

На правах рукописи

Панова Полина Юрьевна

**ОПТИМИЗАЦИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ
В СОЧЕТАНИИ С ИНСЕКТИЦИДНОЙ ЗАЩИТОЙ
ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОВСА В УСЛОВИЯХ
НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РФ**

Специальность 4.1.3 Агрохимия, агропочвоведение,
защита и карантин растений

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Москва 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

Научный руководитель: **Гаспарян Ирина Николаевна**
доктор сельскохозяйственных наук, доцент

Официальные оппоненты: **Виноградов Дмитрий Валериевич**
доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», кафедра агрономии и защиты растений, заведующий кафедрой

Калабашкина Елена Владимировна
кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка», лаборатория сортовых технологий яровых зерновых культур и системы защиты растений, заведующая лабораторией

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» имени Патриса Лумумбы»

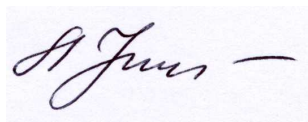
Защита диссертации состоится «14» мая 2026 г. в 14.00 час. на заседании диссертационного совета 24.1.006.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д.31 а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке при ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова» и на сайте:
https://www.vniia-pr.ru/upload/iblock/46b/12w3mbghocgw3iuav1be7dftpqk5yebs/panova_diss_05_02_2026.pdf

Автореферат разослан «__» _____ 20__ г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31 а, учёному секретарю диссертационного совета, e-mail: dissovet_vniia@mail.ru

**Ученый секретарь
диссертационного совета**



Никитина Любовь Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. В настоящее время, на фоне изменений в экономической и политической ситуации в мире, вопрос продовольственной безопасности России стал особенно актуальным. Будучи значимой частью социально-экономической политики и необходимым условием реализации стратегических национальных приоритетов, она одновременно является одним из ключевых аспектов обеспечения национальной безопасности страны в долгосрочной перспективе и важным фактором сохранения её государственности и суверенитета, а увеличение экспортируемой продукции растениеводства – важная задача АПК Российской Федерации. (Сидорова Н.П., 2021).

В условиях Нечерноземной зоны России, отличающейся благоприятными природными и экономическими условиями для возделывания сельскохозяйственных культур, важное место отводится зерновым культурам, среди которых в последние годы в агрономической практике возросла роль овса – культуры малотребовательной к теплу и плодородию почвы, способной расти на супесчаных, глинистых и торфяных почвах (Стрижова Ф.М. и др., 2008). Он слабо поражается корневыми гнилями, что делает его важным компонентом полевых и пропашных севооборотов, а овсяное зерно служит ценным сырьем для производства продуктов для детского, диетического и лечебного питания (Фомин В.Н., 1999).

По данным экспертно-аналитического центра агробизнеса (<https://ab-centre.ru>), в 2023 г. Россия стала вторым по величине производителем овса в мире, а в 2024 г. этот показатель увеличился более чем в три раза. Это требует не только повышения объемов производства, но и улучшения качества сельскохозяйственной продукции, внедрения современных технологий и методов агрономии. Кроме того, необходимо уделять внимание вопросам экологии и устойчивого земледелия, чтобы гарантировать безопасность и качество продукции для международных рынков (Левашов И., 2024).

Для устойчивого получения урожая высоко качества и сокращения его потерь от вредителей, необходима оптимизация совместного применения минеральных удобрений и средств защиты растений. В данной работе приведены результаты исследований по совместному применению сульфата магния и диметоата на посевах овса ярового в Смоленской области.

Цели исследования – разработать оптимальные регламенты совместного применения сульфата магния и фосфорорганических инсектицидов (на примере диметоата) на овсе в условиях Нечерноземной зоны РФ.

Задачи исследования:

1. Изучение биологических особенностей овса и особенностей его минерального питания на дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны РФ;
2. Изучение видового состава вредителей овса;
3. Проведение в условиях Смоленской области полевых испытаний по совместному применению сульфата магния и инсектицида на основе диметоата на посевах овса ярового для оценки:
 - специфики роста и развития культуры;
 - урожайности и формирования качественных показателей зерна;

- особенностей динамики разложения диметоата при совместном применении с сульфатом магния;
 - оптимальных регламентов их совместного применения;
4. Расчет экономической эффективности совместного применения удобрений и инсектицидов.

Научная новизна исследования. Впервые научно обоснована и экспериментально подтверждена эффективность совместного применения $MgSO_4$ (листовые подкормки 15–30 кг д.в/га) с диметоатом на овсе голозёрном (сорт Немчиновский 61) на дерново-подзолистых почвах Нечерноземья. Получены статистически значимые прибавки урожайности 8,5...9,5 ц/га к контролю и 4,2...5,2 ц/га к фону NPK; установлена дозозависимость эффекта $MgSO_4$ и его синергия с инсектицидной защитой.

Выявлен физиолого-биохимический механизм отклика на некорневое внесение $MgSO_4$, проявляющийся в увеличении площади листовой поверхности (до 4,5–4,6 млн m^2 /га в цветение), суммарного хлорофилла (до +35–50 % к контролю), стабилизации онтогенеза (адаптивное укорачивание или продление репродуктивных фаз в зависимости от ГТК), что обеспечивает сохранность ассимиляционного аппарата в стрессовых для овса условиях.

Доказано улучшение белковой и аминокислотной полноценности зерна: рост массовой доли белка (до 13,4–13,9 %), увеличение суммы незаменимых аминокислот и значимое повышение уровней лизина и метионина (лимитирующих для злаков), что прямо повышает биологическую ценность зерна для детского и диетического питания.

Изучена динамика разрушения диметоата и образование его метаболита ометоата в зелёной массе, зерне и соломе овса при совместном применении с $MgSO_4$.

Практическая значимость работы состоит в разработке энергосберегающей технологии повышения продуктивности овса на основе комбинированной смеси сульфата магния и инсектицида. Предлагаемая технология агрономически эффективна, экологически безопасна и экономически целесообразна, так как за один проход обрабатывается посев против вредителей и производится листовая подкормка растений сульфатом магния, что снижает производственные затраты и стрессовую нагрузку на посев, повышая урожайность, качество и пищевую ценность зерна.

Полученные результаты исследования могут быть внедрены непосредственно в сельскохозяйственное производство при составлении технологических карт и регламентов применения средств защиты растений при возделывании овса на дерново-подзолистых почвах: оптимальная доза сульфата магния для листовой подкормки – 15 кг д.в/га в смеси с диметоатом (1,5 л/га), применяемая в конце фазы кущения; доза 30 кг д.в/га целесообразна точно – на полях с подтверждённым дефицитом Mg/S или при высоком потенциале урожая. Для производственного внедрения рекомендуются полноценный фон NPK (в опытах его снижали сознательно для выявления эффекта Mg), агрохимическое обследование на Mg и подвижную S, контроль численности вредителей относительно ЭПВ, а также технологические требования к баковой смеси

(подготовка воды, подкисление до pH 5,5–6,0, последовательность смешивания, проба на совместимость).

С точки зрения безопасности продукции и экологии, предложенный приём позволяет удерживать остаточные количества действующих веществ в пределах нормативов к уборке урожая, уменьшает суммарную пестицидную нагрузку за счёт сокращения количества обработок и повышает «экологическую устойчивость» ценоза за счёт лучшей сохранности листового аппарата и более ровного налива зерна.

Следовательно, материалы исследования помогут сельскохозяйственным товаропроизводителям снизить потери от вредителей, улучшить питание растений и повысить эффективность производства за счет повышения урожайности и качества зерна овса, предназначенного для детского и диетического питания.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Выявлено, что в агроценозе овса голозерного в условиях дерново-подзолистых почв Нечернозёмной зоны РФ доминирующим вредителем является красногрудая злаковая пядица (*Oulema melanopus* L.), при этом листовые подкормки сульфатом магния технологически совместимы с инсектицидной защитой на основе диметоата и не оказывают антагонистического влияния на результативность защитных мероприятий.

2. Инсектицид на основе диметоата (400 г/л), применяемый в норме расхода 1,5 л/га в фазу кущения овса, обеспечивает устойчиво высокую биологическую эффективность – более 90 % – против красногрудой злаковой пядицы во все годы исследований, в том числе при применении в смеси с сульфатом магния, который, в свою очередь, улучшает физиологическое состояние растений овса, увеличивая площадь листового аппарата и содержание хлорофилла в листьях.

3. Установлено, что совместное применение сульфата магния и инсектицида на основе диметоата способствует реализации продуктивного потенциала овса сорта Немчиновский 61, что подтверждается увеличением урожайности до 22,8–23,8 ц/га и статистически значимой прибавкой 8,5–9,5 ц/га по сравнению с контролем и 4,2–5,2 ц/га по сравнению с фоном NPK.

4. Выявлено, что совместное применение магниевого удобрения и инсектицида сопровождается повышением качества зерна овса голозерного (содержание белка до 13–14 %) и не приводит к накоплению остаточных количеств диметоата и его метаболита ометоата: через 30 суток после обработки и к моменту уборки урожая они не обнаруживаются в зерне и соломе.

5. Доказано, что интеграция листовой подкормки сульфатом магния ($MgSO_4$, 15 кг д.в./га) с инсектицидной обработкой диметоатом в виде баковой смеси является технологически и экономически целесообразным приёмом в производстве овса. Данная оптимальная схема обеспечивает повышение чистой прибыли на 20–28 % (до 23 416–23 505 руб./га), рост рентабельности до 80–90 % (в среднем 88 %) и снижение себестоимости зерна до 1 173 руб./ц по сравнению с фоновым вариантом, при этом одновременно снижая антропогенную нагрузку на агроценоз.

Достоверность результатов. Достоверность и воспроизводимость результатов обусловлены большим массивом экспериментальных данных, полученных в ходе исследования в 2022-2024 гг., и строгим соблюдением нормативных методик и стандартов ГОСТ при постановке полевых опытов и

выполнении лабораторных анализов. Учёты проводили по стандартам для зерновых культур и общепринятым полевым методикам. Остаточные количества диметоата и ометоата определяли по метрологически аттестованным методическим указаниям. Урожайность определяли сплошным поделночным методом с пересчётом к стандартной влажности. Статистическая обработка включала дисперсионный анализ, оценку $НСР_{05}$, корреляционный анализ Пирсона и регрессионный анализ. Расчёты выполнены в Microsoft Excel и Statistica v.12. Различия между вариантами признаны статистически значимыми, что подтверждает надёжность и воспроизводимость полученных результатов.

Личный вклад автора. Весь цикл исследования – от постановки полевых опытов и проведения лабораторных анализов – до обработки и интерпретации полученных данных, соискатель выполнила самостоятельно. Автор лично проводила фенологические наблюдения и измеряла биометрические показатели, отслеживала динамику численности вредителя, отбирала и анализировала почвенные и растительные образцы в строгом соответствии с методиками. Самостоятельно подготовила литературный обзор по теме диссертации, провела оценку урожайности овса и расчет экономической эффективности, выполнила анализ и обобщение экспериментальных данных, провела статистическую обработку полученных результатов.

Апробация работы. Результаты исследований были доложены на научно-практической конференции «Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур» (Сочи, 2024 г.); Международной научной конференции, посвященной 150-летию Э.А. Митчерлиха (Москва, ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2024 г.); Международной научно-практической конференции «Охрана окружающей среды, изменение климата, инновационные технологии повышения плодородия деградированных почв» (Узбекистан, 2025); Международной научно-практической конференции «Защита растений от вредных организмов» (Краснодар, 2025); на Международной научно-практической конференции «Агрохимическая наука – основа эффективного управления природно-ресурсным потенциалом агроэкосистем» (Москва, ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2025 г.)

Так же полученные в ходе исследований результаты были апробированы в производственных условиях и внедрены в АО ПЗ «Шойбулакский» (Республика Марий Эл) на площади 80 га и в КФХ «Григорьев В.Н.» (Воронежская область) на площади 32 га.

Публикации результатов исследований. По теме исследования опубликовано 7 научных работ, 3 из которых, относятся к работам, изданным в журналах, рецензируемых ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа включает в себя следующие разделы: введение, обзор литературы, объекты и методы исследования, результаты исследования, расчет экономической эффективности, выводы, рекомендации производству, список литературы и приложения.

Список литературы включает 178 наименований, в том числе 38 на иностранных языках. Материал диссертации изложен на 138 страницах

машинописного текста, включает 27 таблицы и 15 рисунков в тексте, а также 8 приложений.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность и благодарность научному руководителю, доктору сельскохозяйственных наук, доценту Гаспарян Ирине Николаевне за квалифицированное руководство, всестороннюю поддержку и методическую помощь при проведении исследования и работе над диссертацией.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В главе I «Обзор литературы» проведён анализ биологической и пищевой ценности овса голозерного, особенностей его минерального питания с акцентом на магниевые удобрения, а также дана характеристика инсектицидов на основе диметоата. Особое внимание уделено необходимости восполнения дефицита Mg и S на дерново-подзолистых почвах для повышения продуктивности, а также интегрированной защите от вредителя – пьявицы красногрудой. Выявлена недостаточная изученность взаимодействия диметоата с магниевыми препаратами в баковых смесях и их влияния на качество урожая, что обосновывает актуальность дальнейших исследований для точного установления регламентов приготовления баковых смесей, обеспечивающих как безопасность, так и высокое качество получаемого зерна.

Глава II. Объекты, методы и условия проведения исследования

Объектом исследования выбран голозёрный сорт овса Немчиновский 61, что обусловлено его технологическими преимуществами для производства продуктов детского и диетического питания (высокий выход крупы, предсказуемое качество) и адаптивностью. Выбор данного сорта позволяет корректно оценить физиологический отклик на листовые подкормки сульфатом магния, а также методически обосновать эффективность совместного применения $MgSO_4$ и инсектицида диметоата, поскольку пьявица красногрудая (*Oulema melanopus*) является одним из наиболее опасных и прогнозируемых вредителей овса в Смоленской области, а повреждение ею листового аппарата, особенно флагового листа, критически снижает урожай и качество зерна.

Полевой опыт по оптимизации минерального питания в сочетании с инсектицидной защитой при возделывании овса был заложен в Глинковском районе Смоленской области в 2022–2024 гг. на дерново-подзолистых почвах в пятипольном зернопропашном севообороте (чередование культур: пар – озимая пшеница – рапс – картофель – овес). Схема опыта состояла из 7 вариантов, инсектицид применяли в концентрации 400 г/л и норме расхода 1,5 л/га, сульфат магния вносили в виде листовой подкормки в дозах 15 кг д.в/га и 30 кг д.в/га. Площадь опытной делянки составляла 25 м² (0,0025 га), учетной – 20 м², повторность по вариантам опыта – четырехкратная, расположение систематическое.

Таблица 1 – Схема полевого опыта

Вариант опыта		Доза внесения
1	Контроль без удобрений и обработок	-
2	Фон ($N_{45}P_{45}K_{45}$)	-
3	Фон+ $MgSO_4$ (15)	15 кг д.в./га
4	Фон+ $MgSO_4$ (30)	30 кг д.в./га
5	Фон+диметоат	1,5 л/га
6	Фон+ $MgSO_4$ (15)+диметоат	15 кг д.в./га+1,5 л/га
7	Фон+ $MgSO_4$ (30)+диметоат	30 кг д.в./га+1,5 л/га

Агрометеорологические условия вегетационного периода в годы исследований характеризовались устойчивым потеплением относительно средне многолетних значений летом и контрастным распределением осадков по годам.

Вегетационный сезон 2023 г. сочетал риски переувлажнения в активный период роста (особенно в июне), что повышало вероятность полегания и вымывания элементов питания; 2024 г. формировался под воздействием устойчивого дефицита влаги начиная с мая на фоне повышенных температур – условия водо- и теплового стресса, ускоряющие прохождение фаз и сокращающие период налива; 2022 г. при достаточном увлажнении до июля завершился августовской засухой.

Таблица 2 – Гидротермический коэффициент вегетационного периода

Год исследования	Вегетационный период			В среднем за вегетационный период
	май	июнь	июль	
2022	2,29	1,42	2,19	1,97
2023	1,65	3,85	1,62	2,38
2024	0,79	0,90	0,94	0,87
Средне многолетний	1,55	1,68	1,66	1,63

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая с низким содержанием гумуса 1,7 % (ГОСТ 26213-2021), слабокислой реакцией среды ($pH_{KCl} = 5,3$; ГОСТ 26483-85), при гидролитической кислотности 2,27 мг-экв/100 г (ГОСТ 26212-2021) и ёмкости катионного обмена 15,37 мг-экв/100 г (ГОСТ 27821-88). Степень насыщенности основаниями 85,2 %, содержание подвижного фосфора (115,3 мг/кг) оценивается как повышенное, калия (83,6 мг/кг) – на уровне средней обеспеченности (ГОСТ 54650-2011). В составе обменных катионов отмечаются умеренные запасы кальция (3,2 мг-экв/100 г) при недостаточном содержании магния (0,92 мг-экв/100 г; ГОСТ 26487-85), что указывает на потенциальный риск развития магниевых дефицита в посевах. Содержание подвижной серы (4,7 мг/кг; ГОСТ 26490-85) также не превышает минимально необходимых значений, что ограничивает формирование полноценного минерального питания растений.

Основная обработка почвы была проведена осенью после уборки предшественника (картофель) на глубину 20-22 см, весной была проведена предпосевная культивация на глубину 10-12 см для сохранения почвенной влаги.

Минеральные удобрения – (азофоска) вносили под предпосевную обработку в дозе 45 кг д.в./га. Фон NPK был осознанно снижен относительно рекомендуемых для зоны норм для более чистого выявления физиологического эффекта магниево-серной листовой подкормки. Посев проводили сплошным рядовым способом, срок посева овса варьировался по годам в зависимости от метеоусловий и физической спелости почвы.

Таблица 3 – Агротехника опытных делянок

	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Сорт	Немчиновский 61		
Предшественник	картофель	картофель	картофель
Дата посева	05.05	29.04	07.05
Дата обработки	17.06	10.06	13.06
Дата уборки урожая	13.08	04.08	01.08
Фаза развития овса в момент обработки	конец кущения	конец кущения	конец кущения
Площадь опытной делянки	25	25	25
Учетная площадь	20	20	20
Расположение	систематическое		

Обработку посевов проводили однократно в конце фазы кущения, перед выходом в трубку, ранцевым опрыскивателем «Sturm GS8216 BM», предназначенным для обработки мелкоделяночных опытов. Этот интервал является «чувствительным окном» для овса: защита флагового листа и ближайших к нему листьев в предрепродуктивный период обеспечивает наибольшую окупаемость инсектицидной обработки и положительно отражается на элементах структуры урожая.

Норма расхода в физическом весе составила:

NPK 45 кг д.в./га (азофоска, 16:16:16) = 281,25 кг/га = 0,7 кг/дел

MgSO₄ 15 кг д.в./га = 91,8 кг/га = 0,23 кг/дел

MgSO₄ 30 кг д.в./га = 183,6 кг/га = 0,46 кг/дел

диметоат 1,5 л/га = 3,75 мл/дел

Фенологические наблюдения, учет урожайности и структуру урожая проводили в соответствии с Методикой Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989). Площадь листьев определяли на фотопланиметре Li-3100. Учет пылявицы, оценку биологической эффективности диметоата и его фитотоксичность проводили в соответствии с «Методическими указаниями по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, моллюскоцидов и родентицидов в сельском хозяйстве», (Долженко, 2009), а биологическую эффективность диметоата рассчитывали по формуле Хендерсона-Тилтона.

Уборку овса осуществляли ручным способом, учет урожайности проводили сплошным поделяночным методом по всем повторностям вариантов опыта. Затем производили пересчет на стандартную влажность зерна (14%) и чистую продукцию

ц/га. Пробы зерна для определения основных качественных показателей отбирали согласно ГОСТ 13586.3, зеленую массу в соответствии с ГОСТ 27262-87. Азот по Кьельдалю и сырой протеин определяли по ГОСТ 13496.4-2019, натуру зерна по ГОСТ 10840-2017, крахмал по ГОСТ 10845-98, аминокислотный состав по ГОСТ 32195-2013.

Остаточные количества диметоата и его метаболита ометоата в зеленой массе, зерне и соломе овса определяли на газовом хроматографе Agilent 7890 с азотно-фосфорным детектором (МУК № 322-85).

Статистическую обработку данных полевого опыта проводили в соответствии с методическими указаниями Б.А. Доспехова (1985), программы Microsoft Excel и Statistica 10.0.

Глава III. Результаты исследования

3.1 Влияние сульфата магния на прохождение фенологических фаз

Сроки посева овса в годы проведения исследования зависели от погодных условий и находились в пределах конца апреля и начала мая (в 2022 году посев был проведен 5 мая, в 2023 г. – 29 апреля, а в 2024 г. – 7 мая).

Продолжительность фенологических фаз зависела как от метеоусловий, так и от уровня минерального питания. Повышенная влажность и относительно невысокие температуры 2022-2023 годов удлиняла периоды вымётывание метёлки – созревание, а повышенная температура и низкая влажность 2024 года приводили к ускоренному созреванию и сокращению вегетационного периода овса в целом. Внесение $MgSO_4$ слегка удлиняло период налива во влажных и нормальных условиях, а в засуху ускоряло прохождение фаз и сокращало вегетацию, что позволило «уйти» от пика водного стресса без потерь темпа формирования урожая.

Продолжительность межфазного периода посев – всходы по всем вариантам опыта за 3 года составляла 8...11 дней. В 2022 г. они появились на 11 день (16 мая), в 2023 г. – на 9 день (8 мая), а в 2024 – на 8 день (15 мая).

Период всходы – кущение в годы исследования по вариантам опыта продолжался 11...17 дней, наиболее коротким он был в 2024 г. (11...13 дней), а максимальным по продолжительности в 2022 г. (15...17 дней).

Наиболее длительные по продолжительности периоды, кущение – выход в трубку и выметывание – молочная спелость, в 2022 и 2023 годах не отличались и составляли 19...21 и 26-29 дней соответственно, а погодные условия 2024 г. внесли свои коррективы, сократив их продолжительность до 16...18 и 21...23 дней. Укорочение этих фаз в 2024 г. скорее всего произошло из-за дефицита влаги, повышенных температур и, как следствие, недостаточном развитии узловых корней.

Длина вегетационного периода варьировалась по годам от 83 до 100 дней. При чем в наиболее жаркий и засушливый 2024 г. в вариантах опыта с фоновым внесением удобрений и сульфата магния он был короче на 2...3 дня относительно контроля 83-84 и 86 дней соответственно), в то время как в 2022 году за счет пониженных температур и обильных осадков в I и II декадах июля были удлинены фазы выметывание – цветение, что в конечном итоге привело и к увеличению вегетационного периода до 98...100 дней.

Влияние доз внесения (15 и 30 кг д.в./га) на сроки прохождения фаз не выявлено.

Таким образом, листовое внесение сульфата магния выступило гибким регулятором темпа онтогенеза: при недостатке влаги – продлевало функциональное долголетие листьев и налив зерна, а в засуху – ускоряло прохождение критических фаз, повышая «стрессовую» устойчивость посевов, что говорит о технологической целесообразности включения $MgSO_4$ в систему питания овса на дерново-подзолистых почвах с учётом конкретного сценария погоды сезона.

3.2 Влияние сульфата магния на биометрические показатели овса

Высота растений овса. Измерение высоты растений овса по вариантам опыта проводили в фазы кущения, выхода в трубку и цветения. Фоновое внесение минеральных удобрений увеличивало высоту овса в стадии кущения относительно контроля в среднем на 1,4...1,9 см (+14%) в 2022 г., на 1,6...2,2 см (+15,2%) в 2023 г. и на 0,6...1,2 см (+9,3%) в 2024 г. В фазе выхода в трубку максимальная высота овса была отмечена в варианте с обработкой сульфатом магния в дозах 15 кг д.в/га – 46,0...49,3 см (+11,3...15,6%) и 30 кг д.в/га – 46,8...50,5 см (+12,2...17,1%). Эта же закономерность прироста сохранилась и в фазе цветения – наибольшая высота овса наблюдалась в варианте с совместным применением диметоата и сульфата магния (30 кг д.в/га) 121,0...125,3 см (+ 12,8-17,5% к контролю). Разница между вариантами совместного применения диметоата и сульфата магния в двух дозировках (15 и 30 кг д.в/га) составляла 2,9% в 2022 г., 3,2% 2023 г. и 4,6 % в 2024, а между вариантами обработки посевов сульфатом магния и смесью сульфата магния и диметоата составила около 2 % для обеих концентраций во все годы.

Оценку и учет *площади листовой поверхности* проводили в фазы кущения (до обработки), выхода в трубку и цветения, для определения непосредственного влияния изучаемых факторов на данный показатель. Так площадь листьев по всем вариантам опыта увеличивалась до фазы выметывания, а затем нижние листья старели и отмирали, снижая площадь листовой поверхности. Максимальная площадь листовой поверхности отмечалась в фазу цветения. В фазу кущения на площадь листовой поверхности оказывало влияние только фоновое внесение удобрений, т.к. обработка диметоатом и $MgSO_4$ проводились в конце кущения.

Эффект инсектицидной защиты и магниевого питания проявился с фазы выхода в трубку, где зафиксирован ускоренный прирост ассимиляционной поверхности в вариантах с $MgSO_4$ и диметоатом, и закрепился к фазе цветения (максимумы у варианта Фон + диметоат + $MgSO_4$ (30 кг д.в/га).

Анализ трёхлетних данных показал, что формирование листовой поверхности овса существенно зависит от уровня минерального питания и листовой подкормки. Так, NPK увеличивает площадь листьев в среднем на 30–40 % к контролю, $MgSO_4$ (15–30 кг д.в/га) дополнительно повышает ассимиляционную поверхность на 10–15 % к варианту фон NPK, а диметоат обеспечивает сохранность листового аппарата, особенно в фазах выхода в трубку и цветения. Так же четко прослеживается влияние погодных условий на площадь листьев. Наибольшая величина площади в фазу кущения была в благоприятном 2023 г., так как в период всходы – выход в трубку было достаточное количество

осадков (ГТК 2,75), а в период выход в трубку – молочная спелость – много солнечных дней с повышенными температурами.

Внесение фоном NPK в дозе 45 кг д.в/га увеличило этот показатель на 36...39 % на разных вариантах, а вот прохладный май и жаркий июнь 2024 г. внесли свои коррективы и в контрольном варианте площадь листовой поверхности была ниже на 16,6% по сравнению с аналогичным периодом 2023 г. Это подтверждает и результат корреляционного анализа (рис. 1 и табл. 4).

Таблица 4 – Площадь листовой поверхности овса в фазу цветения, млн м²/га (Смоленская область, 2022-2024 гг.)

Вариант опыта	Кол-во раст/м ²			Площадь листьев					
				см ² /раст			млн м ² /га		
	2022	2023	2024	2022	2023	2024	2022	2023	2024
Контроль	308	326	312	90,3	92,1	74,4	2,8	3,0	2,3
Фон (N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅)	346	379	319	98,6	102,8	80,1	3,4	3,9	2,6
Фон +MgSO ₄ (15)	342	382	321	109,4	114,3	87,9	3,7	4,4	2,8
Фон +MgSO ₄ (30)	344	380	319	115,9	121,4	94,6	4,0	4,6	3,0
Фон + диметоат	334	372	316	103,2	108,6	82,3	3,4	4,0	2,6
Фон +MgSO ₄ (15)+диметоат	336	389	316	112,2	115,1	90,3	3,8	4,5	2,9
Фон +MgSO ₄ (30)+диметоат	338	376	317	114,8	120,2	96,8	3,9	4,5	3,1
НСР ₀₅ 1,24									

Анализ показал устойчивую положительную корреляцию между высотой растений и площадью листовой поверхности овса, усиливающуюся по мере перехода от кущения к цветению. В нормальном и влажном вегетационных сезонах (2022 г. и 2023 г.) связь сильная и статистически достоверная уже на ранних этапах ($r = 0,88-0,94$; $p < 0,01$), что отражает синхронное наращивание вегетативной массы и линейного роста. В засушливом 2024 г. на стадии кущения корреляция ослаблялась и становилась статистически недостоверной ($r = 0,58$; $p = 0,17$), что указывает на разделение ранних ростовых параметров при дефиците влаги: часть вариантов поддерживает высоту растения ценой сокращения листовой площади и наоборот.

Таким образом, совместное применение сульфата магния и диметоата способствует формированию мощного ассимиляционного аппарата, что подтверждает выявленную в опытах тесную связь с увеличением урожайности.

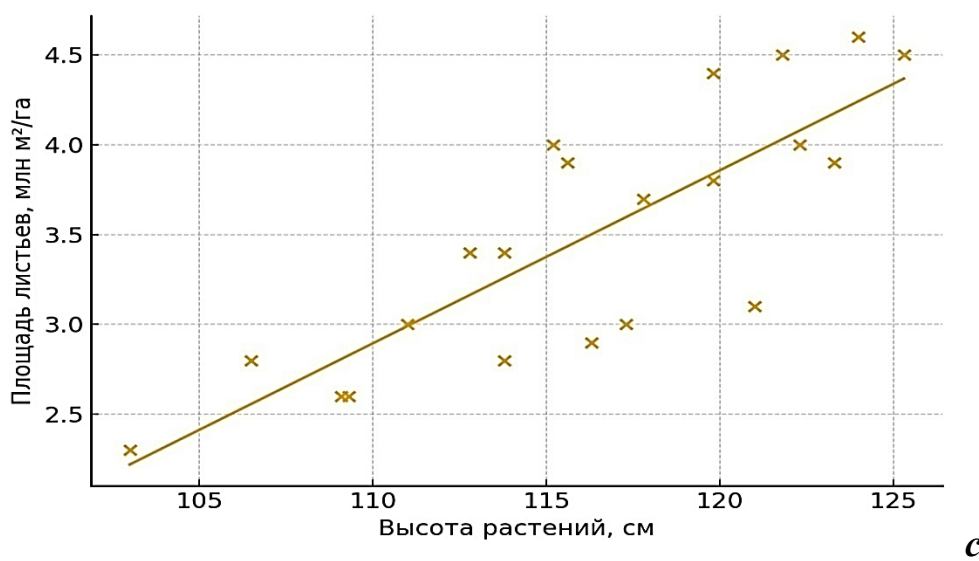
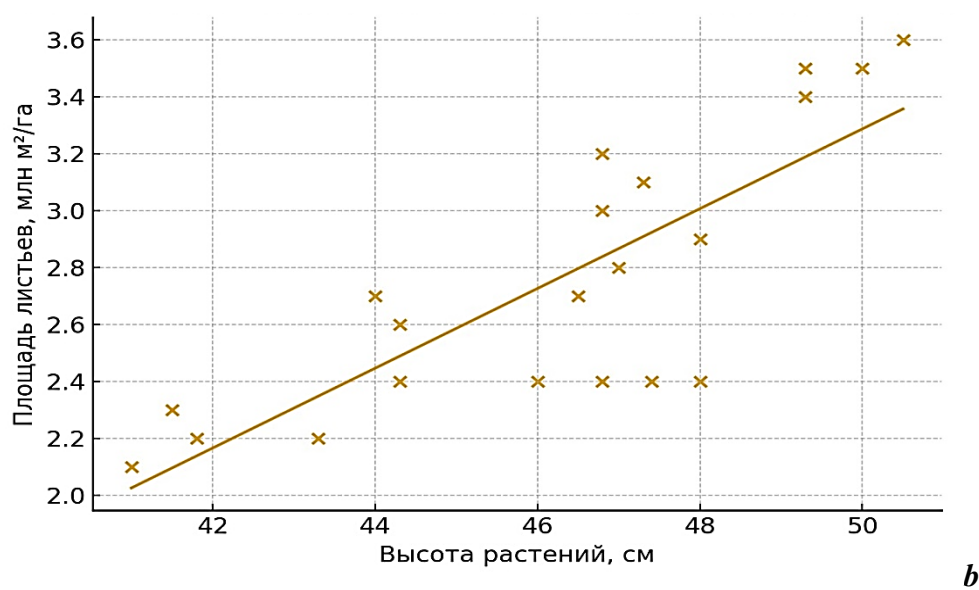
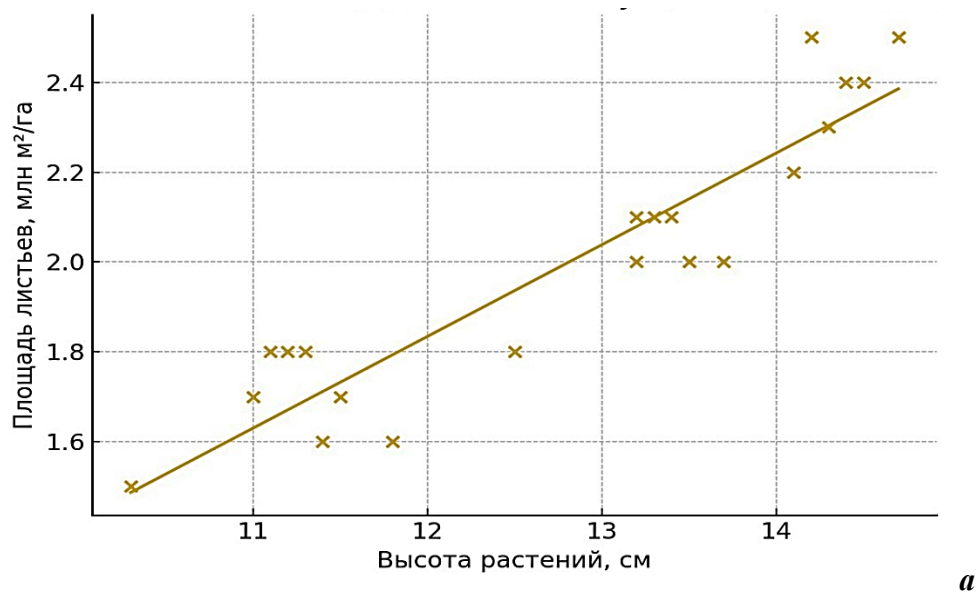


Рис. 1. Графики рассеяния с аппроксимацией прямой: *a* – фаза кущения; *b* – фаза выхода в трубку; *c* – фаза цветения

Отбор проб для определения *содержания хлорофилла* в листьях проводили в фазе выметывания (начало цветения), поскольку именно в этот период листья сохраняют максимальную фотосинтетическую активность, а перераспределение ассимилянтов на колос ещё не привело к значительному старению зелёной массы.

В годы с избыточным увлажнением (2022, ГТК = 1,97; 2023, ГТК = 2,38) наблюдалось умеренное повышение содержания пигментов в контроле (1,36–1,40 мг/г), однако более выраженный эффект обеспечивало внесение сульфата магния и диметоата. В засушливый 2024 г. (ГТК = 0,87) уровень хлорофилла резко снижался в контроле (до 1,11 мг/г), что отражает деградацию пигментного аппарата при водном стрессе.

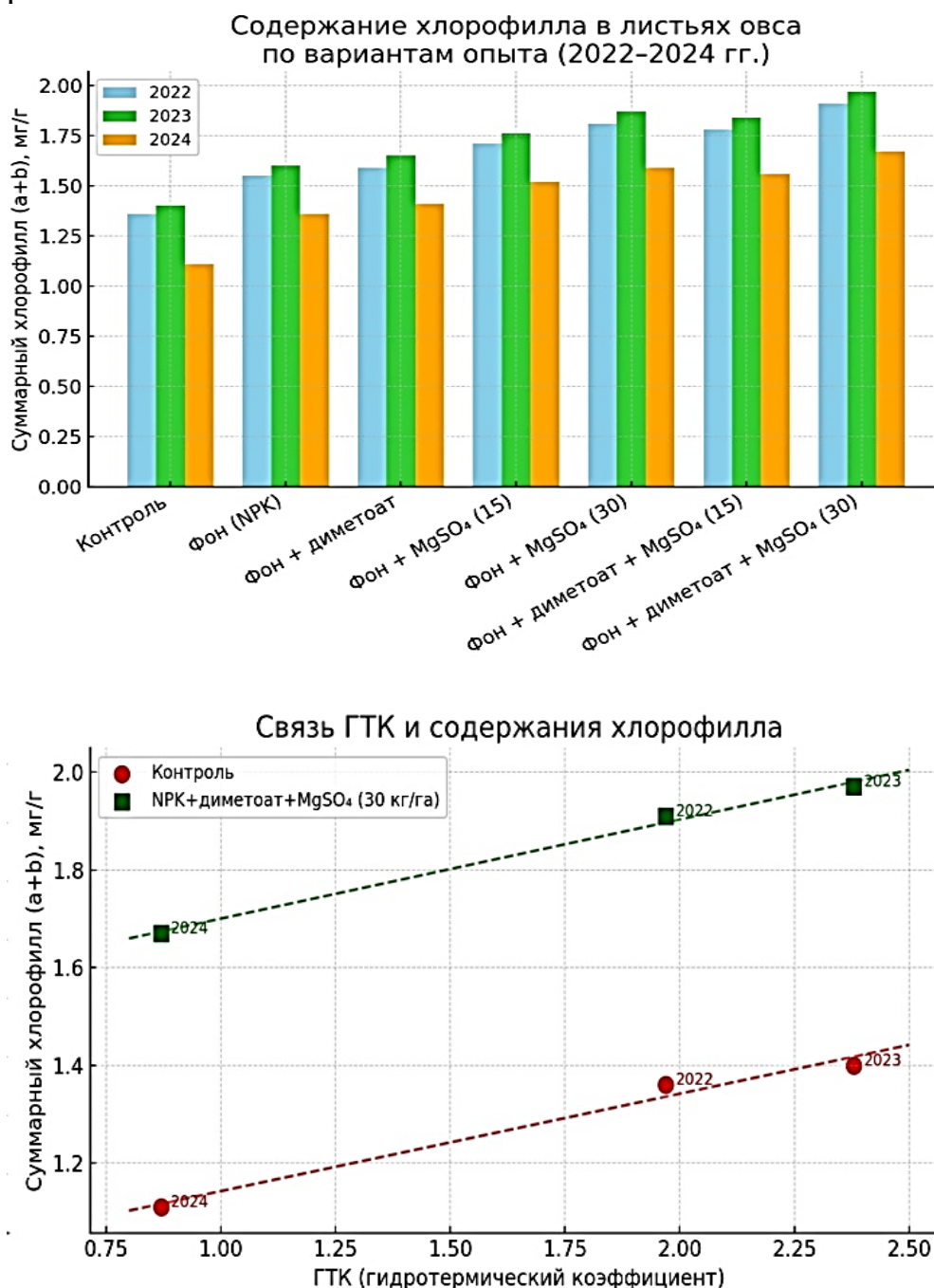


Рис. 2. Содержание хлорофилла в листьях овса по вариантам опыта (слева) и зависимость от гидротермического коэффициента (справа), 2022–2024 гг.

На фоне NPK уровень хлорофилла возрастал на 15–20 %, что указывает на повышение фотосинтетического потенциала благодаря основному минеральному питанию. Диметоат на фоне NPK дополнительно способствовал сохранению зелёной массы (защита от пьявицы), что выражалось в приросте хлорофилла на 2–4 % по сравнению с фоном. Внесение сульфата магния (15–30 кг д.в./га) увеличивало содержание хлорофилла на 10–15 % по сравнению с NPK-фоном. Наибольший эффект отмечался при дозе 30 кг д.в./га, где суммарное содержание пигментов достигало 1,75–1,87 мг/г даже в условиях недостаточного увлажнения.

Максимальные значения суммарного хлорофилла (до 1,97 мг/г в 2023 г. и 1,67 мг/г в 2024 г.) зафиксированы в варианте «NPK + диметоат + $MgSO_4$ (30 кг д.в./га)», что превышало контроль на 35–50 %.

Корреляционный анализ показал очень сильную связь между содержанием хлорофилла и ГТК как в контроле ($r = 0,99$), так и в варианте с магнием ($r = 0,997$). Однако при одинаковой влагообеспеченности растения с магнием и диметоатом имели стабильно более высокий уровень пигментов, что подтверждает компенсирующую роль магниевого питания и защиты растений.

3.3 Биологическая эффективность диметоата

Учет пьявиц проводили до обработки, а так же через 3, 7 и 10 суток после нее. На вариантах без инсектицидной обработки (фон и фон + $MgSO_4$ 15/30 кг д.в./га) уже к 3-м суткам численность вредителя возрастала, а к 7-10-м суткам формировался выраженный пик (в 2024 г. на фоне – до 51,3 экз./100 стеблей). Листовые подкормки $MgSO_4$ (15 и 30 кг д.в./га) в отсутствие инсектицида не снижали численность вредителя, что ожидаемо, поскольку магний выступает физиологическим фактором питания культуры, а не агентом прямого токсического действия.

Во всех вариантах с применением диметоата наблюдалось резкое и устойчивое снижение численности личинок. На 3-и сутки снижение относительно фонового варианта составляло ориентировочно 70–88 % (2022: ~70–75 %; 2023: ~70–87 %; 2024: ~79–87 %), на 7-е сутки – ~87–96 %, на 10-е сутки – ~88–94 %. Биологическая эффективность сохранялась во все годы, включая засушливый 2024 год, когда при отсутствии защиты численность резко возрастала, тогда как на обработанных вариантах оставалась на уровне ~1–4 экз./100 стеблей.

Выраженные различия по величине «волны» численности на 7–10-е сутки между 2022–2024 гг. обусловлены совокупностью внешних и агротехнических факторов.

Таким образом, диметоат в регламенте применения обеспечивал стабильный контроль овсяной пьявицы на уровне ~90 % и выше в интервале 7–10 суток после обработки во все годы исследований, т.е. решающим фактором снижения численности вредителя во все годы была инсектицидная обработка диметоатом; без неё популяция быстро нарастала, особенно в условиях засухи 2024 г.

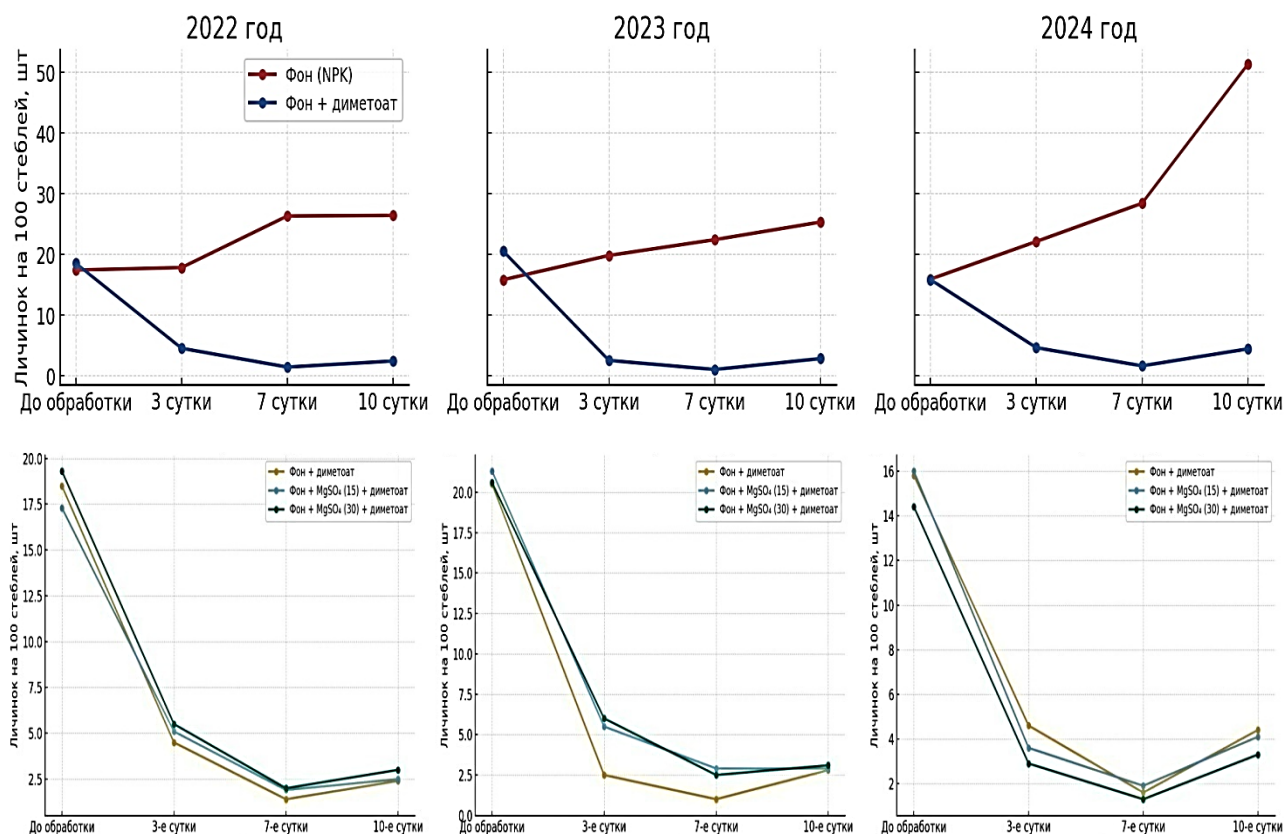


Рис. 3 Динамика численности пьявицы в разных вариантах опыта

3.4 Влияние совместного применения сульфата магния и диметоата на урожайность и качество зерна овса сорта Немчиновский 61

Урожайность овса существенно зависела как от погодных условий, так и от уровня минерального питания и защиты растений.

Наименьшая средняя урожайность за годы проведения исследований ожидаемо была получена на контрольном варианте – в среднем 14,3 ц/га. Внесение NPK ($N_{45}P_{45}K_{45}$) повышало урожайность на 30 % по сравнению с контролем. Дополнительное внесение сульфата магния способствовало дальнейшему увеличению урожайности: при дозе 15 кг д.в./га средняя прибавка составила 2,2 ц/га (+14,7 % к фону), при 30 кг д.в./га – 3,2 ц/га (+17 %).

Обработка посевов диметоатом обеспечивала рост средней урожайности на 1,6 ц/га (+8 % к фону), что связано с защитой растений от комплекса вредителей и сохранением листового аппарата.

Средняя урожайность в варианте совместного применения диметоата и сульфата магния в дозе 15 кг д.в./га составила 22,8 ц/га, что даёт прибавку 4,2 ц/га (22,5%) к фону (18,6 ц/га), а по сравнению с вариантом «фон + диметоат» (20,2 ц/га) – 2,6 ц/га. Таким образом, баковая смесь диметоата с 15 кг д.в./га $MgSO_4$ обеспечивает значимое увеличение урожайности за счёт сохранения листового аппарата и усиления фотосинтетической активности.

При увеличении дозы до 30 кг д.в./га при прочих равных условиях средняя урожайность достигла 23,8 ц/га, что соответствует прибавке в 5,2 ц/га, а к варианту «фон + диметоат» – 3,6 ц/га.

Таблица 5 – Урожайность овса по вариантам опыта

Варианты опыта	Урожай зерна, ц/га			Средний урожай, ц/га	Прибавка, ц/га	
	2022	2023	2024		к контр.	к фону
Контроль	13,8	16,3	12,9	14,3	-	-
Фон (N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅)	18,7	21,5	15,7	18,6	4,3	-
Фон +15 кг д.в.MgSO ₄	21,1	23,1	18,2	20,8	6,5	2,2
Фон +30 кг д.в.MgSO ₄	22,1	23,8	19,4	21,8	7,5	3,2
Фон + диметоат	21,3	22,6	16,7	20,2	5,9	1,6
Фон +15 кг д.в.MgSO ₄ + диметоат	23,1	24,9	20,3	22,8	8,5	4,2
Фон +30 кг д.в.MgSO ₄ + диметоат	24,2	25,3	21,8	23,8	9,5	5,2
НСР ₀₅	0,96	0,7	0,72			

Таким образом, совместное применение диметоата и сульфата магния позволяет реализовать потенциал продуктивности посевов; при этом интегральная прибавка к фону составляет 4,2-5,2 ц/га в зависимости от дозы MgSO₄, что согласуется с механизмом: снижение листоповреждения + поддержка магниевое питания = сохранённая (и более мощная) ассимиляционная поверхность и более эффективный налив зерна. Особый интерес представляло изучение влияния совместного применения MgSO₄ и диметоата на основные показатели качества зерна овса, такие как содержание белка, крахмала, масса 1000 зерен, натура и аминокислотный состав.

Анализ показал, что качественные показатели зерна овса (белок, крахмал, масса 1000 зерен и натура) в значительной степени определялись гидротермическими условиями в годы проведения исследований. Наиболее благоприятным для формирования продуктивности оказался 2023 г. (ГТК = 2,38), когда урожайность достигала максимальных значений. В этот период зерно отличалось лучшей выполненностью: масса 1000 зёрен составляла до 35,0 г, натура – до 498 г/л. Однако содержание белка и крахмала было несколько ниже (12,4–13,9 % и 55,0–56,5 % соответственно), что связано с разбавляющим эффектом при формировании более крупного урожая. В 2022 г. (ГТК = 1,97) условия увлажнения были близки к оптимальным, урожайность и качество зерна занимали промежуточное положение: масса 1000 зёрен достигала 33,8 г, натура – 492 г/л, содержание белка составляло 11,4–13,7 %, крахмала – 54,0–57,0 %. Наименее благоприятным оказался 2024 г. (ГТК = 0,87), характеризовавшийся засушливыми условиями. Урожайность в этот период была минимальной, зерно отличалось худшей выполненностью (масса 1000 зёрен 28,5–32,8 г, натура 445–478 г/л), однако содержание белка (до 14,0 %) и крахмала (до 57,5 %) возрастало, что объясняется концентрационным эффектом в условиях снижения продуктивности.

Таблица 6 – Качество зерна овса сорта Немчиновский 61 (Смоленская область, 2022-2024 гг.)

Вариант опыта	Белок, %				Крахмал, %				Масса 1000 зёрен, г				Нагура зерна, г/л			
	2022	2023	2024	ср	2022	2023	2024	ср	2022	2023	2024	ср	2022	2023	2024	ср
Контроль	11,4	11,6	11,8	11,6	54,0	53,5	54,5	54,0	30,0	31,0	28,5	29,8	455	465	445	455
Фон (N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅)	12,2	12,4	12,6	12,4	55,0	54,5	55,5	55,0	31,8	32,5	30,5	31,6	468	474	460	467
Фон +MgSO ₄ (15)	12,9	13,1	13,2	13,1	56,0	55,5	56,5	56,0	33,0	33,8	31,8	32,9	478	484	470	477
Фон +MgSO ₄ (30)	13,3	13,5	13,6	13,5	56,5	56,0	57,0	56,5	33,8	34,5	32,5	33,6	484	490	476	483
Фон + диметоат	12,4	12,6	12,8	12,6	55,4	55,0	56,0	55,5	32,2	33,0	31,0	32,1	472	478	464	471
Фон +MgSO ₄ (15)+диметоат	13,2	13,4	13,5	13,4	56,3	55,8	56,8	56,3	33,4	34,2	32,5	33,3	486	492	472	483
Фон +MgSO ₄ (30)+диметоат	13,7	13,9	14,0	13,9	57,0	56,5	57,5	57,0	34,2	35,0	32,8	34,0	492	498	478	489

Таблица 7 – Аминокислотный состав зерна овса сорта Немчиновский 61 (Смоленская область, 2022-2024 гг.)

Вариант опыта	Незаменимые аминокислоты, г/кг зерна								Заменимые аминокислоты, г/кг зерна									
	треонин	валин	метионин	изолейцин	лейцин	фенилаланин	гистидин	лизин	ΣAKн	аспарагинова к-та	серин	глутаминовая к-та	пролин	глицин	аланин	тирозин	аргинин	ΣAKз
Контроль	3,47	6,95	1,65	5,65	13,37	7,32	3,74	6,49	48,64	14,01	7,79	27,33	9,61	5,61	10,09	3,67	6,80	84,91
Фон (N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅)	3,65	7,32	1,72	5,95	14,07	7,71	3,94	6,90	51,26	14,75	8,20	28,77	10,12	5,91	10,62	3,86	7,16	89,39
Фон +MgSO ₄ (15)	3,78	7,58	1,86	6,15	14,56	7,98	4,08	7,25	53,25	15,27	8,49	29,78	10,42	6,12	10,99	4,00	7,41	92,53
Фон +MgSO ₄ (30)	3,83	7,69	1,89	6,25	14,77	8,10	4,14	7,31	53,98	15,49	8,61	30,21	10,62	6,21	11,15	4,05	7,52	93,87
Фон + диметоат	3,72	7,47	1,75	6,07	14,35	7,86	4,02	7,11	52,35	15,04	8,36	29,35	10,32	6,03	10,83	3,94	7,30	91,17
Фон +MgSO ₄ (15)+диметоат	3,76	7,61	1,90	6,24	14,54	7,92	4,06	7,31	53,34	15,78	8,52	29,80	10,15	6,17	11,01	4,03	7,40	92,86
Фон +MgSO ₄ (30)+диметоат	3,94	7,91	1,94	6,43	15,20	8,33	4,26	7,59	55,60	15,93	8,86	31,07	10,93	6,38	11,47	4,17	7,73	96,54
Овес сорт Скакун*	3,3	3,9	1,8	3,6	7,7	6,2	3,2	4,6	34,3	9,1	2,8	26,3	5,9	4,8	5,4	4,6	7,9	66,8

*по данным Каширских Е.В., 2019

Наряду с климатическими факторами существенное влияние на формирование качества зерна оказывало минеральное питание. На контроле показатели качества были минимальными: масса 1000 зёрен составляла 28,5–30,2 г, натура – 445–460 г/л, содержание белка – 11,2–11,8 %, крахмала – 53,5–54,5 %. Внесение минеральных удобрений (NPK) обеспечивало достоверное повышение основных параметров качества: масса 1000 зёрен увеличивалась до 30,5–32,7 г, натура – до 465–480 г/л, содержание белка достигало 12,0–12,8 %, крахмала – 54,5–55,8 %. Наибольший положительный эффект наблюдался при применении сульфата магния, особенно в дозе 30 кг д.в/га: масса 1000 зёрен достигала 33,5–35,0 г, натура – 490–498 г/л, содержание белка – 13,5–14,0 %, крахмала – 56,5–57,5 %. Совместное применение диметоата и сульфата магния обеспечивало наибольший синергетический эффект: масса 1000 зёрен достигала 34,5–35,0 г, натура – 495–498 г/л, содержание белка – 13,8–14,0 %, крахмала – 57,0–57,5 %.

Вместе с этим внесение сульфата магния как отдельно, так и совместно с диметоатом улучшало аминокислотный состав зерна. По сравнению с контрольным вариантом сумма незаменимых аминокислот (ΣAK_n) возрастала на 5,4% в варианте с фоновым внесением NPK, а в варианте совместного применения $MgSO_4$ (30) и диметоата на 8,5 % по отношению к фону. Аналогичная динамика наблюдалась и по сумме заменимых аминокислот (ΣAK_z): +8,0 % в варианте с совместным применением $MgSO_4$ (30) и диметоата по отношению к фону, что указывает на интенсификацию общего аминокислотнонакопления. Сравнительный анализ с плёночным сортом Скакун демонстрирует более низкие значения сумм аминокислот, при существенно меньшем содержании лизина (4,6 г/кг), что указывает на преимущественную аминокислотную полноценность голозёрного овса Немчиновский 61.

3.5 Содержания остаточных количеств диметоата в растениях овса

Установлено, что скорость деградации диметоата и динамика накопления его метаболита ометоата в зелёной массе овса существенно зависят от гидротермических условий года. В более влажном 2023 г. (оптимальное увлажнение) уже к 10-му дню после обработки содержание диметоата снижалось до 5,32 в варианте с обработкой только диметоатом, а так же до 4,7...4,51 мг/кг на вариантах с совместным внесением диметоата и $MgSO_4$ в дозе 15 и 30 кг д.в/га соответственно. При этом фиксировался кратковременный пик ометоата 2,39–3,01 мг/кг с последующим снижением к 20-му дню до 0,76–1,31 мг/кг. В близком к оптимальному по влагообеспеченности 2022 г. к 10-му дню диметоат снижался до 7,35–6,55 мг/кг, ометоат составлял 1,85–1,99 мг/кг, а к 20-му дню – 0,31–0,71 мг/кг. В засушливом 2024 г. наблюдалась наименьшая скорость распада диметоата: на 10-й день он сохранялся на уровне 12,2–8,92 мг/кг, а ометоат – 2,03–2,38 мг/кг; к 20-му дню диметоат падал до 0,16–0,08 мг/кг, тогда как ометоат оставался относительно высоким – 1,52–1,84 мг/кг. Во всех годах через 30 дней и к уборке (зерно, солома) остаточные количества диметоата и ометоата не обнаруживались.

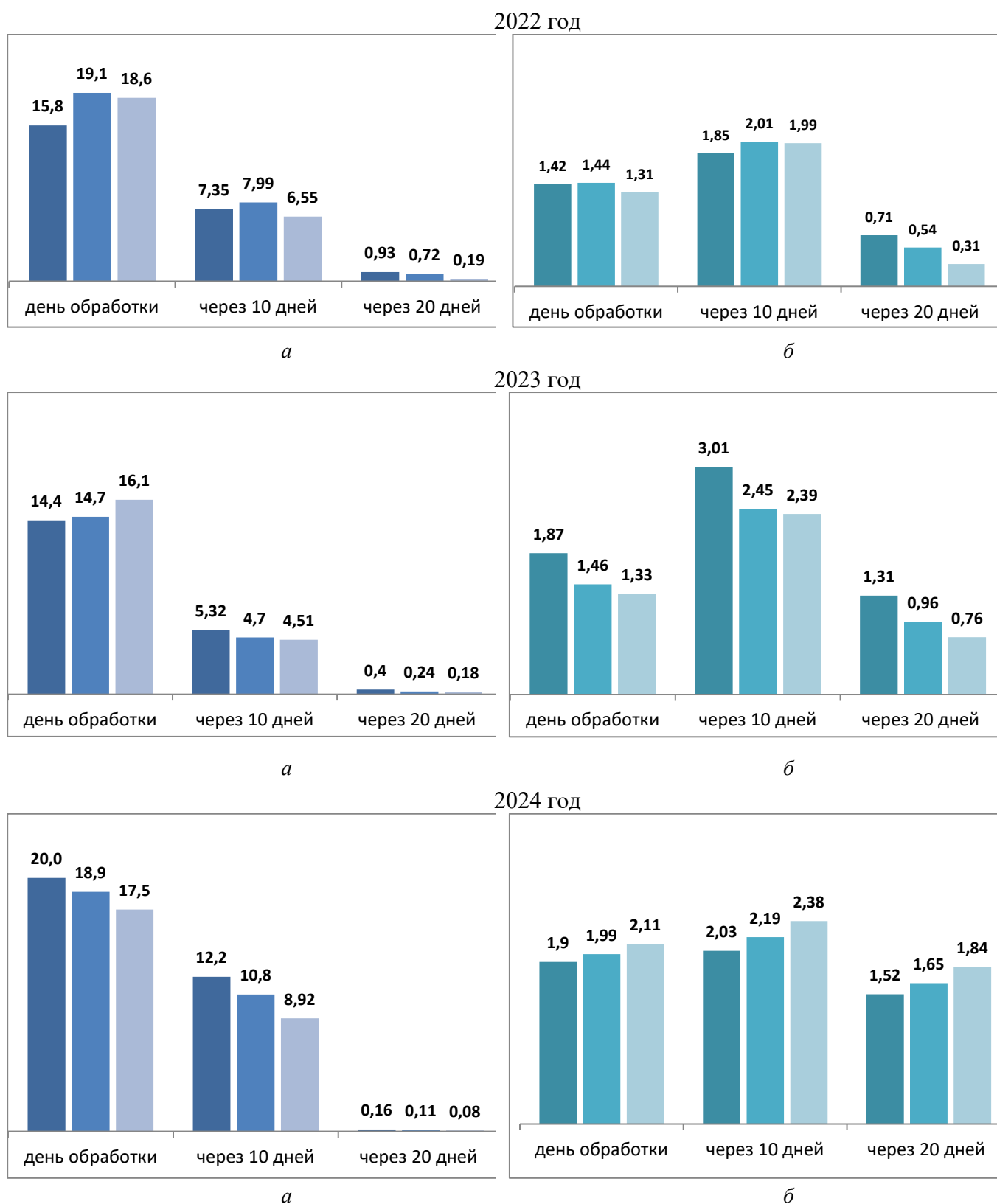


Рис. 4. Содержание диметоата (а) и его метаболита ометоата (б) в зеленой массе овса по годам исследования:

Диметоат
 Диметоат + 15 кг д.в./га MgSO₄
 Диметоат + 30 кг д.в./га MgSO₄

Внесение сульфата магния модифицировало кинетику: уже на 10-й день дозозависимо снижалось содержание диметоата (например, 2024 г.: 12,2 → 10,8 → 8,92 мг/кг при 0/15/30 кг д.в./га $MgSO_4$), что указывает на ускорение метаболизма. Поведение ометоата носило годоспецифичный характер. В 2022–2023 гг. повышение дозы $MgSO_4$ сопровождалось более быстрым «провалом» пика метаболита к 20-му дню (2022 г.: 0,71 → 0,54 → 0,31; 2023 г.: 1,31 → 0,96 → 0,76 мг/кг), что согласуется с усилением метаболической и микробиальной минерализации при достаточном увлажнении. В 2024 г., напротив, с увеличением дозы $MgSO_4$ к 20-му дню наблюдалась более высокая остаточность ометоата (1,52 → 1,65 → 1,84 мг/кг), что отражает замедление последующих стадий разложения метаболита в условиях водного дефицита при одновременно сохранённой (и даже стимулированной) скорости первичного окисления диметоата.

Различное образование ометоата по годам исследования можно объяснить усилением метаболической активности листа на фоне внесения Mg и повышения солнечной активности и температуры соответственно. Разрушение же ометоата происходит за счет гидролиза и микробной или ферментативной минерализации, что так же зависит от влагообеспеченности.

Отсутствие остаточных количеств диметоата и ометоата в зеленой массе овса через 30 дней после обработки и в урожае говорит об экологической безопасности полученного зерна и получаемого из него конечного продукта.

Результаты изучения динамики разложения диметоата говорят о том, что его высокое содержание в зеленой массе овса способствовало более длительному защитному эффекту от личинок пьявицы. Совместное внесение сульфата магния и диметоата влияло на остаточные количества последнего за счет изменения биомассы при применении удобрений, а на остаточные количества ометоата – за счет изменения метаболизма в растениях (рис. 4).

Глава IV. Экономическая эффективность совместного применения сульфата магния и диметоата при возделывании овса

Расчеты экономической эффективности различных вариантов опыта выполнены с учётом основных статей себестоимости (стоимость семенного материала, удобрений, инсектицида, ГСМ, затрат на амортизацию и оплату труда), а также средних цен реализации зерна овса по данным Росстата (2024). Это позволило определить уровень рентабельности, подтверждающий практическую значимость исследуемой технологии.

Наименьшая себестоимость 1 ц зерна овса была получена в контрольном варианте и составила 909,1 руб. Так же контрольный вариант на первый взгляд оказался наиболее рентабельным, но процент рентабельности чувствителен к величине затрат: при низких затратах даже средняя прибыль даёт высокий процент рентабельности, но это не означает наилучшую эффективность. Для хозяйства же критичнее рубли на гектар, устойчивость к рискам и качество продукции. Так же низкая себестоимость установлена в варианте совместного применения сульфата магния в дозе 15 кг д.в. и диметоата – 1173 руб/ц. Наибольшая чистая прибыль - в вариантах совместного применения сульфата магния в дозах 15 и 30 кг д.в./га и диметоата – 23 416 руб/га и 23 505 руб/га соответственно. При чем в варианте с

дозой 30 кг д.в. прибыль больше всего на 89 руб/га. То есть абсолютная прибыль выше при совместном применении $MgSO_4$ и диметоата, а «контрольная» рентабельность в процентах – лишь эффект малой базы затрат, а не лучшей окупаемости технологии.

Таблица 8 – Экономическая эффективность применения сульфата магния и диметоата при возделывания овса сорта Немчиновский 61

Вариант опыта	Средняя урожайность, ц/га	Затраты, руб/га	Стоимость зерна, руб/га	Себестоимость, руб/ц	Чистая прибыль, руб/га	Р, %
Контроль	14,3	13 000	31 460	909,1	18 460	142
Фон (NPK)	18,6	22 850	40 920	1 228,5	18 070	79
Фон + $MgSO_4$ (15)	20,8	25 431,80	45 760	1 222,7	20 328	80
Фон + $MgSO_4$ (30)	21,8	27 543,20	47 960	1 263,4	20 417	74
Фон + диметоат	20,2	24 350,00	44 440	1 205,4	20 090	83
Фон + диметоат + $MgSO_4$ (15)	22,8	26 744	50 160	1 173,0	23 416	88
Фон + диметоат + $MgSO_4$ (30)	23,8	28 855	52 360	1 212,4	23 505	81

Таким образом, на фоне стандартной технологии с применением NPK ($N_{45}P_{45}K_{45}$) экономически наилучшие результаты обеспечивает сочетание инсектицидной обработки диметоатом с внекорневой подкормкой сульфатом магния. При дозе $MgSO_4$ 15 кг д.в/га в комбинации с диметоатом достигается максимальная окупаемость дополнительных затрат благодаря совмещению операций и снижению затрат на ГСМ. Увеличение дозы $MgSO_4$ до 30 кг д.в/га в той же схеме приводит к наибольшей чистой прибыли на 1 га среди изученных вариантов, что обусловлено более высокой урожайностью, при умеренном росте затрат, однако рентабельность ниже на 7% относительно дозы 15 кг д.в. Отдельное применение только диметоата или только $MgSO_4$ (15–30 кг д.в./га) также повышает чистую прибыль по сравнению с одним NPK, однако уступает по экономической эффективности совмещённой схеме.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения полевых экспериментов в Смоленской области в 2022-2024 гг. и серии лабораторных исследований на базе РГАУ-МСХА было установлено:

1. Установлено, что внедрение голозёрных сортов овса в сочетании с листовыми подкормками сульфатом магния и своевременной защитой посевов инсектицидом диметоатом способствует значительному повышению урожайности и улучшению качества зерна. Однако для максимизации эффективности данных агротехнических приёмов необходимо оптимизировать регламенты их применения с учётом особенностей сортов и условий выращивания, а также обеспечить экологическую безопасность производства.

2. Показано, что в условиях проведения опыта одним из основных вредителей овса является красногрудая злаковая пядица (*Oulema melanopus* L.). Однократная обработка посевов инсектицидом диметоатом (400 г/л, норма расхода 1,5 л/га) в фазу кущения обеспечивала высокую биологическую эффективность препарата (>90%) на протяжении всех лет исследований. Добавление сульфата магния в баковую смесь не оказывало отрицательного влияния на инсектицидную активность препарата, что свидетельствует о совместимости и отсутствии антагонистических взаимодействий между удобрением и инсектицидом при комбинированной обработке.

3. Доказано, что совместное применение листовой подкормки сульфатом магния в дозе 15–30 кг д.в/га и инсектицида на основе диметоата (1,5 л/га) способствовало существенному улучшению физиологического состояния растений овса. В фазу цветения наблюдалось увеличение площади листового аппарата до ~4,6 млн м²/га, а суммарное содержание хлорофилла в листьях превышало контрольные показатели на 35–50%. Данный эффект обусловлен улучшением минерального питания магнием – ключевым элементом, входящим в состав молекулы хлорофилла и необходимым для эффективного фотосинтеза. Усиление фотосинтетической активности и обеспечение растений магнием и серой обеспечивали более стабильное онтогенетическое развитие овса при варьирующихся гидротермических условиях в разные годы исследований.

4. Выявлено, что совместное применение сульфата магния и инсектицида диметоата позволило максимально реализовать продуктивный потенциал овса за счёт комплексного воздействия на минеральное питание, фотосинтез и защиту растений от вредителей. Использование предложенной агротехнической схемы (некорневая подкормка MgSO₄ в дозах 15–30 кг д.в/га + инсектицид 1,5 л/га) обеспечило статистически значимый прирост урожайности овса в среднем на 8,5–9,5 ц/га относительно контроля, что соответствует увеличению урожайности на 53–75%. По сравнению с фоновыми вариантами опытов урожайность была выше на 4,2–5,2 ц/га, что свидетельствует о высокой эффективности интегрированного подхода к питанию и защите растений.

5. Установлено, что при некорневой подкормке сульфатом магния в зерне овса отмечено повышение содержания общего белка до 13–14% (относительно 11–12% в контроле), а также улучшение аминокислотного профиля за счёт увеличения концентрации незаменимых аминокислот – лизина и метионина. Данные изменения свидетельствуют о более полном обеспечении растений макро- и

микроэлементами в период формирования зерна и снижении стрессовых факторов. Магний, являясь коферментом ферментов синтеза белка, и сера, входящая в состав серосодержащих аминокислот, обусловили повышение белковости и улучшение качества протеина зерна, что имеет важное значение для пищевой ценности и технологических свойств овса.

6. Показана зависимость динамики распада инсектицида диметоата в растениях овса как от гидротермических условий, а так же выявлено, что добавление сульфата магния способствует ускорению биодеградации препарата. Анализ растительных образцов показал, что через 30 суток после обработки остаточные количества диметоата и его основного метаболита ометоата в зеленой массе не обнаруживались. К моменту уборки урожая остаточные количества действующего вещества и метаболита в зерне и соломе отсутствовали. Таким образом, применение инсектицида в рекомендованные сроки совместно с магниевой подкормкой обеспечивает отсутствие остаточных количеств пестицида в продукции, что повышает экологическую безопасность и качество зерна, особенно важное для детского и диетического питания.

7. Обоснованы технологические регламенты применения сульфата магния и инсектицида диметоата на овсе. Рекомендовано совместное внесение препаратов в конце фазы кущения (перед выходом в трубку), что обеспечивает максимальную эффективность воздействия на физиологические процессы растения и защиту от вредителей. Оптимальная рабочая доза составляет $MgSO_4$ 15 кг д.в/га и диметоат 1,5 л/га. При подтверждённом дефиците магния и серы в почве либо при высоком урожайном потенциале культуры рекомендуется увеличить дозу $MgSO_4$ до 30 кг д.в/га для полного удовлетворения потребности растений в этих элементах.

8. На основе учёта затрат и доходов показано, что интеграция листовой подкормки сульфатом магния и инсектицидной обработки в один технологический приём повышает рентабельность возделывания овса. За счёт увеличения валового сбора и улучшения качества зерна снижаются удельные затраты на единицу продукции, что ведёт к росту чистой прибыли на 20-28% (до 23 416–23 505 руб/га). Экономическая модель подтверждает преимущество баковой смеси по сравнению с раздельным внесением препаратов, обусловленное сокращением количества проходов техники, экономией топлива и снижением трудозатрат. Оптимальная экономическая отдача достигается при применении $MgSO_4$ в дозе 15 кг д.в/га совместно с диметоатом (1,5 л/га) – рост рентабельности до 88% и снижение себестоимости зерна до 1 173 руб./ц (на 5% по сравнению с фоновым вариантом).

9. Совместное применение минеральных удобрений и средств защиты растений способствует снижению антропогенной нагрузки на агроценоз за счёт оптимизации технологического процесса, уменьшения числа механических обработок почвы и сокращения количества проходов сельскохозяйственной техники по полю. Это положительно влияет на сохранность почвенного покрова, уменьшает эрозионные процессы и способствует поддержанию биологического разнообразия агроэкосистемы, что является важным фактором устойчивого земледелия.

Рекомендации производству

Практическая рекомендация для сельхозтоваропроизводителей заключается в том, что совместное применение сульфата магния и диметоата является экономически оправданным и должно рассматриваться как элемент ресурсосберегающей технологии, позволяющей повысить конкурентоспособность отечественного зернопроизводства как на внутреннем, так и на внешнем рынке. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и внедрении адаптивных систем возделывания овса в условиях дерново-подзолистых почв Смоленской области и других регионов Нечернозёмной зоны.

Итоговая рекомендация: листовые подкормки сульфатом магния в дозе 15 кг д.в./га следует применять на фоне нормальных, агрохимически обоснованных доз NPK и в сочетании с инсектицидной защитой по порогу вредоносности. Такая схема повышает урожайность и стабильность качества зерна, улучшает экономические показатели производства и повышает экологическую устойчивость агроценоза за счёт более эффективного использования элементов питания и снижения риска потерь от комплекса вредителей.

Перспективы дальнейших исследований и внедрения полученных результатов

Настоящее исследование подтвердило практическую значимость и технологическую применимость предложенной комбинации $MgSO_4$ и диметоата, однако для её устойчивого внедрения и масштабирования требуется дальнейшая апробация в более широком пространственно-временном диапазоне, а также углублённое изучение механизмов взаимодействия компонентов баковой смеси и их последствий для агроэкосистемы.

Для дальнейшего проведения научных исследований рекомендуется проведение многолетних региональных испытаний на других типах дерново-подзолистых почв для уточнения доз и сроков, изучение взаимодействия $MgSO_4$ с иными классами инсектицидов и адъювантов, а так же оценка влияния предложенной технологии на энтомофагов и почвенную биоту в рамках интегрированной защиты растений.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Панова П.Ю. Влияние совместного применения сульфата магния и диметоата на урожайность овса / Аканова Н. И., Гаспарян И. Н., Панова П. Ю. // Плодородие. – 2025. – № 3. – С. 16–20.
2. Панова П.Ю. Повышение биологической ценности белка и улучшение качественных показателей зерна голозерного овса при совместной некорневой обработке сульфатом магния и диметоатом / Гаспарян И. Н., Панова П. Ю., Гаспарян Ш.В. // Плодородие. – 2025. – № 6. – С. 39-42.
3. Панова П.Ю. Влияние листовой подкормки сульфатом магния на урожай и качественные показатели овса в условиях дерново-подзолистых почв Смоленской области/ Панова П.Ю., Гаспарян И.Н. // Агрохимический вестник. – 2026. – №1. – С. 25-29.

Публикации в других изданиях:

4. Панова П.Ю. Эффективность действия инсектицидов на основе диметоата при возделывании яровой пшеницы // Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста в агротехнологиях сельскохозяйственных культур: материалы 12-й научно-практической конференции «Сочи-2024». – Москва: ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2024. – С. 183-188. – ISBN 978-5-00147-670-2. – 332 с.
5. Панова П.Ю. Влияние совместного применения сульфата магния и диметоата на урожайность овса // Современные методы агрохимических и агроэкологических исследований, их применение в сельскохозяйственном производстве: материалы 58-й Всероссийской конференции с международным участием. – Москва: ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2024. – С. 114-117. – ISBN 978-5-9238-0277-1. – DOI: 10.26178/9368.2024.16.86.002. – 194 с.
6. Панова П.Ю. Динамика разрушения диметоата в растениях овса при совместном применении с сульфатом магния // Защита растений от вредных организмов: материалы XII международной научно-практической конференции (Краснодар, 16–20 июня 2025 г.). – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2025. – С. 313-315. – УДК 632.951.2.
7. Панова П.Ю. Экологические аспекты совместного применения инсектицида на основе диметоата и сульфата магния при возделывании овса в Нечерноземной зоне РФ // Вестник аграрной науки Узбекистана. – 2025. – № 3 (21/2). – С. 134-139.

Издание выполнено в редакционно-издательском отделе ВНИИА
Лицензия на издательскую деятельность ЛР 040919 от 07.10.98
Лицензия на полиграфическую деятельность ПЛД №53-468 от 13.08.99
Подписано в печать 27.02.2026 Формат 60х84/16
Усл.печ.л. 1,6 Тираж 100 экз. Заказ № 3
Почтовый адрес: 127434 Москва, ул. Прянишникова, д. 31-А
Тел. (499) 976-25-01 e-mail: pl@vniia-pr.ru