/га. (Белоус и др., 2012).

Люцерна жёлтая в одновидовом посеве при двухукосном использовании на дерново-подзолистых песчаных почвах в условиях радиоактивного загрязнения превосходит по урожайности зелёной массы травостой многолетних мятликовых трав — костреца безостого и житняка гребневидного. При применении фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ урожайность превышала контроль на 26,5–27,4 % в зависимости от вида злака. (Ситнов и др., 2024).

3.1 Действие фосфорно-калийного удобрения на урожайность люцерны желтой

Гарантия продовольственной безопасности является стратегическим приоритетом государственной политики. Поскольку пищевая корзина граждан включает не только зерновые продукты, но и мясомолочную продукцию, ключевым звеном в этой цепи становится устойчивая кормовая база. Формирование ее основы напрямую связано с выращиванием многолетних трав, в первую очередь бобовых. Эти культуры выступают основой для создания высокопитательных кормовых ресурсов и одновременно служат мощным

фактором повышения и стабилизации почвенного плодородия (Бурцева и др., 2023).

В кормовой базе ряда животноводческих хозяйств наблюдается значительный дисбаланс питательных веществ: недостаток протеина составляет 25 – 30 %, а дефицит микроэлементов может достигать 45–55 %. Это ведет к серьезному нарушению баланса рационов по основным питательным компонентам – энергии и белку. Для компенсации данного дисбаланса хозяйства вынуждены увеличивать общий объем кормов на 20–50 %, в том числе за счет повышенного расхода дорогостоящего зернофуража. В данной ситуации ключевым направлением повышения экономической и питательной эффективности кормопроизводства становится интенсификация возделывания бобовых культур за счет научно обоснованного, оптимизированного применения минеральных удобрений (Бурцева и др., 2023; Zhang and others, 2024).

Люцерна желтая (*Medicago falcata*) является очень важным растением для современного кормопроизводства. Отличительными признаками данного вида выступают повышенная концентрация белка в биомассе и устойчивая урожайность, сохраняющаяся на протяжении производственного цикла длительностью от пяти лет.

Многолетние бобовые травы, такие как клевер и люцерна играют важную роль не только как кормовые культуры, но и как фактор повышения плодородия почвы. Люцерна желтая по праву считается эталоном продуктивности среди многолетних бобовых трав, формируя высокий выход разнообразных кормов – от зеленой массы и сена до силоса и сенажа. В процессе возделывания люцерны способствует накоплению органического вещества и биологического азота, а также улучшает агрофизические свойства почвы, например, многолетние бобовые травы способны увеличивать содержание гумуса в почве до 0,075% в год (Ломов, 2021; Полевое кормопроизводство ..., 2022; Свечников, Козлова, 2023; Попов и др., 2023; Свечников, 2024).

Согласно рекомендациям ФГУ «Российский центр сельскохозяйственного консультирования»: «За 2–3 года выращивания в почве накапливается порядка 10–

12 т/га корневых и пожнивных остатков, которые по содержанию основных элементов питания – азота, фосфора и калия – сопоставимы с внесением 4–7 т/га навоза» (Агротехника возделывания сортов люцерны ..., 2008).

Исследования подтверждают, что правильно подобранная доза фосфорно-калийного удобрения является ключевым условием формирования высоких урожаев люцерны желтой. Внесение азотного удобрения не дает существенной прибавки, в следствие того, что люцерна желтая обладает симбиотической азотфиксирующей способностью и обеспечивает себя азотом самостоятельно (Охлопкова и др., 2022; Appiah and other, 2024).

Применение дозы фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{120}$ увеличило урожайность в первом укосе на 2,7 т/га (17,3 %), $P_{60}K_{180}$ на 5,7 т/га (36,5 %) по сравнению с вариантом без удобрения (Таблица 12). Повышение дозы калия в составе фосфорно-калийного удобрения с 120 до 180 кг д.в. позволило увеличить урожайность в первом укосе на 3,0 т/га, или на 16,4 %. Коэффициент вариации на первом укосе составил 15,5 %, что свидетельствует о средней степени изменчивости данных.

Таблица 8 – Действие доз фосфорно-калийного удобрения на урожайность зеленой массы люцерны желтой (2022 – 2024 гг.), т/га

Укос Вариант	1-й укос	2-й укос	Среднее за 2 укоса	Прибавка	
				к контролю	от дозы калия
Без удобрения (контроль)	15,6	11,9	27,5	—	—
$P_{60}K_{120}$	18,3	14,2	32,5	5,0	—
$P_{60}K_{180}$	21,3	16,7	38,0	10,5	5,5
$V, \% ^1$	15,5	16,8	16,1	—	—
$HCP_{05} ^2$	1,10	0,69	1,77	—	—
$P, \% ^3$	1,52	1,24	1,38	—	—

¹ V – коэффициент вариации при применении фосфорно-калийного удобрения;

² HCP05 – наименьшая существенная разность для 5%-ного уровня значимости;

³ P,%— точность опыта.

Во втором укосе в контрольном варианте было собрано 11,9 т/га зеленой массы. Применение дозы фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{120}$ обеспечило прибавку урожайности 2,3 т/га (19,3 %), $P_{60}K_{180}$ – 4,8 т/га (40,3 %). Доза $P_{60}K_{180}$ обеспечила дополнительную прибавку урожайности во втором укосе 2,5 т/га, или 17,6 %. Коэффициент вариации - 16,8 %, что подтверждает среднюю степень однородности данных.

Средняя урожайность за два укоса в контрольном варианте – 27,5 т/га. Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ обеспечило увеличение урожайности в среднем за два укоса до 32,5 т/га, что выше контроля на 5,0 т/га, или на 18,2 %, $P_{60}K_{180}$ до 38,0 т/га, что превышает контроль на 10,5 т/га, или на 38,2 %. Коэффициент вариации составил 16,1 %, что свидетельствует о средней степени изменчивости данных.

Из общей прибавки 10,5 т/га, полученной благодаря применению дозы фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ (38,0 против 27,5 т/га), 5,7 т/га обеспечено приростом в первом укосе (21,3 против 15,6 т/га) и 4,8 т/га – увеличением урожайности во втором укосе (16,7 против 11,9 т/га). В относительном выражении прирост составил 36,5 % в первом укосе и 40,3 %.

В контроле первый укос формирует 56,7 % урожая (15,6 из 27,5 т/га), при применении дозы фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{120}$ – 56,3 % (18,3 из 32,5 т/га), $P_{60}K_{180}$ – 56,1 % (21,3 из 38,0 т/га). Соответственно, доля второго укоса составляет 43,3 %, 43,7 % и 43,9 %. Это свидетельствует о постепенном усилении вклада второго укоса в формирование общего сбора среднее за два укоса при повышении уровня удобренности.

Повышение дозы фосфорно-калийного удобрения до $P_{60}K_{180}$ сопровождается устойчивым ростом урожайности как в первом укосе, так и во втором укосе, при этом относительная реакция второго укоса превышает реакцию первого.

3.2 Влияние фосфорно-калийного удобрения на урожайность костреца безостого

В структуре кормовых угодий многолетним злаковым травам принадлежит ключевая фитоценотическая роль, детерминированная комплексом хозяйственно

ценных признаков. Благодаря генетически обусловленному долголетию, высокой экологической пластичности и стабильной семенной продуктивности, данные виды не только формируют устойчивую кормовую базу с высокими показателями качества и продуктивности, но и выполняют важнейшие средообразующие функции, выступая в качестве эффективного фактора стабилизации почвенного покрова и недопущения его эрозии (Косолапов, 2022; Mackiewicz-Walec and other, 2024).

Кострец безостый (*Bromopsis inermis* Leys.) входит в число наиболее распространенных многолетних злаков, возделываемых во всех основных зонах травосеяния. Вид отличается выраженной экологической пластичностью: сочетает высокую засухоустойчивость, характерную для ксерофитов, со способностью переносить длительное (до 40 суток) затопление паводковыми водами в пойменных условиях. Кострец безостый достигает высоты 80–150 см, формируют густой травостой с высокой долей листовой массы. Интенсивное отрастание после скашивания позволяет получать по два укоса за вегетационный период.

Кострец безостый относится к злаковым культурам с замедленным темпом формирования травостоя. В условиях полевых севооборотов его продуктивное использование обычно ограничивается 2–3 годами, тогда как в специализированных кормовых севооборотах срок эксплуатации травостоя может достигать 5–7 лет. При соблюдении агротехнологических требований продолжительность хозяйственного использования посевов способна увеличиваться до 15 лет (Феоктистова, 2019; Кригер, 2024).

В нашем исследовании выявлено, что первом укосе средняя урожайность в контроле составила 8,7 т/га (Таблица 13). Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличило урожайность костреца безостого в первом укосе до 11,3 т/га (+2,6 т/га; +29,9 %), а $P_{60}K_{180}$ – до 13,3 т/га (+4,6 т/га; +52,9 % к контролю). Дополнительная прибавка урожайности от дозы $P_{60}K_{180}$ составила 2,0 т/га, или 17,7 %. Коэффициент вариации – 20,8 %, что свидетельствует о значительной степени рассеивания данных.

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ повышает урожайность во втором укосе до 8,4 т/га (+2,0 т/га; +31,3 %), $P_{60}K_{180}$ – до 10,0 т/га (+3,6 т/га; +56,3 % к контролю). Дополнительная прибавка по сравнению с $P_{60}K_{120}$ составила 1,6 т/га, или 19,0 %. Коэффициент вариации на втором укосе составил 21,8 %, что свидетельствует о значительной степени рассеивания данных.

Таблица 9 – Влияние доз фосфорно-калийного удобрения на урожайность зеленой массы костреца безостого (2022 – 2024 гг.), т/га

Укос Вариант	1-й укос	2-й укос	Среднее за 2 укоса	Прибавка	
				к контролю	от дозы калия
Без удобрения (контроль)	8,7	6,4	15,1	–	–
$P_{60}K_{120}$	11,3	8,4	19,8	4,7	–
$P_{60}K_{180}$	13,3	10,0	23,3	8,2	3,5
V, %	20,8	21,8	21,2	–	–
НСР ₀₅	0,54	0,52	0,74	–	–
P, %	1,23	1,60	0,97	–	–

Доза фосфорного-калийного удобрения $P_{60}K_{120}$ обеспечила увеличение урожайности до 19,8 т/га, что на 4,7 т/га выше контроля, или на 31,1 %. При дозе удобрения $P_{60}K_{180}$ урожайность достигла 23,3 т/га, превысив контроль на 8,2 т/га, или на 54,3 %. Коэффициент вариации составил 21,2 %, что свидетельствует о значительной степени рассеивания данных.

Анализ структуры урожая подтверждает, что первый укос формирует 57,6 % общего сбора в контроле (8,7 из 15,1 т/га), при применении доз удобрения $P_{60}K_{120}$ и $P_{60}K_{180}$ – 57,1 %. Таким образом, соотношение укосов остается практически неизменным, что свидетельствует о равномерном влиянии удобрения на оба периода формирования урожая.

Следует отметить, что относительный прирост урожайности во втором укосе (до 56,3 %) превышает прирост первого укоса (до 52,9 %), что указывает на более выраженную реакцию повторного отрастания на усиление калийного питания. Повышение дозы фосфорно-калийного удобрения обеспечивает последовательный

рост урожайности костреца безостого как в первом укосе, так и во втором укосе, при этом максимальный уровень – 23,3 т/га среднее за два укоса – получен при дозе фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$.

3.3 Роль фосфорно-калийного удобрения в формировании урожайности житняка гребневидного

Среди ширококолосых видов житняков, используемых в полевом травосеянии России, наибольшее распространение получил житняк гребневидный. В природных и культурных агроценозах этот вид занимает значительные площади и отличается широким географическим ареалом.

Житняк гребневидный (*Agropyron pectiniforme* Roem. et Schult.), известный также как ширококолосый житняк или пырей гребневидный, является одной из ведущих сельскохозяйственных культур многолетних трав в различных зонах травосеяния. Он широко распространён в степных и лесостепных районах Российской Федерации, а также встречается на территории Казахстана, Монголии и стран Средней Азии, (Шевчук, 2024).

Экологическая пластичность и комплекс ценных биологических особенностей житняка гребневидного определяют направления его хозяйственного использования. К числу ключевых достоинств культуры относятся высокая устойчивость к засушливым и жарким условиям, способность переносить пониженные температуры, а также невысокие требования к почвенному плодородию. Благодаря этим качествам житняк гребневидный занимает стабильное место в системе кормопроизводства, особенно в регионах с контрастными климатическими условиями. В практической земледелии он преимущественно используется в сенокосно-пастбищном направлении (Деревянникова, 2021).

Житняк гребневидный представляет значительный интерес как кормовая культура благодаря высокой питательной ценности надземной массы. Он содержит полный комплекс незаменимых аминокислот, в том числе отличается повышенным

содержанием лизина. В системе кормопроизводства житняк преимущественно используется как пастбищная культура.

Повышенное содержание белка в растительной массе связано с его способностью эффективно использовать азот, что обуславливает ценность культуры как предшественника для других сельскохозяйственных растений. Кроме того, житняк широко включают в состав многокомпонентных травосмесей при создании устойчивых агрофитоценозов (Кочегина, 2023).

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ повысило урожайность первого укоса на 2,7 т/га выше контроля (10,4 т/га), или на 26,0 %, $P_{60}K_{180}$ – 15,1 т/га, превысив контроль на 4,7 т/га, или на 45,2 % (Таблица 14). Дополнительная прибавка от повышения дозы калия в составе удобрения $P_{60}K_{180}$ – 2,0 т/га, или 15,3 % к уровню урожайности, сформированной при $P_{60}K_{120}$. Коэффициент вариации в первом укосе составил 18,3 %, что указывает на среднюю степень изменчивости показателей.

Таблица 10 – Роль доз фосфорно-калийного удобрения в формировании урожайности зеленой массы житняка гребневидного (2022 – 2024 гг.), т/га

Укос Вариант	1-й укос	2-й укос	Среднее за 2 укоса	Прибавка	
				к контролю	от дозы калия
Без удобрения (контроль)	10,4	7,7	18,1	–	–
$P_{60}K_{120}$	13,1	9,8	22,9	4,8	–
$P_{60}K_{180}$	15,1	11,3	26,4	8,3	3,5
V, %	18,3	18,8	18,6	–	–
НСР ₀₅	0,18	0,53	0,43	–	–
P, %	0,35	1,41	0,49	–	–

Доза удобрения $P_{60}K_{120}$ повысила урожайность второго укоса с 7,7 т/га до 9,8 т/га (+2,1 т/га; +27,3 % к контролю), $P_{60}K_{180}$ – до 11,3 т/га (+3,6 т/га; +46,8 %). Применение удобрения $P_{60}K_{180}$ обеспечило прибавку 1,5 т/га по сравнению с дозой $P_{60}K_{120}$, что соответствует 15,3 %. Коэффициент вариации второго укоса – 18,8 %, что соответствует 15,3 %.

что свидетельствует о сопоставимом уровне варьирования данных по сравнению с первым укосом.

Фосфорно-калийное удобрение $P_{60}K_{120}$ обеспечило увеличение урожайности с 18,1 т/га до 22,9 т/га (+ 4,8 т/га; 26,5 %), $P_{60}K_{180}$ – до 26,4 т/га (+ 8,3 т/га; 45,9 %). Доза удобрения $P_{60}K_{180}$ обеспечила прирост 3,5 т/га по сравнению с $P_{60}K_{120}$, что составляет 15,3 % к ранее достигнутому уровню урожайности. Коэффициент вариации среднее за два укоса – 18,6 %, что свидетельствует о средней степени рассеивания данных.

Первый укос сформировал 57,5 % общей урожайности в контроле (10,4 из 18,1 т/га), применение удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ – 57,2 %, $P_{60}K_{180}$ – 57,2 %. Следовательно, соотношение между укосами практически не изменялось независимо от уровня удобренности, что указывает на равномерное влияние фосфорно-калийного удобрения на формирование урожайности в оба периода скашивания.

Прирост урожайности второго укоса от применения $P_{60}K_{180}$ (+46,8 %) был несколько выше по сравнению с первым укосом (+45,2 %), что свидетельствует о более выраженной реакции повторного отрастания на усиление калийного питания. Приведённые данные свидетельствуют о том, что увеличение дозы фосфорно-калийного удобрения ведёт к росту урожайности как первого, так и второго укосов. При этом наивысший уровень продуктивности — 26,4 т/га в среднем за два укоса, достигнут при дозе $P_{60}K_{180}$.

3.4 Влияние фосфорно-калийного удобрения на урожайность травосмеси люцерны желтой и костреца безостого

В современных системах кормопроизводства всё большее значение придаётся созданию гетерогенных агрофитоценозов, основанных на принципе комплементарности. Суть данного подхода заключается в способности различных видов снижать внутривидовую и межвидовую конкуренцию, эффективно распределять ресурсы среды и взаимно дополнять функциональные особенности друг друга, что обеспечивает более устойчивое и продуктивное функционирование

травостоя (Тимошкин, 2023; Веселков, Донских, 2025; Vozhehova, 2025; Никулин и др., 2025).

Бобовые травы преимущественно возделываются в составе травосмесей, чаще всего в сочетании со злаковыми культурами в различных типах севооборотов. Смешанные посевы, как правило, обеспечивают более высокий и стабильный урожай по сравнению с монокультурами, отличаются повышенной устойчивостью к неблагоприятным погодным условиям и большей продолжительностью хозяйственного использования (Ториков, 2007; Гринец, 2024; Никулин, Матвеев, 2024).

Совместное выращивание бобовых и злаковых компонентов способствует формированию повышенной продуктивности травостоя и обеспечивает устойчивый выход зеленой массы (Фигурин, 2013; Сысуев, Фигурин, 2016; Капошко и др., 2020).

Различия в морфологии надземных органов бобовых и злаковых компонентов обуславливают их неодинаковое пространственное размещение в травостое. Это способствует более равномерному распределению света внутри посева и повышает суммарную фотосинтетическую активность растений. В гетерогенных посевах корневые системы люцерны желтой и костреца безостого осваивают различные горизонты почвенного профиля, что обеспечивает более полное использование влаги и элементов питания, а также снижает конкуренцию и возможное негативное влияние корневых выделений одного вида на другой (Варламов, 2008).

Кроме того, в таких агрофитоценозах наблюдается взаимное обогащение компонентов элементами питания, прежде всего за счёт биологической фиксации азота бобовыми. В фитомассе гетерогенных посевов трав содержание азота может быть в полтора-два раза выше по сравнению с одновидовыми агрофитоценозами. Динамика химического состава травосмеси в течение вегетации менее изменчива по сравнению с одновидовыми злаковыми посевами, что способствует более длительному сохранению высокого кормового качества получаемой продукции (Хисматуллин, 2019; Пакшина и др., 2020).

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличило урожайность в первом укосе с 18,8 т/га до 20,8 т/га (+2,0 т/га; +10,6 %), $P_{60}K_{180}$ до 22,7 т/га (+3,9 т/га; +20,7 %) (Таблица 15). Степень рассеивания данных при этом была незначительной, коэффициент вариации – 9,4 %.

Таблица 11 – Влияние доз фосфорно-калийного удобрения на урожайность зеленой массы травосмеси люцерны желтой и костреца безостого (2022 – 2024 гг.), т/га

Укос Вариант	1-й укос	2-й укос	Среднее за 2 укоса	Прибавка	
				к контролю	от дозы калия
Без удобрения (контроль)	18,8	14,4	33,2	—	—
$P_{60}K_{120}$	20,8	16,1	36,9	3,7	—
$P_{60}K_{180}$	22,7	17,8	40,5	7,3	3,6
$V, \%$	9,4	10,6	9,9	—	—
HCP_{05}	0,31	0,16	0,42	—	—
$P, \%$	0,38	0,25	0,29	—	—

Во втором укосе на контрольном варианте урожайность составила 14,4 т/га. Удобрение в дозе $P_{60}K_{120}$ обеспечил прибавку 1,7 т/га (+11,8 %), $P_{60}K_{180}$ – 3,4 т/га (+23,6 %) по сравнению с контролем. Дополнительная прибавка от повышения дозы калия с 120 до 180 кг д.в. в составе фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ составила 1,7 т/га, что соответствует 10,6 %. Коэффициент вариации составил 10,4 %, что говорит о средней степени рассеивания данных.

В среднем за два укоса от применения фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ урожайность увеличилась до 36,9 т/га, что обеспечило прибавку 3,7 т/га, или 11,1 % к контролю. Удобрение $P_{60}K_{180}$ обеспечило рост урожайности до 40,5 т/га, что выше контроля на 7,3 т/га, или на 22,0 %. Дополнительная разница от применения $P_{60}K_{180}$ составила 3,6 т/га (9,8 %). Коэффициент вариации – 9,9 %, показывая высокую степень однородности данных.

Доля первого укоса в общей урожайности составляет 56,6 % в контроле, при применении удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ – 56,4 %, $P_{60}K_{180}$ – 56,0 %, следовательно, соотношение укосов остается практически неизменным.

Средние значения урожайности свидетельствуют о том, что травосмесь люцерны желтой + костреч безостый положительно реагирует на повышение дозы фосфорно-калийного удобрения, однако относительные прибавки (22,0 % при дозе фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$) ниже, чем у люцерны в чистом посеве. Максимальный уровень урожайности – 40,5 т/га в среднем за два укоса – получен при дозе удобрения $P_{60}K_{180}$, что подтверждает эффективность повышенного калийного фона для формирования устойчивого и высокого сбора зеленой массы травосмеси.

3.5 Действие фосфорно-калийного удобрения на урожайность травосмеси люцерны желтой и житняка гребневидного

В современных условиях именно многолетние бобовые и злаковые травы формируют основу кормовой базы животноводства и рассматриваются как ключевой резерв увеличения производства растительного протеина. Их значение определяется способностью обеспечивать стабильный выход высокопитательной кормовой массы как в полевых севооборотах, так и на сенокосно-пастбищных угодьях. Большое преимущество выращивания злаковых многолетних трав в травосмесях с бобовыми культурами, такими как люцерна желтая, заключается в том, что такие культуры способны насыщать почву азотом, делая внесение дорогостоящих азотных удобрений необязательным (Спиридонов, 2007; Шпаков, 2014).

Рост производства высокобелковых кормов напрямую связан с рациональной структурой посевных площадей и расширением доли многолетних трав, прежде всего бобовых культур и их травосмесей со злаками. Использование гетерогенных агрофитоценозов позволяет не только повысить общий сбор кормовой массы, но и обеспечить более эффективное использование природных и агротехнических ресурсов (Бурцева, 2023).

В этой связи особый интерес представляет изучение урожайности бобово-злаковых травосмесей, в частности сочетания люцерны желтой и житняка гребневидного. Люцерна желтая отличается высокой потенциальной

продуктивностью и значительным вкладом в формирование белковой составляющей урожая, тогда как житняк гребневидный характеризуется устойчивостью к неблагоприятным условиям и стабильной отдачей зеленой массы. Их совместное возделывание позволяет рассчитывать на повышение суммарной урожайности травостоя и получение устойчивых урожаев в различных почвенно-климатических условиях, что и обуславливает необходимость детального исследования продуктивности данной травосмеси (Гребенников, 2018).

В первом укосе в контроле была получена урожайность 21,0 т/га (Таблица 16). Внесение системы удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличило урожайность до 23,3 т/га (+2,3 т/га; +11,0 %), $P_{60}K_{180}$ до 25,3 т/га (+4,3 т/га; +20,5 % к контролю). Коэффициент вариации в первом укосе составил 9,3 %, что свидетельствует о незначительной степени рассеивания данных.

Таблица 12 – Действие фосфорно-калийного удобрения на урожайность зеленой массы травосмеси люцерны желтой и житняка гребневидного (2022 – 2024 гг.), т/га

Укос Вариант	1-й укос	2-й укос	Среднее за 2 укоса	Прибавка	
				к контролю	от дозы калия
Без удобрения (контроль)	21,0	16,1	37,2	—	—
$P_{60}K_{120}$	23,3	18,1	41,4	4,2	—
$P_{60}K_{180}$	25,3	19,9	45,2	8,0	3,8
$V, \%$	9,3	10,5	9,7	—	—
HCP_{05}	0,24	0,21	0,26	—	—
$P, \%$	0,26	0,29	0,16	—	—

Во втором укосе применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ обеспечило прибавку 2,0 т/га (+12,4 %), $P_{60}K_{180}$ – 3,8 т/га (+23,6 %) относительно контроля. Реакция второго укоса несколько превышает показатели первого, что указывает на значительную роль калийного питания в поддержании повторного отрастания травосмеси. Коэффициент вариации был незначительно выше, чем в первом укосе и составил 10,5%, что свидетельствует о средней степени рассеивания данных.

В среднем за два укоса на контрольном варианте получено 37,2 т/га. Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ обеспечило прибавку 4,2 т/га, или 11,3 % относительно контроля. Максимальная урожайность зафиксирована от внесения $P_{60}K_{180}$ – 45,2 т/га, что выше контроля на 8,0 т/га, или на 21,5 %. Дополнительная доза калия (60 кг д.в.) в составе фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ обеспечила прирост 3,8 т/га среднее за два укоса, что составляет 9,2 % к уровню $P_{60}K_{120}$. Коэффициент вариации составил 9,7%, что свидетельствует о незначительной степени рассеивания данных.

В сравнении с травосмесью люцерна желтая + кострец безостый отмечается преимущество варианта с житняком гребневидным. В среднем за два укоса от применения фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ урожайность травосмеси люцерна желтая + житняк гребневидный выросла до 45,2 т/га против 40,5 т/га у травосмеси люцерна желтая + кострец безостый, что выше на 4,7 т/га, или на 11,6 %. В контроле разница составляет 4,0 т/га (37,2 против 33,2 т/га), а доза удобрения $P_{60}K_{120}$ обеспечивает прибавку 4,5 т/га (41,4 против 36,9 т/га). Аналогичная тенденция прослеживается и по укосам: в первом укосе при использовании системы удобрения $P_{60}K_{180}$ травосмесь с житняком гребневидным превосходит травосмесь с кострцом безостым на 2,6 т/га (25,3 против 22,7 т/га), а во втором укосе – на 2,1 т/га (19,9 против 17,8 т/га).

Таким образом, трехлетние средние показатели подтверждают, что травосмесь люцерна желтая + житняк гребневидный формирует более высокий уровень урожайности по сравнению с травосмесью люцерна желтая + кострец безостый. Максимальный сбор урожая (45,2 т/га) в среднем за два укоса – получен от применения удобрения $P_{60}K_{180}$, что позволяет рассматривать данную травосмесь как наиболее результативную среди изученных в условиях проведенных исследований.

Глава 4. Влияние фосфорно-калийного удобрения на продуктивность и качество многолетних трав и их травосмесей

4.1 Влияние фосфорно-калийного удобрения на продуктивность сельскохозяйственных культур многолетних трав

В доктрине продовольственной безопасности России на период до 2030 года повышение продовольственной независимости по молочно-мясной группе выделено в число приоритетов. Реализовать эту цель позволит только всесторонняя интенсификация кормопроизводства — охватывающая как сверхкрупные животноводческие комплексы, так и традиционный сектор: рядовые хозяйства, фермеров и личные подсобные хозяйства (Доктрина продовольственной безопасности... 2020; Жуков, 2020).

По данным ВНИИ кормов, чтобы добиться максимальной отдачи от пашни в севооборотах, где доминируют многолетние травы, минеральные удобрения не имеют альтернатив — именно их система обеспечивает наивысший рост продуктивности (Шпаков, Воловик, 2020).

В научном исследовании Пасько, Федюшкин (2019) установлено влияние систем фосфорно-калийного удобрения на продуктивность многокомпонентной травосмеси: люцерна посевная, житняк гребневидный, кострец безостый. Удобрения вносили под предшествующую культуру (яровой ячмень), используя два типа обработки почв (отвальная и безотвальная). Система удобрения $P_{60}K_{60}$ обеспечила прирост продуктивности по сырому протеину на 270 кг/га вне зависимости от типа обработки на первый год пользования и на 350–420 кг/га в зависимости от типа обработки на второй год. Внесение $P_{60}K_{60}$ обеспечило прирост сбора кормовых единиц на первый год пользования в размере 0,77 единиц на отвальной обработке и 0,51 единиц на безотвальной обработке. На второй год прирост составил 1,17 единиц и 1,12 единиц соответственно.

Исследования эффективности применения систем удобрения, проведенные Ганусевич, Гесть (2023) свидетельствуют, что предпосевное внесение минерального удобрения в дозах $N_{60}P_{50}K_{90}$, а также применение микроудобрения

(медь, марганец, молибден) и азотно-калийного удобрения в дозе $N_{60}K_{50}$ способствовали повышению продуктивности многолетних травосмесей во втором году пользования. При этом выход кормовых единиц увеличился: у злаковой травосмеси – на 7,62 т/га, у бобово-злаковой – на 3,45 т/га.

Внесение фосфорно-калийного удобрения в травосмесь люцерны желтой + кострца безостый в дозах $P_{60}K_{120}$ – $P_{60}K_{180}$ увеличивает сбор сырого протеина с 6,90 ц/га в контроле до 7,82–9,89 ц/га и достигает 11,42 ц/га при $P_{60}K_{210}$. Выход обменной энергии увеличивается с 63,8 до 70,7–84,1 ГДж/га и до 93,5 ГДж/га. Выход кормовых единиц возрастает с 4422 до 4783–5731 тыс. и до 6346 тыс. (Белоус и др., 2015).

Исследования Емельянова, Иванова (2008), свидетельствуют, что применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{54}K_{48}$ оказывает умеренное влияние: содержание кормовых единиц практически не меняется ($0,864 \rightarrow 0,865$), переваримого протеина увеличивается до 155,6 г (+3,4 г), сбор кормовых единиц возрастает с 4,31 до 4,52 т (+4,9 %), переваримого протеина – с 0,76 до 0,81 т (+6,6 %). Доза $P_{200}K_{150}$ эффект усиливает: содержание переваримого протеина достигает 158,6 г, сбор кормовых единиц увеличивается до 5,13 т (+0,82 т к контролю; ~ 19,0 %), переваримого протеина – до 0,94 т (+0,18 т; ~ 23,7 %). Содержание кормовых единиц в 1 кг сухого вещества остаётся стабильным.

Согласно исследованиям, проведенным Прокиной, Пугаевым (2024) применение системы удобрения $P_{40}K_{40}$ увеличивает сбор сырого протеина в зеленой массе люцерны желтой с 887 кг/га в контроле до 1014 кг/га (+14,3 %), $N_{40}P_{40}K_{40}$ до 1160 кг/га (+30,8 %). В зеленой массе кострца безостого сбор сырого протеина возрастает от применения дозы удобрения $P_{40}K_{40}$ с 340 кг/га до 454 кг/га (+33,5 %), $N_{40}P_{40}K_{40}$ до 780 кг/га (+129,4 %), что свидетельствует о более высокой отзывчивости культуры на удобрения, особенно при применении азота.

На торфянисто-глеевой почве с оптимальным содержанием подвижных форм фосфора и калия максимальную урожайность многолетних злаковых трав обеспечивает доза удобрения $P_{90}K_{180}$ (из них $P_{90}K_{120}$ – под первый укос и K_{60} – под второй). Такая система обеспечивает получение 3,46 тыс. кормовых единиц с

гектара. При окупаемости фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{90}K_{120}$ прибавкой сена в среднем 4,6 кг на каждый кг действующего вещества РК, повышение дозы калия до 180 кг/га увеличивает окупаемость до 7,1 кг сена на 1 кг удобрения (Цыбулько и др., 2020).

Исследование Листков, Каниболоцкая (2019) подтверждают ключевую роль минерального удобрения при выращивании многолетних трав. Четырёхлетнее применение азотного и калийного удобрения на исследуемом ими травостое обеспечило в среднем 41,7 т/га зелёной массы, включая 8,9 т/га сухого вещества. Это превысило контрольные показатели (без удобрения) на 59 % и 45 % соответственно.

Внесение удобрения в дозе $(NPK)_{90}$ обеспечивает рост сбора сырого протеина с 220 кг/га в контроле до 820 кг/га, а выход кормовых единиц с 1,26 до 2,90 (Тюриков, 2020).

В травосмеси люцерны посевной с кострцом безостым при внесении фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{210}$ зафиксированы максимальные значения следующих показателей продуктивности: выход переваримого протеина, кормовых единиц и обменной энергии, а также обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином (Малявко и др., 2014).

4.1.1 Действие систем фосфорно-калийного удобрения на сбор сухого вещества и сырого протеина

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор сухого вещества в зелёной массе люцерны желтой с 5,5 т/га до 6,5 т/га, $P_{60}K_{180}$ – до 7,6 т/га. Использование дозы удобрения $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор сырого протеина в зелёной массе люцерны желтой с 936,8 кг/га в контроле до 1127,6 кг/га, $P_{60}K_{180}$ до 1219,7 кг/га. Коэффициенты вариации составили 16,1 % и 13,2%, что свидетельствует о средней степени рассеивания данных.

Удобрение в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор сухого вещества кострца безостого с 3,5 т/га в контроле до 4,4 т/га, $P_{60}K_{180}$ – до 5,3 т/га. Сбор сырого протеина от применения дозы $P_{60}K_{120}$ увеличился с 408,0 кг/га в контроле до 499,8 кг/га, от

$P_{60}K_{180}$ – до 600,5 кг/га. Коэффициенты вариации составили 20,5 % и 19,2%, что свидетельствует о значительной и средней степени рассеивания данных соответственно.

Сбор сухого вещества житняка гребневидного от применения фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ вырастает с 4,0 т/га в контроле до 5,0 т/га, $P_{60}K_{180}$ – до 6,1 т/га. Сбор сырого протеина от применения фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличился с 390,9 кг/га в контроле до 567,6 кг/га, $P_{60}K_{180}$ – до 696,4 кг/га. Коэффициент вариации в обоих показателях составил 20,9%, что свидетельствует о значительной степени рассеивания данных.

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор сухого вещества в зеленой массе травосмеси люцерна желтая + кострец безостый с 7,0 т/га до 7,7 т/га, сбор сырого протеина с 1088,8 кг/га до 1114,8 кг/га. Применение удобрения $P_{60}K_{180}$ увеличило сбор сухого вещества до 8,5 т/га, сбор сырого протеина до 1149,0 кг/га.

Фосфорно-калийное удобрение в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор сухого вещества травосмеси люцерна желтая + житняк гребневидный с 7,8 т/га до 8,7 т/га, сбор сырого протеина с 1251,7 кг/га до 1263,7 кг/га. Доза фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ обеспечивает сбор сухого вещества 9,9 т/га, сбор сырого протеина 1448,6 кг/га (Рисунок 4, Рисунок 5, Приложение В, Таблица В.1).

Коэффициент вариации в травосмесях – 1,8-9,7 %, что свидетельствует о низкой степени рассеивания данных.

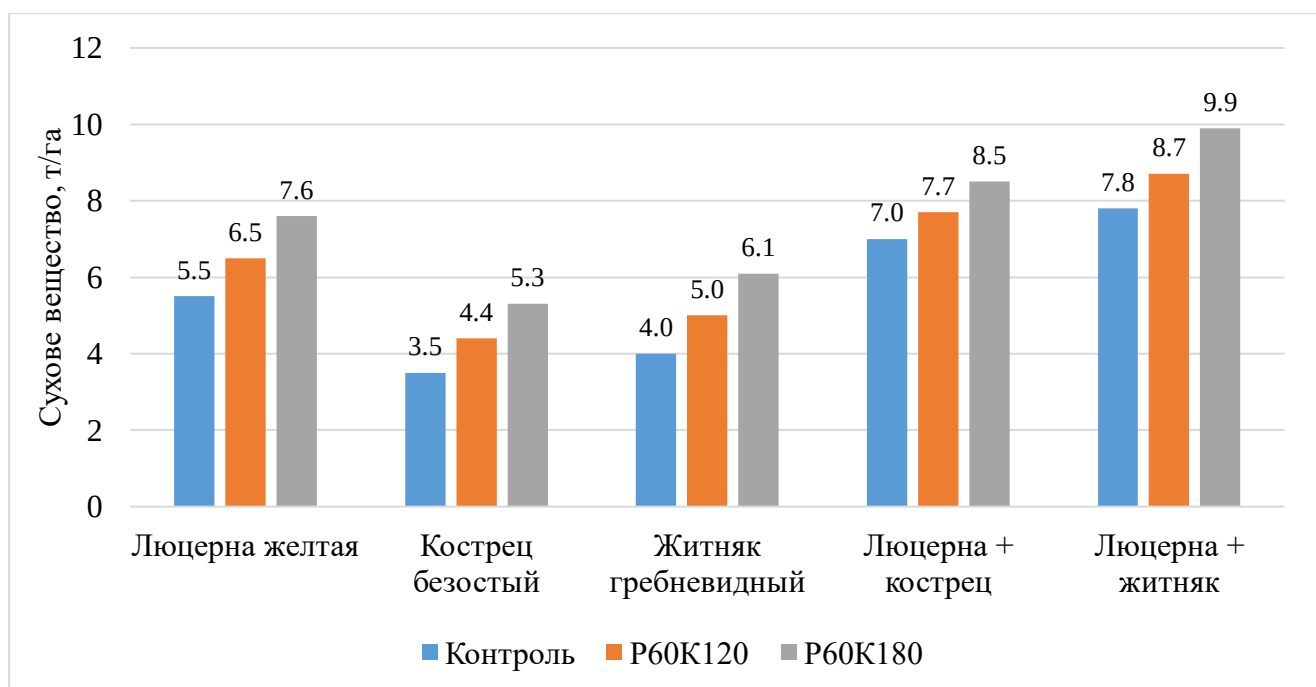


Рисунок 4 – Действие систем фосфорно-калийного удобрения на сбор сухого вещества (2022 – 2024 гг.), т/га

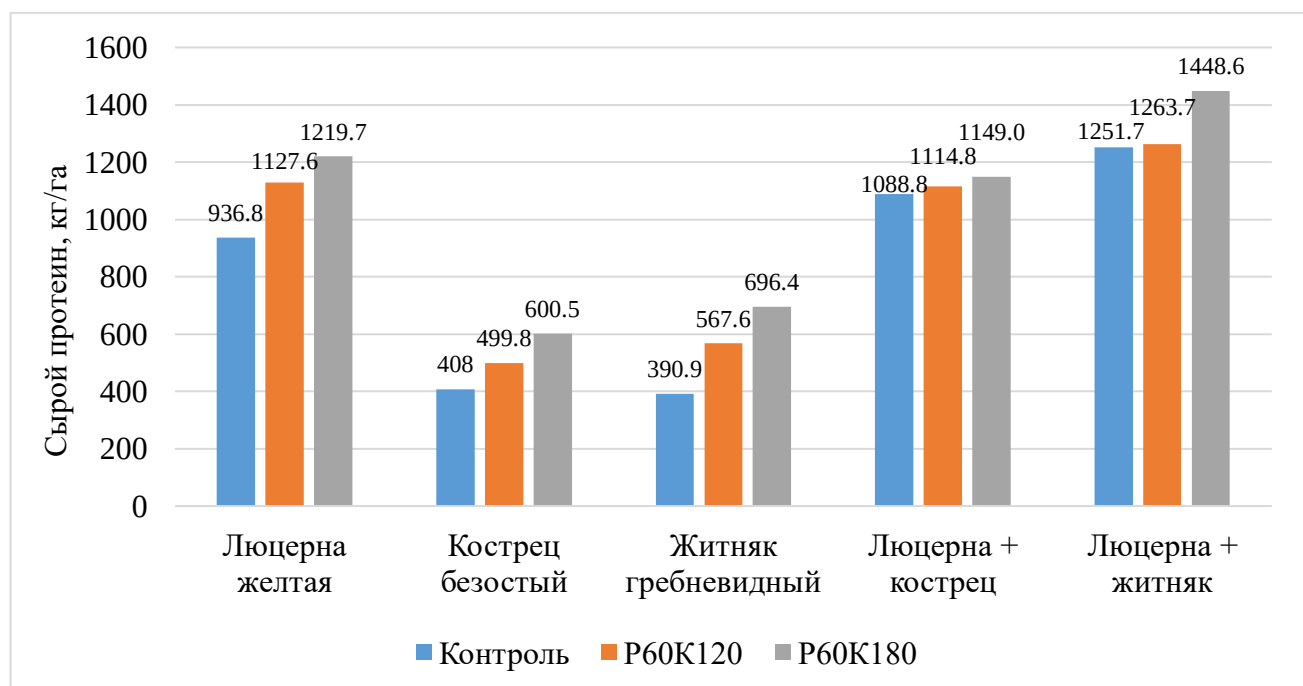


Рисунок 5 – Действие систем фосфорно-калийного удобрения на сбор сырого протеина (2022 – 2024 гг.), кг/га

4.1.2 Влияние систем фосфорно-калийного удобрения на сбор кормовых единиц и обменной энергии

Анализ средних данных за 2022 – 2024 гг. по собранным кормовым единицам и обменной энергии также свидетельствует, об устойчивом положительном влиянии фосфорно-калийного удобрения на энергетическую продуктивность сельскохозяйственных культур многолетних трав и содержание кормовых единиц в продукции.

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор кормовых единиц в урожае люцерны желтой с 3,14 тыс./га до 3,72 тыс./га, $P_{60}K_{180}$ до 4,23 тыс./га. В случае использования дозы удобрения $P_{60}K_{120}$ сбор обменной энергии увеличился с 46,4 ГДж/га до 55,0 ГДж/га, $P_{60}K_{180}$ до 63,4 ГДж/га. Коэффициенты вариации составили 14,8 % и 15,5%, что свидетельствует о средней степени рассеивания данных.

Минеральное удобрение в дозе $P_{60}K_{120}$ обеспечивает увеличение сбора кормовых единиц костреца безостого с 2,05 тыс./га в контроле до 2,75 тыс./га, $P_{60}K_{180}$ до 3,12 тыс./га. Применение минерального удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор обменной энергии с 29,9 ГДж/га в контроле до 38,7 ГДж/га, $P_{60}K_{180}$ до 45,7 ГДж/га. Коэффициенты вариации составили 20,6 % и 20,8%, что свидетельствует о значительной степени рассеивания данных.

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор кормовых единиц житняка гребневидного с 2,36 тыс./га в контроле до 3,13 тыс./га. $P_{60}K_{180}$ до 3,66 тыс./га. Сбор обменной энергии при применении фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличился с 34,2 ГДж/га в контроле до 44,3 ГДж/га, $P_{60}K_{180}$ до 52,6 ГДж/га. Коэффициент вариации составил 21,4 % и 21,1% соответственно, что свидетельствует о значительной степени рассеивания данных.

Удобрение в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор кормовых единиц в травосмеси люцерны желтая + кострец безостый с 3,92 тыс./га до 4,40 тыс./га, обменной энергии с 58,4 ГДж/га до 65,3 ГДж/га. Доза фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ тенденцию усилила: сбор кормовых единиц увеличился до 4,72 тыс./га, обменной

энергии до 70,8 ГДж/га. Коэффициенты вариации составили 9,3 % и 9,6 %, что свидетельствует о низкой степени рассеивания данных.

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор кормовых единиц в травосмеси люцерна желтая + житняк гребневидный с 4,35 тыс./га до 4,69 тыс./га, обменной энергии с 65,1 ГДж/га до 71,3 ГДж/га. От дозы фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ сбор кормовых единиц вырос до 5,56 тыс./га, обменной энергии до 83,1 ГДж/га. Коэффициенты вариации составили 12,8 % и 12,5 %, что свидетельствует о средней степени рассеивания данных (Рисунок 6, Рисунок 7, Приложение В, Таблица В.2).

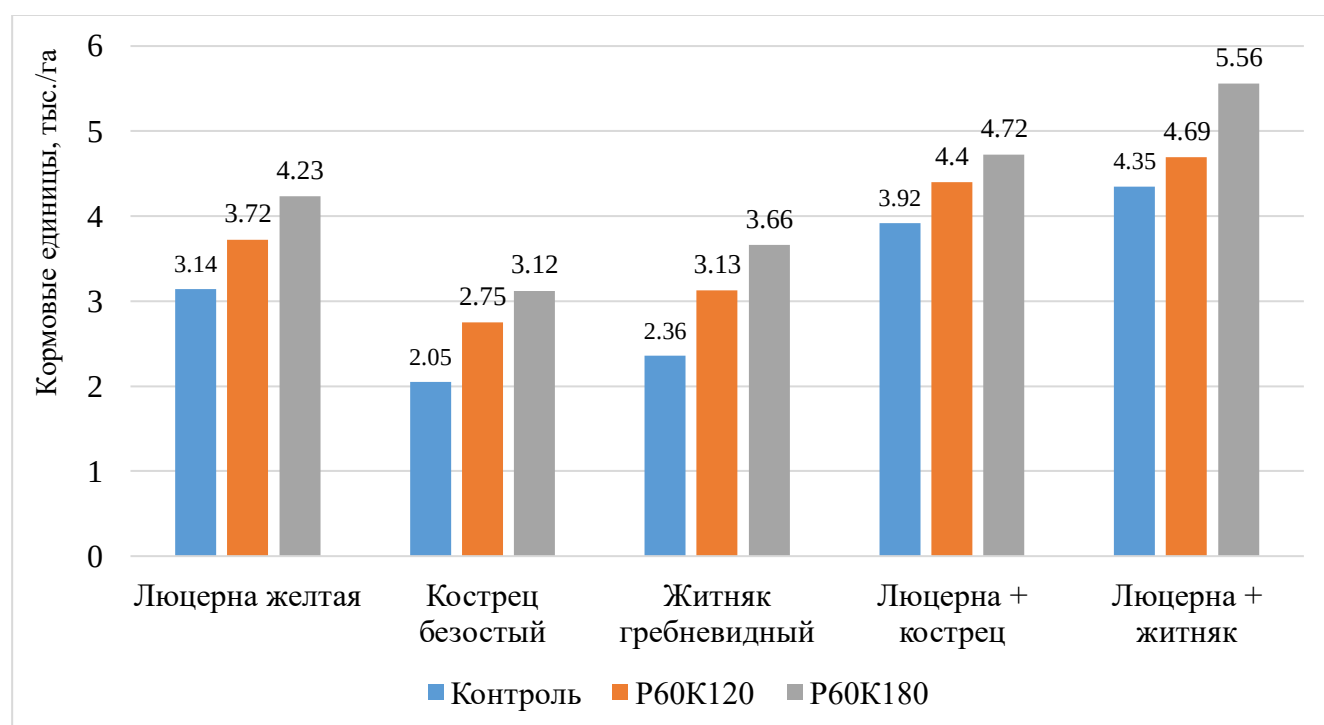


Рисунок 6 – Влияние систем фосфорно-калийного удобрения на сбор кормовых единиц (2022 – 2024 гг.), тыс./га

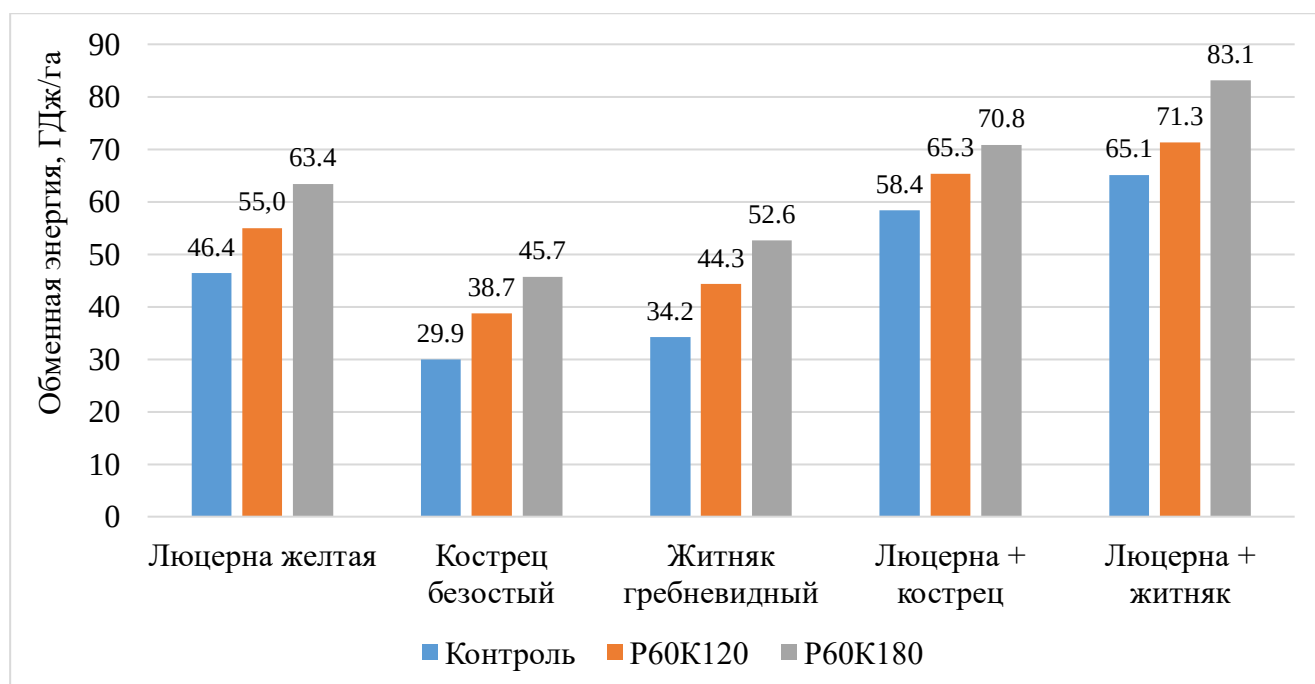


Рисунок 7 – Влияние систем фосфорно-калийного удобрения на сбор обменной энергии (2022 – 2024 гг.), ГДж/га

Наиболее высокие абсолютные значения получены в травосмеси люцерна желтая + житняк гребневидный: 4,35 тыс. кормовых единиц и 65,1 ГДж/га в контроле, с увеличением до 5,56 тыс. и 83,1 ГДж/га при $P_{60}K_{180}$. Прирост относительно контроля составляет +27,8 % по кормовым единицам и +27,7 % по обменной энергии. Несмотря на высокий абсолютный уровень, относительная отзывчивость ниже, чем у житняка гребневидного в монокультуре.

Максимальный относительный прирост энергетической продуктивности (до 55 %) характерен для злаковых монокультур при дозе $P_{60}K_{180}$.

4.1.3 Воздействие систем фосфорно-калийного удобрения на сбор сырого жира и сырой клетчатки

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор сырой клетчатки люцерны желтой с 1,70 т/га до 2,00 т/га, $P_{60}K_{180}$ до 2,39 т/га. Применения удобрения $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор сырого жира с 85,7 кг/га в контроле до 86,1 кг/га, $P_{60}K_{180}$ до 106,3 кг/га. Коэффициенты вариации составили 17,0 % и 12,7%, что свидетельствует о средней степени рассеивания данных.

Минеральное удобрение в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор сырой клетчатки костреца безостого с 1,05 т/га в контроле до 1,26 т/га, $P_{60}K_{180}$ до 1,62 т/га. Применение минерального удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличило сбор сырого жира с 72,8 кг/га в контроле до 126,6 кг/га, $P_{60}K_{180}$ до 140,5 кг/га. Коэффициенты вариации составили 22,0 % и 31,6 %, что свидетельствует о значительной степени рассеивания данных.

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор сырой клетчатки житняка гребневидного с 1,23 т/га в контроле до 1,46 т/га, $P_{60}K_{180}$ до 1,80 т/га. Сбор сырого жира при применении фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличился с 64,0 кг/га в контроле до 96,5 кг/га, $P_{60}K_{180}$ до 98,3 кг/га. Коэффициенты вариации равнялись 19,2 % и 22,4 %, что свидетельствует о средней и значительной степени рассеивания данных соответственно.

Фосфорно-калийное удобрение в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор сырой клетчатки в зеленой массе травосмеси люцерны желтая + кострец безостый с 2,26 т/га до 2,48 т/га и увеличением сбора сырого жира с 124,3 кг/га до 168,6 кг/га. От применения дозы фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ сбор сырой клетчатки составил 2,74 т/га, тогда как сбор сырого жира снизился до 145,7 кг/га. Коэффициенты вариации составили 9,6 % и 15,2 %, что свидетельствует о низкой и средней степени рассеивания данных соответственно.

Доза удобрения $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор сырой клетчатки в травосмеси люцерны желтая + житняк гребневидный с 2,52 т/га до 2,90 т/га, а сбор сырого жира снижает с 130,0 кг/га до 129,7 кг/га. При увеличении дозы фосфорно-калийного удобрения до $P_{60}K_{180}$ сбор сырой клетчатки составил 3,17 т/га, сбор сырого жира увеличился до 129,9 кг/га. Коэффициенты вариации составили 11,4 % и 0,12 %, что свидетельствует о средней и незначительной степени рассеивания данных соответственно (Рисунок 8, Рисунок 9, Приложение В, Таблица В.3).

Сравнительный анализ свидетельствует, что при применении удобрения $P_{60}K_{120}$ наиболее высокий сбор сырой клетчатки формировался в травосмеси люцерны желтая + житняк гребневидный, тогда как максимальный сбор сырого жира отмечен в травосмеси люцерны желтая + кострец безостый.

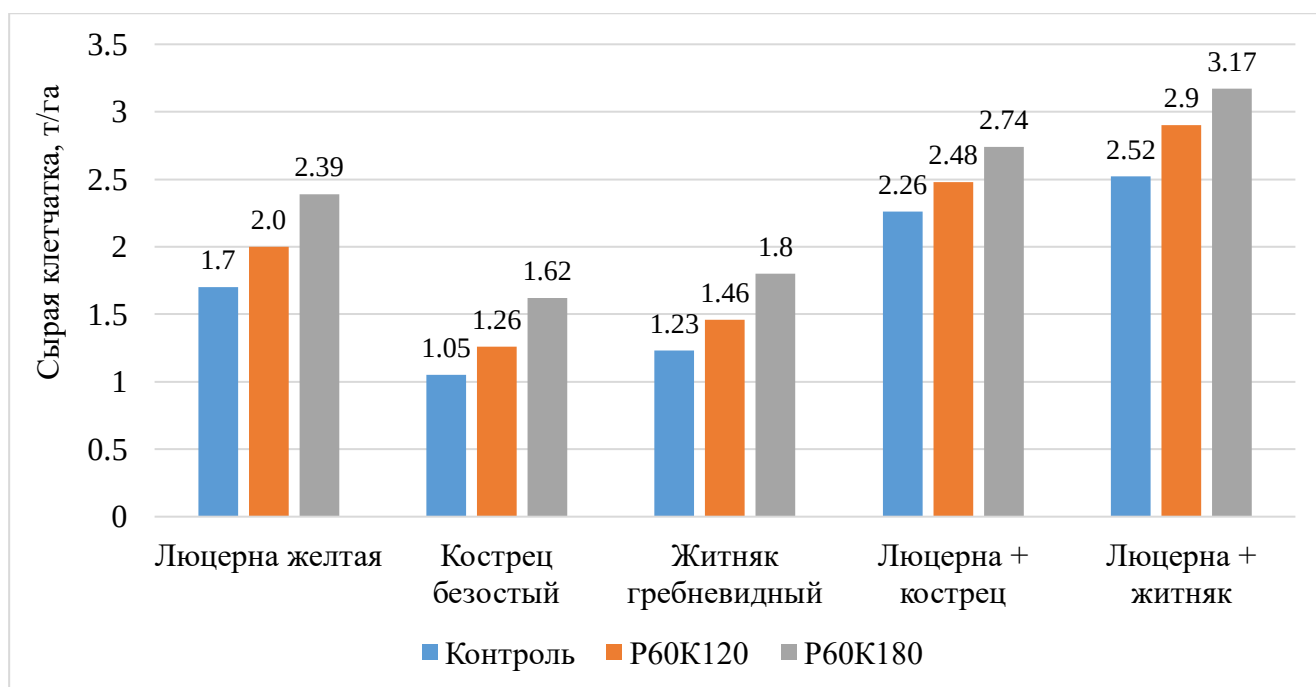


Рисунок 8 – Воздействие систем фосфорно-калийного удобрения на сбор сырого жира (2022 – 2024 гг.), т/га

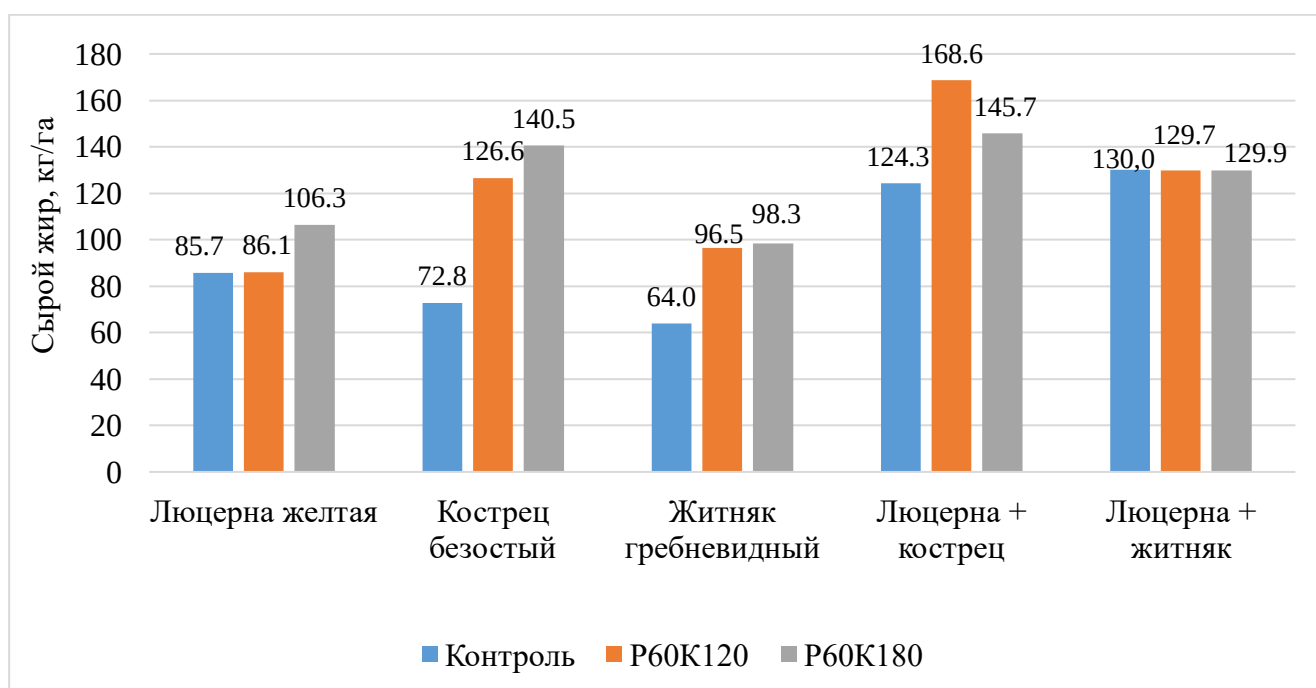


Рисунок 9 – Воздействие систем фосфорно-калийного удобрения на сбор сырой клетчатки (2022 – 2024 гг.), кг/га

Таким образом, повышение доз фосфорно-калийного удобрения стабильно увеличивает продуктивность сырой клетчатки во всех вариантах. Сбор сырого жира также возрастает у большинства монокультур, однако в травосмесях реакция

носит менее выраженный и иногда нелинейный характер, что связано с особенностями видового состава и взаимодействия компонентов травостоя.

4.1.4 Действие фосфорно-калийного удобрения на сбор безазотистых экстрактивных веществ и сырой золы

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор сырой золы с 0,34 т/га до 0,43 т/га, $P_{60}K_{180}$ до 0,52 т/га. Использование дозы удобрения $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор безазотистых веществ с 1,96 т/га в контроле до 2,33 т/га, $P_{60}K_{180}$ – до 2,77 т/га. Коэффициенты вариации составили 20,9 % и 17,2%, что свидетельствует о значительной и средней степени рассеивания данных соответственно.

Минеральное удобрение в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор сырой золы костреца безостого с 0,16 т/га в контроле до 0,20 т/га, $P_{60}K_{180}$ до 0,26 т/га. Применение удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор безазотистых веществ с 1,50 т/га в контроле до 1,94 т/га, $P_{60}K_{180}$ до 2,25 т/га. Коэффициенты вариации составили 24,4 % и 19,9%, что свидетельствует о значительной и средней степени рассеивания данных соответственно.

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор сырой золы житняка гребневидного с 0,13 т/га в контроле до 0,20 т/га, $P_{60}K_{180}$ – до 0,27 т/га. Сбор безазотистых веществ от фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличился с 1,88 т/га в контроле до 2,32 т/га, $P_{60}K_{180}$ – до 2,75 т/га. Коэффициенты вариации составили 32,0 % и 18,8 %, что свидетельствует о значительной и средней степени рассеивания данных соответственно.

Фосфорно-калийное удобрение в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор сырой золы в травосмеси люцерны желтая + кострец безостый с 0,41 т/га до 0,44 т/га и сбора безазотистых веществ с 2,58 т/га до 2,96 т/га. От дозы фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ сбор сырой золы увеличился до 0,47 т/га, безазотистых веществ до 3,34 т/га. Коэффициенты вариации составили 6,8 % и 12,8 %, что свидетельствует о незначительной и средней степени рассеивания данных соответственно.

Удобрение в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает сбор сырой золы травосмеси люцерны желтая + житняк гребневидный с 0,47 т/га до 0,44 т/га, безазотистых экстрактивных веществ с 2,82 т/га до 3,26 т/га. Доза фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ увеличивает сбор сырой золы до 0,52 т/га, безазотистых веществ до 3,88 т/га. Коэффициенты вариации составили 8,5 % и 16,0 %, что свидетельствует о незначительной и средней степени рассеивания данных соответственно (Рисунок 10, Рисунок 11, Приложение В, Таблица В.4).

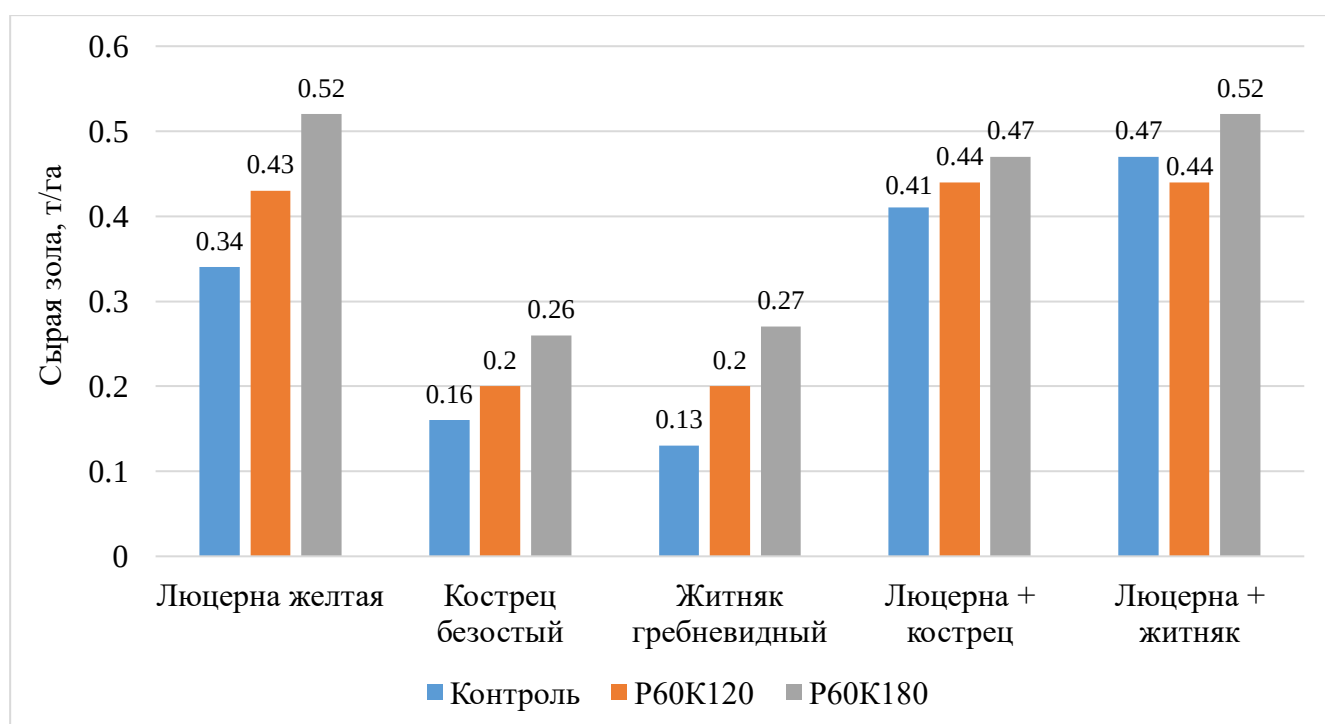


Рисунок 10 – Действие фосфорно-калийного удобрения на сбор сырой золы (2022 – 2024 гг.), т/га

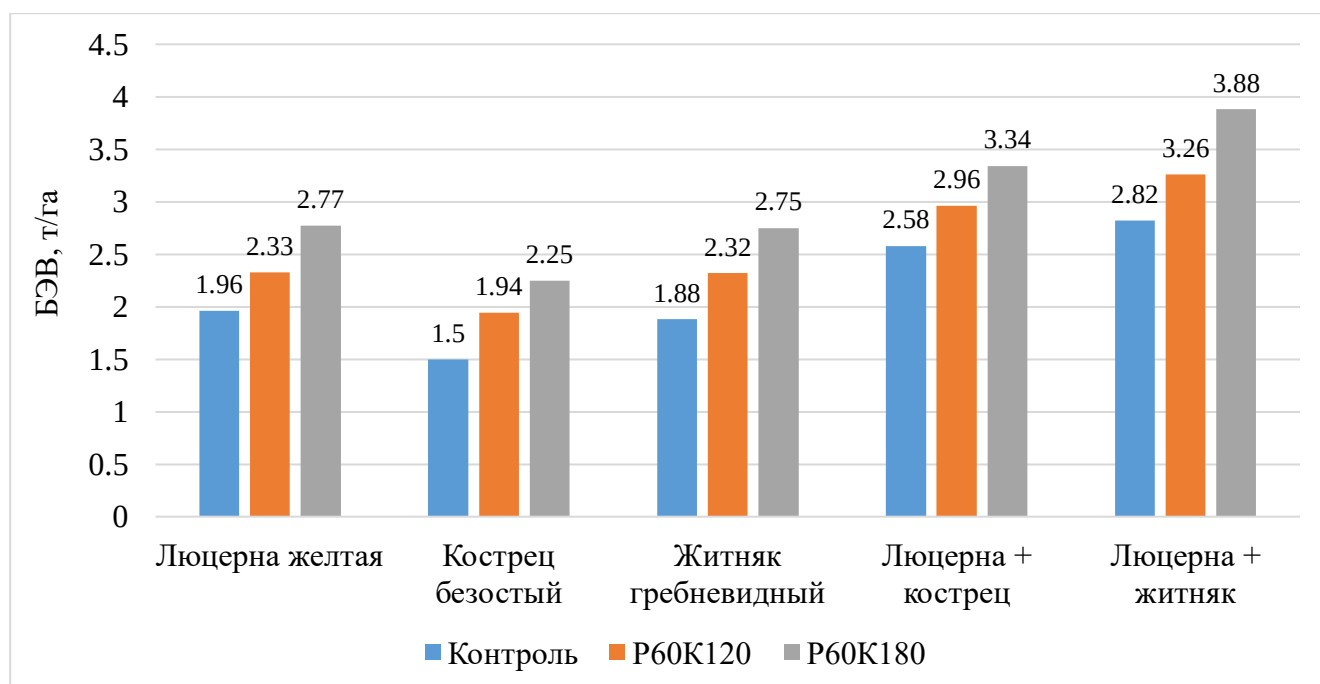


Рисунок 11 – Действие фосфорно-калийного удобрения на сбор безазотистых экстрактивных веществ (2022 – 2024 гг.), т/га

Сравнительный анализ свидетельствует, что применение удобрения $P_{60}K_{120}$ формирует наиболее высокий сбор безазотистых экстрактивных веществ у травосмеси люцерна желтая + житняк гребневидный, тогда как максимальный сбор сырой золы отмечен у люцерны желтой и травосмеси люцерна желтая + житняк гребневидный.

4.2 Факторы, определяющие качество многолетних трав

Качество кормовой массы многолетних трав в исследовании оценивается по совокупности показателей, характеризующих её питательную и энергетическую ценность. Основными из них являются содержание сырого протеина, определяющего биологическую полноценность корма, а также безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ), отражающих энергетическую обеспеченность, и сырой клетчатки, влияющей на переваримость корм. Дополнительно учитывается содержание сырого жира и обменной энергии в зеленой массе (Косолапов, 2014; Худякова, 2021; Бахтыгалиев, 2024).

Качество зеленой массы многолетних трав формируется под воздействием комплекса взаимосвязанных факторов, включающих биологические особенности культур, уровень минерального питания, гидротермические условия вегетационного периода, агрохимические свойства почвы и радиоэкологическую обстановку территории. Соотношение белковых, углеводных и структурных компонентов сухого вещества, а вместе с этим кормовая и энергетическая ценность продукции определяются направленностью физиолого-биохимических процессов в растениях, на которую влияет каждый из указанных факторов (Коновалова, 2021; Бахтыгалиев, 2024).

Биологические особенности видов являются базовым фактором, обуславливающим различия в химическом составе надземной массы. Бобовые культуры, в частности люцерна желтая, характеризуются повышенной способностью к накоплению сырого протеина за счет симбиотической фиксации атмосферного азота и более интенсивного белкового обмена. Злаковые травы (кострец безостый, житняк гребневидный) формируют большую долю структурных углеводов, что проявляется в повышенном содержании клетчатки и безазотистых экстрактивных веществ. В гетерогенных посевах формируется более сбалансированный химический состав зеленой массы, что обусловлено биологическим взаимодействием компонентов травостоя (Зарьянова, 2017; Коновалова, 2018; Эседуллаев, Шмелева, 2019;)

В рамках исследования проведенного Кравченко с соавторами (2024) выявлено насколько существенно может изменяться качество трав в зависимости от конкретного сорта. Отличия в содержании такого важного компонента как сырой протеин может достигать 15–20 %.

Существенную роль в формировании качества кормовой продукции играет уровень минерального питания. Применение фосфорно-калийного удобрения в зеленой массе люцерны изменчивой увеличивает содержание сырого протеина на 0,70–3,14 %, с постепенным ростом при повышении дозы калия ($P_{60}K_{120}$ - $P_{60}K_{210}$). У кострца безостого содержание протеина возрастает на 1,96–8,27 %, причём

наблюдается чёткая зависимость показателя от увеличения доз удобрения (Шаповалов и др., 2022).

В рамках исследований Прокина, Пугаев (2024), было установлено: содержание сырого протеина у люцерны практически не изменяется от применения фосфорно-калийного удобрения $P_{40}K_{40}$ ($19,12 \rightarrow 19,06 \%$), но возрастает до $19,56 \%$ при $N_{40}P_{40}K_{40}$ ($+0,44$ п.п.). У костреца безостого применение дозы $P_{40}K_{40}$ вызывает незначительное снижение содержания протеина ($10,69 \rightarrow 10,56 \%$), применение азотного удобрения увеличивает сбор протеина до $13,06 \%$ ($+2,37$ п.п.), что свидетельствует о более высокой зависимости злаковой культуры от азотного питания (Прокина, Пугаев, 2024).

По результатам трёхлетнего исследования на многолетних травах, применение гранулированных органических удобрений увеличивает содержание протеиновой фракции на $14\text{--}21 \%$ (Буряк, 2025).

В варианте с фосфорно-калийным удобрением в дозе $P_{60}K_{180}$ зафиксировано максимальное содержание сырого протеина — $14,98 \%$. Этот же вариант обеспечил и наивысший выход сырого протеина с 1 га — 1045 кг/га. Кроме того, от применения удобрения $P_{60}K_{180}$ отмечены пиковые значения сбора кормовых единиц ($3,8$ тыс./га) и обменной энергии ($59,0$ ГДж/га) (Ситнов и др., 2023).

Применение удобрения $P_{45}K_{90}$ повышает в зеленой массе люцерны желтой содержание сырого протеина с $15,4 \%$ в контроле до $16,7 \%$, сырого жира — с $2,2$ до $2,7 \%$, сырая клетчатка снижается с $26,9$ до $25,1 \%$. Сбор БЭВ остаётся на уровне контроля ($45,7 \rightarrow 45,2 \%$), а сухого вещества возрастает с $21,2$ до $25,1 \%$. В зеленой массе костреца безостого содержание сырого протеина увеличивается с $12,7$ до $14,0 \%$ ($+1,3$ п.п.), сырого жира — с $2,2$ до $2,9 \%$. Содержание сырой клетчатки практически не изменяется ($29,5 \rightarrow 29,2 \%$), процентное содержание безазотистых веществ снижается с $46,5$ до $44,6 \%$, а процентное содержание сухого вещества увеличивается с $41,2$ до $41,5 \%$ (Цыбал, 2015).

Применение удобрения $N_{160}P_{160}K_{220}$ увеличивает содержание сырого протеина в сене многолетних трав на $18,0 \%$. Для трав первого и второго годов пользования наибольшей экономической эффективностью отличался вариант с

внесением удобрения в дозе $N_{60}P_{60}K_{75}$. Применение данного удобрения увеличило содержание протеина на 14,6 % (Конова, Гаврилова, 2018).

Применение фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ в зеленой массе люцерно-кострецовой травосмеси на дерново-подзолистой почве повысило сбор протеина с 11,28 % в контроле до 12,72 %; у травосмеси люцерна желтая + житняк гребневидный – с 11,40 % до 12,84 % соответственно (Харкевич, 2022).

Проанализировав исследование Харкевич с соавторами (2017), можно удостовериться во влиянии даже небольших доз фосфорно-калийного удобрения на качество зеленой массы. Применение системы удобрения $P_{60}K_{45}$ увеличило по сравнению с контролем (9,37 % протеина; 3,21 % жира) содержание сырого протеина в зеленой массе травостоя многолетних трав до 10,12 % (+0,75 п.п.), сырого жира – до 3,39 % (+0,18 п.п.). Доза удобрения $P_{60}K_{60}$ увеличивает содержание протеина до 10,94 % (+1,57 п.п. к контролю), жира – до 3,55 % (+0,34 п.п.).

В контроле содержание сырого протеина составляет 15,66 %, сырой клетчатки – 23,99 %, БЭВ – 39,09 %. Применение дозы удобрения P_{60} увеличивает содержание протеина до 16,97 % (+1,31 п.п. к контролю), клетчатка снижается до 23,35 % (–0,64 п.п.), БЭВ возрастает до 39,92 % (+0,83 п.п.). При K_{60} протеин составляет 16,71 % (+1,05 п.п.), клетчатка – 23,63 % (–0,36 п.п.), БЭВ – 39,89 % (+0,80 п.п.). Доза удобрения $P_{60}K_{60}$ увеличивает содержание протеина до 16,82 % (+1,16 п.п.), клетчатка снижается до 23,31 % (–0,68 п.п.), БЭВ увеличивается до 39,56 % (+0,47 п.п.) (Федюшкин, 2018).

На почвах, подвергшихся радиоактивному загрязнению, особое внимание уделяют содержанию ^{137}Cs в продукции растениеводства. В исследованиях Белоуса с соавторами (2011) ярко отражено, что внесение фосфорно-калийного удобрения в почву, содержащую радиоцезий, позволяет держать уровень этого элемента в допустимом диапазоне.

Гидротермические условия вегетационного периода оказывают модифицирующее влияние на действие удобрения и реализацию биологического потенциала культур. Повышенные температуры и дефицит влаги способствуют

увеличению доли клетчатки и снижению концентрации протеина, тогда как оптимальное увлажнение и умеренный температурный режим обеспечивают более интенсивный синтез белковых соединений (Жанзаков, 2022).

В исследованиях Юсовой (2018) в очередной раз установлено, что климатические условия года исследования могут оказывать ключевое влияние на содержание белка и клетчатки в урожае люцерны желтой (до 80 %) и костреца безостого (до 90 %). Также стоит отметить, что в тех же исследованиях установлено, что снижение содержания клетчатки приводит к увеличению содержания белка.

В исследованиях Моторин (2019) выявлено, что прекращение внесения минерального удобрения при выращивании многолетних трав ведёт к ухудшению качества сена, особенно выраженному в первом укосе, что диктует необходимость возобновления подкормок. При этом последствие фосфорных удобрения сохраняется на года – их допустимо вносить в запас на несколько сезонов. А калийные удобрения для получения качественного урожая требуется вносить ежегодно. Наибольшее качество сена многолетних трав зафиксировано именно в годы внесения минеральных удобрения. Спустя четыре года после отмены подкормок содержание азота в сене снижается: в первом укосе – на 19,9–28,8%, во втором – на 13–18 %.

Максимальные значения энергетического коэффициента (ЭК) и коэффициента энергетической эффективности (КЭЭ) зафиксированы при выращивании люпино-просяной и люпино-суданковой травосмесей в условиях радиоактивно загрязненных агроландшафтов от применения калийного удобрения дозой K_{210} (Шаповалов и др., 2016).

Контрастные погодные условия 2022 – 2024 гг., характеризующиеся чередованием периодов избыточного увлажнения и атмосферной засухи, создавали различный фон для формирования химического состава травостоев.

Следовательно, качество многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах определяется комплексным взаимодействием биологических, агрохимических и климатических факторов. Оценка их совместного влияния в

условиях дерново-подзолистой песчаной почвы Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции позволяет установить закономерности формирования химического состава зеленой массы и научно обосновать оптимальные дозы фосфорно-калийного удобрения.

4.2.1 Влияние фосфорно-калийного удобрения на содержание безазотистых экстрактивных веществ и сырого протеина

В контрольном варианте в зеленой массе люцерны желтой содержание сырого протеина составило 17,02 %. Применение удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличило содержание протеина с 17,02% до 17,34 % (+0,32 п.п., или +1,9 % к контролю), а $P_{60}K_{180}$ снизило до 16,05 %, что на 0,97 п.п. (–5,7 %) ниже контроля. Коэффициент вариации составил 4,0 %, что свидетельствует о высокой степени однородности данных (Рисунок 12, Приложение Г, Таблица Г.1).

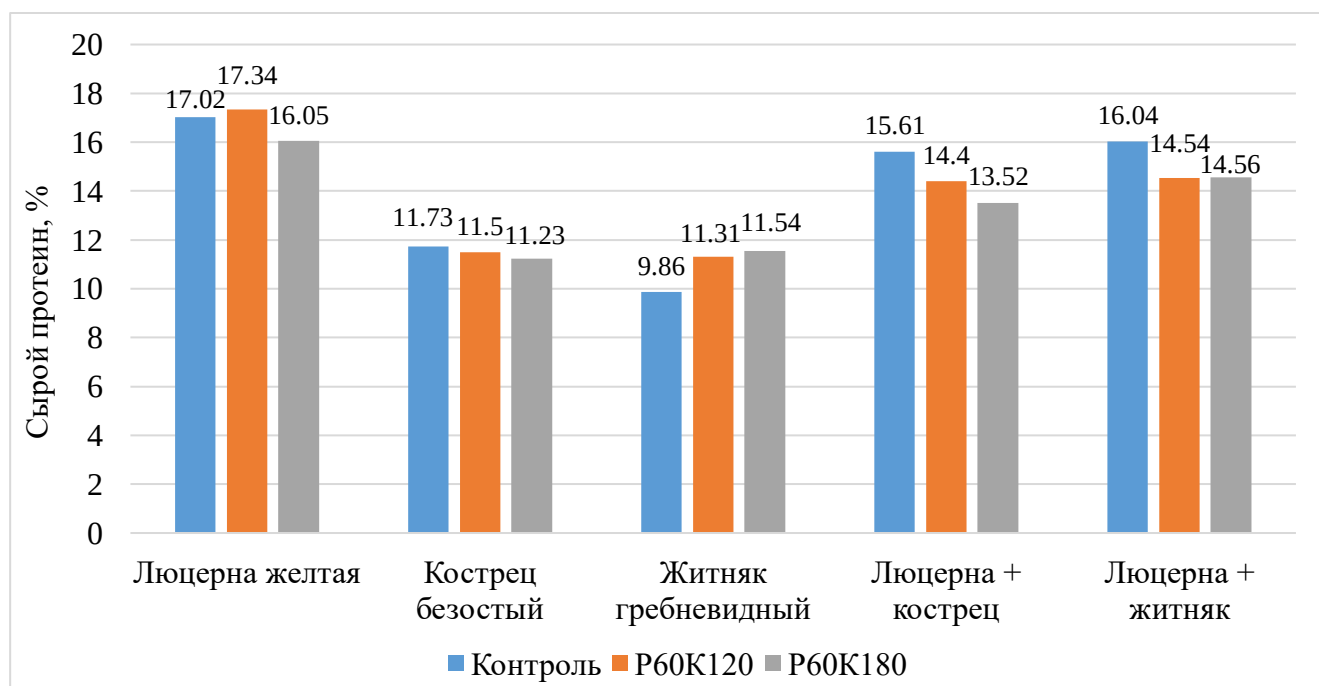


Рисунок 12 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на содержание сырого протеина (2022 – 2024 гг.), %

От использования дозы удобрения $P_{60}K_{120}$ содержание БЭВ выросло с 35,80 % в контроле до 35,95 %, $P_{60}K_{180}$ – до 36,36 %. Для бобовой культуры такая реакция объяснима: при достаточном обеспечении элементами питания

усиливается синтез углеводов, и при высокой урожайности наблюдается относительное «разбавление» белка в сухом веществе (Рисунок 13, Приложение Г, Таблица Г.1).

Повышение доз фосфорно-калийного удобрения при выращивании костреца безостого обеспечивает более выраженное снижение доли протеина. Применение минерального удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ уменьшает содержание сырого протеина с 11,73 % в контроле до 11,50 %, $P_{60}K_{180}$ до 11,23 %. Применение дозы удобрения $P_{60}K_{120}$ обеспечило увеличение содержания БЭВ до 44,66 %, $P_{60}K_{180}$ снизило содержание БЭВ до 42,17 %.

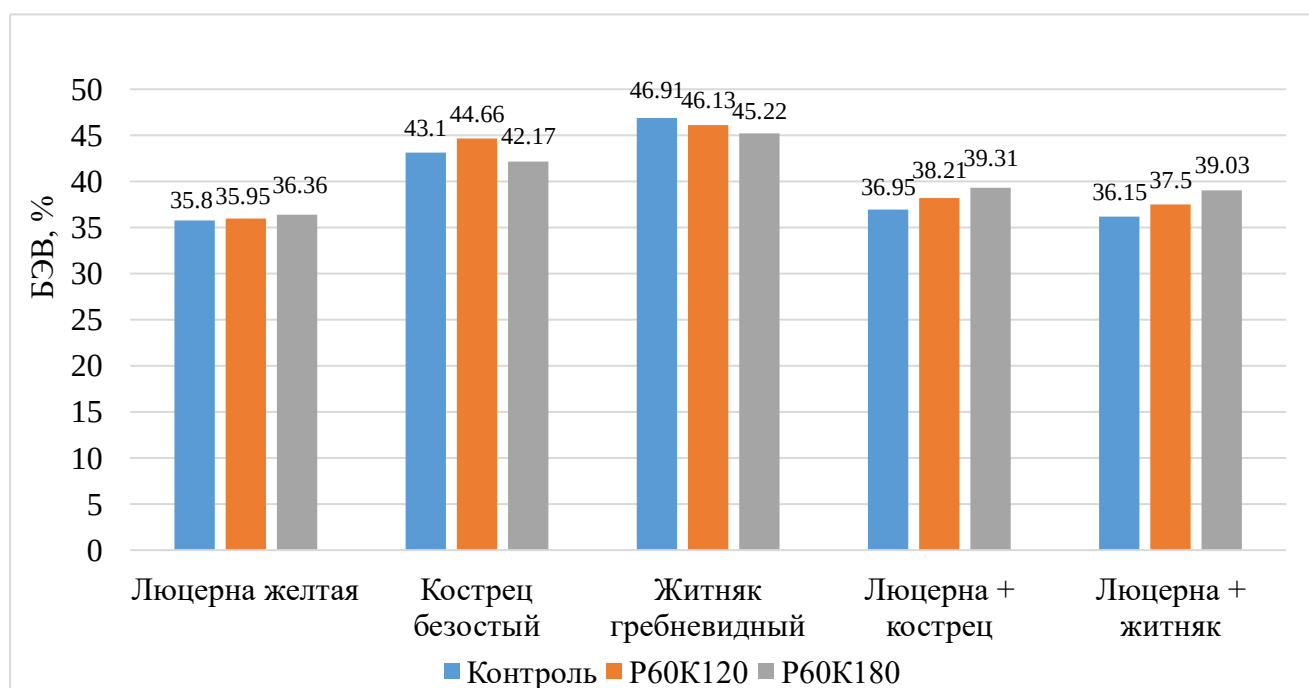


Рисунок 13 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на содержание БЭВ (2022–2024 гг.), %

Поскольку кострец безостый относится к злаковым культурам и не фиксирует атмосферный азот, усиление роста под влиянием фосфорно-калийного питания без дополнительного азота приводит к относительному снижению концентрации белка в сухом веществе.

Применение удобрения $P_{60}K_{120}$ увеличило содержание сырого протеина в зеленой массе житняка гребневидного с 9,86 % в контроле до 11,31 %, $P_{60}K_{180}$ – до

11,54 %. Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ снижает содержание БЭВ с 46,91 % до 46,13 %, $P_{60}K_{180}$ – до 45,22 %.

Средние за 2022 – 2024 гг. показатели качества травосмесей (люцерна желтая + кострец безостый и люцерна желтая + житняк гребневидный) демонстрируют более выраженную зависимость содержания сырого протеина и БЭВ от доз фосфорно-калийного удобрения по сравнению с монокультурами, что связано с изменением конкурентных взаимоотношений компонентов в травостое.

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ сопровождалось снижением содержания сырого протеина в зеленой массе травосмеси люцерна желтая + кострец безостый с 15,61 % до 14,40 % и одновременным увеличением содержания БЭВ до 38,21 %. От дозы фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ тенденция усилилась: содержание протеина снизилось до 13,52 %, содержание БЭВ возросло до 39,31 %. Повышение дозы удобрения приводит к уменьшению доли белка и увеличению углеводного комплекса. Усиление фосфорно-калийного питания способствует более интенсивному развитию злакового компонента (костреца безостого), что приводит к относительному снижению белковой доли, характерной для люцерны.

От дозы удобрения $P_{60}K_{120}$ содержание протеина в зеленой массе травосмеси люцерна желтая + житняк гребневидный снижается с 16,04 % до 14,54 %, а содержание БЭВ составляет 37,50 %, $P_{60}K_{180}$ обеспечивает содержание протеина 14,56 %, тогда как содержание БЭВ достигает 39,03 %.

Травосмесям свойственно возрастание доли безазотистых экстрактивных веществ, сопровождающееся уменьшением процентного содержания сырого протеина по мере увеличения доз фосфорно-калийного удобрения. Это свидетельствует о смещении химического состава сухого вещества в сторону углеводов и отражает изменение структуры травостоя под влиянием удобрения, прежде всего усиление роли злакового компонента. По величине снижения протеина более чувствительной оказалась травосмесь люцерна желтая + кострец безостый, тогда как в травосмеси люцерна желтая + житняк гребневидный изменения носят более сглаженный характер. Коэффициент вариации во всех

исследуемых вариантах был в диапазоне 0,4–8,4 %, что свидетельствует о незначительной степени рассеивания данных.

4.2.2 Воздействие фосфорно-калийного удобрения на содержание обменной энергии и перевариваемого протеина

Результаты лабораторно-аналитических исследований обменной энергии за 2022 – 2024 гг. свидетельствует, что влияние доз фосфорно-калийного удобрения на энергетическую ценность кормов выражено умеренно и носит нелинейный характер. Абсолютные колебания находятся в пределах 0,67 МДж/кг (от 8,23 до 8,90 МДж/кг), что составляет около 8,14 % от минимального значения. Следовательно, изменение доз удобрения оказывает скорее корректирующее, чем радикальное воздействие на энергетическую плотность сухого вещества.

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ сохраняет содержание обменной энергии на уровне контроля – 8,47 МДж/кг, $P_{60}K_{180}$ снижает содержание до 8,33 МДж/кг. Использование удобрения $P_{60}K_{120}$ увеличивает содержание переваримого протеина с 120,6 г в контроле до 123,4 г, $P_{60}K_{180}$ снижает до 112,0 г.

От дозы удобрения $P_{60}K_{120}$ увеличивается содержание обменной энергии в зеленой массе костреца безостого с 8,57 МДж/кг в контроле до 8,90 МДж/кг, $P_{60}K_{180}$ снижает содержание обменной энергии до 8,53 МДж/кг. Применение минерального удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ уменьшает содержание переваримого протеина с 73,8 г в контроле до 71,8 г, $P_{60}K_{180}$ до 69,4 г.

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает содержание обменной энергии в зеленой массе житняка гребневидного с 8,60 МДж/кг в контроле до 8,80 МДж/кг, $P_{60}K_{180}$ – до 8,67 МДж/кг. Содержание переваримого протеина, от применения фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$, увеличилось с 57,2 г в контроле до 70,1 г., от $P_{60}K_{180}$ до 72,1 г.

Доза удобрения $P_{60}K_{120}$ увеличивает содержание обменной энергии в зеленой массе травосмеси люцерны желтая + костреч безостый с 8,40 МДж/кг до 8,43 МДж/кг и одновременным снижением содержания переваримого протеина со 108,1

г до 97,4 г. От дозы фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ тенденция усилилась: содержание обменной энергии снизилось до 8,33 МДж/кг, содержание протеина уменьшилось до 89,7 г.

Применение удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ снижает содержание обменной энергии в зеленой массе травосмеси люцерна желтая + житняк гребневидный с 8,36 МДж/кг до 8,23 МДж/кг, а содержание переваримого протеина с 112,0 г до 98,7 г. Фосфорно-калийное удобрение $P_{60}K_{180}$ обеспечивает содержание обменной энергии 8,37 МДж/кг, содержание переваримого протеина составило 98,9 г (Рисунок 14, Рисунок 15, Приложение Г, Таблица Г.2).

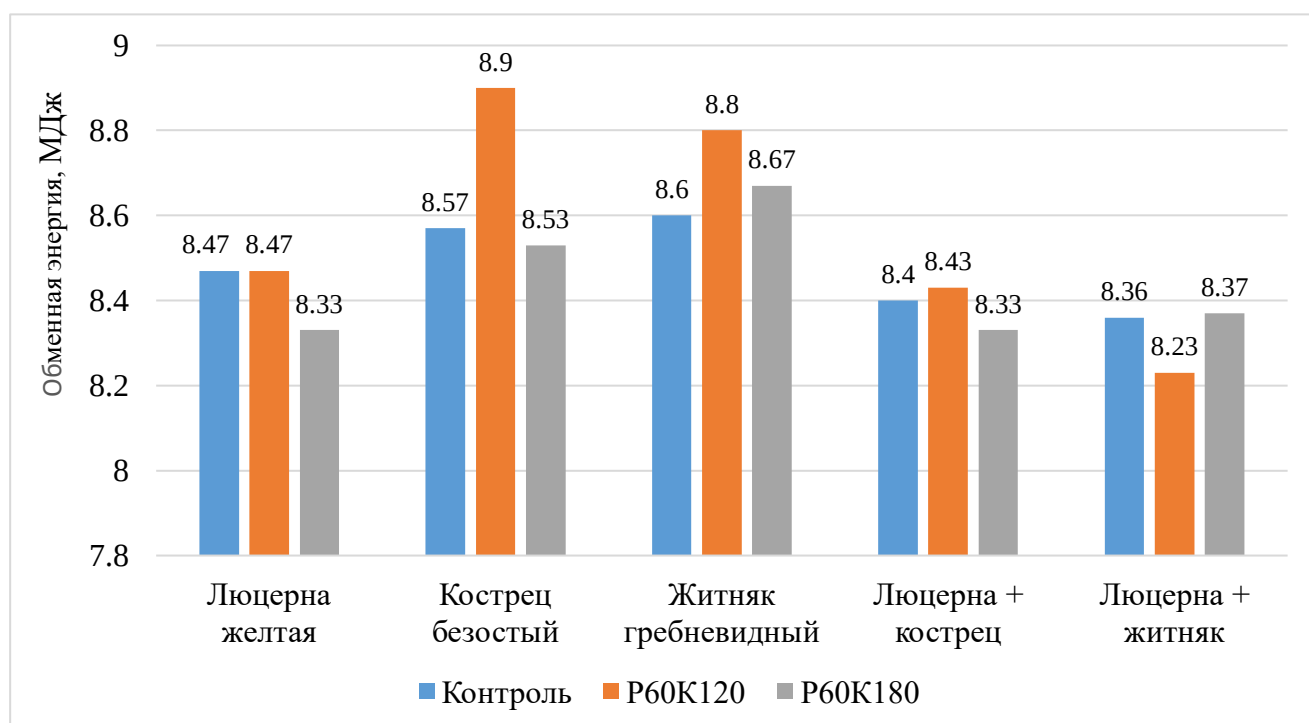


Рисунок 14 – Воздействие фосфорно-калийного удобрения на содержание обменной энергии в 1 кг сухого вещества (2022 – 2024 гг.), МДж

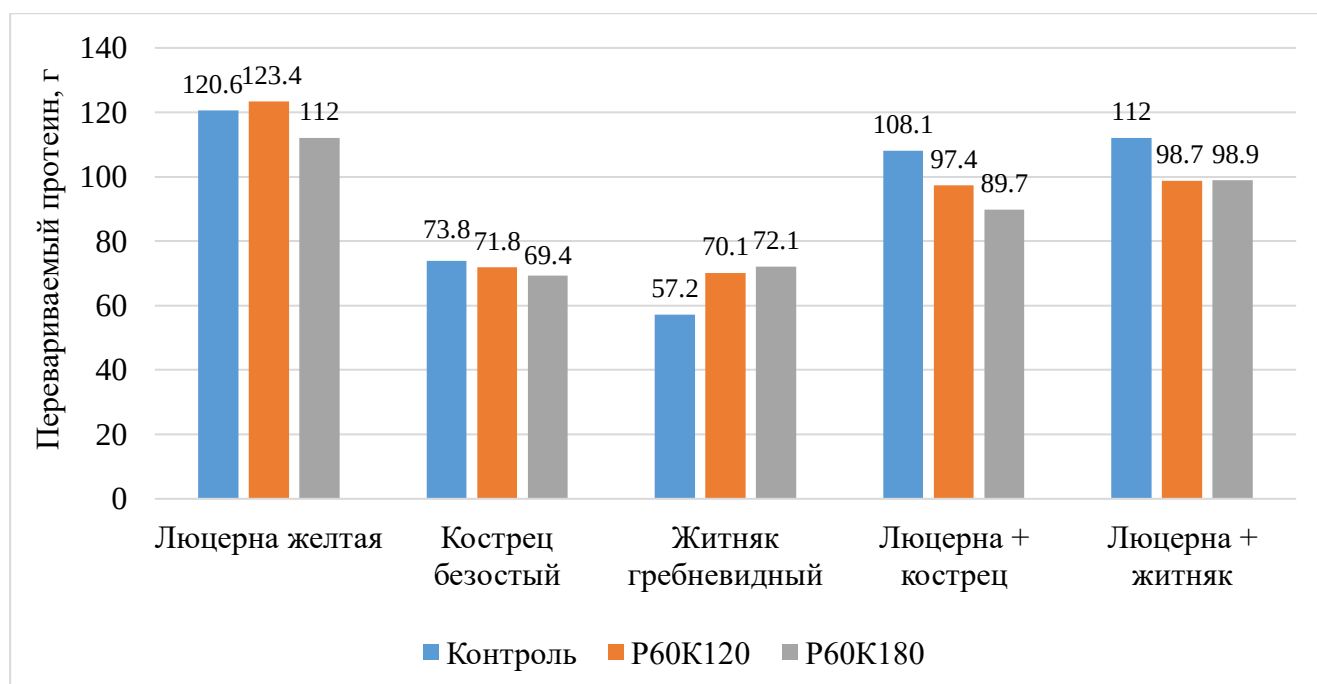


Рисунок 15 – Воздействие фосфорно-калийного удобрения на содержание перевариваемого протеина (2022 – 2024 гг.), г.

Сравнительный анализ свидетельствует, что применение удобрения $P_{60}K_{120}$ приводит к формированию наиболее высокой обменной энергии в костреце безостом, тогда как минимальное значение отмечено у травосмеси люцерна желтая + житняк гребневидный при той же дозе. Это подчёркивает, что энергетический эффект удобрения зависит не только от уровня питания, но и от ботанического состава агрофитоценоза.

Коэффициент вариации во всех исследуемых вариантах, кроме показателя содержания переваримого протеина в зеленой массе житняка гребневидного, был в диапазоне 0,6–9,4 %, что свидетельствует о незначительной степени рассеивания данных.

4.2.3 Влияние доз фосфорно-калийного удобрения на содержание сырого жира и сырой клетчатки

Анализ средних данных за 2022 – 2024 гг. по содержанию сырого жира и сырой клетчатки свидетельствует о различной направленности изменений

компонентов сухого вещества в зависимости от ботанической принадлежности культуры и доз фосфорно-калийного удобрения.

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ снижает содержание сырого жира с 1,55% до 1,32 %, а $P_{60}K_{180}$ увеличивает до 1,42 %. Применение дозы удобрения $P_{60}K_{120}$ снижает содержание сырой клетчатки с 30,98 % в контроле до 30,84 %, а $P_{60}K_{180}$ увеличивает до 31,52 %.

Доза удобрения $P_{60}K_{120}$ увеличивает содержание сырого жира в зеленой массе костреца безостого с 2,11 % в контроле до 2,89 %, $P_{60}K_{180}$ снижает содержание жира до 2,62 %. Применение минерального удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ уменьшает содержание сырой клетчатки с 29,76 % в контроле до 28,86 %, а $P_{60}K_{180}$ повышает до 30,18 %.

Применение удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает содержание сырого жира в зеленой массе житняка гребневидного с 1,60 % в контроле до 1,92 %, $P_{60}K_{180}$ снижает до 1,63 %. Содержание сырой клетчатки после применения фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ снизилось с 30,73 % в контроле до 29,00 %, после применения $P_{60}K_{180}$ содержание составило 29,68 %.

Удобрение в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает содержание сырого жира в зеленой массе травосмеси люцерны желтая + кострец безостый с 1,79 % до 2,18 % и одновременным снижением содержания сырой клетчатки с 32,37 % до 32,05 %. Доза фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ изменила тенденцию: содержание сырого жира снизилось до 1,72 %, тогда как содержание сырой клетчатки составило 32,23 %.

При применении фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{120}$ содержание сырого жира в зеленой массе травосмеси люцерны желтая + житняк гребневидный снизилось с 1,67 % до 1,49 %, содержание сырой клетчатки увеличилось с 32,21 % до 33,40 %. Доза удобрения $P_{60}K_{180}$ снизила содержание сырого жира до 1,31 %, содержание сырой клетчатки снизилось до 31,90 % (Рисунок 16, Рисунок 17, Приложение Г, Таблица Г.3).

От применения удобрения $P_{60}K_{120}$ наиболее высокое содержание сырого жира формировалось у костреца безостого, а сырой клетчатки у травосмеси люцерны желтая + житняк гребневидный.

Коэффициент вариации во всех исследуемых вариантах по содержанию сырой клетчатки – 0,5-2,9 %, что свидетельствует о незначительной степени рассеивания данных. По содержанию сырого жира от 8,1 до 15,6 %, что указывает на среднюю степень изменчивости данных.

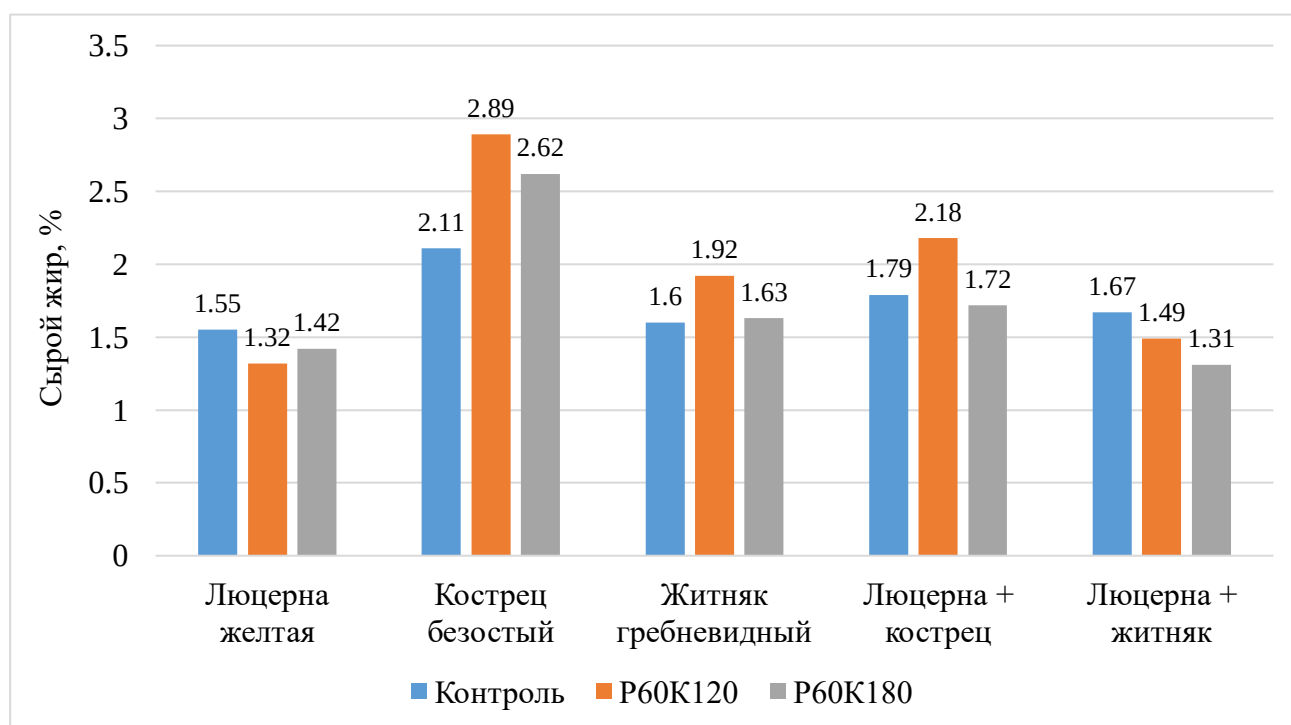


Рисунок 16 – Влияние доз фосфорно-калийного удобрения на содержание сырого жира (2022–2024 гг.), %

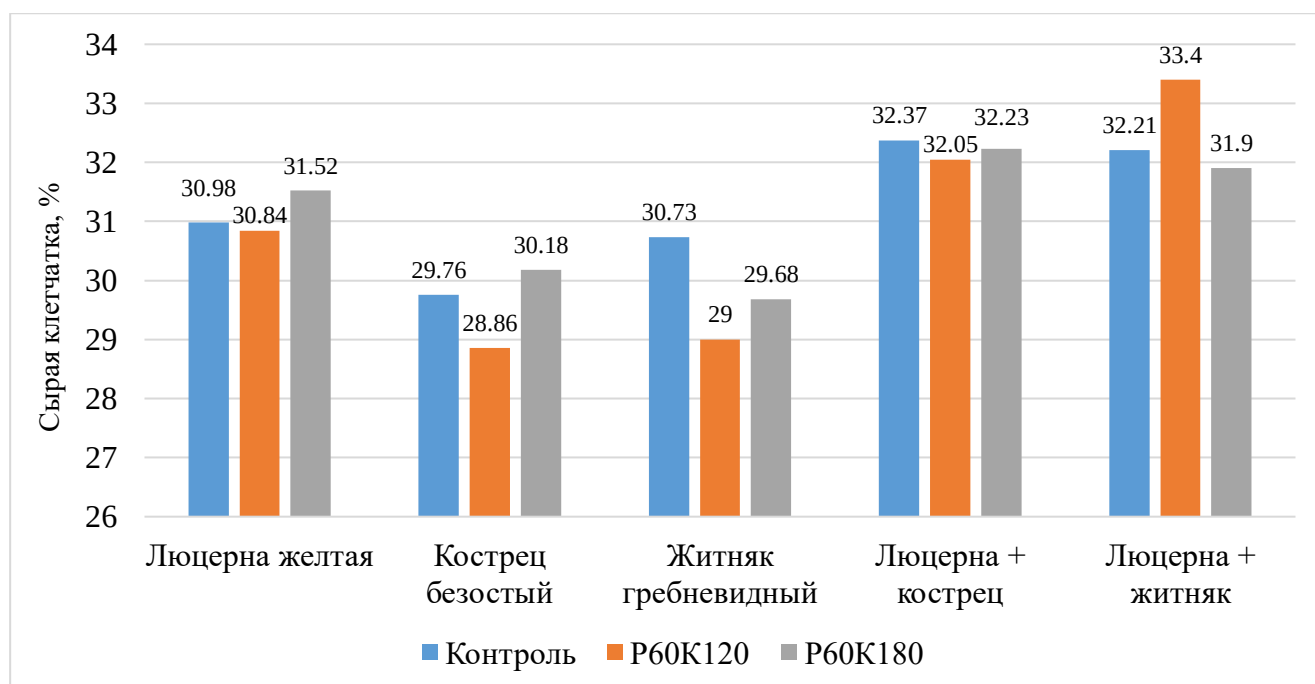


Рисунок 17 – Влияние доз фосфорно-калийного удобрения на содержание сырой клетчатки (2022–2024 гг.), %

4.2.4 Воздействие доз фосфорно-калийного удобрения на содержание кормовых единиц и обеспеченность кормовых единиц переваримым протеином

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ сохраняет сбор кормовых единиц в количестве 0,57, $P_{60}K_{180}$ снижает до 0,56 в сравнении с контролем. Применение удобрения $P_{60}K_{120}$ увеличивает обеспеченность 1 кормовой единицы переваримым протеином с 211,1 г в контроле до 215,6 г, $P_{60}K_{180}$ снижает до 201,4 г.

Удобрение в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает содержание кормовых единиц в 1 кг сухого вещества костреца безостого с 0,59 в контроле до 0,63, $P_{60}K_{180}$ количество кормовых единиц снижает до 0,58. Применение минерального удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ уменьшает обеспеченность 1 кормовой единицы переваримым протеином с 125,0 г в контроле до 113,1 г, $P_{60}K_{180}$ – до 118,0 г.

Применение удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает содержание кормовых единиц в 1 кг сухого вещества житняка гребневидного с 0,59 в контроле до 0,62, $P_{60}K_{180}$ – до 0,60. Обеспеченность 1 кормовой единицы переваримым протеином от применения фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличилась с 96,4 г

в контроле до 112,3 г., $P_{60}K_{180}$ увеличивает обеспеченность 1 кормовой единицы переваримым протеином до 119,7 г.

Фосфорно-калийное удобрение в дозе $P_{60}K_{120}$ увеличивает содержание кормовых единиц в 1 кг сухого вещества травосмеси люцерны желтая + костреч безостый с 0,56 до 0,57 и одновременным снижением обеспеченности 1 кормовой единицы переваримым протеином со 192,8 г до 171,7 г. От дозы фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ содержание кормовых единиц снизилось до 0,55, обеспеченность 1 кормовой единицы переваримым протеином уменьшилась до 161,2 г.

Применение удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ снижает содержание кормовых единиц в 1 кг сухого вещества травосмеси люцерны желтая + житняк гребневидный с 0,56 до 0,54, а обеспеченность 1 кормовой единицы переваримым протеином уменьшилась с 201,5 г до 182,4 г. От увеличения дозы фосфорно-калийного удобрения до $P_{60}K_{180}$ содержание кормовых единиц в урожае травосмеси люцерны желтая + житняк гребневидный составило 0,56, тогда как обеспеченность 1 кормовой единицы переваримым протеином снизилась до 177,4 г (Рисунок 18, Рисунок 19, Приложение Г, Таблица Г.4).

Сравнительный анализ свидетельствует, что применение удобрения $P_{60}K_{120}$ формирует наиболее высокое содержание кормовых единиц у костреча безостого, тогда как у люцерны желтой зафиксирована максимальная обеспеченность 1 кормовой единицы переваримым протеином. Это подчеркивает, что эффективность использования фосфорно-калийного удобрения определяется биологическими особенностями культуры и соотношением энергетической и белковой питательности сена.

Коэффициент вариации по содержанию кормовых единиц во всех исследуемых вариантах находился в диапазоне 1,0–4,4 %, что свидетельствует о незначительной степени рассеивания данных. По обеспеченности 1 кормовой единицы переваримым протеином коэффициент вариации изменялся от 3,5 до 10,9 %, причем наибольшее значение данного показателя было у житняка гребневидного (10,9 %), все остальные значения коэффициента укладывались в

диапазон 3,5–10 %, что свидетельствует о незначительной степени рассеивания данных.

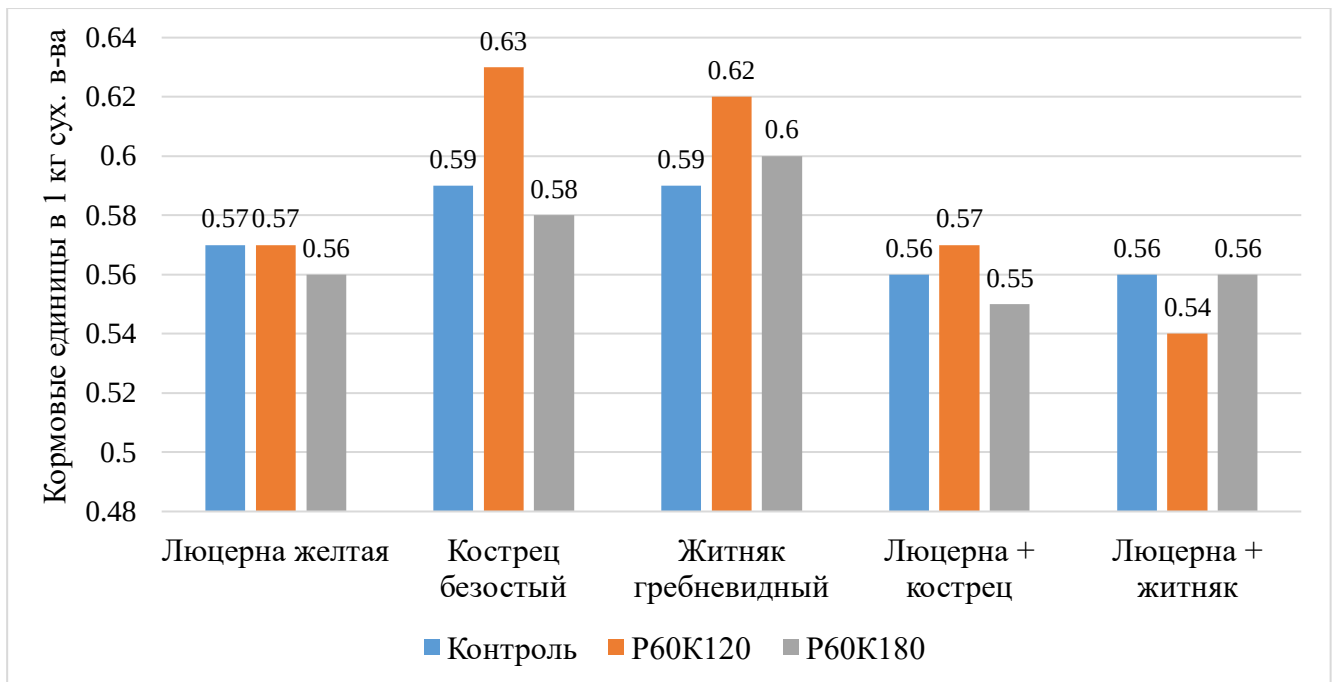


Рисунок 18 – Воздействие доз фосфорно-калийного удобрения на содержание кормовых единиц в 1 кг. сухого вещества

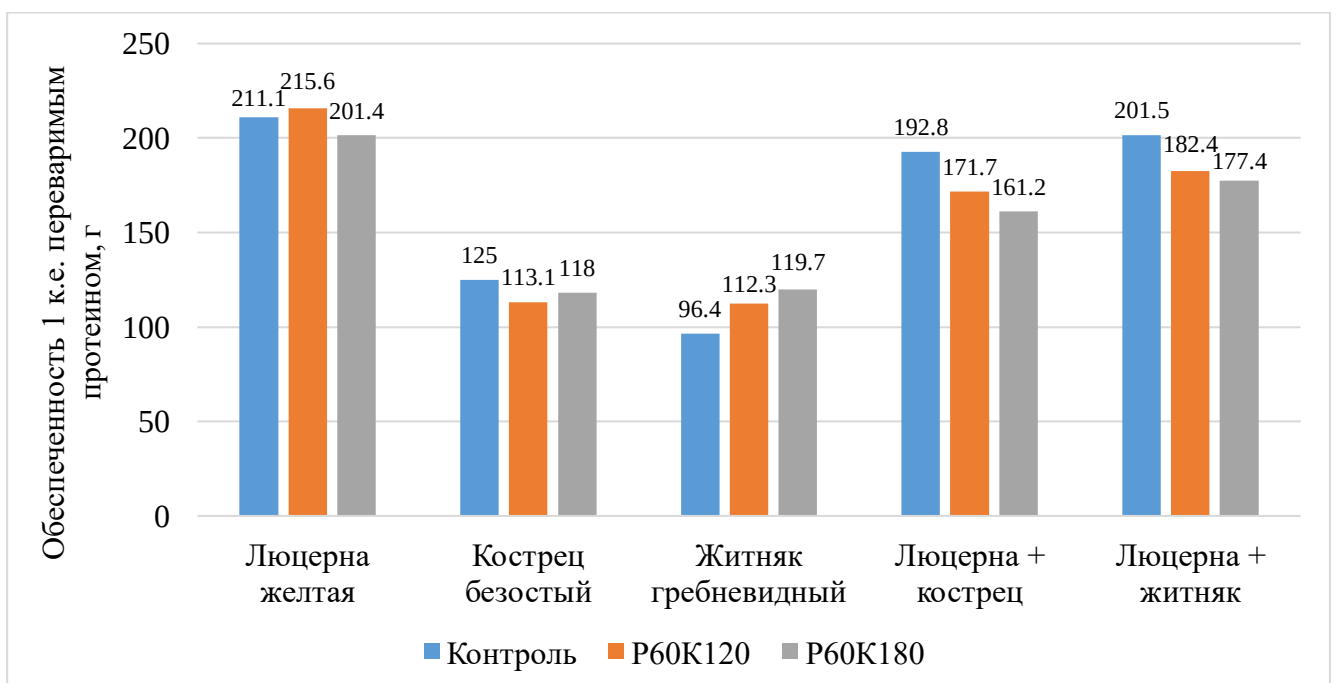


Рисунок 19 – Воздействие доз фосфорно-калийного удобрения на обеспеченность кормовых единиц переваримым протеином, г.

Глава 5. Экологические аспекты безопасности производства кормов при радиоактивном загрязнении агроландшафтов

5.1 Радиологическая обстановка сельскохозяйственных угодий Брянской области и почв Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции

Катастрофа на Чернобыльской атомной электростанции в апреле 1986 года привела к формированию масштабного очага радиоактивного загрязнения, охватившего значительные территории Восточной и Центральной Европы. Согласно данным об аварии, подготовленным для МАГАТЭ в 1986 году, в пределах Российской Федерации зона с плотностью загрязнения более 37 кБк/м² составила 57,9 тыс. км². Среди радионуклидов, определяющих долговременную радиоэкологическую ситуацию, ведущую роль играет ¹³⁷Cs как основной долгоживущий компонент чернобыльских выпадений (Современные проблемы радиологии..., 2010; Фесенко и др., 2021).

Наиболее значительные уровни загрязнения наблюдались в Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областях. Существенная доля пострадавших земель относится к сельскохозяйственным угодьям, активно используемым в агропромышленном производстве (Ильин и др., 2001).

«Максимальная плотность загрязнения ¹³⁷Cs (более 1480 кБк/м²) была в юго-западных районах Брянской области. Общая площадь земель с такой плотностью загрязнения составила 17,1 тыс. га, включая 7,3 тыс. га пашни и 9,8 тыс. га лугов и пастбищ» (Панов и др., 2021).

Радиоактивное загрязнение, сформировавшееся после аварии на Чернобыльской АЭС, охватило значительную часть территории Брянской области. Загрязнение различной интенсивности затронуло около 57,8 % площади региона. В зоне радиационного воздействия оказались 22 из 27 административных районов области, а также свыше 800 населённых пунктов, где на тот момент проживало порядка 400 тыс. человек (Ерофеева и др., 2024).

В Брянской области наиболее интенсивное выпадение осадков с высоким содержанием радионуклидов наблюдалось в шести юго-западных районах:

Красногорском, Новозыбковском, Климовском, Гордеевском, Злынковском и Клинцовском. В связи с этим на первый план для сельхозпроизводителей в этих районах вышла проблема минимизации аккумуляции опасных элементов в урожае сельскохозяйственных культур и производимых кормах (Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии ..., 2009; Фесенко и др., 2023).

По данным Брянского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, в 1996 году значительная часть территории области оставалась загрязнённой радионуклидами. Площадь земель с плотностью загрязнения 37–185 кБк/м² (что соответствует 1–5 Ки/км²) составляла 6608 км², или 57,8 % территории региона. Участки с уровнем загрязнения 185–555 кБк/м² (5–15 Ки/км²) занимали 2363 км², что соответствовало 20,6 % площади. Территории с более высоким загрязнением 555–1480 кБк/м² (15–40 Ки/км²) занимали 2025 км² (17,7 %), тогда как зоны с плотностью загрязнения свыше 1480 кБк/м² (> 40 Ки/км²) охватывали 446 км².

На территориях с уровнем радиоактивного загрязнения до 185 кБк/м² располагалось в 1996 году 765 населённых пунктов, в которых проживало около 239,5 тыс. человек. В зоне загрязнения 185–555 кБк/м² находилось 264 населённых пункта с населением 88,1 тыс. человек, тогда как в наиболее загрязнённой зоне свыше 1480 кБк/м² располагалось 25 населённых пунктов, где проживало около 2,3 тыс. человек (Анисимов и др., 2018; Ерофеева и др., 2024).

Теперь проанализируем актуальные данные по Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции. Вследствие аварии на Чернобыльской атомной электростанции все сельскохозяйственные земли Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции подверглись загрязнению радионуклидами (Белоус, 2025).

Анализ динамики средневзвешенной плотности загрязнения сельскохозяйственных угодий радионуклидом ¹³⁷Cs за период 1993 – 2023 гг. (Таблица 17) свидетельствует о постепенном снижении радиационной нагрузки на исследуемой территории.

Таблица 13 – Динамика плотности загрязнения ^{137}Cs почв сельскохозяйственных угодий Новозыбковской опытной станции

^{137}Cs Год		1993	2009	2017	2023
Средневзвешенная плотность загрязнения	Ки/км ²	15,8	9,9	8,7	7,8
	кБк/м ²	584,6	366,3	321,9	287,1
Уровень гама-фона	мкР/ч	34,2	20,0	22,7	22

В 1993 году плотность загрязнения составляла 15,8 Ки/км², что соответствует 584,6 кБк/м². К 2009 году плотность загрязнения снизилась до 9,9 Ки/км² (366,3 кБк/м²). Таким образом, за указанный период снижение составило 218,3 кБк/м², или около 37,3 % относительно уровня 1993 года.

В дальнейшем тенденция уменьшения загрязнения сохраняется. В 2017 году средневзвешенная плотность загрязнения снизилась до 8,7 Ки/км² (321,9 кБк/м²). По данным за 2023 год плотность загрязнения ^{137}Cs почв сельскохозяйственных угодий – 287,1 кБк/м², что на 10,8 % ниже уровня 2017 года. За весь период наблюдений снижение средневзвешенной плотности загрязнения составило 50,9 % по сравнению с 1993 годом.

В 1993 году гамма-фон составлял 34,2 мкР/ч, а к 2009 году снизился до 20,0 мкР/ч, что свидетельствует о значительном уменьшении радиационного воздействия. В 2017 году наблюдается некоторое повышение показателя до 22,7 мкР/ч, однако к 2023 году уровень гамма-фона стабилизируется на уровне 22 мкР/ч.

В целом полученные данные свидетельствуют о постепенном снижении радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных угодий, что обусловлено естественным радиоактивным распадом ^{137}Cs , миграцией радионуклидов в более глубокие горизонты почвы, а также проведением агрохимических и агротехнических мероприятий. Несмотря на положительную динамику, уровень загрязнения остаётся значительным, что требует дальнейшего радиологического мониторинга сельскохозяйственных территорий.

Все ученые, активно занимающиеся темой ведения сельского хозяйства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, сходятся во мнении, что

ведение сельскохозяйственного производства на загрязнённых территориях требует применения системного научно обоснованного подхода. Основу такого подхода должна составлять совокупность радиационно-экологических мероприятий, включающая агротехнические, агрохимические и организационные меры, направленные на снижение содержания радиации в продукции агропромышленного комплекса (Просянных, 1990; Ратников и др., 2019).

Реализация защитных мероприятий должна обеспечивать восстановление и поддержание плодородия почв, стабилизацию продуктивности агроценозов и получение устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. При этом важнейшим условием является производство продукции растениеводства, соответствующей действующим санитарно-гигиеническим требованиям по содержанию радионуклидов (Просянных, 1996; Санжарова, 2010; Beresford and others, 2016; Панов и др., 2021).

5.2 Комплекс защитных мероприятий, проводимых на радиоактивно загрязнённых сельскохозяйственных угодьях

5.2.1 Организационные мероприятия

В системе реабилитации сельскохозяйственных угодий, подвергшихся радиоактивному загрязнению, важное место занимают организационные мероприятия. Их основная задача заключается в обеспечении эффективного управления использованием загрязнённых земель и создании условий для получения сельскохозяйственной продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам (Санжарова, 2010; Панов и др., 2024).

Организационные меры по снижению поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию включают в себя ряд мероприятий: управление, планирование и прогнозирование. В первую очередь проводится инвентаризация земель сельскохозяйственного назначения с оценкой их агрохимического состояния, уровня плодородия и степени радиоактивного загрязнения. На основе полученных данных определяется целесообразность дальнейшего использования

отдельных участков земли и реализации реабилитационных мер на различных территориях (Маркина и др., 2006; Радиоэкологическая оценка сельскохозяйственных земель ..., 2019).

Важным элементом является корректировка структуры посевных площадей и системы севооборотов с учётом пространственного распределения загрязнения. Для этого выполняется картографирование сельскохозяйственных угодий по плотности загрязнения радионуклидами, что позволяет более рационально размещать культуры на территории хозяйств (Смирнова, 2010).

Также немаловажно системы защитных мероприятий организационной направленности является оценка используемых реабилитационных мер, их систематизирование и анализ. Так, например, в Орловской области в рамках федеральной программы по преодолению последствий Чернобыльской катастрофы была сформирована база архивных документов по мерам реабилитации сельскохозяйственных территорий Орловской области, загрязнённых ^{137}Cs после аварии на ЧАЭС (1988–1991 гг.), для оценки эффективности проводимых мероприятий (Апанасюк и др., 2024).

В рамках организационных мероприятий осуществляется прогнозирование возможного содержания радионуклидов в урожае сельскохозяйственных культур, что позволяет заранее оценивать радиационную безопасность будущей продукции и принимать соответствующие агротехнические решения (Панов и др., 2016; Просянных, 2021).

5.2.2 Агротехнические мероприятия

К агротехническим мероприятиям, направленным на ограничение распространения радионуклидов в агроэкосистемах, относится применение различных способов обработки почвы, снижающих проявление эрозионных процессов и предотвращающих ветровой перенос, а также горизонтальное перемещение радиоактивных частиц.

Существенную роль играют технологические приёмы возделывания сельскохозяйственных культур: рациональное размещение культур в севооборотах,

строгое соблюдение оптимальных сроков основных полевых работ — подготовки почвы, посева и уборки урожая, а также использование высокопродуктивных районированных сортов (Панов и др., 2005; Ториков, Мельникова, 2015; Ратников и др., 2019).

Для повышения эффективности растениеводства применяют совмещение отдельных технологических операций по уходу за посевами и уборке урожая, используя высокопроизводительные сельскохозяйственные машины и агрегаты. Результативность агротехнических мероприятий во многом определяется природно-климатическими условиями их проведения (Бокатуро и др., 2020).

Одним из наиболее радикальных способов снижения радиоактивного загрязнения почв в первые годы после аварии является удаление поверхностного слоя почвы толщиной 0–10 см, что позволяет устранить до 95 % радионуклидов. Однако данный метод применяется лишь в тех случаях, когда его использование не приводит к ухудшению водного режима и снижению плодородия почвы, поскольку его реализация требует значительных материально-технических ресурсов.

К методам снижения поступления радионуклидов в растения относится также глубокая обработка почвы. Вспашка ярусными плугами на глубину до 40 см способствует перемещению загрязнённого верхнего горизонта в нижележащие слои почвенного профиля. Этот приём рекомендован для почв, где мощность гумусового горизонта составляет не менее 25–30 см, что даёт возможность избежать ухудшения агрофизических свойств. Но стоит отметить, что вспашка почвы как двухъярусная (до 40 см), так и обыкновенная, не способна обеспечить достаточное снижение загрязнённости почвы ^{137}Cs . Для получения урожая соответствующего нормативным показателями радионуклидов на загрязнённых почвах практически всегда необходимо использование удобрений (Харкевич, 2009; Белоус и др., 2012).

5.2.3 Агрохимические мероприятия

Результаты исследовательских работ по реабилитации радиоактивно загрязнённых сельскохозяйственных земель приходят к консенсусу – наиболее

эффективно снижают поступление радионуклидов в растения агрохимические методы. Среди наиболее значимых мероприятий: известкование кислых почв, внесение органических удобрений, использование повышенных доз фосфорного и калийного удобрения. Данные приёмы уменьшают подвижность радионуклидов в почве и ограничивают их поступление в растения, при этом не влияя на содержание радионуклидов в почве (Прищеп и др., 1997; Известкование почв, 2010; Белоус и др., 2011; Алексахин, 2016; Чесалин, 2022; Смольский, 2022; Атрошенко и др., 2024; Научно-обоснованное применение ..., 2024).

Состав поглощённых оснований и реакция почвенного раствора так же относятся к ключевым факторам, определяющим степень закрепления радионуклидов в почве и их доступность для растений. Установлено, что уровень кислотности почв и содержание обменного кальция оказывают существенное влияние на накопление ^{90}Sr в сельскохозяйственных культурах. Наименьшее поступление радионуклидов в растения наблюдается при оптимальных значениях кислотности почвы. Для дерново-подзолистых почв эти показатели составляют: для глинистых и суглинистых – pH 6,0–6,7; для супесчаных – 5,8–6,2; для песчаных – 5,6–5,8. Для минеральных почв сенокосов и пастбищ наиболее благоприятный диапазон кислотности находится в пределах pH 5,8–6,2 (Агрохимия, 2000; Стреляева, 2022).

Как мы уже отмечали ранее, главной проблемой почв на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, является высокое содержание ^{137}Cs . При решении задач, связанных со снижением загрязнения растительного покрова и почв радиоцезием, особое значение имеет сходство его химических свойств с калием, благодаря чему использование именно калийного удобрения является самым эффективным способом борьбы против перехода ^{137}Cs в сельскохозяйственную продукцию (Рациональное применение удобрений ..., 2002).

Влияние минерального удобрения на накопление ^{137}Cs в травостое носит неоднозначный характер. Внесение азота в оптимальных дозах практически не изменяет содержание радионуклида, тогда как повышение доз привело к его

увеличению примерно в 1,2 раза. При детальном применении азотного удобрения уровень накопления ^{137}Cs в травостое остался близким к контролю. Наибольший эффект снижения содержания радиоцезия был достигнут при применении калийного и фосфорно-калийного удобрения: степень уменьшения накопления ^{137}Cs варьировала от 1,4 до 4,5 раза. При этом максимальная эффективность достигается при одновременном внесении калия в полной дозе, в то время как детальное внесение оказывает менее выраженное воздействие на поступление радионуклида в растения (Кузнецов, 2014).

Применение удобрения $\text{P}_{90}\text{K}_{120}$ снижает уровень ^{137}Cs в 10 раз. При этом переход ^{137}Cs в грубые корма из многолетних трав снижается ещё в два раза при применении удобрения $\text{P}_{90}\text{K}_{180}$ (Харкевич, 2009).

Согласно исследованиям, проведённым на дерново-подзолистых песчаных почвах, при увеличении содержания подвижного калия от низкого уровня до оптимального поступление радионуклидов в урожай сельскохозяйственных культур заметно снижается. Также если реакция почвенной среды близка к нейтральной, содержание радиоцезия в продукции уменьшается примерно на 22 % (Стреляева, 2022).

В опытах по выращиванию нормативно чистых злаковых травосмесей в нечерноземных регионах России, также подтвердили данные о том, что фосфорно-калийного удобрения $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ способны снизить содержания ^{137}Cs в сене примерно в 10 раз, причем и в первом и во втором укосе эффективность удобрения была примерно одинаковая (Атрошенко и др., 2024).

В естественных травосмесях внесение фосфорно-калийного удобрения также способствует достижению цели получения продукции, соответствующей всем санитарно-гигиеническим нормам. Это было установлено в исследованиях Харкевич с соавторами (2013). В рамках проведенного стационарного опыта получение сена первого укоса, соответствующего установленным нормативам по содержанию радионуклидов, может быть обеспечено при применении полного минерального удобрения в дозе $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{75}$ как на естественных, так и на сеяных травостоях.

На опытном поле «Новозыбковской ГСОС ВНИИ люпина» гарантированное соответствие нормативам по содержанию ^{137}Cs в зелёных кормах при выращивании одновидовых и гетерогенных посевов многолетних трав обеспечивается внесением калийного удобрения K_{210} . (Шаповалов и др., 2015).

Соответствие зелёной массы трав нормативному уровню по содержанию ^{137}Cs достигается при применении азота и калия в пропорции $\text{N}:\text{K} = 1:1,5$, что соответствует дозам $\text{N}_{120}\text{K}_{180}$ или $\text{N}_{180}\text{K}_{270}$. Увеличение данного соотношения до 1:2 признаётся экономически неоправданным (Шаповалов и др., 2011).

На песчаной почве с плотностью загрязнения ^{137}Cs в диапазоне 600–800 кБк/м² внесение калийного удобрения в дозе K_{210} гарантирует получение кормов, соответствующих нормативу и оптимальных по продуктивности зелёной массы. Данное положение справедливо как для одновидовых посевов (люпин жёлтый, овёс, райграс однолетний, суданская трава, просо), так и для гетерогенных травосмесей на основе люпина (Шаповалов и др., 2016).

Повышение дозы фосфорно-калийного удобрения до $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ обеспечило снижение удельной активности сена многолетних трав до нормативных значений: 358 Бк/кг на естественном фоне, 276 Бк/кг на фоне обычной вспашки и 247 Бк/кг на фоне двухъярусной обработки почвы. Дополнительное внесение азота в дозе N_{60} на фоне $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$, напротив, способствовало росту накопления радионуклида в сене на обоих изучаемых агрофонах (Белоус и др., 2019).

В ходе эксперимента удельная активность ^{137}Cs в зеленой массе люцерно-кострецовой травосмеси не превышала допустимого порога в 400 Бк/кг. Максимальные значения фиксировались в контроле – как в первом, так и во втором укосе. Внесение калийного удобрения закономерно снижало накопление радионуклида: доза K_{120} уменьшала содержание ^{137}Cs в 1,5 раза относительно контроля, а K_{180} – в 1,7 раза (первый укос) и в 1,8 раза (второй укос) (Харкевич и др., 2025).

Применение удобрения $\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ уменьшает поступление ^{137}Cs из почвы в травостой первого укоса на 27–28 % по сравнению с контрольным вариантом (Евсеев, 2023).

5.3 Влияние фосфорно-калийного удобрения на снижение удельной активности ^{137}Cs в продукции многолетних трав

Удельная активность ^{137}Cs в продукции многолетних трав определяется совокупностью факторов, основными из которых являются уровень радиоактивного загрязнения почвы, ее тип и агрохимические свойства, а также биологические особенности возделываемых культур. Обеспеченность почвы элементами минерального питания, и в первую очередь калием, тоже существенно влияет на поступление радионуклида в растения, так как калий способен ограничивать поглощение ^{137}Cs корневой системой (Титов и др., 2023).

В связи с этим для всесторонней оценки эффективности применения фосфорно-калийного удобрения недостаточно рассматривать только непосредственное изменение удельной активности ^{137}Cs в продукции многолетних трав. Необходимо также проанализировать влияние удобрения на удельную активность ^{137}Cs в почве, переход ^{137}Cs из грубого корма многолетних трав в молоко и мясо, переход радионуклида из почвы в растения и накопление ^{137}Cs в растительной массе. Комплексный анализ указанных показателей позволяет объективно оценить особенности миграции ^{137}Cs в системе «почва – растение» и определить эффективность применения фосфорно-калийного удобрения как агрохимического приема, направленного на снижение радиоактивного загрязнения кормовой продукции.

Переход ^{137}Cs из почвы в растения обусловлен физико-химическими характеристиками почвенной среды и биологическими (физиологическими) факторами – процессами поглощения радионуклидов корневой системой из почвенного раствора, а также реабилитационными мероприятиями (Евсеев, 2023; Фесенко и др., 2022).

Почва выступает в роли самого инерционного и значимого звена миграционной цепи: именно от скорости перемещения радионуклидов в почвенном профиле во многом зависят темпы их дальнейшего распространения по всем трофическим уровням. В ходе вертикальной и горизонтальной миграции, а также

последующего поглощения корнями, радиоактивные вещества аккумулируются в тех частях растений, которые представляют пищевую или кормовую ценность. Поэтому тип почвы, её гранулометрический состав оказывает существенное влияние на переход ^{137}Cs из почвы в продукцию многолетних трав (Ефремов и др., 2005).

Существует устойчивая корреляция между агрохимическими свойствами почв и интенсивностью поступления ^{137}Cs в растения. Сложившийся в сельскохозяйственной радиобиологии концептуальный подход гласит: чем ниже плодородие почвы, выше ее кислотность, меньше содержание кальция и магния и легче гранулометрический состав, тем выше степень накопления радионуклидов в урожае. И наоборот, окультуренные, высокоплодородные и обогащенные основаниями почвы минимизируют этот процесс.

Стоит помнить, что внесение фосфорно-калийного удобрения очень слабо влияет на снижение радиоактивного загрязнения почв. Механизм действия удобрения направлен именно на изменение степень перехода радионуклидов в системе «почва – растение». В этой связи представляется необходимым оценить эффективность фосфорно-калийного удобрения именно с позиции их влияния на интенсивность перехода радионуклидов в сельскохозяйственные культуры из почвы. Для такой оценки рассчитывают значения коэффициентов перехода (K_p) и накопления (K_n).

Коэффициент накопления (K_n) характеризует способность растений поглощать и накапливать радионуклид из почвы и определяется как отношение удельной активности ^{137}Cs в растительной продукции (Бк/кг) к его удельной активности в почве (Бк/кг). Поскольку в числителе и знаменателе используются одинаковые единицы измерения, коэффициент является безразмерной величиной и отражает биологическую способность культуры к аккумуляции радионуклида. Данный показатель широко применяется при мониторинге радиоактивного загрязнения агроэкосистем, сравнительной оценке сельскохозяйственных культур по интенсивности накопления ^{137}Cs , а также при изучении эффективности

агротехнических и агрохимических мероприятий, направленных на снижение его поступления в растения (Пакшина и др., 2018).

В отличие от коэффициента накопления, коэффициент перехода ($K_{\text{п}}$) характеризует интенсивность переноса радионуклида из загрязненной почвы в растительную продукцию с учетом поверхностной активности почвенного покрова. Он рассчитывается как отношение удельной активности ^{137}Cs в растительной пробе (Бк/кг сухой или сырой массы) к плотности радиоактивного загрязнения почвы (кБк/м²). Для оценки биологической доступности ^{137}Cs и прогнозирования его поступления в сельскохозяйственную продукцию используется данный показатель, являющийся интегральной радиозэкологической характеристикой миграции радионуклида (Жукова и др., 2017).

В одном из исследований влияния минеральных удобрений на накопление ^{137}Cs в продукции многолетних трав злаковых трав было экспериментально установлено, что использование минерального удобрения во всех изучаемых сочетаниях способствует уменьшению миграции ^{137}Cs из почвы в растение по сравнению с неудобренным контролем. Анализ полученных коэффициентов перехода выявил минимальное значение $K_{\text{п}} = 0,33$, которое достигается на варианте $\text{P}_{90}\text{K}_{180}$ (при полном отсутствии азота) (Евсеев, Филипенко, 2016).

Благодаря данным радиологических подразделений агрохимической службы нашей страны мы можем сравнить изменение коэффициента накопления в зависимости от типа почвы. В зеленой массе многолетних трав, выращенных на черноземных почвах среднее значение коэффициента накопления ^{137}Cs равно 0,44; на дерново-подзолистых почвах – 0,45; на серых лесных – 0,23; на каштановых – 0,61 (Чернобыль: радиационный мониторинг ..., 2016).

В исследованиях Сорокина с соавторами (2025) было установлено, что без внесения фосфорно-калийного удобрения коэффициент перехода ^{137}Cs из почвы в высушенную зеленую массу растения составляет в среднем 1,50, что является достаточно высоким значением, при котором не всегда можно гарантировать получение нормативно чистых кормов.

В исследованиях радиационной обстановки во Владимирской области было установлено, что коэффициент перехода ^{137}Cs из серой лесной почвы в зеленую массу клевера составил 2,12, а на дерново-подзолистой почве 0,91–1,43 (Уткин, 2022).

«Повышение содержания подвижного калия с низкого (81–140 мг/кг почвы) до оптимального (140–200 мг/кг) сопровождается понижением поступления радионуклидов в урожай на 22 % для цезия и на 30 % для стронция при близком к нейтральному уровню реакции почвенной среды ($\text{pH}_{(\text{KCl})}$ 6,01–6,50)» (Стреляева, 2022).

Таким образом, мы видим, что согласно научным данным фосфорно-калийные удобрения способны обеспечить кратное снижение перехода ^{137}Cs на следующий этап в цепи «почва-растение», а значит удельная активность ^{137}Cs снизится и на конечном этапе цепи «почва-растение-животное-животноводческая продукция».

Согласно данным исследования Сычев с соавторами (2012) удельной активности ^{137}Cs соответствующей ТР ТС 021/2011 удастся добиться только при применении удобрения в дозе $\text{N}_{60}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ и выше. Причем ключевую роль играет именно содержание калия в составе удобрения.

Гарантированное получение молочной и мясной продукции, отвечающей санитарно-гигиеническим показателям по удельной активности ^{137}Cs , при скармливании КРС растительной продукции с пойменных лугов Новозыбковского района Брянской области возможно лишь при применении определённых доз удобрения. Для молока это $\text{P}_{60}\text{K}_{90}$, $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$, $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{150}$, $\text{N}_{120}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$, $\text{N}_{120}\text{P}_{60}\text{K}_{150}$ и $\text{N}_{120}\text{P}_{60}\text{K}_{180}$, для мяса — $\text{N}_{120}\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ (Белоус и др., 2016).

5.3.1 Влияние фосфорно-калийного удобрения на удельную активность ^{137}Cs в зеленой массе многолетних трав

Существенное снижение удельной активности ^{137}Cs в растительной массе наблюдается во всех вариантах при внесении фосфорно-калийного удобрения. Это полностью соответствует фундаментальным представлениям о конкурентных

отношениях между ионами калия и цезия при корневом поглощении. При этом отчетливо прослеживается дозовая зависимость: увеличение дозы калия в составе фосфорно-калийного удобрения до дозы $P_{60}K_{180}$ сопровождается дальнейшим снижением содержания радионуклида во всех культурах и в оба укоса.

Внесение фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{120}$ под посевы люцерны желтой обеспечивает заметное снижение удельной активности ^{137}Cs : в первом укосе до 372,3 Бк/кг (–20,5 %), во втором до 344,0 Бк/кг (–20,5 %) (Таблица 18). Доза удобрения $P_{60}K_{180}$ приводит к еще более выраженному защитному эффекту: содержание радионуклида снижается до 284,8 Бк/кг в первом укосе (–39,2 %) и до 263,2 Бк/кг во втором (–39,2 %). Доза $P_{60}K_{180}$ обеспечила дополнительное снижение содержания на 18,7% в обоих укосах.

Таблица 14 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на содержание ^{137}Cs в зеленой массе многолетних трав (2022–2024 гг.), Бк/кг

Вариант Культура	Люцерна желтая	Кострец безостый	Житняк гребневидный	Люцерна + кострец	Люцерна + житняк	НСР ₀₅	P, %
<i>1 укос</i>							
Контроль	468,4	181,4	194,1	356,1	348,2	48,7	4,8
$P_{60}K_{120}$	372,3	109,5	96,4	239,8	224,3	28,3	4,2
$P_{60}K_{180}$	284,8	76,0	66,3	211,7	206,5	15,3	2,8
V, %	24,5	44,0	56,2	28,4	29,7	–	–
<i>2 укос</i>							
Контроль	432,8	167,6	179,3	329,0	321,7	45,0	4,8
$P_{60}K_{120}$	344,0	101,1	89,0	221,5	207,2	26,1	4,2
$P_{60}K_{180}$	263,2	70,2	61,2	195,6	190,8	14,2	2,8
V, %	24,5	44,1	56,2	28,4	29,7	–	–

Примечание: допустимый уровень для грубых кормов – 370 Бк/кг, КУ - 94

Таким образом, применение максимально исследуемой дозы калийного удобрения в сочетании с фосфором позволяет снизить накопление ^{137}Cs люцерной более чем на 39% относительно контроля. Это убедительно доказывает высокую эффективность фосфорно-калийного удобрения при возделывании люцерны на загрязненных радионуклидами территориях.

Кострец безостый в контроле накапливает ^{137}Cs значительно меньше люцерны: 181,4 Бк/кг в первом укосе и 167,6 Бк/кг во втором. Различие с люцерной составляет 2,6 раза, что имеет самостоятельное практическое значение, поскольку

указывает на то, что даже без применения защитных мероприятий злаковые травы способны давать более чистую продукцию.

Применение фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{120}$ снижает содержание ^{137}Cs в зеленой массе костреца безостого до 109,5 Бк/кг (первый укос) и 101,1 Бк/кг (второй укос), что соответствует -39,6 % относительно контроля в первом укосе и -39,7 % во втором. Доза $P_{60}K_{180}$ обеспечивает следующее снижение относительно контроля: до 76,0 Бк/кг (-58,1 %) и 70,2 Бк/кг (-58,1 %) соответственно. Доза $P_{60}K_{180}$ обеспечила дополнительное снижение содержания ^{137}Cs на 18,5 % в первом и -18,4 % во втором укосах.

Уже от дозы удобрения $P_{60}K_{120}$ содержание ^{137}Cs снижается более чем в два раза: до 96,4 Бк/кг в первом укосе (-50,3 %) и до 89,0 Бк/кг во втором (-50,4 %). Применение дозы $P_{60}K_{180}$ позволяет достичь минимальных значений удельной активности ^{137}Cs во всем эксперименте: 66,3 Бк/кг (-65,8 %) и 61,2 Бк/кг (-65,9 %) соответственно. Дополнительное снижение при увеличении дозы калия в составе фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ составляет -15,5 % в обоих укосах.

Кратность снижения относительно контроля достигает 2,9 раза, что является наилучшим показателем защитной эффективности среди всех изученных вариантов. Столь высокая отзывчивость житняка гребневидного объясняется его биологическими особенностями: хорошо развитая корневая система и высокая физиологическая потребность в калии обеспечивают эффективное конкурентное замещение цезия. Присутствие фосфора, вероятно, дополнительно стимулирует развитие корневой системы, усиливая этот эффект.

Травосмеси закономерно занимают промежуточное положение по абсолютным значениям содержания радионуклида между чистой люцерной и чистыми злаками, что объясняется суммированием вкладов обоих компонентов в интегральную пробу.

В контроле содержание ^{137}Cs в травосмеси люцерны желтой с кострецом безостым составляет 356,1 Бк/кг в первом укосе и 329,0 Бк/кг во втором. Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ снижает удельную активность ^{137}Cs до 239,8 Бк/кг (-32,7 %) и 221,5 Бк/кг (-32,7 %) соответственно.

Доза удобрения $P_{60}K_{180}$ снижает содержание радионуклида до 211,7 Бк/кг в первом укосе (-40, 5%) и до 195,6 Бк/кг во втором (-40,5 %). Дополнительное снижение при переходе от дозы $P_{60}K_{120}$ к $P_{60}K_{180}$ составляет -7,8 % в обоих укосах.

Абсолютные значения удельной активности ^{137}Cs в зеленой массе травосмеси люцерны желтой и костреца безостого от использования дозы фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ (211,7 и 195,6 Бк/кг) приближаются к показателям чистой люцерны выращенной, при внесении $P_{60}K_{120}$ (284,8–263,2 Бк/кг), но остаются выше, чем у чистого костреца безостого при использовании дозы $P_{60}K_{120}$ (109,5–101,1 Бк/кг). Это подтверждает определяющий вклад люцернового компонента в общее загрязнение травосмеси.

В контроле в зеленой массе травосмеси люцерны желтой с житняком гребневидный удельная активность ^{137}Cs составляет 348,2 Бк/кг и 321,7 Бк/кг по укосам. Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ снижает этот показатель до 224,3 Бк/кг (-35,6 %) и 207,2 Бк/кг (-35,6 %) в зависимости от укоса. Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{180}$ обеспечивает удельную активность ^{137}Cs 206,5 Бк/кг (-40,7 %) и 190,8 Бк/кг (-40,7 %). Дополнительное снижение удельной активности ^{137}Cs при увеличении дозы калия составляет -5,1 % в обоих укосах.

Важно отметить, что травосмесь с житняком гребневидным на всех вариантах удобренности свидетельствует несколько более низкое содержание радионуклида, чем травосмесь с кострцом безостым. В контроле разница составляет 7,9–7,3 Бк/кг в пользу травосмеси люцерны желтой с житняком гребневидным, от применения фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ – 15,5–14,3 Бк/кг, $P_{60}K_{180}$ – 5,2–4,8 Бк/кг. Это указывает на то, что житняк гребневидный как компонент травосмеси обладает более выраженными защитными свойствами по сравнению с кострцом безостым, что согласуется с его лучшими показателями в чистом посеве.

Анализ изменения содержания ^{137}Cs во втором укосе относительно первого выявляет устойчивую закономерность – второй укос во всех исследуемых вариантах содержит меньше радионуклида. Это явление объясняется двумя

факторами: отчуждением значительной части радионуклида с первым укосом и эффектом «разбавления» при отрастании отавы.

Рассмотрим разницу удельной активности ^{137}Cs во втором укосе относительно первого:

- В контроле: люцерна желтая – 7,6 %, кострец безостый – 7,6 %, житняк гребневидный – 7,6 %, люцерна + кострец безостый – 7,6 %, люцерна желтая + житняк гребневидный – 7,6 %;
- В варианте $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$: люцерна желтая – 7,6 %, кострец безостый – 7,7 %, житняк гребневидный – 7,7 %, люцерна желтая + кострец безостый – 7,6 %, люцерна желтая + житняк гребневидный – 7,6 %;
- В варианте $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$: люцерна желтая – 7,6 %, кострец безостый – 7,6 %, житняк гребневидный – 7,7 %, люцерна желтая + кострец безостый – 7,6 %, люцерна желтая + житняк гребневидный – 7,6 %.

Стабильность этой величины (около 7,6 %...7,7 %) независимо от вида и фона питания свидетельствует о том, что механизмы, определяющие снижение во втором укосе, носят общий характер и связаны преимущественно с биологией развития многолетних трав, а не с действием удобрения.

Повышение дозы калия в составе фосфорно-калийного удобрения от $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ к $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ дает дополнительный защитный эффект по снижению удельной активности ^{137}Cs во всех вариантах, однако величина снижения существенно варьирует:

- Люцерна желтая: дополнительное снижение – 18,7 %;
- Кострец безостый: дополнительное снижение – 18,5 %;
- Житняк гребневидный: дополнительное снижение – 15,5 %;
- Люцерна желтая + кострец безостый: дополнительное снижение – 7,8 %;
- Люцерна желтая + житняк: дополнительное снижение – 5,1 %.

Наибольшее дополнительное снижение при увеличении дозы калия наблюдается в чистых посевах, особенно у люцерны желтой и костреца безостого. В травосмесях эффект от увеличения дозы выражен слабее, что может быть связано с конкуренцией между компонентами за калий: злаковый компонент, более

эффективно использующий калий для блокирования цезия, в травосмеси может не получать его в достаточном количестве из-за конкуренции с люцерной.

Применением фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{180}$ достигаются следующие показатели удельной активности ^{137}Cs (первый/второй укос):

- Житняк гребневидный: 66,3 / 61,2 Бк/кг (-65,8 % / -65,9 %);
- Кострец безостый: 76,0 / 70,2 Бк/кг (-58,1 % / -58,1 %);
- Люцерна желтая + житняк гребневидный: 206,5 / 190,8 Бк/кг (-40,7 % / -40,7 %);
- Люцерна желтая + кострец безостый: 211,7 / 195,6 Бк/кг (-40,5 % / -40,5 %);
- Люцерна желтая: 284,8 / 263,2 Бк/кг (-39,2 % / -39,2 %).

Таким образом, ранжирование культур по степени накопления радионуклида на максимальном фоне питания выглядит следующим образом (от наименьшего к наибольшему): житняк гребневидный → кострец безостый → травосмеси → люцерна желтая. При этом травосмеси превосходят люцерну по чистоте продукции в 1,3–1,4 раза, но уступают чистым злакам в 2,7–3,1 раза.

Результаты в среднем за два укоса

Применение удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ приводит к снижению удельной активности ^{137}Cs во всех вариантах травостоя. Так, у люцерны жёлтой удельная активность ^{137}Cs уменьшилась до 358,2 Бк/кг, что на 20,5 % ниже контроля. У костреца безостого снижение составило 39,7 % (до 105,3 Бк/кг), у житняка гребневидного – 50,3 % (до 92,7 Бк/кг). В травосмесях уменьшение составило 32,7 % у травосмеси люцерны желтой с кострецом безостым и 35,6 % у травосмеси люцерны желтой с житняком гребневидным по сравнению с контролем.

Наибольший эффект снижения накопления радиоцезия наблюдался при внесении дозы $P_{60}K_{180}$. Удельная активность ^{137}Cs в зелёной массе люцерны жёлтой снизилась до 274,0 Бк/кг, что на 39,2 % ниже контрольного варианта. У костреца безостого содержание радиоцезия уменьшилось до 73,1 Бк/кг (снижение на 58,1 %), а у житняка гребневидного – до 63,8 Бк/кг, что на 65,9 % меньше контроля. В травосмесях также отмечено существенное уменьшение накопления ^{137}Cs : у

травосмеси люцерна желтая + кострец безостый – до 203,7 Бк/кг (на 40,5 %), у травосмеси люцерна желтая + житняк гребневидный – до 198,7 Бк/кг (на 40,7 % по сравнению с контролем).

Итог

1. **Общая эффективность удобрения.** Защитный эффект от внесения удобрений $P_{60}K_{120}$, $P_{60}K_{180}$ является подтвержденным и носит четко выраженный дозозависимый эффект: увеличение дозы калия от K_{120} до K_{180} при фиксированной дозе фосфорного удобрения сопровождается дальнейшим снижением содержания радионуклида (от -20,5 % до -65,9 % в зависимости от культуры и дозы).

2. **Видовая специфика.** Люцерна желтая характеризуется максимальной аккумулярующей способностью (468,4 Бк/кг в контроле), что требует применения защитных мероприятий при ее выращивании. Злаковые травы, особенно житняк гребневидный, накапливают радионуклид в 2,6 раза меньше.

3. **Максимальная эффективность.** Наибольшая относительная эффективность максимальной изучаемой дозы фосфорно-калийного удобрения ($P_{60}K_{180}$) достигается на злаковых травах:

- Снижение удельной активности ^{137}Cs в зеленой массе житняка гребневидного составило 65,8 % в первом укосе и 65,9 % во втором;
- В зеленой массе костреца безостого снижение составило 58,1 % в обоих укосах;
- В зелёной массе люцерны жёлтой — 39,2 % в обоих укосах.

4. **Травосмеси.** По удельной активности ^{137}Cs бобово-злаковые травосмеси находятся в промежуточном положении, но защитный эффект максимально исследуемой дозы удобрения ($P_{60}K_{180}$) у них достаточно высок:

- Удельная активность ^{137}Cs в зелёной массе травосмеси люцерны с житняком снизилась на 40,7 %;
- В зелёной массе травосмеси люцерны желтой с кострцом безостым на 40,5 %.

5. **Динамика по укосам.** Второй укос во всех вариантах характеризуется устойчиво более низким содержанием радионуклида по сравнению с первым

(снижение $-7,6 \text{ \%} \dots -7,7 \text{ \%}$), что подтверждает целесообразность двукосного использования травостоев на загрязненных территориях.

6. Соответствие нормам. При выращивании люцерны желтой содержание ^{137}Cs в грубых кормах превышает допустимый норматив (370 Бк/кг), поэтому необходимо применение калийного удобрения в дозе 180 кг/га д.в. Альтернативным приемом является использование люцерны в составе травосмесей с культурами, характеризующимися меньшей способностью к накоплению радионуклидов, такими как кострец безостый и житняк гребневидный.

5.3.2 Влияние фосфорно-калийного удобрения на переход ^{137}Cs по трофической цепи «корм-животное-человек»

Почвенная среда характеризуется высокой сорбционной емкостью по отношению к радиоактивным элементам. Тем не менее, постоянно происходит активная миграция: радионуклиды переходят из почвы в растение, а затем из растительных кормов в ЖКТ животных, с последующей частичной транслокацией в молоко и мясо, поступающие на прилавки (Белоус и др., 2016; Бокатуро, и др., 2018; Гамко и др., 2023).

Несмотря на выполнение мероприятий по реабилитации радиоактивно загрязненных территорий, в районах юго-запада Брянской области ситуация с ведением молочного животноводства и луговодства продолжает оставаться сложной. Без внесения минерального удобрения риск получения продукции молока и мяса, не соответствующих нормативам по удельной активности ^{137}Cs , остается существенным (Белоус и др., 2016).

Важнейшим аспектом для производителей сельскохозяйственной продукции является получение нормативно чистой продукции. Залогом получения нормативно чистого конечного продукта для производителей молока и мяса КРС, является использование нормативно чистых кормов.

При применении фосфорно-калийного удобрения в дозах $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$, $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ под травы и травосмеси отмечено снижение удельной активности ^{137}Cs в грубых кормах (Таблица 19). Использование полученных кормов в рационе крупного рогатого

скота сопровождалось снижением удельной активности ^{137}Cs в молоке по сравнению с контрольным вариантом для всех изучаемых культур и их травосмесей. При применении удобрения $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ под люцерну желтую удельная активность ^{137}Cs в молоке, при скармливании КРС грубого корма данной культуры уменьшалась на 3,55–3,85 Бк/л, в зависимости от укоса.

Таблица 15 – Эффективность фосфорно-калийного удобрения в снижении удельной активности ^{137}Cs молока КРС (Бк/л) при скармливании многолетних трав

Вариант Культура	Люцерна желтая	Кострец безостый	Житняк гребневидный	Люцерна + кострец	Люцерна + житняк
1 укос					
Контроль	18,74	7,26	7,76	14,24	13,93
$\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	14,89	4,38	3,86	9,59	8,97
$\text{P}_{60}\text{K}_{180}$	11,39	3,04	2,65	8,47	8,26
2 укос					
Контроль	17,31	6,70	7,17	13,16	12,87
$\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	13,76	4,04	3,56	8,86	8,29
$\text{P}_{60}\text{K}_{180}$	10,53	2,81	2,45	7,82	7,63

От применения удобрения $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ удельная активность ^{137}Cs в молоке при скармливании КРС грубого корма костреца безостого уменьшилась на 2,66–2,88 Бк/л, а грубого корма житняка гребневидного – на 3,61–3,90 Бк/л, в зависимости от укоса. Скармливание КРС грубого корма травосмесей, выращенных с применением фосфорно-калийного удобрения $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ приводит к следующим результатам: скармливание травосмеси люцерны желтой с кострецом безостым снижает показатель удельной активности ^{137}Cs молока на 4,30–4,65 Бк/л в зависимости от укоса, травосмеси люцерны желтой с житняком гребневидным – на 4,58–4,96 Бк/л.

Применение фосфорно-калийного удобрения под люцерну желтую в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ снижает удельную активность ^{137}Cs молока, при скармливании грубого корма данной культуры, на 6,78–7,35 Бк/л. У злаковых культур эффект был ещё более выраженным. От применения фосфорно-калийного удобрения в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ под посевы костреца безостого и житняка гребневидного удельная активность ^{137}Cs в молоке при скармливании КРС грубого корма костреца безостого уменьшалась на 3,89–4,22 Бк/л, а из житняка гребневидного – на 4,72–5,11 Бк/л, в зависимости от укоса.

Удобрение в дозе $P_{60}K_{180}$ под травосмеси люцерны жёлтой с кострцом безостым и житняком гребневидным уменьшает удельную активность ^{137}Cs молока при скармливании КРС грубого корма травосмеси люцерны желтой с кострцом безостым на 5,34–5,77 Бк/л в зависимости от укоса, а из травосмеси люцерны с житняком – на 5,24–5,67 Бк/л.

Таким образом, увеличение дозы калийного удобрения при выращивании многолетних трав, используемых в дальнейшем в качестве корма для КРС приводит к последовательному снижению содержания ^{137}Cs в молоке на 20,5–65,9 %. Сравнительный анализ накопления ^{137}Cs в молочной продукции показал, что максимальные значения удельной активности радионуклида регистрировались в группе животных, в рацион которых входили грубые корма люцерны жёлтой. При использовании злаковых трав отмечен достоверно более низкий уровень перехода ^{137}Cs в молоко. Наибольший эффект снижения удельной активности ^{137}Cs в молоке наблюдался при скармливании грубого корма многолетних трав, выращенных с применением удобрения $P_{60}K_{180}$.

Расчёты выполнялись исходя из фиксированной нормы грубого корма — 4 кг на голову в сутки. Изменение указанного параметра будет отражаться на величине удельной активности ^{137}Cs в молоке, что обусловлено прямой зависимостью между поступлением радионуклида с кормом и его переходом в продукцию: увеличение количества скармливаемого грубого корма данный показатель будет увеличивать, а уменьшение – снижать.

Применение фосфорно-калийного удобрения способствует снижению удельной активности ^{137}Cs в молоке при скармливании КРС грубого корма многолетних трав в среднем за два укоса. Применение удобрения $P_{60}K_{120}$ под люцерну жёлтую, используемую в кормлении КРС, снижает удельную активность ^{137}Cs молока на 3,69 Бк/л по сравнению с контролем, $P_{60}K_{180}$ на 7,06 Бк/л. (Таблица 20).

Доза удобрения $P_{60}K_{120}$, примененная под кострец безостый, снижает удельную активность ^{137}Cs молока на 2,77 Бк/л по сравнению с контролем, $P_{60}K_{180}$ – на 4,06 Бк/л, при скармливании КРС грубого корма данной культуры.

Аналогичная закономерность наблюдалась у житняка гребневидного. Применение удобрения $P_{60}K_{120}$ под житняк гребневидный снижает удельную активность ^{137}Cs молока на 3,76 Бк/л, $P_{60}K_{180}$ на 4,92 Бк/л, при скармливании КРС грубого корма данной культуры.

Таблица 20 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на снижение удельной активности ^{137}Cs молока КРС (Бк/л) при скармливании многолетних трав (в среднем за два укоса)

Вариант Культура	Люцерна желтая	Кострец безостый	Житняк гребневидный	Люцерна + кострец	Люцерна + житняк
Контроль	18,02	6,98	7,47	13,70	13,40
$P_{60}K_{120}$	14,33	4,21	3,71	9,23	8,63
$P_{60}K_{180}$	10,96	2,92	2,55	8,15	7,95

Применение удобрения $P_{60}K_{120}$ под травосмесь люцерны желтой с кострецом безостым снижает на 4,47 Бк/л, по сравнению с контролем, содержание ^{137}Cs в молоке, $P_{60}K_{180}$ на 5,55 Бк/л, при скармливании КРС грубого корма данной травосмеси.

От дозы фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{120}$, примененной под травосмесь люцерны желтой с житняком гребневидным, содержание ^{137}Cs молока снижается на 4,77 Бк/л, $P_{60}K_{180}$ на 5,45 Бк/кг ниже контрольного варианта, при скармливании КРС грубого корма данной травосмеси.

Установлено, что применение фосфорно-калийного удобрения в дозах $P_{60}K_{120}$, $P_{60}K_{180}$ при выращивании многолетних трав, используемых в дальнейшем для изготовления грубого корма, снижает содержание ^{137}Cs в молоке в среднем на 20,5–65,9 % по сравнению с контролем.

Теперь перейдем к анализу влияния фосфорно-калийного удобрения на удельную активность ^{137}Cs в мясе при скармливании грубого корма из различных вариантов посевов многолетних трав (Таблица 21).

Таблица 21 – Воздействие фосфорно-калийного удобрения на снижение удельной активности ^{137}Cs мяса КРС (Бк/кг) при скармливании многолетних трав

Вариант Культура	Люцерна желтая	Кострец безостый	Житняк гребневидный	Люцерна + кострец	Люцерна + житняк
1 укос					
Контроль	74,94	29,02	31,06	56,98	55,71
$\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	59,57	17,52	15,42	38,37	35,89
$\text{P}_{60}\text{K}_{180}$	45,57	12,16	10,61	33,87	33,04
2 укос					
Контроль	69,25	26,82	28,69	52,64	51,47
$\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	55,04	16,18	14,24	35,44	33,15
$\text{P}_{60}\text{K}_{180}$	42,11	11,23	9,79	31,30	30,53

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозах $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$, $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ под травы и травосмеси обеспечивает снижение удельной активности ^{137}Cs в грубом корме. Использование полученных кормов в рационе крупного рогатого скота сопровождалось снижением удельной активности ^{137}Cs в мясе по сравнению с контрольным вариантом для всех изучаемых культур и их травосмесей.

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ под люцерну жёлтую снижает на 14,21–15,37 Бк/кг удельную активность ^{137}Cs в мясе при скармливании КРС грубого корма данной культуры, в зависимости от укоса.

У злаковых культур эффект был более выраженным. Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ под посевы костреца безостого и житняка гребневидного снижало удельную активность ^{137}Cs в мясе при скармливании КРС грубого корма костреца безостого на 10,64–11,50 Бк/кг, а грубого корма житняка гребневидного – на 14,45–15,64 Бк/кг, в зависимости от укоса.

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ под травосмеси люцерны жёлтой с кострецом безостым и житняком гребневидным снизило удельную активность ^{137}Cs в мясе, при скармливании КРС грубого корма травосмеси люцерны желтой с кострецом безостым на 17,20–18,61 Бк/кг в зависимости от укоса, а травосмеси люцерны желтой с житняком гребневидным – на 18,32–19,82 Бк/кг.

От дозы удобрения $P_{60}K_{180}$, примененной под люцерну жёлтую, удельная активность ^{137}Cs в мясе при скармливании КРС грубого корма данной культуры снизилась на 27,14–29,37 Бк/кг, в зависимости от укуса.

У злаковых культур эффект был ещё более выраженным. Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{180}$ под посеvy костреца безостого и житняка гребневидного снижают удельную активность ^{137}Cs в мясе при скармливании КРС грубого корма костреца безостого на 15,59–16,86 Бк/кг, а грубого корма житняка гребневидного на 18,90–20,45 Бк/кг, в зависимости от укуса.

Применение удобрения в дозе $P_{60}K_{180}$ под травосмеси люцерны жёлтой с кострецом безостым и житняком гребневидным уменьшает удельную активность ^{137}Cs мяса при скармливании КРС грубого корма травосмеси люцерны желтой с кострецом безостым на 21,34–23,11 Бк/кг в зависимости от укуса, а травосмеси люцерны с житняком – на 20,94–22,67 Бк/кг.

Таким образом, увеличение дозы калия в составе фосфорно-калийного удобрения при выращивании многолетних трав, используемых в дальнейшем в качестве корма для КРС, приводит к последовательному снижению содержания ^{137}Cs в мясе на 20,5–65,8 % по сравнению с контролем. Сравнительная оценка накопления ^{137}Cs в мясе КРС в зависимости от состава кормовой базы показала, что наибольшие показатели удельной активности достигались при включении в рацион грубого корма люцерны жёлтой. При переходе на грубые корма злаковых культур уровень накопления радионуклида в мясе существенно снижался. Наибольший эффект снижения удельной активности ^{137}Cs в мясе наблюдался от скармливания грубого корма многолетних трав, выращенных с применением удобрения в дозе $P_{60}K_{180}$.

В среднем за два укуса в контроле наибольшая удельная активность ^{137}Cs в мясе отмечена при кормлении КРС грубым кормом люцерны жёлтой (72,10 Бк/кг). Применение удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ под люцерну жёлтую снизило удельную активность ^{137}Cs в мясе при скармливании КРС грубого корма данной культуры на 14,79 Бк/кг по сравнению с контролем, $P_{60}K_{180}$ на 28,26 Бк/кг. (Таблица 22).

Таблица 16 – Эффективность действия фосфорно-калийного удобрения на снижение удельной активности ^{137}Cs мяса КРС (Бк/кг) при скормливании многолетних трав (в среднем за два укоса)

Вариант Культура	Люцерна желтая	Кострец безостый	Житняк гребневидный	Люцерна + кострец	Люцерна + житняк
Контроль	72,10	27,92	29,87	54,81	53,59
$\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	57,31	16,85	14,83	36,90	34,52
$\text{P}_{60}\text{K}_{180}$	43,84	11,70	10,21	32,59	31,79

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ под кострец безостый снизило удельную активность ^{137}Cs в мясе на 11,07 Бк/кг по сравнению с контролем, $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ на 16,22 Бк/кг, при скормливании КРС грубого корма данной культуры.

Закономерность, установленная для люцерны жёлтой, подтвердилась и при скормливании КРС грубого корма житняка гребневидного. В контрольном варианте удельная активность ^{137}Cs в мясе равнялась 29,87 Бк/кг. Внесение удобрений под эту культуру приводило к заметному снижению перехода радионуклида в продукцию: при дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ удельная активность уменьшилась на 15,04 Бк/кг, $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ — на 19,66 Бк/кг.

От удобрения $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$, примененной под травосмесь люцерны желтой с кострецом безостым, удельная активность ^{137}Cs в мясе снизилась на 17,91 Бк/кг по сравнению с контролем, $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ на 22,22 Бк/кг, при скормливании КРС грубого корма данной травосмеси.

Применение удобрения в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ под травосмесь люцерны с житняком снижает удельная активность ^{137}Cs в мясе на 19,07 Бк/кг относительно контроля, $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ на 21,80 Бк/кг, при скормливании КРС грубого корма данной травосмеси.

При постоянном поедании скотом 4 кг грубого корма изучаемых многолетних трав, внесение удобрения в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ снижает дозу внутреннего облучения по сравнению с контролем в 1,3–2,0 раза в зависимости от вида травостоя. Наибольший эффект от применения данной дозы отмечен в посевах житняка гребневидного, где доза облучения снижается с 51,03 до 25,33 мкЗв/год,

то есть в 2,0 раза, тогда как в люцерне желтой снижение менее значительно — с 123,14 до 97,90 мкЗв/год (в 1,3 раза) (Таблица 23).

Таблица 23 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на дозу внутреннего облучения, получаемую за счёт молока и мяса КРС (мкЗв/год), в скормливание которого использовались многолетние травы

Вариант Культура	Люцерна желтая	Кострец безостый	Житняк гребневидный	Люцерна + кострец	Люцерна + житняк
Контроль	123,14	47,69	51,03	93,61	91,55
P ₆₀ K ₁₂₀	97,90	28,77	25,33	63,04	58,97
P ₆₀ K ₁₈₀	74,88	19,96	17,44	55,68	54,31

Применение удобрения в дозе P₆₀K₁₈₀ обеспечивало дополнительное снижение дозы облучения по сравнению с P₆₀K₁₂₀ в 1,2–1,5 раза в зависимости от вида травостоя. Минимальное значение (17,44 мкЗв/год) зафиксировано в зеленой массе житняка гребневидного при дозе P₆₀K₁₈₀, что в 2,9 раза ниже контрольного уровня (51,03 мкЗв/год). В костреце безостом при той же дозе удобрения облучение снижалось до 19,96 мкЗв/год (в 2,4 раза ниже контроля), в люцерне жёлтой — до 74,88 мкЗв/год (в 1,6 раза ниже контроля). Таким образом, увеличение дозы калия в составе удобрения с 120 до 180 кг д.в./га позволяет дополнительно снизить дозу облучения на 18–45 % в зависимости от вида травостоя; при этом все варианты удобрения обеспечивают дозу существенно ниже нормативной (1000 мкЗв/год).

5.3.3 Влияние фосфорно-калийного удобрения на переход ¹³⁷Cs из почвы в растение

Анализ удельной активности ¹³⁷Cs в пахотном слое почвы (0–20 см) за период 2022 – 2024 гг. свидетельствует, что исследованные агроценозы развиваются на фоне относительно стабильного, но переменного радиационного фона. Средневзвешенное содержание радионуклида в почве по всем вариантам опыта составило 1382 Бк/кг (Таблица 24).

Таблица 17 – Воздействие фосфорно-калийного удобрения на удельную активность ^{137}Cs в почвенном слое 0-20 см (естественная влажность), Бк/кг

Вариант Культура	Люцерна желтая	Кострец безостый	Житняк гребневидный	Люцерна + кострец	Люцерна + житняк
Контроль	1522	1352	1278	1348	1353
$\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	1354	1363	1267	1256	1333
$\text{P}_{60}\text{K}_{180}$	1408	1582	1465	1448	1377
V, %	6,0	9,1	8,3	7,1	1,6

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозах $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$, $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ не оказало влияния на уровень загрязнения почвы. В почве, в которую вносилось фосфорно-калийное удобрение в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ наблюдалось незначительное снижение удельной активности ^{137}Cs (в среднем на 0,9–11 %) относительно контроля, от дозы $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$, напротив, фиксировался рост удельной активности радионуклида, что особенно заметно у костреца безостого (1582 Бк/кг) и житняка гребневидного (1465 Бк/кг). Подобная разнонаправленная динамика при увеличении дозы удобрений указывает на то, что изменения значений лежат в пределах случайных колебаний радиационного фона почвы, обусловленных пространственной пестротой почвенного загрязнения, и не имеют причинно-следственной связи с агрохимическим воздействием. Коэффициент вариации находится в диапазоне 1,6–9,1%, что свидетельствует о незначительной степени изменчивости данного показателя.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что плотность радиоактивного загрязнения ^{137}Cs изменяется в пределах от 364,2 до 458,8 кБк/м² (Таблица 25). При этом выраженной однонаправленной зависимости от применения удобрений не наблюдается.

Установлено, что исследованные агроценозы развиваются при относительно стабильном, но вариабельном радиационном фоне: средневзвешенное значение плотности загрязнения по всем вариантам опыта составило 397,8 кБк/м².

Таблица 18 – Влияние доз фосфорно-калийного удобрения на плотность радиоактивного загрязнения ^{137}Cs (поверхностная активность), кБк/м²

Вариант Культура	Люцерна желтая	Кострец безостый	Житняк гребневидный	Люцерна + кострец	Люцерна + житняк
Контроль	441,3	392,1	370,5	390,9	392,3
P ₆₀ K ₁₂₀	392,7	395,4	367,4	364,2	386,5
P ₆₀ K ₁₈₀	408,4	458,8	424,7	420,0	399,3
V, %	6,0	9,1	8,3	7,1	1,6

Анализ распределения поверхностной активности свидетельствует, что внесение фосфорно-калийного удобрения в дозах P₆₀K₁₂₀ и P₆₀K₁₈₀ не оказало значимого достоверного влияния на уровень загрязнения почвы. Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе P₆₀K₁₂₀ незначительно снижает показатель удельной активности ^{137}Cs относительно контроля по большинству культур: в люцерне желтой – с 441,3 до 392,7 кБк/м², в житняке гребневидном – с 370,5 до 367,4 кБк/м², в травосмеси люцерна желтая + кострец безостый – с 390,9 до 364,2 кБк/м². При этом коэффициент вариации находится в диапазоне 1,6–9,1%, что свидетельствует о незначительной степени изменчивости данного показателя.

От дозы удобрения P₆₀K₁₈₀ зафиксировано возрастание плотности загрязнения по сравнению как с контролем, так и с дозой удобрения P₆₀K₁₂₀. Наиболее выраженный рост отмечен у костреца безостого – с 392,1 (контроль) до 458,8 кБк/м², а также у житняка гребневидного – с 370,5 до 424,7 кБк/м² и у травосмеси люцерна желтая + кострец безостый – с 390,9 до 420,0 кБк/м². Подобная разнонаправленная динамика при увеличении дозы удобрений (снижение от P₆₀K₁₂₀ и рост от P₆₀K₁₈₀) указывает на то, что изменения значений лежат в пределах случайных пространственных вариаций радиационного фона, обусловленных неоднородностью почвенного покрова, и не имеющих причинно-следственной связи с агрохимическим воздействием.

Нашими исследованиями в очередной раз продемонстрировано, что содержание ^{137}Cs в пахотном слое почвы определяется исходным уровнем загрязнения территории и почвенно-геохимическими условиями и не зависит от внесения изучаемых доз фосфорно-калийного удобрения.

Применение фосфорно-калийного удобрения способствует снижению коэффициентов накопления и перехода ^{137}Cs из почвы в растения независимо от культуры и укоса. При этом наиболее высокие значения показателей отмечаются на контрольном варианте, а минимальные – при применении фосфорно-калийного удобрения в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ (Таблица 26).

Коэффициент перехода ($K_{\text{п}}$) рассчитывается по формуле (1):

$$K_{\text{п}} = \frac{A_{\text{р}}}{Q}, \quad (1)$$

где, $K_{\text{п}}$ – коэффициент перехода;

$A_{\text{р}}$ – удельная активность ^{137}Cs в воздушно-сухой массе растений, Бк/кг;

Q – плотность радиоактивного загрязнения почвы, кБк/м².

Формула расчета коэффициента накопления следующая (2):

$$K_{\text{н}} = \frac{A_{\text{р}}}{A_{\text{п}}}, \quad (2)$$

где, $K_{\text{н}}$ – коэффициент накопления;

$A_{\text{р}}$ – удельная активность ^{137}Cs в воздушно-сухой массе растений, Бк/кг;

$A_{\text{п}}$ – удельная активность ^{137}Cs в почве, Бк/кг.

Таблица 19 – Эффективность действия фосфорно-калийного удобрения на коэффициент накопления ($K_{\text{н}}$) и коэффициент перехода ($K_{\text{п}}$) ^{137}Cs из почвы в воздушно-сухую массу растений

Вариант Культура	$K_{\text{н}}$			$K_{\text{п}}$		
	Контроль	$\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	$\text{P}_{60}\text{K}_{180}$	Контроль	$\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	$\text{P}_{60}\text{K}_{180}$
1 укос						
Люцерна желтая	0,31	0,27	0,20	1,06	0,95	0,70
Кострец безостый	0,13	0,08	0,05	0,46	0,28	0,17
Житняк гребневидный	0,15	0,08	0,05	0,52	0,26	0,16
Люцерна + кострец	0,26	0,19	0,15	0,91	0,66	0,50
Люцерна + житняк	0,26	0,17	0,15	0,89	0,58	0,52
2 укос						
Люцерна желтая	0,28	0,25	0,19	0,98	0,88	0,64
Кострец безостый	0,12	0,07	0,04	0,43	0,26	0,15
Житняк гребневидный	0,14	0,07	0,04	0,48	0,24	0,14
Люцерна + кострец	0,24	0,18	0,14	0,84	0,61	0,47
Люцерна + житняк	0,24	0,16	0,14	0,82	0,54	0,48

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ снижает коэффициент накопления ^{137}Cs в первом укосе люцерны желтой с 0,31 до 0,27, или на 12,9 % по сравнению с контролем, $P_{60}K_{180}$ до 0,20, что соответствует уменьшению показателя на 35,5 %. Во втором укосе аналогичная закономерность сохраняется: коэффициент накопления от применения фосфорно-калийного удобрения в тех же дозах уменьшается с 0,28 до 0,25 и 0,19, или на 10,7 и 32,1 % соответственно.

От дозы удобрения $P_{60}K_{120}$ коэффициент накопления ^{137}Cs в первом укосе костреца безостого снижается на 38,5 % относительно контроля, $P_{60}K_{180}$ на 61,5 %. Во втором укосе коэффициент накопления от применения тех же доз удобрения уменьшается на 41,7 и 66,7 % соответственно.

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ снижает коэффициент накопления ^{137}Cs в первом укосе житняка гребневидного с 0,15 до 0,08, или на 46,7 % по сравнению с контролем, $P_{60}K_{180}$ – до 0,05, что соответствует уменьшению показателя на 66,7 % относительно контроля. Во втором укосе коэффициент накопления от применения тех же доз фосфорно-калийного удобрения уменьшается с 0,14 до 0,07 и 0,04, или на 50,0 и 71,4 % соответственно, что является наиболее выраженным снижением среди исследуемых культур.

Удобрение $P_{60}K_{120}$ снижает коэффициент накопления ^{137}Cs в первом укосе травосмеси люцерны желтой с кострецом безостым на 26,9 % относительно контроля, $P_{60}K_{180}$ на 42,3 %. Во втором укосе коэффициент накопления при применении тех же доз удобрения уменьшается на 25,0 и 41,7 % соответственно.

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ снижает коэффициент накопления ^{137}Cs в первом укосе травосмеси люцерны желтой с житняком гребневидным с 0,26 до 0,17, или на 34,6 % по сравнению с контролем, $P_{60}K_{180}$ – до 0,15, что соответствует уменьшению показателя на 42,3 %, относительно контроля. Во втором укосе коэффициент накопления от применения тех же доз фосфорно-калийного удобрения уменьшается с 0,24 до 0,16 и 0,14, или на 33,3 и 41,7 % соответственно.

Фосфорно-калийное удобрение обеспечило снижение коэффициента накопления ^{137}Cs во всех изучаемых вариантах. Наибольший эффект зафиксирован при дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$, где снижение показателя относительно контроля варьировалось от 35,5 до 66,7 % в первом укосе и от 32,1 до 71,4 % во втором. По степени выраженности эффекта культуры ранжируются следующим образом: житняк гребневидный (66,7 % в первом укосе и 71,4 % во втором) и кострец безостый (61,5 и 66,7 % соответственно) демонстрируют максимальное снижение, тогда как у люцерны жёлтой оно наименее выражено — 35,5 и 32,1 % по укосам.

Применение удобрения в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ снижает коэффициент перехода ^{137}Cs в первом укосе люцерны желтой на 10,4 % по сравнению с контролем, $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ на 34,0 %. Во втором укосе аналогичная закономерность от применения тех же доз удобрения сохраняется: коэффициент перехода уменьшается на 10,2 и 34,7 % соответственно.

Доза удобрения $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ снижает коэффициент перехода ^{137}Cs в первом укосе костреца безостого на 39,1 % относительно контроля, $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ на 63,0 %. Во втором укосе коэффициент перехода при применении тех же доз удобрения уменьшается с 0,43 до 0,26 и 0,15, или на 39,5 и 65,1 % соответственно.

Применение удобрения в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ снижает коэффициент перехода ^{137}Cs в первом укосе житняка гребневидного на 50,0 % по сравнению с контролем, $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ на 69,2 %. Во втором укосе коэффициент перехода от применения тех же доз удобрения уменьшается с 0,48 до 0,24 и 0,14, или на 50,0 и 70,8 % соответственно, что является наиболее выраженным снижением среди исследуемых культур.

Фосфорно-калийное удобрение $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ снижает коэффициент перехода ^{137}Cs в первом укосе травосмеси люцерны желтой с кострцом безостым с 0,91 до 0,66, или на 27,5 % относительно контроля, $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ — до 0,50, что соответствует уменьшению показателя на 45,1 %. Во втором укосе коэффициент перехода от применения тех же доз фосфорно-калийного удобрения уменьшается с 0,84 до 0,61 и 0,47, или на 27,4 и 44,0 % соответственно.

Применение удобрения в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ снижает коэффициент перехода ^{137}Cs в первом укосе травосмеси люцерны желтой с житняком гребневидным на 34,8 % по

сравнению с контролем, $P_{60}K_{180}$ на 41,6 %. Во втором укосе коэффициент перехода от применения тех же доз удобрения уменьшается на 34,1 и 41,5 % соответственно.

Фосфорно-калийное удобрение обеспечило снижение коэффициента перехода ^{137}Cs из почвы в воздушно-сухую массу растений во всех изучаемых вариантах. Наибольший эффект зафиксирован при дозе $P_{60}K_{180}$, где снижение показателя относительно контроля варьировало от 34,0 до 69,2 % в первом укосе и от 34,7 до 70,8 % во втором. По степени выраженности эффекта культуры ранжируются следующим образом: житняк гребневидный (69,2 % в первом укосе и 70,8 % во втором) и кострец безостый (63,0 и 65,1 % соответственно) демонстрируют максимальное снижение, тогда как у люцерны жёлтой оно наименее выражено — 34,0 и 34,7 % по укосам.

Глава 6. Влияние фосфорно-калийного удобрения на баланс питательных веществ

Изучение баланса азота, фосфора и калия на фоне систематического применения органического и минерального удобрения служит основой для разработки и постоянного совершенствования рекомендаций по их рациональному использованию. Анализ баланса питательных элементов в системе «почва – удобрение» наряду с обобщением данных об эффективности их внесения позволяет также определить ключевые направления трансформации плодородия почвы, что необходимо учитывать при построении систем удобрения, используемых при выращивании многолетних трав (Белоус, 2025).

Поддержание научно обоснованного баланса элементов питания является ключевым условием сохранения и повышения почвенного плодородия. На данный момент минеральные удобрения – безальтернативная основа поддержания баланса питательных веществ. Только рациональная и безопасная модель их применения (вместе с другими средствами химизации) останавливает деградацию почв и позволяет поддерживать высокий уровень урожайности почв. В Нечерноземной зоне России на протяжении последних десятилетий отмечается устойчивый отрицательный баланс основных элементов питания – азота, фосфора и калия (Шафран, 2016; Сычев, Шафран 2017; Кудеяров, 2018).

При таком положении дел особенно остро встает вопрос о системах удобрения, которые обеспечат бездефицитный или положительный баланс.

Одной из важнейших задач при разработке и выборе системы удобрения является обоснование такого её варианта, который обеспечивает формирование сбалансированного режима питания растений. Также система удобрения должна быть ориентирована на достижение оптимального или максимально приближенного к оптимальному, баланса элементов питания в почве, что является необходимым условием устойчивого функционирования агроэкосистем.

Рационально выстроенная система удобрения позволяет не только компенсировать вынос питательных веществ с урожаем, но и предотвращать их

дефицит или избыточное накопление в почве. Это, в свою очередь, способствует сохранению и повышению плодородия, росту продуктивности сельскохозяйственных культур и повышению эффективности использования удобрения (Дзюин, 2015; Чеботарев и др., 2018).

Впервые в отечественной науке баланс питательных элементов (NPK) был рассчитан Д. Н. Прянишниковым в 1937 году (публикация 1952 г.). Без полной информации о балансе элементов питания в агроэкосистемах, а также о влиянии удобрения и других средств химизации на вынос питательных веществ и их баланс в системе почва-растение, невозможно грамотно организовать эффективное кормопроизводство (Минеев, Гомонова, 2014).

В условиях дефицита удобрений и ограниченности материально-финансовых ресурсов смешанные посевы многолетних бобовых трав служат действенным инструментом биологизации и интенсификации земледелия. Они обеспечивают получение достаточного количества качественных кормов при одновременном сохранении и повышении почвенного плодородия. Экспериментально доказано, что азотфиксирующая способность бобовых и их корне-укосные остатки увеличивают содержание азота в дерново-подзолистых почвах на 135–314 кг/га (Шмелева, 2020).

В условиях Республики Коми на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах в системе кормового севооборота с участием многолетних трав применение минеральной системы удобрения обеспечило формирование наиболее сбалансированного режима питания растений по основным элементам – азоту, фосфору и калию. По сравнению с органической и органо-минеральной системами, данный вариант отличался большей стабильностью поддержания оптимального баланса питательных веществ (Чеботарев, Юдин, 2015).

В исследованиях Анкудович (2022) положительный баланс фосфора (+12,2–25,8 кг/га в год) формируется при применении повышенных доз минеральных удобрения (NPK)₇₇₋₉₄, а также при совместном применении навоза и минеральных туков. В отношении калия при применении повышенных доз минеральных

удобрения (NPK)₇₇₋₉₄ на фоне органической системы (навоз) достигается слабоположительный баланс (+5,5 кг/га в год).

При включении многолетних бобовых трав в трёх- или четырёхлетние звенья севооборотов формируется бездефицитный баланс азота в пахотном горизонте. Кумулятивный эффект от симбиотической фиксации атмосферного азота клубеньковыми бактериями, наряду с минерализацией азотсодержащих соединений из корневых и пожнивных остатков, обеспечивает поступление в почву от 50 до 200 кг/га азота в зависимости от продуктивности бобового компонента. При этом баланс доступного фосфора и калия остается отрицательным и для формирования качественного урожая требуется внесение фосфорно-калийного удобрения (Дронова и др., 2016).

Вынос калия с урожаем травосмесей многолетних трав варьировал от 59 до 210 кг/га. Применявшаяся в опыте доза калия (180 кг/га) оказалась вполне оправданной, так как при возделывании люцерны и люцернозлаковых травостоев она полностью компенсировала вынос этого элемента с урожаем трав (Лазарев и др., 2011).

При изучении влияния минеральных удобрений на баланс питательных веществ в посевах люцерны синегибридной установлено, что минимальный вынос фосфора (23,09 кг/га) отмечен при внесении азотного удобрения в дозе N₃₀, тогда как максимальное значение (32,6 кг/га) зафиксировано при применении полного минерального удобрения N₃₀P₆₀K₆₀ (Парамонов и др., 2024).

Внесение удобрения P₁₂₀K₁₈₀ способствует увеличению содержания доступного фосфора (+102 кг/га) и калия (+69 кг/га) в почве (Шаповалов и др., 2012).

Проведённые нами исследования баланса азота, фосфора и калия при возделывании многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах на дерново-подзолистой песчаной почве позволили установить чёткие закономерности трансформации балансовых показателей под влиянием возрастающих доз фосфорно-калийного удобрения. Анализ баланса питательных веществ имеет принципиальное значение для оценки устойчивости агроэкосистем

и разработки научно обоснованных рекомендаций по применению удобрений, поскольку именно балансовые показатели отражают направленность процессов, протекающих в системе «почва – удобрение – растение» (Таблица 27, Приложение Е).

Таблица 20 – Воздействие фосфорно-калийного удобрения на баланс элементов питания в почве (кг/га) при выращивании многолетних трав (среднее за два укоса) 2022 – 2024 гг.

Вариант	Культура	Поступление			Вынос			Баланс		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	Люцерна желтая	83,8	0	0	49,4	18,9	94,2	34,3	-18,9	-94,2
P ₆₀ K ₁₂₀		91,3	60	120	59,4	23,7	118,0	31,9	36,3	2,0
P ₆₀ K ₁₈₀		98,8	60	180	64,6	28,2	151,4	34,4	31,8	28,6
Контроль	Кострец безостый	0	0	0	65,8	11,0	65,2	-50,8	-11,0	-65,2
P ₆₀ K ₁₂₀		0	60	120	81,0	14,5	83,8	-66,0	45,5	36,2
P ₆₀ K ₁₈₀		0	60	180	95,4	17,1	103,0	-80,4	42,9	77,0
Контроль	Житняк гребневидный	0	0	0	63,2	12,9	76,5	-63,2	-12,9	-76,5
P ₆₀ K ₁₂₀		0	60	120	90,5	15,1	94,0	-90,5	45,0	26,0
P ₆₀ K ₁₈₀		0	60	180	112,9	20,1	112,7	-112,9	39,9	67,3
Контроль	Люцерна + кострец	58,6	0	0	92,9	23,5	126,6	-34,3	-23,5	-126,6
P ₆₀ K ₁₂₀		61,9	60	120	94,0	28,0	147,8	-32,1	32,0	-27,8
P ₆₀ K ₁₈₀		65,2	60	180	97,5	33,3	170,0	-32,3	26,7	10,0
Контроль	Люцерна + житняк	58,6	0	0	106,5	28,4	151,6	-47,9	-28,4	-151,6
P ₆₀ K ₁₂₀		61,9	60	120	107,6	31,7	169,1	-45,7	28,3	-49,1
P ₆₀ K ₁₈₀		65,2	60	180	122,5	39,5	204,3	-57,3	20,5	-24,3

Баланс азота. По изученным вариантам опыта характер баланса азота существенно зависел от ботанического состава травостоя. У злаковых культур и травосмесей сохранялся отрицательный баланс азота, тогда как у люцерны желтой во всех вариантах опыта отмечен положительный баланс, обусловленный высокой интенсивностью симбиотической фиксации атмосферного азота. Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе P₆₀K₁₂₀ увеличивает вынос азота на 1,0–43,2 % в зависимости от культуры, P₆₀K₁₈₀ усиливает эту тенденцию: вынос азота возрастает на 4,9–78,6 % по сравнению с контролем. Наиболее интенсивное увеличение выноса азота отмечено у житняка гребневидного, что объясняется его высокой отзывчивостью на улучшение фосфорно-калийного питания.

В зеленой массе люцерны жёлтой во всех вариантах опыта формировался положительный баланс азота, величина которого составляла 34,3–34,4 кг/га, внесение удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ обеспечивало положительный баланс на уровне 31,9 кг/га, $P_{60}K_{180}$ — 34,4 кг/га. В травосмеси люцерны с кострцом безостым отрицательный баланс был существенно менее выражен, чем в чистых посевах злаков, и составил -34,3...-32,1 кг/га, тогда как в травосмеси люцерны с житняком гребневидным -57,3...-45,7 кг/га. Наиболее выраженный дефицит азота отмечен в чистых посевах житняка гребневидного, где отрицательный баланс увеличился с -63,2 до -112,9 кг/га, или на 78,6 % относительно контроля. Результаты исследований показывают, что в условиях дерново-подзолистой песчаной почвы применение удобрений без азотного компонента не позволяет достичь бездефицитного баланса азота в одновидовых посевах злаковых трав, тогда как присутствие люцерны в составе травостоя обеспечивает значительную компенсацию выноса азота за счёт симбиотической азотфиксации.

Баланс фосфора. Наиболее существенное и позитивное изменение балансовых показателей под влиянием фосфорно-калийного удобрения отмечено для фосфора. В контрольном варианте у всех культур и травосмесей зафиксирован отрицательный баланс фосфора, обусловленный выносом элемента с урожаем при отсутствии его поступления с удобрениями. Внесение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ полностью трансформирует баланс фосфора: отрицательные значения сменяются положительными во всех вариантах опыта. При этом величина положительного баланса варьирует от +14,8 кг/га (травосмесь люцерны желтая + житняк гребневидный) до +39,3 кг/га (кострец безостый). Доза удобрения $P_{60}K_{180}$ приводит к некоторому снижению положительного баланса фосфора по сравнению с вариантом $P_{60}K_{120}$ (до +3,6...+35,6 кг/га), что объясняется дальнейшим ростом урожайности и, соответственно, увеличением выноса фосфора с урожаем при неизменном его поступлении с удобрениями. Тем не менее, во всех вариантах с применением удобрений баланс фосфора остаётся положительным, что свидетельствует о восполнении его запасов в почве и создании условий для поддержания оптимального фосфорного режима в длительной перспективе.

Наибольший положительный баланс фосфора отмечен у костреца безостого (+35,6–39,3 кг/га), что связано с его более умеренным темпом нарастания урожайности и выноса фосфора по сравнению с бобовыми культурами и травосмесями.

Баланс калия. В контрольных вариантах зафиксирован острый дефицит калия, величина которого варьирует от 65,2 кг/га у костреца безостого до 151,6 кг/га в травосмеси люцерны желтой с житняком гребневидным, что отражает высокую потребность многолетних трав в этом элементе и значительный его вынос с урожаем при отсутствии поступления с удобрениями.

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ обеспечивает кардинальное снижение дефицита калия во всех вариантах опыта. Наибольший эффект отмечен в посевах костреца безостого, где дефицит калия сокращается на 101,4 кг/га (155,5 %), трансформируясь из отрицательного (–65,2 кг/га) в положительный (+36,2 кг/га), а также при выращивании житняка гребневидного, где дефицит калия сокращается на 102,5 кг/га (134,0 %), формируя положительный баланс (+26,0 кг/га). В зеленой массе люцерны желтой дефицит калия снижается на 96,2 кг/га (102,1 %), при этом также формируется положительный баланс (+2,0 кг/га). В гетерогенных травосмесях наблюдается аналогичная тенденция: в травосмеси люцерны желтая + кострец безостый дефицит калия сокращается на 98,8 кг/га (78,0 %), а в травосмеси люцерны желтая + житняк гребневидный — на 102,5 кг/га (67,6 %).

Доза удобрения $P_{60}K_{180}$ усиливает этот эффект: баланс калия становится положительным во всех монопосевах, достигая +28,6 кг/га в зеленой массе люцерны желтой, +77,0 кг/га при выращивании костреца безостого и +67,3 кг/га в житняке гребневидном. По сравнению с контролем дефицит калия уменьшается на 122,8–142,2 кг/га, или 130,4–218,1 %. В травосмесях эффективность применения удобрения также остается высокой: дефицит калия снижается на 136,6 кг/га (107,9 %) в травосмеси люцерны желтая + кострец безостый и на 127,3 кг/га (84,0 %) в травосмеси люцерны желтая + житняк гребневидный. В травосмеси люцерны желтая + кострец безостый формируется положительный баланс калия (+10,0

кг/га), тогда как в травосмеси люцерна желтая + житняк гребневидный сохраняется небольшой отрицательный баланс ($-24,3$ кг/га).

Особого внимания заслуживает сопоставительный анализ балансовых показателей в одновидовых и гетерогенных посевах. В чистых посевах всех изученных культур применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{180}$ позволяет не только ликвидировать дефицит калия, но и сформировать его положительный баланс, что свидетельствует о полном возмещении выноса и накоплении калия в почве. В бобово-злаковых травосмесях эффективность удобрения также остается высокой, однако в наиболее продуктивной травосмеси люцерна желтая + житняк гребневидный даже при максимальной изучаемой дозе сохраняется небольшой дефицит калия ($24,3$ кг/га), что обусловлено повышенным выносом элемента с урожаем. Это указывает на необходимость дальнейшей оптимизации калийного питания при возделывании высокопродуктивных бобово-злаковых травостоев для обеспечения бездефицитного баланса калия.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют: фосфорно-калийное удобрение выступает эффективным инструментом регулирования баланса питательных веществ в агроэкосистемах на дерново-подзолистой песчаной почве. Внесение удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ обеспечивает трансформацию отрицательного баланса фосфора в положительный во всех вариантах опыта: в зеленой массе люцерны желтой баланс изменяется с $-18,9$ до $+36,3$ кг/га, в посевах костреца безостого – с $-11,0$ до $+45,5$ кг/га, в житняке гребневидном с $-12,9$ до $+45,0$ кг/га, в травосмеси люцерна желтая + кострец безостый – с $-23,5$ до $+32,0$ кг/га, в травосмеси люцерна желтая + житняк гребневидный – с $-28,4$ до $+28,3$ кг/га.

Применение дозы удобрения $P_{60}K_{180}$ сопровождается снижением положительного баланса фосфора вследствие более интенсивного выноса элемента с возросшим урожаем, тем не менее во всех вариантах сохраняется положительное сальдо, что свидетельствует о восстановлении фосфорного плодородия почвы.

Наиболее существенное влияние фосфорно-калийное удобрение оказывает на баланс калия. При применении удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ дефицит калия сокращается на $96,2$ кг/га ($102,1$ %) в зеленой массе люцерны желтой, на $102,5$ кг/га

(134,0 %) в житняке гребневидном, в травосмеси люцерны желтой + костреч безостый – на 98,8 кг/га (78,0 %), в травосмеси люцерны желтой + житняк гребневидный – на 102,5 кг/га (67,6 %). В зеленой массе люцерны желтой, костреча безостого и житняка гребневидного отрицательный баланс калия трансформируется в положительный и составляет соответственно +2,0, +36,2 и +26,0 кг/га.

Фосфорно-калийное удобрение $P_{60}K_{180}$ усиливает этот эффект: в зеленой массе люцерны желтой дефицит калия снижается на 122,8 кг/га (130,4 %), в кострече безостом – на 142,2 кг/га (218,1 %), в зеленой массе житняка гребневидного – на 143,8 кг/га (187,9 %), в травосмеси люцерны желтой + костреч безостый – на 136,6 кг/га (107,9 %) и на 127,3 кг/га (84,0 %) в травосмеси люцерны желтой + житняк гребневидный. Наиболее положительный баланс калия отмечен у костреча безостого и составил +77,0 кг/га.

Баланс азота определяется биологическими особенностями изучаемых культур. В зеленой массе люцерны желтой во всех вариантах опыта сохраняется положительный баланс азота, составляющий 31,9–34,4 кг/га, что обусловлено высокой интенсивностью симбиотической фиксации атмосферного азота. В чистых посевах злаковых культур, напротив, сохраняется отрицательный баланс азота, который усиливается по мере увеличения урожайности: при применении удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ вынос азота возрастает на 23,1–43,2 %, $P_{60}K_{180}$ – на 45,0–78,6 % по сравнению с контролем. Наиболее высокий дефицит азота отмечен у житняка гребневидного (-112,9 кг/га) и костреча безостого (-80,4 кг/га), что указывает на необходимость компенсации этого элемента либо за счёт внесения азотных удобрений, либо путём выращивания злаковых культур в травосмесях с бобовым компонентом. В травосмесях отрицательный баланс азота выражен значительно слабее и составил -32,1...-45,7 кг/га при применении удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ и -32,3...-57,3 кг/га от дозы $P_{60}K_{180}$, что связано с частичной компенсацией выноса азота благодаря симбиотической азотфиксации люцерны желтой.

Полученные результаты имеют важное практическое значение для разработки научно обоснованных рекомендаций по применению удобрений при

возделывании многолетних трав на дерново-подзолистых песчаных почвах в условиях радиоактивного загрязнения, позволяя оптимизировать дозы удобрений для достижения сбалансированного режима питания растений и сохранения почвенного плодородия.

Глава 7. Экономическая эффективность фосфорно-калийного удобрения

Производство продукции растениеводства связано с постоянным поиском и внедрением эффективных технологий возделывания, обеспечивающих рост урожайности при одновременном снижении затрат. В современных почвенно-климатических и хозяйственных условиях повышение эффективности кормопроизводства достигается за счёт совершенствования, в первую очередь, агрохимических мероприятий (Чирков, 2015).

В исследованиях различных авторов многократно выявлено влияние систем удобрения на экономическую эффективность выращивания травосмесей.

В исследованиях Прокина (2019) отмечается рост рентабельности выращивания костреца безостого на 4 % при применении удобрения $P_{40}K_{40}$. При этом условный доход при использовании подобной системы удобрения вырос с 1141 руб/га до 1701 руб/га.

В исследованиях Гаврилов с соавторами (2025) наибольший чистый доход был получен при использовании системы удобрения $P_{48}K_{48}$. Показатель чистого дохода составил 10600 руб/га.

Среди изученных систем питания многолетних злаковых трав на торфянисто-глеевой почве максимальный экономический эффект достигнут при внесении $N_{120}P_{90}K_{150}$ в сочетании с некорневой обработкой медью ($Сu_{80}$). Данный вариант обеспечил условный чистый доход ~2634 руб./га и рентабельность 17,1 %, при этом каждый килограмм удобрения окупался 18,3 кг сена (9,3 корм. ед.) (Цыбулько и др., 2021).

В своих исследованиях Цыбулько и др. (2018) установили, что при увеличении доз фосфора и калия с 120 кг/га до 180 кг/га окупаемость удобрений прибавкой кормовых единиц возрастает с 4,9 до 7,3. Однако при доведении дозы калия до 240 кг/га данный показатель снижается. Наивысшая окупаемость 1 кг азота (65,3 кг сена или 33,3 кормовых единицы) отмечена в варианте с N_{30} . Дальнейшее повышение азотных доз до N_{60} и N_{90} ведёт к закономерному снижению окупаемости прибавкой урожая.

В исследованиях Смирнова (2025) выявлено, что затраты на ежегодное внесение минерального удобрения в подкормку многолетних трав составили 22 тыс. руб./га. Это позволило получить 4,3 тыс. корм. ед./га и доход 47 тыс. руб./га, при этом рентабельность достигла 207 %.

Анализ экономической эффективности производства зеленой массы одновидовых и гетерогенных посевов сельскохозяйственных культур многолетних трав в нашем исследовании за 2022 – 2024 гг. свидетельствует, что применение фосфорно-калийного удобрения в дозах $P_{60}K_{120}$, $P_{60}K_{180}$ оказывает комплексное влияние на экономические показатели, при этом характер этого влияния неоднороден для различных культур и травосмесей.

Анализ экономической эффективности возделывания зелёной массы свидетельствует, что наибольший эффект достигается в варианте на основе люцерны изменчивой и овсяницы луговой. Совместное применение борофоски и азотного удобрения (N_{30}) в оптимальном варианте обеспечило себестоимость 1 тонны зелёной массы в среднем 363 рубля при чистом доходе 914 тыс. рублей и рентабельности 67,6 %, что подтверждает целесообразность использования данной травосмеси и указанной системы удобрения (Дьяченко, 2020).

Анализ экономической эффективности проведен путем сравнения контроля (без внесения удобрения) и двух фосфорно-калийных удобрений: $P_{60}K_{120}$ и $P_{60}K_{180}$ (Таблица 28, Приложение Ж).

Анализ структуры затрат показал, что применение удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ приводило к закономерному росту совокупных затрат на возделывание во всех вариантах посевов. Если в контрольных вариантах затраты находились в диапазоне от 3475 руб./га (житняк гребневидный) до 4086 руб./га (люцерна желтая + костреч безостый), то при дозе $P_{60}K_{120}$ они увеличивались до 17847–18458 руб./га, что в 4,5–5,1 раза превышает контрольные значения. Столь значительный рост обусловлен, прежде всего, стоимостью внесённых удобрений.

Таблица 21 – Экономическая эффективность производства зеленой массы многолетних трав одновидовых и гетерогенных посевов сельскохозяйственных культур в зависимости от доз фосфорно-калийного удобрения (2022 – 2024 гг.)

Вариант Культура	Люцерна желтая	Кострец безостый	Житняк гребневидный	Люцерна + кострец	Люцерна + житняк
Сбор кормовых единиц, тыс. га					
Контроль	3,14	2,06	2,36	3,92	4,35
P ₆₀ K ₁₂₀	3,72	2,75	3,13	4,40	4,69
P ₆₀ K ₁₈₀	4,23	3,12	3,66	4,72	5,56
Совокупные затраты на возделывание, руб./га					
Контроль	3933	3780	3475	4086	3939
P ₆₀ K ₁₂₀	18306	18153	17847	18458	18311
P ₆₀ K ₁₈₀	20751	20598	20293	20904	20748
Стоимость валовой продукции, руб./га					
Контроль	31395	20561	23616	39206	43487
P ₆₀ K ₁₂₀	37201	27537	31299	44027	46872
P ₆₀ K ₁₈₀	42272	31242	36612	47181	55567
Себестоимость 100 кормовых единиц, руб.					
Контроль	125,3	183,9	147,1	104,2	90,6
P ₆₀ K ₁₂₀	492,1	659,2	570,2	419,3	390,7
P ₆₀ K ₁₈₀	490,9	659,3	554,3	443,1	373,4
Условный доход, руб./га					
Контроль	27461	16781	20142	35120	39548
P ₆₀ K ₁₂₀	18896	9384	13452	25568	28561
P ₆₀ K ₁₈₀	21521	10644	16319	26277	34819
Рентабельность, %					
Контроль	698	444	580	859	1004
P ₆₀ K ₁₂₀	103	52	75	139	156
P ₆₀ K ₁₈₀	104	52	80	126	168

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе P₆₀K₁₂₀ формирует наибольший абсолютный прирост сбора кормовых единиц среди травосмесей в зеленой массе люцерны желтой с кострецом безостым: +0,48 тыс./га (с 3,92 до 4,40 тыс./га), или +12,2 %. В травосмеси люцерны желтой с житняком гребневидным прибавка к контролю составила +0,34 тыс./га (с 4,35 до 4,69 тыс./га) или +7,8 %. Среди одновидовых посевов минимальная прибавка получена в посевах люцерны желтой: +0,58 тыс./га (с 3,14 до 3,72 тыс./га), или +18,5 %; в костреце безостом и житняке гребневидном прибавка составила +0,69 (33,5 %) и +0,77 (32,6 %) тыс./га соответственно. Таким образом, на применение фосфорно-калийного удобрения в дозе P₆₀K₁₂₀ злаковые травы в чистом виде реагируют сильнее, чем бобовые и

травосмеси, однако в абсолютных цифрах сбора кормовых единиц травосмеси и люцерны желтая остаются лидерами.

Удобрение в дозе $P_{60}K_{120}$ повышает стоимость валовой продукции по сравнению с контролем во всех вариантах. В травосмеси люцерны желтой с житняком гребневидным прирост составил +3385 руб./га (с 43487 до 46872 руб./га). В посевах люцерны рост составил +5806 руб./га (с 31395 до 37201 руб./га), в травосмеси люцерны с кострцом безостым – +4821 руб./га (с 39206 до 44027 руб./га). Совокупные затраты увеличились в среднем на 14372 руб./га, сопоставление прироста стоимости продукции и прироста затрат позволяет оценить условный доход.

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ условный доход (разница между стоимостью валовой продукции и совокупными затратами) изменило неоднозначно. В посевах люцерны он снизился с 27461 руб./га в контроле до 18896 руб./га (-8565 руб./га). Это означает, что дополнительные затраты на фосфорно-калийное удобрение в дозе $P_{60}K_{120}$ не окупались прибавкой стоимости продукции – люцерна желтая в контроле оказалась выгоднее, чем с удобрениями. Аналогичная ситуация в травосмеси люцерны желтой с кострцом безостым: условный доход снизился с 35120 до 25568 руб./га (-9552 руб./га). В посевах кострца безостого условный доход также снизился: с 16781 до 9384 руб./га (-7397 руб./га). В посевах житняка гребневидного условный доход также снизился с 20142 до 13452 руб./га (-6690 руб./га).

В контроле рентабельность варьировалась от 444 % (кострец безостый) до 1004 % (люцерна желтая + житняк гребневидный). В варианте $P_{60}K_{120}$ она снизилась до 52–156 %. Наименьшее снижение (в процентных пунктах) отмечено у кострца безостого: с 444 до 52 % (снижение на 392 п.п.). Наибольшее – в травосмеси люцерны желтой с житняком гребневидным: с 1004 до 156 % (снижение на 848 п.п.). Однако важно, что применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ позволило получить во всех культурах положительную рентабельность, причем травосмеси продолжили лидировать: люцерна желтая + житняк гребневидный (156

%), люцерна желтая + кострец безостый (139 %), тогда как чистые культуры имеют рентабельность 52–103 %.

Фосфорно-калийное удобрение в дозе $P_{60}K_{120}$ повысило себестоимость 100 кормовых единиц по сравнению с контролем в 3,6–4,3 раза. В контроле минимальная себестоимость была в травосмеси люцерны желтой с житняком гребневидным (90,6 руб.), максимальная – в посевах костреца безостого (183,9 руб.). Применение удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ обеспечило сохранение минимальной себестоимости в той же травосмеси (390,7 руб.), а максимальной в посевах костреца безостого (659,2 руб.). Даже при значительном росте абсолютных значений, ранжирование вариантов по себестоимости сохраняется: травосмеси эффективнее чистых посевов, а люцерна желтая эффективнее злаков.

Применение удобрения в дозе $P_{60}K_{180}$ сопровождалось ростом затрат до 20293–20904 руб./га, что в 5,1–5,8 раза выше контроля. Сбор кормовых единиц при этой же дозе удобрения относительно контроля увеличивался в большей степени, чем при применении $P_{60}K_{120}$.

Удобрение в дозе $P_{60}K_{180}$ обеспечивает максимальный абсолютный прирост сбора кормовых единиц в посевах житняка гребневидного: +1,30 тыс./га (с 2,36 до 3,66 тыс./га), или +55,1 %. При этой же дозе удобрения ($P_{60}K_{180}$): в посевах люцерны прибавка составила +1,09 тыс./га (с 3,14 до 4,23 тыс./га), или +34,7 %, в травосмеси люцерна желтая + житняк гребневидный – +1,21 тыс./га (с 4,35 до 5,56 тыс./га), или +27,8 %, в травосмеси люцерны желтой с кострцом безостым + 0,80 тыс./га (с 3,92 до 4,72 тыс./га), или +20,4 %. Таким образом, применение удобрения в дозе $P_{60}K_{180}$ формирует наиболее наибольший сбор кормовых единиц у житняка гребневидного, при этом травосмеси сохранили наиболее высокие абсолютные показатели продуктивности.

Применение удобрения $P_{60}K_{180}$ привело к росту стоимости валовой продукции относительно контроля во всех вариантах.

Наибольший рост стоимости в данном случае отмечен в посевах житняка гребневидного: с 23616 до 36612 руб./га (+12996 руб./га). От применения системы удобрения $P_{60}K_{180}$ отмечен следующий прирост стоимости продукции: в посевах

чистой люцерны произошел прирост с 31395 до 42272 руб./га (+10877 руб./га), в травосмеси люцерны желтой с кострцом безостым стоимость валовой продукции увеличилась с 39206 до 47187 руб./га (+7975 руб./га), в травосмеси люцерны желтой с житняком гребневидным прирост был с 43487 до 55567 руб./га (+12080 руб./га).

От дозы удобрения $P_{60}K_{180}$ условный доход по сравнению с контролем изменился следующим образом: в люцерне он снизился с 27461 до 21521 руб./га (-5940 руб./га), в кострце безостом снизился с 16781 до 10644 руб./га (-6137 руб./га), в житняке гребневидном – с 20142 до 16319 руб./га (-3823 руб./га), в травосмеси люцерны желтой с кострцом безостым с 35120 до 26277 руб./га (-8843 руб./га). В травосмеси люцерны желтой с житняком гребневидным условный доход снизился с 39548 до 34819 руб./га (-4729 руб./га). Таким образом, при применении фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{180}$ снижение условного дохода наблюдалось по всем вариантам, однако оно было менее выраженным, чем при применении дозы $P_{60}K_{120}$.

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{180}$ снизило рентабельность по сравнению с контролем: в посевах люцерны – 104 % (в контроле 698 %), кострца безостого – 52 % (в контроле 444 %), житняка гребневидного – 80 % (в контроле 580 %), в травосмеси люцерны желтой с кострцом безостым – 126 % (в контроле 859 %), в травосмеси люцерны желтой с житняком гребневидным – 168 % (в контроле 1004 %). Как и в варианте $P_{60}K_{120}$ травосмеси сохраняют лидерство по рентабельности.

От фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ себестоимость 100 кормовых единиц увеличилась относительно контроля, но для некоторых культур в меньшей степени, чем при применении удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$, благодаря большей прибавке сбора кормовых единиц. Применение удобрения $P_{60}K_{180}$ в травосмеси люцерны желтой с житняком гребневидным увеличило себестоимость с 90,6 до 373,4 руб. (в 4,1 раза), от дозы $P_{60}K_{120}$ до 390,7 руб. (в 4,3 раза). В посевах житняка гребневидного прирост составил с 147,1 до 554,3 руб. (в 3,8 раза) против 570,2 руб. (в 3,9 раза) в варианте $P_{60}K_{120}$. В посевах люцерны отмечен рост себестоимости от

применения удобрения $P_{60}K_{180}$ со 125,3 до 490,9 руб. (в 3,9 раза) против 492,1 руб. (в 3,9 раза) от $P_{60}K_{120}$. В посевах костреца безостого при дозе удобрения $P_{60}K_{180}$ прирост был с 183,9 до 659,3 руб. (в 3,6 раза), удобрение $P_{60}K_{120}$ увеличило себестоимость до 659,2 руб. (в 3,6 раза). При этом в травосмеси люцерна желтая + кострец безостый рост себестоимости 100 кормовых единиц от применения фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{180}$ произошел со 104,2 до 443,1 руб. (в 4,3 раза) против 419,3 руб. (в 4,0 раза) от дозы удобрения $P_{60}K_{120}$.

Таким образом, применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ обеспечивает рост сбора кормовых единиц на 7,8–33,5 %, но не приводит к росту условного дохода из-за опережающего роста затрат.

Себестоимость 100 кормовых единиц при переходе от контроля к применению фосфорно-калийных удобрений возрастает, но при $P_{60}K_{180}$ она ниже, чем при $P_{60}K_{120}$, для всех вариантов, кроме посевов костреца безостого и травосмеси люцерна желтая + кострец безостый. Это свидетельствует о том, что более высокая доза калия при $P_{60}K_{180}$ лучше окупается прибавкой продукции.

Рентабельность при применении удобрения ниже, чем в контроле, однако все удобренные варианты остаются рентабельными (52–168 %), что подтверждает экономическую целесообразность применения удобрения даже при значительном росте затрат, так как это интенсифицирует процесс кормопроизводства. При этом травосмесь люцерны желтой с житняком гребневидным при применении $P_{60}K_{180}$ демонстрирует максимальную рентабельность (168 %) среди удобренных вариантов, минимальную себестоимость 100 кормовых единиц (373,4 руб.) и максимальный сбор кормовых единиц (5,56 тыс. га), что позволяет рекомендовать данный агроценоз в качестве наиболее экономически эффективного.

Фосфорно-калийное удобрение обеспечивает устойчивый рост продуктивности и стоимости валовой продукции, однако сопровождается резким увеличением затрат, что приводит к снижению рентабельности и росту себестоимости. При этом доза $P_{60}K_{180}$ в большинстве случаев превосходит $P_{60}K_{120}$ по приросту условного дохода и снижению себестоимости единицы продукции.

Наиболее эффективными по совокупности показателей являются травосмеси, особенно люцерна желтая + житняк гребневидный, которые обеспечивают максимальный выход продукции и наибольший условный доход при относительно более низкой себестоимости кормовых единиц.

Также стоит помнить, что несмотря на повышение себестоимости производства продукции, выращивание люцерны и травосмесь люцерны желтой с житняком гребневидным и кострцом безостым проблематично без внесения калийного удобрения ввиду рисков несоответствия полученной кормовой продукции нормативу КУ-94 по содержанию ^{137}Cs .

Заключение

На основании проведенных исследований на дерново-подзолистой песчаной радиоактивно загрязненной почве на Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса», сделаны следующие выводы:

1. Применение фосфорно-калийного удобрения оказывает положительный, дозозависимый эффект на урожайность зелёной массы многолетних трав, и их травосмесей. Применение удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ обеспечивает достоверную прибавку урожайности всех культур. Доза $P_{60}K_{180}$ обеспечивает наибольший сбор зеленой массы: люцерны желтой с житняком гребневидным – 45,2 т/га, люцерны желтой с кострцом безостым – 40,5 т/га, люцерны желтой - 38,0 т/га, житняка гребневидного - 26,4 т/га, кострца безостого - 23,3 т/га. Травосмесь люцерны жёлтой с житняком гребневидным превосходит по урожайности люцерну жёлтую на 18,9 %, житняк гребневидный на 71,2 %. Урожайность травосмеси люцерны желтой с кострцом безостым выше люцерны жёлтой на 6,6 %, кострца безостого на 73,8 %.

2. Фосфорно-калийное удобрение повышает продуктивность многолетних трав и их травосмесей. Доза удобрения $P_{60}K_{120}$ обеспечивает наибольшую продуктивность житняка гребневидного по сухому веществу (+25,0 %), сырому протеину (+45,2 %), кострца безостого по кормовым единицам (+34,1 %), обменной энергии (+29,4 %), сырому жиру (+73,9 %). Доза $P_{60}K_{180}$ обеспечивает максимальный прирост всех показателей в зеленой массе кострца безостого: сухое вещество +52,5 %, сырой протеин +78,2 %, кормовые единицы +55,1 %, обменная энергия +53,8 %, сырой жир +93,0 %. В травосмесях (люцерна желтая + житняк гребневидный, люцерна желтая + кострец безостый): фосфорно-калийное удобрение в дозе $P_{60}K_{120}$ обеспечивает прирост сухого вещества на 10,0–11,5 %, кормовых единиц на 7,8–12,2 %; доза $P_{60}K_{180}$ повышает сбор сухого вещества до 21,4–26,9%, кормовых единиц до 20,4–27,8%.

3. Установлено разнонаправленное влияние фосфорно-калийного удобрения на качество зеленой массы многолетних трав и их травосмесей. Доза $P_{60}K_{120}$ в зеленой массе костреца безостого обеспечивает максимальный прирост обменной энергии (+3,9 %), сырого жира (+37,0 %), в зеленой массе житняка гребневидного – переваримого протеина (+22,5 %). Однако в травосмесях при этой дозе удобрения содержание сырого протеина снижается на 7,8–9,4 %. Доза $P_{60}K_{180}$ в зеленой массе житняка гребневидного снижает содержание сырого протеина на 14,6 %, в травосмеси люцерны желтой + житняка гребневидный обменной энергии (–1,6 %), сырого жира (–21,6 %). Обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином в злаковых культурах снижается на 5,6–11,2 %.

4. Применение фосфорно-калийного удобрения обеспечивает существенное снижение накопления ^{137}Cs в многолетних травах, причём отмечается дозозависимый эффект: увеличение дозы калия в составе удобрения с $P_{60}K_{120}$ до $P_{60}K_{180}$ усиливает снижение удельной активности ^{137}Cs с 20–50 % до 39–66 % относительно контроля. Максимальный эффект (снижение на 65,9 %) отмечен в зеленой массе житняка гребневидного при дозе $P_{60}K_{180}$. Видовая специфика выражена достаточно сильно: люцерна жёлтая накапливает ^{137}Cs в 2,6 раза больше злаков (468,4 Бк/кг), поэтому для получения нормативно чистой продукции (<400 Бк/кг) требуется внесение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{180}$, либо возделывание люцерны желтой в травосмеси с житняком гребневидным или кострцом безостым, что снижает риск накопления ^{137}Cs выше нормы.

5. Фосфорно-калийное удобрение обеспечивает дозозависимое снижение перехода ^{137}Cs в молоко и мясо КРС при скормливанием грубых кормов многолетних трав. Доза $P_{60}K_{120}$ снижает удельную активность радионуклида в молоке на 20–37 %, в мясе – на 20–50 % относительно контроля в зависимости от культуры. Доза $P_{60}K_{180}$ усиливает защитный эффект: снижение удельной активности ^{137}Cs достигает 39–66 % в молоке и 39–65 % в мясе по сравнению с контролем. Наименьшие показатели содержания ^{137}Cs среди монокультур при дозе удобрения $P_{60}K_{180}$ зафиксированы при скормливанием грубого корма житняка гребневидного

(молоко – 2,6 Бк/л, снижение на 65 %; мясо – 10,2 Бк/кг, на 66 %), а среди гетерогенных посевов при скармливании грубого корма травосмеси люцерны желтой с житняком гребневидным (в молоке – 7,95 Бк/л, снижение на 41 %, в мясе – 31,8 Бк/кг, на 41 %).

6. Применение фосфорно-калийного удобрения закономерно снижает коэффициенты накопления (K_n) и перехода (K_p) ^{137}Cs из почвы в растения во всех вариантах. Доза $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ снижает K_n на 10,7–50,0 %, K_p – на 10,2–50,0 %; повышение дозы калия в составе фосфорно-калийного удобрения до $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ усиливает снижение K_n до 32,1–71,4 %, K_p до 34,0–70,8 % соответственно. Наибольшая эффективность удобрения отмечена в зеленой массе житняка гребневидного: при применении фосфорно-калийного удобрения в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ K_n снижается на 66,7–71,4 %, K_p – на 69,2–70,8 %. В зеленой массе люцерны желтой эффект от внесения удобрения выражен слабее всего: K_n снижается на 32,1–35,5 %, K_p – на 34,0–34,7 %, что подтверждает её повышенную аккумулялирующую способность по отношению к ^{137}Cs . В травосмеси люцерны желтой с кострцом безостым снижение K_n составило 41,7–42,3 %, K_p – 44,0–45,1 %; люцерны желтой с житняком гребневидным – 41,7–42,3 % (K_n), 41,5–41,6 % (K_p), что подтверждает целесообразность возделывания люцерны желтой в составе травосмесей со злаковыми культурами для снижения перехода и накопления ^{137}Cs в продукции бобовых трав.

7. Проведенные исследования свидетельствуют, что увеличение дозы фосфорно-калийного удобрения существенно влияет на баланс элементов питания многолетних трав. При применении удобрения в дозах $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ и $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ вынос азота возрастает на 1,0–43,2 % и 4,9–78,6 % соответственно. В люцерне желтой сохраняется положительный баланс азота (31,9–34,4 кг/га), в злаковых культурах и травосмесях остается отрицательным. В травосмесях дефицит выражен слабее, за счет обогащения почвы азотом, путем азотфиксации бобовой культуры. Применение фосфорно-калийного удобрения обеспечивает положительный баланс фосфора, его величина составляет (+20,5 до +45,5) кг/га. Наиболее выраженные изменения отмечены для баланса калия: применение удобрения в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$

снижает дефицит калия на 67,6–155,5 %, $P_{60}K_{180}$ – на 84,0–218,1 %, при этом положительный баланс калия формируется у всех одновидовых культур и в травосмеси люцерны желтая + костреч безостый.

8. Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $P_{60}K_{120}$ обеспечивает увеличение сбора кормовых единиц на 7,8–33,5 %, повышение дозы калия в составе фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ позволяет раскрыть потенциал многолетних трав, особенно в гетерогенных посевах, где выход кормовых единиц достигает 5,56 тыс./га. Применение фосфорно-калийного удобрения сопровождается рентабельностью в диапазоне 52–168 %, что указывает на сохранение высокой доходности производства даже в условиях увеличения затрат, вызванного внесением удобрения. Наиболее высокие экономические показатели в нашем исследовании обеспечивает фосфорно-калийное удобрение в дозе $P_{60}K_{180}$, в травосмеси люцерны желтой с житняком гребневидным максимальный сбор кормовых единиц (5,56 тыс./га), наивысший условный доход (34 819 руб./га), самая низкая себестоимость кормовой единицы (373,4 руб.) и самая высокая рентабельность (168 %) среди всех удобренных вариантов.

9. Проведенные исследования свидетельствуют, что применение фосфорно-калийного удобрения является эффективным агрохимическим приемом повышения продуктивности многолетних трав и снижения накопления ^{137}Cs при возделывании на дерново-подзолистой песчаной почве, загрязненной радионуклидами. Применение дозы фосфорно-калийного удобрения $P_{60}K_{180}$ обеспечивает максимальную урожайность, продуктивность, экономическую эффективность, а также наибольшее снижение перехода ^{137}Cs по цепи «почва – растение – животное – человек». Наиболее перспективным вариантом по комплексу хозяйственно ценных признаков является травосмесь люцерны желтая + житняк гребневидный, с применением удобрения $P_{60}K_{180}$, обеспечивающая максимальную урожайность зеленой массы (45,2 т/га), сбор кормовых единиц (5,56 тыс./га), условный доход (34 819 руб./га), рентабельность (168 %), а также получение грубого корма с низким содержанием ^{137}Cs : 198,7 Бк/кг в зеленой массе, 7,95 Бк/л в молоке и 31,8 Бк/кг в мясе.

Рекомендации производству

На основании проведенных исследований, в условиях дерново-подзолистых песчаных почв юго-запада Брянской области, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, в отдаленный период для получения высокопродуктивных кормов, соответствующих допустимому уровню содержания ^{137}Cs , рекомендуется внесение фосфорно-калийного удобрения в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ при возделывании люцерны желтой, костреца безостого, житняка гребневидного и их травосмесей.

Применение фосфорно-калийного удобрения в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ обеспечивает получение максимальной урожайности зеленой массы многолетних трав и травосмесей – 45,2 т/га за два укоса, повышение сбора сухого вещества, кормовых единиц, обменной энергии и сырого протеина, снижение удельной активности ^{137}Cs в кормовой продукции на 39–66 %, уменьшение коэффициентов накопления и перехода радионуклида из почвы в растения на 32–71 %, а также получение высокой экономической эффективности производства кормов.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Перспективным направлением дальнейших исследований является изучение эффективности использования последующими сельскохозяйственными культурами азота, накопленного в почве при возделывании бобовой культуры. Особый интерес представляет оценка степени влияния накопленного азота на урожайность и качество продукции последующих культур, а также на возможность снижения стартовых доз азотных удобрений в начале их возделывания.

Кроме того, целесообразно расширить ассортимент изучаемых многолетних бобовых и злаковых трав, а также их травосмесей. Это позволит выявить наиболее эффективные агроценозы, обеспечивающие высокую урожайность и кормовую ценность, эффективное использование элементов питания, а также минимальное накопление ^{137}Cs в растительной продукции. Полученные результаты будут способствовать совершенствованию применения систем удобрения при

выращивании многолетних трав, в отдаленный период полураспада ^{137}Cs , на радиоактивно загрязнённых дерново-подзолистых почвах песчаного типа. Перспективным направлением также является применение искусственного интеллекта для моделирования влияния доз фосфорно-калийного удобрения на урожайность и качество многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах.

Список литературы

1. Агробιοгеοхимический цикл фосфора / А. Л. Иванов, В. Г. Сычев, Л. М. Державин [и др.]; под ред. акад. Россельхозакад. А. Л. Иванова, Рос. акад. с.-х. наук. – Москва : Россельхозакадемия, – 2012. – 512 с. – ISBN 978-5-85941-453-6.
2. Агротехника возделывания сортов люцерны селекции ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса на семенные и кормовые цели: Рекомендации / Ю. М. Писковацкий, В. М. Косолапов, В. Е. Михалев [и др.]. – Москва : ФГУ РЦСК, 2008. – 39 с.
3. Агрохимия: учебник / под ред. академика РАН В. Г. Минеева. – М.: Изд-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. – 854 с. – ISBN 978-5-9238-0236-8.
4. Агроэкология / В. А. Черников, Р. М. Алексахин, А. В. Голубев [и др.] ; под ред. В. А. Черникова, А. И. Черкереса. – М.: Колос, 2000. – 536 с. – ISBN 5-10-003269-3.
5. Алексахин, Р. М. Мероприятия в области земледелия и агрохимии при реабилитации радиоактивно загрязнённых территорий / Р. М. Алексахин // Плодородие. – 2016. – № 5. – С. 32–34.
6. Алексахин, Р. М. Поведение ^{137}Cs в системе почва – растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклидов в урожае / Р. М. Алексахин, И. Т. Моисеев, Ф. А. Тихомиров // Агрохимия. – 1992. – № 8. – С. 127–138.
7. Анкудович, Ю. Н. Продуктивность севооборота, баланс элементов питания и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы / Ю. Н. Анкудович // Плодородие. – 2022. – №5. – С. 8–11.
8. Апанасюк, О. Н. Опыт создания базы данных репозитория архивных документов государственной статистики о размерах посевных (убранных) площадей и фактического сбора урожая на территориях Орловской области, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС, в 1988–1991 гг. / О. Н. Апанасюк, А. М. Скоробогатов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2024. – Т. 32, № 2. – С. 172–183.

9. Атлас Брянской области : карты / разработ. кабинетом географии обл. Ин-та усовершенствования учителей...совместно с Науч.-ред. картосост. частью ГУГК; ред. коллегия: отв. ред. Г. П. Федоровская [и др.]. – Москва : ГУГК, 1976. – 32 с.

10. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия – Беларусь) / Под ред. Ю.А. Израэля и И.М. Богдевича. – Москва–Минск : Фонд «Ионосфера», НИА-Природа, 2009. – 140 с. – ISBN 978-5-9562-0074-2.

11. Бахтыгалиев, Е. С. Влияние водного и питательного режимов почвы на продуктивность различных видов люцерны / Е. С. Бахтыгалиев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2024. – № 2 (74). – С. 75–84.

12. Бекбергенева, Д. Е. Продовольственная безопасность Российской Федерации / Д. Е. Бекбергенева, В. А. Баранник // Journal of Economy and Business. – 2022. – № 4-1 (86). – С. 38–43.

13. Белоус, И. Н. Влияние удобрений и обработки почвы на миграцию ^{137}Cs в почве кормовых угодий / И. Н. Белоус, В. Ф. Шаповалов, Л. Л. Харкевич // Земледелие. – 2012. – № 8. – С. 8–10.

14. Белоус, И. Н. Продуктивность и качество одновидовых посевов многолетних трав в зависимости от уровня минерального питания / И. Н. Белоус, Е. В. Смольский, В. Ф. Шаповалов // Вестник ФГОУ ВПО Брянская ГСХА. – 2012. – №4. – С. 29–33.

15. Белоус, И.Н. Мониторинг радиационной обстановки и плодородия почв пашни Новозыбковской опытной станции / И. Н. Белоус, П. В. Прудников // Вестник Брянской ГСХА. – 2019. – № 1 (71). – С. 3–8.

16. Белоус, Н. М. Влияние средств химизации на динамику накопления радиоцезия в сельскохозяйственных культурах, его миграцию и плодородие дерново-подзолистой песчаной почвы / Н. М. Белоус, В. Ф. Шаповалов, В. Б. Коренев // Проблемы агрохимии и экологии. – 2011. – № 2. – С. 5–12.

17. Белоус, Н. М. Воспроизводство плодородия и реабилитация радиоактивно загрязненных дерново-подзолистых песчаных почв юго-запада России : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.04 / Белоус Николай Максимович ; ВНИИ удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова. – Москва, 2000. – 51 с.
18. Белоус, Н. М. Продуктивность, плодородие, реабилитация почв: монография / Н. М. Белоус. – Москва: Русайнс, 2025. – 416 с. – ISBN 978-5-466-10703-6.
19. Белоус, Н. М. Система удобрения полевого и лугового кормопроизводства в условиях радиоактивного загрязнения территории / Н. М. Белоус, В. Ф. Шаповалов, Е. В. Смольский // Плодородие. – 2016. – № 5 (92). – С. 34–38.
20. Бурцева, Н. И. Кормовая продуктивность многолетних бобовых трав на орошаемых землях Нижнего Поволжья / Н. И. Бурцева, Д. К. Кулик, Е. И. Молоканцева, О. В. Головатюк // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. — 2023. — № 3 (71). — С. 86–96.
21. Буряк, С. М. Влияние органических гранулированных удобрений на продуктивность и качество многолетних трав / С. М. Буряк, О. В. Черникова, Ю. А. Мажайский // АгроЭкоИнфо: электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 5. – URL http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/5/st_541.pdf (дата обращения: 20.01.2026).
22. Варламов, В. А. Агробиологическое обоснование формирования высокопродуктивных гетерогенных агрофитоценозов многолетних и однолетних сельскохозяйственных культур многолетних трав в лесостепи Среднего Поволжья : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.09 / Варламов Владимир Александрович ; ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия». – Пенза : РИО ПГСХА, 2008. – 51 с.
23. Веселков, В. А. Влияние нормы высева на засоренность и урожайность травостоев с козлятником восточным в первые годы пользования в условиях

Ленинградской области / В. А. Веселков, Н. А. Донских // АгроЗооТехника. – 2025. – Т. 8, № 2. – С. 1-9.

24. Влияние бобового компонента на урожайность гетерогенных посевов злаковых сельскохозяйственных культур многолетних трав / С. М. Пакшина, С. Ф. Чесалин, В. Ф. Шаповалов, Е. В. Смольский // Кормопроизводство. – 2020. – № 9. – С. 12–18.

25. Влияние извести и минеральных удобрений на содержание, фракционный состав и баланс гумуса дерново-подзолистой почвы Евро-Северо-Восток / Н. Т. Чеботарев, А. А. Юдин, Н. В. Булатова, А. В. Облизов // Пермский аграрный вестник. – 2016. – № 4 (16). – С. 87–92.

26. Влияние минеральных удобрений на урожай и качество зеленой массы люцерны желтой в условиях радиоактивного загрязнения / Л.П. Харкевич, Д. М. Ситнов, В. Н. Адамко [и др.] // Вестник Брянской ГСХА. – 2023. – № 5 (99). – С. 31–35.

27. Влияние минеральных удобрений на урожай и качество многолетней бобово-злаковой травосмеси / Л. П. Харкевич, Н. М. Белоус, Д. М. Ситнов [и др.] // Современные тенденции развития аграрной науки : Сборник научных трудов IV международной научно-практической конференции. – Брянск : Брянский государственный аграрный университет, 2025. – С. 301–306.

28. Влияние систем удобрений на показатели плодородия дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы Предуралья / В. Р. Ямалтдинова, Н. Е. Завьялова, Д. С. Фомин, М. Т. Васбиева // Российская сельскохозяйственная наука. – 2020. – № 1. – С. 29–32.

29. Влияние средств химизации и способов обработки почвы на продуктивность и качество зеленой массы многолетних трав в условиях радиоактивного загрязнения / В. Ф. Шаповалов, Л. П. Харкевич, И. Н. Белоус, Ю. А. Анишина // Проблемы агрохимии и экологии. – 2011. – № 2. – С. 29–33.

30. Влияние удобрений и агротехнологических мероприятий при производстве сена многолетних трав на пойменном лугу в условиях

радиоактивного загрязнения / Л. П. Харкевич, В. Ф. Шаповалов, Е. В. Смольский [и др.] // Агрохимический вестник. – 2017. – № 3. – С. 15–18.

31. Влияние фосфорно-калийных удобрений на урожайность и качество сена многолетних трав в условиях радиоактивного загрязнения / Н. М. Белоус, В. Ф. Шаповалов, Г. П. Малявко [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29, № 3. – С. 33–35.

32. Возделывание клевера лугового в длительном стационарном опыте с удобрениями / Ф. А. Попов, Л. М. Козлова, Е. Н. Носкова, Е. В. Светлакова // Пермский аграрный вестник. – 2023. – № 2(42). – С. 51-57.

33. Возделывание люцерны желтой на пашне в условиях радиоактивного загрязнения агроценозов / О. Д. Ситнов, Д. М. Ситнов, С. Н. Поцепай // Современные тенденции развития аграрной науки : сборник научных трудов II международной научно-практической конференции. Часть I. – Брянск : Брянский государственный аграрный университет, 2023. – С. 200–205.

34. Возделывание мятликовой травосмеси при различном уровне минерального питания в условиях радиоактивного загрязнения центральной поймы реки Ипуть / Н. М. Белоус, П. П. Атрошенко, Е. В. Смольский, В. Ф. Шаповалов // Достижения науки и техники АПК. – 2025. – Т. 39. – № 4. – С. 12–16.

35. Воробьев, Г. Т. Почвы Брянской области (генезис, свойства, распространение) : монография / Г. Т. Воробьев. – Брянск : Грани, 1993. – 160 с. – ISBN 5-85343-001-7.

36. Воробьева, Л. А. Влияние возрастающих доз калийных удобрений на продуктивность звена севооборота / Л. А. Воробьева, М. А. Бардадын, Ф. В. Моисеенко, А. М. Духанин // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – №5.

37. Выращивание бобово-злаковых травосмесей на пахотных землях в условиях радиоактивного загрязнения / Харкевич, Д. М. Ситнов, В. Н. Адамко, О. Д. Ситнов // Современные тенденции развития аграрной науки : сборник научных трудов международной научно-практической концеренции. – Брянск : Брянский государственный аграрный университет, 2022. – С. 412–416.

38. Гаврилова, А. Ю. Оптимизация фосфорно-калийного питания клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) в условиях Нечерноземья: агрономическая и экономическая эффективность / А. Ю. Гаврилова, А. М. Конова, Н. Е. Самсонова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 3 (71) – С. 78–85.

39. Гаврилова, А. Ю. Урожайность многолетних трав и плодородие дерново-подзолистой почвы при длительном применении минеральных удобрений / А. Ю. Гаврилова, А. М. Конова // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2021. – № 2 (54). – С. 71–77.

40. Ганусевич, А. Г. Эффективность применения комплексных минеральных удобрений при возделывании многолетних трав / А. Г. Ганусевич, Г. А. Гесть // Земледелие и растениеводство. – 2023. – №4. – С. 10–13.

41. Гараева, Л. А. Влияние минеральных удобрений на урожайность многолетних трав / Л. А. Гараева, Н. С. Кузьмина // Студенческая наука и XXI век. – 2019. – Т. 16. – № 1-1 (18). – С. 52–53.

42. Голосной, Е. В. Продуктивность звена севооборота в зависимости от систем удобрений и обработки почвы / Е. В. Голосной // Плодородие. – 2008. – № 2. – С. 39–40.

43. Голубова, В. К. Агроэкологическая проблема фосфора в агрохимии / В. К. Голубова, Л. М. Онищенко, В. В. Шаляпин // Экология и природопользование: устойчивое развитие сельских территорий : Сборник статей по материалам III Всероссийской научно-практической конференции / Отв. за выпуск А. Г. Максименко. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2023. – С. 109–112.

44. Гребенников, В. Г. Роль многолетних бобовых трав в составе травосмесей в повышении белковой продуктивности растительных кормов / В. Г. Гребенников, И. А. Шипилов, О. В. Хонина // Эффективное животноводство. – 2018. – № 6 (145). – С. 24–28.

45. Гринец, И. В. Влияние доз и сочетаний минеральных удобрений на урожай многолетних трав / И. В. Гринец, Л. В. Гринец // Молодежь и наука. – 2024. – № 4. – С. 34–41.

46. Гуминовые вещества — гипотезы и реальность (обзор) / А. Г. Заварзина, Н. Н. Данченко, В. В. Демин [и др.] // Почвоведение. — 2021. — № 12. — С. 1449–1480.

47. Деревянникова, М. В. Продуктивный потенциал коллекционных образцов житняка гребневидного в условиях Ставропольского края / М. В. Деревянникова, В. В. Чумакова, В. Ф. Чумаков, Т. М. Миронова // Зерновое хозяйство России. – 2021. – № 3 (75). – С. 3–7.

48. Дзюин, А. Г. Влияние длительного применения систем удобрений на баланс питательных веществ в почве / А. Г. Дзюин, Г. П. Дзюин // Агрохимический вестник. – 2015. – № 6. – С. 14–17.

49. Динамика коэффициентов перехода ^{137}Cs в сельскохозяйственную продукцию после аварии на ЧАЭС: зерно, картофель и овощи / С. В. Фесенко, П. В. Прудников, Е. С. Емлютина [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2023. – Т. 63. – № 2. – С. 172–185.

50. Динамика снижения содержания ^{137}Cs в кормовых культурах в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС / С. В. Фесенко, П. В. Прудников, Н. Н. Исамов [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2022. – Т. 62, № 2. – С. 185–195.

51. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации (Указ Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20) [Электронный ресурс] // Консультант Плюс: справочные правовые системы: законодательство. — URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 20.01.2026).

52. Донских, Н. А. Формирование травостоев с козлятником восточным отечественных сортов в первый год жизни в условиях Ленинградской области / Н. А. Донских, В. А. Веселков // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1(70). – С. 9–18.

53. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник для студентов высших с.-х. учебных заведений по агрономическим специальностям / Б. А. Доспехов. – Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985г. – Москва : Альянс, 2011. – 351 с. – ISBN 978-5-903034-96-3.

54. Дронова, Т. Н. Эффективность многолетних бобовых трав в кормопроизводстве и их влияние на баланс питательных веществ в почве / Т. Н. Дронова, Н. И. Бурцева, Е. И. Молоканцева // научно-агрономический журнал. – 2016. – № 2 (99). – С. 17–22.

55. Дьяченко, О. В. Продуктивность и качество одновидовых и гетерогенных полевых агроценозов люцерны изменчивой и многолетних мятликовых трав в юго-западной части Центрального региона РФ : специальность 06.01.01 "Общее земледелие, растениеводство" : диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Дьяченко Ольга Викторовна, 2020. – 167 с.

56. Евсеев, Е. Б. Исследование перехода цезия-137 в злаковые травы на торфянисто-глеевой почве / Е. Б. Евсеев // Мелиорация. – 2023. – № 4(106). – С. 54–63.

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

58. Емельянов, А. Н. Влияние известкования и минеральных удобрений на продуктивность, питательную и энергетическую ценность люцерны / А. Н. Емельянов, Е. П. Иванова // Достижения науки и техники АПК. – 2008. – № 6. – С. 17–20.

59. Ерофеева, В. В. Мониторинг качества сельскохозяйственной продукции, произведенной на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на черновыльсской атомной электростанции (на

примере Брянской области) / В. В. Ерофеева, Г. А. Кулиева, О. П. Иевлев // Вестник евразийской науки. – 2024. – Т. 16. – № 6.

60. Ефремов, И. В. Особенности миграции радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в системе почва-растение / И. В. Ефремов, Н. Н. Рахимова, Е. Л. Янчук // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2005. – № 12 (50). – С. 42–46.

61. Жуков, Н. И. Макроэкономические аспекты стратегии управления сельским пространственным развитием в России / Н. И. Жуков, Н. А. Корнева // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2020. – № 10. – С.16–22.

62. Жукова, И. И. Влияние калийного питания на поступление ^{137}Cs в многолетние травы на деградированной торфяно-минеральной почве / И. И. Жукова, Н. Н. Цыбулько, А. В. Шашко // Весці БДПУ. Серія 3. Фізика. Математика. Інфарматика. Біологія. Географія. – 2017. – № 1 (91). – С. 5–11.

63. Завалин, А. А. Экология азотфиксации / А. А. Завалин, О. А. Соколов, Н. Я. Шмырева. – Саратов : Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2019. – 252 с.

64. Зарьянова, З. А. Структура и качество кормовой массы различных видов многолетних трав / З. А. Зарьянова, С. В. Кирюхин, С. В. Бобков, Д. Е. Меркулов // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2017. – № 4 (24). – С. 115–120.

65. Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы и урожайности бобовых и бобово-злаковых травостоев при их долголетнем использовании / Н. Н. Лазарев, С. М. Авдеев, Л. Ю. Демина, В. Г. Яцкова // Известия ТСХА. – 2011. – №1. – С. 9–18.

66. Ильясова, К. У. Плодородие почвы / К. У. Ильясова, А. Б. Алпысбаева, А. К. Алимбекова // Вестник науки и образования. – 2015. – №1 (3). – С. 9–10.

67. Инструкция о радиологическом контроле качества кормов. Контрольные уровни содержания радионуклидов ЦЕЗИЯ-134, -137 и СТРОНЦИЯ-90 в кормах и кормовых добавках : Инструкция : [принят Госветинспекцией РФ 01.12.94] // Контур Экстерн : сайт. – URL <https://www.kontur->

extern.ru/info/normativ/document/1/24364-instruktsiya-o-radiologicheskom-kontrole-kachestva-kormov-kontrolnye-urovni-soderzhaniya (дата обращения:).

68. Использование гетерогенных травостоев в кормопроизводстве брянской области / Н. А. Капошко, С. А. Бельченко, В. Ф. Шаповалов [и др.] // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК : материалы XVII Международной научной конференции. – Брянск : Брянский ГАУ (Кокино), 2020. – С. 356–366.

69. Калийные удобрения как фактор влияния на содержание в зеленой массе многолетний трав цезия-137 / Н. М. Белоус, Ю. А. Анишина, В. Ф. Шаповалов, Е. В. Смольский // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 1. – С. 54-61.

70. Камынин, М. И. Краткая характеристика почв Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции ВИУА / М. И. Камынин // Повышение производительности песчаных почв : сб. тр. – Брянск : Брянский рабочий, 1959. – 327 с.

71. Кидин, В. В. Агрохимия : учебник / В. В. Кидин, С. П. Торшин. – Москва : Проспект, 2016. – 608 с. – ISBN 978-5-392-18668-6.

72. Кирюшин, В. И. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий : методическое руководство / под ред. В. И. Кирюшина, А. Л. Иванова. – Москва : Росинформагротех, 2005. – 783 с. – ISBN 5-7367-0525-7.

73. Кирюшин, В. И. Минеральные удобрения как ключевой фактор развития сельского хозяйства и оптимизации природопользования / В. И. Кирюшин // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 30. – С. 19–25.

74. Князев, А. П. Стратегии в развитии агропромышленного комплекса / А. П. Князев, С. Я. Бевз, А. М. Козина // Новые концептуальные подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности в современных условиях : Сборник научных статей 13-й Международной научно-практической конференции, Курск, 14 ноября 2025 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2025. – С. 83-85.

75. Конова, А. М. Урожайность и качество многолетних трав двух годов пользования в зависимости от применения возрастающих доз минеральных удобрений, внесённых под покровную культуру / А. М. Конова, А. Ю. Гаврилова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2018. – № 4 (70). – С. 53–57.

76. Коновалова, Н. Ю. Влияние агротехнических приёмов на формирование агрофитоценозов многолетних трав интенсивного использования в условиях Европейского Севера России / Н. Ю. Коновалова, С. С. Коновалова // Молочнохозяйственный вестник. – 2021. – № 2 (42). – С. 72–85.

77. Коновалова, Н.Ю. Особенности технологий выращивания сельскохозяйственных культур многолетних трав и заготовки кормов в условиях Европейского Севера Российской Федерации. / Н.Ю. Коновалова, И.Л. Безгодова, С.С. Коновалова. – Вологда : ВолНЦ РАН, 2018. – 277 с. – ISBN 978-5-93299-414-6.

78. Косолапов, В. М. Количественная и качественная характеристика сырого протеина кормовых растений, кормов и биологического материала животных и птицы / В. М. Косолапов, Ф. В. Воронкова. – Москва : Угрешская типография, 2014. – 160 с. – ISBN 978-5-91850-097-2.

79. Косолапов, В. М. Кормопроизводство: состояние, проблемы и роль ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» в их решении / В. М. Косолапов, В. И. Чернявских // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36, № 4. – С. 5–14.

80. Косолапов, В. М. Многолетние травы для пастбищ, газонов и рекультивации: селекция и практика / В. М. Косолапов, С. И. Костенко, Е. В. Думачева, В. И. Чернявских // Кормопроизводство. – 2022. – № 10. – С. 14–17.

81. Кочегина, А. А. Хозяйственная оценка образцов коллекции рода *Agropyron Gaertn.* (житняк) в условиях Центральной Якутии / А. А. Кочегина, В. М. Корякина // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2023. – Т. 184, № 2. – С. 87–100.

82. Коэффициенты перехода ^{137}Cs в злаковый травостой на сети контрольных участков комплексного мониторинга за динамикой восстановления природных экосистем на бывших сельскохозяйственных землях на отчужденных

территориях / И. Е. Титов, В. В. Кречетников, В. К. Кузнецов [и др.] // Генетические и радиационные технологии в сельском хозяйстве: Сборник докладов II Международной молодежной конференции, Обнинск, 19–20 октября 2023 года. – Обнинск: Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, 2023. – С. 261-264.

83. Кравченко, Н. С. Селекционная оценка исходного материала люцерны по урожайности и качеству зеленой массы / Н. С. Кравченко, А. А. Регидин, Н. Г. Игнатьева // Зерновое хозяйство России. – 2024. – Т. 16, № 6. – С. 11–20.

84. Краснопёров, А. Г. Эффективное питание бобово-злаковых культур / А. Г. Краснопёров // JOURNAL OF AGRICULTURE AND ENVIRONMENT. – 2025. – № 11 (63). – С. 1-7.

85. Кригер, М. С. Формирование агрофитоценозов и продуктивность старовозрастных травостоев с кострцом безостым / М. С. Кригер, Н. В. Васина, С. А. Васин, Е. О. Трофимова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 1. – С. 63–71.

86. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Р. М. Алексахин, Л. А. Булдаков, В. А. Губанов [и др.]. – Москва : ИздАТ, 2001. – 752 с. – ISBN 5-86656-113-1.

87. Кудеяров, В. Н. Баланс азота, фосфора и кали в земледелии / В. Н. Кудеяров // Агрохимия. – 2018. – № 10. – С. 3–11.

88. Кузнецов, В. К. Научные основы и системы мероприятий по реабилитации радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных территорий в адаптивно-ландшафтном земледелии : автореферат дис. ... доктора биологических наук: 03.01.01 / Кузнецов Владимир Константинович ; Всерос. науч.-исслед. ин-т с.-х. радиологии и агроэкологии РАСХН. – Обнинск, 2014. – 50 с.

89. Кузнецов, В. К. Поступление ^{137}Cs в урожай сельскохозяйственных культур из почв различной степени окультуренности. / В. К. Кузнецов, Н. И. Санжарова, В. И. Бровкин, О. Б. Абрамова // Агрохимия. – 2000. - №3. – С. 64–68.

90. Кузьменко, Н. Н. Влияние систем удобрения на показатели плодородия дерново- подзолистой почвы / Н. Н. Кузьменко // Владимирский земледелец. – 2021. – № 4 (98). – С. 10–14.
91. Курбанов, С. А. Сохранение и повышение плодородия почв — основа увеличения эффективности земледелия Дагестана / С. А. Курбанов // Земледелие. – 2021. – № 4. – С. 16–20.
92. Лемешко, Н. А. Особенности увлажнения европейской территории России в условиях изменяющегося климата / Н. А. Лемешко, Н. А. Сперанская // Современные проблемы гидрометеорологии. — СПб. : Астерион, 2006. – С. 38–54.
93. Листков, В. Ю. Применение минеральных удобрений на посевах многолетних трав / В. Ю. Листков, Ю. М. Каниболоцкая // Эпоха науки. – 2019. – №20. – С. 58–62.
94. Ломов, М. В. Люцерна – высокобелковая кормовая культура / М. В. Ломов, Ю. М. Писковацкий // Адаптивное кормопроизводство. – 2021. – № 3. – С. 6–15.
95. Лукин, С. В. Динамика агроэкологического состояния почв Белгородской области при длительном сельскохозяйственном использовании / С. В. Лукин // Почвоведение. — 2023. — № 12. — С. 1671–1685.
96. Лукомец, В.М. Методика проведения агротехнических исследований в опытах с люцерной/ В. М. Лукомец, Н. М. Тишков, М. В. Трунова // Масличные культуры. – 2024. – № 4. – С. 96–106.
97. Мажайский, Ю. А. Разработка комплекса мероприятий по повышению плодородия лёгких дерново-подзолистых почв Нечернозёмной зоны России / Ю. А. Мажайский, С. М. Курчевский, А. В. Шуравилин // Плодородие. – 2015. – № 2 (83). – С. 27–29.
98. Макаров, В. И. Влияние известкования сильноокислой дерново-подзолистой почвы на азотное питание сельскохозяйственных культур / В. И. Макаров, С. И. Коконов // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 1 (81). – С. 49–57.

99. Маркина, З. Н. Радиоэкологическая обстановка на почвах сельхозугодий Брянской области и пути получения нормативно чистой продукции / З. Н. Маркина, П. В. Прудников, Л. А. Ковалев, А. А. Новиков // Агрохимический вестник. – 2006. – № 2. – С. 10–11.

100. Минеев, В. Г. Периодичность известкования при окультуривании дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы / В. Г. Минеев, Н. Ф. Гомонова // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2014. – № 1. – С. 37–41.

101. Михайлова, Л. А. Агрохимия : курс лекций. В 3 ч. Ч 1. Удобрения: виды, свойства, химический состав / Л. А. Михайлова; М-во с.-х. РФ, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермская гос. с.-х. акад. им. акад. Д.Н. Прянишникова». – Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2015. – 426 с. – ISBN 978-5-94279-283-1. – ISBN 978-5-94279-284-8.

102. Моторин, А. В. Последствие минеральных удобрений на торфяных почвах под многолетними травами в условиях Западной Сибири / А. В. Моторин // Известия ОГАУ. – 2019. – № 3(77). – С. 20–24.

103. Музалевская, А. А. Эффективность защитных мероприятий в растениеводстве на различных этапах ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС : (на примере Брянской области) : автореферат дис. ... кандидата биологических наук : 03.01.01 / Музалевская Анна Александровна ; Всерос. науч.-исслед. ин-т с.-х. радиологии и агроэкологии РАСХН. – Обнинск, 2010. – 25 с.

104. Муравин, Э. А. Агрохимия / Э. А. Муравин, Л. В. Ромодина, В. А. Литвинский. – Москва : Издательский центр «Академия», 2014. – 303 с. – ISBN 978-5-4468-0579-2.

105. Муравин, Э. А. Агрохимия : учебник / Э. А. Муравин, В. И. Титова. – М.: КолосС, 2009. – 463 с. – ISBN 978-5-9532-0545-0.

106. Научно-обоснованное применение минерального удобрения при производстве кормов в условиях радиоактивного загрязнения : монография / Н. М.

Белоус, С. Ф. Чесалин, В. Ф. Шаповалов [и др.]. – Москва : Русайнс, 2024. – 272 с. – ISBN 978-5-466-06742-2.

107. Национальный атлас почв Российской Федерации ; отв. ред. И. О. Алябина, И. С. Урусевская, О. В. Чернова. – Москва : Изд-во Астрель, 2011. – 632 с. – ISBN 978-5-271-37461-6.

108. Небольсин, А. Н. Известкование почв (результаты 50-летних полевых испытаний) / А. Н. Небольсин, З. П. Небольсина. – СПб : ГНУ ЛНИИСХ Россельхозакадемии, 2010. – 254 с.

109. Некрасов, Р. В. Агроэкологические основы химической мелиорации почв / Р. В. Некрасов, М. М. Овчаренко, Н. И. Аканова // Земледелие. – 2019. – № 4. – С. 3–7.

110. Никулин, А. Б. Козлятник восточный сорта Юбиляр как ценная кормовая культура / А. Б. Никулин, В. А. Матвеев // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 4(78). – С. 59-67

111. Охлопкова, П. П. Влияние удобрений на урожайность и качество люцерны серповидной в Якутии / П. П. Охлопкова, Г. Е. Мерзлая, В. Б. Борисова // Агрохимический вестник. – 2022. – № 5. – С. 21–23.

112. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Том I. Изменения климата / Г. В. Груза, А. С. Зайцев, И. Л. Кароль [и др.]. – Москва : Росгидромет, 2008. – 227 с. – ISBN 978-5-904206-05-5.

113. Панов, А. В. Адресная реабилитация сельских населённых пунктов юго-запада Брянской области в отдалённый период после аварии на Чернобыльской АЭС / А. В. Панов, П. В. Прудников, В. В. Кречетников, Р. А. Микаилова // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). – 2024. – Т. 33. – № 3. – С. 55–65.

114. Панов, А. В. Оптимизация защитных мероприятий в сельских населённых пунктах в зоне аварии на Чернобыльской АЭС / А. В. Панов, С. В.

Фесенко, Р. М. Алексахин // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2005. – № 3. – С. 3–7.

115. Панов, А. В. Оценка и прогноз уровней загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий юго-западных районов Брянской области, подвергшихся воздействию от аварии на Чернобыльской АЭС / А. В. Панов, Е. В. Гордиенко, П. В. Прудников // Агрохимический вестник. – 2016. – № 5. – С. 10–14.

116. Парамонов, А. В. Влияние минеральных удобрений на урожайность, химический состав и вынос элементов питания с урожаем люцерны синегибридной / А. В. Парамонов, О. А. Целуйко, А. В. Федюшкин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 5(109). – С. 75-83. – DOI 10.37670/2073-0853-2024-109-5-75-83.

117. Пасько, С. В. Продуктивность многолетней многокомпонентной травосмеси в зависимости от удобрения покровной культуры и способа обработки почвы / С. В. Пасько, А. В. Федюшкин // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2019. – № 3 (35). – С. 148–158.

118. Переведенцев, Ю. П. Глобальные и региональные изменения климата на рубеже XX и XXI столетий / Ю. П. Переведенцев, В. Ф. Гоголь, Э. П. Наумов, К. М. Шанталинский // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География и геоэкология. — 2007. – № 2. – С. 5–12.

119. Пилипенко, Н. Г. Влияние длительного систематического применения удобрений на основные показатели плодородия почвы и продуктивность кормового севооборота на глубокопромерзающей лугово-черноземной почве Забайкалья / Н. Г. Пилипенко, О. Т. Андреева // Почвоведение. — 2019. – № 5. – С. 578–585.

120. Подоляк, А. Г. Параметры перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в многолетние бобово-злаковые травосмеси на торфяной почве в зависимости от доз внесения удобрений / А. Г. Подоляк, В. В. Дробышевская // Почвоведение и агрохимия. – 2025. – № 2 (75). – С. 93–101.

121. Полевое кормопроизводство : учебное пособие для СПО / В. Е. Торилов, А. В. Дронов, О. В. Мельникова, А. А. Осипов ; под ред. В. Е. Торилова. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 164 с. – ISBN 978-5-507-44144-0.

122. Полевое кормопроизводство в условиях радиоактивного загрязнения территории / В. Ф. Шаповалов, Л. П. Харкевич, Г. П. Маляво [и др.] // Земледелие. – 2016. – №3. – С. 40–43.

123. Получение нормативно чистых зеленых кормов в полевых севооборотах на дерново-подзолистых легких почвах в условиях радиоактивного загрязнения / Ф. В. Моисеенко, А. М. Духанин, Л. А. Воробьева [и др.] // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – № 5.

124. Природные ресурсы и окружающая среда Брянской области : годовой доклад об экологической ситуации в Брянской области в 2024 г. / сост. Г. В. Левкина, А. А. Луцевич ; гл. ред. А. В. Батарчук ; Департамент природных ресурсов и экологии Брянской области. – Брянск : ООО «Издательство «читай-город», 2025. – 206 с.

125. Природные ресурсы и окружающая среда Брянской области : годовой доклад об экологической ситуации в Брянской области в 2022 г. / сост. Г. В. Левкина, А. А. Луцевич ; ред. Ю. В. Мокренко ; Департамент природных ресурсов и экологии Брянской области. – Брянск : ООО «Издательство Читай-город», 2023. – 213 с.

126. Природные ресурсы и окружающая среда Брянской области : годовой доклад об экологической ситуации в Брянской области в 2023 г. / сост. Г. В. Левкина, А. А. Луцевич ; гл. ред. А. В. Батарчук ; Департамент природных ресурсов и экологии Брянской области. – Брянск : ООО «Издательство Читай-город», 2024. – 212 с.

127. Прищеп, Н. И. Радиологическая роль калийных удобрений в агросистемах загрязненных цезием-137 / Н. И. Прищеп, Е. В. Просянкин, С. О. Коровяковская // Совершенствование методологии агрохимических исследований. – Москва : МГУ. – 1997. – С. 152-165.

128. Прищеп, Н. И. Радиоэкологическая роль калийных удобрений в агросистемах, загрязненных цезием-137 / Н. И. Прищеп, Е. В. Просянкин, С. О. Коровяковская // Совершенствование методологии агрохимических исследований. – Москва : Издательство Московского государственного университета, 1997. – С. 152-165.

129. Продуктивность и качество одновидовых и гетерогенных посевов сельскохозяйственных культур многолетних трав в условиях радиоактивного загрязнения / В. Ф. Шаповалов, Н. М. Белоус, И. Н. Белоус, Ю. И. Иванов // Агрохимический вестник. – 2015. – №5. – С. 29–31.

130. Продуктивность и качество одновидовых и поликомпонентных бобово-злаковых посевов в условиях радиоактивного загрязнения агроландшафтов / В. Ф. Шаповалов, И. Н. Белоус, А. Л. Силаев, Д. М. Ситнов // Вестник ФГОУ ВПО Брянская ГСХА. – 2016. – №2 (54). – С. 35–44.

131. Продуктивность и качество сена радиоактивного загрязненного пойменного луга в отдаленный период после аварии на ЧАЭС / Н. М. Белоус, Л. П. Харкевич, Е. В. Смольский [и др.] // Агрохимический вестник. – 2018. – № 5. – С. 60–64.

132. Продуктивность одновидовых и гетерогенных посевов многолетних трав на радиоактивно загрязненной дерново-подзолистой песчаной почве / Г. П. Малявко, В. Ф. Шаповалов, Л. П. Харкевич [и др.] // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК : материалы XI Международной научной конференции. – Брянск : Издательство Брянской ГСХА, 2014. – С. 294–298.

133. Продуктивность одновидовых и гетерогенных посевов многолетних трав, возделываемых в условиях радиоактивного загрязнения / В. Ф. Шаповалов, Н. М. Белоус, Г. П. Малявко [и др.] // Кормопроизводство. – 2015. – № 5. – С. 17–21.

134. Продукционный потенциал и биохимический статус люцерны желтой в условиях различного уровня минерального питания / Л. П. Харкевич, Д. М. Ситнов, В. Н. Адамко [и др.] // Политематический сетевой электронный научный

журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2025. – № 213 (09). – URL <https://ej.kubagro.ru/2025/09/pdf/37.pdf> (дата обращения: 01.02.2026).

135. Прокина, Л. Н. Влияние минеральных удобрений на продуктивность многолетних трав в длительном стационарном опыте / Л. Н. Прокина, С. В. Пугаев // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2024. – Т. 25, № 3. – С. 425–434.

136. Прокина, Л. Н. Комплексное использование средств химизации в посевах костреца и люцерны / Л. Н. Прокина // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019. – Т. 20, № 4. – С. 378–386.

137. Прокошев, В. В. Место и значение калия в агроэкосистеме / В. В. Прокошев // Российский химический журнал. – 2005. – Т. 49, №3. – С. 35–43.

138. Просянных, Е. В. 35 лет после аварии на Чернобыльской АЭС – нужны ли реабилитационные мероприятия на сельскохозяйственных угодьях? / Е. В. Просянных, Л. А. Зверева, А. Л. Силаев // Радиация и риск (Бюллетень национального радиационно-эпидемиологического регистра). – 2021. – Т. 30, № 4. – С. 131–142.

139. Просянных, Е. В. Итоги 10-летнего изучения взаимовлияния почв и радионуклидов чернобыльских выпадений / Е. В. Просянных, С. П. Просянных // Чернобыль: 10 лет спустя. Итоги и перспективы : Материалы всероссийской научно-практической конференции, Брянск, 15–17 мая 1996 года. Том Часть 2. – Брянск: Брянский центр научно-технической информации при правительстве РФ, 1996. – С. 10-11.

140. Просянных, Е. В. Пути повышения эффективного плодородия почв Брянской области в условиях интенсивного земледелия : Лекция / Е. В. Просянных. – Белгород : Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 1990. – 16 с.

141. Просянных, Е. В. Современное состояние природных ресурсов растениеводства Брянской области / Е.В. Просянных, Г. П. Малявко, В. В. Мамеев // Агрохимический вестник. – 2021. – №6. – С. 45-49.

142. Прудников, П. В. Агроэкологическая характеристика почв, экономическая эффективность применения средств химизации и новых

комплексных удобрений в Брянской области / П. В. Прудников, А. А. Пашковский, Е. Н. Лелянова // Достижения науки и техники АПК – 2022. – Т. 36, № 11. – С. 10–20.

143. Прудников, П. В. Эффективность агрохимических мероприятий при реабилитации радиоактивно загрязненных территорий / П. В. Прудников, Л. А. Ковалев, З. Н. Маркина // Агрохимический вестник. – 2006. – № 2. – С. 8–10.

144. Прудников, П. В. Эффективность агрохимических мероприятий при реабилитации радиоактивно загрязненных территорий / П. В. Прудников, Л. А. Ковалев, З. Н. Маркина // Агрохимический вестник. – 2006. – № 2. – С. 8–10.

145. Радиоэкологическая оценка применения агрохимических средств на почвах, загрязненных радионуклидами / Г. Т. Воробьев, З. Н. Маркина, И. А. Кошелев, П. В. Прудников // Эколого-агрохимическая оценка состояния калийного режима почв и эффективность калийных– удобрений : материалы научно-практической конференции. – Москва : ЦИНАО, 2002. – С. 74–84.

146. Радиоэкологическая оценка сельскохозяйственных земель и продукции юго-западных районов Брянской области, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС / А. В. Панов, П. В. Прудников, И. Е. Титов [и др.] // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 1. – С. 25-35.

147. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязнённых территорий / В. С. Анисимов, С. А. Гераськин, И. В. Гешель [и др.] ; под ред. чл.-корр. РАН Н. И. Санжаровой и проф. С. В. Фесенко ; ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии. – Москва : РАН, 2018. – 276 с. – ISBN 978-5-906906-81-6.

148. Распределение Cs-137 в цепи почва-растения-животное (крупный рогатый скот) в условиях радиоактивно загрязнённых территорий Брянской области / Ф. Г. Сорокин, М. В. Щукин, Ц. Ц. Содбоев, Г. О. Абелев // Ветеринарный врач. – 2025. – № 2. – С. 94–102.

149. Расчет коэффициента накопления ^{137}Cs фитомассой мятликовых трав / С. М. Пакшина, Н. М. Белоус, Е. В. Смольский, А. Л. Силаев // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 6 (70). – С. 21–32.
150. Рациональное применение удобрений : пособие / И. Р. Вильдфлуш, А. Р. Цыганов, В. В. Лапа, Т. Ф. Персикова. – Горки : Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2002. – 324с. – ISBN 985-467-022-8.
151. Реабилитационные мероприятия на сельскохозяйственных угодьях, подвергшихся радиоактивному загрязнению / А. Н. Ратников, Г. И. Попова, Д. Г. Свириденко [и др.] // Известия ТСХА. – 2019. – №. 2. – С. 18–34.
152. Реабилитация сельскохозяйственных земель при масштабном радиоактивном загрязнении / А. В. Панов, А. Н. Ратников, Д. Г. Свириденко [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. – 2021. – № 3. – С. 46–50.
153. Риск получения молока и кормов не соответствующих нормативам по содержанию цезия–137 / Н. М. Белоус, И. И. Сидоров, Е. В. Смольский [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 5. – С. 75–77.
154. Сабитов, М. М. Влияние многолетних трав на повышение плодородия почв и продуктивности зерновых культур / М. М. Сабитов // Агрохимический вестник. – 2019. – №5. – С. 50–54.
155. Сандухадзе Б. И., Журавлева Е. В. Азотная подкормка современных сортов озимой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья // Питание растений. 2012. № 2. С. 2–6.
156. Санжарова Н. И. Влияние приёмов агротехники на уровень накопления ^{137}Cs в продукции при возделывании картофеля, зерновых культур и люпина в различных зонах Брянской области / Н. И. Санжарова, А. В. Панов, О. А. Шубина и др. // Радиация и риск. – 2012. – Т. 21, № 2. – С. 68–77.
157. Санжарова, Н. И. Изменение радиационной обстановки в сельском хозяйстве после аварии на Чернобыльской АЭС / Н. И. Санжарова // Агрохимический вестник. – 2010. – № 2. – С. 6-9.

158. Санжарова, Н. И. Оценка эффективности защитных мероприятий на почвах, загрязненных радионуклидами. / Н. И. Санжарова, В. К. Кузнецов, В. Н. Бровкин, И. А. Котик // Агрохимический вестник. – 1998. – № 4. – С. 22–26.

159. Сахабиев, И. А. Использование статистики каппа для оценки многолетних изменений внутрипольной неоднородности содержания доступных форм фосфора и калия / И. А. Сахабиев, К. Г. Гиниятуллин, Е. В. Смирнова // Аграрная наука. – 2025. – № 6. – С. 101–108.

160. Свечников, А. К. Влияние азотных удобрений на выход пожнивных корневых остатков в зернотравяном севообороте / А. К. Свечников // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2024. – № 7(73). – С. 122–126.

161. Свечников, А. К. Динамика содержания гумуса в севооборотах с многолетними травами / А. К. Свечников, Л. М. Козлова // Таврический вестник аграрной науки. – 2023. – № 2(34). – С. 87–101.

162. Свечников, А. К. Урожайность зеленой массы кормовых культур в зернотравяных севооборотах / А. К. Свечников // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2025. – № 4. – С. 19–25.

163. Селютин, В. С. Пространственные и сезонные особенности многолетних изменений атмосферных осадков на территории Брянской области / В. С. Селютин // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. – 2015. – Т. 157. – кн. 3. – С. 35–46.

164. Ситнов, О. Д. Влияние минеральных удобрений на продуктивность и качество одновидовых и гетерогенных посевов многолетних трав при возделывании на радиоактивной почве / О. Д. Ситнов // Современные тенденции развития аграрной науки : сборник научных трудов международной научно-практической конференции. Часть 1. – Брянск : Брянский государственный аграрный университет (Кокино), 2022. – С. 396–401.

165. Ситнов, О. Д. Влияние минеральных удобрений на продуктивность одновидовых и гетерогенных посевов многолетних трав при возделывании в условиях радиоактивного загрязнения агроценозов / О. Д. Ситнов, В. Ф.

Шаповалов, Е. М. Милютина // Вестник Брянской ГСХА. – 2024. – № 4 (104). – С. 9–14.

166. Смирнова, А. В. Агроэкологический потенциал многолетних злаковых трав, возделываемых в бессменном режиме на низинной торфяной почве / А. В. Смирнова // Известия Коми научного центра УРО РАН. – 2025. – № 1 (77). – С. 29–32.

167. Смирнова, М. А. Влияние радиационного загрязнения Брянской области на использование сельскохозяйственных угодий и социально-экологическое положение населения / М. А. Смирнова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. – 2010. – № 2. – С. 136–142.

168. Смольский, Е. В. Роль минеральных удобрений в производстве зеленых кормов в условиях радиоактивного загрязнения кормовых угодий лугов / Е. В. Смольский // Традиции и инновации в развитии АПК : материалы международной научно-практической конференции. – Великие Луки : Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. – 2019. – С. 39–45.

169. Современные проблемы радиологии в сельскохозяйственном производстве : монография / Н. М. Белоус [и др.] ; редкол.: науч. ред. – Ю. А. Томин [и др.]. – Москва, Рязань : Рязанский гос. агротехнологический ун-т им. П. А. Костычева, 2010. – 362 с. – ISBN 978-5-98660-048-2.

170. Содержание ауксина у люцерны хмелевидной (*Medicago lupulina* L.) при инокуляции грибом *Rhizophagus irregularis* на фоне низкой обеспеченности доступным фосфором / А. П. Юрков, С. В. Веселова, Л. М. Якоби [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – Т. 52. – № 4. – С. 830–838.

171. Сокращение риска перехода цезия-137 в молоко лактирующих коров в летний отдаленный период / Л. Н. Гамко, А. Г. Менякина, Е. И. Соколова, Т. Л. Талызина // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 8. – С. 54–58.

172. Спиридонов, А. М. Многолетние бобовые травы как источник биологического азота в земледелии / А. М. Спиридонов // Земледелие. – 2007. – № 3. – С. 14–15.

173. Стреляева, З. В. Поступление цезия-137 и стронция-90 в кормовые культуры в зависимости от агрохимического состава дерново-подзолистых почв / З. В. Стреляева // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – 2022. – № 25-1. – С. 141–149.

174. Сушеница, Б. А. Фосфатный уровень почв и его регулирование / Б. А. Сушеница. – Москва : Колос, 2015. – 365 с. – ISBN 978-5-10-003943-4.

175. Сысуев, В. А. Адаптивная стратегия устойчивой продуктивности многолетних трав на Северо-Востоке европейской части России / В. А. Сысуев, В. А. Фигурин // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 12. – С. 79–82.

176. Сычев, В. Г. Влияние калийных удобрений на содержание цезия-137 в зеленой массе природных кормовых угодий при поверхностном улучшении / В. Г. Сычев, Н. М. Белоус, Е. В. Смольский // Плодородие. 2012. №1. – С. 2–4.

177. Сычев, В. Г. О балансе питательных веществ в земледелии России / В. Г. Сычев, С. А. Шафран // Плодородие. – 2017. – №1 (94). – С. 1–4.

178. Сычев, В. Г. Чернобыль: радиационный мониторинг сельскохозяйственных угодий и агрохимические аспекты снижения последствий радиоактивного загрязнения почв (к 30-летию техногенной аварии на Чернобыльской АЭС) // В.Г. Сычев, В.И. Лунёв, П.М. Орлов, Н.М. Белоус. – Москва : ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, 2016. – 184 с. – ISBN 978-5-9238-0210-8.

179. Тимошкин, О. А. Урожайность и биологическая эффективность возделывания гетерогенных посевов люцерны изменчивой и костреца безостого / О. А. Тимошкин // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36. – № 7. – С. 12–18.

180. Тимошкин, О. А. Эффективность возделывания люцерны изменчивой и костреца безостого в чистом виде и гетерогенных посевах / О. А. Тимошкин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2023. – Т. 24. – № 2. – С. 276–285.

181. Титова, В. И. Динамика показателей плодородия дерново-подзолистых почв в зависимости от их гранулометрического состава / В. И. Титова, И. А.

Борисычев // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2023. – Т. 66. – № 6 (396). – С. 603–607.

182. Титова, В. И. Фосфор в земледелии Нижегородской области / В. И. Титова, О. Д. Шафронов, Л. Д. Варламова ; Нижегородская гос. с.-х. академия. – Н. Новгород : Изд-во ВВАГС, 2005. – 219 с. – ISBN 5-85152-428-6.

183. Торилов, В. Е. Изучение минерального питания бобово-злаковых смесей / В. Е. Торилов, О. В. Мельникова, О. К. Шемяков // Агрохимический вестник. – 2007. – № 1. – С. 13–14.

184. Торилов, В. Е. Обработка почвы, посев и посадка сельскохозяйственных культур / В. Е. Торилов, О. В. Мельникова. – Брянск : Брянский государственный аграрный университет, 2015. – 228 с.

185. Торилов, В. Е. Основы почвоведения и общего земледелия / В. Е. Торилов, О. В. Мельникова, Д. Г. Кротов. – Брянск : Брянский государственный аграрный университет, 2015. – 226 с.

186. Тюрюкова, А. Г. Влияние минеральных удобрений на урожайность многолетних трав на торфяниках Севера Бурятии / А. Г. Тюрюкова // Труды Новосибирского Государственного Архитектурно-Строительного Университета (Сибстрин). – 2020. – Т. 23. № 3/4 (77/78). – С. 114–120.

187. Уткин, А. А. Оценка радиационной обстановки на реперных участках сельскохозяйственных угодий Владимирской области / А. А. Уткин // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2022. – Т. 62. – № 6. – С. 660–672.

188. Федюшкин, А. В. Продуктивность люцерны в зависимости от способа обработки почвы и удобрения покровной культуры / А. В. Федюшкин, А. В. Парамонов, С. В. Пасько, В. И. Медведева // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 3 (71). – С. 104–107.

189. Феоктистова, Н. А. Влияние возраста травостоя на урожайность зеленой массы костреца безостого (*Bromopsis inermis*) в Тюменской области / Н. А. Феоктистова // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2019. – Т. 180. – № 2. – С. 30–37.

190. Фесенко, С. В. Авария на Чернобыльской АЭС: защитные и реабилитационные мероприятия в сельском хозяйстве / С. В. Фесенко, Н. И. Санжарова, Н. Н. Исамов, О. А. Шубина // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2021. – Т. 61. – № 3. – С. 261–276.

191. Фигурин, В. А. Выращивание многолетних трав на корм / В. А. Фигурин. – Киров : НИИСХ Северо-Востока, 2013. — 188 с. – ISBN 978-5-7352-0129-8.

192. Харкевич Л. П. Влияние агротехнических и агрохимических приёмов и их сочетаний на величину урожая сена и накопление в нём ^{137}Cs при длительном применении изучаемых приёмов / Л. П. Харкевич // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – №4. – С. 34-38.

193. 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 (73). – С. 25–27.

194. Харкевич, Л. П. Обработка почвы и удобрение многолетних трав в условиях радиоактивного загрязнения / Л. П. Харкевич, А. Л. Силаев, Ю. А. Анишина, Д. Н. Прищеп // Агрохимический вестник. – 2012. – № 5. – С. 25–27.

195. Хисматуллин, М. М. Бобовые и бобово-злаковые многолетние травы — составная часть органического земледелия Республики Татарстан / М. М. Хисматуллин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 14. – № 2. – С. 64–67.

196. Худякова, Х. К. Состав безазотистых экстрактивных веществ многолетних трав / Х. К. Худякова // Сборник научных трудов КНЦЗВ. – 2021. – Т. 10. – № 1. – С. 202–206.

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

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

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

200. Цымбал, Я. С. Продуктивность различных видов многолетних трав в зависимости от удобрений / Я. С. Цымбал // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3. – С. 59–62.

201. Чеботарев, Н. Т. Влияние органических и минеральных удобрений на свойства и продуктивность дерново-подзолистой почвы в условиях республики Коми / Н. Т. Чеботарев, А. А. Юдин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2015. – № 6 (49). – С. 43–46.

202. Чекмарев, П.А. Агрохимическое и агроэкологическое состояние почв, эффективность применения средств химизации и новых комплексных удобрений в Брянской области / П. А. Чекмарев, П. В. Прудников // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 7. – С. 24–33.

203. Чесалин, С. Ф. Агрохимические аспекты реабилитации радиоактивно загрязнённых заливных лугов Брянской области / С. Ф. Чесалин, Е. В. Смольский // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). – 2022. – Т. 31. – № 4. – С. 107–118.

204. Чесалин, С. Ф. Калийные удобрения в продуктивности сельскохозяйственных культур многолетних трав в условиях радиоактивного загрязнения территории / С. Ф. Чесалин, Е. В. Смольский, Л. П. Харкевич // Аграрная наука. – 2020. – № 11–12. – С. 108–111.

205. Чесалин, С. Ф. Эффективность минеральных удобрений в реализации продуктивности радиоактивно загрязнённых естественных кормовых угодий / С. Ф. Чесалин, Е. В. Смольский, И. Н. Белоус // Агрохимический вестник. – 2022. – № 2. – С. 37–42.

206. Чирков, Е.П. Современное состояние и концепция интеграционной политики в аграрном секторе экономики / Е.П. Чирков, Л.Н. Нестеренко, Т.И. Волкова // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2015. – № 11. – С. 48-56.

207. Чумаченко, И. Н. Фосфор в жизни растений и плодородии почв / И. Н. Чумаченко. – М.: ЦИНАО, 2002. – 124 с. – ISBN 5-9238-0023-3.

208. Шаповалов, В. Ф. Агроэкологическая оценка формирования урожайности и качества люцерно-мятликовых травосмесей в условиях радиоактивно загрязнённой дерново-подзолистой почвы / В. Ф. Шаповалов, С. А. Бельченко, А. В. Дронов, В. В. Дьяченко // Кормопроизводство. – 2022. – № 4. – С. 7–12.

209. Шаповалов, В. Ф. Экологическая оценка систем удобрения дерново-подзолистых песчаных почв Брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.04, 03.00.16 / Шаповалов Виктор Федорович ; ВНИИ агрохимии им Д. Н. Прянишникова. – Москва, 2006. – 39 с.

210. Шаповалов, В.Ф. Влияние многолетнего злакового ценоза на агрохимические показатели почвы и баланс элементов питания / В. Ф. Шаповалов, Л. П. Харкевич, И. Н. Белоус // Агрохимический вестник. – 2012. – № 5. – С. 28–29.

211. Шафран, С. А. Динамика плодородия почв Нечерноземной зоны / С. А. Шафран // Агрохимия. – 2016. – № 8. – С. 3–10.

212. Шевченков, П. Г. Рельеф Брянской области : учебное пособие / П. Г. Шевченков, Т. Ф. Шевченкова. – Брянск : Изд-во Брянского государственного университета, 2002. – 80 с.

213. Шевчук, Н. И. Характеристика хозяйственно-ценных признаков житняка гребневидного при введении в культуру / Н. И. Шевчук, С. В. Жаркова //Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2024. – № 2-2 (89). – С. 103–105.

214. Шмелева, Н. В. Многолетние травы – важный фактор регулирования плодородия почв Верхневолжья / Н. В. Шмелева // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2020. – Т. 16. – № 1. – С. 32–34.

215. Шпаков, А. С. Системы кормопроизводства в специализированных животноводческих хозяйствах / А. С. Шпаков, В. Т. Воловик // Кормопроизводство. – 2020. – № 3. – С.15–19.

216. Шпаков, А.С. Средообразующая роль многолетних трав в Нечернозёмной зоне. / А.С. Шпаков // Кормопроизводство. – 2014. – №9. – С. 12-17.

217. Эрозионные свойства почв Брянской области : монография / В. Т. Демихов, М. В. Долганова, Е. В. Хорина, Д. И. Чучин. — Брянск : Новый проект, 2015. – 182с. – ISBN 978-5-9907094-3-0.

218. Эседуллаев, С.Т. Роль нетрадиционных сельскохозяйственных культур многолетних трав в кормопроизводстве Верхневолжья и научные основы их возделывания в одновидовых и гетерогенных посевах / С.Т. Эседуллаев, Н.В. Шмелёва // Адаптивное кормопроизводство. – 2019. – №2. – С. 6–16.

219. Эффективность длительного применения удобрений в кормовом севообороте на дерново-подзолистой почве / Н. Т. Чеботарёв, А. А. Юдин, П. И. Конкин, Н. В. Булатова // Кормопроизводство. – 2018. – № 11. – С. 19–22.

220. Эффективность защитных мероприятий при улучшении радиоактивно загрязненных пойменных кормовых угодий в отдаленный период после аварии на ЧАЭС / Н. Н. Бокатуро, С. Н. Поцепай, Н. М. Белоус [и др.] // Кормопроизводство. – 2018. – № 2. – С. 11–16.

221. Эффективность комплекса защитных мероприятий при возделывании многолетних трав на радиоактивно загрязнённых пойменных лугах / Н. Н. Бокатуро, А. А. Справцев, А. А. Асташина [и др.] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2020. – Т. 15. – № 2. – С. 159–172.

222. Эффективность применения минеральных удобрений под многолетние бобово-злаковые травы на антропогенно-преобразованной торфяной почве / Н. Н.

Цыбулько, И. И. Жукова, А. В. Шашко, С. С. Романенко // Мелиорация. – 2018. – № 2(84). – С. 43-50.

223. Эффективность производства кормов на радиоактивно-загрязненных лугах центральной поймы реки Ипуть юго-запада Центрального Нечерноземья / П. П. Атрошенко, В. Ф. Шаповалов, Е. М. Милютина, С. Н. Поцепай // Вестник Брянской ГСХА. – 2024. – №5 (105). – С. 3–10.

224. Юсова, О. А. Новые источники повышенного качества зеленой массы многолетних трав в условиях южной лесостепи Западной Сибири / О. А. Юсова // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2018. – Т. 179. – № 4. – С. 39–49.

225. Ягмырова, А. Значение калия и кальция для растений в сельском хозяйстве / А. Ягмырова, Э. Гурбангелдиева, А. Аннамырадов, Г. Атаджанов // Символ науки. – 2024. – № 5-2-2. – С. 73–75.

226. Ягодин, Б. А. Агрохимия / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко. – Москва : Колос, 2002. – 584 с.

227. Enhancing Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Productivity: Exploring the Significance of Potassium Nutrition / Ebenezer Ayew Appiah, Andrea Balla-Kovács, Akasairi Ocwa, József Csajbók, Erika Kutasy // Agronomy. – 2024. – № 14 (8). – URL <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/8/1806> (дата обращения: 17.12.2025).

228. Enhancing lucerne (*Medicago sativa*) yield and nutritional quality: a meta-analysis of fertilization types and environmental factors in China / Jiachang Zhang, Yanting Mao, Gang Wang [and others] // Frontiers in Plant Science. – 2024. – № 15. – URL <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1405180> (дата обращения: 17.12.2025).

229. Optimizing Phosphorus Fertilization Management Is Conducive to Improving Alfalfa Yield and Quality: A Meta-Analysis / Lixin Zhang, Yuanbo Jiang, Minhua Yin [and others] // Agriculture. – 2025. – 15(8). – URL <https://doi.org/10.3390/agriculture15080797> (дата обращения: 17.12.2025).

230. Productivity and forage quality of smooth brome and alfalfa in monocultures and crop mixture in semiarid climate / R. A. Vozhehova, S. P. Goloborodko, P. V. Lykhovyd [and others] // Agrology. – 2025. – Vol. 8. – № 2. – P. 96–102.

231. Smooth Brome (*Bromus inermis* L.) – A Versatile Grass: A Review / Ewa Mackiewicz-Walec, Piotr Jarosław Żarczyński, Sławomir Józef Krzebietke, Katarzyna Żarczyńska // Agriculture. – 2024. – 14(6). – URL <https://doi.org/10.3390/agriculture14060854> (дата обращения: 17.12.2025).

232. Thirty years after the Chernobyl accident: What lessons have we learnt? / Nick Beresford, Sergey Fesenko, Alexei Konoplev [and others] // Journal of Environmental Radioactivity/ – 2016. – № 157. – С. 77–89.

Приложения

Приложение А. Агроклиматические условия Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции

Таблица А.1 – Метеорологические показатели вегетационного периода 2022 г.

Показатель	Декада	Апрель		Май		Июнь		Июль		Август	
		2022	много- летнее среднее	2022	много- летнее среднее	2022	много- летнее среднее	2022	много- летнее среднее	2022	много- летнее среднее
Т°С	I	5,0	4,7	12,9	13,4	21,9	17,6	22,7	19,5	21,3	19,9
	II	6,0	7,4	14,3	15,0	21,9	18,5	17,0	20,6	22,9	18,9
	III	10,4	10,2	14,6	16,4	25,5	19,3	22,0	20,1	23,0	17,5
	ср. за месяц.	7,1	7,4	14,0	14,9	23,1	18,5	20,6	20,1	22,4	18,8
Осадки, мм	I	41,2	12,9	3,7	14,1	5,0	21,4	10,7	28,7	32,6	24,8
	II	62,0	12,3	7,1	18,3	2,9	24,7	42,1	25,6	3,0	21,3
	III	27,7	12,6	33,7	22,4	27,3	24,6	14,2	26,7	1,4	23,3
	сумма	130,9	37,8	44,5	54,8	35,2	70,7	67,0	81,0	37,0	69,4
ГТК	I	–	–	0,3	0,9	0,2	1,0	0,5	1,4	1,5	1,2
	II	–	–	0,5	1,2	0,1	1,6	2,5	1,1	0,1	1,0
	III	2,7	–	2,3	1,4	1,1	1,3	0,7	1,2	0,1	1,4
	ср. за месяц.	–	–	1,0	1,1	0,5	1,3	1,2	1,2	0,6	1,2

Таблица А.2 – Метеорологические показатели вегетационного периода 2023 г.

Показатель	Декада	Апрель		Май		Июнь		Июль		Август	
		2023	много- летнее среднее	2023	много- летнее среднее	2023	много- летнее среднее	2023	много- летнее среднее	2023	много- летнее среднее
Т°С	I	10,2	4,7	10,0	13,3	18,1	17,7	22,0	19,5	23,0	19,9
	II	11,6	7,4	18,3	15,0	20,6	18,6	21,0	20,5	22,3	19,0
	III	12,2	10,2	18,0	16,4	20,2	19,4	19,5	20,1	22,3	17,6
	ср. за месяц.	11,3	7,4	15,5	14,9	19,6	18,6	20,8	20,0	22,5	18,8
Осадки, мм	I	53,3	13,2	7,9	13,9	14,7	21,2	51,2	28,5	17,6	24,9
	II	5,4	12,8	0,2	18,2	7,5	24,5	18,1	25,8	38,5	21,1
	III	9,5	12,8	18,1	22,5	66,6	24,6	35,1	26,6	4,8	23,1
	сумма	68,2	38,8	26,2	54,6	88,8	70,3	104,4	80,9	60,9	69,1
ГТК	I	5,2	–	0,8	0,9	0,8	1,0	2,3	1,4	0,8	1,2
	II	0,5	–	0,0	1,2	0,4	1,6	0,9	1,2	1,7	1,0
	III	0,8	–	1,0	1,4	3,3	1,3	1,8	1,2	0,2	1,4
	ср. за месяц.	2,2	–	0,6	1,1	1,5	1,3	1,7	1,3	0,9	1,2

Таблица А.3 – Метеорологические показатели вегетационного периода 2024 г.

Показатель	Декада	Апрель		Май		Июнь		Июль		Август	
		2024	много- летнее среднее	2024	много- летнее среднее	2024	много- летнее среднее	2024	много- летнее среднее	2024	много- летнее среднее
Т°С	I	13,4	4,8	14,1	13,3	21,4	17,7	24,0	19,5	20,7	19,9
	II	11,6	7,5	14,3	15,0	20,2	18,6	26,3	20,5	21,6	19,0
	III	12,3	10,2	21,4	16,4	23,1	19,4	21,6	20,1	24,5	17,6
	ср. за месяц.	12,5	7,5	16,8	14,9	21,5	18,6	23,9	20,0	22,3	18,8
Осадки, мм	I	24,8	13,6	26,3	13,9	29,9	21,1	13,8	28,7	13,7	24,8
	II	34,7	12,7	5,6	18,0	90,8	24,4	16,3	25,7	0,0	21,3
	III	46,8	12,8	6,5	22,5	0,0	25,1	11,7	26,7	0,0	22,9
	сумма	106,3	39,1	38,4	54,4	120,7	70,6	41,8	81,1	13,7	69,0
ГТК	I	1,9	–	1,9	0,9	1,4	1,0	0,6	1,4	0,7	1,3
	II	3,0	–	0,4	1,1	4,5	1,5	0,6	1,2	0,0	1,4
	III	3,8	–	0,3	1,4	0,0	1,3	0,6	1,2	0,0	1,5
	ср. за месяц.	2,9	–	0,9	1,1	1,2	1,3	0,6	1,3	0,2	1,4

Приложение Б. Эффективность воздействия фосфорно-калийного удобрения на урожайность многолетних трав и их травосмесей

Таблица Б.1 – Эффективность воздействия фосфорно-калийного удобрения на урожайность многолетних трав и их травосмесей в 2022 г.

Вариант Культура	Урожайность, т/га									V, %		
	контроль			Р ₆₀ К ₁₂₀			Р ₆₀ К ₁₈₀					
	1-й укос	2-й укос	среднее за 2 укоса	1-й укос	2-й укос	Среднее за 2 укоса	1-й укос	2-й укос	Среднее за 2 укоса	1-й укос	2-й укос	Среднее за 2 укоса
Люцерна желтая	14,9	11,9	26,8	17,0	13,8	30,8	19,5	16,0	35,5	13,4	14,8	14,0
Кострец безостый	9,3	7,4	16,7	11,6	9,4	21,0	13,3	10,9	24,2	17,6	19,0	18,2
Житняк гребневидный	10,5	8,4	19,0	13,1	10,6	23,6	15,0	12,3	27,4	17,6	18,7	18,0
Люцерна + кострец	18,8	15,0	33,8	20,5	16,6	37,1	22,4	18,4	40,7	8,8	10,2	9,3
Люцерна + житняк	20,7	16,6	37,3	22,9	18,6	41,5	24,8	20,3	45,1	9,0	10,0	9,5
НСР ₀₅	1-й укос			2-й укос			среднее за 2 укоса			—	—	—
НСР _{05(общ.)}	0,37			0,29			0,65					
НСР _{05(уд-я)}	0,17			0,13			0,29			—	—	—
НСР _{05(культ.)}	0,21			0,17			0,37					

Таблица Б.2 – Эффективность воздействия фосфорно-калийного удобрения на урожайность многолетних трав и их травосмесей в 2023 г.

Вариант Культура	Урожайность, т/га									V, %		
	контроль			Р ₆₀ К ₁₂₀			Р ₆₀ К ₁₈₀					
	1-й укос	2-й укос	Среднее за 2 укоса	1-й укос	2-й укос	Среднее за 2 укоса	1-й укос	2-й укос	Среднее за 2 укоса	1-й укос	2-й укос	Среднее за 2 укоса
Люцерна желтая	15,6	12,5	28,1	18,6	15,0	33,6	21,7	17,8	39,6	16,4	17,6	17,0
Кострец безостый	8,3	6,6	14,9	11,0	8,9	19,9	13,0	10,7	23,7	21,9	23,5	22,6
Житняк гребневидный	10,2	8,2	18,4	12,9	10,5	23,4	14,8	12,1	26,9	18,3	19,1	18,7
Люцерна + кострец	18,5	14,8	33,2	20,5	16,6	37,1	22,4	18,3	40,7	9,5	10,6	10,1
Люцерна + житняк	20,8	16,6	37,4	23,0	18,7	41,7	25,1	20,6	45,6	9,4	10,7	9,9
НСР ₀₅	1-й укос			2-й укос			среднее за 2 укоса			—	—	—
НСР _{05(общ.)}	0,33			0,25			0,65			—	—	—
НСР _{05(уд-я)}	0,15			0,11			0,26					
НСР _{05(культ.)}	0,19			0,15			0,34					

Таблица Б.3 – Эффективность воздействия фосфорно-калийного удобрения на урожайность многолетних трав и их травосмесей в 2024 г.

Показатель Вариант	Урожайность, т/га									V, %		
	контроль			Р ₆₀ К ₁₂₀			Р ₆₀ К ₁₈₀					
	1-й укос	2-й укос	Среднее за 2 укоса	1-й укос	2-й укос	Среднее за 2 укоса	1-й укос	2-й укос	Среднее за 2 укоса	1-й укос	2-й укос	Среднее за 2 укоса
Люцерна желтая	16,2	11,4	27,6	19,3	13,7	33,0	22,6	16,3	38,9	16,5	17,8	17,0
Кострец безостый	8,6	5,2	13,8	11,4	7,0	18,4	13,5	8,4	21,9	22,0	23,4	22,5
Житняк гребневидный	10,6	6,4	17,0	13,4	8,2	21,6	15,4	9,5	24,9	18,4	19,4	18,8
Люцерна + кострец	19,2	13,4	32,6	21,3	15,1	36,4	23,3	16,7	40,0	9,6	11,0	10,2
Люцерна + житняк	21,6	15,1	36,8	23,9	17,0	40,9	26,1	18,8	44,8	9,4	10,9	9,8
НСР ₀₅	1-й укос			2-й укос			среднее за 2 укоса			—	—	—
НСР _{05(общ.)}	0,35			0,27			0,35					
НСР _{05(уд-я)}	0,16			0,13			0,16			—	—	—
НСР _{05(культ.)}	0,19			0,16			0,20					

Приложение В. Влияние фосфорно-калийного удобрения на продуктивность многолетних трав и их травосмесей

Таблица В.1 – Действие систем фосфорно-калийного удобрения на сбор сухого вещества и сырого протеина (2022 – 2024 гг.)

Культура	Вариант	Сухое вещество, т/га	Сырой протеин, кг/га
Люцерна желтая	Контроль	5,5	936,8
	P ₆₀ K ₁₂₀	6,5	1127,6
	P ₆₀ K ₁₈₀	7,6	1219,7
V, %		16,1	13,2
Кострец безостый	Контроль	3,5	408,0
	P ₆₀ K ₁₂₀	4,4	499,8
	P ₆₀ K ₁₈₀	5,3	600,5
V, %		20,5	19,2
Житняк гребневидный	Контроль	4,0	390,9
	P ₆₀ K ₁₂₀	5,0	567,6
	P ₆₀ K ₁₈₀	6,1	696,4
V, %		20,9	20,9
Люцерна + кострец	Контроль	7,0	1088,8
	P ₆₀ K ₁₂₀	7,7	1114,8
	P ₆₀ K ₁₈₀	8,5	1149,0
V, %		9,7	2,7
Люцерна + житняк	Контроль	7,8	1251,7
	P ₆₀ K ₁₂₀	8,7	1263,7
	P ₆₀ K ₁₈₀	9,9	1448,6
V, %		12,0	8,4
НСР ₀₅		0,3	149,3
P, %		1,8	5,6

Таблица В.2 – Воздействие фосфорно-калийного удобрения на сбор обменной энергии и перевариваемого протеина (2022 – 2024 гг.)

Культура	Вариант	Кормовые единицы, тыс./га	Обменная энергия, ГДж/га
Люцерна желтая	Контроль	3,14	46,4
	P ₆₀ K ₁₂₀	3,72	55,0
	P ₆₀ K ₁₈₀	4,23	63,4
V, %		14,8	15,5
Кострец безостый	Контроль	2,05	29,9
	P ₆₀ K ₁₂₀	2,75	38,7
	P ₆₀ K ₁₈₀	3,12	45,7
V, %		20,6	20,8
Житняк гребневидный	Контроль	2,36	34,2
	P ₆₀ K ₁₂₀	3,13	44,3
	P ₆₀ K ₁₈₀	3,66	52,6
V, %		21,4	21,1
Люцерна + кострец	Контроль	3,92	58,4
	P ₆₀ K ₁₂₀	4,40	65,3
	P ₆₀ K ₁₈₀	4,72	70,8
V, %		9,3	9,6
Люцерна + житняк	Контроль	4,35	65,1
	P ₆₀ K ₁₂₀	4,69	71,3
	P ₆₀ K ₁₈₀	5,56	83,1
V, %		12,8	12,5
НСП ₀₅		0,43	3,9
P, %		4,03	2,5

Таблица В.3 – Влияние доз фосфорно-калийного удобрения на сбор сырого жира и сырой клетчатки (2022 – 2024 гг.)

Культура	Вариант	Сырая клетчатка, т/га	Сырой жир, кг/га
Люцерна желтая	Контроль	1,70	85,7
	P ₆₀ K ₁₂₀	2,00	86,1
	P ₆₀ K ₁₈₀	2,39	106,3
V, %		17,0	12,7
Кострец безостый	Контроль	1,05	72,8
	P ₆₀ K ₁₂₀	1,26	126,6
	P ₆₀ K ₁₈₀	1,62	140,5
V, %		22,0	31,6
Житняк гребневидный	Контроль	1,23	64,0
	P ₆₀ K ₁₂₀	1,46	96,5
	P ₆₀ K ₁₈₀	1,80	98,3
V, %		19,2	22,4
Люцерна + кострец	Контроль	2,26	124,3
	P ₆₀ K ₁₂₀	2,48	168,6
	P ₆₀ K ₁₈₀	2,74	145,7
V, %		9,6	15,2
Люцерна + житняк	Контроль	2,52	130,0
	P ₆₀ K ₁₂₀	2,90	129,7
	P ₆₀ K ₁₈₀	3,17	129,9
V, %		11,4	0,12
НСП ₀₅		0,27	48,1
P, %		4,63	14,6

Таблица В.4 – Действие фосфорно-калийного удобрения на сбор безазотистых экстрактивных веществ и сырой золы (2022 – 2024 гг.), т/га

Культура	Вариант	Сырая зола	Безэкстрактивные вещества
Люцерна желтая	Контроль	0,34	1,96
	P ₆₀ K ₁₂₀	0,43	2,33
	P ₆₀ K ₁₈₀	0,52	2,77
V, %		20,9	17,2
Кострец безостый	Контроль	0,16	1,50
	P ₆₀ K ₁₂₀	0,20	1,94
	P ₆₀ K ₁₈₀	0,26	2,25
V, %		24,4	19,9
Житняк гребневидный	Контроль	0,13	1,88
	P ₆₀ K ₁₂₀	0,20	2,32
	P ₆₀ K ₁₈₀	0,27	2,75
V, %		35,0	18,8
Люцерна + кострец	Контроль	0,41	2,58
	P ₆₀ K ₁₂₀	0,44	2,96
	P ₆₀ K ₁₈₀	0,47	3,34
V, %		6,8	12,8
Люцерна + житняк	Контроль	0,47	2,82
	P ₆₀ K ₁₂₀	0,44	3,26
	P ₆₀ K ₁₈₀	0,52	3,88
V, %		8,5	16,0
HCP ₀₅		0,08	0,34
P, %		7,82	4,54

Таблица В.5 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на продуктивность многолетних трав и их смесей, 2022 г. (Часть 1)

Показатель Вариант	Сухое вещество, т/га			Кормовые единицы, тыс.			Валовая энергия, ГДж/га			Обменная энергия, ГДж/га			Переваримый протеин, т/га		
	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀
Люцерна желтая	5,4	6,2	7,1	3,05	3,47	3,82	92,2	105,6	123,6	45,1	51,7	58,3	0,54	0,70	0,77
Кострец безостый	3,8	4,6	5,6	1,99	2,73	2,92	66,5	82,1	96,7	31,0	39,8	45,1	0,27	0,29	0,31
Житняк гребневидный	4,2	5,2	6,3	2,23	2,91	3,29	72,3	90,0	106,1	34,1	43,5	50,9	0,14	0,27	0,34
Люцерна + кострец	7,1	7,8	8,6	3,62	4,26	4,54	122,8	137,1	146,9	56,6	64,5	69,7	0,72	0,77	0,60
Люцерна + житняк	7,8	8,7	9,9	4,19	4,42	5,54	134,6	151,0	171,4	64,0	69,4	82,9	0,97	0,63	0,89

Таблица В.6 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на продуктивность многолетних трав и их смесей, 2022 г., т/га (Часть 2)

Показатель Вариант	Сырой протеин			Сырая клетчатка			Сырая зола			Сырой жир			БЭВ		
	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀
Люцерна желтая	0,79	1,00	1,11	1,68	1,93	2,40	0,27	0,39	0,45	0,06	0,06	0,14	2,13	2,33	2,49
Кострец безостый	0,43	0,49	0,54	1,33	1,48	1,92	0,17	0,20	0,23	0,07	0,16	0,10	1,55	1,97	2,36
Житняк гребневидный	0,30	0,48	0,60	1,41	1,67	2,06	0,13	0,20	0,37	0,06	0,09	0,08	1,98	2,36	2,71
Люцерна + кострец	1,05	1,14	0,97	2,49	2,64	2,85	0,39	0,42	0,41	0,05	0,18	0,12	2,61	2,86	3,53
Люцерна + житняк	1,37	1,00	1,34	2,60	3,08	3,19	0,51	0,37	0,51	0,08	0,11	0,15	2,68	3,48	3,97

Таблица В.7 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на продуктивность многолетних трав и их смесей, 2023 г. (Часть 1)

Показатель Вариант	Сухое вещество, т/га			Кормовые единицы, тыс.			Валовая энергия, ГДж/га			Обменная энергия, ГДж/га			Переваримый протеин, т/га		
	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀
Люцерна желтая	5,6	6,7	7,9	3,22	3,97	4,37	96,6	115,7	135,5	47,5	57,8	65,7	0,72	0,85	0,86
Кострец безостый	3,4	4,4	5,4	2,24	2,96	3,37	59,0	77,5	91,4	31,0	40,2	47,9	0,27	0,35	0,45
Житняк гребневидный	4,1	5,1	6,2	2,81	3,64	4,29	70,4	89,1	106,5	37,7	48,4	57,6	0,28	0,41	0,45
Люцерна + кострец	7,0	7,8	8,5	4,00	4,28	4,66	123,0	136,2	148,9	59,1	64,5	70,5	0,85	0,75	0,87
Люцерна + житняк	7,9	8,8	10,0	4,18	4,61	5,34	137,5	152,6	174,1	64,1	71,0	81,9	0,77	1,03	1,09

Таблица В.8 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на продуктивность многолетних трав и их смесей, 2023 г., т/га (Часть 2)

Показатель Вариант	Сырой протеин			Сырая клетчатка			Сырая зола			Сырой жир			БЭВ		
	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀
Люцерна желтая	1,00	1,19	1,24	1,74	2,03	2,53	0,34	0,42	0,48	0,10	0,10	0,09	1,94	2,45	2,96
Кострец безостый	0,42	0,54	0,69	0,91	1,20	1,46	0,13	0,17	0,28	0,08	0,12	0,21	1,58	2,03	2,13
Житняк гребневидный	0,45	0,64	0,71	1,03	1,26	1,52	0,12	0,19	0,21	0,07	0,10	0,10	2,06	2,55	3,14
Люцерна + кострец	1,20	1,11	1,27	2,27	2,60	2,86	0,40	0,38	0,42	0,16	0,16	0,14	2,42	2,92	3,19
Люцерна + житняк	1,14	1,46	1,57	2,71	3,02	3,40	0,40	0,46	0,49	0,16	0,14	0,12	2,84	2,95	3,65

Таблица В.9 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на продуктивность многолетних трав и их смесей, 2024 г. (Часть 1)

Показатель Вариант	Сухое вещество, т/га			Кормовые единицы, тыс.			Валовая энергия, ГДж/га			Обменная энергия, ГДж/га			Переваримый протеин, т/га		
	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀
Люцерна желтая	5,5	6,6	7,8	3,15	3,72	4,49	94,1	112,6	129,9	46,6	55,4	66,1	0,73	0,86	0,93
Кострец безостый	3,2	4,1	5,0	1,93	2,57	3,08	53,9	69,1	87,2	27,7	36,1	44,1	0,24	0,29	0,35
Житняк гребневидный	3,7	4,8	5,7	2,04	2,84	3,40	65,1	82,6	101,2	30,9	41,1	49,3	0,26	0,37	0,51
Люцерна + кострец	6,9	7,6	8,4	4,15	4,66	4,96	118,3	131,1	144,1	59,6	66,8	72,1	0,70	0,74	0,81
Люцерна + житняк	7,7	8,6	9,9	4,68	5,04	5,79	132,4	148,0	168,2	67,2	73,6	84,5	0,87	0,92	0,98

Таблица В.10 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на продуктивность многолетних трав и их смесей, 2024 г., т/га (Часть 2)

Показатель Культура	Сырой протеин			Сырая клетчатка			Сырая зола			Сырой жир			БЭВ		
	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀
Люцерна желтая	1,02	1,20	1,31	1,69	2,05	2,24	0,41	0,47	0,63	0,10	0,10	0,09	1,82	2,22	2,85
Кострец безостый	0,38	0,47	0,56	0,89	1,10	1,48	0,17	0,25	0,26	0,07	0,10	0,11	1,37	1,82	2,26
Житняк гребневидный	0,42	0,58	0,77	1,24	1,44	1,81	0,14	0,22	0,22	0,06	0,09	0,12	1,58	2,06	2,39
Люцерна + кострец	1,02	1,10	1,20	2,02	2,20	2,51	0,44	0,52	0,58	0,15	0,17	0,18	2,70	3,09	3,31
Люцерна + житняк	1,25	1,33	1,44	2,24	2,61	2,93	0,51	0,48	0,57	0,15	0,14	0,12	2,94	3,34	4,02

Приложение Г. Влияние фосфорно-калийного удобрения на качество многолетних трав и их травосмесей

Таблица Г.1 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на содержание безазотистых экстрактивных веществ и сырого протеина, 2022 – 2024 гг., %

Культура	Вариант	Сырой протеин	Безазотистые экстрактивные вещества
Люцерна желтая	Контроль	17,02	35,80
	P ₆₀ K ₁₂₀	17,34	35,95
	P ₆₀ K ₁₈₀	16,05	36,36
V, %		4,0	0,8
Кострец безостый	Контроль	11,73	43,10
	P ₆₀ K ₁₂₀	11,50	44,66
	P ₆₀ K ₁₈₀	11,23	42,17
V, %		2,2	2,9
Житняк гребневидный	Контроль	9,86	46,91
	P ₆₀ K ₁₂₀	11,31	46,13
	P ₆₀ K ₁₈₀	11,54	45,22
V, %		8,4	1,8
Люцерна + кострец	Контроль	15,61	36,95
	P ₆₀ K ₁₂₀	14,40	38,21
	P ₆₀ K ₁₈₀	13,52	39,31
V, %		7,2	3,1
Люцерна + житняк	Контроль	16,04	36,15
	P ₆₀ K ₁₂₀	14,54	37,50
	P ₆₀ K ₁₈₀	14,56	39,03
V, %		5,7	3,8
HCP ₀₅		1,96	4,98
P, %		4,91	4,28

Таблица Г.2 – Воздействие фосфорно-калийного удобрения на содержание обменной энергии и перевариваемого протеина, 2022 – 2024 гг.

Культура	Вариант	Обменная энергия, МДж	Переваримый протеин, г.
Люцерна желтая	Контроль	8,47	120,6
	P ₆₀ K ₁₂₀	8,47	123,4
	P ₆₀ K ₁₈₀	8,33	112,0
V, %		1,0	5,0
Кострец безостый	Контроль	8,57	73,8
	P ₆₀ K ₁₂₀	8,90	71,8
	P ₆₀ K ₁₈₀	8,53	69,4
V, %		2,3	3,1
Житняк гребневидный	Контроль	8,60	57,2
	P ₆₀ K ₁₂₀	8,80	70,1
	P ₆₀ K ₁₈₀	8,67	72,1
V, %		1,2	12,2
Люцерна + кострец	Контроль	8,40	108,1
	P ₆₀ K ₁₂₀	8,43	97,4
	P ₆₀ K ₁₈₀	8,33	89,7
V, %		0,6	9,4
Люцерна + житняк	Контроль	8,36	112,0
	P ₆₀ K ₁₂₀	8,23	98,7
	P ₆₀ K ₁₈₀	8,37	98,9
V, %		0,9	7,4
НСР ₀₅		0,50	17,32
P, %		2,02	6,52

Таблица Г.3 – Влияние доз фосфорно-калийного удобрения на содержание сырого жира и сырой клетчатки, 2022 – 2024 гг., %

Культура	Вариант	Сырой жир	Сырая клетчатка
Люцерна желтая	Контроль	1,55	30,98
	P ₆₀ K ₁₂₀	1,32	30,84
	P ₆₀ K ₁₈₀	1,42	31,52
V, %		8,1	1,2
Кострец безостый	Контроль	2,11	29,76
	P ₆₀ K ₁₂₀	2,89	28,86
	P ₆₀ K ₁₈₀	2,62	30,18
V, %		15,6	2,3
Житняк гребневидный	Контроль	1,60	30,73
	P ₆₀ K ₁₂₀	1,92	29,00
	P ₆₀ K ₁₈₀	1,63	29,68
V, %		10,3	2,9
Люцерна + кострец	Контроль	1,79	32,37
	P ₆₀ K ₁₂₀	2,18	32,05
	P ₆₀ K ₁₈₀	1,72	32,23
V, %		13,1	0,5
Люцерна + житняк	Контроль	1,67	32,21
	P ₆₀ K ₁₂₀	1,49	33,40
	P ₆₀ K ₁₈₀	1,31	31,90
V, %		12,1	2,4
НСР ₀₅		0,74	4,21
P, %		14,03	4,68

Таблица Г.4 – Воздействие доз фосфорно-калийного удобрения на содержание кормовых единиц и обеспеченность кормовых единиц переваримым протеином, 2022 – 2024 гг.

Культура	Вариант	Кормовые единицы в 1 кг сух. в-ва	Обеспеченность 1 к.е. переваримым протеином, г.
Люцерна желтая	Контроль	0,57	211,1
	P ₆₀ K ₁₂₀	0,57	215,6
	P ₆₀ K ₁₈₀	0,56	201,4
V, %		1,0	3,5
Кострец безостый	Контроль	0,59	125,0
	P ₆₀ K ₁₂₀	0,63	113,1
	P ₆₀ K ₁₈₀	0,58	118,0
V, %		4,4	5,0
Житняк гребневидный	Контроль	0,59	96,4
	P ₆₀ K ₁₂₀	0,62	112,3
	P ₆₀ K ₁₈₀	0,60	119,7
V, %		2,5	10,9
Люцерна + кострец	Контроль	0,56	192,8
	P ₆₀ K ₁₂₀	0,57	171,7
	P ₆₀ K ₁₈₀	0,55	161,2
V, %		1,8	9,2
Люцерна + житняк	Контроль	0,56	201,5
	P ₆₀ K ₁₂₀	0,54	182,4
	P ₆₀ K ₁₈₀	0,56	177,4
V, %		2,1	6,8
НСР ₀₅		0,07	35,88
P, %		4,12	7,74

Таблица Г.5 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на качество многолетних трав и их травосмесей, 2022 г., %
(Часть 1).

Показатель Культура	Сырой протеин			Сырая клетчатка			Сырой жир			БЭВ		
	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀
Люцерна желтая	14,81	16,19	15,63	31,35	31,35	33,73	1,09	0,94	1,94	39,82	37,82	34,98
Кострец безостый	11,19	10,56	9,75	34,51	32,02	34,43	1,70	3,35	1,80	40,18	42,64	42,45
Житняк гребневидный	7,13	9,25	9,56	33,66	32,23	32,72	1,43	1,77	1,25	47,50	45,49	43,04
Люцерна + кострец	14,81	14,56	11,38	35,06	33,88	33,34	0,77	2,25	1,42	36,78	36,67	41,22
Люцерна + житняк	17,44	11,50	13,50	33,16	35,31	32,12	0,96	1,30	1,53	34,17	39,93	39,95

Таблица Г.6 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на качество многолетних трав и их травосмесей, 2022 г. (Часть 2).

Показатель Вариант	Обменная энергия, МДж			Переваримый протеин, г.			Кормовые единицы в 1кг сух. в-ва			Обеспеченность 1 к.е. переваримым протеином, г.		
	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀
Люцерна желтая	8,4	8,4	8,2	101,1	113,3	108,3	0,57	0,56	0,54	177,7	200,9	201,5
Кострец безостый	8,0	8,6	8,1	69,0	63,5	56,3	0,52	0,59	0,52	133,2	107,5	107,4
Житняк гребневидный	8,2	8,4	8,1	33,1	51,9	54,6	0,53	0,56	0,52	61,9	92,6	104,6
Люцерна + кострец	8,0	8,3	8,1	101,1	98,9	70,7	0,51	0,55	0,53	198,3	180,9	133,1
Люцерна + житняк	8,2	8,0	8,3	124,3	71,8	89,5	0,53	0,51	0,56	232,7	141,7	160,5

Таблица Г.7 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на качество многолетних трав и их травосмесей, 2023 г., % (Часть 1).

Показатель Вариант	Сырой протеин			Сырая клетчатка			Сырой жир			БЭВ		
	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀
Люцерна желтая	17,81	17,69	15,63	31,02	30,14	31,98	1,73	1,48	1,12	34,52	36,38	37,43
Кострец безостый	12,19	12,38	12,75	26,62	27,50	26,85	2,28	2,79	3,79	45,90	46,42	43,54
Житняк гребневидный	11,19	12,50	11,56	25,30	24,42	24,64	1,80	2,02	1,63	50,94	49,53	50,77
Люцерна + кострец	17,13	14,25	14,88	32,56	33,44	33,44	2,36	2,11	1,61	34,64	37,50	37,31
Люцерна + житняк	14,50	16,69	15,63	34,42	34,54	33,88	2,05	1,55	1,16	36,14	33,75	36,38

Таблица Г.8 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на качество многолетних трав и их травосмесей, 2023 г. (Часть 2)

Показатель Вариант	Обменная энергия, МДж			Переваримый протеин, г.			Кормовые единицы в 1 кг сух. в-ва			Обеспеченность 1 к.е. переваримым протеином, г.		
	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀
Люцерна желтая	8,5	8,6	8,3	127,6	126,5	108,3	0,57	0,59	0,56	222,6	214,2	196,1
Кострец безостый	9,0	9,2	8,8	77,9	79,5	82,8	0,65	0,67	0,62	119,2	117,8	133,8
Житняк гребневидный	9,3	9,4	9,3	69,0	80,6	72,3	0,69	0,71	0,69	99,6	113,7	104,1
Люцерна+ кострец	8,5	8,3	8,3	121,6	96,1	101,6	0,57	0,55	0,55	212,1	174,8	161,2
Люцерна+ житняк	8,2	8,1	8,2	98,3	117,7	108,3	0,53	0,53	0,53	184,7	223,7	203,3

Таблица Г.9 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на качество многолетних трав и их травосмесей, 2024 г., %
(Часть 1)

Показатель Вариант	Сырой протеин			Сырая клетчатка			БЭВ			Сырой жир		
	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀
Люцерна желтая	18,44	18,13	16,88	30,58	31,02	28,84	33,07	33,65	33,68	1,84	1,53	1,19
Кострец безостый	11,81	11,56	11,19	28,16	27,06	29,26	43,21	44,93	44,90	2,35	2,53	2,28
Житняк гребневидный	11,25	12,19	13,50	33,22	30,36	31,68	42,28	43,38	41,84	1,58	1,97	2,02
Люцерна+ кострец	14,88	14,38	14,31	29,48	28,82	29,92	39,44	40,46	39,41	2,24	2,17	2,12
Люцерна+ житняк	16,19	15,44	14,56	29,04	30,36	29,70	38,13	38,82	40,76	1,99	1,63	1,23

Таблица Г.10 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на качество многолетних трав и их травосмесей, 2024 г. (Часть 2).

Показатель Вариант	Обменная энергия, МДж			Переваримый протеин, г.			Кормовые единицы в 1 кг сух. в-ва			Обеспеченность 1 к.е. переваримым протеином, г.		
	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀
Люцерна желтая	8,5	8,5	8,5	133,2	130,4	119,3	0,57	0,56	0,58	233,0	231,6	206,5
Кострец безостый	8,7	8,9	8,7	74,5	72,3	69,0	0,61	0,63	0,61	122,6	113,9	112,8
Житняк гребневидный	8,3	8,6	8,6	69,6	77,9	89,5	0,55	0,60	0,59	127,6	130,5	150,5
Люцерна+ кострец	8,7	8,7	8,6	101,6	97,2	96,7	0,60	0,61	0,59	168,1	159,5	163,9
Люцерна+ житняк	8,7	8,6	8,6	113,3	97,2	98,9	0,61	0,59	0,59	187,0	181,9	168,5

Приложение Д. Влияние фосфорно-калийного удобрения на содержание ^{137}Cs в зеленой массе многолетних трав

Таблица Д.1 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на содержание ^{137}Cs в зеленой массе многолетних трав, 2022 г., Бк/кг

Вариант Культура	1 укос			V, %	2 укос			V, %
	контроль	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀		контроль	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	
Люцерна желтая	493,3	372,3	272,6	29,1	455,8	344,0	251,9	29,1
Кострец безостый	193,4	102,1	66,4	52,3	178,7	94,3	61,4	54,3
Житняк гребневидный	185,1	96,4	58,9	57,1	171,0	89,1	54,4	57,1
Люцерна + кострец	364,3	252,3	219,3	27,3	336,6	233,1	202,6	27,3
Люцерна + житняк	356,4	239,4	209,8	28,9	329,3	221,2	193,9	28,9
НСР _{05(общ.)}	7,2				5,7			
НСР _{05(уд-я)}	3,3				2,7			
НСР _{05(культ.)}	3,4				3,3			

Таблица Д.2 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на содержание ^{137}Cs в зеленой массе многолетних трав, 2023 г., Бк/кг

Вариант Культура	1 укос			V, %	2 укос			V, %
	контроль	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀		контроль	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	
Люцерна желтая	473,3	346,5	292,3	25,1	437,3	320,2	270,1	25,1
Кострец безостый	143,4	92,5	75,9	33,8	132,5	85,5	70,1	33,8
Житняк гребневидный	202,8	86,6	70,4	60,2	187,4	80,0	65,0	60,2
Люцерна + кострец	374,9	232,3	211,4	32,6	346,4	214,6	195,3	32,6
Люцерна + житняк	369,7	220,6	207,4	33,9	341,6	203,8	191,6	33,9
НСР _{05(общ.)}	6,2				5,8			
НСР _{05(уд-я)}	3,3				2,6			
НСР _{05(культ.)}	3,5				3,3			

Таблица Д.3 – Влияние фосфорно-калийного удобрения на содержание ^{137}Cs в зеленой массе многолетних трав, 2024 г., Бк/кг

Вариант Культура	1 укос			V, %	2 укос			V, %
	контроль	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀		контроль	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	
Люцерна желтая	438,7	398,2	289,5	20,6	405,4	367,9	267,5	20,6
Кострец безостый	207,3	133,8	85,7	43,1	191,5	123,6	79,2	43,1
Житняк гребневидный	194,4	106,1	69,5	52,1	179,6	98,0	64,2	52,1
Люцерна + кострец	329,0	234,7	204,5	25,4	304,0	216,9	189,0	25,4
Люцерна + житняк	318,4	212,8	202,3	26,3	294,2	196,6	186,9	26,3
НСР _{05(общ.)}	8,1				5,6			
НСР _{05(уд-я)}	3,2				2,8			
НСР _{05(культ.)}	3,3				3,2			

Приложение Е. Воздействие фосфорно-калийного удобрения на баланс элементов питания в почве (кг/га) при
выращивании многолетних трав

Таблица Е.1 – Элементный состав зеленой массы одновидовых и гетерогенных посевов сельскохозяйственных культур многолетних трав в зависимости от дозы удобрения, 2022 г.

Культура	Содержание в воздушно-сухом веществе, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
контроль			
Люцерна желтая	2,37	0,34	1,66
Кострец безостый	1,79	0,27	1,62
Житняк гребневидный	1,14	0,27	1,59
Люцерна + кострец	2,37	0,29	1,52
Люцерна + житняк	2,79	0,34	1,80
P ₆₀ K ₁₂₀			
Люцерна желтая	2,59	0,32	1,58
Кострец безостый	1,69	0,31	1,75
Житняк гребневидный	1,48	0,28	1,53
Люцерна + кострец	2,33	0,37	1,94
Люцерна + житняк	1,84	0,29	1,54
P ₆₀ K ₁₈₀			
Люцерна желтая	2,50	0,35	2,15
Кострец безостый	1,56	0,29	1,86
Житняк гребневидный	1,53	0,29	1,82
Люцерна + кострец	1,82	0,37	1,98
Люцерна + житняк	2,16	0,44	2,09

Таблица Е.2 – Элементный состав зеленой массы одновидовых и гетерогенных посевов сельскохозяйственных культур многолетних трав в зависимости от дозы удобрения (среднее за два укоса), 2023 г.

Культура	Содержание в воздушно-сухом веществе, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
контроль			
Люцерна желтая	2,85	0,34	1,66
Кострец безостый	1,95	0,35	2,12
Житняк гребневидный	1,79	0,32	1,92
Люцерна + кострец	2,74	0,37	1,99
Люцерна + житняк	2,32	0,39	2,09
P ₆₀ K ₁₂₀			
Люцерна желтая	2,83	0,38	1,90
Кострец безостый	1,98	0,34	2,05
Житняк гребневидный	2,00	0,31	2,07
Люцерна + кострец	2,28	0,36	1,90
Люцерна + житняк	2,67	0,42	2,23
P ₆₀ K ₁₈₀			
Люцерна желтая	2,50	0,38	1,88
Кострец безостый	2,04	0,34	2,02
Житняк гребневидный	1,85	0,35	1,86
Люцерна + кострец	2,38	0,43	2,05
Люцерна + житняк	2,50	0,36	1,94

Таблица Е.3 – Элементный состав зеленой массы одновидовых и гетерогенных посевов сельскохозяйственных культур многолетних трав в зависимости от дозы удобрения, 2024 г.

Культура	Содержание в воздушно-сухом веществе, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
контроль			
Люцерна желтая	2,95	0,36	1,80
Кострец безостый	1,89	0,31	1,86
Житняк гребневидный	1,80	0,37	2,24
Люцерна + кострец	2,38	0,36	1,91
Люцерна + житняк	2,59	0,37	1,94
P ₆₀ K ₁₂₀			
Люцерна желтая	2,83	0,40	1,96
Кострец безостый	1,98	0,33	1,92
Житняк гребневидный	2,00	0,31	2,02
Люцерна + кострец	2,28	0,36	1,92
Люцерна + житняк	2,67	0,39	2,06
P ₆₀ K ₁₈₀			
Люцерна желтая	2,70	0,39	1,93
Кострец безостый	1,79	0,32	1,96
Житняк гребневидный	2,16	0,34	1,87
Люцерна + кострец	2,29	0,37	1,99
Люцерна + житняк	2,33	0,41	2,16

Приложение Ж. Экономическая эффективность производства зеленой массы многолетних трав одновидовых и гетерогенных посевов сельскохозяйственных культур в зависимости от доз фосфорно-калийного удобрения

Таблица Ж.1 – Экономическая эффективность производства зеленой массы многолетних трав одновидовых и гетерогенных посевов сельскохозяйственных культур в зависимости от доз фосфорно-калийного удобрения, 2022 г.

Показатель Культура	Сбор кормовых единиц, тыс. га			Совокупные затраты на возделывание, руб./га			Стоимость валовой продукции, руб./га			Условный доход, руб./га			Рентабельность, %			Себестоимость 100 кормовых единиц, руб.		
	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀
Люцерна желтая	3,05	3,47	3,82	3050	16000	17950	30456	34724	38198	27406	18724	20248	899	117	113	100,1	460,8	469,9
Кострец безостый	1,99	2,73	2,92	2870	15820	17770	19935	27324	29178	17065	11504	11408	595	73	64	144,0	579,0	609,0
Житняк гребневидный	2,23	2,91	3,29	2510	15460	17410	22326	29104	32874	19816	13644	15464	789	88	89	112,4	531,2	529,6
Люцерна + кострец	3,62	4,26	4,54	3230	16180	18130	36160	42648	45414	32930	26468	27284	1020	164	150	89,3	379,4	399,2
Люцерна + житняк	4,19	4,42	5,54	3057	16007	17947	41860	44167	55373	38803	28160	37427	1269	176	209	73,0	362,4	324,1

Таблица Ж.2 – Экономическая эффективность производства зеленой массы многолетних трав одновидовых и гетерогенных посевов сельскохозяйственных культур в зависимости от доз фосфорно-калийного удобрения, 2023 г.

Показатель Культура	Сбор кормовых единиц, тыс. га			Совокупные затраты на возделывание, руб./га			Стоимость валовой продукции, руб./га			Условный доход, руб./га			Рентабельность, %			Себестоимость 100 кормовых единиц, руб.		
	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀
Люцерна желтая	3,22	3,97	4,37	3750	18917	21625	32206	39698	43681	28456	20781	22056	759	110	102	116,4	476,5	495,1
Кострец безостый	2,24	2,96	3,37	3600	18767	21475	22438	29566	33700	18838	10799	12225	523	58	57	160,4	634,7	637,2
Житняк гребневидный	2,81	3,64	4,29	3300	18467	21175	28100	36432	42948	24800	17965	21773	752	97	103	117,4	506,9	493,0
Люцерна + кострец	4,00	4,28	4,66	3900	19067	21775	39996	42808	46570	36096	23741	24795	926	125	114	97,5	445,4	467,6
Люцерна + житняк	4,18	4,61	5,34	3756	18922	21622	41842	46052	53447	38086	27130	31825	1014	143	147	89,8	410,9	404,6

Таблица Ж.3 – Экономическая эффективность производства зеленой массы многолетних трав одновидовых и гетерогенных посевов сельскохозяйственных культур в зависимости от доз фосфорно-калийного удобрения, 2024 г.

Показатель Культура	Сбор кормовых единиц, тыс. га			Совокупные затраты на возделывание, руб./га			Стоимость валовой продукции, руб./га			Условный доход, руб./га			Рентабельность, %			Себестоимость 100 кормовых единиц, руб.		
	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀	контр.	P ₆₀ K ₁₂₀	P ₆₀ K ₁₈₀
Люцерна желтая	3,15	3,72	4,49	5000	20000	22679	31522	37182	44938	26522	17182	22259	530	86	98	158,6	537,9	504,7
Кострец безостый	1,93	2,57	3,08	4871	19871	22550	19309	25721	30849	14438	5849	8299	296	29	37	252,3	772,6	731,0
Житняк гребневидный	2,04	2,84	3,40	4614	19614	22293	20423	28360	34014	15809	8746	11721	343	45	53	225,9	691,6	655,4
Люцерна + кострец	4,15	4,66	4,96	5129	20129	22807	41463	46625	49558	36334	26497	26751	708	132	117	123,7	431,7	460,2
Люцерна + житняк	4,68	5,04	5,79	5005	20005	22676	46759	50396	57880	41755	30391	35204	834	152	155	107,0	397,0	391,8

Приложение И. Акты внедрения результатов научно-исследовательской работы
 Приложение И.1 – Акт внедрения результатов научно-исследовательской работы в
 СПК «Ударник»

Акт

Внедрение результатов научно-исследовательской работы:

Эффективность воздействия фосфорно-калийного удобрения на урожайность
 и качество многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах в
 отдаленный период после аварии на ЧАЭС

1. **Наименование внедряемого мероприятия:** внесение оптимальных доз минерального удобрения при возделывании многолетних трав на дерново-подзолистой почве в отдаленный период полураспада.
2. **Разработка внедрения при выполнении НИР:** «Эффективность воздействия фосфорно-калийного удобрения на урожайность и качество многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах в отдаленный период после аварии на ЧАЭС», выполненную временным творческим коллективом ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.
3. **Каким научным учреждением мероприятие предложено к внедрению:** ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Новозыбковская СХОС - филиал ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса».
4. **Наименование хозяйства (организации), его адрес:** СПК «Ударник». 243006, Брянская область, Новозыбковский район, с. Каташин, ул. Молодежная, д. 10
5. **Объём производственной проверки:** площадь посева многолетних трав — 30 га.
6. **Календарные сроки внедрения (начало-окончание):** 22 апреля 2025 г. – 22 августа 2025 г.
7. **Результаты внедрения научной разработки:** по рекомендованной системе удобрения $P_{60}K_{180}$ получена нормативно чистая зеленая масса в период первого и второго укосов соответственно 28,2 и 22,6 т/га.
8. **Ф.И.О. и должность работников, ответственных за внедрение научной разработки от ФГБОУ ВО Брянский ГАУ и предприятия:** аспирант Ситнов Олег Дмитриевич и СПК «Ударник» Кутузов Анатолий Александрович.

Председатель СПК «Ударник»

Аспирант ФГБОУ ВО Брянский ГАУ



А.А. Кутузов

О.Д. Ситнов

Акт составлен «8» сентября 2025 г.

Приложение И.2 – Акт внедрения результатов научно-исследовательской работы в СПК «Заречье»

Акт

Внедрение результатов научно-исследовательской работы:

Эффективность воздействия фосфорно-калийного удобрения на урожайность и качество многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах в отдаленный период после аварии на ЧАЭС

1. **Наименование внедряемого мероприятия:** внесение оптимальных доз минерального удобрения при возделывании многолетних трав на дерново-подзолистой почве в отдаленный период полураспада.
2. **Разработка внедрения при выполнении НИР:** «Эффективность воздействия фосфорно-калийного удобрения на урожайность и качество многолетних трав в одновидовых и гетерогенных посевах в отдаленный период после аварии на ЧАЭС», выполненную временным творческим коллективом ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.
3. **Каким научным учреждением мероприятие предложено к внедрению:** ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Новозыбковская СХОС - филиал ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса».
4. **Наименование хозяйства (организации), его адрес:** СПК «Заречье». 243012, Брянская область, Новозыбковский район, с. Старые Бобовичи, ул. Ленина, д. 44.
5. **Объём производственной проверки:** площадь посева многолетних трав — 30 га.
6. **Календарные сроки внедрения (начало-окончание):** 25 апреля 2025 г. – 25 августа 2025 г.
7. **Результаты внедрения научной разработки:** по рекомендованной системе удобрения $P_{60}K_{180}$ получена нормативно чистая зеленная масса в период первого и второго укосов соответственно 27,4 и 21,8 т/га.
8. **Ф.И.О. и должность работников, ответственных за внедрение научной разработки от ФГБОУ ВО Брянский ГАУ и предприятия:** аспирант Ситнов Олег Дмитриевич и СПК «Заречье» Ермаков Иван Михайлович.

Председатель СПК «Заречье»

И.М. Ермаков

Аспирант ФГБОУ ВО Брянский ГАУ

О.Д. Ситнов

Акт составлен «10» сентября 2025 г.