

Гоман Наталья Викторовна

**ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПИТАНИЕМ
ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ
ДИАГНОСТИКИ В ЛЕСОСТЕПИ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора сельскохозяйственных наук

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

Научный консультант: **Бобренко Игорь Александрович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Официальные оппоненты: **Еремин Дмитрий Иванович**, доктор биологических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве

Петрова Галина Васильевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный консультант АО «Щелково Агрохим»

Усенко Владимир Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», главный научный сотрудник лаборатории агротехнологий и агрохимии, заведующий центром по земледелию

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет», г. Пенза

Защита состоится «25» декабря 2024 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 99.2.117.03 на базе ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет» по адресу: 446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, д. 2. Тел.: 8 (846) 6346131.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет», на сайте университета <http://ssaa.ru> и на сайте ВАК Минобрнауки РФ <https://vak.minobrnauki.gov.ru>.

Автореферат разослан « »

2024 г.

Ученый секретарь



Троц Наталья Михайловна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Формирование стабильного экономически и экологически обоснованного урожая зависит от эффективности биохимических процессов в созревающем зерне злаковых культур, которые зависят от обеспеченности растений элементами минерального питания, их в доступной для растений форме в почве часто не хватает. Существенным фактором нарушения функционирования агроценозов является несбалансированное поступление в них макро- и микроэлементов. При этом снижается величина урожая и качество получаемой растениеводческой продукции. Химический состав и урожайность культурных растений зависит от плодородия почв и используемых удобрений. Поэтому для получения высоких и качественных урожаев зерновых культур требуется установление их связей и закономерностей в системе почва-растение и реакции вида растений (Сычев В.Г., Ефремов Е.Н., Романенков В.А., 2013).

Применение удобрений должно быть строго нормированным. Реализация этого принципа возможна лишь при наличии сведений по оптимальному содержанию и соотношению элементов питания в почве и растительной продукции, что позволяет управлять минеральным питанием с использованием методов почвенной и растительной диагностики (Бобренко И.А., 2004).

Для получения устойчивых урожаев высококачественного зерна необходимо оптимизировать условия минерального питания растений в течение вегетации с учетом физиологических особенностей растений, особенно в те фазы роста и развития, когда происходит заложение основных элементов продуктивности и формирование качественных показателей зерна. Для этого необходимо применения подкормок, в первую очередь азотных (Минеев В.Г. и др., 2017).

Наука и практика располагают обширным материалом, доказывающим, что при недостатке в почве доступных форм микроэлементов сельскохозяйственные культуры дают невысокие урожаи. Одними из основных таких элементов являются марганец, цинк и медь (Орлова Э.Д., 1968; Бобренко И.А., 2004; Битюцкий Н.П., 2005; Сычев В.Г. и др., 2008, 2009, 2015; Азаренко Ю.А., Красницкий В.М., Ермохин Ю.И., 2010; Азаренко Ю.А., 2020).

Для управления продукционными процессами растений нашли свое применение стимуляторы роста. Характерной особенностью большинства из них является избирательность действия не только на различные виды растений, но и на различные органы и ткани растительного организма. Стимуляторы роста в настоящее время являются важной частью технологий возделывания зерновых культур (Васин В.Г., Бурунов А. Н., Васин А. В., 2019; Исайчев В.А. и др., 2023).

Степень разработанности темы. Отдельные аспекты удобрения яровых и озимых зерновых культур на черноземных почвах юга Западной Сибири освещены в работах А.З. Ламбина (1948, 1957), А.Е. Кочергина (1965, 1980), Е.Д. Волкова (1968), Л.Ф. Карчевского (1969), Н.К. Болдырева (1961, 1972), Г.П. Гамзикова (1981, 2013), Н.Ф. Кочегаровой (1985, 1988), О.Т. Ермолаева (1990), И.Ф. Храмцова (1997), О.А. Шубина (2008), М.А. Ли (2009), Н.А. Воронковой и др. (2020), В.А. Волковой (2021) и др. Вопрос определения оптимальных доз удобрений, обеспечивающих высокие урожаи зерна в количественном и качественном отношении, имеет первостепенное значение. В связи с этим весьма актуальным является исследование закономерностей поведения макро- и микроэлементов в системе «почва - удобрение - растение», их влияния на величину, качество зерна и их прогноз на основе комплексной (почвенно-растительной) диагностики.

Ранее в регионе не изучалось применение азотных подкормок при различных технологиях их использования (однократное и двукратное применение в течение вегетации на различных фонах по обеспеченности минеральным питанием), формы применяемых N-удобрений. Работами различных ученых отмечается, что регуляторы роста способствуют улучшению минерального питания зерновых культур в различных климатических зонах. В тоже время на лугово-черноземных почвах в условиях юга Западной Сибири их использование изучено недостаточно.

В связи с этим данные исследования по управлению питанием зерновых культур и плодородием почв с помощью применения микроудобрений, азотных удобрений и регулятора роста с учетом установленных наиболее эффективных доз, нормативных агрохимических параметров комплексной диагностики дадут возможность оптимизировать питание растений с целью получения высокого и качественного урожая.

Цель исследований – разработать нормативные параметры для управления минеральным питанием растений зерновых культур на основе комплексной диагностики применением удобрений и стимулятора роста на черноземных почвах лесостепи Западной Сибири.

Задачи исследований:

- изучить действие микроудобрений на величину и качество урожая зерновых культур (пшеницы яровая и озимая, рожь озимая, тритикале озимое);
- установить оптимальные дозы Zn-удобрений в допосевное внесение и оптимальные дозы Zn-, Cu- и Mn-удобрений при обработке семян зерновых культур, оптимальные дозы хелатных форм Zn- и Cu-удобрений при применении в различные фазы роста яровой пшеницы;
- выявить связь между химическим составом почвы, дозами Zn-удобрений, величиной и качеством урожая зерновых культур;
- изучить действие некорневых азотных подкормок на величину и качество урожая зерна яровой пшеницы, сравнить применение форм N-удобрений при возделывании зерновых культур (пшеница яровая и ячмень яровой);
- установить влияние стимуляторов роста на величину и качество урожая зерновых культур (пшеница яровая и ячмень яровой) по различным предшественникам;
- изучить взаимосвязь макро- и микроэлементов при поступлении их в растения на разных этапах развития растений;
- разработать схемы управления питанием зерновых культур на основе установленных оптимальных уровней содержания и соотношения макро- и микроэлементов в растениях, нормативных агрохимических показателей потребности растений в элементах питания, их использования из почвы и удобрений, интенсивности действия единицы удобрений на химический состав почвы;
- дать оценку эффективности применения удобрений и регулятора роста.

Объект и предмет исследований. Объектами исследований являлись: почва лугово-черноземная, зерновые культуры (пшеница яровая, пшеница озимая, рожь озимая, тритикале озимое, ячмень), минеральные удобрения (азотные, фосфорные, калийные, цинковые, медные, марганцевые), регулятор роста растений Зеребра Агро. Предметом является исследование по совершенствованию системы управления питанием зерновых культур на основе комплексной диагностики в 2007-2021 гг.

Научная новизна исследований. В условиях лесостепи Западной Сибири усовершенствованы схемы систем питания зерновых культур. Выявлено действие удобрений на величину и качество урожая зерна; установлены оптимальные уровни содержания цинка в черноземных почвах; определены уровни содержания и соотношения N, P, K, Mn, Zn, Cu в растениях (пшеница яровая и озимая, рожь озимая, тритикале озимое) в зависимости от вида, фазы развития; установлена взаимосвязь элементов при поступлении их в растения и урожайностью.

Исследовано применение хелатных форм Zn- и Cu-удобрений при различных способах применения (обработка семян и листовая подкормка в различные фазы), их влияние на качество зерна урожая яровой пшеницы.

Установлены оптимальные способы применения некорневых азотных подкормок на различных фонах минерального питания яровой пшеницы, проведена сравнительная оценка эффективности различных форм N-удобрений в основное внесение и подкормку, определены лучшие дозы стимулятора роста Зеребра Агро с учетом предшественника при возделывании яровых пшеницы и ячменя.

Установлены математические зависимости действия удобрений на концентрацию и соотношение N, P, K, Mn, Zn, Cu в растениях, на основе которых предложены нормативные

агрохимические параметры, позволяющие создать систему управления минеральным питанием растений на основе комплексной диагностики зерновых культур.

Теоретическая и практическая значимость работы. Выявленные закономерности в системе «почва-удобрение-растение» дают возможность оптимизировать удобрением поступление макро- и микроэлементов в растения зерновых культур (пшеница яровая и озимая, рожь озимая, тритикале озимое), создавая сбалансированное питание с помощью использования установленных нормативных параметров комплексной диагностики, и тем самым управлять эффективным плодородием почвы, формированием величины и качества урожая зерновых культур. Теоретической основой для управления питанием растений с учетом потребности культур, уровня плодородия почвы являются установленные количественные связи основных агрохимических показателей почвы с видами и дозами удобрений, их эффективностью и урожайностью.

Установлены наиболее эффективные дозы применения стимулятора роста с учетом предшественника, использование которых при возделывании яровой пшеницы и ячменя оптимизирует развитие растений.

Комплексный метод управления минеральным питанием зерновых культур используется при применении удобрений в качестве допосевного (основного) и послепосевного (подкормки). Установленные параметры минерального питания растений позволяют оптимизировать питание применением расчетных доз удобрений для получения высоких агрономически и экономически обоснованных урожаев зерна в условиях юга лесостепи Западной Сибири.

Разработаны практические рекомендации по управлению минеральным питанием зерновых культур на основе разработанных нормативных показателей комплексной диагностики, обеспечивающие оптимальные условия при производстве зерна применением макро- и микроудобрений, стимулятора роста растений.

Методология и методы исследований. Методология исследований основана на изучении научной литературы отечественных и зарубежных авторов.

Методы исследований: теоретические – обработка результатов исследований методами статистического, корреляционного и регрессионного анализов; эмпирические – полевые опыты, графическое и табличное представление результатов.

Основные положения, выносимые на защиту:

– применение Zn-удобрений обеспечивает увеличение урожайности зерновых культур в оптимальных дозах в основное внесение яровой пшеницы до 22,2 %, озимых пшеницы – до 32,8 %, ржи – 11,85 %, тритикале – 18,3 %; при обработке семян, соответственно, до 9,8 %; 31,3; 13,5 и 6,8. Способы применения при этом по эффективности равнозначны;

– использование Zn-, Cu- и Mn-удобрений в оптимальных дозах увеличивает урожайность зерна при обработке семян яровой пшеницы до 24,5 %, озимых пшеницы – 21,3 %, ржи – 12,8 %, тритикале – 11,8 %;

– применение Zn- и Cu-удобрений в форме хелатов позволяет увеличить урожайность яровой пшеницы до 17,3 % при обработке семян, 16,8 % при листовой подкормке в фазу кущения и до 9,1 % при листовой подкормке в фазу выхода в трубку;

– некорневые азотные подкормки при возделывании районированных сортов яровой пшеницы обеспечивают увеличение урожайности зерна до 6,25-0,8 %, формы N-удобрений (карбамид, аммиачная селитра, КАС) имеют одинаковую агрономическую эффективность при допосевном и послепосевном использовании под яровые пшеницу и ячмень;

– стимулятор роста Зеребра Агро при применении некорневой подкормкой в фазу кущения яровой пшеницы и ячменя первой культурой после пара повышает урожайность до 9,6 и 18,0 %, второй культурой – до 8,2 и 18,7 %, соответственно;

– установленные зависимости позволяют прогнозировать качество зерна по химическому составу растений в ранние фазы развития;

– использование схемы управления питанием зерновых культур на основе агрохимических параметров комплексной диагностики питания (оптимальное содержание подвижных

элементов в почве, затраты элементов питания на создание 1 тонны урожая, коэффициенты интенсивности действия единицы удобрения на содержание элементов почвы, коэффициенты использования элементов из почвы и удобрений, величина азота текущей нитрификации, оптимальное содержание и соотношение элементов в растениях, минимальная доза потребления) и апробированные формулы расчета обеспечивают допосевное и послепосевное внесение удобрений в оптимальных дозах.

Достоверность результатов. Обоснованность, достоверность логических выводов и рекомендаций производству определена точностью аналитических работ, подтверждена математической обработкой данных методами регрессионного и дисперсионного анализов, публикацией 27 основных статей в рецензируемых изданиях, 7 статей – в изданиях, относящихся к международным базам данных, их апробацией на конференциях, подтверждена актами внедрения.

Апробация исследований. Результаты исследований были представлены докладами и обсуждены на Национальных научно-практических конференциях: «Материально-техническое обеспечение АПК России: импортозамещение, перспективы и опыт корпорации «Енисей» (Омск, 2014), «Экологические проблемы региона и пути их решения» (Омск, 2016), «Агрометеорология и сельское хозяйство: история, значение и перспективы» (Омск, 2016), «Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий» (Новосибирск, 2017), «Перспективы производства продуктов питания нового поколения» (Омск, 2017); I региональной молодых ученых и обучающихся посвященной 100-летию Омского ГАУ «Проблемы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов» (Омск, 2018), «Современные достижения селекции растений- производству» (Ижевск, 2021), посвященной 100-летию Кубанского ГАУ «Стратегии и векторы развития АПК» (Краснодар, 2021), «Рациональное использование природных ресурсов: теория, практика и региональные проблемы» (Омск, 2022), «Инновации и современные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции» (Курган, 2022); Международных конференциях: посвященной 45-летию факультета агрохимии, почвоведения и экологии Омского ГАУ (Омск, 2009), «Диагностика и управление минеральным питанием растений» (Омск, 2010), «Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий» (Горно-Алтайск, 2011), «Инновационные разработки молодых учёных – развитию агропромышленного комплекса» (Ставрополь, 2013, 2014), «Научные перспективы XXI века: достижения и перспективы нового столетия (Новосибирск, 2014), посвященной 60-летию освоения целинных земель «Исторические аспекты, состояние и перспективы развития земледелия в Сибири и Казахстане», «Всемирный день охраны окружающей среды» (Омск, 2017-2022), посвященной 100-летию кафедры растениеводства, кормопроизводства и агротехнологий (Воронеж, 2019), «Advances in Social Science, Education and Humanities Research. The Fifth Technological Order: Prospects for the Development and Modernization of the Russian Agro-Industrial Sector» (Омск, 2019), «Современное состояние и проблемы рационального использования почв Сибири» (Омск, 2020), «Актуальные проблемы научного обеспечения земледелия Западной Сибири» (Омск, 2020), «Перспективные технологии в аграрном производстве: человек, «цифра», окружающая среда (AgroProd 2021)» (Омск). Результаты научных исследований внедрены в хозяйствах ООО «РУСКОМ-Агро» (2016, 2017, 2019, 2022, 2023), ООО «ЭйтиТрейд» (2020), ООО «Молочный завод «Кормиловский» (2019), Омской области на площади 21809 га, используются в учебном процессе.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 420 страницах, состоит из введения, 8 глав, выводов, предложений производству, списка литературы. Содержит 87 таблиц, 23 рисунка и 78 приложений. Список литературы включает 421 наименование, из них 53 – иностранных авторов.

Личный вклад. В основу работы положены собственные исследования автора, принимала непосредственное участие в составлении методики исследований, проведении опытов, наблюдениях в полевых и лабораторных условиях, обобщении и анализе экспериментальных данных, написании диссертации.

Автор выражает искреннюю благодарность: за неоценимую помощь доктору сельскохозяйственных наук, профессору Игорю Александровичу Бобренко; за помощь в исследованиях кандидатам сельскохозяйственных наук, доцентам В.П. Кормину, В.И. Поповой, Е.П. Болдышевой, В.В. Поповой, аспиранту М.В. Ивановой, лаборантам и студентам ФГБОУ ВО Омский ГАУ; доктору сельскохозяйственных наук, профессору, член-корреспонденту РАН Р.И. Рутцу и кандидату сельскохозяйственных наук А.Н. Ковтуненко (ФГБНУ «Омский АНЦ»), сотрудникам ФГБУ «ЦАС «Омский».

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1 Анализ и состояние изученности вопроса (обзор литературы)

В литературном обзоре по теме диссертации отмечается актуальность информации об оптимальном содержании и уравновешенном балансе в почве макро- и микроэлементов (почвенная диагностика), содержании элементов в надземной массе (растительная диагностика), апробированных методах расчета доз удобрений для допосевного и послепосевного применения. Для управления питанием зерновых культур необходимо использование комплексной почвенно-растительной диагностики на основе установленных агрохимических параметров с учетом почвенно-климатических условий, биологических особенностей культур, эффективных способов применения удобрений.

Анализ отечественной и зарубежной литературы свидетельствует о необходимости разработки нормативных параметров для оптимизации системы управления минеральным питанием растений зерновых культур на основе комплексной диагностики применением удобрений и стимулятора роста на черноземных почвах лесостепи Западной Сибири.

2 Объекты, условия и методика проведения исследований

Полевые опыты проведены на полях ФГБНУ «Омский АНЦ», учебно-опытного хозяйства ФГБОУ ВО Омский ГАУ в течение 2007-2021 гг.

Объектами исследований являлись: почва лугово-черноземная, зерновые культуры (пшеницы яровая и озимая, рожь озимая, тритикале озимое, ячмень), минеральные удобрения (N, P, K, Mn, Zn, Cu), регулятор роста Зеребра Агро.

Применение удобрений осуществлялось различными способами: допосевное (основное) внесение, припосевное, послепосевное (некорневая листовая подкормка), обработка семян перед посевом (опудривание, намачивание).

Изучались следующие сорта: яровая мягкая пшеница – Дуэт, Памяти Азиева, Элемент 22, яровой ячмень – Подарок Сибири, озимая мягкая пшеница – Омская 4, озимая рожь – Сибирь 3, озимое тритикале – Сибирский (на момент исследований все сорта районированы по Западно-Сибирскому региону).

Почвы – лугово-черноземные. Агрохимические показатели почв опытных участков: на полях ФГБНУ «Омский АНЦ» (опыты 1-10, 13-15) гидролитическая кислотность – 6,5-7,1, N-NO₃ – 14,1-26,8, P₂O₅ – 73,9-253, K₂O – 147-335, Zn – 0,51-0,64, Cu – 0,06-0,15 мг/кг почвы; на полях учебно-опытного поля Омского ГАУ (опыты 11,12,16,17) гидролитическая кислотность – 6,5-7,1, N-NO₃ – 6,8-21,8, P₂O₅ – 62-133, K₂O – 210-594 мг/кг почвы. Обеспеченность опытных участков цинком и медью – низкая, марганцем – средняя.

Метеорологические условия характеризовались типичным для зоны непостоянством. Сумма активных температур составляет 1850-2345 °С, среднегодовая сумма осадков – 286-783 мм, сумма осадков за вегетационный период 171-258 мм. По метеорологическим условиям 2008, 2010, 2012, 2014, 2017, 2020, 2021 гг. были более жаркими и засушливыми, а 2009, 2011, 2013, 2015, 2018, 2019 гг. более холодными и влажными.

Опыты 1-4. С целью изучения различных способов применения Zn-удобрений на продуктивность зерновых культур были проведены опыты:

в 2007-2011 гг. опыт 1 – озимая пшеница, опыт 2 – озимая рожь и опыт 3 – озимое тритикале; схема опытов: 1.N₃₀ (фон 1), 2.Zn₄, 3.Zn₈, 4.Zn₁₂*, 5.N₃₀P₆₀ (фон 2), 6.Zn₄,

7.Zn₈, 8.Zn₁₂, 9.Zn_{0,5*}, 10.Zn_{1*}, 11.Zn_{1,5*}. Дозы Zn₁₂, Zn_{1,5}, Cu_{1,5*}, Mn_{1,5*} были введены в схему в 2009 г. для изучения повышенных доз. * – обработка семян кг соли на 1 тонну семян.

– в 2009-2013 гг. яровая пшеница, опыт 4. Схема опыта: 1. N₆₀ (фон 1), 2. Zn₄, 3. Zn₈, 4.Zn_{12*}, 5. N₆₀P₆₀ (фон 2), 6. Zn₄, 7.Zn₈, 8. Zn₁₂, 9. Zn_{0,5*}, 10. Zn_{1*}, 11. Zn_{1,5*}.

Опыты 5-8. Для изучения влияния предпосевной обработки семян солями микроэлементов на продуктивность зерновых культур были проведены опыты:

– в 2007-2011 гг. опыт 5 – озимая пшеница, опыт 6 – озимая рожь и опыт 7 – озимое тритикале. Схема опытов: 1. N₃₀P₆₀K₆₀ (фон), 2. Zn_{0,5}, 3. Zn_{1,0}, 4. Zn_{1,5}, 5. Cu_{0,5}, 6. Cu_{1,0}, 7. Cu_{1,5}, 8. Mn_{0,5}, 9. Mn_{1,0}, 10. Mn_{1,5}, 11. Zn_{0,5}Cu_{0,5}, 12. Zn_{0,5}Mn_{0,5}, 13. Cu_{0,5}Mn_{0,5}, 14.Zn_{0,5}Cu_{0,5}Mn_{0,5}, 15.Zn_{1,5}Cu_{0,5}Mn_{0,5}, 16.Zn_{0,5}Cu_{1,0}Mn_{0,5}, 17.Zn_{0,5}Cu_{0,5}Mn_{1,0}, 18.Zn_{1,5}Cu_{1,0}Mn_{1,0}.

Для уточнения эффективности совместного применения микроудобрений в 2009-2013 гг. при возделывании яровой пшеницы проведен полевой опыт 8. Схема: 1. N₆₀P₆₀K₆₀ (фон), 2. Zn_{1,0}Cu_{0,5}Mn_{0,5}, 3. Zn_{0,5}Cu_{1,0}Mn_{0,5}, 4. Zn_{0,5}Cu_{0,5}Mn_{1,0}, 5. Zn_{1,5}Cu_{1,0}Mn_{1,0}.

Опыты 9, 10. Для изучения влияния расчетных доз Zn-удобрений в допосевное внесение на продуктивность зерновых культур были заложены производственные опыты в 2007-2011 гг. по схеме: 1. N₃₀P₆₀ (фон), 2. Zn_{3,4}(ОУ), 3. Zn_{6,6}(ОУ), 4. Zn_{11,3}(ПО). Цинковые удобрения применяли в дозах, определенных расчетными методами.

Опыты с 1 по 10 проводились с использованием следующих удобрений: аммиачная селитра NH₄NO₃ – 34 %, двойной суперфосфат Ca(H₂PO₄)₂ · H₂O, с содержанием P₂O₅ – 46 %, хлористый калий KCl – 60 %, сульфаты цинка (Zn – 22,5 %), меди (Cu – 25,5 %) и марганца (Mn – 22,8 %). Допосевное внесение и заделка фосфорных (двойной суперфосфат), калийных (KCl) и микроудобрений (сульфаты Zn, Cu, Mn) осуществлялось перед посевом. Семена обрабатывали сульфатами Zn, Cu, Mn. Азотные удобрения (NH₄NO₃) под озимые культуры вносили в фазу весеннего кушения, под яровую пшеницу – до посева.

Расположение делянок систематическое. Площадь делянок – 16 м²; учётная площадь – 15 м². Предшественник – кулисный пар.

Опыты 11, 12. Для изучения влияния стимулятора роста Зеребра Агро на урожайность зерновых культур (яровая пшеница, яровой ячмень) и качество зерна в 2014-2016 гг. были заложены опыты по схеме: 1.Контроль; 2.50 мл/га; 3.100 мл/га; 4.150 мл/га; 5.200 мл/га.

Полевые опыты 11,12 были проведены с яровой пшеницей и яровым ячменем. Площадь делянок – 50 м²; учётная площадь – 40 м². Обработка регулятором роста Зеребра Агро проводилась в фазу кушения. Предшественники – пар и первая пшеница после пара.

Опыты 13-15. Для изучения влияния доз, сочетаний и способов применения хелатных микроудобрений (цинковых и медных) на продуктивность яровой пшеницы в 2017-2019 гг. проведен полевой опыт по двухфакторной схеме:

Фактор А – доза удобрений:

1.Контроль, 6.Cu₂₀, 11.Zn₁₀Cu₂₀,
2.Zn₁₀, 7.Cu₃₀, 12.Zn₁₀Cu₃₀,
3.Zn₂₀, 8.Zn₁₀Cu₁₀, 13.Zn₂₀Cu₃₀,
4.Zn₃₀, 9.Zn₂₀Cu₁₀, 14. Zn₂₀Cu₂₀,
5.Cu₁₀, 10.Zn₃₀Cu₁₀, 15. Zn₃₀Cu₃₀

Фактор В – способы применения:

1. Предпосевная обработка семян (г/100 кг);
2. Листовая подкормка в фазу кушения (г/га);
3. Листовая подкормка в фазу выхода в трубку (г/га)

Дозы микроэлементов при обработке семян – в граммах действующего вещества на 100 кг семян, при листовых подкормках – в граммах действующего вещества на 1

гектар. Использовались хелаты цинка (Zn – 80 г/л) и меди (Cu – 60 г/л) на основе оксиэтилидендифосфоновой кислоты. Обработка посевов проводилась в фазы кушения и выхода в трубку. Расположение делянок систематическое. Повторение вариантов трехкратное. Общая площадь делянки 16 м², учетная 15 м². Предшественник – чистый пар.

Опыт 16. Для изучения влияния листовой подкормки азотными удобрениями на продуктивность яровой пшеницы в 2018-2020 гг. проведен опыт по схеме: 1. Без удобрений (контроль); 2. N₁₀ - подкормка в фазу кушения; 3. N₃₀ - подкормка в фазу выхода в трубку; 4. N₁₀ - подкормка в фазу кушения + N₃₀ - подкормка в фазу выхода в трубку; 5. NP (расчетный фон на 6 т/га); 6. фон + N₁₀ - подкормка в фазу кушения; 7. фон + N₃₀ - подкормка в фазу выхода в трубку; 8. фон + N₁₀ - подкормка в фазу кушения + N₃₀ - подкормка в фазу выхода в трубку. Вносились следующие дозы на расчетном фоне по годам: 2018 – N₁₃₅P₇₅; 2019 – N₁₂₈P₉₅; 2020 – N₁₅₅P₁₃₂. Общая площадь делянки 20 м², учетная 16 м². Предшественник – яровая пшеница по чистому пару. Минеральные удобрения вносили весной перед посевом под предпосевную культивацию в форме карбамида и двойного суперфосфата вручную, подкормку проводили 10-30 % раствором карбамида (220 л/га рабочего раствора).

Опыт 17. Для изучения эффективности различных форм и способов внесения N-удобрений при возделывании яровой пшеницы и ярового ячменя заложен двухфакторный опыт:

Фактор А – припосевное внесение удобрений: Фактор В – листовая подкормка:

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1. Без удобрений (контроль); | 1. Без подкормки; |
| 2. N ₃₀ (аммиачная селитра) | 2. N ₃₀ (карбамид) |
| 3. N ₃₀ (карбамид) | 3. N ₃₀ (КАС) |
| 4. N ₃₀ (КАС) | |

Общая площадь делянки 16 м², учетная – 15 м². Минеральные удобрения вносили весной перед посевом под предпосевную культивацию в форме аммиачной селитры, карбамида и карбидно-аммиачной смеси вручную, подкормку проводили 10-30 % раствором – 220 л/га рабочего раствора. Повторность трехкратная.

Химические анализы почв и растений проводили на кафедре агрохимии и почвоведения Омского ГАУ, в лабораториях Омского ГАУ, в ФГБУ «ЦАС «Омский», ФГБНУ «Омский АНЦ» общепринятыми в агрохимии и почвоведении методами (Пискунов А.С., 2004; Кидин В.В. и др., 2008; Новицкий М.В. и др., 2009; Самофалова И.А., Лобанова Е.С., 2021).

В почвенных пробах определяли: гумус – по Тюрину в модификации Симаковой, рН почвы – потенциометрическим методом; ЕКО – по Бобко и Аскинази; плотность твердой фазы – пикнометрическим методом; нитратный азот – по Грандваль-Ляжу; подвижный фосфор и калий – по Чирикову.

Гигроскопическую влагу определяли методом высушивания в сушильном шкафу при температуре 105±2⁰С в растениях и в почве. Сжигание растительных навесок проводили методом мокрого озоления по Пиневичу; общий азот в полученном растворе определяли по Кьельдалю; фосфор по Дениже; калий – на пламенном фотометре. Определение содержания микроэлементов в растениях и почве проводили атомно-абсорбционным методом по методу Крупского и Александровой (ГОСТ ZnP 50686-94, ГОСТ CuP 50683-94, ГОСТ MnP 50685-94).

Оценка посевных качеств семян проводилась в %; массы 1000 семян, в г; чистоты, в %; энергии прорастания и лабораторной всхожести, в % (ГОСТы, соответственно, 12041-82, 12042-80, 12037-81, 12038-84). Проводили определение: содержания белка зерне, стекловидности зерна, клейковины, аминокислот (ГОСТы 10846-91, 10987-79,

27839-2013, Р 55569-2013). Концентрацию аминокислот определяли методом капиллярного электрофореза на приборе «Капель 105».

Результаты исследований подвергнуты математической обработке (Доспехов Б.А., 1985). Согласно рекомендациям (Минеев В.Г. и др., 2017) рассчитывалась агроэнергетическая и экономическая эффективность удобрения.

3 Применение микроудобрений при возделывании яровой пшеницы

Допосевное внесение микроудобрений оказало значительное влияние на урожайность зерна как на фоне N₆₀, так и на фоне N₆₀P₆₀. Наибольшая прибавка урожая зерна пшеницы 0,54 т/га сформировалась при применении дозы Zn 8 кг/га на фоне N₆₀. При обработке семян урожайность яровой пшеницы на фоне N₆₀P₆₀ изменялась от 2,76 до 3,09 т/га. Максимальная прибавка 0,28 т/га от дозы 0,5 кг/т практически такая же, как максимальная 0,30 т/га при применении до посева Zn₈. Внесение макроудобрений (N₆₀, N₆₀P₆₀) совместно с Zn обеспечило существенное повышение урожайности яровой пшеницы (табл. 1).

Таблица 1 – Урожайность зерна яровой пшеницы при применении Zn-удобрений (2009-2011 гг.)

Доза удобрения	Урожайность по годам, т/га				± к фону	
	2009	2010	2011	средняя	т/га	%
N ₆₀ – фон 1	1,53	2,03	3,70	2,42	-	-
Zn ₄	1,90	2,44	3,89	2,74	0,32	13,4
Zn ₈	2,06	2,70	4,11	2,96	0,54	22,2
Zn ₁₂	2,12	2,71	3,89	2,91	0,49	20,3
N ₆₀ P ₆₀ – фон 2	2,01	2,41	4,01	2,81	0,39	16,1
Zn ₄	2,15	2,59	4,10	2,95	0,14	4,9
Zn ₈	2,40	3,01	3,93	3,11	0,30	10,8
Zn ₁₂	2,37	2,98	3,62	2,99	0,18	6,4
Zn _{0,5} *	2,38	2,70	4,18	3,09	0,28	9,8
Zn _{1,0} *	2,24	2,68	3,98	2,97	0,16	5,6
Zn _{1,5} *	2,15	2,33	3,81	2,76	-0,05	-
HCP _{0,5}	0,12	0,11	0,13			

* – обработка семян, кг/т

При обработке семян Zn наиболее эффективна доза 1,5 кг/т, по отношению к фону N₆₀P₆₀K₆₀ прибавка составила 0,57 т/га или 20 %; при обработке Cu – максимальная урожайность была получена при дозе 1,0 кг/т и составила 2,81 т/га, что на 19,1 % выше фона; при обработке Mn наиболее эффективным являлось применение Mn_{1,0} прибавка составила 15,6 %; при совместном применении максимальная урожайность 3,01 т/га, прибавка – 0,74 т/га (24,5 %) при обработке Zn_{0,5}Cu_{0,5}Mn_{0,5} (табл. 2).

Таблица 2 – Урожайность зерна яровой пшеницы при обработке семян микроэлементами (2009-2011 гг.)

Доза удобрения	Урожайность по годам, т/га				± к фону	
	2009	2010	2011	средняя	т/га	%
1	2	3	4	5	6	7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	1,72	2,80	2,30	2,27	-	-
Zn _{0,5}	2,03	2,89	2,68	2,53	0,26	10,4
Zn _{1,0}	2,06	2,86	2,59	2,50	0,23	9,30
Zn _{1,5}	2,41	3,24	2,86	2,84	0,57	20,0
Cu _{0,5}	2,00	3,12	2,86	2,66	0,39	14,7

1	2	3	4	5	6	7
Cu _{1,0}	2,29	3,11	3,02	2,81	0,54	19,1
Cu _{1,5}	2,20	3,18	2,38	2,59	0,32	12,2
Mn _{0,5}	2,28	3,22	2,35	2,62	0,35	13,2
Mn _{1,0}	2,42	2,85	2,80	2,69	0,42	15,6
Mn _{1,5}	2,28	3,12	2,42	2,61	0,34	12,9
Zn _{0,5} Cu _{0,5}	2,17	2,84	2,49	2,50	0,23	9,20
Zn _{0,5} Mn _{0,5}	1,78	2,96	2,42	2,39	0,12	4,90
Cu _{0,5} Mn _{0,5}	2,32	3,36	2,86	2,85	0,58	20,3
Zn _{0,5} Cu _{0,5} Mn _{0,5}	2,50	3,50	3,02	3,01	0,74	24,5
НСП ₀₅ , т/га	0,15	0,16	0,15			

При совместном применении Zn, Cu и Mn (табл. 3) эффективнее было применение Zn_{1,0}Cu_{0,5}Mn_{0,5}, получена урожайность зерна 2,97 т/га, прибавка 0,88 т/га (42,1 %). Не многим меньше оказались прибавки от Zn_{0,5}Cu_{0,5}Mn_{1,0} и Zn_{1,5}Cu_{1,0}Mn_{1,0} – 0,70 и 0,69 т/га соответственно.

Таблица 3 – Урожайность зерна яровой пшеницы при обработке семян микроудобрениями (2011-2013 гг.)

Доза удобрения	Урожайность по годам, т/га				± к фону	
	2011	2012	2013	средняя	т/га	%
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	1,70	2,23	2,35	2,09	-	-
Zn _{1,0} Cu _{0,5} Mn _{0,5}	2,90	2,94	3,06	2,97	0,88	42,1
Zn _{0,5} Cu _{1,0} Mn _{0,5}	2,04	2,56	2,68	2,43	0,34	16,3
Zn _{0,5} Cu _{0,5} Mn _{1,0}	2,58	2,82	2,96	2,79	0,70	33,5
Zn _{1,5} Cu _{1,0} Mn _{1,0}	2,36	2,93	3,04	2,78	0,69	33,0
НСП ₀₅	0,15	0,18	0,15			

Применение хелатной формы удобрения повышает усвояемость микроэлементов и соответственно увеличивает урожайность и повышает его качество. При обработке семян яровой пшеницы лучшей дозой хелатов Zn и Cu является 20 г/100 кг семян, при листовой подкормке в фазу кущения – 20 в фазу выхода в трубку – 10 г/га. При этом обработка семян и подкормка в фазу кущения хелатом Zn были более эффективными (получена наибольшая прибавка урожая), чем подкормка в фазу выхода в трубку. При применении Cu наибольшая продуктивность в опыте получена при подкормке в фазу кущения. При подкормке Cu в сочетании с Zn₁₀ урожайность зерна изменялась от 2,28 до 2,35 т/га, максимальная получена от Zn₁₀Cu₂₀. Применение 30 г/га Cu также не способствовало увеличению урожайности зерна (табл. 4).

Использование доз Zn повышало содержание азота в зерне при всех изучаемых технологиях и отражается уравнениями (1-3):

$$Y_1 = 2,31 + 0,056X, \quad r = 0,77 \quad (1)$$

$$Y_2 = 2,36 + 0,090X, \quad r = 0,79 \quad (2)$$

$$Y_3 = 2,35 + 0,013X, \quad r = 0,74 \quad (3)$$

где Y₁ – при обработке семян, Y₂ и Y₃ – при листовой подкормке в фазы кущения и выхода в трубку, %) от доз Zn (X; г/100 кг – обработка семян, г/га – подкормка).

1 г Zn удобрений при обработке семян повышает содержание азота в зерне на 0,056 %, и на 0,09 и 0,013 % при подкормках соответственно.

Таблица 4 – Урожайность зерна яровой пшеницы при применении хелатных Zn- и Cu-удобрений (среднее 2017-2019 гг.)

Доза удобрения	Предпосевная обработка семян, г/100 кг			Листовая подкормка, г/га					
	урожайность, т/га	± к контролю		урожайность, т/га	± к контролю		урожайность, т/га	± к контролю	
		т/га	%		т/га	%		т/га	%
Контроль	2,20	-	-	2,20	-	-	2,20	-	-
Zn ₁₀	2,28	0,08	3,6	2,30	0,10	4,5	2,23	0,03	1,4
Zn ₂₀	2,40	0,20	9,1	2,40	0,20	9,1	2,34	0,14	6,4
Zn ₃₀	2,35	0,15	6,8	2,43	0,23	10,5	2,33	0,13	5,9
Cu ₁₀	2,25	0,05	2,3	2,40	0,20	9,1	2,31	0,11	5,0
Cu ₂₀	2,34	0,14	6,4	2,37	0,17	7,7	2,36	0,16	7,3
Cu ₃₀	2,35	0,15	6,8	2,40	0,20	9,1	2,34	0,14	6,4
Zn ₁₀ Cu ₁₀	2,30	0,10	4,5	2,31	0,11	5,0	2,28	0,08	3,6
Zn ₂₀ Cu ₁₀	2,45	0,25	11,4	2,50	0,30	13,6	2,33	0,13	5,9
Zn ₃₀ Cu ₁₀	2,46	0,26	11,8	2,48	0,28	12,7	2,34	0,14	6,4
Zn ₁₀ Cu ₂₀	2,44	0,24	10,9	2,45	0,25	11,4	2,35	0,15	6,8
Zn ₁₀ Cu ₃₀	2,43	0,23	10,5	2,47	0,27	12,2	2,34	0,14	6,4
Zn ₂₀ Cu ₂₀	2,58	0,38	17,3	2,57	0,37	16,8	2,39	0,19	8,6
Zn ₂₀ Cu ₃₀	2,50	0,30	13,6	2,46	0,26	11,8	2,40	0,20	9,1
Zn ₃₀ Cu ₃₀	2,55	0,35	15,9	2,47	0,27	11,8	2,40	0,19	8,6

НСР₀₅: фактор А – доза удобрения – 0,11; фактор В – способ применения – 0,07; АВ – 0,16.

При применении Zn₁₀, Zn₂₀ и Zn₃₀ на фоне Cu₁₀ содержание азота в зерне повышалось при всех дозах Zn: то есть при лучшем обеспечении развития растений медью цинк в повышенной дозе так же влиял на содержание азота положительно. Соответствующие зависимости имеют вид (уравнения 4-6):

$$Y_1 = 2,46 + 0,058X, \quad r = 0,73 \quad (4)$$

$$Y_2 = 2,42 + 0,058X, \quad r = 0,76 \quad (5)$$

$$Y_3 = 2,33 + 0,035X, \quad r = 0,78 \quad (6)$$

При обработке семян хелатом Zn содержание Zn в растениях в основном увеличивается (кроме зерна); при этом в ранние фазы влияние сильнее, чем в поздние. При анализе содержания Cu в растениях установлено, что хелат Zn в основном повышает этот показатель, а хелат Cu повышает его только при низких дозах (Cu₁₀), увеличение доз Cu приводит к обратному эффекту. На содержание Zn хелат Cu также максимально влияет при минимальной дозе в ранние фазы. Содержание Zn в растениях при этом в основном увеличивается. Применение хелата Zn и Cu в основном способствовало увеличению марганца (табл. 5).

Таблица 5 – Схема действия Zn- и Cu-удобрений на концентрацию Zn, Cu и Mn в растениях яровой пшеницы в течении вегетации, (среднее 2017-2019 гг.)

Доза удобрения	Предпосевная обработка семян, г/100 кг				Листовая подкормка в фазу кущения, г/га			
	кущение	выход в трубку	колошение	полная спелость	выход в трубку	колошение	полная спелость	
1	2	3	4	5	6	7	8	
Цинк								
Zn ₁₀ Cu ₁₀	↑	→	↑	↑	↑	↑	↑	
Zn ₂₀ Cu ₁₀	→	↑	↑	↑	↑	↑	→	
Zn ₃₀ Cu ₁₀	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	
Zn ₁₀ Cu ₂₀	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	

1	2	3	4	5		6	7	8	
Zn ₁₀ Cu ₃₀	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓
Zn ₂₀ Cu ₂₀	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Zn ₂₀ Cu ₃₀	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓
Zn ₃₀ Cu ₃₀	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓
Медь									
Zn ₁₀ Cu ₁₀	↑	→	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Zn ₂₀ Cu ₁₀	↑	→	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↑
Zn ₃₀ Cu ₁₀	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Zn ₁₀ Cu ₂₀	↓	→	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↑
Zn ₁₀ Cu ₃₀	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↑
Zn ₂₀ Cu ₂₀	↑	↑	↓	↑	↑	↑	→	↑	↑
Zn ₂₀ Cu ₃₀	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↓	→	↑
Zn ₃₀ Cu ₃₀	↑	↑	↓	↑	↑	↑	→	↓	↑
Марганец									
Zn ₁₀ Cu ₁₀	↑	↑	→	↓	↓	↓	↑	↓	↑
Zn ₂₀ Cu ₁₀	↑	↑	→	↓	↓	↑	↑	↓	↑
Zn ₃₀ Cu ₁₀	↑	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↑
Zn ₁₀ Cu ₂₀	↑	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↑
Zn ₁₀ Cu ₃₀	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑
Zn ₂₀ Cu ₂₀	↑	↑	↑	↑	→	→	↑	↓	↑
Zn ₂₀ Cu ₃₀	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↑
Zn ₃₀ Cu ₃₀	↑	↑	↑	→	↓	↓	↑	↓	↑

* концентрация ↑ – увеличивается, ↓ – уменьшается, → – существенно не меняется.

Цинк преимущественно выноситься зерном, а медь – примерно поровну, марганец – соломой. Затраты микро- и макроэлементов на создание 1 т зерна с соответствующим количеством побочной продукции изменялись в зависимости от сочетания микроэлементов и способа применения (табл. 6).

Таблица 6 – Вынос макро-(кг/га) и микроэлементов (г/га) яровой пшеницей при применении Zn- и Cu-удобрений при обработке семян (среднее 2017-2019 гг.)

Доза удобрения	Вынос 1 т зерна с учетом соломы, кг (г)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu	Mn
Контроль	32,2	20,1	20,3	46,10	2,68	81,8
Zn ₁₀ Cu ₁₀	33,3	20,1	19,9	48,88	4,74	62,7
Zn ₂₀ Cu ₁₀	35,9	22,9	22,9	51,23	4,22	69,5
Zn ₃₀ Cu ₁₀	35,2	23,2	22,6	49,90	3,83	78,1
Zn ₁₀ Cu ₂₀	33,6	20,5	20,6	44,46	3,93	63,4
Zn ₁₀ Cu ₃₀	35,4	23,7	23,3	46,24	3,97	87,7
Zn ₂₀ Cu ₂₀	26,3	24,3	24,8	49,17	6,72	78,6
Zn ₂₀ Cu ₃₀	26,0	22,9	22,6	45,58	4,36	60,5
Zn ₃₀ Cu ₃₀	34,4	23,4	22,3	48,61	3,75	77,6

Отмечалось положительное влияние допосевого внесения Zn-удобрений на содержание белка и клейковины в зерне. Так, Zn₈ на фонах N₆₀ и N₆₀P₆₀ оно составило 35,1 и 34,7 %, а без Zn, соответственно, 31,0 и 34,3 % (табл. 7).

Таблица 7 – Качество урожая зерна яровой пшеницы при применении Zn-удобрений (среднее 2009-2011 гг.)

Доза удобрения	Белок,		Клейковина, %	Стекловидность, %	Натура, г/л
	содержание, %	сбор, т/га			
N ₆₀ – фон 1	15,2	0,37	31,0	50	772
Zn ₄	16,8	0,46	33,2	51	806
Zn ₈	17,2	0,51	34,7	50	806
Zn ₁₂	17,1	0,50	34,1	52	767
N ₆₀ P ₆₀ – фон 2	17,2	0,48	34,3	53	804
Zn ₄	17,1	0,50	34,6	50	802
Zn ₈	17,7	0,55	35,1	51	805
Zn ₁₂	17,7	0,53	35,0	51	786
Zn _{0,5} *	16,9	0,52	34,8	50	800
Zn _{1,0} *	16,6	0,49	35,2	51	809
Zn _{1,5} *	16,1	0,44	34,5	50	806
HCP ₀₅	0,42	0,03	0,46	1,9	15,2

* – обработка семян кг соли на 1 тонну семян

При обработке семян Zn, Cu, Mn и совместно на фоне N₆₀P₆₀K₆₀ (рис. 1) наиболее высокое содержание белка получено в вариантах с применением Zn_{1,0} и Cu_{1,5} и составляет соответственно 20,3 и 21,2 %, в контроле – 18,7 %. Содержание клейковины в зерне было минимальное в вариантах при совместном применении Zn и Mn в дозе 0,50 кг/т (35,3 %) и при применении Zn, Cu и Mn в дозе 0,50 кг/т (35,8 %). Наиболее благоприятное действие на качество зерна оказала обработка семян комплексом Zn_{1,5}Cu_{1,0}Mn_{1,0}.

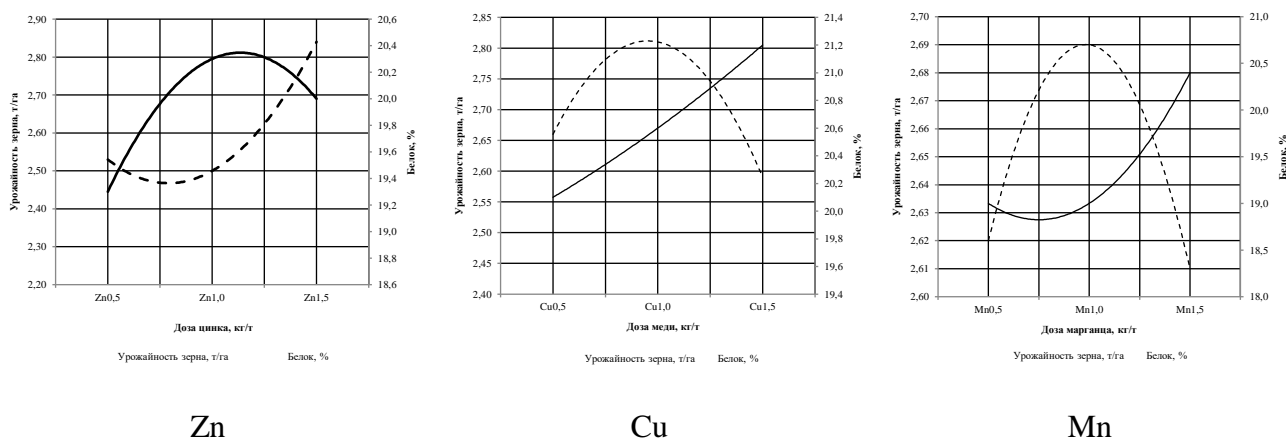


Рисунок 1 – Влияние доз микроэлемента на урожайность и содержание белка на фоне N₆₀P₆₀K₆₀ (среднее 2009-2011 гг.)

Применение хелатов Zn и Cu различными способами положительно повлияли на качество зерна (табл. 8). Максимальные показатели содержания белка и клейковины получены при листовой подкормке в фазу кушения Zn₂₀ (15,2 %). Сумма аминокислот повышается с 7,44 % без удобрений до наибольшей 7,97 % при Zn₂₀Cu₂₀. Наряду с традиционными показателями качества, важно содержание микроэлементов в зерне. Содержание Zn находилось в диапазоне 21,8-35,3 мг/кг, меди – 1,02-4,76 и не превышало ПДК в продуктах питания (Zn – 50 мг/кг, Cu – 10 мг/кг).

Таблица 8 – Качество урожая зерна яровой пшеницы при применении микроудобрений разными способами (среднее 2017-2019 гг.)

Доза удобрения	Предпосевная обработка семян, г/100 кг		Листовая подкормка, г/га			
			фаза кущения		фаза выхода в трубку	
	белок, %	клейковина, %	белок, %	клейковина, %	белок, %	клейковина, %
Контроль	13,39	26,5	13,39	26,5	13,39	26,5
Zn ₁₀ Cu ₁₀	13,6	27,3	13,6	27,1	13,6	26,9
Zn ₂₀ Cu ₁₀	13,9	27,5	14,1	27,9	14,1	27,8
Zn ₃₀ Cu ₁₀	13,3	26,8	13,5	27,1	13,5	26,8
Zn ₁₀ Cu ₂₀	13,2	26,7	13,7	27,3	14,1	27,8
Zn ₁₀ Cu ₃₀	13,2	26,6	13,2	26,6	13,6	27,2
Zn ₂₀ Cu ₂₀	14,1	28,0	15,2	28,8	13,8	27,6
Zn ₂₀ Cu ₃₀	13,6	26,2	14,1	27,7	13,5	26,8
Zn ₃₀ Cu ₃₀	13,6	27,1	13,6	27,6	13,9	27,8
НСП ₀₅	0,52	0,55	0,52	0,55	0,52	0,55

Зависимость содержания Zn в зерне (Y₁ – обработка в фазу выхода в трубку, мг/кг) от доз цинкового удобрения (X, г/га), содержания Cu в зерне (Y₂ – обработка в фазу выхода в трубку, мг/кг) от доз медного удобрения (X, г/га) на контрольном фоне выражается уравнениями 7,8:

$$Y_1 = 28,59 + 0,24X, \quad r = 0,87 \quad (7)$$

$$Y_2 = 1,44 + 0,122X. \quad r = 0,91 \quad (8)$$

Таким образом, благодаря микроудобрениям происходит повышение содержания Zn и Cu в зерне яровой пшеницы до определенного уровня.

4 Применение микроудобрений при возделывании зерновых озимых культур

В полевых опытах 2007-2012 гг. исследовали реакцию озимых зерновых культур (озимая пшеница, озимая рожь, озимое тритикале) на микроудобрения (табл. 9). Использование Zn-удобрений до посева обеспечило получение прибавок урожая зерна: озимой пшеницы в среднем от 0,26 до 0,87 т/га (9,4-32,8 % к фону), озимой ржи – 0,03 до 0,57 т/га (0,71-13,51 % к фону), озимого тритикале – от 0,02 до 0,72 т/га (0,7-31,6 % к фону).

Таблица 9 – Урожайность зерна озимых культур при применении Zn-удобрений (среднее 2008-2011 гг.), т/га

Вариант	Озимая пшеница			Озимая рожь			Озимое тритикале		
	урожайность, т/га	прибавка к фону		урожайность, т/га	прибавка к фону		урожайность, т/га	прибавка к фону	
		т/га	%		т/га	%		т/га	%
N ₃₀ - фон 1	2,65	-	-	3,91	-	-	2,27	-	-
Zn ₄	3,26	0,61	23,0	4,02	0,11	2,81	2,59	0,32	14,1
Zn ₈	3,14	0,49	18,4	4,33	0,42	10,74	2,68	0,42	18,3
Zn ₁₂	3,01	0,26	9,4	4,02	-0,07	-1,62	3,21	0,62	27,2
N ₃₀ P ₆₀ - фон 2	3,21	0,59	21,1	4,22	0,31	7,93	2,96	0,70	30,7
Zn ₄	3,32	0,67	25,2	4,72	0,50	11,85	3,06	0,10	3,3
Zn ₈	3,52	0,87	32,8	4,03	-0,19	-4,50	3,28	0,32	10,9
Zn ₁₂	3,32	0,57	20,7	4,39	0,12	2,84	3,12	-0,19	-6,42
Zn _{0,5} *	2,98	0,33	12,4	4,21	-0,01	-0,24	2,98	0,02	0,7
Zn _{1,0} *	3,48	0,83	31,3	4,79	0,57	13,51	3,16	0,20	6,8
Zn _{1,5} *	4,75	0,83	30,1	4,44	0,17	4,03	3,21	-0,1	-3,38
НСП ₀₅	0,20			0,23			0,13		

* – обработка семян кг соли на 1 тонну семян

Наибольшая урожайность зерна пшеницы озимой 3,52 т/га сформировалась от Zn₈ на фоне N₃₀P₆₀ (на 0,31 т/га выше фона N₃₀P₆₀). При опудривании семян выявлено, что применение 100 г соли на 100 кг семян не уступало основному внесению 8 кг/га, урожайность составила 3,48 т/га. Обработка семян озимой ржи способствовала увеличению урожайности, от Zn_{0,5}, Zn_{1,0}, Zn_{1,5} она получена соответственно: 4,21; 4,79; 4,44 т/га. При обработке семян озимого тритикале на фоне N₃₀P₆₀ максимальная прибавка получена в варианте Zn_{1,5} – 0,40 т/га или 13,5 %. Средняя урожайность в варианте с дозой 1,0 кг/т семян составила 3,16 т/га (6,8 %), что несколько ниже, чем в варианте 1,5 кг/т семян – 3,21 т/га (0,40 %).

Результативность обработки семян изучаемых культур Zn, Cu и Mn в экспериментах была неодинаковой (табл. 10).

Таблица 10 – Урожайность зерна озимых культур при обработке семян микроудобрениями (среднее 2008-2011 гг.)

Вариант	Озимая пшеница			Озимая рожь			Озимое тритикале		
	урожайность, т/га	прибавка к фону		урожайность, т/га	прибавка к фону		урожайность, т/га	прибавка к фону	
		т/га	%		т/га	%		т/га	%
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ - фон	2,99	-	-	4,36	-	-	2,95	-	-
Zn _{0,5}	2,98	-0,01	-	4,79	0,43	9,9	3,06	0,11	3,7
Zn _{1,0}	3,42	0,43	14,6	4,84	0,48	11,0	3,23	0,28	9,6
Zn _{1,5}	3,45	0,24	7,4	4,44	0,02	0,45	3,36	0,07	2,1
Cu _{0,5}	3,38	0,39	13,1	4,44	0,08	1,8	3,21	0,26	8,8
Cu _{1,0}	3,37	0,38	12,8	4,73	0,37	8,5	3,15	0,21	7,0
Cu _{1,5}	3,00	-0,21	-	4,48	0,06	1,4	3,43	0,14	4,3
Mn _{0,5}	3,04	-0,17	-	4,86	0,50	11,5	3,14	0,19	6,6
Mn _{1,0}	3,53	0,54	18,1	4,33	-0,03	-0,7	3,25	0,30	10,2
Mn _{1,5}	3,08	-0,13	-	4,56	0,14	3,2	3,59	0,30	9,1
Zn _{0,5} Cu _{0,5}	3,38	0,40	13,3	4,61	0,25	5,7	2,89	-	-
Zn _{0,5} Mn _{0,5}	3,50	0,52	17,2	4,92	0,56	12,8	3,30	0,35	11,8
Cu _{0,5} Mn _{0,5}	3,33	0,12	3,7	4,57	0,15	3,4	3,40	0,11	3,2
Zn _{0,5} Cu _{0,5} Mn _{0,5}	3,62	0,64	21,3	4,72	0,36	8,3	2,78	-	-
НСП ₀₅ , т/га	0,18			0,18			0,15		

Наиболее эффективно использование Zn и Mn в дозе 1,0 кг/т – от Zn получена прибавка урожая зерна озимой пшеницы 0,43 т/га (14,6 %) к фону, Mn – 0,54 т/га (18,1 %). При обработке Cu лучший результат получен от дозы 0,5 кг/т, соответственно, 0,39 т/га (13,1 %). При совместной обработке микроэлементами наибольшую эффективность имел вариант Zn_{0,5}Cu_{0,5}Mn_{0,5}, прибавка 0,64 т/га (21,3 %) к фону.

При обработке семян озимой ржи наиболее эффективно использование Zn и Mn в дозе 0,5 кг/т – от Zn получена прибавка зерна 0,43 т/га (9,9 %) к фону, Mn – 0,5 т/га (11,5 %). При обработке семян озимого тритикале наиболее эффективно применение Zn и Mn в дозе 1,0 кг/т – получена средняя прибавка зерна – 0,28 т/га (9,6 %) к фону, Mn – 0,30 т/га (10,2 %). От Cu лучший результат получен при дозе 0,5 кг/т, соответственно, 0,26 т/га (8,8 %). При совместной обработке микроэлементами наибольшую эффективность имела обработка семян Zn_{0,5}Mn_{0,5}, прибавка составила 0,35 т/га (11,8 %) к фону.

Содержание микроэлементов в растениях изменялось по периодам онтогенеза (табл. 11).

Таблица 11 – Содержание микроэлементов в растениях зерновых культур по фазам развития, мг/кг сухого вещества (среднее 2007-2011 гг.)

Фаза развития	Элемент	Пшеница яровая	Пшеница озимая	Рожь озимая	Тритикале озимое
Всходы	цинк	23,0-24,8	24,8-25,5	22,8-25,0	20,3-24,0
	медь	4,80-5,20	4,82-5,00	4,72-5,50	4,30-5,46
	марганец	77,0-81,0	73,0-87,0	79,0-93,0	73,0-79,0
Кущение осеннее	цинк	-	26,4-28,9	26,2-29,3	23,7-29,2
	медь	-	4,62-4,70	3,61-4,41	4,04-4,06
	марганец	-	62,9-68,0	60,1-66,3	58,9-70,0
Кущение весеннее	цинк	23,6-27,9	25,2-29,4	24,1-27,6	22,4-29,8
	медь	2,63-3,60	2,92-3,32	3,00-3,09	2,41-2,70
	марганец	53,6-57,0	51,6-52,6	51,4-54,0	53,9-60,1
Выход в трубку	цинк	13,9-14,2	15,4-16,0	13,8-15,6	13,3-15,2
	медь	1,68-2,08	1,74-2,63	1,99-2,55	2,06-2,39
	марганец	53,3-63,6	50,6-58,6	44,1-52,6	42,1-55,3
Колошение	цинк	12,5-14,2	14,8-15,0	12,9-15,3	11,8-16,7
	медь	1,77-2,04	1,82-1,96	1,91-2,51	1,30-1,96
	марганец	56,3-63,0	55,9-56,2	54,9-57,7	53,6-60,3
Полная спелость (солома)	цинк	3,90-5,70	4,30-5,80	4,20-5,70	3,60-5,90
	медь	1,12-2,03	2,00-2,06	1,97-2,04	1,09-1,29
	марганец	37,6-43,0	36,9-43,0	33,9-38,3	32,6-38,0
Полная спелость (зерно)	цинк	12,1-13,9	13,2-15,5	13,4-14,8	11,5-17,4
	медь	0,92-1,64	1,10-1,87	0,83-1,06	0,67-0,84
	марганец	53,2-54,0	53,0-55,0	51,1-51,3	50,9-54,6

В растениях озимых зерновых культур фосфорные удобрения уменьшают содержание цинка на азотном фоне во все фазы развития, особенно у озимых пшеницы и тритикале (табл. 12). Антагонистическое действие фосфора по отношению к цинку максимально в ранние фазы развития. Фосфор удобрений также снижает и содержание меди в растениях, при этом действие более устойчивое на уменьшение концентрации меди в озимом тритикале.

Таблица 12 – Схема действия фосфора на концентрацию микроэлементов в растениях озимых зерновых культур в течение вегетации

Фаза	Озимая пшеница			Озимая рожь			Озимое тритикале		
	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn
Всходы	↓	↓	→	↓	↓	↑	↓	↓	↓
Кущение осеннее	↓	↑	↑	↓	↓	↓	→	↓	↓
Кущение весеннее	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↑
Выход в трубку	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↑
Колошение	↓	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑
Полная спелость: солома	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑
зерно	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↑

Микроудобрения оказали положительное действие на качество зерна (табл. 13, 14). После исследования связи между дозой Zn в допосевное внесение (X, кг/га) и содержанием белка в зерне озимой пшеницы (Y₁ – фон N₃₀ и Y₂ – фон N₃₀P₆₀, %) установлена тесная корреляционная зависимость при Zn в дозах до 8 кг/га (формулы 9,10):

$$Y_1 = 15,17 + 0,075X; \quad r = 0,84 \quad (9)$$

$$Y_2 = 14,83 + 0,125X; \quad r = 0,79 \quad (10)$$

Максимальное содержание белка в зерне в исследованиях получена в вариантах с

применением высоких доз в допосевное внесение Zn₄ и Zn₈ –15,6-15,8 % на обоих фонах (табл.13).

Таблица 13 – Качество урожая зерна озимых культур при применении Zn-удобрений (среднее 2008-2011 гг.)

Доза удобрения	Пшеница озимая			Рожь озимая		Тритикале озимое	
	белок, %	клейковина, %	натура, г/л	протеин, %	натура, г/л	белок, %	натура, г/л
N ₃₀ - фон 1	15,2	26,3	762	14,53	680	16,3	604
Zn ₄	15,4	26,0	758	15,45	682	16,5	637
Zn ₈	15,8	26,8	753	15,30	686	16,9	639
Zn ₁₂	15,6	25,8	759	14,60	700	16,5	641
N ₃₀ P ₆₀ - фон 2	14,8	26,1	753	14,55	678	16,4	635
Zn ₄	15,4	26,2	758	15,23	680	16,6	638
Zn ₈	15,8	27,3	773	15,55	688	16,8	641
Zn ₁₂	15,8	26,4	767	14,60	699	16,6	640
Zn _{0,5} *	14,9	25,4	761	14,78	682	16,6	640
Zn _{1,0} *	14,6	27,6	774	14,78	688	17,0	641
Zn _{1,5} *	13,9	26,5	770	14,90	701	16,8	643
НСР ₀₅	0,40	0,22	0,59	0,40	12,3	0,42	19,4

* – килограммов соли микроэлемента на 1 тонну семян; ** – данные за два года исследований (2009-2011 гг.)

Применение Zn-удобрений в дозах 0,5 и 1,0 кг/т способствовало одинаковому накоплению белка изучаемых культур, максимальная доза 1,5 кг/т не повысила содержания белка. Из применяемых доз Cu-удобрений максимальному накоплению способствовала доза 1,5 кг/т (озимая пшеница и рожь). При обработке Mn в минимальной дозе получено максимальное содержание белка в зерне, увеличение доз Mn привело к снижению накопления белка (табл. 14).

Таблица 14 – Качество урожая зерна озимых культур при применении микроудобрений (среднее 2009-2011 гг.)

Доза удобрения	Пшеница озимая			Рожь озимая		Тритикале озимое	
	белок, %	клейковина, %	натура, г/л	протеин, %	натура, г/л	белок, %	натура, г/л
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ - фон	15,1	26,7	784	14,53	686	14,8	617
Zn _{0,5}	15,8	27,5	785	14,84	688	16,1	640
Zn _{1,0}	15,1	26,0	787	14,85	690	16,8	643
Zn _{1,5}	14,5	26,4	785	14,89	706	16,5	625
Cu _{0,5}	15,3	26,7	781	15,10	691	16,2	627
Cu _{1,0}	15,5	27,7	777	14,80	685	15,6	625
Cu _{1,5}	15,6	27,4	781	15,19	708	15,0	628
Mn _{0,5}	15,5	27,2	771	15,12	687	16,3	627
Mn _{1,0}	15,4	28,1	783	15,07	683	15,4	618
Mn _{1,5}	15,5	27,0	785	14,64	703	15,5	620
Zn _{0,5} Cu _{0,5}	15,2	27,3	785	15,83	690	15,7	622
Zn _{0,5} Mn _{0,5}	15,8	27,9	785	15,72	686	16,2	638
Cu _{0,5} Mn _{0,5}	15,7	27,2	780	15,68	709	16,0	635
Zn _{0,5} Cu _{0,5} Mn _{0,5}	15,5	27,9	784	15,69	689	15,6	635
НСР ₀₅	0,31	0,20	0,54	0,87	27,4	0,43	21,0

Исследованиями установлено, что между дозами Zn применяемого в допосевное внесение, содержанием Zn в почве и его содержанием в зерне ржи существует корреляционная зависимость при уровне обеспеченности растений цинком в диапазоне до оптимального. Зависимость содержания Zn в зерне (Y₃ – фон N₃₀, Y₄ – фон N₃₀P₆₀, мг/кг) от концентрации доступного Zn в лугово-чернозёмной почве (X, мг/кг) выразилось

уравнениями (11,12):

$$Y_3 = 14,55 + 0,31X; \quad r = 0,71 \quad (11)$$

$$Y_4 = 12,91 + 1,68X; \quad r = 0,68 \quad (12)$$

а содержание Zn в зерне (Y_5 – фон N_{30} , Y_6 – фон $N_{30}P_{60}$, мг/кг) от доз Zn-удобрений (X , кг/га) представлено следующими уравнениями (13,14):

$$Y_5 = 14,86 + 0,04X; \quad r = 0,59 \quad (13)$$

$$Y_6 = 14,22 + 0,267X. \quad r = 0,81 \quad (14)$$

Применение представленных уравнений даёт возможность прогнозировать показатели качества зерна.

5 Влияние азотных удобрений на продуктивность яровых зерновых культур

5.1 Применении листовых азотных подкормок яровой пшеницы

Для создания достаточного питания с помощью расчетных доз концентрация элементов питания в почве доведена до оптимального уровня. Листовые подкормки N_{30} и $N_{10} + N_{30}$ как без внесения удобрений, так и на фоне $N_{139}P_{101}$ положительно повлияли на урожайность зерна. На нулевом фоне прибавки составили, соответственно, 22 – 0,31 и 0,38 т/га (3,52 т/га), на фоне $N_{139}P_{101}$ – 0,16 и 0,15 т/га (4,40 т/га) (табл. 15).

Таблица 15 – Урожайность зерна в зависимости от листовых азотных подкормок яровой пшеницы (среднее 2018-2020 гг.)

Доза удобрения	Урожайность, т/га	Прибавка				Окупаемость 1 кг д.в. удобрений, кг	
		к контролю		к фону $N_{139}P_{101}$		на фоне	
		т/га	%	т/га	%	контроль	$N_{139}P_{101}$
Контроль	3,52	-	-	-	-	-	-
N_{10}^*	3,74	0,22	6,25	-	-	22,0	-
N_{30}^{**}	3,83	0,31	8,81	-	-	10,3	-
$N_{10}^* + N_{30}^{**}$	3,90	0,38	10,8	-	-	9,5	-
$N_{139}P_{101}$ - фон	4,40	0,88	25,0	-	-	4,0	-
N_{10}^*	4,42	0,90	25,6	0,02	0,45	3,7	2,0
N_{30}^{**}	4,56	1,04	29,5	0,16	3,64	4,1	5,3
$N_{10}^* + N_{30}^{**}$	4,55	1,03	29,3	0,15	3,41	3,9	3,8
НСР ₀₅		0,13					

Подкормка в фазу кущения* и выхода в трубку**

От применения N-подкормок 10 кг/га на фоне без основного удобрения наилучшая окупаемость получена 22,0 кг зерна на 1 кг удобрений. На фоне $N_{139}P_{101}$ окупаемость составила 3,7 кг. Листовые подкормки N_{30} и $N_{10} + N_{30}$ на фоне без основного внесения окупаемость составила 10,3 и 9,5 кг. На фоне $N_{139}P_{101}$ окупаемость 1 кг азота удобрений уменьшилась и составила 3,9 и 4,1 кг.

Зависимость содержания азота в зерне (Y_1 – при некорневой подкормке N_{30} на естественном фоне (уравнение 15), Y_2 – при некорневой подкормке N_{30} на фоне $N_{139}P_{101}$ (уравнение 16) от подкормок, отражалось уравнениями:

$$Y_1 = 2,78 + 0,003X, \quad r = 0,82 \quad (15)$$

$$Y_2 = 2,89 + 0,003X, \quad r = 0,81 \quad (16)$$

Действия азота удобрений на показатели сырой клейковины в зерне при некорневой подкормке были также максимальными в вариантах N_{30} и $N_{10} + N_{30}$ на фоне $N_{139}P_{101}$, и составили 33,9 и 34,1 % (фон – 32,4 %) (рис. 2).

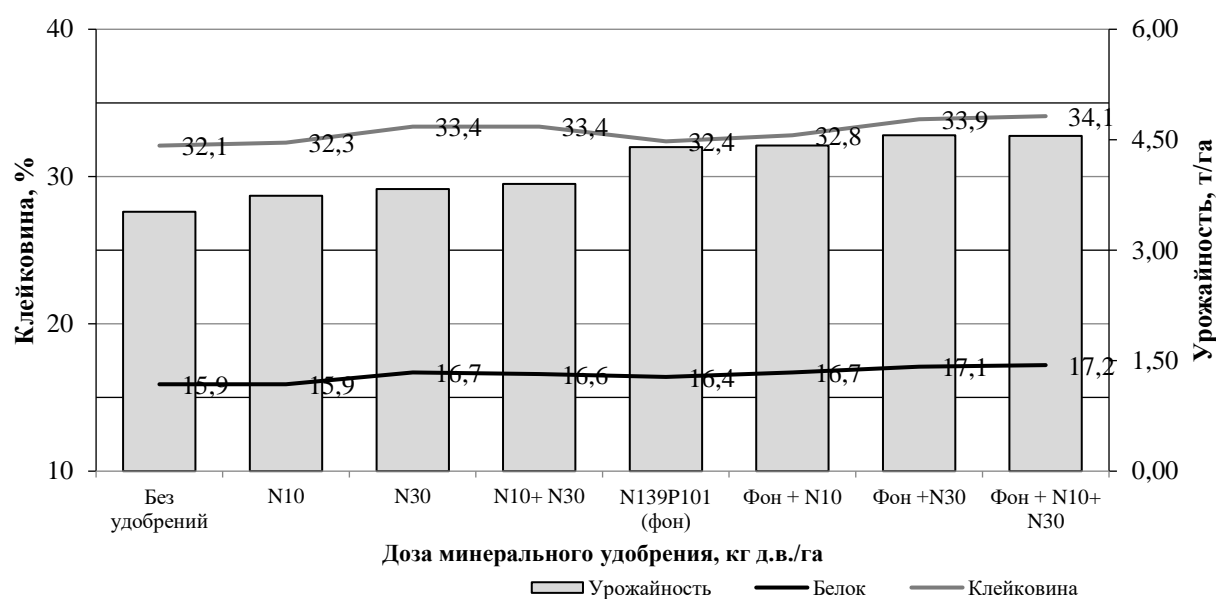


Рисунок 2 – Влияние дозы минеральных удобрений на содержание белка и клейковины в зерне яровой пшеницы (среднее 2018-2020 гг.)

Между дозой N-удобрения (X, кг/га) и содержанием белка в зерне (Y, %) установлена корреляционная зависимость при некорневой подкормке в дозе 30 кг/га в контроле (уравнение 17) и на азотно-фосфорном фоне (уравнение 18):

$$Y = 15,8 + 0,017X \quad r = 0,82, \quad (17)$$

$$Y = 16,5 + 0,019X \quad r = 0,81, \quad (18)$$

Повышение биологической ценности белка обусловлено аминокислотным составом (табл.16).

Таблица 16 – Аминокислотный состав белка зерновых культур в зависимости от форм удобрений (среднее 2018-2020 гг.)

Доза удобрения	Содержание		Σ незаменимых аминокислот	Σ критических аминокислот	Σ аминокислот	Доля незаменимых аминокислот, %
	белка, %	лизина				
	г/100 г сухого вещества					
Контроль	2,78	0,34	3,84	1,14	9,09	42,2
N ₁₀ *	2,79	0,27	3,40	1,02	7,99	42,6
N ₃₀ **	2,83	0,35	4,02	1,14	9,38	42,9
N ₁₀ * + N ₃₀ **	2,89	0,33	4,01	1,18	9,28	43,2
N ₁₃₉ P ₁₀₁ - фон	2,89	0,32	4,12	1,23	9,42	43,7
N ₁₀ *	2,91	0,33	4,32	1,24	9,97	43,3
N ₃₀ **	2,99	0,36	4,05	1,19	9,35	43,3
N ₁₀ * + N ₃₀ **	3,03	0,34	4,06	1,16	9,33	43,5

Применение максимальной суммарной дозы удобрений N₁₃₉P₁₀₁ + N₁₀ + N₃₀ обеспечило накопление анализируемых аминокислот от 7,99 до 9,97 г/100 г сухого вещества, в том числе незаменимых – от 3,40 до 4,32 г/100 г, соответственно. Наибольшее количество аминокислот – 9,97 г/100 г – отмечалось на варианте с внесением N₁₀ в фазу кущения.

5.2 Способы применения и формы азотных удобрений под яровую пшеницу и ячмень

Эффективность применения различных форм N-удобрений и способов их внесения (припосевное и послепосевное) представлена в таблице 17.

Таблица 17 – Урожайность зерновых культур в зависимости от форм и способов применения N-удобрений (среднее 2020-2021 гг.)

Припосевное внесение	Послепосевное внесение								
	Без удобрений			N ₃₀ (к)			N ₃₀ (КАС)		
	урожайность, т/га	± к контролю		урожайность, т/га	± к контролю		урожайность, т/га	± к контролю	
т/га		%	т/га		%	т/га		%	
Пшеница яровая									
Контроль	2,29	-	-	2,41	0,12	5,24	2,42	0,13	5,68
N ₃₀ (ас)	2,50	0,21	9,2	2,61	0,33	14,4	2,60	0,32	13,9
N ₃₀ (к)	2,53	0,24	10,5	2,64	0,36	15,7	2,62	0,34	14,8
N ₃₀ (КАС)	2,54	0,25	10,7	2,64	0,36	15,7	2,61	0,33	14,4
НСР ₀₅ : фактор А – припосевное внесение – 0,20; фактор В – послепосевное внесение – 0,07; АВ – 0,32.									
Ячмень яровой									
Контроль	2,42	-	-	2,56	0,14	5,79	2,57	0,15	6,20
N ₃₀ (ас)	2,68	0,26	10,7	2,90	0,48	19,8	2,85	0,43	17,8
N ₃₀ (к)	2,67	0,25	10,3	2,83	0,41	16,9	2,77	0,35	14,5
N ₃₀ (КАС)	2,68	0,26	10,7	2,78	0,36	14,9	2,77	0,35	14,5
НСР ₀₅ : фактор А – припосевное внесение – 0,22; фактор В – послепосевное внесение – 0,09; АВ – 0,28.									

Внесение удобрений способствовало формированию урожайности зерна пшеницы от 2,41 до 2,64 т/га и ячменя – от 2,56 до 2,90 т/га. Максимальная урожайность яровой пшеницы (2,60-2,64 т/га) и ячменя (2,77-2,90 т/га) сформировалась при применении N₆₀ припосевным и послепосевным способами (N₃₀ + N₃₀). Урожайность при этом не зависела от форм используемых N-удобрений, но более стабильна при применении для послепосевного внесения карбамида, а припосевного – аммиачной селитры. Все формы удобрений при внесении под пшеницу яровую в дозе 60 кг/га в сумме двумя способами по эффективности равнозначны, ячменя – несколько выше при применении при посеве аммиачной селитры, чем карбамида и КАС (соответственно, 7,2-8,0 и 5,8-6,8 кг/кг).

При подкормке N-удобрениями массовая доля клейковины в зерне пшеницы увеличилась на 0,2-0,9 % в зерна ячменя с 12,4 до 12,6-13,0 % (табл. 18).

Таблица 18 – Качество урожая зерна зерновых культур в зависимости от форм N-удобрений (среднее 2020-2021 гг.)

Припосевное внесение	Послепосевное внесение											
	белок, %			стекловидность, %			клейковина, %			натура, г/л		
	без подкормки	N ₃₀ (к)	N ₃₀ (КАС)	без удобрений	N ₃₀ (к)	N ₃₀ (КАС)	без удобрений	N ₃₀ (к)	N ₃₀ (КАС)	без удобрений	N ₃₀ (к)	N ₃₀ (КАС)
Пшеница яровая												
Контроль	16,0	15,7	15,9	55	56	56	29,8	30,0	30,5	705	718	723
N ₃₀ (ас)	16,2	16,3	16,2	55	57	57	30,1	30,7	30,5	745	735	748
N ₃₀ (к)	15,8	16,0	15,9	58	60	61	29,5	30,4	30,2	758	752	740
N ₃₀ (КАС)	16,3	15,6	15,8	57	61	59	30,2	30,4	30,3	793	739	735
Ячмень яровой												
Контроль	44	44	45	12,4	12,7	12,7	-	-	-	585	592	630
N ₃₀ (ас)	45	47	46	12,6	13,0	13,0	-	-	-	616	619	633
N ₃₀ (к)	45	46	46	12,6	12,8	12,6	-	-	-	627	610	640
N ₃₀ (КАС)	45	46	46	12,7	12,8	12,8	-	-	-	650	649	614

Выявлено, что сумма аминокислот повышалась с 8,97 % без удобрений до наибольшей

9,74 % (вариант Nк – припосевное + Nкас – послепосевное), в зерне ячменя – с 7,94 в контроле до 8,49 (Nас – припосевное + Nкас – послепосевное).

6 Применение регулятора роста при возделывании яровых зерновых культур

Для управления продукционными процессами растений нашли свое применение регуляторы роста (Вильдфлуш И.Р. и др., 2011; Васин В.Г., Бурунов А. Н., Васин А. В., 2019; Исайчев В.А. и др., 2023).

Максимальная урожайность зерна при применении регулятора роста Зеребра Агро была получена от листовой подкормки в фазу кущения при возделывании пшеницы первой культурой после пара в дозе 100 мл/га и составила 3,05 т/га (прибавка 0,23 т/га), второй культурой – 150 мл/га – 2,00 т/га (0,28 т/га); при возделывании ячменя первой культурой после пара – в дозе 150 мл/га – 3,11 т/га (0,24 т/га), второй культурой – в дозе 200 мл/га – 2,10 т/га (0,33 т/га) (табл. 19).

Таблица 19 – Влияние регулятора роста Зеребра Агро на урожайность зерна (среднее 2014-2016 гг.)

Доза препарата, мл/га	Предшественник					
	пар			пшеница по пару		
	урожайность, т/га	± к контролю		урожайность, т/га	± к контролю	
т/га		%	т/га		%	
Пшеница яровая						
0	2,82	-		1,72	-	
50	2,94	0,12	4,3	1,91	0,09	5,2
100	3,05	0,23	8,2	1,91	0,19	11,0
150	3,09	0,27	9,6	2	0,28	16,3
200	3,09	0,27	9,6	2,03	0,31	18,0
НСР ₀₅		0,08			0,06	
НСР ₀₅ : фактор А – доза препарата, мл/га – 0,11; фактор В – предшественник – 0,13; АВ – 0,19.						
Ячмень яровой						
0	2,88	-	-	1,77	-	-
50	2,98	0,10	3,6	1,86	0,09	5,3
100	3,09	0,22	7,5	1,96	0,20	11,1
150	3,11	0,24	8,2	2,07	0,30	17,0
200	3,11	0,24	8,2	2,10	0,33	18,7
НСР ₀₅		0,06			0,06	
НСР ₀₅ : фактор А – доза препарата, мл/га – 0,11; фактор В – предшественник – 0,15; АВ – 0,16.						

Химический состав растений отражает степень обеспеченности элементами питания и изменение условий поглощения от препарата. Согласно полученным данным общее содержание химических элементов в растениях изменяло в зависимости от предшественника. Максимальное содержание было получено при возделывании пшеницы по пару и при обработке посевов в кущение в дозе 150 мл/га и составило 3,13 %, что на 0,12 % выше, чем в контрольном варианте. Несколько ниже было содержание азота – во второй по пару и составило 2,80 % в контрольном варианте. При применении Зеребра Агро повышение данного показателя отмечено начиная с дозы 100 мл/га (табл. 20).

Таблица 20 – Влияние регулятора роста Зеребра Агро на химический состав урожая яровой пшеницы, % (среднее 2014-2016 гг.)

Доза препарата, мл/га	Предшественник - пар						Предшественник - пшеница по пару					
	зерно			солома			зерно			солома		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
0	3,01	0,85	0,53	0,59	0,30	0,98	2,80	0,90	0,53	0,57	0,30	1,02
150	3,13	0,86	0,54	0,61	0,28	0,99	2,86	0,91	0,51	0,58	0,31	1,02

Важным показателем качества зерна яровой пшеницы является содержание аминокислот. Зеребра Агро способствовала увеличению суммы аминокислот на 1,16 г/100 г (в контроле 4,66 г/100 г), суммы незаменимых аминокислот на 0,75 г/100 г (2,08), суммы критических – на 0,16 г/100 г (0,63) (табл. 21).

Таблица 21 – Содержание аминокислот в белке зерна яровой пшеницы при применении регулятора роста

Аминокислота	г/100 г белка	
	контроль	доза 150 мл/га
Аргинин	0,29	0,29
Лизин	0,22	0,27
Тирозин	0,16	0,22
Фенилаланин	0,35	0,49
Гистидин	0,16	0,16
Лейцин+изолейцин	0,79	1,13
Метионин	0,15	0,19
Валин	0,31	0,42
Пролин	0,84	1,03
Треонин	0,26	0,33
Серин	0,50	0,51
Аланин	0,31	0,39
Глицин	0,32	0,39
Σ аминокислот	4,66	5,82
Σ незаменимых аминокислот	2,08	2,83
Σ критических аминокислот	0,63	0,79
Доля незаменимых аминокислот	44,6	48,6

В условиях региона установлена эффективность применения регулятора роста при возделывании зерновых культур по различным предшественникам, установлены лучшие дозы.

7 Управление питанием зерновых культур на основе метода комплексной диагностики

Для удовлетворения изменяющихся потребностей растений в элементах необходима система управления питанием зерновых культур. Рациональное использование удобрений осуществляется на основе использования разнообразных агрохимических методов анализа почвы – почвенной диагностики. Растительная диагностика помогает оптимизировать применение удобрений в течение вегетации. Отдельное использование почвенной и растительной диагностик не может обеспечить эффективное применение удобрений. В связи с этим необходимо совместное применение почвенной и растительной диагностики (комплексной диагностики) для управления питанием растений (Магницкий К.П., 1972; Болдырев Н.К., 1972; Ермохин Ю.И., 1983; Лихоманова Л.М., 1986; Трубина Н.К., 1993; Михальская Н.В., 2003; Болдышева Е.П., 2018; Бобренко И.А., 2004; Попова В.И., Гоман Н.В., 2017, 2018 и др.).

7.1 Управление питанием зерновых культур на основе метода почвенной диагностики

На взаимодействие почвы с удобрениями влияет много разных факторов. Между концентрацией подвижного элемента в почве и дозами минеральных удобрений наблюдается четкая зависимость. На кафедре агрохимии Омского СХИ (Омский ГАУ) разработаны стандарты содержания доступных питательных веществ как показатель нуждаемости в удобрениях применительно к зерновым культурам (табл. 22).

Таблица 22 – Стандарты содержания доступных питательных веществ как показатель нуждаемости зерновых культур в удобрениях

Содержание, мг/кг почвы (слой 0-30 см)			Потребность в удобрениях
N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	
<13	<72	<120	сильная
13-19	72-125	120-210	средняя
> 20	> 140	> 210	отсутствует

Учитывая группы содержания элементов в почве и используя результаты их анализа, можно установить потребность растений в азотных, фосфорных и калийных удобрениях. Для расчета необходимой дозы удобрений можно использовать формулу 19 (метод определения доз удобрений с учетом оптимальных уровней (ОУ) содержания элементов питания в почве):

$$D = (C_o - C_f) : K_d \quad (19)$$

где C_o – содержание элемента в почве оптимальное, мг/кг; C_f – содержание элемента в почве фактическое, мг/кг; K_d – коэффициенты интенсивности действия 1 кг элемента удобрения, внесенного в почву, на содержание N-NO₃ (0,11 мг/кг) и P₂O₅ (0,22-0,25 мг/кг).

Для управления уровнем питательных веществ в почве и растениях в конкретных условиях почвенно-климатической зоны и при определенной продуктивности сельскохозяйственной культуры были установлены количественные взаимосвязи между содержанием подвижного Zn в почве (табл. 23) и урожайностью зерновых культур, что позволяет объективно оценивать экспериментальные данные агрохимической характеристики почв, диагностировать необходимость применения удобрений, прогнозировать урожайность на ранних стадиях развития растений.

Таблица 23 – Содержание подвижного Zn в слое почвы 0-20 см в осеннее кушение озимых культур при допосевном внесении Zn-удобрений

Внесено Zn, кг/га	Содержание Zn в почве, мг/кг	Увеличение Zn в почве, мг/кг	Уравнение
Озимая пшеница			
N ₃₀ - фон 1	0,75	-	Y = 0,71+0,16X r = 0,79 (57)
Zn ₄	1,39	0,64	
Zn ₈	2,06	1,31	
Zn ₁₂	2,75	2,00	
N ₃₀ P ₆₀ - фон 2	0,71	-	Y = 0,73+0,17X r = 0,81 (58)
Zn ₄	1,39	0,68	
Zn ₈	2,03	1,32	
Zn ₁₂	2,70	1,99	
Озимая рожь			
N ₃₀ - фон 1	0,80	-	Y = 0,81+0,18X r = 0,89 (59)
Zn ₄	1,54	0,74	
Zn ₈	2,26	1,46	
Zn ₁₂	2,97	2,17	
N ₃₀ P ₆₀ - фон 2	0,79	-	Y = 0,83+0,15X r = 0,81 (60)
Zn ₄	1,48	0,69	
Zn ₈	2,02	1,23	
Zn ₁₂	2,61	1,82	

Полученные нормативные характеристики влияния удобрений на концентрацию Zn в почве K_d (0,15-0,18 мг/кг, в среднем 0,17) позволяют управлять ею удобрением.

Для решения практических задач используется формула (20) для прогнозирования содержания Zn в почве (С, мг/кг) при внесении Zn-удобрений:

$$C = C_1 + D \cdot K_d, \quad (20)$$

где C_1 – содержание элемента в почве до посева, мг/кг; D – доза внесения элемента в почву, кг д.в./га; K_d – коэффициент интенсивности действия 1 кг д.в. Zn-удобрений на содержание Zn в почве, мг/кг.

Расчеты показали, что для повышения содержания подвижного Zn в почве на 1 мг/кг нужно применять Zn_6 (1 мг/кг : 0,17 мг/кг = 6). Отсюда расчет доз применения Zn (кг д.в./га) под растения может проводиться по формуле (21), зная оптимальный уровень подвижного Zn в почве:

$$D = (C_o - C_f) \cdot 6, \quad (21)$$

где C_o – содержание подвижного элемента в почве оптимальное, мг/кг; C_f – содержание подвижного элемента в почве фактическое, мг/кг; 6 – доза Zn-удобрений для повышения содержания элемента на 1 мг/кг, кг д.в./га.

Между изменяющимся химическим составом почвы (х) и величиной урожая (у) имеется тесная корреляционная зависимость $r = 0,71$ и $0,69$ для фонов N_{30} и $N_{30}P_{60}$, соответственно, (уравнения 22 и 23).

$$Y = 1,85 + 1,44X - 0,37X^2 \quad r = 0,71 \quad (22)$$

$$Y = 2,80 + 0,67X - 0,17X^2 \quad r = 0,69 \quad (23)$$

Установлены взаимосвязи между содержанием подвижного Zn в почве и урожайностью зерновых культур и определен оптимальный уровень его содержания в лугово-черноземной почве – 1,5-2,0 мг/кг. Для черноземных почв Западной Сибири предложены следующие стандарты содержания микроэлементов (табл. 24).

Таблица 24 – Стандарты содержания микроэлементов в черноземных почвах как показатель нуждаемости культур в удобрениях, мг/кг почвы (ААБ с рН 4,8)

Содержание, мг/кг почвы (слой 0-30 см)			Потребность в удобрениях
Zn	Cu	Mn	
<0,5	<0,1	<10	сильная
0,5-1,5	0,1-0,2	10-20	средняя
> 1,5	> 0,2	> 20	отсутствует

Располагая оптимальным (C_o) и фактическим (C_f) содержанием подвижного Zn в почве, можно прогнозировать получение прибавки урожая (Π , т/га) с учетом того, что 1 мг/кг подвижного Zn почвы обеспечивает получение дополнительно 0,23 т/га урожая зерна по формуле (24):

$$\Pi = (C_o - C_f) \cdot 0,23, \quad (24)$$

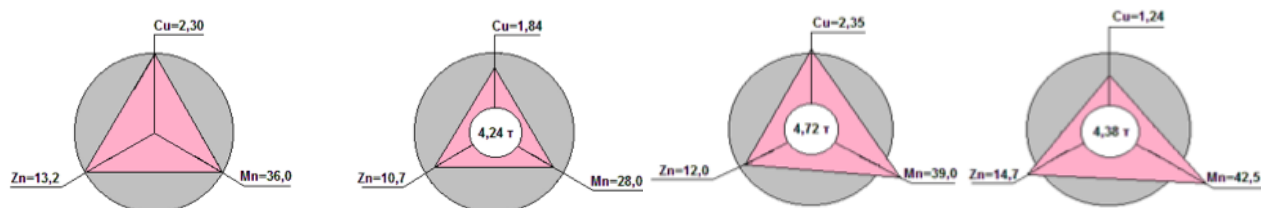
где C_o – содержание подвижного Zn в почве оптимальное, мг/кг; C_f – содержание подвижного Zn в почве фактическое, мг/кг; 0,23 – коэффициент интенсивности действия 1 мг/кг подвижного Zn почвы для формирования урожая зерна, т/га.

7.2 Управление питанием зерновых культур на основе метода растительной диагностики

Чтобы использовать химический анализ растений для диагностики минерального питания, нужно иметь информацию, как меняется концентрация элементов в растении в течении вегетации; определить какая именно соответствует недостатку, оптимуму и избытку элементов питания.

Изменение условий питания сопровождается коррекцией химического состава растений и урожая. При внесении повышающихся доз Zn-удобрений наблюдался раз-

личный характер питания растений с точки зрения сбалансированности микроэлементами (рис. 3).



а) уравновешенный баланс б) без удобрения в) Zn_{3,4} г) Zn_{11,3}

Рисунок 3 – Триангулярные диаграммы зависимости между содержанием микроэлементов в растениях озимой ржи в фазу выхода в трубку и урожайностью (фон N₃₀P₆₀)

В исследованиях определены оптимальные содержания элементов в растении для конкретных фаз развития (табл. 25).

Таблица 25 – Оптимальное содержание элементов в растениях зерновых культур в течение вегетации (сухое вещество)

Фаза развития	N	P	K	Zn	Cu	Mn
	%			мг/кг		
Яровая пшеница						
Кущение	4,0-5,0	0,35-0,45	3,0-4,0	44-60	4,2-4,8	90-110
Выход в трубку	3,5-4,0	0,34-0,42	2,6-3,2	20-30	3,2-4,0	30-40
Колошение	2,4-3,2	0,25-0,33	2,0-2,6	20-23	2,9-2,5	25-35
Озимая пшеница						
Всходы	3,8-4,2	0,55-0,70	4,0-4,2	23-27	4,5-5,5	60-80
Кущение осеннее	3,2-3,6	0,45-0,55	3,7-4,3	26-30	3,5-4,5	61-75
весеннее	4,2-5,0	0,45-0,55	3,5-4,1	25-29	2,5-3,5	42-54
Выход в трубку	3,8-4,4	0,40-0,46	3,8-4,0	14-16	1,5-2,5	42-58
Колошение	3,1-3,9	0,30-0,40	2,2-2,6	13-15	1,5-2,5	53-57
Озимая рожь						
Всходы	4,2-5,5	0,55-0,70	3,5-4,5	13-21	1,6-3,4	42-52
Кущение осеннее	3,8-5,1	0,55-0,70	4,2-4,8	11-14	1,2-3,2	47-61
весеннее	3,3-3,9	0,40-0,55	3,1-4,0	12-14	1,9-2,5	59-71
Выход в трубку	3,0-3,4	0,32-0,38	2,7-3,5	11-15	1,9-2,7	32-40
Колошение	1,8-2,6	0,22-0,34	1,9-2,5	11-15	1,0-2,0	30-36
Озимое тритикале						
Всходы	4,2-6,0	0,90-0,95	3,3-4,7	15,7-18,2	2,3-3,3	88-170
Кущение осеннее	1,9-3,0	0,45-0,60	2,7-3,4	10,4-17	1,6-2,2	97-150
весеннее	3,4-4,8	0,45-0,55	2,6-3,3	11-14	1,7-2,0	60-90
Выход в трубку	2,3-2,7	0,35-0,55	4,1-5,8	9,6-12,8	0,30-1,3	54-75
Колошение	1,6-2,3	0,12-0,16	2,5-2,7	3,0-3,4	1,2-2,6	42-60

Вместе с показателями критического (оптимального) уровня питания растений отдельным элементам следует всегда учитывать содержание других элементов питания и их соотношение между собой по фазам развития (табл. 26).

Н.К. Болдырев (1970) предложил метод расчета доз удобрений по химическому составу растений, основанный на установлении степени нуждаемости (Сн) в элементе питания по формуле (61):

$$C_n = C_o : C_f \quad (61)$$

где C_o – содержание оптимальное элемента в растении, %, C_f – содержание фактическое элемента в растении, %.

Таблица 26 – Оптимальное соотношение элементов в растениях в течение вегетации (сухое вещество)

Фаза развития	Уравнение баланса			
	макроэлементы		микроэлементы	
Яровая пшеница				
Кущение	$N \approx 12,9 \cdot P \approx 1,3 \cdot K$	(25)	$Mn \approx 1,9 \cdot Zn \approx 22,2 \cdot Cu$	(43)
Выход в трубку	$N \approx 9,9 \cdot P \approx 1,3 \cdot K$	(26)	$Mn \approx 1,4 \cdot Zn \approx 9,7 \cdot Cu$	(44)
Колошение	$N \approx 9,7 \cdot P \approx 1,2 \cdot K$	(27)	$Mn \approx 1,3 \cdot Zn \approx 13,6 \cdot Cu$	(45)
Озимая пшеница				
Всходы	$N \approx 6,5 \cdot P \approx 1,0 \cdot K$	(28)	$Mn \approx 2,8 \cdot Zn \approx 14 \cdot Cu$	(46)
Кущение осеннее	$N \approx 6,8 \cdot P \approx 0,85 \cdot K$	(29)	$Mn \approx 2,4 \cdot Zn \approx 17 \cdot Cu$	(47)
Кущение весеннее	$N = 9,2 \cdot P = 1,20 \cdot K$	(30)	$Mn \approx 1,7 \cdot Zn \approx 16 \cdot Cu$	(48)
Выход в трубку	$N \approx 9,5 \cdot P \approx 1,05 \cdot K$	(31)	$Mn \approx 3,3 \cdot Zn \approx 25 \cdot Cu$	(49)
Колошение	$N \approx 10 \cdot P \approx 1,50 \cdot K$	(32)	$Mn \approx 3,9 \cdot Zn \approx 27,5 \cdot Cu$	(50)
Озимая рожь				
Всходы	$N \approx 7,8 \cdot P \approx 1,20 \cdot K$	(33)	$Mn \approx 2,8 \cdot Zn \approx 18,8 \cdot Cu$	(51)
Кущение осеннее	$N \approx 7,1 \cdot P \approx 0,99 \cdot K$	(34)	$Mn \approx 4,3 \cdot Zn \approx 24,5 \cdot Cu$	(52)
Кущение весеннее	$N \approx 7,6 \cdot P \approx 1,01 \cdot K$	(35)	$Mn \approx 5,0 \cdot Zn \approx 29,5 \cdot Cu$	(53)
Выход в трубку	$N \approx 9,1 \cdot P \approx 1,03 \cdot K$	(36)	$Mn \approx 2,8 \cdot Zn \approx 15,7 \cdot Cu$	(54)
Колошение	$N \approx 7,9 \cdot P \approx 1,0 \cdot K$	(37)	$Mn \approx 2,5 \cdot Zn \approx 22,0 \cdot Cu$	(55)
Озимое тритикале				
Всходы	$N \approx 5,5 \cdot P \approx 1,28 \cdot K$	(38)	$Mn \approx 7,6 \cdot Zn \approx 46,1 \cdot Cu$	(56)
Кущение осеннее	$N \approx 4,7 \cdot P \approx 0,80 \cdot K$	(39)	$Mn \approx 9,0 \cdot Zn \approx 65,0 \cdot Cu$	(57)
Кущение весеннее	$N \approx 8,2 \cdot P \approx 1,39 \cdot K$	(40)	$Mn \approx 6,0 \cdot Zn \approx 40,5 \cdot Cu$	(58)
Выход в трубку	$N \approx 5,6 \cdot P \approx 0,51 \cdot K$	(41)	$Mn \approx 5,8 \cdot Zn \approx 80,6 \cdot Cu$	(59)
Колошение	$N \approx 13,9 \cdot P \approx 0,75 \cdot K$	(42)	$Mn \approx 15,9 \cdot Zn \approx 26,8 \cdot Cu$	(60)

Зная значения C_n , можно рассчитать дозу удобрения. Если $C_n \leq 1$, то растения в данном элементе не нуждаются и расчет дозы не проводится. При значении C_n от 1,1 расчет ведется по формуле (62):

$$D = C_n \cdot M_n, \quad (62)$$

где D – доза минерального удобрения; M_n – минимальная норма, кг д.в./га.

Степень нуждаемости уточняется по другому элементу, находящемуся в относительном избытке, или по оптимальному соотношению между элементами в растениях, согласно уравнению оптимального баланса (63):

$$\% N = a_1 \cdot \% P = a_2 \cdot \% K \quad (63)$$

Оценка уравновешенности питания проводится путем сопоставления фактически сложившегося соотношения в растениях с оптимальным. Для этого используется степень нуждаемости (C_n), который показывает, на сколько отклоняется фактическое соотношение элемента в растении от оптимального (64):

$$C_{Nn} = (N_o : N_f) \cdot (P_o : P_f); (N_o : N_f) \cdot (K_o : K_f) \text{ и т.д.}, \quad (64)$$

где N_o и N_f , P_o и P_f , $K_o : K_f$ – оптимальное и фактическое содержание элемента в растении в конкретную фазу. Эта поправка применяется при определении доз азота под культуры, которые имеют содержание в растениях фосфора или калия ниже оптимума.

На основании установленных оптимальных уровней и соотношений элементов питания в растении, минимальной их нормы (дозы, M_n) для конкретной фазы вегетации появляется возможность управлять питанием культур в различных агрохимических ситуациях (табл. 27).

Таблица 27 – Минимальная норма потребления (Mn) элементов питания для листовой подкормки культур в ранние фазы развития (г/га)

Фаза	Пшеница яровая			Пшеница озимая			Рожь озимая			Тритикале озимое		
	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn
Кущение	9	2	20	24	3	50	35	5	170	30	4	160
Выход в трубку	20	4	40	50	7	160	60	8	220	55	7	205

Можно доводить сложившийся фактический уровень питания до оптимального, установив дозу элемента по формуле 62 и внося её в подкормку.

7.3 Управление питанием зерновых культур на основе показателей агрономической эффективности

Агрономическая эффективность удобрения – окупаемость единицы удобрений полученным дополнительным урожаем культуры в конкретных агроклиматических условиях. Данный показатель непосредственно можно использовать для установления доз удобрений.

Зерновые культуры хорошо реагируют на Zn-удобрения при допосевном применении. Об этом свидетельствуют высокая зависимость урожайности зерна (Y, т/га) от доз Zn-удобрений, внесенных в почву (X, кг/га) на оптимальном азотно-фосфорном фоне (уравнения 65-68):

$$\text{яровая пшеница: } Y = 2,81 + 0,038X; \quad r = 0,82; \quad (65)$$

$$\text{озимая пшеница: } Y = 3,20 + 0,038X; \quad r = 0,92; \quad (66)$$

$$\text{озимая рожь: } Y = 4,70 + 0,125X; \quad r = 0,85; \quad (67)$$

$$\text{озимое тритикале: } Y = 2,30 + 0,040X. \quad r = 0,84 \quad (68)$$

Из уравнений (65-68) следует, что коэффициент интенсивности действия (Кд) единицы поступившего Zn в почву (кг д.в./га) на формирование величины урожая зерна яровой пшеницы на оптимальном азотно-фосфорно-калийном фоне составляет 0,038 т/га; озимой пшеницы – 0,038 т/га; озимой ржи – 0,125 т/га, озимого тритикале – 0,040 т/га.

Недостатком многих экспериментов по удобрению является отсутствие параметров взаимосвязи между концентрацией элементов питания в почве, урожайностью и оптимальной дозой удобрения. Такое положение не позволяет переносить данные полевых опытов с удобрениями на такую же почву в той же зоне, но при другом уровне содержания питательных веществ в почве, т.к. дозы удобрений, прежде всего, являются функцией плодородия. Подтверждением этого служат результаты экспериментов (табл. 28).

Таблица 28 – Эффективные дозы удобрений под зерновые культуры на лугово-черноземных почвах южной лесостепи Западной Сибири

Содержание в почве			Фосфор			Цинк		
			доза удобрения, кг д.в./га	окупаемость удобрения зерном, кг/кг	Аэ	доза удобрения, кг д.в./га	окупаемость удобрения зерном, кг/кг	Аэ
азот	фосфор	калий	4	5	6	7	8	9
Яровая пшеница								
очень высокое	среднее	очень высокое	60	6,5	0,0065	8	14,7	0,068
очень высокое	повышенное	очень высокое	н	-	-	8	26,3	0,038

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Озимая пшеница								
очень высокое	среднее	очень высокое	60	9,8	0,010	4	6,7	0,152
очень высокое	повышенное	очень высокое	н	-	-	8	26,3	0,038
Озимая рожь								
очень высокое	среднее	очень высокое	60	5,2	0,0052	8	18,9	0,053
очень высокое	среднее	очень высокое	н	-	-	4	5,85	0,125
Озимое тритикале								
очень высокое	среднее	очень высокое	60	11,7	0,017	8	19,6	0,051
очень высокое	повышенное	очень высокое	н	-	-	8	25,0	0,040

* н – не требуется вносить

Полученный норматив эффективности удобрений позволяет в конкретных условиях проводить планирование прибавок урожая зерна. Так, зная, что для получения 1 т/га зерна озимого тритикале на оптимальном азотно-фосфорно-калийном фоне требуется 20 кг Zn (1 т/га : 0,040 т/га = 25), рассчитать прибавки урожая зерна можно по формуле (69):

$$П = Д : Аэ, \quad (69)$$

где П – плановая прибавка урожайности зерна, т/га; Д – доза Zn, кг д.в./га; Аэ – агрономическая эффективность (окупаемость 1 кг удобрений для получения 1 тонны зерна), кг д.в./га. Для озимого тритикале данная формула будет иметь вид:

$$П = Д : 20,$$

Для получения 1 т/га зерна озимой ржи требуется 8 кг (1 т/га:0,125 т/га = 8) д. в. Zn, яровой и озимой пшеницы – 26 кг. Знание плановой прибавки урожая (П, т/га) и показателя агрономической эффективности Zn (Кд) позволяет установить дозы внесения Zn (кг/га) под зерновые культуры по формуле (70):

$$Д = П : Аэ, \quad (70)$$

Максимальная прибавка при внесении Zn-удобрений не превышает на оптимальном макроэлементном фоне: у яровой пшеницы – 0,3 т/га, озимой – 0,5, озимой ржи – 0,4, тритикале – 0,3. При недостатке доступного азота и фосфора в почве соответственно 0,5; 0,6; 0,4; 0,7. Зависимость между дозой удобрений и элементами питания в почве обратно пропорциональная: чем выше величина содержания доступного элемента в почве, тем ниже доза соответствующего удобрений (равенство 71):

$$Д \cdot Сх = Д_о \cdot С_о, \quad (71)$$

где Д – определяемая доза удобрений, кг д.в./га, Д_о – оптимальная доза в опыте, кг д.в./га; С_о – содержание подвижных форм элементов в почве перед посевом в опыте, в котором определена оптимальная доза, мг/кг; С_х – содержание подвижных форм элементов перед посевом в почве удобряемого поля, мг/кг.

Отсюда формула расчета доз на основе полевого опыта (ПО) (72):

$$Д = Д_о \cdot С_о : С_х. \quad (72)$$

Например, фактически при возделывании озимой пшеницы наилучшей была доза Zn 8 кг на оптимальном азотно-фосфорном фоне. При содержании Zn 0,54 мг/кг в пахотном слое почвы перед посевом озимой пшеницы, расчетная доза Zn-удобрений (кг/га) может определяться по формуле 73:

$$Д = 8 \cdot 0,54 : C_{Zn} \text{ или } Д = 4,3 : C_{Zn} \text{ мг/кг.} \quad (73)$$

При содержании Zn в почве перед посевом 0,58 мг/кг, доза Zn-удобрений (кг/га) под озимую рожь рассчитывается по формуле 74:

$$Д = 4 \cdot 0,58 : C_{Zn} \text{ или } Д = 2,3 : C_{Zn} \text{ мг/кг.} \quad (74)$$

7.4 Нормативные показатели потребности растений в элементах минерального питания и расчет доз удобрений на их основе

Установленные нормативные параметры можно использовать для установления доз удобрений под зерновые культуры расчетными методами (табл. 29).

Таблица 29 – Нормативные агрохимические показатели минерального питания зерновых культур

Показатель	Пшеница яровая	Пшеница озимая	Рожь озимая	Тритикале озимое
Азот				
КИП, %	87	68	69	57,1
КИУ, %	57	25	26	29
Потребление для создания 1 т зерна, кг	25	28	23	23,9
Потребление для создания 1 т зерна с учетом соломы, кг	35	35	33	41
N _T , кг/га	54	90	105	90,9
Фосфор				
КИП, %	8	18	21	19
КИУ, %	13	16	7	27
Потребление для создания 1 т зерна, кг	9	10	6	11,5
Потребление для создания 1 т зерна с учетом соломы, кг	20	19	13	18,6
Калий				
КИП, %	6	10	16	16
Потребление для создания 1 т зерна, кг	6	8	5	7,3
Потребление для создания 1 т зерна с учетом соломы, кг	24	20	20	29
Цинк				
КИП, %	7	3,0	4,2	3,9
КИУ, %	2	3,8	5,0	3,0
Потребление для создания 1 т зерна, г	30	16	14	17
Потребление для создания 1 т зерна с учетом соломы, г	50	24	20	20
Медь				
КИП, %	3,5	2,5	2,5	3,9
Потребление для создания 1 т зерна, г	2,2	1,2	1,0	0,8
Потребление для создания 1 т зерна с учетом соломы, г	4,0	3,3	2,5	3,0
Марганец				
КИП, %	0,12	0,15	0,17	0,14
Потребление для создания 1 т зерна, г	37,1	57	36	32,7
Потребление для создания 1 т зерна с учетом соломы, г	71	100	78	77

Расчет доз удобрений на плановую урожайность (ПУ) по формуле (75):

$$D = (ПУ \cdot N - Z \cdot K_{ип}) : K_{иу}, \quad (75)$$

где Z – запас элемента питания в слое почвы 0-20 см, кг/га; K_{ип} – коэффициент использования элементов питания из почвы; K_{иу} – коэффициент использования элемента питания из удобрений. При определении дозы N-удобрений используется формула (76):

$$D = (ПУ \cdot N - (Z + N_T) \cdot K_{ип}) : K_{иу}, \quad (76)$$

где N_T – азот текущей нитрификации, кг/га.

На плановую прибавку урожайности расчет рекомендуется по формуле 77 ВНИИУА:

$$D = N \cdot P : K_{иу}, \quad (77)$$

где D – доза удобрений, кг д.в./га; N – норма потребления 1 т зерна с учетом соломы, кг; K_{иу} – коэффициент использования элемента питания из удобрений.

В исследованиях разработаны схемы питания зерновых культур в условиях юга Западной Сибири (рисунок 4).



До посева		Посев		Кущение		Выход в трубку		Полная зрелость	
Основное внесение									
D=(ПУ-Н-З-Кип):Киу, Д=П:Аз Д=Н:П:Киу, Д=(Со-Сф):Кд									
Оптимумы в черноземной почве, мг/кг (Со)									
N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu	Mn	N	P	K	Mn
20	140	210	1,5	0,2	20	4,4	0,40	3,7	52
КИП, %									
87	8	6	7	3,5	0,12	Оптимальное соотношение			
N ≈ 11,3 · P ≈ 1,3 · K									
Mn ≈ 1,9 · Zn ≈ 22,2 · Cu									
N ≈ 10,5 · P ≈ 1,4 · K									
Mn ≈ 1,4 · Zn ≈ 9,7 · Cu									
КИУ, %									
57	13	-	2	-	-	Минимальная норма (Мн)			
Норма потребления (Н), кг/т									
35	20	24	50	4,0	71	N	Zn	Cu	Mn
Nt - 54, кг/га									



До посева		Посев		Кущение весеннее		Выход в трубку		Полная зрелость	
Основное внесение									
D=(ПУ-Н-З-Кип):Киу, Д=П:Аз Д=Н:П:Киу, Д=(Со-Сф):Кд									
Оптимумы в черноземной почве, мг/кг (Со)									
N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu	Mn	N	P	K	Mn
20	140	210	1,5	0,2	20	4,0	0,63	4,1	25
КИП, %									
68	18	10	4,2	2,5	0,15	Оптимальное соотношение			
N ≈ 9,2 · P ≈ 1,20 · K									
Mn ≈ 1,7 · Zn ≈ 16 · Cu									
N ≈ 9,5 · P ≈ 1,05 · K									
Mn ≈ 3,3 · Zn ≈ 25 · Cu									
КИУ, %									
25	16	-	4	-	-	Минимальная норма (Мн)			
Норма потребления (Н), кг/т									
35	19	20	24	3,3		N	Zn	Cu	Mn
Nt - 90, кг/га									



Яровая пшеница



До посева		Посев		Кущение весеннее		Выход в трубку		Полная зрелость	
Основное внесение									
D=(ПУ-Н-З-Кип):Киу, Д=П:Аз Д=Н:П:Киу, Д=(Со-Сф):Кд									
Оптимумы в черноземной почве, мг/кг (Со)									
N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu	Mn	N	P	K	Mn
20	140	210	1,5	0,2	20	4,9	0,63	4	17
КИП, %									
69	21	16	4,2	2,5	0,14	Оптимальное соотношение			
N ≈ 7,6 · P ≈ 1,01 · K									
Mn ≈ 5,0 · Zn ≈ 29,5 · Cu									
N ≈ 9,1 · P ≈ 1,03 · K									
Mn ≈ 2,8 · Zn ≈ 15,7 · Cu									
КИУ, %									
26	7	-	5	-	-	Минимальная норма (Мн)			
Норма потребления (Н), кг/т									
33	20	20	20	2,5	77	N	Zn	Cu	Mn
Nt - 105, кг/га									



Озимая пшеница



До посева		Посев		Кущение весеннее		Выход в трубку		Полная зрелость	
Основное внесение									
D=(ПУ-Н-З-Кип):Киу, Д=П:Аз Д=Н:П:Киу, Д=(Со-Сф):Кд									
Оптимумы в черноземной почве, мг/кг (Со)									
N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu	Mn	N	P	K	Mn
20	140	210	1,5	0,2	20	5,1	0,93	4	17,0
КИП, %									
57,1	19	16	3,9	3,9	0,14	Оптимальное соотношение			
N ≈ 8,2 · P ≈ 1,39 · K									
Mn ≈ 6,0 · Zn ≈ 40,5 · Cu									
N ≈ 5,6 · P ≈ 0,51 · K									
Mn ≈ 5,8 · Zn ≈ 80,6 · Cu									
КИУ, %									
29	27	-	3	-	-	Минимальная норма (Мн)			
Норма потребления (Н), кг/т									
41	19	29	20	2,5	33	N	Zn	Cu	Mn
Nt - 91, кг/га									



Озимая рожь

Озимое тритикале

Рисунок 4 – Схемы системы управления питанием зерновых культур

8 Экономическая и агроэнергетическая оценка применения удобрений и регулятора роста

Применение в основное внесение Zn-удобрений под зерновые культуры обеспечивало экономический эффект при уровне рентабельности в лучших вариантах при возделывании яровой пшеницы 83,2 %, озимых: пшеницы – 133,6-169,7 %, ржи – 205,9 %, тритикале – 12,4 %; при обработке семян микроэлементами (Zn, Cu, Mn), соответственно, 161,6-267,0 %, 128,5-182,8 %, 124,8-217,5 %, 60,1-93,3 %. Применение хелатных микроудобрений Zn, Cu при возделывании яровой пшеницы обеспечивало рентабельность при обработке семян 194,4 %; при листовой подкормке в фазу кущения – 179,3 %, выхода в трубку – 53,0 %. При применении азотных листовых подкормок рентабельность при удобрении – 69,9 %. Использование различных форм N-удобрений и способов обеспечило максимальная рентабельность от карбамидно-аммиачной смеси в подкормку яровой пшеницы – 118,8 %, ячменя – 195,5 %; регулятора роста соответственно 65,6-71,8 % и 35,9-69,9 %.

Агроэнергетическая эффективность в лучших вариантах основного внесения Zn-удобрений под зерновые культуры обеспечивала энергоотдачу (КПД) при возделывании яровой пшеницы 1,1-8,3, озимых пшеницы – 3,3-8,5, ржи – 2,5-7,1, тритикале – 4,0-8,3. При применении азотных листовых подкормок КПД составил 1,3-2,6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При возделывании зерновых культур на лугово-черноземной почве лесостепи Западной Сибири установлено, что допосевное внесение Zn-удобрений и обработка семян одинаково эффективны: максимальная урожайность яровой пшеницы получена при основном внесении Zn_8 и при предпосевной обработке $Zn_{0,5}$ – соответственно 3,11 и 3,09 т/га (урожайность зерна на фоне $N_{60}P_{60}$ – 2,81 т/га); озимой пшеницы, соответственно, Zn_8 и $Zn_{0,1}$ – 3,52 и 3,48 т/га (3,21 т/га); озимой ржи – Zn_4 и $Zn_{0,1}$ – 4,72 и 4,79 т/га (4,22 т/га); озимого тритикале – Zn_8 и $Zn_{0,1}$ – 3,28 и 3,16 т/га (2,96 т/га).

2. Установлены количественные характеристики (Кд) интенсивности действия 1 кг д.в. удобрений на урожайность зерна яровой пшеницы (0,038 т/га), озимых пшеницы (0,038), ржи (0,125), тритикале (0,40) и на основе этого предложены формулы для прогнозирования прибавок урожая и доз допосевного внесения цинка ($D = П / Кд$) и расчета доз Zn-удобрений на основе полевого опыта с учетом содержания цинка в почве $D = D_0 \cdot C_0 : C_x$.

3. Наиболее эффективно:

3.1 при обработке семян:

– яровой пшеницы раздельном применении $Zn_{1,5}$ – прибавка урожая зерна 0,57 т/га (20,0 % к фону), $Cu_{1,0}$ – 0,54 т/га (19,1 %) и $Mn_{1,0}$ – 0,42 т/га (15,6 %);

– озимой пшеницы соответственно $Zn_{1,0}$ – 0,43 т/га (14,6 %), $Cu_{0,5}$ – 0,39 т/га (13,1 %), $Mn_{1,0}$ – 0,54 т/га (18,1 %);

– озимой ржи, соответственно, $Zn_{0,5}$ – 0,43 т/га (9,9 %), $Cu_{1,0}$ – 0,37 т/га (8,5 %), $Mn_{0,5}$ – 0,50 т/га (11,5 %);

– озимого тритикале соответственно $Zn_{1,0}$ – 0,28 т/га (9,6 %), $Cu_{0,5}$ – 0,26 т/га (8,8 %), $Mn_{1,0}$ – 0,30 т/га (10,2 %).

3.2 При совместном применении, соответственно, по культурам: яровая пшеница – $Zn_{0,5}Cu_{0,5}Mn_{0,5}$ – 0,74 т/га (24,5 %); озимая пшеница – $Zn_{0,5}Cu_{0,5}Mn_{0,5}$ – 0,64 т/га (21,3 %); озимая рожь – $Zn_{0,5}Mn_{0,5}$ – 0,56 т/га (12,8 %); озимое тритикале – $Zn_{0,5}Mn_{0,5}$ – 0,35 т/га (11,8 %).

4. Лучшей дозой хелатов Zn и Cu при предпосевной обработке семян является 20 г/100 кг (получена прибавка урожая зерна 0,20 или 9,1 % и 0,14 т/га или 6,4 %), при листовой подкормке в фазу кущения и выхода в трубку – 20 и 10 г/га соответственно (0,20 т/га или 9,1 % и 0,14 т/га или 6,4 %). При этом при применении хелата Zn обработка семян и листовая подкормка в фазу кущения имеет преимущество перед листовой подкормкой в фазу выхода в трубку, так как при том формируется большая прибавка урожая. При применении хелата Cu наибольшая продуктивность яровой пшеницы наблюдалась при листовой подкормке в фазу кущения.

5. Применение микроудобрений способами предпосевной обработки семян и листовой подкормки на фоне без основного удобрения улучшает качество посевного материала, существенно повышая массу 1000 семян (32,45 г против 29,92 г в контроле), лабораторную всхожесть (98,8 % в контроле 97,3 %) и энергию роста 98 % в контроле 93,3 %. Максимальная натура зерна 717 г/л получена при листовой подкормке хелатами меди в фазу кущения в контроле 693 г/л. Листовая подкормка в фазу кущения показала более высокие результаты по всем показателям качества посевного материала.

6. Некорневые подкормки N_{30} и $N_{10} + N_{30}$ на фоне без основного удобрения увеличили урожайность зерна яровой пшеницы на 0,31 и 0,38 т/га (3,52 т/га); на фоне $N_{139}P_{101}$ на 0,16 и 0,15 (4,40 т/га). Применение азотных подкормок в минимальной дозе N_{10} в фазу кущения обеспечило увеличение урожайности на 0,12 (фон без удобрений) и на 0,01 т/га зерна (фон $N_{139}P_{101}$). Формы азотных удобрений (карбамид, аммиачная селитра, КАС) имеют одинаковую агрономическую эффективность при допосевном и послепосевном использовании под яровые пшеницу и ячмень.

7. Максимальная урожайность зерна при применении регулятора роста Зеребра Агро была получена от листовой подкормки в фазу кущения при возделывании яровой пшеницы первой культурой после пара в дозе 100 мл/га и составила 3,05 т/га (прибавка 0,23 т/га), второй культурой после пара – в дозе 150 мл/га – 2,00 т/га (0,28 т/га); при возделывании ячменя первой культурой после пара – в дозе 150 мл/га – 3,11 т/га (0,24 т/га), второй культурой после пара – в дозе 200 мл/га – 2,10 т/га (0,33 т/га).

8. Выявленные математические зависимости, связывающие урожайность зерна культур, его качество с содержанием элементов питания в почве и химическим составом растений позволяют прогнозировать показатели качества зерна.

9. Аминокислотный состав белка зерна яровой пшеницы изменялся от уровня питания зерновых культур, форм и способа внесения удобрений и сортовых особенностей культур:

– сумма аминокислот при обработке семян хелатами микроэлементов изменялась от 7,44 г/100 г сухого вещества без удобрений до наибольшей 7,60 от совместного применения цинка и меди (вариант $Zn_{20}Cu_{20}$); при листовой подкормке в фазу кущения сумма аминокислот соответственно изменялась от 7,44 г/100 г до 8,27 г/100 г (вариант Cu_{20}); при подкормке в фазу выхода в трубку от 7,44 до 7,92 г/100 г (вариант Zn_{20}).

– содержание аминокислот в зерне пшеницы изменялось по вариантам с разными дозами и способами внесения удобрений. Применение максимальной суммарной дозы минеральных удобрений $N_{139}P_{101}+N_{10}+N_{30}$ обеспечило накопление анализируемых аминокислот в зерне 9,33 г/ 100 г сухого вещества, в том числе незаменимых – 4,06 г/100 г. Наибольшее количество аминокислот – 9,97 г/100 г – отмечалось в варианте с внесением $N_{139}P_{101}+N_{10}$.

– при исследовании действия форм N-удобрений выявлено, что сумма аминокислот повышалась с 8,97 г/100 г сухого без удобрений до наибольшей 9,74 г/100 г (вариант

Нк – припосевное + Нкас – послепосевное), сумма незаменимых аминокислот аналогично повышалась от 3,74 до 4,14 г/100 (вариант Нк – припосевное), сумма критических аминокислот максимальная отмечена в варианте Нк – послепосевное; в зерне ячменя – с 7,94 в контроле до 8,49 (вариант Нас – припосевное + Нкас – послепосевное), сумма незаменимых аминокислот аналогично повышалась от 3,36 до 4,28 г/100 (вариант Нкас – послепосевное), сумма критических аминокислот максимальная отмечена в варианте Нк – послепосевное – 1,19 г/100 г.

10. Между микроэлементами в процессе поступления их в растения, проявление антагонистических и синергетических отношений определяется преимущественно биологическими особенностями развития растений и степенью отклонения от оптимума концентрации взаимодействующих элементов в почве и растениях.

11. Определены нормативные агрохимические характеристики зерновых культур для управления минеральным питанием на основе комплексной диагностики:

– коэффициенты использования питательных веществ из удобрений и почвы (КИУ и КИП);

– коэффициенты интенсивности действия минеральных удобрений на химический состав почвы (N – 0,11, P₂O₅ – 0,22, Zn – 0,17 мг/кг);

– оптимальное содержание подвижного цинка в почве в фазу кущения – 1,5-2,0 мг/кг для расчета доз удобрений с учетом оптимального и фактического содержания цинка в почве;

– потребность растений в макро- и микроэлементах для создания 1 т зерна;

– оптимальные уровни содержания и уравновешенный баланс валовых N, P, K, Zn, Cu, Mn в растениях по фазам развития;

– количество азота текущей нитрификации в почве;

– минимальное потребление N, Zn, Cu, Mn растением для расчета доз удобрений для некорневой подкормки по формуле $D = C_n \cdot N$.

12. Установлена высокая эффективность применения удобрений под зерновые культуры в дозах, определенных различными методами расчета, в основное внесение (формулы $D = N \cdot П : Киу$; $D = (Со - Сф) : Кд$; $D = До \cdot Со : Сх$) и в подкормку (формула $D = C_n \cdot M$).

13. Применение в основное внесение Zn-удобрений под зерновые культуры обеспечивало экономический эффект при уровне рентабельности в лучших вариантах при возделывании яровой пшеницы 83,2 %, озимых: пшеницы – 133,6-169,7 %, ржи – 205,9 %, тритикале – 12,4 %; при обработке семян микроэлементами (Zn, Cu, Mn), соответственно, 161,6-267,0 %, 128,5-182,8 %, 124,8-217,5 %, 60,1-93,3 %. Применение хелатных микроудобрений Zn, Cu при возделывании яровой пшеницы обеспечивало рентабельность при обработке семян 194,4 %; при листовой подкормке в фазу кущения – 179,3 %, выхода в трубку – 53,0 %. При применении азотных листовых подкормок рентабельность при удобрении – 69,9 %. Использование различных форм N-удобрений и способов обеспечило максимальная рентабельность от карбамидно-аммиачной смеси в подкормку яровой пшеницы – 118,8 %, ячменя – 195,5 %; регулятора роста соответственно 65,6-71,8 % и 35,9-69,9 %.

14. Агроэнергетическая эффективность в лучших вариантах основного внесения Zn-удобрений под зерновые культуры обеспечивала энергоотдачу (КПД) при возделывании яровой пшеницы 1,1-8,3, озимых пшеницы – 3,3-8,5, ржи – 2,5-7,1, тритикале – 4,0-8,3. При применении азотных листовых подкормок КПД составил 1,3-2,6.

15. В результате комплексных многолетних исследований разработаны схемы управления питанием зерновых культур на основе установленных оптимальных уровней содержания и соотношения макро- и микроэлементов в растениях, нормативных агрохимических количественных показателей потребности растений в элементах питания, их использования из почвы и удобрений и интенсивности действия единицы удобрений на химический состав почвы и растений.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

На лугово-черноземных почвах юга лесостепи Западной Сибири рекомендовано применение минеральных удобрений на основе разработанной схемы управления питанием зерновых культур при использовании нормативных показателей комплексного метода диагностики:

- оптимального состава и соотношения элементов питания в почве до посева;
- коэффициентов использования элементов питания из почвы и удобрений;
- нормативов затрат макро- и микроэлементов для получения 1 т зерна с соответствующим количеством побочной продукции;
- коэффициентов действия удобрений на химический состав почвы.
- оптимальных уровней содержания и соотношения элементов в растениях в основные фазы развития.

Для расчета доз и сочетания удобрений использовать формулы расчета доз удобрений в основное внесение на основе почвенной диагностики:

$$D = H \cdot P : K_{iu}; D = (C_o - C_f) : K_d; D = D_o \cdot C_o : C_x;$$

в подкормку на основе растительной диагностики:

$$D = C_n \cdot M,$$

где D – доза удобрения; H – норма потребления элементов на создание единицы урожая; K_{iu} – коэффициент использования элементов питания из удобрений; C_o – содержание оптимальное; C_f – содержание фактическое; C_x – содержание в почве конкретного поля; K_d – коэффициент действия.

- дозы применения микроэлементов для обработки семян при недостатке микроэлемента в почве, кг на тонну семян: яровой пшеницы $Zn_{0,2}Cu_{0,2}Mn_{0,5}$, озимой пшеницы $Zn_{0,5}Cu_{0,5}Mn_{0,5}$; озимой ржи $Zn_{0,5}Mn_{0,5}$; озимого тритикале $Zn_{0,5}Mn_{0,5}$;
- применять дозы хелатов микроэлементов:

при обработке семян: $Zn_{20}Cu_{20}$

при листовой подкормке в фазу кущения: $Zn_{0,2}Cu_{0,2}$; выхода в трубку: $Zn_{20}Cu_{30}$.

при листовой подкормке в фазу кущения: стимулятором роста Зеребра Агро: яровой пшеницы 100-150 мл/га, ячменя – 150-200 мл/га.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Материалы данной диссертационной работы являются перспективными для внедрения в производство в условиях лесостепи Западной Сибири. Для управления питанием внесением удобрений до посева используются нормативы почвенной диагностики и апробированные формулы для расчета доз в основное внесение; для оптимизации питания в течении вегетации при необходимости используются нормативные параметры растительной диагностики и формулы расчета доз удобрений для подкормки. В дальнейшем актуальны исследования по оптимизации питания на основе дистанционной диагностики на базе установленных параметров и внесение на основе точного земледелия удобрений.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых изданиях

1. Агрохимические нормативные показатели минерального питания яровой пшеницы в лесостепи Западной Сибири / Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, В.В. Попова, А.А. Гайдар // Известия ТСХА. – 2021. – №1. – С. 5-17.
2. Бобренко И.А. Биоэнергетическая эффективность опудривания семян микроэлементами (Zn, Cu, Mn) при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири / И.А. Бобренко, Е.А. Вакалова, Н.В. Гоман // Вестник Омского ГАУ. – 2016. – №1 (21). – С. 70-76.
3. Бобренко И.А. Биоэнергетическая эффективность применения удобрений под озимую тритикале на лугово-черноземной почве Западной Сибири / И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, Е.Ю. Павлова // Омский научный вестник. – 2013. – №1 (118). – С.166-170.
4. Бобренко И.А. Биоэнергетическая эффективность применения удобрений под озимую пшеницу в Западной Сибири / И.А. Бобренко, В.И. Попова, Н.В. Гоман // Вестник Омского ГАУ. – 2014. – №1(13). – С. 3-9.
5. Бобренко И.А. Эффективность обработки семян микроэлементами (Cu, Mn, Zn) при возделывании озимой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири / И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, В.И. Попова // Омский научный вестник. – 2014. – №1(128). – С. 107-111.
6. Бобренко И.А. Эффективность опудривания семян микроэлементами (Zn, Cu, Mn) при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири / И.А. Бобренко, Е.А. Вакалова, Н.В. Гоман // Омский научный вестник. – 2013. – №1 (118). – С.170-173.
7. Бобренко И.А. Эффективность разных приемов применения цинковых удобрений под яровую пшеницу в условиях Западной Сибири / И. А. Бобренко, Н. В. Гоман, Н. В. Шувалова // Омский научный вестник. – 2012. – №1 (104). – С.142-145.
8. Болдышева Е.П. Эффективность обработки семян медью, цинком и марганцем при возделывании озимой ржи на лугово-чернозёмной почве в условиях Западной Сибири / Е.П. Болдышева, И.А. Бобренко, Н.В. Гоман // Омский научный вестник. – 2015. – №1(138) – С. 142-144.
9. Влияние азотных некорневых подкормок на урожайность яровой мягкой пшеницы / Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, М.В. Иванова В.П. Кормин // Вестник Курганской ГСХА. – 2022. – №3. – С. 3-8.
10. Влияние некорневой подкормки хелатами микроэлементов на урожайность яровой пшеницы при возделывании на лугово-черноземной почве / В.В. Попова, Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, А.А. Гайдар // Вестник Красноярского ГАУ. – 2020. – №8 (160). – С. 2-12.
11. Влияние предпосевной обработки семян хелатами микроэлементов на продуктивность яровой пшеницы / Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, В.М. Красницкий, В.В. Попова // Плодородие. – 2020. – №6 (117). – С.24-26.
12. Влияние различных способов и форм применения азотных удобрений на урожайность зерновых культур / Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, В.И. Попова, Е.П. Болдышева, В.П. Кормин // Вестник Омского ГАУ. – 2022. – №3 (47). – С. 15-23.
13. Бобренко И.А. Влияние разных способов внесения цинка под озимую тритикале на урожайность зерна в условиях южной лесостепи Западной Сибири / И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, Е.Ю. Павлова, В.М. Красницкий // Плодородие. – 2012. – №3. – С. 7-9.
14. Кормин В.П. Влияние регулятора роста Зереба-Агро на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в условиях юга Западной Сибири / В.П. Кормин, Н.В. Гоман // Сахарная свекла. – 2023. – № 8. – С. 27-31.

15. Вынос элементов питания урожаем яровой пшеницы / Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, В.П. Кормин, М.В. Иванова // Вестник Омского ГАУ. – 2022. – №1(45). – С.30-35.
16. Гоман Н. В. Влияние микроудобрений на структуру урожая озимой пшеницы / Н. В. Гоман, В. И. Попова, И. А. Бобренко // Вестник Красноярского ГАУ. – 2016. – №1. – С. 114-117.
17. Гоман Н.В. Влияние микроудобрений на выживаемость растений и структуру урожая яровой пшеницы / Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, В.В. Попова // Агрохимический вестник. – 2021. – №5. – С. 60-65.
18. Гоман Н.В. Влияние предпосевной обработки семян хелатами микроэлементов на урожайность яровой пшеницы / Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, В.В. Попова // Агрохимический вестник. – 2020. – №6 (40). – С.38-42.
19. Гоман Н.В. Нормативные показатели для определения потребности озимой ржи в элементах минерального питания при возделывании на лугово-чернозёмной почве лесостепи Западной Сибири / Н.В. Гоман, Е.П. Болдышева, И.А. Бобренко // Вестник Омского ГАУ. – 2018. – №2 (30). – С. 17-24.
20. Гоман Н.В. Химический состав растений пшеницы яровой при применении регулятора роста Зереба-Агро / Н.В. Гоман, В.П. Кормин, М.А. Склярова // Сахарная свекла. – 2023. – № 2. – С. 29-32.
21. Действие азотных листовых подкормок на урожайность яровой мягкой пшеницы / Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, В.П. Кормин, М.В. Иванова // Вестник Омского ГАУ. – 2022. – №4 (48). – С. 29-34.
22. Управление питанием яровой пшеницы на основе растительной диагностики / Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, В.В. Попова, А.А. Гайдар // Земледелие. – 2021. – №6. – С. 36-40.
23. Урожайность и потребление элементов питания яровой пшеницей при применении микроудобрений / Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, В.В. Попова, А.А. Гайдар // Агрохимический вестник. – 2022. – №6. – С. 32-37.
24. Эффективность некорневой подкормки хелатами микроэлементов при возделывании яровой пшеницы на лугово-черноземной почве / Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, В.В. Попова, Ю.В. Аксенова // Земледелие. – 2020. – №5. – С. 31-34.
25. Эффективность основного внесения цинковых удобрений под озимые зерновые культуры на лугово-черноземной почве Западной Сибири / И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, В.И. Попова, Е.П. Болдышева // Омский научный вестник. – 2011. – №1 (104). – С. 246-250.
26. Эффективность применения микроудобрений под озимую пшеницу на лугово-черноземной почве Западной Сибири / И.А. Бобренко, В.М. Красницкий, Н.В. Гоман, В.И. Попова // Плодородие. – 2011. – №4. – С. 18-19.
27. Эффективность применения некорневых азотных подкормок яровой пшеницы / М.В. Иванова, И.А. Бобренко, В.П. Кормин, Н.В. Гоман // Вестник Омского ГАУ. – 2022. – №2 (46). – С. 5-12.

Публикации, входящие в международную базу данных

28. Economic efficiency of the use of microelement chelates in cultivation of spring wheat on quasigleyic black soil / N.V. Goman, I.A. Bobrenko, V.V. Popova, A.A. Gaidar, E.P. Boldysheva // IOP: Materials Science and Engineering. – 2021. – № 659. – 012066.
29. Effective use of various forms of nitrogen fertilizers in barley cultivation / I.A. Bobrenko, V. P. Kormin, N.V. Goman, V.I. Popova, E.P. Boldysheva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – № 845. – 5012016.
30. Efficiency of foliar feeding with zinc and copper chelates of spring soft wheat in the conditions of the southern forest-steppe of the Omsk Irtysh region / I.A. Bobrenko, V.V.

Popova, N.V. Goman, A.A. Gaidar // *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*. – 2019. – V. 393. – P. 232-235.

31. Improving Competitiveness of the Wheat Production within the Siberian Region (in Terms of the Omsk region) / I.A. Bobrenko, O.V. Shumakova, N.V. Goman, Y.I. Novikov, V.I. Popova, O.A. Blinov // *Journal of Advanced Research in Law and Economics*. – 2017. – V. VIII. – Is. 2(24). – P.426-436.

32. Increasing Economic Efficiency of Producing Wheat in the West Siberia and South Ural as a Factor of Developing Import Substitution / D.S. Nardin, I.A. Bobrenko, N.V. Goman, E.A. Vakalova, S.A. Nardina // *International Review of Management and Marketing*. – 2016. – 6(4). – P. 772-778.

33. Influence of the agro zerebra growth regulator on yield and quality of spring barley grain / N.V. Goman, V. P. Kormin, I.A. Bobrenko, V.I. Popova, E.P. Boldysheva // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2021. – № 937. – 022126.

34. Trace Element Content in the Soils of the Forest-Steppe of Western / N.V. Goman, I.A. Bobrenko, O.A. Matveychik, V.I. Popova, E.G. Bobrenko // *International research conference on Challenges and Advances in Farming, Food Manufacturing, Agricultural Research and Education, KnE Life Sciences*. – 2021. – pages 153-160.

Рекомендации производству

35. Применение жидких азотных удобрений при возделывании зерновых культур в Омской области: рекомендации производству / И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, В.П. Кормин, Е.П. Болдышева, В.И. Попова. – Омск: Изд-во ИП Макшеевой Е.А., 2020. – 44 с.

36. Применение макро- и микроудобрений при возделывании зерновых культур в Омской области: рекомендации производству / И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, В.П. Кормин, В.И. Попова, Е.П. Болдышева. – Омск: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2021. – 44 с.

37. Применение органоминеральных стимуляторов для формирования высокотехнологичной системы питания сельскохозяйственных культур: рекомендации производству / И.А. Бобренко, В.П. Кормин, Н.В. Гоман, М.А. Склярова, В.И. Попова, Е.П. Болдышева, О.В. Дрофа, Е.Г. Бобренко. – Омск: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2023. – 44 с.

Публикации в других научных изданиях

38. Влияние микроудобрений на урожайность озимой ржи в условиях лесостепи Омской области / И.А. Бобренко, Е.П. Болдышева, Н.В. Михальская, А.Н. Ковтуненко // *Проблемы агрохимии, почвоведения и экологии: материалы Международной научно-практической конференции*. – Омск: «Вариант-Омск». – 2009. – С. 33-39.

39. Михальская Н.В. Влияние цинковых удобрений на урожайность озимой пшеницы на лугово-черноземной почве Омского Прииртышья / Н.В. Михальская, В.И. Попова, И.А. Бобренко // *Проблемы агрохимии, почвоведения и экологии: материалы Международной научно-практической конференции*. – Омск: «Вариант-Омск». – 2009. – С. 80-84.

40. Эффективность обработки семян микроэлементами (Cu, Mn, Zn) при возделывании озимой пшеницы в условиях лесостепи Омской области / В.И. Попова, Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, А.Н. Ковтуненко // *Диагностика и управление минеральным питанием растений: материалы Международной научно-практической конференции*. – Омск: Вариант-Омск, 2010. – С. 163-171.

41. Эффективность обработки семян микроэлементами (Cu, Mn, Zn) при возделывании озимой пшеницы в условиях лесостепи Омской области / В.И. Попова, Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, А.Н. Ковтуненко // *Диагностика и управление минеральным питанием растений: сборник материалов Международной научно-практической конференции*. – Омск: Вариант-Омск, 2010. – С. 163-171.

42. Эффективность основного внесения цинковых удобрений под озимые зерновые культуры на лугово-черноземной почве / Е.П. Болдышева, В.И. Попова, Н.В. Гоман, И.А. Бобренко // Диагностика и управление минеральным питанием растений: материалы Международной научно-практической конференции. – Омск: Вариант-Омск, 2010. – С. 35-45.
43. Попова В.И. Влияние микроэлементов микроудобрений (Zn, Cu, Mn) на урожайность и качество озимой пшеницы в условиях Западной Сибири / В.И. Попова, Н.В. Гоман, И.А. Бобренко // Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий: материалы Международной научно-практической конференции. – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2011. – С. 258-265.
44. Болдышева Е.П. Биоэнергетическая эффективность различных технологий применения удобрений под озимую рожь в Западной Сибири / Е.П. Болдышева, Н.В. Гоман, И.А. Бобренко // Проблемы безопасности. Технологии и управление: сборник материалов научно-практической конференции. – Омск, 2012. – С. 29-36.
45. Павлова Е.Ю. Влияние разных приемов внесения цинка под озимую тритикале в условиях южной лесостепи Западной Сибири / Е.Ю. Павлова, И.А. Бобренко, Н.В. Гоман // Питание растений: Вестник Международного института питания растений. – 2012. – №3. – С. 5-7.
46. Шувалова Н.В. Влияние разных приемов применения цинковых удобрений на урожай яровой пшеницы в условиях Западной Сибири / Н.В. Шувалова, И.А. Бобренко // Проблемы безопасности. Технологии и управление: сборник материалов научно-практической конференции. – Омск, 2012. – С. 185-191.
47. Бобренко И.А. Биоэнергетическая эффективность применения удобрений под озимую пшеницу в Западной Сибири / И.А. Бобренко, В.И. Попова, Н.В. Гоман // Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития: сборник научных трудов по материалам научно-практической конференции ч. 4. – Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. – С. 24-27.
48. Bobrenko I.A. Zinc Application Method Impacts Winter Triticale in Western Siberia / I.A. Bobrenko, N.V. Goman and E.Yu. Pavlova // Better crops contents with plant food. – 2013. – Vol. XCVII (97), № 3. – P. 21-23.
49. Попова В.И. Биоэнергетическая эффективность применения макро и микроудобрений под озимую пшеницу / В.И. Попова, Н.В. Гоман // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. – 2013. – Т. 3. – № 6. – С. 219-222.
50. Попова В.И. Влияние микроудобрений на продуктивность озимой пшеницы при возделывании на лугово-черноземной почве в условиях Западной Сибири / В.И. Попова Н.В. Гоман // Проблемы научно-технологической модернизации сельского хозяйства: производство, менеджмент, экономика: сборник трудов Международной научно-практической конференции обучающихся в магистратуре. ОмГАУ им. П.А. Столыпина. – 2014. – С. 80-84.
51. Вакалова Е.А. Влияние обработки семян (опудривание) микроэлементами на урожайность яровой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири / Е.А. Вакалова, Н.А. Галушко, И.А. Бобренко, Н.В. Гоман // Вестник студенческого научного общества. – т. 1. – СПб, 2014. – С. 15-18.
52. Бобренко И.А. Оптимизация применения цинковых удобрений при возделывании озимой пшеницы на лугово-черноземной почве / И.А. Бобренко, В.И. Попова, Н.В. Гоман / «Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса»: Материалы III международной конференции. – ГНУ СНИИЖК, Ставрополь, 2014. – Т. 2. – Вып. 7. – С.11-15.
53. Гоман Н. В. Оптимизация применения цинковых удобрений при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Омской области / Н. В. Гоман, И. А. Бобренко,

Н.В. Шувалова // Материально-техническое обеспечение АПК России: импортозамещение, перспективы и опыт корпорации «Енисей»: материалы Национальной научно-практической конференции – Вестник ОмГАУ. – 2014. – Спецвыпуск № 1. – С. 43-45.

54. Болдышева Е.П. Эффективность обработки семян микроэлементами при возделывании озимой ржи / Е.П. Болдышева, И.А. Бобренко, Н.В. Гоман / «Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса»: Материалы III международной конференции. ГНУ СНИИЖК, Ставрополь, 2014. – Т. 2. – вып. 7. – С.15-19.

55. Болдышева Е.П. Влияние микроудобрений на урожайность и качество озимой ржи при возделывании на лугово-чернозёмной почве Западной Сибири / Е.П. Болдышева, Н.В. Гоман // Проблемы научно-технологической модернизации сельского хозяйства: производство, менеджмент, экономика: сборник трудов Международной научно-практической конференции обучающихся в магистратуре. ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П.А. Столыпина. – 2014. – С. 15-18.

56. Гоман Н. В. Оптимизация применения цинковых удобрений при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Омской области / Н. В. Гоман, И. А. Бобренко, Н.В. Шувалова // Материально-техническое обеспечение АПК России: импортозамещение, перспективы и опыт корпорации «Енисей»: сборник трудов научно-практической конференции – Вестник ОмГАУ. – 2014. – Спецвыпуск № 1. – С. 43–45.

57. Попова В.И. Прогнозирование параметров цинкового питания растений озимой пшеницы / В.И. Попова, Н.В. Гоман, И.А. Бобренко // Перспективы развития науки и образования: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: Тамбов. – т. 10. - 2015. – С.99-102.

58. Гоман Н. В. Влияние микроудобрений на качество урожая озимой ржи в условиях Западной Сибири / Н. В. Гоман, Е.П. Болдышева, И. А. Бобренко // Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений. Экологические аспекты природопользования: сборник материалов. Омск: ЛИТЕРА, 2015. – С. 59-64.

59. Болдышева Е.П. Биоэнергетическая и экономическая эффективность применения макро- и микроудобрений при возделывании озимой ржи в условиях лесостепи Западной Сибири / Е.П. Болдышева, И.А. Бобренко, Н.В. Гоман // Агрометеорология и сельское хозяйство: история, значение и перспективы: сборник материалов Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции. ФГБОУ ВО Омский ГАУ. – С. 157-161.

60. Попова В.И. Микроэлементный состав растений озимой пшеницы при внесении цинковых удобрений / В.И. Попова, Н.В. Гоман // Экологические проблемы региона и пути их решения: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием «Эко-ВООМ». – Омск: ЛИТЕРА, 2016. – С. 269-275.

61. Эффективность применения регулятора роста «Зеребра-Агро» на урожайность и качество зерна яровой пшеницы «Дуэт» в условиях лесостепи Западной Сибири / В.П. Кормин, Н.В. Гоман, Л.М. Лихоманова, М.А. Склярова, С.С. Мельникова // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2016.– № 3 (6) . – С. 3.

62. Бобренко И.А. Метод диагностики потребности озимой ржи в цинковых удобрениях на основе полевого опыта / И.А. Бобренко, Е.П. Болдышева, Н.В. Гоман // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2017.– № 2 (9) . – С. 5.

63. Бобренко И.А. Эффективность обработки семян солями микроэлементов при возделывании озимой ржи на лугово-чернозёмной почве / И.А. Бобренко, Е.П. Болдышева, Н.В. Гоман // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: сборник II Всероссийской (национальной) научной конференции. Новосибирский государственный аграрный университет. – 2017. – С. 16-18.

64. Бобренко И.А. Содержание микроэлементов в растениях озимой ржи при применении цинковых удобрений в условиях западной Сибири / И.А. Бобренко, Е.П. Болдышева, Н.В. Гоман // Перспективы производства продуктов питания нового поколения: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2017. – С. 191-194.

65. Бобренко И.А. Метод диагностики потребности озимой пшеницы в цинковых удобрениях на основе полевого опыта / Бобренко И.А., В.И. Попова, Н.В. Гоман // Перспективы производства продуктов питания нового поколения: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2017. – С. 194-197.

66. Кормин В.П. Эффективность применения регулятора роста «Зеребра-агро» под ячмень яровой в условиях лесостепи западной Сибири / В.П. Кормин, Н.В. Гоман, Н.К. Трубина // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: II Всероссийская (национальной) научной конференции. Новосибирский государственный аграрный университет. – 2017. – С. 61-63.

67. Попова В.И. Эффективность применения цинковых удобрений под озимую пшеницу на лугово-черноземной почве / В.И. Попова, Н.В. Гоман // Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения- 2017): материалы Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 229-232.

68. Бобренко И.А. Метод расчета доз цинковых удобрений на основе полевого опыта при возделывании озимой пшеницы / И.А. Бобренко, В.И. Попова, Н.В. Гоман // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2018. – № 1 (12). – С. 2.

69. Бобренко И.А. Эффективность применения цинковых удобрений под озимую пшеницу в условиях лесостепи Западной Сибири / И.А. Бобренко, В.И. Попова, Н.В. Гоман // Научные инновации – аграрному производству: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Омского ГАУ. – 2018. – С. 58-61.

70. Нормативные показатели для определения потребности озимой пшеницы в элементах минерального питания / В.И. Попова, Н.В. Гоман // «Проблемы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов»: сборник I региональной (заочной) научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся. – 2018. – С. 357-362.

71. Гоман Н.В. Влияние предпосевной обработки семян (опудривание) яровой мягкой пшеницы на элементы структуры урожая в условиях лесостепи Западной Сибири / Н.В. Гоман, Е.А. Вакалова, В.П. Кормин, Л.М. Лихоманова // Проблемы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов»: сборник I региональной (заочной) научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся. – 2018. – С. 372-377.

72. Гоман Н.В. Влияние обработки семян микроудобрениями на продуктивность озимой тритикале на лугово-черноземной почве в условиях Омской области / Н.В. Гоман, Е.Ю. Павлова, В.П. Кормин // «Проблемы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов»: сборник I региональной (заочной) научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся. – 2018. – С. 362-367.

73. Бобренко И.А. Почвенная диагностика цинкового питания озимой пшеницы / И.А. Бобренко, В.И. Попова, Н.В. Гоман // Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения С.И. Леонтьева. – Омск: Изд-во ФГБОУ ВО ОмГАУ, 2019. – С. 20-25.

74. Бобренко И.А. Качество зерна озимой пшеницы при применении цинковых удобрений на лугово-черноземной почве южной лесостепи Западной Сибири / И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, В.И. Попова // Всероссийская (национальная) научно-

практическая конференция «Актуальные проблемы природообустройства, водопользования, агрохимии, почвоведения и экологии»: сборник трудов. – Омск: Изд-во ФГБОУ ВО ОмГАУ, 2019. – С. 642-649.

75. Гоман Н.В. Растительная диагностика минерального питания озимой ржи / Н.В. Гоман, Е.П. Болдышева, И.А. Бобренко // Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция «Актуальные проблемы природообустройства, водопользования, агрохимии, почвоведения и экологии»: сборник трудов. – Омск: Изд-во ФГБОУ ВО ОмГАУ, 2019. – С. 613-618.

76. Гоман Н.В. Почвенная диагностика цинкового питания озимой ржи / Н.В. Гоман, Е.П. Болдышева, И.А. Бобренко // X Национальная научно-практическая конференция (с международным участием) «Экологические чтения: сборник трудов – 2019». – Омск: Изд-во ФГБОУ ВО ОмГАУ, 2019. – С. 91-96.

77. Попова В.В. Эффективность предпосевной обработки семян хелатами цинка и меди при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Омской области / В.В. Попова, Н.В. Гоман, И.А. Бобренко // Международная научно-практическая конференция, посвященная 100-летию кафедры растениеводства, кормопроизводства и агротехнологий факультета агрономии, агрохимии и экологии: сборник трудов. – Воронеж: Изд-во ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – С. 104-107.

78. Попова В.В. Эффективность предпосевной обработки семян хелатами цинка и меди при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Омской области / В.В. Попова, Н.В. Гоман, И.А. Бобренко // Международная научно-практическая конференция, посвященная 100-летию кафедры растениеводства, кормопроизводства и агротехнологий факультета агрономии, агрохимии и экологии: сборник трудов. – Воронеж: Изд-во ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – С. 104-107.

79. Попова В.В. Влияние некорневой подкормки хелатами цинка и меди на качество зерна яровой пшеницы при возделывании на лугово-черноземной почве / В.В. Попова, Н.В. Гоман, М.А. Киреева // «Экологические чтения – 2020» XI Национальная научно-практическая конференция (с международным участием): сборник трудов. .

80. – Омск: ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2020. – С. 458-463.

81. Гоман Н.В. Влияние предпосевной обработки семян хелатами цинка и меди на структуру урожая яровой пшеницы / Н.В. Гоман, В.В. Попова, И.А. Бобренко // Международная научно-практическая конференция «Современное состояние и проблемы рационального использования почв Сибири»: сборник трудов. – Омск: ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2020. – С. 191-195.

82. Бобренко И.А. Влияние расчетных доз цинковых удобрений на продуктивность озимой пшеницы на лугово-черноземной почве / И.А. Бобренко, В.И. Попова, Н.В. Гоман // Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы научного обеспечения земледелия Западной Сибири»: сборник трудов. – ФГБНУ «Омский АНЦ». – Омск: Изд-во ИП Макшеевой Е.А., 2020. – С. 31-38.

83. Гоман Н.В. Оптимизация микроэлементного питания озимой ржи / Н.В. Гоман, Е.П. Болдышева, И.А. Бобренко // Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы научного обеспечения земледелия Западной Сибири»: сборник трудов. – Омск: Изд-во ИП Макшеевой Е.А., 2020. – С. 61-68.

84. Гоман Н.В. Влияние предпосевной обработки семян хелатами цинка и меди на структуру урожая яровой пшеницы / Н.В. Гоман, В.В. Попова, И.А. Бобренко // Международная научно-практическая конференция «Современное состояние и проблемы рационального использования почв Сибири»: сборник трудов. – Омск: ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2020. – С. 196-200.

85. Эффективность различных форм азотных удобрений при возделывании ячменя / Е.П. Болдышева, В.П. Кормин, Н.В. Гоман, В.И. Попова, А. А. Потапенко // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2021. – № 2 (25). – С. 3.

86. Агрономическая эффективность технологий применения азотных удобрений при возделывании яровой пшеницы / В.И. Попова, В.П. Кормин, Н.В. Гоман, Е.П. Болдышева, Т. И. Семенова // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2021. – №2 (25). – С. 4.

87. Эффективность применения различных форм азотных удобрений при возделывании яровой пшеницы / И.А. Бобренко, В.И. Попова, В.П. Кормин, Н.В. Гоман, Е.П. Болдышева // II Всероссийская (национальная) конференция «Рациональное использование природных ресурсов: теория, практика и региональные проблемы»: сборник трудов. – Омск: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2022. – С. 211-218.

88. Биоэнергетическая эффективность применения азотных подкормок яровой пшеницы / Н.В. Гоман, М.В. Иванова, И.А. Бобренко, В.П. Кормин // Вестник Алтайского ГАУ. – 2022. – № 11. – С. 22-28.

Подписано в печать 24.09.2024 г.

Отпечатано с готового оригинал-макета.

Бумага офсетная. Печать оперативная. Усл. печ. л. 2.

Гарнитура «Times New Roman». Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии ИП Макшеевой Е.А.

г. Омск, ул. Долгирева, 126, тел.: 89083194462