

На правах рукописи

Логаева Ольга Александровна

**ДИНАМИКА СВОЙСТВ ПОЧВЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ
ПРИМЕНЕНИИ СРЕДСТВ ХИМИЗАЦИИ В ЗВЕНЕ СЕВООБОРОТА (НА
ПРИМЕРЕ ЛИЗИМЕТРИЧЕСКОГО ОПЫТА)**

4.1.3 Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата
сельскохозяйственных наук

Саратов 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва»

Научный руководитель – **Смолин Николай Васильевич**
доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Официальные
оппоненты: **Куликова Алевтина Христофоровна**
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Ульяновский ГАУ» профессор
кафедры почвоведения, химии, биологии и
технологии переработки продукции
растениеводства

Ярошенко Татьяна Михайловна
кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБНУ
«ФАНЦ Юго-Востока», ведущий научный
сотрудник лаборатории плодородия почв

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится _____ 2026 г. в ____ часов на заседании диссертационного совета 35.2.035.05, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» по адресу: 410012, г. Саратов, пр-т им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3.

E-mail: dissovet01@vavilovsar.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Вавиловский университет и на сайте www.vavilovsar.ru

Автореферат разослан « ____ » _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Полетаев Илья Сергеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Сохранение и повышение плодородия почв является одной из приоритетных задач современного земледелия и основой продовольственной безопасности страны. По данным В.Г. Сычева и соавт. (2017, 2022, 2024, 2025), снижение применения минеральных удобрений в России после 1990-х годов привело к существенному нарушению воспроизводства почвенного плодородия. Если в 1980-е годы суммарный уровень внесения NPK достигал 200–210 кг д.в./га, то в последующие десятилетия средние дозы сократились более чем в четыре раза, составляя лишь 40–50 кг д.в./га, что не компенсирует вынос питательных элементов урожаем. Для поддержания баланса макроэлементов и стабилизации гумусового состояния необходимо вносить 60–80 кг д.в./га, однако фактическое внесение в большинстве регионов остаётся существенно ниже этих значений. Аналогичные выводы о дегумификации и подкислении почв сделаны в исследованиях Н.В. Смолина (1998), Т.Н. Деминой (2019), Б.М. Когута и соавт. (2021), И.В. Савоськиной (2021), А.В. Ивойлова (2022). Длительное применение минеральных удобрений усиливает процесс подкисления почв. На чернозёмах выщелоченных при внесении повышенных доз NPK установлено снижение pH и уменьшение буферной способности почв (Шеуджен А.Х. и др., 2013; Романенко А.А. и др., 2014).

Фитосанитарное состояние посевов остаётся фактором риска: по данным ФАО, ежегодные мировые потери урожая от болезней, вредителей и сорняков составляют до 40 %, а в России сорняки снижают урожайность зерновых на 20–25 % (Бочкарев Д.В., 2015). Установлено, что избыточные дозы азотных удобрений способствуют развитию мучнистой росы и тлей, тогда как фосфорно-калийное питание повышает устойчивость к ржавчинным грибам и ускоряет созревание (Дёмина Т.Н., 2020).

Устойчивое развитие агроэкосистем требует комплексной оценки последствий длительного применения минеральных удобрений и средств защиты растений на свойства почвы и продуктивность севооборота, что определяет актуальность настоящего исследования.

Степень её разработанности. Влияние минеральных удобрений на агрохимические свойства почв рассматривалось в многочисленных работах, в которых показано изменение содержания гумуса и элементов питания (Дёмин А.П., 2012; Савоськина И.В., 2018; Сычев В.Г., 2019; Дёмина Т.Н., 2020; Ивойлов А.В., 2022; Лукин С.В., 2023; Чеботарев Н.Т. и Броварова О.В., 2023; Васбиева М.Т. и др., 2024; Зинякова Н.Б. и др., 2024; Кузнецова Т.В., Удальцов С.Н., 2024; Налиухин А.Н. и др., 2024; Козлова Н.В. и Керимзаде В.В., 2025, Guasconi D. et al., 2025). Установлены процессы дегумификации при недостаточном возврате органического вещества (Лысенко Н.Н., 2014; Лебедев В.В., 2016; Chen Q. et al., 2024; Napoletano M. et al., 2025). Работы по кислотности чернозёмов выявили снижение буферности почв при длительном внесении азотных удобрений (Шеуджен А.Х., Абрамова Е.В., 2015, Минакова О.А. и др., 2023; Гальцова А.Д. и др., 2024; Zhang L. et al., 2024). Вопросы баланса питательных веществ отражены в трудах С.В. Лукина (2012, 2023), В.Г. Сычева и С.А. Шафрана (2017), А.Н. Налиухина и соавт. (2024), А.Л. Силаева и соавт. (2024).

Исследования фитосанитарного состояния посевов показывают роль уровня минерального питания в развитии болезней и засорённости (Санин С.С., 2005; Бочкарев Д.В., 2015). Отмечается, что повышенные дозы азота усиливают поражаемость мучнистой росой, а фосфор и калий снижают распространённость грибных заболеваний. Сбалансированное применение минеральных удобрений со средствами защиты растений

позволяет управлять формированием агробиоценозов и реализацией продукционного потенциала сельскохозяйственных культур (Захаренко В.А., 2023; Павлюшин В.А. и Постовалов А.А., 2023; Золотаева Р.И. и Максимов В.А., 2025; Ерёмин Д.И. и др., 2025). Оптимизация минерального питания повышает антагонистическую активность почвенной микробиоты против возбудителей корневых гнилей и фузариоза. Это снижает поражаемость растений корневыми и листовыми инфекциями. Комплексный подход, объединяющий рациональное питание и фитосанитарный контроль, обеспечивает рост урожайности и повышение экономической рентабельности производства.

Однако большинство подобных исследований носит фрагментарный характер. Недостаточно работ, где комплексно анализируется динамика гумуса, кислотности, подвижных форм NPK, урожайности, фитосанитарного состояния и экономической эффективности в условиях длительных стационарных (лизиметрических) опытов. Особенно мало сведений о совместном воздействии минеральных удобрений и средств защиты растений на свойства чернозема выщелоченного в условиях юга Нечерноземной зоны РФ.

Цели и задачи:

Цель работы – определить степень влияния длительного применения минеральных удобрений и пестицидов на показатели плодородия и урожайность культур в лизиметрическом стационаре.

Задачи исследования:

- оценить изменения содержания гумуса, кислотности и подвижных форм NPK при длительном внесении удобрений и пестицидов;
- определить урожайность викоовсяной травосмеси и озимой пшеницы и качество получаемой продукции в зависимости от комплексного применения удобрений и пестицидов;
- рассчитать баланс NPK в условиях лизиметрического опыта при длительном применении средств химизации;
- оценить влияние удобрений и средств защиты на фитосанитарное состояние посевов в условиях лизиметрического стационара;
- провести экономическую и биоэнергетическую оценку предложенного комплекса агротехнических приемов.

Научная новизна. Впервые в условиях длительного лизиметрического опыта на юге Нечерноземной зоны РФ дана комплексная оценка влияния различных доз минеральных удобрений и средств защиты растений на агрохимические и биологические свойства выщелоченного чернозёма и баланс NPK. Показана роль систематического внесения минеральных удобрений и средств защиты растений в формировании урожайности и качества зерна озимой пшеницы и зеленой массы однолетних трав.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в развитии представлений о закономерностях трансформации агрохимических и биологических свойств выщелоченного чернозёма при длительном применении средств химизации в лизиметрическом стационарном опыте. Практическая значимость работы состоит в обосновании оптимальных регламентов применения удобрений и комплекса средств защиты растений, направленных на повышение урожайности, сохранение плодородия и обеспечение экологической и экономической устойчивости агропроизводства. Установлено, что систематическое применение повышенных доз удобрений способствует приросту содержания гумуса в пахотном слое до +0,2 % в год, тогда как на неудобренном

контроле за 37 лет наблюдений зафиксировано его снижение на 22 %. Одновременно применение высокой дозы удобрений без СЗР привело к прогрессирующему подкислению почвы (снижение рН до 5,2) и ухудшению поглотительной способности – сумма поглощённых оснований уменьшилась до 21,4 ммоль(экв.)/100 г, а степень насыщенности основаниями снизилась до 70 %. В отличие от этого, умеренные дозы удобрений не только стабилизируют содержание легкогидролизуемого азота на оптимальном уровне 78,5–82,3 мг/кг и обеспечивают сбалансированный фосфатный и калийный режим, но и способствуют значительному росту урожайности: викоовсяной смеси – с 14,0 до 20,6 т/га, озимой пшеницы – с 2,74 до 4,18 т/га. На основании полученных данных оптимальной признана система применения удобрений в дозах $N_{60-90}P_{60-120}K_{40-80}$ в сочетании с СЗР, которая обеспечивает повышение продуктивности культур на 52–83 %, способствует сохранению гумусового состояния почвы и достигает рентабельности 93–108 %, что подтверждает эффективность интегрированного подхода к управлению плодородием в агроценозах.

Методология и методы исследования. Исследования проведены в условиях стационарного лизиметрического опыта, заложенного в 1987 г. В зернопропашном севообороте выполнена факторная схема с варьированием доз удобрений и применением средств защиты растений. Использовались полевые, лабораторные, аналитические методы, учёт урожая, расчёт баланса НРК, статистическая обработка данных.

Положения, выносимые на защиту:

- особенности изменения агрохимических и биологических свойств выщелоченного чернозёма при длительном применении средств химизации;
- характер влияния комплексного применения средств химизации на урожайность и качество однолетних трав и озимой пшеницы;
- показатели баланса основных макроэлементов при регулярном применении пестицидов и удобрений в лизиметрическом опыте;
- особенности фитосанитарного состояния посевов при многолетнем применении пестицидов и удобрений в лизиметрическом стационаре;
- экономическая и биоэнергетическая эффективность применения удобрений и средств защиты растений.

Степень достоверности и апробация результатов исследований:

Степень достоверности результатов исследований. Достоверность обеспечивается длительным характером проведения стационарного опыта, убедительной статистической обработкой многолетних данных, достаточными повторностями наблюдений и анализов, использованием стандартных методов и согласованностью результатов с литературными источниками.

Апробация результатов исследований. Основные результаты исследования были доложены на следующих научных конференциях: Международные научно-практические конференции, посвященные памяти профессора С.А. Лапшина «Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции» (Саранск, 2023–2025), Всероссийская с международным участием научная конференция «Огаревские чтения» (Саранск, 2024), XIX Международная научно-практическая конференция «Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы» (Пенза, 2024), XII Международная научно-практическая конференция «Защита растений от вредных организмов» (Краснодар, 2025), Научно-практические конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Мордовского университета им. Н.П. Огарёва (Саранск, 2022–2025).

Объем и структура работы. Диссертация выполнена на 127 страницах

компьютерного текста и содержит 7 глав, 25 таблиц, 3 рисунка, 44 приложения, включает 257 источников литературы, в том числе 42 иностранных авторов.

Личный вклад соискателя. Личный вклад соискателя заключался в разработке программы собственных исследований для этапа многолетнего опыта, заложенного и проводившегося ранее под руководством профессора Смолина Н.В. Соискателем лично выполнены полевые и лабораторные исследования в период 2021–2024 гг., проведена статистическая обработка как собственных, так и архивных данных многолетнего опыта, их обобщение и формулирование выводов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе представлен анализ сущности лизиметрического метода исследований в агрономии и обобщение отечественного и мирового опыта его применения, с целью изучения влияния длительного использования средств химизации на свойства почвы и урожайность полевых культур.

Во второй главе рассмотрены вопросы методики проведения исследований и почвенно-климатических условий территории проведения опытов.

Объект исследования: полевые культуры (однолетние травы и озимая пшеница), а также выщелоченный чернозем в полевой лизиметрической лаборатории; *предмет исследования:* отдельные агротехнические приемы (дозы внесения минеральных удобрений и комплексное применение средств защиты) выращивания однолетних трав и озимой пшеницы и степень влияния на их показатели качества.

Исследования проводились в рамках уникального многолетнего (1987–2024 гг.) лизиметрического эксперимента, направленного на изучение трансформации агрохимических свойств чернозёма выщелоченного под влиянием систематического применения средств химизации. Опыт заложен в лизиметрической лаборатории Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарёва, состоящей из железобетонных лизиметров глубиной 1 м и площадью 4 м² каждый, заполненных почвой послойно-насыпным методом с сохранением естественного сложения генетических горизонтов.

Схема опыта включала два фактора: систематическое внесение минеральных удобрений и применение средств защиты растений в зернопропашном севообороте, где фактор А – уровень минерального питания: 1) без удобрений (контроль), 2) умеренный (N₅₉P₆₄K₅₅*), 3) высокий (N₁₁₈P₁₂₈K₁₁₀*); фактор В – средства защиты растений: 1) вариант без средств защиты (далее – контроль), 2) комплекс химических средств защиты (далее – СЗР).

Каждый вариант выполнен в трехкратной повторности (всего 18 лизиметров). Для точного дозирования использовались простые минеральные удобрения. В исследованиях применялись: азофоска, аммиачная селитра, двойной суперфосфат, в дозах, рекомендованных многолетними данными научных учреждений и агрохимической службой Республики Мордовия, которые вносились вручную.

Применение средств защиты растений носило комплексный характер и включало, в зависимости от фитосанитарной обстановки, обработки гербицидами, фунгицидами, инсектицидами и ретардантами. Конкретные препараты, их дозы и годы применения представлены в таблице 1.

Основу методологии составил лизиметрический метод, позволивший с высокой точностью контролировать миграцию элементов с гравитационной водой. Он был дополнен комплексом лабораторных анализов. Почвенные образцы отбирали послойно (0–20, 21–40, 41–60, 61–80, 81–100 см) методом конверта.

*указана средняя многолетняя доза удобрений за 37 лет.

В воздушно-сухих образцах, подготовленных по стандартной методике, определяли: содержание гумуса (по Тюрину), рН солевой вытяжки и гидролитическую кислотность (Нг) (по Каппену в модификации ЦИНАО), сумму поглощенных оснований (S), легкогидролизуемый азот (N_{л.г.}) (по Корнфилду), подвижные формы фосфора (P₂O₅) (по Кирсанову) и калия (K₂O) (по Масловой) в соответствии с действующими ГОСТами. Урожайность озимой пшеницы оценивали методом пробных снопов с последующим определением структуры урожая и качества зерна (БИК-анализатор «Инфралюм ФТ-10»).

Таблица 1 – Схема пестицидных обработок в лизиметрическом опыте по годам

Год опыта	Культура	Препарат, доза				
		Гербицид	Инсектицид	Фунгицид	Ретардант	Регулятор роста
1992	Озимая пшеница	Диален Супер 0,6 л/га	Метафос 10 мл/10 л	Байлетон 0,5 кг/га + Тилт 0,5 л/га	–	–
1999	Озимая пшеница	Диален Супер 0,6 л/га	Метафос 10 мл/10 л	Тилт 0,5 л/га	Антивылегалч 1,8 л/га	–
2006	Озимая пшеница	Диален Супер 0,6 л/га	БИ-58 новый 1,0 л/га	Тилт 0,5 л/га	Антивылегалч 1,8 л/га	Альбит 30 г/га
2008	Однолетние травы	–	Децис Эксперт 0,075 л/га	–	–	–
2009	Озимая пшеница	Диален Супер 0,6 л/га	БИ-58 новый 1,0 л/га	Фалькон 0,6 л/га	Це-Це-Це 460 1,5 л/га	–
2016	Однолетние травы	–	Борей 0,08 л/га	–	–	–
2023	Однолетние травы	–	Борей Нео 0,15 л/га	Колосаль Про 0,4 л/га	–	Силк 0,05 л/га
2024	Озимая пшеница	Балерина 0,6 л/га + Мортира 0,15 л/га	Борей Нео 0,15 л/га	Балий 0,8 л/га + Ракурс 0,2 л/га	–	–

Продуктивность викоовсяной смеси учитывали по зеленой массе с определением показателей качества (сырая клетчатка, зола, протеин). В опыте высевались следующие сорта культур: вика яровая – Льговская 28, овес – Горизонт, озимая пшеница – «Мироновская 808» (1992 и 1999 г.) и «Московская 39» (2006, 2009, 2024 гг.).

Статистическая обработка данных проведена с использованием дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов. Для оценки вклада факторов и их взаимодействий в изменчивость урожайности применяли метод сопоставления дисперсий. Влияние агротехнических и погодных факторов на

урожайность озимой пшеницы моделировалось с помощью смешанных линейных моделей (пакет LME4 в R-studio). Для интегральной оценки эффективности изучаемых систем продуктивность севооборота пересчитывалась в зерновые единицы, а баланс элементов питания (N, P₂O₅, K₂O) рассчитывался на основе фактической урожайности с использованием унифицированных коэффициентов выноса.

Агрохимическая характеристика исходной почвы лизиметров представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Агрохимические показатели почвы

Глубина, см	Содержание гумуса, %	рН вытяжки	Гидролитическая кислотность	Сумма поглощенных оснований	Степень насыщенности основаниями, %	N _{л.г.} , мг/кг	Содержание подвижных форм, мг/кг почвы	
		KCl	ммоль(экв.)/100 г почвы				P ₂ O ₅	K ₂ O
0–20	6,4	6,2	5,8	32,8	84,9	86,2	155	120
21–40	4,4	6,0	5,3	27,4	83,5	62,1	128	120
41–60	2,8	5,8	4,5	25,2	84,7	41,3	104	125
61–80	1,5	5,5	3,6	23,0	86,3	24,7	66	140
81–100	1,0	5,7	3,0	20,3	86,9	15,8	30	145

Заложенный в основу эксперимента выщелоченный чернозем характеризуется как среднегумусный, среднемощный, со слабокислой реакцией среды, высокой степенью насыщенности основаниями и средней обеспеченностью подвижными формами фосфора и калия.

Агрометеорологические условия в годы исследований характеризовались высокой изменчивостью, типичной для умеренно континентального климата Мордовии с его неустойчивым увлажнением. Анализ погодных условий в годы исследований показал существенную амплитуду колебаний гидротермического коэффициента (ГТК) Селянинова – от 0,6 (засушливые условия) до 1,6 (условия избыточного увлажнения). Наибольшей изменчивостью отличалось количество летних осадков (коэффициент вариации 36 %), что создавало контрастные фоновые условия для оценки действия изучаемых агротехнических факторов.

Глава 3 Влияние длительного внесения средств химизации на динамику агрохимических свойств почвы

3.1 Изменение содержания гумуса в условиях длительного применения средств химизации

Наиболее чувствительным к агрогенному воздействию оказался активный корнеобитаемый слой (0–40 см). В варианте без удобрений зафиксировано снижение содержания гумуса на 19–22 %, что в пересчете соответствует ежегодной потере 0,38 т/га органического углерода.

Умеренные дозы удобрений стабилизировали гумусовое состояние почвы (± 2 %). Применение высоких доз удобрений в сочетании с СЗР привело к достоверному накоплению гумуса – до +8 % в слое 0–20 см. СЗР замедляли деградацию гумуса в контроле на 3 % и усиливали его накопление на фоне высокого фона питания на 5 %, главным образом за счет увеличения биомассы растений и

возврата органических остатков в почву. В подпахотных горизонтах (41–100 см) изменения были незначительными (не более $\pm 4\%$).

3.2 Динамика кислотности почвы в зависимости от длительного применения минеральных удобрений и средств защиты растений

Длительное применение физиологически кислых минеральных удобрений вызвало устойчивое подкисление пахотного слоя. Установлена четкая дозозависимая закономерность: чем выше доза удобрений, тем интенсивнее снижение рН КС1 (Рисунок 1) и рост гидролитической кислотности (Рисунок 2).



Рисунок 1 – Влияние средств химизации на величину обменной кислотности почвы и изменение ее во времени

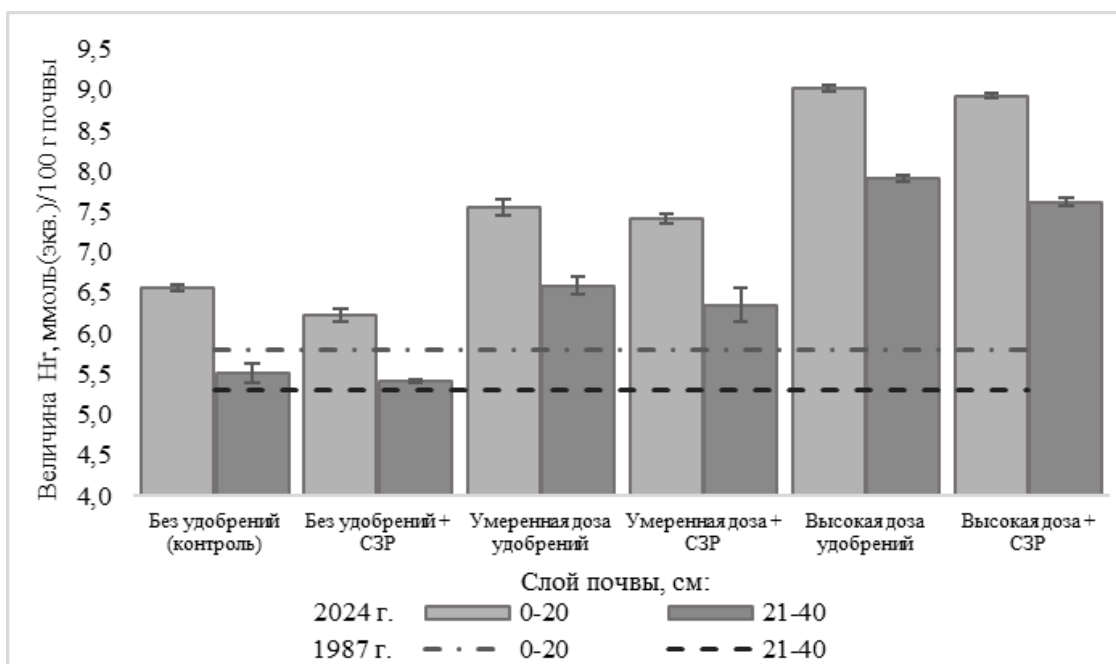


Рисунок 2 – Влияние средств химизации на величину гидролитической кислотности почвы и изменение ее во времени

В пахотном слое (0–20 см) снижение рН достигло единицы (на 16 % относительно исходного уровня), переводя из слабокислой реакции среды в кислую. Применение средств защиты растений оказывало смягчающий эффект, замедляя снижение рН на 10–15 %.

Установлена прямая линейная зависимость между дозой удобрений и увеличением Нг. В слое 0–20 см при высокой дозе удобрений повышение Нг составило 56 %.

Применение СЗР статистически значимо, хотя и в меньшей степени, снижало темпы роста Нг на 1–7 % по сравнению с аналогичными вариантами без защиты, что вероятно связано с подавлением нитрифицирующей активности микрофлоры.

3.3 Состояние ППК в зависимости от длительного применения средств химизации

Интенсивная химизация привела к деградации ППК, выразившейся в снижении суммы поглощенных оснований (Рисунок 3).

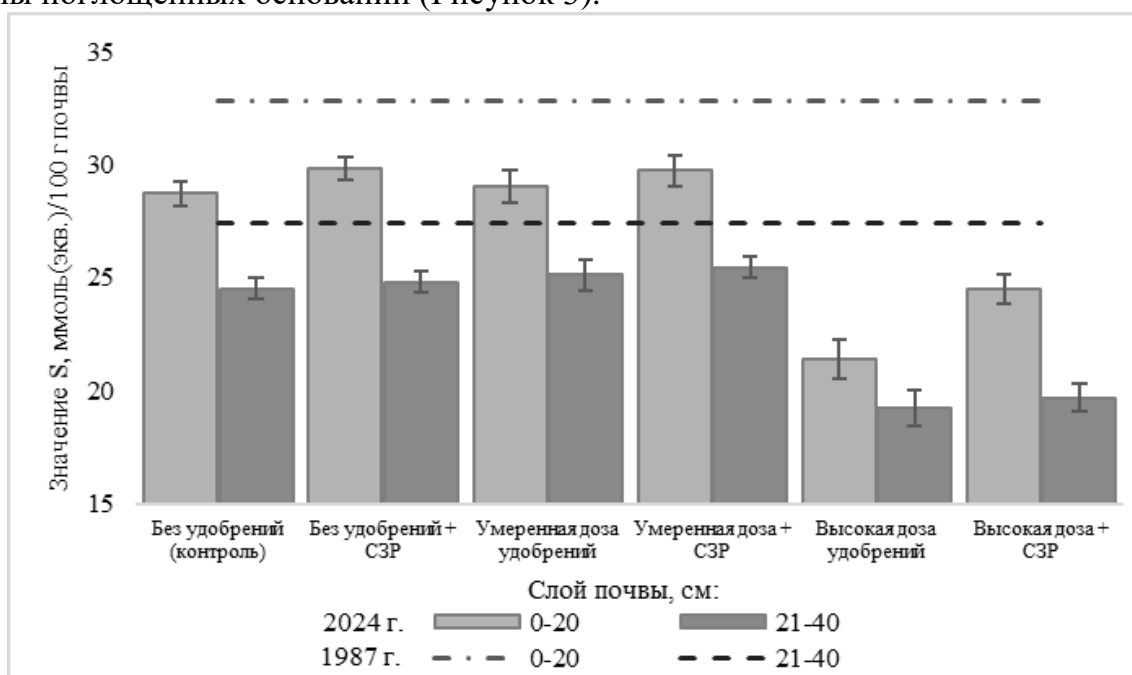


Рисунок 3 – Влияние средств химизации на величину суммы поглощенных оснований и изменение ее во времени

Наибольшие потери отмечены в пахотном слое (0–20 см), где высокая доза удобрений вызвала снижение S на 35 %. Умеренные дозы удобрений и контроль без удобрений показали меньшую, но статистически значимую отрицательную динамику (–9...–12 %). Применение СЗР оказывало стабилизирующее влияние, наиболее выраженное на фоне высоких доз удобрений: в варианте «Высокая доза + СЗР» потери S в слое 0–20 см были на 10 % меньше. В подпахотных горизонтах (61–100 см) снижение S было менее интенсивным.

Установлена четкая дозозависимая деградация степени насыщенности основаниями (V). В пахотном слое (0–20 см) на фоне высокой дозы удобрений значение V снизилось на 17 %, что приближается к критическому порогу (75 %) для черноземов. В вариантах с умеренной дозой и без удобрений снижение составило 6 % и 3–4 % соответственно.

Средства защиты растений продемонстрировали положительный, хотя и ограниченный, эффект, повышая значение V на 1,5–4 % в варианте с высокой дозой удобрений.

3.4 Содержание NPK в почве в зависимости от длительного применения минеральных удобрений и пестицидов

Наиболее значительные изменения отмечены в запасах легкогидролизуемого азота. В контрольных вариантах без удобрений его содержание в пахотном слое снизилось на 46–49 %. Несмотря на внесение высоких доз азотных удобрений, в этих вариантах также зафиксировано существенное снижение $N_{л.г.}$ (на 24–29 %), что объясняется интенсификацией минерализации лабильного органического вещества на фоне подкисления почвы. Стабилизировать азотный фонд (снижение лишь на 4–9 %) удалось только при внесении умеренной дозы удобрений в сочетании со средствами защиты растений.

В отличие от азота, систематическое внесение фосфорных удобрений обеспечило положительный баланс элемента в пахотном горизонте (Рисунок 4). На фоне высокой дозы наблюдалось увеличение содержания P_2O_5 на 32–40 % в слое 0–20 см. Умеренные дозы удобрений поддерживали фосфатный режим близким к исходному уровню.

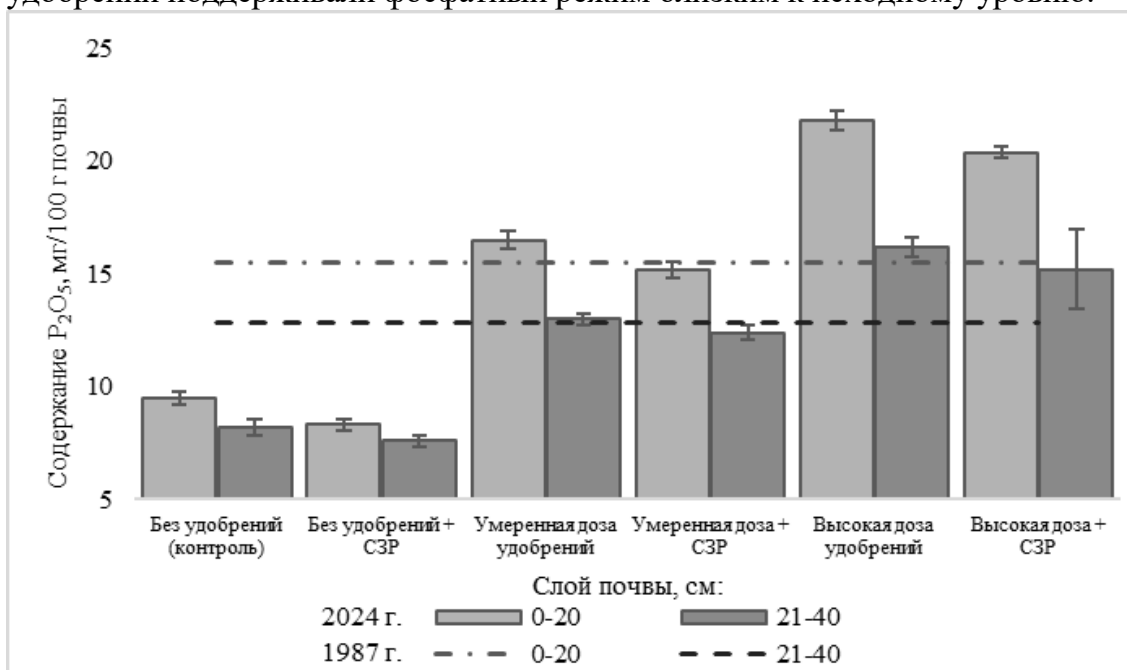


Рисунок 4 – Влияние средств химизации на содержание P_2O_5 и изменение его во времени

Средства защиты растений, способствуя росту урожайности и, соответственно, выносу фосфора, нивелировали накопительный эффект удобрений, снижая прирост содержания P_2O_5 на 8–9 % на высоком фоне. В нижележащих слоях (41–100 см) значимой динамики не отмечено, что подтверждает низкую миграционную способность фосфатов. Режим калийного питания также улучшился при внесении удобрений (Рисунок 5).

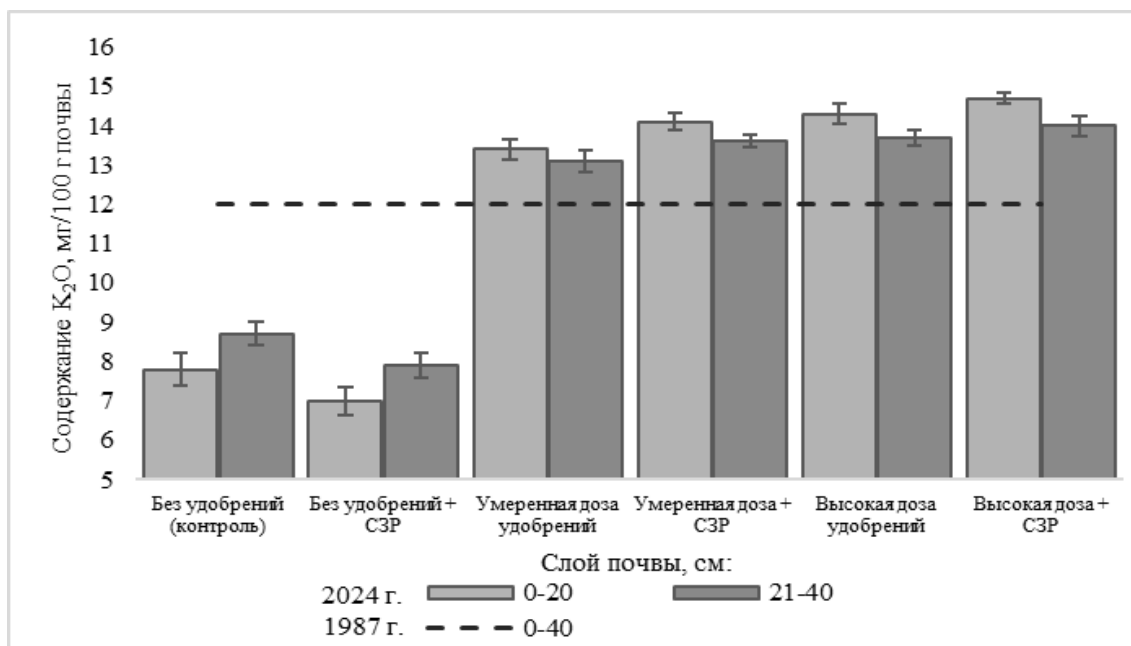


Рисунок 5 – Влияние средств химизации на содержание K_2O и изменение его во времени

Его содержание в слое 0–20 см возросло на 12–22 % на вариантах с умеренной и высокой дозами. СЗР способствовали более интенсивному использованию почвенного калия, усиливая его прирост на 4–5 % по сравнению с аналогичными вариантами без защиты. В неудобренном контроле, напротив, произошло истощение запасов K_2O на 35–42 %.

Многолетние наблюдения позволили установить, что устойчивое поддержание плодородия выщелоченного чернозема требует сбалансированной системы химизации. Установлено, что умеренные дозы минеральных удобрений в сочетании с СЗР обеспечивают оптимальный режим азотного питания и гумусообразования, предотвращая значительное подкисление и деградацию почвенного поглощающего комплекса. В то же время высокие дозы фосфорных и калийных удобрений эффективно компенсируют вынос и формируют положительный баланс этих элементов, тогда как высокие дозы азота без средств защиты приводят к потерям азотного потенциала почвы.

Глава 4 «Урожайность звена севооборота при длительном применении средств химизации»

4.1. Урожайность однолетних трав при длительном применении средств химизации

Применение удобрений оказало решающее воздействие на продуктивность викоовсяной смеси. В среднем за три года (2008, 2016, 2023 гг.) урожайность зеленой массы на неудобренном контроле составила 14,0 т/га. Умеренные дозы удобрений ($N_{45}P_{60}K_{60}$) обеспечили прибавку 34–38 %, а высокие ($N_{90}P_{120}K_{120}$) – 71–78 %. Средства защиты растений усиливали действие удобрений, давая дополнительную прибавку 5–10 %. Качество корма (содержание сырого протеина, клетчатки, золы) напрямую зависело от уровня минерального питания и положительно реагировало на применение СЗР, что наиболее ярко проявлялось в годы с оптимальным увлажнением.

4.2 Урожайность озимой пшеницы при длительном применении минеральных удобрений и средств защиты растений

Продуктивность озимой пшеницы в большей степени зависела от погодных условий, однако средства химизации существенно снижали их негативное влияние. В среднем за пять лет урожайность на контроле составила 2,74 т/га (Рисунок 6).

Применение СЗР на неудобренном фоне повышало её на 15 %. Умеренные ($N_{60}P_{60}K_{40}$) и высокие ($N_{120}P_{120}K_{80}$) дозы удобрений увеличивали урожайность на 25 % и 54 % соответственно, а в сочетании с СЗР – на 52 % и 78 %.

Наибольший вклад в варьирование урожая вносили погодные условия вегетационного периода и уровень минерального питания. Урожайность сильно коррелировала с общим количеством осадков за год ($r = 0,89$) и умеренно – с осадками летнего периода ($r = 0,53$).

Влияние средств защиты растений было статистически значимым, но менее выраженным. Построенная смешанная линейная модель подтвердила значимое положительное влияние как метеорологических переменных (осадков и суммы эффективных температур), так и агротехнических факторов (удобрений и СЗР) на урожайность.

Таким образом, определяющее влияние на урожайность озимой пшеницы оказывали агроклиматические условия вегетационного периода и применение минеральных удобрений, вклад средств защиты растений был статистически значимым, но существенно ниже.

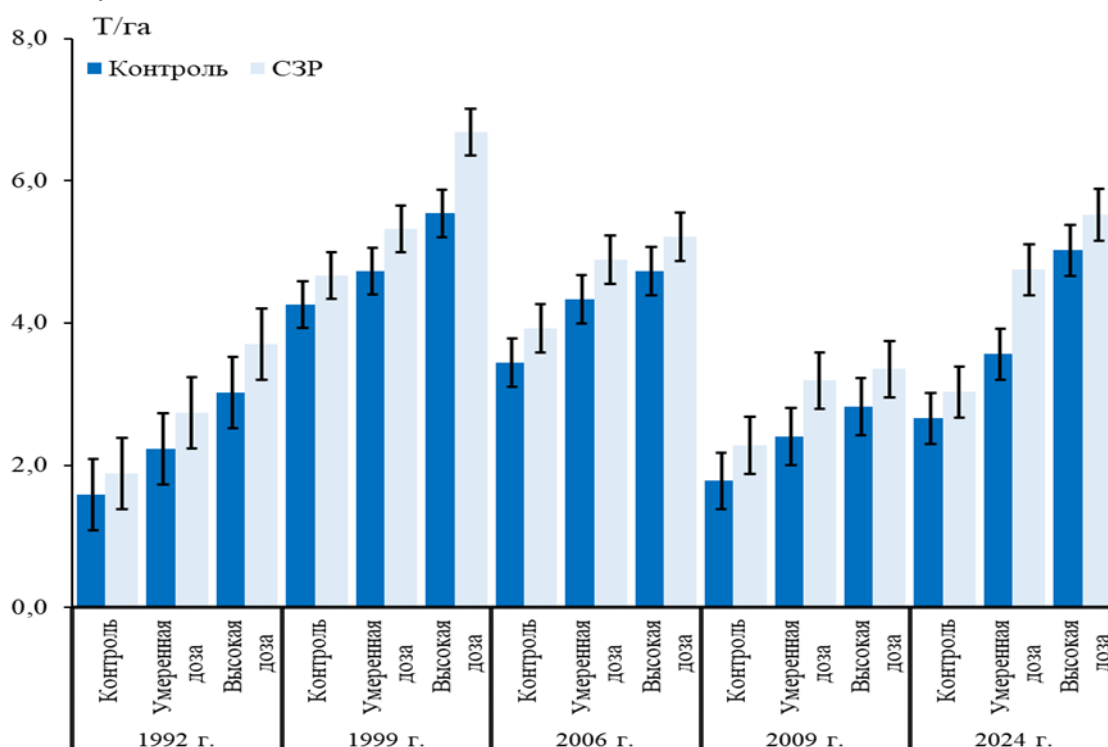


Рисунок 6 – Влияние длительного применения минеральных удобрений и средств защиты на урожайность озимой пшеницы
 $НСРч.р. 1992 г. = 0,50 т/га; НСРч.р. 1999 г. = 0,33 т/га; НСРч.р. 2006 г. = 0,34 т/га; НСРч.р. 2009 г. = 0,40 т/га; НСРч.р. 2024 г. = 0,36 т/га$

4.3 Совокупная продуктивность звена севооборота

Для интегральной оценки эффективности вся продукция была пересчитана в зерновые единицы (з.е.). Как видно из таблицы 3, общая продуктивность звена севооборота закономерно росла с усилением уровня химизации. Наивысший показатель (8,47 т з.е./га) был получен при сочетании высокой дозы удобрений и СЗР, что на 80 % превышает результат неудобренного контроля. Умеренно-интенсивная система (умеренные дозы удобрений + СЗР) обеспечила прирост продуктивности на 50 %.

Таблица 3 – Влияние средств химизации на среднегодовую продуктивность звена севооборота

Вариант		Урожайность однолетних трав в среднем за 3 года, т з.е./га	Урожайность озимой пшеницы в среднем за 5 лет, т/га	Общая продуктивность севооборота, т з.е./га
Доза удобрений (фактор А)	Средства защиты (фактор В)			
Без удобрений (контроль)	Контроль	1,96	2,74	4,70
	СЗР	2,07	3,16	5,23
Умеренная доза	Контроль	2,63	3,45	6,08
	СЗР	2,88	4,18	7,06
Высокая доза	Контроль	3,37	4,23	7,60
	СЗР	3,58	4,89	8,47

Для обеспечения устойчивого земледелия и экономической целесообразности, рекомендуемой является умеренно-интенсивная система применения средств химизации.

Глава 5 «Комплексная оценка баланса питательных веществ в условиях длительного лизиметрического опыта»

Увеличение доз минеральных удобрений и применение средств защиты растений закономерно усиливают вынос элементов урожаем (Таблица 4).

Таблица 4 – Расчет баланса N, P₂O₅ и K₂O в черноземе выщелоченном при возделывании озимой пшеницы (в среднем за 5 лет)

Вариант	Баланс, ± кг д.в./га			Интенсивность баланса, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
N ₀ P ₀ K ₀	-82,4	-27,5	-68,7	0	0	0
N ₀ P ₀ K ₀ + СЗР	-94,7	-31,6	-78,9	0	0	0
N ₆₀ P ₆₀ K ₄₀	-43,5	+25,5	-46,3	58	174	46
N ₆₀ P ₆₀ K ₄₀ + СЗР	-65,3	+18,2	-64,5	48	144	38
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₈₀	-6,8	+77,7	-25,7	95	284	76
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₈₀ + СЗР	-26,8	+71,1	-42,3	82	245	65

Ключевым результатом является выявление устойчивого дефицита фосфора даже при внесении дозы P₁₂₀. Наиболее остро этот дефицит проявляется на вариантах с применением средств защиты растений, где за счёт более высокой продуктивности

вынос фосфора возрастает, а среднегодовой отрицательный баланс достигает $-71... -78$ кг/га. Схема $N_{120}P_{120}K_{80}$ в течение всего периода исследований в целом обеспечивала положительный баланс фосфора (за счёт его низкого выноса относительно внесения), однако по азоту и калию баланс был отрицательным, что указывает на необходимость корректировки доз. В связи с этим обоснована необходимость увеличения доз фосфорных удобрений до $P_{130-150}$ и перехода на формы с повышенной растворимостью фосфора для предотвращения истощения почвенных запасов. Для калия и азота рекомендована оптимизированная схема применения, включающая дробное внесение и листовые подкормки в критические фазы развития, что обеспечит баланс между продуктивностью и экологической устойчивостью агроэкосистем.

Глава 6 «Влияние длительного применения средств химизации на фитосанитарное состояние посевов озимой пшеницы»

Удобрения усиливают конкурентную способность культуры, снижая численность малолетних сорняков, но слабее влияют на количество многолетних. Гербициды подавляют оба типа сорняков с эффективностью 75–100 %. Комплекс высоких доз удобрений и ХСЗР обеспечивает минимальную засоренность (0–3 шт./м²) и максимальную защиту (91–100 %).

Внесение удобрений статистически незначимо влияет на численность вредителей (гессенская и шведская мухи, хлебная блошка, пьявица, клоп вредная черепашка), тогда как инсектициды эффективны на 75–100 %, нивелируя различия между фонами питания.

Высокие дозы удобрений, особенно азотных, усиливают листостебельные болезни (бурая ржавчина, септориоз, мучнистая роса), но снижают поражённость корневыми гнилями. Фунгициды уменьшают распространённость болезней на всех фонах, однако их эффективность имеет тенденцию к снижению с ростом доз удобрений.

Обоснована высокая эффективность интегрированного подхода, сочетающего оптимизированное минеральное питание и химическую защиту для устойчивого фитосанитарного состояния посевов.

Глава 7 «Экономическая эффективность применения минеральных удобрений и пестицидов»

Для викоовсяной смеси максимальный доход (27,9 тыс. руб./га) при рентабельности 93 % обеспечила умеренная доза $N_{45}P_{60}K_{60} + СЗР$. Высокие дозы ($N_{90}P_{120}K_{120}$) повышали урожайность, но снижали рентабельность до 52–56 % из-за роста затрат.

Для озимой пшеницы наибольший доход (31,9 тыс. руб./га) и рентабельность 108 % получены при $N_{60}P_{60}K_{40} + СЗР$. Интенсификация до $N_{120}P_{120}K_{80}$ снижала рентабельность до 69–74 %.

Основным критерием экономической целесообразности признана максимизация чистого дохода с гектара, а не только высокая рентабельность при минимальных затратах (на контроле рентабельность достигала 144 % для викоовсяной смеси и 121 % для пшеницы, но абсолютный доход был ниже). При включении в затраты стоимости воспроизводства утраченного плодородия рентабельность контроля снижается до 67 %, тогда как в варианте $N_{60}P_{60}K_{40} + СЗР$

сохраняется на уровне 104 %, что подтверждает его экономическую и экологическую состоятельность.

Проведённая биоэнергетическая оценка подтвердила выводы экономического анализа: вариант с умеренной дозой удобрений и СЗР характеризовался максимальным коэффициентом энергетической эффективности (9,7 для озимой пшеницы и 3,2 для викоовсяной смеси) при минимальных потерях почвенного плодородия, тогда как высокая рентабельность контроля достигалась ценой его истощения (потери энергии 6,2–7,8 тыс. МДж/га).

Общим выводом является обоснование ресурсосберегающей стратегии, основанной на применении умеренных, научно обоснованных доз минеральных удобрений в комплексе со средствами защиты растений, что обеспечивает оптимальный баланс между продуктивностью, экономической отдачей и устойчивостью агропроизводства. Интенсивные технологии с повышенными дозами удобрений экономически менее эффективны из-за непропорционального роста издержек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многолетние исследования выявили разнонаправленное влияние средств химизации на плодородие выщелоченного чернозема. Агротехнология без применения удобрений привела к деградации почвы: снижению содержания гумуса на 22 %, подкислению (рН до 5,2) и значительному уменьшению запасов легкогидролизуемого азота (на 46–49 %), подвижного фосфора (на 39–46 %) и обменного калия (на 35–42 %). Использование высоких доз минеральных удобрений, несмотря на рост содержания подвижного фосфора (до +40 %) и калия (до +22 %), усугубляло подкисление и потери гумуса. Только сбалансированная система с умеренными дозами минеральных удобрений в комплексе со средствами защиты растений способствовала стабилизации гумусового баланса, поддержанию уровня азота и увеличению содержания доступных форм фосфора (до +6 %) и калия (до +18 %).

Комплексное применение средств химизации обеспечило значительный рост продуктивности и улучшение качества урожая. Для викоовсяной смеси умеренные дозы удобрений ($N_{45}P_{60}K_{60}$) повышали урожайность зеленой массы на 34–38 %, а высокие ($N_{90}P_{120}K_{120}$) – на 71–78 % относительно контроля (14,0 т/га); применение СЗР давало дополнительную прибавку в 5–10 %. Содержание сырого протеина при этом возрастало с 18,5 % до 22,3 %. Урожайность озимой пшеницы на контроле (2,74 т/га) повышалась на 25 % при внесении $N_{60}P_{60}K_{40}$ и на 54 % – при внесении $N_{120}P_{120}K_{80}$. Использование СЗР дополнительно увеличивало сбор зерна на 15 % на неудобренном фоне и до 78 % в комбинации с высокой дозой удобрений, а содержание сырого протеина в зерне возрастало с 11,9 % до 14,2 %.

Анализ баланса питательных веществ за период 1992–2024 гг. выявил систематический дефицит фосфора (в среднем –77,7 кг/га) при внесении под озимую пшеницу повышенных доз удобрений ($N_{120}P_{120}K_{80}$), а баланс азота и калия оставался неустойчивым и в отдельные годы отрицательным. Применение средств защиты растений в сочетании с удобрениями усиливало вынос элементов высокопродуктивными посевами: на варианте с высокой дозой удобрений и СЗР баланс азота и калия становился устойчиво положительным, однако дефицит фосфора усугублялся (до –64,8 кг/га в 2024 г.). Для устойчивого воспроизводства плодородия

необходимо систематическое внесение с обязательным увеличением фосфорной компоненты до $P_{130-150}$.

Длительное применение средств химизации существенно улучшило фитосанитарное состояние посевов озимой пшеницы. На неудобренном контроле численность малолетних сорняков оставалась высокой (32 шт./м²), тогда как при внесении высоких доз удобрений она снижалась до 11 шт./м², а в сочетании с гербицидами – до 3 шт./м² (биологическая эффективность 91–93 %). Применение фунгицидов снижало развитие листостебельных болезней на 70–80 %. Установлено, что увеличение доз азотных удобрений свыше N_{90} усиливало развитие мучнистой росы на 15–20 %, в то время как фосфорно-калийные удобрения повышали устойчивость растений к болезням.

Наиболее высокая экономическая эффективность достигается при оптимизации доз минеральных удобрений в сочетании со средствами защиты растений. Для викоовсяной смеси максимальный условный чистый доход (27,9 тыс. руб./га) и рентабельность (93 %) получены на варианте с умеренной дозой удобрений и СЗР; применение высокой дозы снижало рентабельность до 52–56 %. Для озимой пшеницы наиболее выгодным оказался вариант с дозой $N_{60}P_{60}K_{40}$ и СЗР, обеспечивший 31,9 тыс. руб./га дохода при рентабельности 108 %, тогда как при высокой дозе ($N_{120}P_{120}K_{80}$) рентабельность падала до 69–74 %. Биоэнергетическая оценка подтвердила эти выводы: вариант с умеренной дозой удобрений и СЗР характеризовался максимальным коэффициентом энергетической эффективности (9,73 для пшеницы) при минимальных потерях почвенного плодородия. Таким образом, оптимизированная система химизации обеспечивает рост стоимости продукции более чем в 1,5–2 раза по сравнению с контролем без непропорционального роста затрат.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. В условиях лесостепи юга Нечерноземной зоны РФ для предотвращения деградации почвенного плодородия и поддержания оптимального агрохимического состояния выщелоченных черноземов необходимо проводить системный мониторинг агрохимических показателей плодородия и применять сбалансированные дозы минеральных удобрений в диапазоне $N_{60-90}P_{60-120}K_{40-80}$.

2. Для получения урожайности озимой пшеницы 4–5 т/га с содержанием сырого протеина в зерне 13 % рекомендуется внесение азофоски в дозировке 3,5–3,7 ц/га на фоне применения средств защиты растений: гербицид Балерина 0,6 л/га + Мортира 0,15 л/га; инсектицид Борея Нео 0,15 л/га; фунгицид Балий 0,8 л/га + Ракурс 0,2 л/га.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Полученные результаты и выявленные закономерности определяют перспективы дальнейшей научной разработки темы, в первую очередь в сфере изучения биохимических и микробиологических аспектов. В частности, требуется исследование механизмов, обеспечивающих на 15–20 % накопление гумуса при применении средств защиты растений, а также микробиологических основ снижения на 70–80 % развития листостебельных инфекций. В рамках продолжения лизиметрического опыта необходим мониторинг миграции элементов питания с

установлением количественных параметров выноса макро- и микроэлементов. На основе накопленного массива данных актуальной задачей является разработка цифровых моделей для прогнозирования динамики плодородия и урожайности, что послужит основой для алгоритмов ведения точного земледелия в регионе.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в перечне изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Особенности формирования урожайности вико-овсяной смеси в зависимости от погодных условий и средств химизации / **О.А. Логаева**, Н.В. Смолин, Н.В. Потапова [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 11. – С. 35–41 (0,44 п.л.; авт. – 0,15).

2. Показатели структуры урожая озимой пшеницы в зависимости от применения средств химизации / **О.А. Логаева**, Н.В. Смолин, Н.В. Потапова, Д.Р. Абдюшева // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. – 2025. – Т. 4, № 1(13). – С. 36–41 (0,38 п.л.; авт. – 0,1).

3. Влияние длительного применения средств химизации на динамику органического вещества и кислотности почвы / **О.А. Логаева**, Н.В. Потапова, Н.В. Смолин, М.С. Баймаковский // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2026. – № 2(256). – С. 25–31 (0,44 п.л.; авт. – 0,15).

Статьи в журналах, тематических сборниках и материалах конференций:

4. Влияние длительного применения средств химизации на урожайность однолетних трав (лизиметрический опыт) / Н.В. Смолин, Н.В. Потапова, **О.А. Сухарева** [и др.] // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции : материалы XIX межд. науч.-практ. конф., посв. пам. С.А. Лапшина, д-ра с.-х. н. проф., заслуж. деятеля науки РФ и РМ, Саранск, 15–16 ноября 2023 года. – Саранск : Мордовский госуниверситет им. Н.П. Огарёва, 2024. – С. 172–177 (0,38 п.л.; авт. – 0,1).

5. Влияние минеральных удобрений и средств защиты на кормовые качества однолетних трав / **О.А. Логаева**, Н.В. Потапова, Н.В. Смолин, Д.Т. Блинов // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы : Сборник статей XIX Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 08–09 ноября 2024 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 225–228 (0,25 п.л.; авт. – 0,1).

6. Качество вико-овсяной смеси в зависимости от применения средств химизации / **О.А. Сухарева**, Н.В. Смолин, Н.В. Потапова, Д.Т. Блинов // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции : материалы XIX межд. науч.-практ. конф., посв. памяти С.А. Лапшина, д-ра с.-х. н. проф., заслуженного деятеля науки РФ и РМ, Саранск, 04–05 июня 2024 года. – Саранск : Мордовский госуниверситет им. Н.П. Огарёва, 2024. – С. 192–197 (0,38 п.л.; авт. – 0,1).

7. Средства химизации как фактор влияния на качество зерна озимой пшеницы / Н.В. Смолин, Н.В. Потапова, **О.А. Логаева**, Д.Р. Абдюшева // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции : Материалы XXI межд. науч.-практ. конф., посв. памяти С.А. Лапшина, д-ра с.-х. н., проф., заслуженного деятеля науки РФ и РМ , Саранск, 04–05 июня 2025 года. – Саранск: Мордовский госуниверситет им. Н.П. Огарёва, 2025. – С. 307–311 (0,31 п.л.; авт. – 0,1).

8. Продуктивная кустистость озимой пшеницы в зависимости от уровня минерального питания / **О.А. Логаева**, Н.В. Потапова, Е.Е. Маркачев, Д.Р. Абдюшева // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК : Материалы VII Международной студенческой научной конференции, Майский, 25–27 февраля 2025 года. – Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2025. – С. 88–89 (0,12 п.л.; авт. – 0,08).

9. Логаева О.А. Динамика засоренности посевов озимой пшеницы в зависимости от внесения средств химизации / О.А. Логаева // Защита растений от вредных организмов : Сборник статей по материалам XII Международной научно-практической конференции, Краснодар, 16–20 июня 2025 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2025. – С. 231–233 (0,19 п.л.; авт. – 0,19).