

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ П.А. СТОЛЫПИНА»

На правах рукописи

Попова Валентина Владимировна

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ
ХЕЛАТНЫХ ЦИНКОВЫХ И МЕДНЫХ УДОБРЕНИЙ
ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ
В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

06.01.04 – агрохимия

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук
И.А. Бобренко

Омск – 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ).....	9
1.1 Микроэлементы в почвах и растениях.....	9
1.2 Влияние микроудобрений на продуктивность культурных растений.....	14
1.3 Эффективность хелатных форм микроэлементов при возделывании сельскохозяйственных культур.....	18
2 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	32
2.1 Характеристика объектов исследований.....	32
2.2 Климат и метеорологические условия в годы проведения исследований.....	36
2.3 Методика полевых и лабораторных исследований.....	40
3 ВЛИЯНИЕ ХЕЛАТНЫХ МИКРОУДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ.....	44
3.1 Урожайность пшеницы яровой при применении хелатных форм цинковых и медных удобрений.....	44
3.2 Влияние микроудобрений на структуру урожая яровой пшеницы	50
4 АГРОХИМИЧЕСКИЕ НОРМАТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ	59
4.1 Содержание элементов питания в почве.....	59
4.2 Нормативные показатели для определения потребности пшеницы яровой в элементах минерального питания.....	63
5 УПРАВЛЕНИЕ ПИТАНИЕМ ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ.....	73
5.1 Содержание макро- и микроэлементов в растениях	74

5.2 Оптимальное содержание и соотношение элементов в растениях	84
6. КАЧЕСТВО УРОЖАЯ ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МИКРОУДОБРЕНИЙ.....	95
6.1 Влияние микроудобрений на качество зерна	95
6.2 Влияние микроудобрений на качество семян.....	112
7 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОУДОБРЕНИЙ ПОД ПШЕНИЦУ ЯРОВУЮ	121
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	125
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.....	128
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	129
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	152

ВВЕДЕНИЕ

Мягкая яровая пшеница выращивается практически по всему земному шару и входит в число наиболее ценных и высокоурожайных зерновых культур. Ее зерно содержит большое количество клейковинных белков и других ценных веществ, поэтому широко применяется для продовольственных целей; зерно и отруби – высококонцентрированный корм для использования в животноводстве [165].

С ростом применения макроудобрений актуализируется проблема отрицательного баланса микроэлементов в агроценозах. В почвах часто ощущается недостаток их содержания для культурных растений [1, 5, 6, 7, 11, 14, 57, 65, 98, 128, 154, 156]. Доказано, что сельскохозяйственные культуры дают невысокие урожаи при недостатке в почве доступных форм элементов, применение микроудобрений в таких условиях повышает урожайность и качество растениеводческой продукции [8, 18, 22, 24, 43, 45, 71, 73, 75, 110, 127-130, 137-140, 198, 199].

По результатам агрохимического мониторинга черноземных почв Омской области низкий уровень содержания подвижных форм цинка отмечен на 98,9% от обследованной площади, низкий и средний уровень подвижных форм меди – на 99,4%. Таким образом, в почвах региона цинк и медь являются остродефицитными элементами [98, 100, 101, 102].

В растениях цинк содержится в ферментативных системах, участвует в синтезе хлорофилла и метаболических процессах, влияет на фотосинтез, углеводный и белковый обмен, плодоношение, формирование генеративных органов [68, 82, 83, 84, 87]. Медь содержится в медьсодержащих белках и ферментах, влияет на азотный обмен, играет важную роль в фотосинтезе, в образовании хлорофилла, способствует устойчивости растений перед неблагоприятными условиями внешней среды: высокими и низкими температурами, засухой, поражением болезнями [109, 123].

В настоящее время микроудобрения в основном выпускаются и применяются в форме хелатов, которая имеет ряд преимуществ перед ранее распространёнными солями микроэлементов, в частности сульфатами цинка и меди. Данная химическая форма удобрений более технологична при применении и лучше усваивается растениями [11, 53, 145].

Степень разработки темы. Яровая пшеница отзывчива на применение микроудобрений, в том числе в условиях лесостепи Западной Сибири [12, 16, 19, 47, 109]. Но удобрение данной культуры хелатами цинка и меди при их сравнительном применении способами обработки семян и некорневой подкормки в различные фазы роста в регионе не изучалось. Оптимизация применения хелатных микроудобрений хелатами цинка и меди яровой пшеницы на основе установленных наиболее эффективных доз и нормативных агрохимических параметров даст возможность оптимизировать питание с целью получения высокого и качественного урожая зерна.

Цель исследований – разработать технологию использования хелатных форм цинковых и медных удобрений, агрохимические нормативные параметры для диагностирования и оптимизации минерального питания растений пшеницы яровой на лугово-черноземных почвах лесостепи Западной Сибири.

Для достижения цели были поставлены задачи:

- выявить действие хелатных форм цинковых и медных удобрений на величину урожая зерна пшеницы яровой;
- установить оптимальные дозы хелатов Zn и Cu при обработке семян и некорневой подкормке в различные фазы развития;
- изучить влияние хелатных форм цинковых и медных удобрений на качество зерна, посевные свойства семян, основные параметры формирования структуры урожая;
- установить оптимальные уровни и соотношения макро- и микроэлементов (N, P, K, Zn, Cu) в растениях по фазам развития для диагностирования обеспеченности элементами питания и потребности в удобрениях;

– установить нормативные количественные показатели выноса макро- и микроэлементов урожаем пшеницы яровой, коэффициенты использования питательных веществ из почвы, азота текущей нитрификации и минимального потребления элементов растениями для расчета доз удобрений для некорневой подкормки;

– дать оценку экономической эффективности применения микроудобрений под пшеницу яровую.

Объект и предмет исследований. Объектами исследований являлись: пшеница яровая (*Triticum L.*), сорта Памяти Азиева, почва лугово-черноземная, цинковые и медные удобрения (хелатные формы).

Предметом является исследование по разработке технологий использования хелатных форм цинковых и медных удобрений при возделывании пшеницы яровой.

Научная новизна исследований. Впервые в условиях южной лесостепи Западной Сибири выявлены закономерности влияния доз хелатных форм микроудобрений (Zn, Cu) на величину и качество урожая яровой пшеницы при их применении способами обработки семян и некорневой подкормке в различные фазы роста. Установлены зависимости действия микроудобрений на концентрацию и соотношение макро- и микроэлементов (N, P, K, Zn, Cu) в растении, на основе которых предложены нормативные агрохимические параметры, позволяющие диагностировать и оптимизировать минеральное питание яровой пшеницы. Определены коэффициенты использования элементов из почвы, затраты элементов для создания 1 т урожая, величина текущей нитрификации.

Практическое значение. Выявленные закономерности в системе «микроудобрение – растение» предоставляют возможность оптимизировать поступление элементов в растения пшеницы яровой, создавая сбалансированное питание с помощью применения установленных агрохимических нормативных параметров, и таким образом управлять формированием величины и качества урожая.

Использование рекомендуемых доз хелатных форм цинковых и медных

удобрений способами обработки семян и некорневой подкормки в различные фазы роста позволяет повысить их агрономическую и экономическую эффективность.

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 хелатных форм микроудобрений при обработке семян и некорневой подкормке обеспечивает увеличение урожайности яровой пшеницы на 6,4-10,5 %;

– показатели оптимального содержания и соотношения элементов в растениях позволяют диагностировать состояние микроэлементного (Zn, Cu) питания пшеницы яровой и определять оптимальные дозы удобрений.

Достоверность результатов подтверждается современными методами проведения полевых опытов, необходимым количеством наблюдений и учетов, наличием достаточного количества полученного экспериментального материала, результатами статистической обработки экспериментальных данных.

Апробация исследований. Основные результаты исследований были представлены докладами и обсуждены на международных научно-практических конференциях: 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); национальной научно-практической конференции «Экологические чтения» (Омск, 2020), и опубликованы в 9 печатных работах общим объемом 4,5

п. л., в том числе в 5 работах в ведущих рецензируемых научных журналах, 1 статья – в журнале из базы WoS.

Результаты исследований прошли производственную проверку в ООО «Сосновское» и ООО «ЭйТи-Трейд» Омской области на площади 236 га, используются в учебном процессе (приложения И, К, Л).

Личный вклад. В основу данной 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 диссертационной работы.

Автор выражает искреннюю благодарность за научное руководство доктору сельскохозяйственных наук, академику Международной академии аграрного образования И.А. Бобренко. Автор благодарит преподавателей, лаборантов, обучающихся ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина» и сотрудников ФГБУ «Омский аграрный научный центр», принимавшим непосредственное участие в проведении исследований.

1. МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Микроэлементы в почвах и растениях

В условиях Западной Сибири яровая пшеница является высокоурожайной культурой, способной давать урожаи зерна по 3,0-5,0 т/га. Она имеет весьма короткий период потребления питательных элементов, причем до 70 % их поглощается в период от конца кущения до цветения растений. Яровая пшеница кустится слабее, чем озимая, имеет менее развитую корневую систему, что дополнительно обуславливает ее сравнительно более высокую потребность в питательных элементах для получения эквивалентных урожаев. Кроме того, ее корни не могут использовать питательные вещества из трудно растворимых соединений. Корневая система к моменту цветения завершает свое формирование и развитие и достигает 120-150 см в глубину. Пшеница дает высокие урожаи на нейтральных и близких к нейтральным (рН 6,0-7,5) оптимально удобренных почвах [2].

Особенно хорошо пшеница развивается на черноземах. Она чувствительна к гранулометрическому составу почвы: тяжелые, плохо прогреваемые, так же, как и легкие песчаные с малым запасом элементов питания и влаги, мало пригодны для данной культуры [136].

Высокие и качественные урожаи яровой пшеницы можно получить только при оптимизации минерального питания. В период вегетации растения поглощают необходимое количество элементов минерального питания. Каждый из них в отдельности выполняет определенную физиолого-биохимическую роль в растении. В производственных условиях недостаточная интенсивность роста яровой пшеницы часто является следствием нехватки в почве доступных макроэлементов – азота, фосфора и калия. Нарушение ее развития может происходить и из-за недостатка микроэлементов [134, 155, 165].

Микроэлементы выполняют важные функции в растении: входят в состав ферментов, гормонов, витаминов или оказывают влияние на их активность. Обеспечение культурных растений микроэлементным питанием – одна из важнейших задач в растениеводстве, а недостаток в почвах и растениях цинка и меди – часто встречающаяся проблема [25, 64, 88, 109, 164, 175, 181, 191].

Содержание цинка в растениях составляет 7-150 мг на 1 кг сухой биомассы и зависит от культуры, ее органа, свойств почвы. В зерне содержится больше цинка, чем в соломе; в выращенных на дерново-подзолистой почве, больше, чем выращенных на черноземах. Элемент выполняет разнообразные функции в организмах растений и животных, входя в различные ферменты, в частности карбоангидразу. Данный фермент катализирует реакцию расщепления угольной кислоты, влияя на дыхание. Цинк принимает участие в синтезе хлорофилла, влияет на фотосинтез и углеводный обмен. Его дефицит уменьшает количество ауксинов, при этом замедляется рост растений [87, 121, 128, 154].

Цинк оказывает влияние на плодоношение, формирование генеративных органов, ферментативную деятельность в прорастающих семенах, повышает устойчивость к неблагоприятным погодным условиям. При его недостатке может вообще не запуститься процесс образования семян. Поэтому период цветения – начало образования семян для цинкового питания – важнейший. Это дает наибольшую эффективность в процессе выращивания растений. При недостатке цинка на листьях появляются бледно-зеленые или белые пятна.

Недостаток цинка ощущается при содержании его в сухом веществе растений менее 10 мг/кг. При этом отмечаются нарушения в дыхании, окислительном и энергетическом обмене, гликолизе и цикле Кребса, синтезе белка [128]. Активируя пептидазы, цинк влияет на синтез пептидов, белковый обмен растений. Его воздействие на синтез белка осуществляется и через цинксодержащий фермент глутаматдегидрогеназу [180].

Цинк в почве содержится в форме разнообразных соединений, входит в состав 64 минералов. Его количество зависит от свойств материнских пород, запасов органического вещества, реакции почвенного раствора и составляет в среднем 0,005 %. Существенная доля этого количества представлена органическими и водорастворимыми соединениями. Наибольшей подвижностью цинка отличаются кислые почвы, с понижением кислотности она уменьшается. При pH 6,0-7,0 наблюдается минимальная подвижность цинка, а с увеличением щелочности она снова повышается, что связано с образованием цинкатов [87, 102]. Усвоение цинка растениями возрастает с увеличением содержания его подвижных форм [154].

При применении больших количеств фосфора с удобрениями снижается подвижность почвенного цинка и его доступность для сельскохозяйственных культур [72, 88, 133, 166, 186]. Так, дозы фосфора 60-120 д.в. кг/га на лугово-темно-каштановой почве наполовину снижали содержание цинка в яровой пшенице и ячмене (от 12 до 17 мг/кг), способствуя уменьшению его хозяйственного выноса (до 50-55 г/га). В то же время дозы азота 90-120 д.в. кг/га способствовали существенному увеличению содержания цинка в растениях (от 10 до 26 мг/кг), что увеличивало урожайность (2,17-2,66 т/га). Калийные удобрения (60-120 д.в. кг/га) так же усиливали поступление цинка на 8-12 мг/кг. Использование макроудобрений увеличивало хозяйственный вынос цинка культур (37,3-64,6 г/га) по сравнению с контролем (36,1-39,0 г/га), что усиливало недостаток цинка в почве [132].

При взаимодействии цинка с другими микроэлементами, в том числе, с медью, чаще всего происходит антагонизм. Это может быть следствием эффекта разбавления за счет роста биомассы [149]. Усиленное азотное питание растений обостряет признаки дефицита цинка [71].

Медь входит в состав пластоцианина и ферментов, влияет на азотный обмен, фотосинтез, образование хлорофилла, устойчивость растений к неблагоприятным условиям внешней среды: высоким и низким температурам, низкой влагообеспеченности, поражению различными заболеваниями.

При дефиците меди у мятликовых замедляется рост, усиливается кущение, задерживается колошение, растения имеют светло-зеленую окраску, отсыхают кончики листьев, могут не образовываться колосья и наступить гибель организма [134, 173, 174].

В кормах должно содержаться 3-5 мг/кг сухой массы меди и более. При ее недостатке в кормах животные теряют в весе, шерсть утрачивает гладкость, они лишаются аппетита и лижут разные предметы, животные болеют «лизухой» [10].

Содержание меди в растениях зависит от их вида, фазы развития, органа и плодородия почвы. Ее количество невелико, больше в вегетативных органах, чем в репродуктивных, и в овощных культурах больше, чем в мятликовых. Медь не реутилизируется, поэтому ее больше в нижних листьях, чем в верхних, особенно при недостатке ее в почве.

Медь в почве входит в состав более 200 минералов, органических веществ, находится в поглощенном состоянии на поверхности коллоидных частиц и в водорастворимых солях. Доступными для питания растений являются соединения, растворимые в воде и частично те, что находятся в обменно-поглощенном состоянии. Подвижность меди и её доступность зависит в значительной степени от кислотности – в кислых почвах она наиболее подвижна. Известкование способствует ее закреплению. Подвижность элемента уменьшается в результате процессов, усиливающих связь меди с органикой почвы [87, 88].

При оценке обеспеченности почв цинком и медью нужно учитывать, что применение высоких доз макроудобрений усиливает потребность в них растений и способствует обострению симптомов их недостаточности [128].

Микроудобрения необходимо применять в первую очередь при низком или среднем содержании подвижных форм соответствующих микроэлементов в почвах. Результаты агрохимического мониторинга России показывают, что значительная часть пашни характеризуется низкой и средней обеспеченностью различными микроэлементами. Особенно недостаточно обеспечены почвы цинком – 94,9 % обследованной площади имеют низкое и среднее его содержание; медью – 43,9 [64].

В условиях разных природных зон (степь, южная и северная лесостепь) Омской области, на разных типах почв изучена и оценена динамика подвижного содержания цинка и меди. Они характеризуются низким содержанием подвижного и валового цинка в пахотном слое, пределы колебаний содержания подвижных форм составляют 0,26-0,56 мг/кг в южной и центральной частях Омской области и 2,7-2,8 мг/кг в северной зоне. Также – низким подвижным и валовым содержанием меди в пахотном и метровом слое, пределы колебаний подвижного содержания составляют 0,11-0,19 мг/кг в почвах: чернозем обыкновенный, чернозем южный, лугово-черноземная, лугово-черноземная солонцеватая, солонец глубокий лугово-черноземный, солонец средний лугово-черноземный; 0,24-1,07 мг/кг – в почвах: чернозем выщелоченный, серая лесная, дерново-подзолистая и аллювиально-луговая. Распределение цинка и меди в метровом слое показало, что имеется четкая дифференциация снижения их содержания по горизонтам. Валовое содержание микроэлементов в почве зависит от типа и гранулометрического состава. Низкое содержания подвижного цинка (98,9 % площади), низкое и среднее содержание подвижной меди (99,4 %) характеризует регион как проблемный с точки зрения обеспечения растений данными микроэлементами [100-102].

1.2 Влияние микроудобрений на продуктивность культурных растений

Применение микроудобрений под сельскохозяйственные культуры, в т. ч. яровую пшеницу, изучалось многими исследователями [11, 38, 39, 40, 42, 49, 53, 63, 67, 79, 143, 161, 162, 176-178, 197, 202-210 и др.].

Так, в вегетационных опытах А.З. Ламбина [109] цинковые удобрения на солоди и выщелоченном черноземе увеличивали урожайность яровой пшеницы на 11-30 %, в полевых опытах на черноземах – на 15 %. Использование данного удобрения на лугово-черноземной почве (при концентрации обменного цинка 0,7 мг/кг) обеспечило повышение урожайности на 14-20% [110].

В экспериментах Г.П. Гамзикова [56] рост урожайности зерна гороха при использовании цинка составил 0,26 т/га, вики – 0,25 т/га. Для бобовых культур оптимальное содержание обменного цинка в почве – 0,3-0,4 мг/кг (в 1 н. KCl). В опытах на лугово-черноземной почве Омского Прииртышья установлено положительное действие этого микроэлемента на продуктивность кукурузы, при этом наилучшим было основное внесение Zn_{18} [157, 158]; максимальная урожайность озимой тритикале получена в варианте $N_{30}P_{60}Zn_8$ – 3,28 т/га, прибавка зерна составила 1,02 т/га (45,1 %) [19, 193].

Результативным способом использования микроудобрений является предпосевная обработка семян, которая обеспечивает растения микроэлементами в начале развития, активизирует физиологические процессы в прорастающем семени. На южном тяжелосуглинистом черноземе Одесской опытной станции от опудривания семян кукурузы сульфатом цинком получена прибавка 0,46 т/га, или 11% [143]. Максимальная прибавка урожая озимой ржи на лугово-черноземной почве Западной Сибири (0,56 т/га) получена при обработке солью цинка 50 г на 100 кг семян – получена прибавка 0,43 т/га или 9,9% к фону [31, 32].

На лугово-черноземной почве лесостепи Западной Сибири установлено влияние микроудобрений на урожайность озимой пшеницы при опудривании семян

сульфатом цинка в дозе 100 г соли на 100 кг семян. Урожайность составила 3,48 т/га, опудривание солью меди дозой 50 г на 100 кг семян дало прибавку – 0,39 т/га т.е. 13,1% (на фоне – 3,21 т/га). При опудривании семян солями микроэлементов Zn_{100} натура зерна составила 787 г/л, применение Zn_{50} сформировало количество белка – 15,8 %, клейковины – 27,5% [139].

Ликвидировать дефицит цинка можно с помощью некорневых подкормок – опрыскиванием растений слабым раствором сульфата цинка. В США наиболее высокий эффект получен при опрыскивании кукурузы 0,5%-ным раствором в фазе 3-5 листьев. В Латвии на дерново-карбонатных и дерново-подзолистых песчаных почвах и в Литве на дерново-глеевых оподзоленных суглинистых почвах прибавка урожая зеленой массы кукурузы составила от этого приема 13,8-15,9 % [10, 88].

Медные удобрения оказывают положительное влияние на урожайность не только на торфяно-болотных почвах, но и на дерново-подзолистых и черноземах. В опытах на дерново-сильноподзолистой почве прибавка от 6 кг/га меди составила 16 %, при этом созревание зерна пшеницы происходило на 4-5 дней раньше, содержание белка в нем возросло на 16 %, стекловидность – на 17 % [1]. В Мордовии при возделывании озимой пшеницы с использованием высоких доз удобрений под урожай 7-8 т/га подкормки медными удобрениями на черноземе, выщелоченном дали прибавку 0,8-1,1 т/га [104].

При опудривании семян яровой пшеницы микроэлементами на лугово-черноземной почве Западной Сибири установлено, что эффективно применение Zn_{150} , прибавка составила 0,57 т/га (20 %). В лучшем варианте медных удобрений Cu_{100} прибавка составила 19,1 % при урожайности 2,81 т/га. Наибольшее увеличение урожайности получено при $Zn_{50}Cu_{50}Mn_{50}$, которое составило 3,01 т/га (24,5 %). В вариантах Cu_{150} и Cu_{100} было отмечено наибольшее содержание белка (21,2 % и 20,6%), а в вариантах Zn_{100} и Zn_{150} – 20,3 и 20,0 % соответственно (в контроле – 18,7 %) [16].

Микроудобрения можно применять разными способами, в зависимости от содержания подвижных форм микроэлементов в почве, в растениях, формы удобрений и биологических особенностей культур. В производстве возможны три способа использования микроудобрений: обработка семян до посева, некорневая подкормка путем опрыскивания растений растворами, основное внесение. Многие исследования посвящены нахождению оптимального способа их применения.

Учеными США при внесении цинка в рядки и междурядья в дозах 22,6; 45 и 90,4 кг/га были получены высокие прибавки урожая овса. На Долгопрудной опытной станции на подзолистом суглинке значительная прибавка зерна ячменя, особенно на известкованном фоне, получена от дозы 5 мг/кг, а на подзолистой супеси – от 10 мг/кг почвы. В Латвии на песчаных почвах с внесением 20 кг/га сернокислого цинка урожай овса повышался до 25,5 %, озимой ржи – до 40,9 %, льна – до 32,2 % [10, 88].

В Харьковской области Украины намачивание семян кукурузы в 0,002%-ном растворе сернокислого цинка и смачивание их этим раствором с быстрым просушиванием в дозе цинка 2 г/100 кг семян оказало позитивное влияние на энергию прорастания, увеличение содержания витамина С в листьях и накопление белкового азота в зерне. В Житомирской области был получен хороший результат от намачивания семян кукурузы в 0,01-0,03 %-ных растворах. Наибольшая прибавка урожая зеленой массы кукурузы составила 13,6 т/га (44,1%) при дозе цинка 2 г/100 кг семян. В Кировской области намачивание семян в 0,05%-ном растворе сернокислого цинка при раннем посеве стимулировало прорастание, увеличивало холодостойкость проростков, улучшало структуру урожая, увеличивало урожайность. В то время как намачивание семян в растворах сернокислой меди тормозило прорастание и ослабляло появившиеся всходы (цит. по [157]).

На основании проведенных экспериментов большинство ученых пришло к выводу, что обработка семян растворами микроэлементов является эффективным способом [44, 60, 61, 126, 178, 184, 187, 189, 196].

Яровая пшеница на дерново-подзолистых почвах Центрального Нечерноземья способна обеспечивать получение урожаев зерна 3,5-4,0 т/га. При этом увеличение урожайности от цинковых удобрений при основном применении составило 0,59-0,75 т/га, а при проведении некорневых подкормок – 0,19-0,40 т/га [46].

В вегетационных опытах цинковые удобрения (почва – солодь и выщелоченный чернозем) предпосевная обработка семян пшеницы яровой имела преимущество перед другими способами (основным внесением, некорневой подкормкой) [128]. На лугово-черноземной почве при удобрении гибридов кукурузы на зерно выявлено, что опудривание семян более эффективно, чем некорневая подкормка: прибавки составили 31,6 % (Омка 130) и 18,1 % (Омка 150), 21,7 и 14,4 % соответственно [157].

На лугово-черноземной почве лесостепи Западной Сибири действие цинковых удобрений в основное внесение на урожайность яровой пшеницы было эффективным. Внесение Zn_4 и Zn_8 без применения фосфорных удобрений позволило сформировать прибавку урожая 0,37 и 0,54 т/га соответственно (на фоне 2,43 т/га), при этом окупаемость 1 кг д.в. цинковых удобрений была даже выше, чем от их внесения совместно с фосфорными. Наибольшая прибавка 0,85 т/га сформировалась при Zn_8 на фоне P_{60} . При обработке сульфатом цинка наилучшим было применение 50 г/100 кг семян – прибавка составила 0,65 т/га или 26,7 % [25].

А.Н. Аристарховым [64] с соавторами были обобщены данные 405 полевых опытов, проведенных агрохимической службой по изучению эффективности микроудобрений при возделывании зерновых и зернобобовых культур. В ходе анализа были выявлены закономерности в действии цинковых удобрений, вносимых под озимую пшеницу в различных почвенно-климатических условиях. Цинковые удобрения во всех зонах изучали в основном при внесении их в почву,

наиболее эффективно было применение на дерново-подзолистых почвах южно-таежно-лесной зоны. В зависимости от величины дозы вносимого удобрения урожайность зерна озимой пшеницы изменялась (в варианте NPK + Zn) в пределах 2,50-4,00 т/га, прибавка зерна за счет цинка – от 0,10 до 0,56 т/га. Содержание белка в зерне при использовании цинка увеличивалось на 0,4-2,4%, клейковины – на 0,5-3,4%. По мере продвижения с севера на юг эффективность основного внесения уменьшалась. В целом, применение цинкового удобрения имело большое практическое значение.

1.3 Эффективность хелатных форм микроэлементов при возделывании сельскохозяйственных культур

Хелат (от латинского *chele* – клешня) – сложное органическое комплексное соединение микроэлемента с хелатирующим (захватывающим) агентом (рисунок 1.1), которое надёжно удерживает ионы микроэлементов в растворимом состоянии до момента поступления в растение. После этого высвобождает его и переводит в биологически доступную форму, а сам распадается на легко усваиваемые растениями химические соединения.



Рисунок 1.1 – Схема образования хелата микроэлемента

Хелаты имеют преимущества при поступлении в растение, так как их молекулы целиком попадают в лист (при некорневой подкормке) или семена (при их обработке), а не накапливаются на поверхности. Эффективность использования

хелатных микроудобрений при возделывании сельскохозяйственных культур связана с их малой токсичностью, пролонгированным действием, меньшим адсорбированием почвой по сравнению с неорганическими солями, в результате чего они длительное время способны поглощаться растениями. С точки зрения технологии хелаты микроэлементов удобны, так как могут применяться вместе с макроудобрениями, регуляторами роста и пестицидами.

Виды хелатных удобрений выделяют в зависимости от элемента, который является основным: хелат цинка, хелат меди и т.д. Связь органической части хелата с элементом питания должна быть достаточно сильной, чтобы минимизировать его потери, но и одновременно достаточно слабой, чтобы усвоило растение элемент. Для синтеза хелатных удобрений чаще всего используют следующие кислоты:

- а) ЕДТА – этилендиаминтераацетатную;
- б) ДТРА – диэтилентриаминпентауксусную;
- в) ЕДДНА – этилендиаминдигидроксифенилацетатную;
- г) ОЭДФ – оксиэтинидендифосфовую.

Использование хелатов повышает усвояемость микроэлементов. Органическая оболочка, которая образуется вокруг элемента питания при хелатировании, предотвращает процессы его связывания в почве. Корни растений поглощают хелаты, а те, в свою очередь, отдают растениям питательные элементы.

Применение хелатных удобрений очень эффективно также при некорневых подкормках. Листья имеют защитное восковое покрытие. Воск отталкивает воду и растворенные в ней элементы, усложняя их проникновение в листья. Но органический комплекс хелата способен проходить сквозь восковое покрытие листа внутрь растения, где элемент усваивается (рисунок 1.2).

Хелатные микроудобрения могут применяться при предпосевной обработке семян, для корневых и некорневых подкормок. Они могут смешиваться с макроудобрениями, регуляторами роста и применяться одновременно. Эффективность данных форм подтверждается исследованиями ряда ученых.

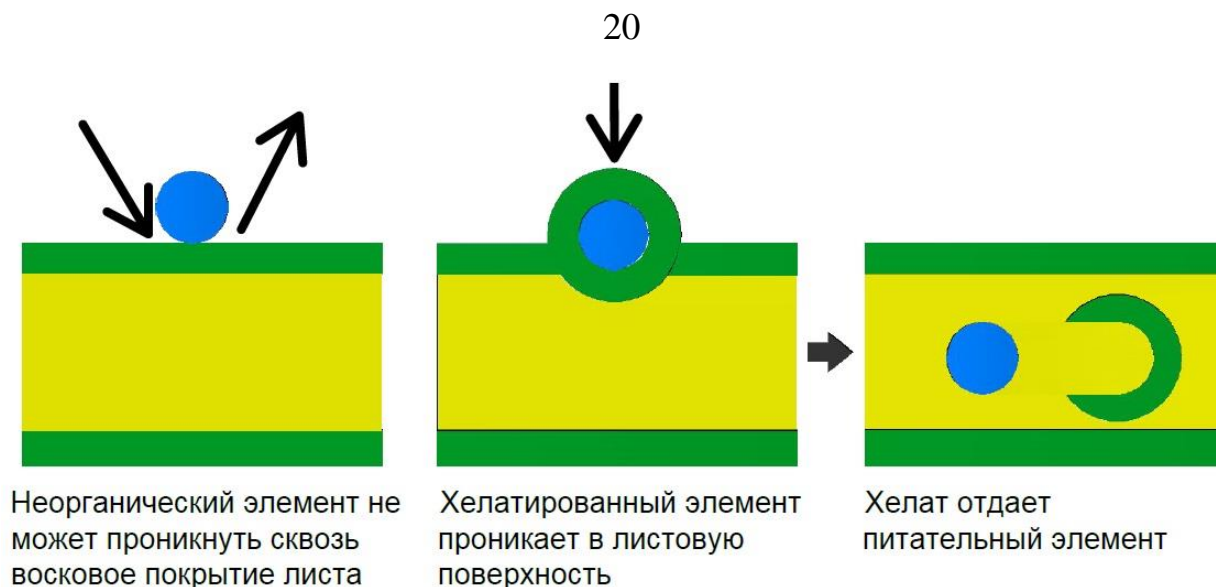


Рисунок 1.2 – Схема усвоения растением элемента питания хелатного удобрения

Применение хелатных микроудобрений влияет на физиологические процессы в растениях. Так, в лабораторном опыте экспериментально было установлено влияние хелатных и сульфатных форм меди и цинка в различных дозах на всхожесть, энергию прорастания и морфобиологические показатели проростков семян яровой пшеницы. Установлено, что предпосевная обработка семян растворами сульфата меди в концентрациях от 0,24% до 0,53% угнетало развитие проростков семян. При использовании хелатных форм меди и цинка отмечено положительное действие их на ростовые процессы. Установлено, что существенно увеличилась длина корешков в варианте Cu-ЭДТА с концентрацией раствора 0,02%, длина проростка – Zn-ЭДТА с концентрацией раствора 0,24%, смеси растворов Zn-ЭДТА (0,24%) + Cu-ЭДТА (0,25%), смеси растворов Zn-ЭДТА (0,53%) + Cu-ЭДТА (0,53%) [43].

На серой лесной почве Республики Татарстан под влиянием медь-молибденового ЖУСС-2 чистая продуктивность фотосинтеза повышалась в период кущения - выхода в трубку при обработке препаратом двукратно в фазах кущения и выхода в трубку (на 15 -23%), от выхода в трубку до колошения - цветения при обработке препаратом двукратно в фазах кущения и выхода в трубку и трехкратно в фазах кущения, выхода в трубку и колошения (на 11-22 %). Во все фазы

снижалась и интенсивность дыхания: в фазу кущения на 16-31 %, выхода в трубку на 9-44 %, колошения - цветения на 7-55 %. Двукратная некорневая обработка ЖУСС-2 приводила в условиях засухи в фазу выхода в трубку к увеличению общего содержания воды (на 7 и 8 %) и водоудерживающей способности листьев (на 16 и 27 %) [105].

В условиях серых лесных почв Предкамья выявлен характер действия медь-молибденовых удобрительных составов на формирование урожая и его качественные показатели в зависимости от способов использования. Применение медь молибденсодержащих хелатных удобрительных составов (ЖУСС-2, ЖУСС-2а, ЖУСС-2б) для предпосевной обработки семян яровой пшеницы в норме 2-4 л/т оказывает положительное влияние на процессы роста и развития во все фазы онтогенеза: повышает лабораторную и полевую всхожесть семян и сохранность растений к уборке, снижает поражённость патогенами, увеличивает чистую продуктивность фотосинтеза, способствует оптимизации микроэlementного режима растений, рациональному использованию продуктивной влаги и NPK из почвы и удобрений, повышает урожайность зерна в среднем на 0,3-0,5 т/га [125].

В Республике Татарстан на выщелоченном черноземе выявлено, что микроэлементы способствуют повышению интенсивности фотосинтеза, участвуя в построении и функционировании фотосинтетического аппарата и в фотохимических реакциях растений. Исследования листовой поверхности и параметров фотосинтетической деятельности картофеля при использовании различных вариантов предпосадочной и некорневой обработок показали, что хелатные формы микроудобрений (ЖУСС-3) способствуют повышению всех исследуемых показателей. Авторы считают, что в основе установленных эффектов лежит стимулирующее действие ЖУСС в отношении роста ассимилирующей поверхности листьев, а также удлинению сроков функционирования листового аппарата [169].

В Пензенской области на светло-серой оподзоленной супеси препарат Цитовит оказал положительное влияние на линейный рост растений яровой мягкой

пшеницы. Высота растений увеличилась на 7,1 см по сравнению с контролем (103,3), длина колоса на 0,9 см [153].

В условиях республики Чехия, Московской области и Самарской области Российской Федерации изучено применение лигногуматов и хелатных форм минеральных удобрений на картофеле. Опрыскивание ботвы картофеля в фазу бутонизации повышало ассимиляционную поверхность листьев и увеличивало продолжительность работы листового аппарата. В вариантах с опрыскиванием хелатами биометаллов пораженность растений болезнями снижалась в 1,2-2,0 раза. Поскольку в состав Микровитов входят элементы, используемые для борьбы с грибными и бактериальными болезнями (Cu, Mn, Fe, Zn и др.), они оказывают фунгистатическое влияние на распространенность болезней, что позволяет снижать дозы фунгицидов при некорневых подкормках хелатами микроэлементов. В условиях жесточайшей засухи комплексное микроудобрение Микровит выполняет антистрессовую функцию [144].

Микроудобрения в форме хелатов положительно влияют на урожайность зерновых культур в различных почвенно-климатических условиях при применении разными способами. Например, в Калининградской области для повышения урожайности озимой пшеницы на дерново-подзолистых почвах некорневую подкормку раствором Кристалон Специальный (содержит, %: N – 18; P₂O₅ – 18; K₂O – 18; MgO – 3; B – 0,025; Cu – 0,01; Fe – 0,07; Mn – 0,04; Zn – 0,025; Mo – 0,004) проводили нормой 200 л/га. Микроэлементы в нем находятся в хелатной форме. Наибольшая прибавка была достигнута в варианте с максимальной дозой препарата в фазе кущения, урожайность при этом составила 6,67 т/га, что на 21,1 % выше, чем в контроле. В фазу колошения наибольшая прибавка составила 6,2 %. Применение препарата наиболее эффективно на ранних фазах развития растений, а в фазе колошения не дало достоверной прибавки независимо от дозы. По-видимому, дефицит ряда микроэлементов в ранние фазы не может быть восполнен последующим их поступлением [131].

Предпосевная обработка семян яровой пшеницы Азотовитом и Бактофосфином, а также их смесями с хелатными микроудобрениями (ЖУСС-1 и ЖУСС-2) показала, что данный прием позволяет значительно повысить урожайность в условиях Республики Марий Эл. При недостатке влаги и повышенной температуре преимуществом обладает смесь Бактофосфина с ЖУСС-2, а при достаточном увлажнении – смесь Азотовита с ЖУСС-1 [171].

В опытах с горохом на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве Беларуси применялись две обработки комплексным удобрением Кристалон. Первая подкормка проводилась в фазу выбрасывания усов в дозе 2 кг/га Кристалона желтым (содержит, %: N – 13; P₂O₅ – 40; K₂O – 13; MgO – 3; B – 0,025; Cu – 0,01; Fe – 0,07; Mn – 0,04; Zn – 0,025; Mo – 0,004). Вторая подкормка – Кристалоном особым (содержит, %: N – 18; P₂O₅ – 18; K₂O – 18; MgO – 3; B – 0,025; Cu – 0,01; Fe – 0,07; Mn – 0,04; Zn – 0,025; Mo – 0,004) проводилась в фазу начала образования бобов в дозе 2 кг/га. При этом урожайность семян по сравнению с фоновым вариантом возросла на 0,59 т/га [36].

В условиях Нечерноземной зоны и Поволжья изучалась эффективность обработки ботвы вегетирующих растений картофеля лигногуматами и акваарином-12, в состав которого входят микроэлементы в хелатной форме – Fe (0,054 %), Zn (0,014), Cu (0,01), Mn (0,042), Mo (0,004), B (0,02). Эффективность рострегулирующего соединения лигногумата и хелатных удобрений определяется эколого-географическими условиями, а также скороспелостью сорта. На территориях с частыми стрессовыми ситуациями по тепло- или влагообеспеченности их применение дает достаточный сильный эффект. Прибавка урожая от обработки Акваарином составила от 13,1 до 35,8% [183].

На серых лесных поверхностно-оглееных почвах Западной лесостепи Украины установлено, что стабильно высокую урожайность семян рапса озимого (4,5 т/га хорошего качества) обеспечивает технология, которая включает: предпосевную обработку семян протравителем Круизер + стимулятор роста Вымпел-К + микроудобрение Оракул семена (1,0 л/т, включает Cu, Mn, Zn, Mo) и некорневое

применение в фазу большого бутона регулятора роста Вымпел + микроудобрение Оракул хелат бора (1,5 л/га) [190].

Результаты исследований в Нижегородской области показали, что использование микроэлементов дает возможность повысить урожайность озимой пшеницы при обработке растений раствором на 12 % [164].

В Пензенской области на светло-серой оподзоленной супеси изучено влияние предпосевной обработки семян микроудобрениями на основные элементы урожайности и технологические свойства яровой мягкой пшеницы. Обработку проводили препаратом Цитовит, который имеет состав (г/л): азот – 30, фосфор – 5, калий – 25, магний – 10, сера – 40, железо – 35, марганец – 30, бор – 8, цинк – 6, медь – 6, молибден – 4, кобальт – 2. Применение обработки обеспечивало увеличение урожайности на 11,5-16,9 % [153].

На среднекультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве Белорусии установлена высокая эффективность некорневых подкормок различными формами медьсодержащих удобрений. Обработка посевов сернокислой медью, препаратом Витамар, комплексным удобрением Эколист повышали урожайность зерна яровой пшеницы на 0,36, 0,50 и 0,45 т/га, применение жидких удобрений Адоб Медь, Эколист Зерновые, МикроСил-Медь Л и МикроСтим-Медь Л в некорневую подкормку повышали урожайность зерна озимой пшеницы на 0,67, 0,83, 1,10 и 1,02 т/га [37, 38].

В Республике Татарстан на серой лесной почве испытывали медьмолибденсодержащие жидкие удобрительно-стимулирующие составы ЖУСС при предпосевной обработке семян яровой пшеницы, наибольшая прибавка урожайности получена от ЖУСС-2 в норме 2 л/т. Повышение нормы расхода препарата до 4 л/т не привело к росту продуктивности растений, максимальная (6 л/т) норма расхода ЖУСС понизила урожайность. Некорневая подкормка посевов обеспечила достоверные прибавки урожайности при использовании их в концентрации 0,05 %, сочетание предпосевной обработки семян с некорневой подкормкой

обеспечило самую высокую прибавку от микроэлементов – 0,76 т/га на удобренном фоне и 0,58 т/га – на фоне без удобрений [54]. Изучена отзывчивость сортов твердой пшеницы на различный уровень минерального питания, предпосевную обработку семян ЖУСС с различным составом микроэлементов. Проведение перед посевом обработки семян препаратом ЖУСС (медь + бор) на расчетном фоне 3 тонны зерна с 1 га и (медь + молибден) – на фоне без удобрений, способствует повышению урожая зерна, улучшению его качества (до II класса), повышению экономической и биоэнергетической эффективности производства [179]. Урожайность при некорневой обработке медь-молибденового ЖУСС-2 двукратно в фазах кущения и выхода в трубку и трехкратно в фазах кущения, выхода в трубку и колошения увеличивалась на 7-31 % [105].

На светло-серых лесных почвах Предкамья с низким и очень низким содержанием подвижных форм В, Мо, Сu, Zn, Mn, Со растения положительно реагировали на повышение в почве концентрации Zn – на 0,7 мг/кг, Сu – 2,24 мг/кг. Применение микроудобрений существенно повышало продуктивность 6-польного севооборота. Например, при внесении цинка, меди, молибдена, кобальта продуктивность севооборота возрастала на 16-22 % и несколько меньше (на 8-15 %) при использовании бора и марганца. Если по фону на 1 кг макроудобрений было получено 5,7-7,9 кг протеино-кормовых единиц, то при применении микроудобрений данный показатель достигал 10,0-11,1 кг. Между тем, их внесение совместно не было более эффективным [50-53].

Исследования по изучению агробиологической оценки сортов полевого гороха и эффективности комплексных удобрений с микроэлементами в хелатной форме, регуляторов роста и бактериального препарата Байкал ЭМ-1 проводились в Пензенской области на выщелоченном черноземе. Предпосевную обработку семян гороха проводили Ризоторфином совместно с полностью растворимым комплексным удобрением с микроэлементами в форме хелатов Мастер специальный (3 кг/га), который содержит (%) NPK (18 + 18 + 18) с микроэлементами: Mg – 3, S – 4, В – 0,02, Сu – 0,005, Мо – 0,001, Fe – 0,07, Mn – 0,03, Zn – 0,01;

гумат калия-натрия с микроэлементами. При совместной предпосевной обработке семян Ризоторфином и Мастер специальная урожайность составила 3,04-3,39 т/га, с каждого гектара дополнительно получено 0,33-0,53 т/га [107].

В природно-климатических условиях Ставрополя выявлено влияние микроудобрений Лигнас и Лаварин на урожайность озимой пшеницы. Эти удобрения содержат полный набор микроэлементов (цинк, молибден, медь, кобальт, железо, марганец) в хелатной форме. Результаты исследования показали, что проведение некорневой подкормки по флаговому листу различными сочетаниями препарата Лигнас в комбинации с фунгицидами обеспечило прибавку урожая зерна от 0,33, до 0,47 т/га, а препаратом Лаварин – от 0,38 до 0,67 т/га [63].

На черноземе типичном тяжелосуглинистом малогумусном в условиях Курской области выявлено влияние хелатов микроэлементов на урожайность и качество зерна озимой пшеницы. Некорневую обработку посевов проводили растворами Zn (0,9 г/га) и Cu (0,1). При обработке посевов в фазе кущения произошло увеличение урожая от действия цинка и меди на 5,6 и 15,7 %, в фазу выхода в трубку – 8,3 и 51,0 % соответственно [188].

В Ульяновской области на слабовыщелоченном среднесуглинистом черноземе изучена эффективность предпосевной обработки семян яровой пшеницы жидкими удобрительно-стимулирующими составами (ЖУСС). ЖУСС-2 – концентрированный жидкий удобрительный медь - молибден - содержащий состав, массовая концентрация меди 32-40 г/дм³, молибдена 14-22 г/дм³. ЖУСС-3 – концентрированный жидкий удобрительный медь-цинк-содержащий состав, массовая концентрация меди 16,5-20 г/дм³, цинка 35-40 г/дм³. Обработка семян оказалась более эффективной. Лучшие результаты были получены при дозах 2,0 л/т: прибавка урожайности от ЖУСС Cu + Zn составила 0,35 т/га (17,0 %), ЖУСС Cu+Mo – 0,24 т/га или 11,7 % [170].

В Пензенской области на выщелоченном черноземе изучена эффективность комплексных удобрений с микроэлементами в хелатной форме при выращива-

нии ярового тритикале. Предпосевная обработка препаратами: Мастер специальный – комплексное удобрение с микроэлементами в форме хелатов (состав в %): N – 18, P – 18, K – 18, Mg – 3, S – 4, B – 0,02, Cu – 0,005, Mo – 0,001, Fe – 0,07, Mn – 0,03, Zn – 0,01) и Аквамикс – высококонцентрированный водорастворимый комплекс микроэлементов в хелатной (состав (%): Fe – 2,1, Mn – 2,57, Zn – 0,53, Cu – 0,53, Ca – 2,57, B – 0,52, Mo – 0,13), положительно влияли на формирование агроценоза, продукционный процесс, урожайность и качество зерна. При обработке Мастер специальный и Аквамикс прибавка к контролю 0,47 т/га (18,65 %) и 0,35 (15,5) соответственно. При некорневой подкормке в фазе кушения урожайность (3,13 т/га), по отношению к контролю, увеличилась на 16,3 %, колошения (2,89 т/га) – на 7,4 %, молочной спелости (3,05 т/га) – на 13,3 %. Удобрения при подкормке вегетирующих растений в фазах кушения, колошения и молочной спелости способствовали усилению фотосинтетической деятельности агроценоза яровой тритикале [106].

На лугово-черноземной почве Пензенской области изучено влияние различных видов комплексных удобрений с микроэлементами в хелатной форме на формирование урожайности яровой мягкой пшеницы при некорневой обработке в фазу кушения. Наибольшую прибавку урожайности зерна обеспечила фолиарная обработка посевов комплексным удобрением Цитовит – 1,07 т/га, или 26,9 % к контролю. Уступают ему по эффективности комплексные удобрения Гумостим, Грин Го и ЭкоФус, обеспечившие прирост урожайности 12,6-14,8 % [103].

В условиях республики Мордовия на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом изучено действие хелатных форм микроудобрений на урожайность яровой пшеницы в длительном стационарном опыте. Микроэлементы молибден и медь применяли в форме ЖУСС-2 путем опрыскивания посевов в начале цветения, что способствовало увеличению продуктивности на 0,10 т/га (контроль – 2,37 т/га) [146].

В условиях лесостепи Среднего Поволжья на чернозёме типичном среднегумусном среднемощном тяжелосуглинистом изучено влияние комплексных

удобрений с хелатами микроэлементов листовыми подкормками на урожайность и качество зерна ярового ячменя, которые проводили: в фазе кущения и выхода в трубку. Хелатоник – жидкое комплексное удобрение с хелатами микроэлементов, состав (%): N – 17, P₂O₅ – 7, K₂O – 9, Zn – 0,075, Cu – 0,075, Mn – 0,05, B – 0,025, Mo – 0,0075, Co – 0,001, Fe – 0,02. Нутривант Плюс зерновые – комплексное удобрение с хелатами микроэлементов и фертивантом, состав (%): N – 6, P₂O₅ – 23, K₂O – 35, MgO – 1, B – 0,1, Mn – 0,2, Zn – 0,2, Cu – 0,2, Fe – 0,05, Mo – 0,002. Использование данных хелатов в благоприятные по увлажнению годы позволили повысить урожайность ярового ячменя на 14-31%, сбор белка – на 11-66%. Наиболее эффективным из двух изучаемых препаратов оказался Хелатоник, при применении которого получены наибольшие прибавки урожая [58].

В Курской области изучалось влияние микроэлементов на урожайность и качество зерна озимой пшеницы. Некорневую обработку проводили растворами Zn, Cu в фазы трубкования и кущения. Было установлено, что при обработке посевов в период кущения, увеличение урожая было получено под действием меди на 0,45 т/га, урожайность в контроле составила 2,87 т/га. При этом медь накапливается в зерне. При обработке посевов в период трубкования отмечалась более высокая эффективность хелатных форм меди. Прибавка от использования хелатов цинка и меди по сравнению с контролем (2,41 т/га) составила 0,44 и 1,23 т/га соответственно. Лучшие результаты обеспечивает проведение некорневых подкормок в период трубкования, особенно при применении хелатов меди. Недостаточная обеспеченность микроэлементами стала фактором, определяющим высоту, качество урожая и эффективность удобрения [188].

На южных черноземах Оренбургской области наиболее эффективными при обработке семян были препараты ЖУСС и ЖУСС-2, способствующие повышению урожайности озимой пшеницы на 0,26 и 0,23 т с 1 га [62].

На Украине изучалось удобрение РЕАКОМ на основе хелатов Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Mo и B. В Харьковской области в контроле урожайность ячменя составила 2,49 т/га, при обработке семян препаратом – 3,17 т/га; озимой пшеницы –

20,0 и 26,3; на Николаевской опытной станции при некорневой подкормке озимой пшеницы – 3,28 и 3,72 т/га соответственно [118].

При удобрении РЕАКОМ озимой пшеницы различных сортов установлено, что в контроле урожайность Киевской 8 составила 5,61 т/га, Лузановки – 5,86 и Белоцерковской полукарликовой – 5,66. При обработке семян и некорневой подкормке растений РЕАКОМ получены прибавки 0,59; 0,52; 0,44 т/га соответственно. По данным Института зернового хозяйства (г. Днепр) прирост урожая озимой пшеницы от обработки семян составил 0,47 т/га, и от некорневой подкормки – 0,64 т/га, а при объединении этих двух приемов – 1,10 т/га зерна, при урожайности в контроле 2,90 т/га. Результаты опытов с зерновыми культурами свидетельствуют о стабильности повышения урожая от применения микроудобрений [118].

Некорневая подкормка озимой пшеницы в Ставропольском крае препаратом Лаварин и Лигнас (содержат хелаты Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Co) обеспечила прибавку 0,38 и 0,54 т/га соответственно при урожайности в контроле 4,0 т/га [63].

При изучении влияния некорневых подкормок микроудобрениями на урожайность озимой пшеницы на черноземе выщелоченном лесостепи Центрально-Черноземной зоны урожайность была минимальной на фоне (навоз, 40 т/га + $P_{60}K_{60} + N_{30}$) и составила 3,58 т/га. При внесении хелатов микроэлементов максимальный результат был получен в варианте фон + Мастер ($N_{20}P_{20}K_{20} + MgO_3 + S, B, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo$) с прибавкой 0,34 т/га, а $CuSO_4$ – 0,29 т/га, $ZnSO_4$ – 0,22 т/га [167].

На серых лесных среднесуглинистых почвах в Республике Татарстан, определено комплексное воздействие микроэлементов на формирование урожая яровой пшеницы. Семена обрабатывали полусухим способом препаратом Микромак, содержащим микроэлементы. Прибавка урожайности в среднем составила 0,17 т/га (в контроле 2,25 т/га) [9].

На серой лесной почве Предкамья изучена эффективность некорневой подкормки растений яровой пшеницы азотом в сочетании с медь- и цинксодержащим хелатным комплексным микроудобрением. Некорневую подкормку проводили в фазе колошения препаратом ЖУСС-3 (содержание меди – 15-20 г/л, цинка – 30-35 г/л.) на фоне внесения в почву под культивацию макроудобрений ($N_{60}P_{50}K_{50}$). Некорневая подкормка растений совместно с азотом в дозе 30 кг/га повысила урожайность зерна на 0,37-0,48 т/га. Возрастание урожайности достигнуто прежде всего за счет повышения массы 1000 зерен, максимум ее (40 г) наблюдается в варианте подкормки с ЖУСС-3 2 л/га + N_{30} против 30,4 г в контроле. Аналогично изменяется масса 1000 зерен в вариантах подкормки с препаратом ЖУСС-3 отдельно, варьируя от 35,0 до 37,8 г [52].

Исследованиями, проведенными в Омской области, установлено, что при низкой (0,07-0,14 мг/кг) обеспеченности подвижной медью в почве целесообразно применять медьсодержащие удобрения. Максимальная урожайность яровой пшеницы (3,37 т/га) получена от предпосевной обработки семян раствором хелатной формы (ЭДТА) в концентрации 0,25% на фоне внесения азотно-фосфорных минеральных удобрений, прибавка урожайности зерна составила 17% [48].

В южной лесостепной зоне Западной Сибири на лугово-черноземной среднемоощной среднегумусовой тяжелосуглинистой почве, изучено влияние предпосевной обработки семян раствором янтарной кислоты и хелата меди на продуктивность яровой пшеницы. Наибольшие прибавки урожайности получены на удобренном фоне: 0,59 т/га – при обработке янтарной кислотой в концентрации 10^{-3} М и 0,92 т/га – от хелата меди в концентрации 0,25 %. Повышение продуктивности определялось увеличением длины и озерненности колоса [145].

Таким образом, микроудобрения, в том числе их хелатные формы, эффективны при выращивании сельскохозяйственных культур на черноземных почвах. При этом большое значение имеют особенности их использования (способ внесения, фаза развития, доза). Но изучение и сравнение применения доз хелатных

форм микроудобрений цинка и меди под пшеницу яровую различными способами (обработка семян и некорневая подкормка в различные фазы роста) для выявления оптимальной технологии в условиях лесостепи Западной Сибири не проводилось, и данная тема исследований является актуальной.

2 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Характеристика объектов исследований

Биологические особенности яровой пшеницы. Требования к температуре в начальный период невысокие. Семена распространенных в Сибири сортов начинают прорасти при 1-2 °С тепла. Однако, для получения всходов, минимальная температура должна быть 4-6° тепла. Всходы сравнительно хорошо переносят заморозки до - 6°. Начальный рост и кушение идут лучше при умеренных температурах.

В период развития генеративных органов и цветения пшеница очень чувствительна к температурному фактору. Рядом исследователей установлено, что при +12 °С у нее не развиваются пыльники, при температуре ниже +5 °С не происходит оплодотворение, а при температуре от +5 до +10 °С оплодотворение хотя и происходит, но рост эндосперма и особенно зародыша идет очень медленно, зерно отмирает, не оформившись. Высокие температуры в период цветения пшеница может переносить лишь при хорошем запасе влаги в почве. При пониженной же влажности почвы действие высокой температуры вызывает большую череззерницу.

Процессы созревания всех возделываемых в Омской области сортов идут нормально, если среднесуточная температура четырех декад, следующих за колосением, держится около 16 °С. При более высокой температуре они ускоряются, при пониженной сильно растягиваются. Имеются сведения, что созревание приостанавливается при среднесуточной температуре 12°, хотя отдельные исследователи указывают на возможность созревания некоторых сортов и при этой температуре.

Наибольшие требования к влаге пшеница предъявляет в период кушения-выхода в трубку. Это критический период в развитии пшеницы, засуха в это

время оказывает очень сильное отрицательное влияние на урожай. Однако культура должна быть хорошо обеспечена влагой и во вторую половину вегетации, в противном случае возможны неполное оплодотворение и череззерница, а также получение неполновесного зерна. Вместе с тем очень влажная погода нарушает нормальный ход налива зерна [136].

Сорт мягкой яровой пшеница Памяти Азиева создан в Государственном научном учреждении Омском аграрном научном центре (Омский АНЦ). Авторы: В.А. Зыкин, В.С. Суслияков, И.А. Белан, С.В. Пашков, Л.Я. Сивенкова, П.В. Поползухин, В.Я. Белевкин.

Ботаническая характеристика. Разновидность лютесценс. Куст от полупрямостоячего до промежуточного. Соломина полая или выполнена слабо, восковой налет на верхнем междоузлии средний, опушение очень слабое. Флаговый лист имеет сильный восковой налет на листовой пластинке и влагалище, антоциановая окраска ушек отсутствует. Колос веретеновидный, средней плотности, белый, со средним восковым налетом. Плечо прямое, среднее. Зубец прямой, очень короткий. Зерно яйцевидное, со средним хохолком, окрашенное. Масса 1000 зерен 35-36 г.

Биологические особенности. Сорт среднеранний, вегетационный период 74-79 дней. Устойчивость к полеганию на уровне стандарта (4,6-4,9 балла). Устойчивость к засухе средняя. Среднеустойчив к пыльной головне.

Основное достоинство. Сочетание скороспелости, высокой урожайности, отличных технологических качеств зерна. В условиях Омской и Новосибирской областей урожайность колеблется от 1,8 до 4,0 т/га, превышая стандарт Алтайская 92 на 0,18-0,70 т/га. Максимальная урожайность 5,2 т/га получена в 1997 г. в Омской области. Сорт обладает высокой потенциальной урожайностью, которая обеспечивается сочетанием высокой засухоустойчивости, устойчивости к мучнистой росе, большего количества зерен в колосе и продуктивности колоса.

Включен в Госреестр по Западно-Сибирскому (10) региону (2000 г.) и в Республике Казахстан (2004 г.) [160].

Характеристика почв опытного участка. Полевые опыты проводились на поле Омского аграрного научного центра. Рельеф южной лесостепи – это слабо-волнистая равнина, представленная второй надпойменной террасой реки Иртыш. Почвообразующими породами являются аллювиальные отложения террасы, представленные суглинками и супесями. Ведущим почвообразовательным процессом является чернозёмный. Почвенный покров опытного поля представлен лугово-черноземной почвой.

Лугово-чернозёмная почва формируется под влиянием смешанного периодического поверхностного и более постоянного грунтового увлажнения при уровне грунтовых вод 3,5 м. В отличие от чернозёмов гумус этих почв менее насыщен азотом. По составу ППК лугово-чернозёмные почвы близки к чернозёмам, но отличаются от них повышенным содержанием натрия и магния. В целом состав ППК благоприятен, основная доля приходится на кальций – 77-88, магний – 13-21 %. Содержание поглощённого натрия незначительное – 0,8-1,7 %. Лугово-черноземные почвы обычные, засоленные, карбонатные и выщелоченные имеют среднюю поглотительную способность, она коррелирует с гранулометрическим составом и содержанием гумуса [7, 26, 65, 122].

Ниже представлено описание почвенного профиля разреза лугово-черноземной среднемошной среднегумусовой тяжелосуглинистой почвы опытного поля.

Вскипание от НС1с 57 см, оглеение с 90 см.

А пах $\frac{0-25}{25}$ – пахотный, свежий, темно-серый, однородный по окраске, тяжелосуглинистый, комковато-пылеватый, рыхлый, новообразований нет, встречаются корни растений, переход в горизонт АВ ясный

АВ $\frac{25-45}{20}$ – гумусово-аккумулятивный, свежий, темно-серый с буроватым оттенком, тяжелосуглинистый, пылевато-комковатый, уплотненный, новообразований нет, небольшое количество корней растений, переход в горизонт В1 постепенный

В1 $\frac{45-57}{8}$ – переходный, свежий, бурый с большим количеством гумусовых затеков, тяжелосуглинистый, пылевато-комковатый, уплотненный, новообразований нет, переход постепенный

В2к $\frac{57-90}{33}$ – переходный, свежий, бурый с гумусовыми затеками, тяжелосуглинистый, пылевато-комковатый, плотный, новообразования CaCO_3 в форме пропитки

В3к $\frac{90-114}{24}$ – переходный, свежий, светло-бурый, окончание гумусовых затеков, глинистый, комковатый, плотный, CaCO_3 в форме пропитки, переход ясный

Скг $\frac{114-154}{40}$ – почвообразующая порода, влажная, светло-бурая с редкими охристыми вкраплениями и сизоватыми пятнами на изломе структурных агрегатов, глинистый, порошисто-комковатый, плотный, карбонаты в форме пропитки.

Грунтовые воды залегают на глубине 3,0-3,5 м. Содержание гумуса – 5,70 %. Плотность почвы в слое 0-40 см составляет 1,20-1,25 г/см³, плотность твердой фазы – 2,65 г/см³. Емкость поглощения в пахотном слое (0-30 см) составляет 25,2-28,2 ммоль·экв/100 г. В ППК преобладает кальций – 19,8-23,3 мг·экв/100 г, рН водной вытяжки составляет 6,5-7,1.

Обеспеченность в слое почвы 0-40 см опытного участка нитратным азотом – высокая, в слое почвы 0-20 см подвижным фосфором и калием – очень высокая, подвижными цинком и медью – низкая (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Содержание подвижных элементов питания в почве опытных участков, мг/кг

Год	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu
2017	18,1	253	335	0,58	0,06
2018	18,4	205	320	0,60	0,08
2019	18,2	245	325	0,62	0,07

N-NO₃ – в слое почвы 0-40 см, остальные элементы – 0-20 см,

Формы удобрений, применяемые в исследованиях – хелаты цинка (Zn – 80 г/л) и меди (Cu – 60 г/л), на основе ОЭДФ (оксиэтилендифосфоновой кислоты).

2.2 Климат и метеорологические условия в годы проведения исследований

Западная Сибирь – один из важнейших экономических регионов России. Из 2427,2 тыс. кв. км 90 % ее территории приходится на равнины. Континентальный климат формируется под влиянием холодных арктических и, в меньшей степени, сухих воздушных масс с юга. Континентальность увеличивается по мере продвижения на юг. В общих чертах климат характеризуется суровой и малоснежной зимой, теплым, но непродолжительным летом, короткими переходными сезонами весной и осенью. Западная Сибирь имеет большие возможности для развития земледелия и животноводства, т.к. сравнительно благоприятный климат позволяет возделывать зерновые культуры ранних и среднеспелых сортов. Наиболее благоприятны почвенно-климатические условия, складывающиеся в лесостепной зоне.

Наиболее характерными особенностями климата Омской области, расположенной в умеренных широтах северного полушария, являются сравнительная суровость и континентальность. О суровости климата говорит продолжительность зимнего периода – низкие зимние температуры, частые похолодания в весенний и осенний периоды. Континентальность климата проявляется в резком колебании температур в течение года и от месяца к месяцу, сравнительно небольшом количестве осадков, малой облачности и т. д. В пределы области беспрепятственно проникают холодные воздушные массы с севера и востока и теплые и сухие с юга. Частая смена воздушных масс обуславливает неустойчивость и изменчивость метеорологических условий особенно в переходные сезоны, когда

теплые массы воздуха могут быть в течение нескольких часов вытеснены холодными, а теплая погода сменяется резким похолоданием.

Зона лесостепи расположена в центральной части Сибирского Прииртышья. Основные признаки температурного режима: суровая холодная зима, теплое, зачастую жаркое непродолжительное лето, короткие весна и осень, короткий безморозный период. Возвраты холодов возможны в конце мая, а осенние заморозки вероятны уже в начале сентября. Средняя годовая температура воздуха составляет в лесостепной зоне $0,3^{\circ}\text{C}$, самого теплого месяца (июль) – $19,4^{\circ}\text{C}$. Продолжительность теплого периода с положительной среднесуточной температурой – в среднем 192 дня. Вегетационный период с переходом среднесуточной температуры воздуха через 5°C начинается 24-25 апреля и продолжается 162 -165 дней. Период активной вегетации растений начинается 11-12 мая и прекращается 16-17 сентября. При этом сумма среднесуточных температур воздуха составляет 1900- 2200 $^{\circ}\text{C}$. Самыми неблагоприятными для сельского хозяйства факторами являются поздние весенние и ранние осенние заморозки. Средняя дата прекращения заморозков в воздухе весной – 22 мая. Средняя дата наступления первых заморозков осенью приходится на 17 сентября.

Продолжительность дня в летние месяцы составляет 15-18 часов, что благоприятно влияет на рост и развитие сельскохозяйственных культур. Обилие света и тепла в течение вегетационного периода в значительной мере возмещает краткость периода с положительными температурами и ускоряет вегетацию растений. Продолжительность солнечного сияния за год составляет 2223 часа. Наибольшая продолжительность его в июне – июле (318-299 час.) обуславливается длинным днем и малым количеством облачности. Лесостепь Западной Сибири относится к зоне недостаточного и неустойчивого увлажнения и характеризуется неравномерным распределением осадков в течение вегетации [92].

Годовое количество осадков составляет 330-380 мм. Высота снежного покрова колеблется в пределах 21-23 см. Большая часть осадков выпадает в летнее время – среднемноголетнее количество осадков за период вегетации от 165 до

220 мм. Такое распределение несколько сглаживает недостаток их общего количества. Особенно в засушливые годы, осадки часто смещаются на вторую половину лета. Чаще других засушливыми месяцами являются май и июнь. Годы с ранневесенней засухой часто сменяются годами с достаточным количеством влаги в данный период. Отрицательное влияние оказывает не только дефицит влаги, но и ее избыток. В частности, он обуславливает полегание растений: прорастание зерна на корню. К внешним погодным факторам, отрицательно влияющим на растение, следует отнести ливневые дожди, град, неравномерность выпадения осадков в летний период [92].

Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на начало активной вегетации в зоне, как правило, достаточные и составляют в среднем 120-140 мм. Наименьшая влажность воздуха приходится на май, наибольшая на август. ГТК (гидротермический коэффициент) за вегетационный период равен 0,8-1,0 [4].

В годы проведения экспериментов были различные метеорологические условия (таблица 2.2, рисунки 2.1 и 2.2, приложение А), количество осадков и температурный режим характеризовались типичным для зоны непостоянством.

Таблица 2.2 – Метеорологические условия за вегетационные периоды в годы исследований

Месяц	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Среднее многолетнее
Температура воздуха в период вегетации, °С				
Май	13,1	7,7	12,2	12,5
Июнь	20,1	17,2	15,5	17,9
Июль	18,5	19,8	20,5	19,6
Август	18,2	16,0	17,9	16,9
Сентябрь	9,2	11,5	10,8	10,4
Количество осадков в период вегетации, мм				
Май	26,0	72,3	37	35
Июнь	31,6	61,6	85	51
Июль	70,4	45,5	29	66
Август	13,6	61,0	40	54
Сентябрь	29,1	17,9	48	37

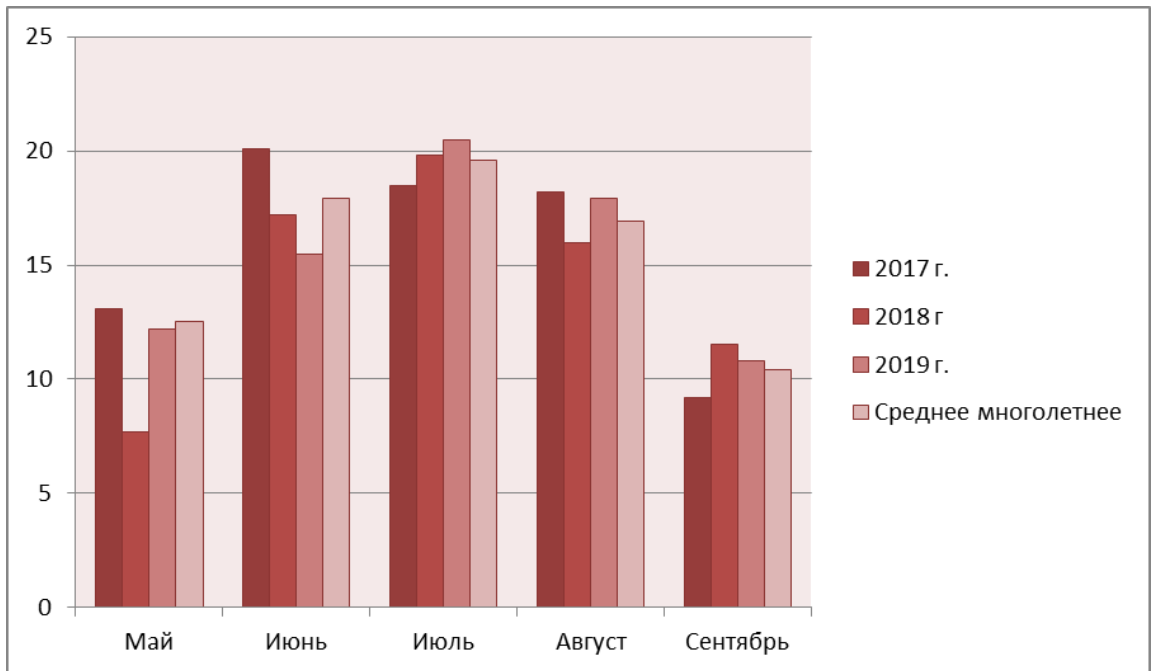


Рисунок 2.1 – Среднемесячная температура воздуха за вегетационные периоды 2017-2019 гг. (данные ГМС г. Омска)

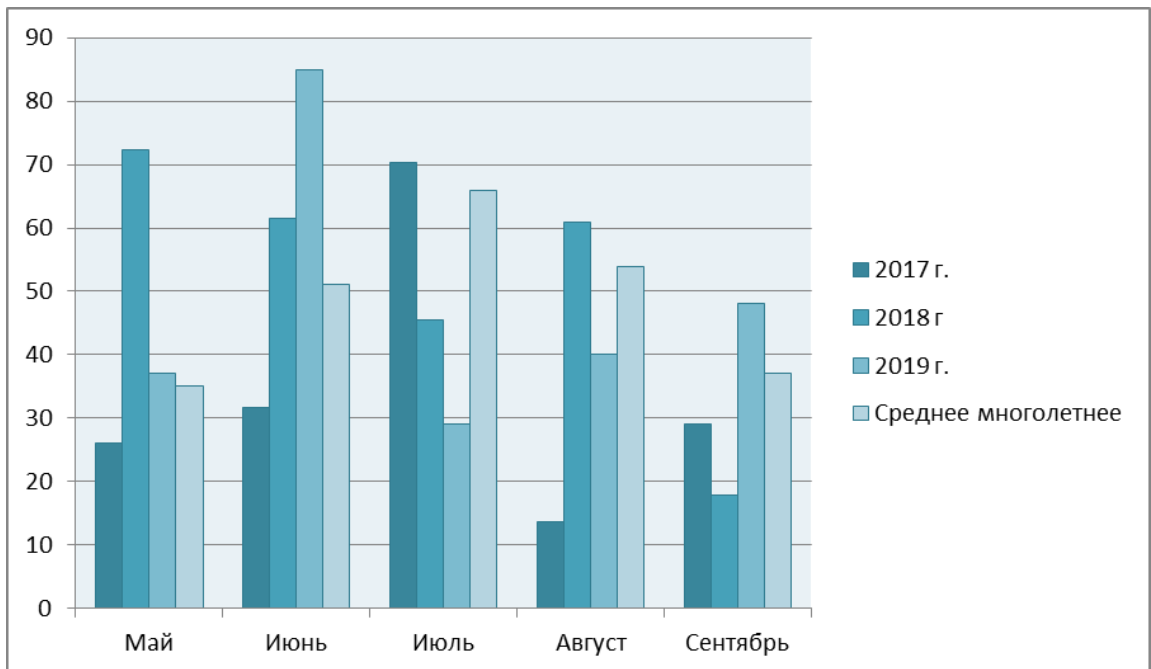


Рисунок 2.2 – Среднемесячные осадки за вегетационные периоды 2017-2019 гг. (данные ГМС г. Омска)

Сумма активных температур составляла 2010-2345 °С, сумма осадков за вегетационный период 171-258 мм. Вегетационный период 2017 г. был более жарким и засушливым, а 2018 и 2019 гг. более холодным и влажным.

2.3 Методика полевых и лабораторных исследований

Для решения поставленных задач по оптимизации микроэлементного питания пшеницы яровой в работе использованы методы полевых, лабораторных исследований, а также математический анализ их результатов с применением информационных технологий. Схема опыта (2017-2019 гг.):

1. Контроль (без удобрений)

Обработка семян (г/100 кг)

2. Zn₁₀

3. Zn₂₀

4. Zn₃₀

5. Cu₁₀

6. Cu₂₀

7. Cu₂₀

Подкормка в фазу кущения (г/га)

8. Zn₁₀

9. Zn₂₀

10. Zn₃₀

11. Cu₁₀

12. Cu₂₀

13. Cu₂₀

Подкормка в фазу выхода в трубку (г/га)

14. Zn₁₀

15. Zn₂₀

16. Zn₃₀

17. Cu₁₀

18. Cu₂₀

19. Cu₂₀

Проводимые опыты однофакторные. Расположение делянок на опытном участке систематическое. Площадь делянок – 16 м²; учётная площадь – 15 м². Повторение вариантов в опыте трёхкратное, расположение повторений – в три яруса.

Предшественник – пар, агротехника – общепринятая для зоны: осенью основная обработка – зяблевая вспашка плугом ПН-4-35 на глубину 20-22 см. Предпосевная обработка почвы заключалась в ранневесеннем бороновании зубowymi боронами в два следа при достижении почвой состояния физической спелости и предпосевной культивации КПС-4 на глубину заделки семян.

Посев производили 25-27 мая, норма высева 5,0 млн. всхожих семян, сеялкой ССФК-7. После посева почву прикатывали кольчатыми катками ЗКК-3А. Уборку проводили в первой декаде сентября прямым комбайнированием «Неге-125», Учёт урожайности зерна проводили методом сплошного обмолота растений с приведением к стандартной влажности (14%) и 100%-ной чистоте.

В полевых опытах проводились наблюдения:

1. определение содержания подвижных форм элементов питания в пахотном слое почвы;
2. фенологические наблюдения за развитием растений;
3. определение химического состава растений по фазам;
4. учёт урожая;
5. определение структуры урожая;
6. определение показателей качества урожая.

Закладку опытов, все учеты, наблюдения производили по общепринятым методикам [66, 135, 141, 173].

Химические анализы почв и растений проводили на кафедре агрохимии и почвоведения Омского ГАУ, в Омском аграрном научном центре, в Центре агрохимической службы «Омский» общепринятыми в агрохимии и почвоведении методами [108, 141, 152].

В почвенных пробах определяли: гумус по Тюрину в модификации Симаковой, рН почвы потенциометрическим методом; ЕКО по Бобко и Аскинази в модификации Грабарова и Уваровой; плотность твердой фазы пикнометрическим методом; нитратный азот по Грандваль-Ляжу; подвижный фосфор, обменный калий по Чирикову (ГОСТ 26204-84). Определение содержания микроэлементов в растениях и почве проводили атомно-абсорбционным методом (ГОСТ CuP 50683-94, ГОСТ ZnP 50686-94) метод Крупского и Александровой.

Сжигание растительных навесок проводили методом мокрого озоления по Пиневиц; общий азот в полученном растворе определяли по Кьельдалю; фосфор по Дениже; калий – на пламенном фотометре.

Гигроскопическую влагу определяли методом высушивания в сушильном шкафу при температуре 105 ± 2 °С в растениях (ГОСТ 27548-97 ГОСТ Р 52838-2007) и в почве (ГОСТ 28268-89). По общепринятым методикам проводили определение: содержания белка (ГОСТ 10846-91), стекловидности зерна (ГОСТ 10987-79), клейковины (ГОСТ 27839-88, ГОСТ 27839-2013), определение протеиногенных аминокислот (ГОСТ Р 55569-2013).

Проводили учёты густоты стояния растений на закрепленных площадках по 0,25 м² с целью определения полевой всхожести семян и выживаемости растений. С этих же площадок перед уборкой отбирались растения для проведения структурного анализа с определением следующих показателей: количество сохранившихся растений к уборке и продуктивных стеблей на единице площади, количество зерен, масса зерна колоса.

Оценка посевных качеств семян проводилась согласно соответствующих ГОСТов с определением влажности, в % (ГОСТ 12041-82); массы 1000 семян в г

(ГОСТ 12042-80); чистоты, в % (ГОСТ 12037-81); энергии прорастания и лабораторной всхожести, в % (ГОСТ 12038-84).

Результаты полевых и лабораторных исследований подвергнуты математической обработке [66, 135]. Экономическую эффективность применения удобрений рассчитывали согласно рекомендациям Ю.И. Ермохина и А.Ф. Неклюдова [76].

3 ВЛИЯНИЕ ХЕЛАТНЫХ МИКРОУДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ

Первым исследователем применения микроудобрений в Сибири был в 1933-1960 гг. заведующий кафедрой агрохимии ОмСХИ А.З. Ламбин [109, 110]. Изучалось использование различных микроудобрений для повышения урожая и качества сельскохозяйственных культур. Затем различные аспекты оптимизации микроэлементного питания растений исследовались Э.Д. Орловой [127-130], Г.П. Гамзиковым [57], Н.Н. Сказаловой [156], В.А. Агеевым [1], Ю.И. Ермохиным [71], В.М. Красницким [98, 102], Ю. А. Азаренко [5-8], И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, В.И. Поповой, Е.П. Болдышевой [17,20, 22, 24, 45, 137-140, 198, 199], Н.А. Воронковой [43] и др. [5-8, 21, 23, 28, 31, 32, 68, 69, 71-73, 75, 154, 159].

Сравнительное изучение применения хелатных форм микроудобрений при возделывании яровой пшеницы в различные фазы роста на лугово-черноземной почве южной лесостепи в Западной Сибири ранее не проводились.

3.1 Урожайность пшеницы яровой при применении хелатных форм цинковых и медных удобрений

В полевых экспериментах 2017-2019 гг. на лугово-черноземной почве изучали отзывчивость пшеницы яровой на микроудобрения при оптимальной обеспеченности макроэлементами. Предусматривалось выявить закономерности действия различных доз и способов применения хелатных форм цинковых и медных удобрений, которые применялись при обработке семян до посева и некорневой подкормкой в фазы кущения и выхода в трубку.

Необходимо отметить, что, так как предшественником яровой пшеницы был пар, и ранее на опытном участке созданы фоны с помощью фосфорных удобрений, а обменный калий в почвах региона находится в значительных количествах,

то содержание основных элементов питания в почве было очень высоким: нитратного азота – 18,1-18,4, подвижного фосфора – 205-253, подвижного калия – 320-335 мг/кг почвы перед посевом.

Результаты экспериментов (таблица 3.1) позволяют сделать вывод о высокой эффективности микроудобрений в хелатной форме при возделывании яровой пшеницы. Сопоставляя урожайные данные по годам исследований, следует отметить их значительные отличия: в 2017 г. и 2019 г. урожайность была в 1,4 раза выше, чем в 2018 г. (в контроле соответственно 2,45 и 1,73 т/га). Осадки выше среднемноголетних в два раза в начале вегетации 2018 г. (конец мая – июнь) и температуры ниже среднемноголетних негативно повлияли на развитие яровой пшеницы, что в дальнейшем отразилось на формировании зерна, и как следствие – на урожайности.

Эффективность разных способов применения микроудобрений (обработка семян и некорневая подкормка в фазы кущения и трубкования) при проведении экспериментов отличалась.

Эксперименты выявили положительное действие хелата цинка при предпосевной обработке семян на урожайность зерна яровой пшеницы. Улучшение питания данной технологией использования хелатов цинка и меди обеспечило увеличение урожайности в среднем за годы исследований от 0,08 до 0,20 т/га зерна (2,3-9,1% к контролю).

Применение цинковых удобрений в дозе 20 г/100 кг позволило сформировать наибольшую прибавку урожая 0,20 т/га (в контроле урожайность 2,20 т/га). При этом Zn_{10} и Zn_{30} увеличивали урожайность на 0,08 и 0,15 т/га соответственно. Использование медных удобрений в дозах 20 г и 30 г/100 кг позволило сформировать практически одинаковые прибавки урожайности 0,14 и 0,15 т/га соответственно, а обработка Cu_{10} не привела к достоверному увеличению урожайности (0,05 т/га).

Таблица 3.1 – Урожайность зерна пшеницы яровой в зависимости от доз и способа применения хелатных микроудобрений на лугово-черноземной почве (2017-2019 гг.)

Вариант	Урожайность зерна, т/га				Прибавка	
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Средняя	т/га	%
Контроль	2,45	1,73	2,41	2,20	-	-
Обработка семян, г/100 кг						
Zn ₁₀	2,53	1,75	2,57	2,28	0,08	3,6
Zn ₂₀	2,73	1,87	2,62	2,40	0,20	9,1
Zn ₃₀	2,54	1,81	2,69	2,35	0,15	6,8
Cu ₁₀	2,51	1,75	2,50	2,25	0,05	2,3
Cu ₂₀	2,62	1,86	2,54	2,34	0,14	6,4
Cu ₃₀	2,62	1,90	2,52	2,35	0,15	6,8
Опрыскивание в фазу кущения, г/га						
Zn ₁₀	2,59	1,86	2,46	2,30	0,10	4,5
Zn ₂₀	2,75	1,93	2,51	2,40	0,20	9,1
Zn ₃₀	2,80	1,97	2,52	2,43	0,23	10,5
Cu ₁₀	2,74	2,08	2,52	2,40	0,20	9,1
Cu ₂₀	2,82	2,00	2,50	2,37	0,17	7,7
Cu ₃₀	2,85	2,04	2,52	2,40	0,20	9,1
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га						
Zn ₁₀	2,60	1,77	2,42	2,23	0,03	1,4
Zn ₂₀	2,79	1,91	2,52	2,34	0,14	6,4
Zn ₃₀	2,83	1,96	2,46	2,33	0,13	5,9
Cu ₁₀	2,58	1,84	2,50	2,31	0,11	5,0
Cu ₂₀	2,67	1,89	2,52	2,36	0,16	7,3
Cu ₃₀	2,69	1,89	2,52	2,34	0,14	6,4
НСП ₀₅ т/га	0,11	0,08	0,10			

Результаты исследований свидетельствуют, что применение хелатов цинка и меди при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Омской области является эффективным. Лучшей дозой цинка и меди при предпосевной обработке является 20 г/100 кг семян.

В исследованиях применение некорневой подкормки яровой пшеницы в фазу кущения хелатами цинка и меди обеспечило увеличение урожайности от 0,10 до 0,23 т/га зерна (4,5-10,5% к контролю). Опыты выявили положительное действие некорневой подкормки в фазу кущения хелатом цинка на урожайность зерна. Использование 20 и 30 г/100 га позволило сформировать прибавку урожая 0,20 и 0,23 т/га соответственно (10,5 и 9,1% к контролю), при этом Zn_{10} увеличивал урожайность на меньшую величину – 0,10 т/га. Лучшей дозой хелата цинка при некорневой подкормке в фазу кущения является 20 г/100 га.

Использование медных удобрений в дозе 10 и 30 г/100 кг позволило создать прибавку урожая на одном уровне 0,20 т/га (в контроле 2,20 т/га), а обработка Cu_{20} сформировала прибавку урожая 0,17 т/га. Но в целом применение дозы меди 10,20, 30 г дало практически одинаковую прибавку. Наиболее эффективна подкормка Cu_{10} , как менее затратная по количеству вносимого элемента.

Оптимизация питания яровой пшеницы применением хелатов цинка и меди способом некорневой подкормки растений в фазу выхода в трубку обеспечило прибавку урожая в среднем от 0,03 до 0,16 т/га зерна (1,4-7,3 % к контролю). Эксперименты выявили положительное действие хелата цинка в данную фазу развития на урожайность. Его внесение в дозе 20 г/100 га позволило сформировать наибольшую прибавку урожая 0,14 т/га (в контроле 2,20 т/га). При этом Zn_{10} увеличил урожайность на недостоверную величину – 0,03 т/га. Использование медных удобрений в дозе 20 г/100 кг сформировало увеличение урожайности 0,16 т/га, а обработка растений Cu_{10} и Cu_{30} – 0,11 и 0,14 т/га соответственно.

Уровень прибавок зерна яровой пшеницы от цинковых и медных удобрений при лучших дозах по урожайности в условиях низкого содержания доступных

форм данных элементов в лугово-черноземной почве находился на одном уровне.

На рисунках 3.1 и 3.2 показана взаимосвязь между дозами хелатов (цинка и меди), способов применения микроудобрений и урожайностью зерна яровой пшеницы. Использование Zn_{20} по сравнению с Zn_{10} позволило создать достоверные прибавки урожайности при всех технологиях удобрения (рисунок 3.1). При этом агрономическая эффективность цинка удобрений была выше при обработке семян и некорневой подкормке в фазу кущения, чем при их внесении в фазу выхода в трубку.

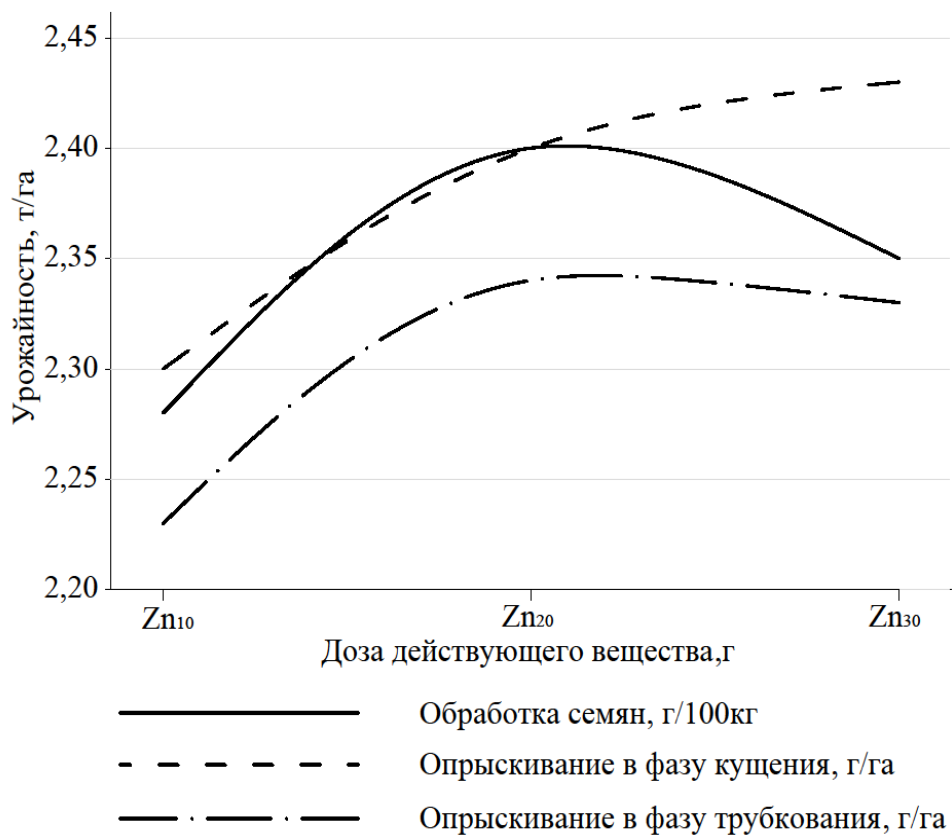


Рисунок 3.1 – Урожайность зерна яровой пшеницы в зависимости от доз и способов применения цинковых удобрений (среднее 2017-2019 гг.)

Внесение же Zn_{30} при любой технологии не привело к увеличению урожайности по сравнению с дозой Zn_{20} .

Применение Cu_{20} по сравнению с Cu_{10} и Cu_{30} позволило создать достоверные прибавки урожайности при обработке семян и некорневой подкормке в фазу выхода в трубку (рисунок 3.2). При этом агрономическая эффективность удобрений в фазу кущения была выше при некорневой подкормке Cu_{10} .

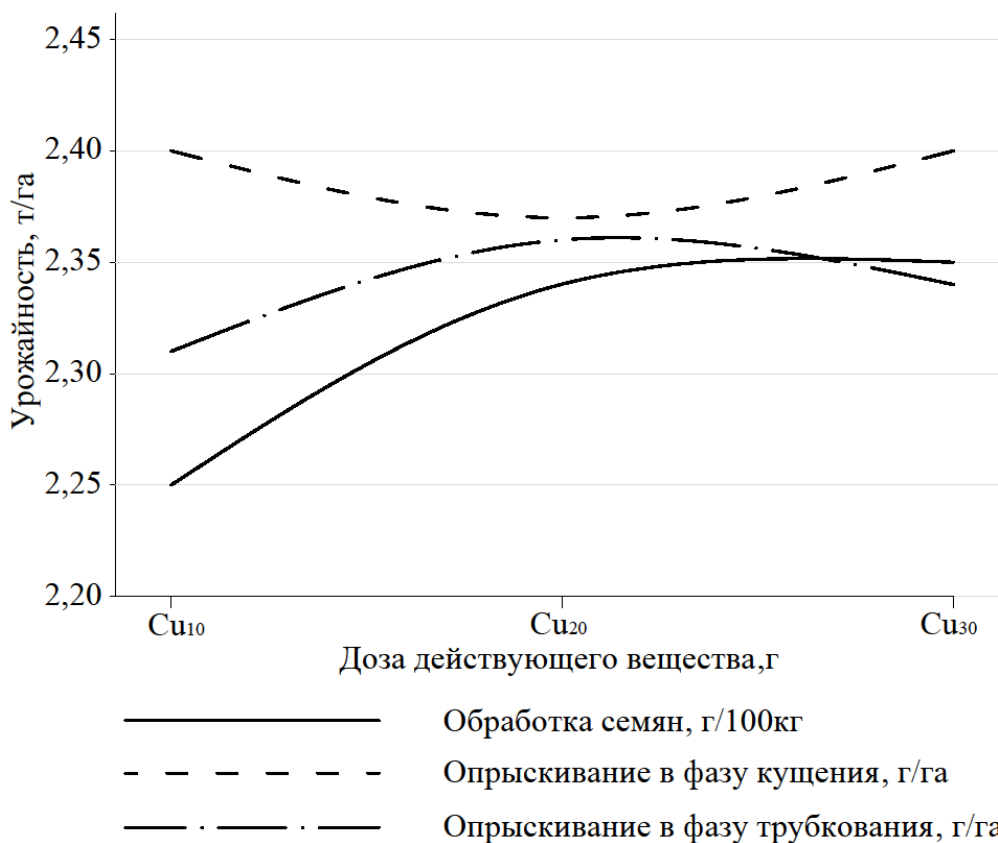


Рисунок 3.2 – Урожайность зерна яровой пшеницы в зависимости от доз и способов применения медных удобрений (среднее 2017-2019 гг.)

Таким образом, применение микроудобрений при возделывании яровой пшеницы в условиях низкого содержания подвижных форм изучаемых элементов в лугово-черноземной почве является эффективным. Лучшей дозой хелатов цинка и меди при предпосевной обработке семян является 20 г/100 кг, при некорневой подкормке в фазу кущения и выхода в трубку – 20 и 10 г/га соответственно. При этом обработка семян и некорневая подкормка в фазу кущения хелата цинка имеет преимущество перед некорневой подкормкой в фазу выхода в

трубку, так как при этом формируется большая прибавка урожая. При применении хелата меди наибольшая продуктивность наблюдалась при некорневой подкормке в фазу кущения.

Результаты исследований свидетельствуют, что использование хелатов цинка и меди при возделывании яровой пшеницы на лугово-черноземной почве является эффективным при всех трех вариантах технологий. Выбор способа и фазы применения удобрений при возделывании изучаемой культуры в конкретной агрономической ситуации может зависеть от производственной целесообразности.

3.2 Влияние микроудобрений на выживаемость растений, высоту и структуру урожая яровой пшеницы

Число растений на единице площади зависит от полевой всхожести и выживаемости растений, на которую оказывает влияние и применение удобрений. Так, на серых лесных среднесуглинистых почвах в Республике Татарстан при совместной предпосевной обработке протравителем и препаратом Микромак А, Б полевая всхожесть возростала. Сохранность растений к уборке в контроле без удобрений составила 73,9 %, совместное применение протравителя и препарата Микромак А, Б способствовало увеличению сохранности растений на 1,7-2,1 % [9].

Основным условием формирования высокопродуктивного агроценоза является создание оптимальной густоты стояния растений, которая оказывает существенное влияние на ростовые процессы, высоту и массу растений, структуру урожая и сроки наступления фаз развития. Обобщение экспериментальных данных свидетельствует о положительном влиянии совместного использования регулятора роста Силиплант, биологических препаратов Ризоторфин и Байкал ЭМ-1 с комплексными удобрениями Поли-Фид, Мастер специальный, гумат ка-

лия/натрия, ЖУСС-2. Так, при предпосевной обработке семян гороха увеличивается полевая всхожесть и сохранность растений к уборке на 10-11 % по сравнению с контролем, активизируются ростовые процессы полевого гороха [107].

В наших исследованиях наблюдался положительный эффект от действия хелатов на данные показатели (рисунки 3.3-3.5, приложение Б). Полевая всхожесть семян яровой пшеницы составила при использовании цинковых удобрений (рисунок 3.3) в вариантах обработки семян 75,4-91,5 %; медных – 81,0-87,1 % (контроль – 70,3).

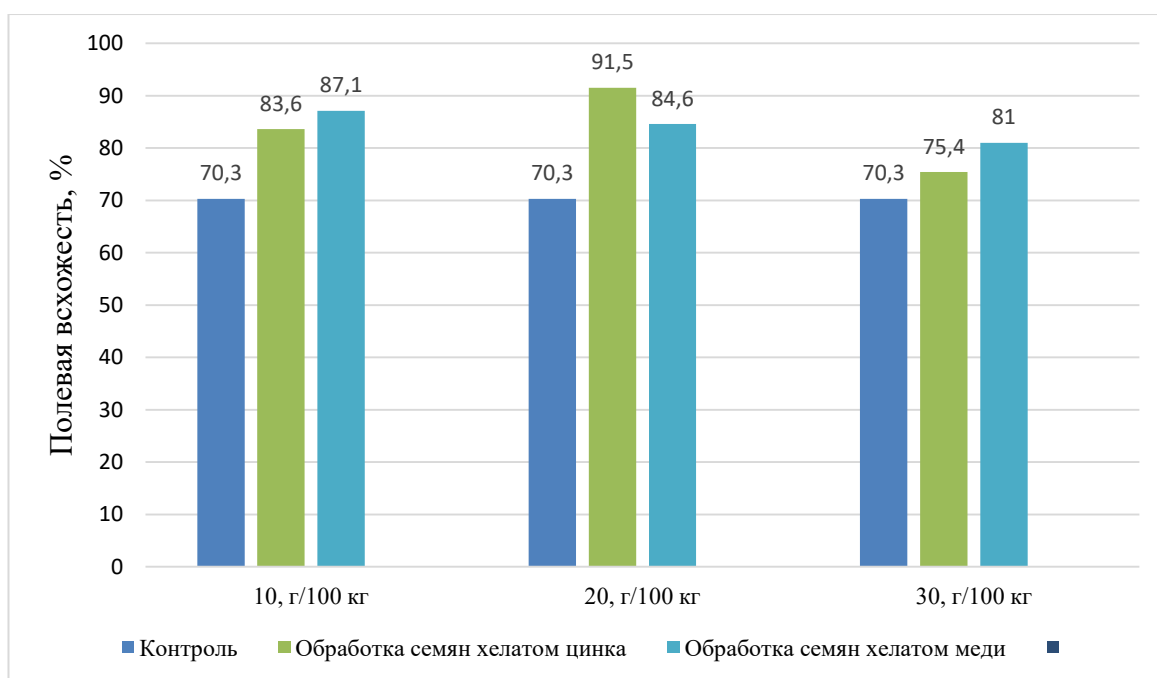


Рисунок 3.3 – Полевая всхожесть семян яровой пшеницы при обработке семян хелатами микроэлементов (среднее 2017-2019 гг.)

Выживаемость растений яровой пшеницы в зависимости от доз и способов применения цинковых удобрений (рисунок 3.4) составила 57,5-82,7 %; медных (рисунок 3.5) – 64,6-78,9 % (контроль – 55,0).

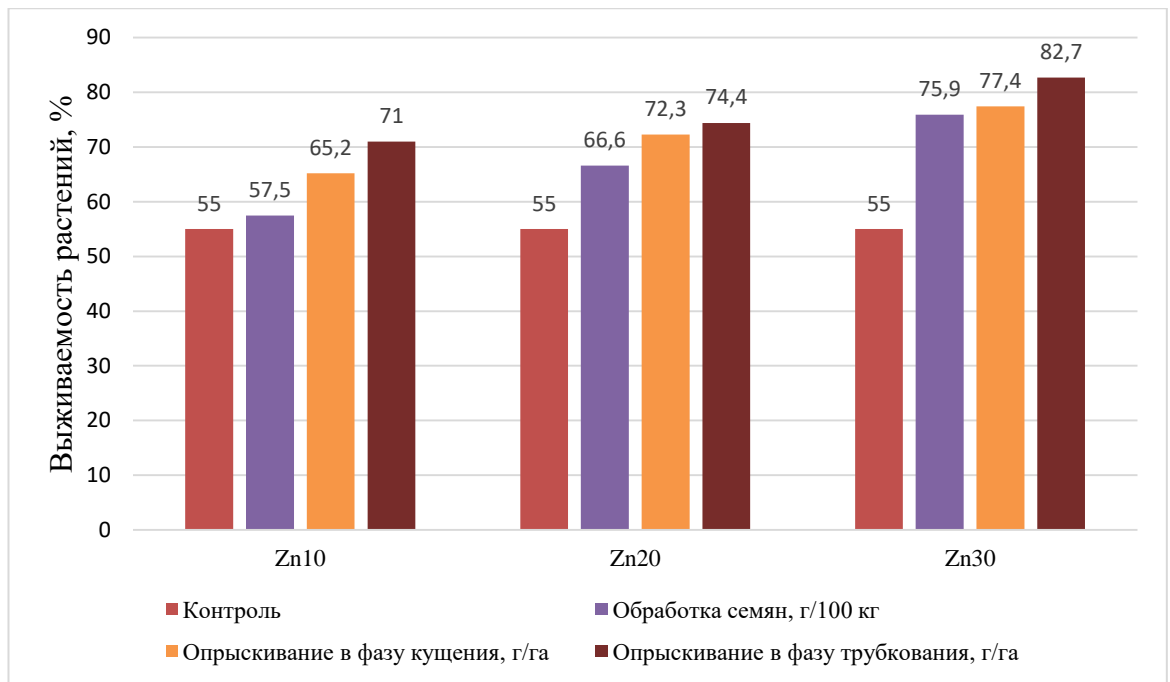


Рисунок 3.4 – Выживаемость растений яровой пшеницы в зависимости от доз и способов применения цинковых удобрений (среднее 2017-2019 гг.)

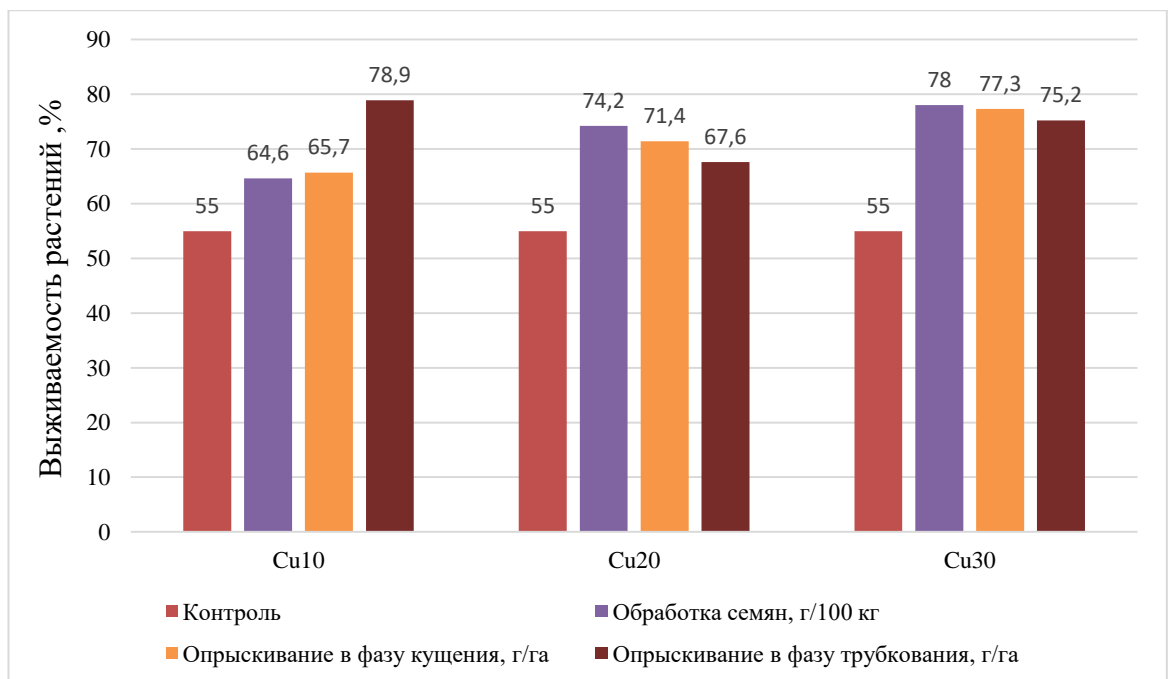


Рисунок 3.5 – Выживаемость растений яровой пшеницы в зависимости от доз и способов применения медных удобрений (среднее 2017-2019 гг.)

Высота растений в среднем составила 105,2-111,3 см в зависимости от варианта, при этом в лучших из них по урожайности растения были несколько выше, чем в контроле. Так, при предпосевной обработке семян высота растений составила 101,0-117,5 см, а при некорневой подкормке хелатами цинка в фазу кущения и выхода в трубку – 105,0-112,5 и 105,0-112,0 см соответственно (рисунки 3.6, 3.7, приложение В).

Наибольшая высота была у растений при внесении Zn_{30} – 109,0 см (в контроле 105,2 см) – лучшем варианте с точки зрения урожайности (рисунок 3.6), при внесении Cu_{10} – 111,3 см (рисунок 3.7).

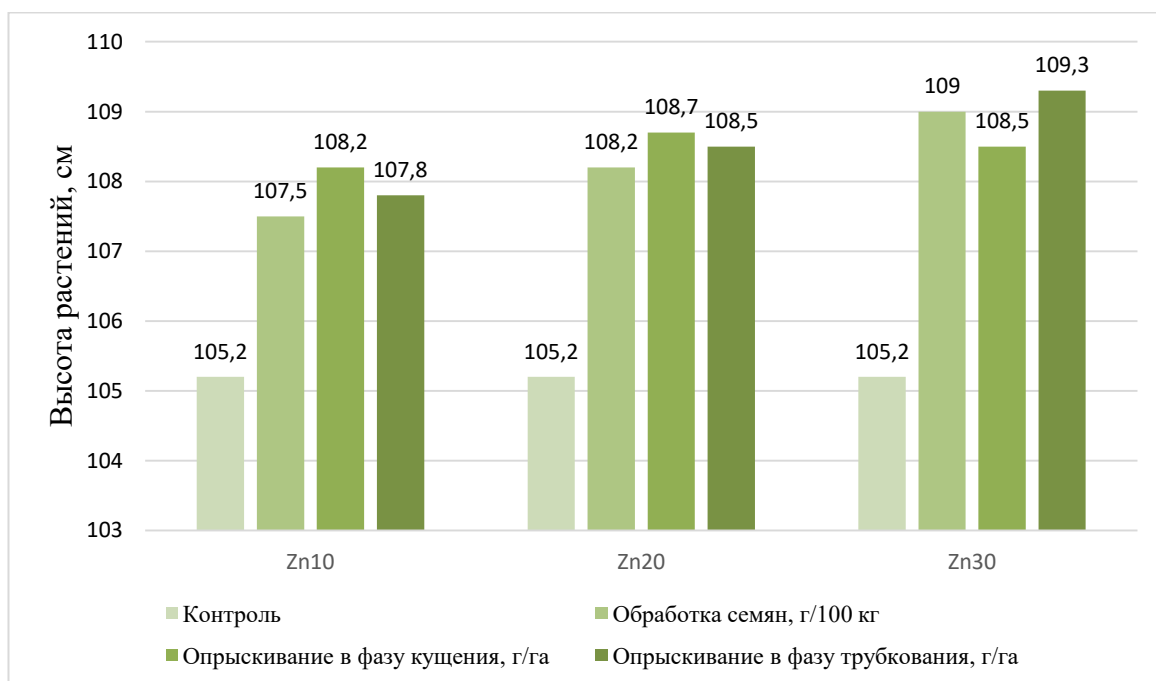


Рисунок 3.6 – Высота растений яровой пшеницы в зависимости от доз и способов применения цинковых удобрений (среднее 2017-2019 гг.)

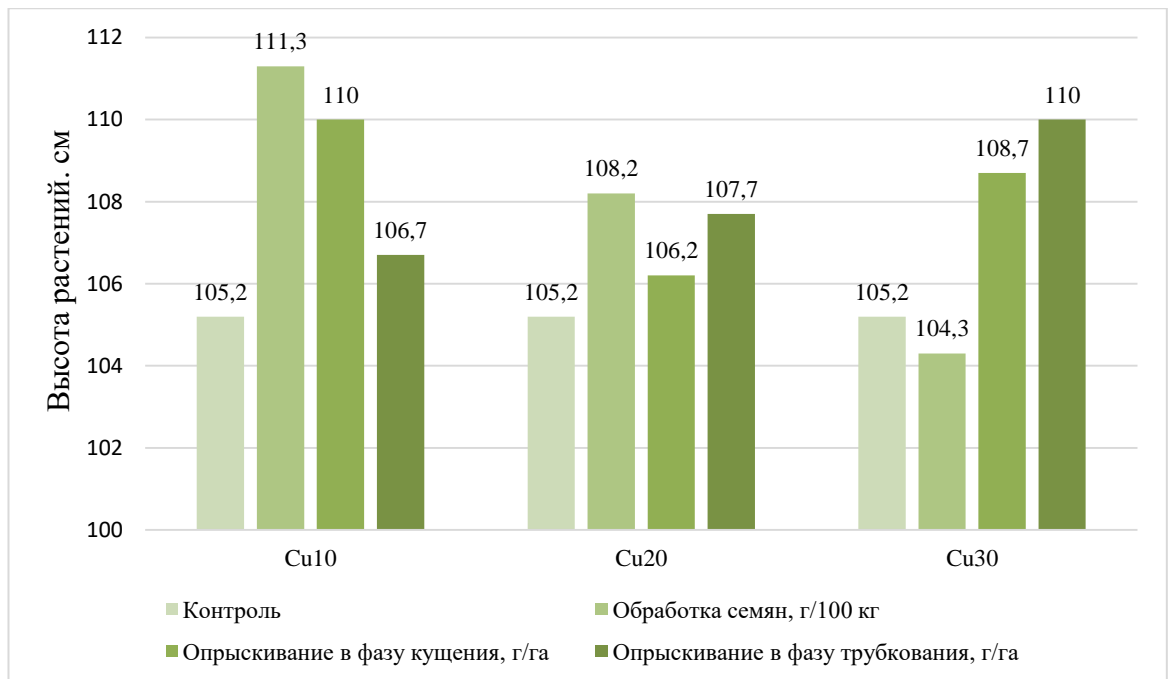


Рисунок 3.7 – Высота растений яровой пшеницы в зависимости от доз и способов применения медных удобрений (среднее 2017-2019 гг.)

Факторы окружающей среды, и минеральное питание в частности, изменяют направленность биохимических процессов в организме и органообразование, что влияет на структуру урожая. З.И. Журбицкий [80, 81] отмечал, что «удобрения, внесенные в соотношении, рассчитанном на получение наилучшей структуры урожая, будут направлять соответствующим образом развитие растений, и содействовать получению соответствующей структуры урожая даже при неблагоприятных внешних условиях». Поэтому, оптимизация питания является фактором создания наилучшей структуры урожая, при которой формируется самое экономное расходование элементов питания для создания единицы основной продукции.

Результативное управление минеральным питанием сопровождается воздействием на растения, обеспечивающее как можно более высокие показатели формирования урожая. Урожайность яровой пшеницы зависит от числа растений на единице площади и продуктивности одного растения, которая складывается из продуктивной кустистости, числа зерен в колосе, массы 1000 зерен [136].

Так, на лугово-черноземной почве Пензенской области наблюдения показали увеличение количества продуктивных стеблей на 3,1-13,9 % при foliarной обработке посевов комплексными удобрениями. Отмечено, что наиболее озерненные колосья получены при применении ЭкоФуса и Цитовита, прибавка к контролю составила 18,6-28,3 % [103].

В Ульяновской области на слабовыщелоченном среднесуглинистом черноземе выявлено, что предпосевная обработка семян яровой пшеницы ЖУСС Cu + Mo в дозе 2,0 л/т и ЖУСС Cu + Zn в дозах 1,5 и 2,0 л/т позволила повысить количество зерен в колосе, массу зерна с колоса, количество продуктивных стеблей, массу 1000 зерен [170].

ЖУСС с медью и молибденом при предпосевной обработке семян влияли на отдельные параметры, определяющие урожайность яровой пшеницы в условиях Татарстана. Количество продуктивных стеблей увеличивалось на 23-28 шт./м², возрастала озерненность колоса с 23,2 шт. в контроле до 24,6 шт. Аналогично изменялась масса 1000 зерен (от 34,0 до 34,9 г) [54].

На серой лесной почве Республики Татарстан изучены последствия медь-молибденового ЖУСС-2 при некорневой обработке в рекомендуемых для производства концентрациях на продукционные и физиолого-биохимические процессы яровой пшеницы. При этом возрастали число зерен в колосе (на 14%), вес зерна с одного растения (на 20%), сохранность растений к уборке (на 36%) и урожайность (на 25%) [55].

На выщелоченном черноземе установлена сильная связь урожайности зерна яровой тритикале с количеством продуктивных стеблей ($r = 0,88$), озерненностью колоса ($r = 0,93$) и массой 1000 семян ($r = 0,99$). При некорневой подкормке в фазе кущения без основного внесения удобрений озерненность колоса составила 33,5-33,9 шт., что превысило контроль на 10,9-12,2 % при массе зерна с колоса 0,88-0,89 г [106].

Применение препарата Кристалон Специальный в Калининградской области на дерново-подзолистых почвах способствовало существенному увеличению

числа продуктивных растений озимой пшеницы на единицу площади. Видимо, внесение микроудобрений спустя непродолжительное время после возобновления весенней вегетации повышает устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды. На это указывает и повышение массы зерен на одном растении [131].

Основными составляющими урожайности являются продуктивная кустистость, количество зерен в колосе, масса зерна колоса и масса 1000 зерен. Рассмотрение показателей структуры урожая при исследовании способов применения хелатов цинка и меди показало, что они положительно влияют на эти показатели (таблица 3.2, приложение В).

Соотношение зерно : солома изменялось в диапазоне 1:1,74-1: 2,42, при этом в большей степени увеличивало долю соломы применение цинка, особенно при некорневой подкормке.

Рассмотрение показателей структуры урожая при исследовании способов применения хелата цинка показало, что они положительно влияют на продуктивную кустистость, озерненность и массу колоса яровой пшеницы. Продуктивная кустистость в лучших вариантах по урожайности Zn_{20} составила: при предпосевной обработке семян – 3,22 шт., при некорневой подкормке в фазу кущения – 3,77 шт., при некорневой подкормке в фазу выхода в трубку (Zn_{30}) – 3,23 шт. (в контроле – 2,83); количество зерен в колосе составило при этом 44,38, 44,73 и 45,42 шт.; масса колоса – 1,77, 1,87 и 1,79 г соответственно. Масса зерна главного колоса изменялась от 1,28 г до 1,47 г.

Таблица 3.2 – Структура урожая яровой пшеницы
в зависимости применяемых хелатных микроудобрений (Zn, Cu)
на лугово-черноземной почве (среднее 2017-2019 гг.)

Вариант	Соотноше- ние зерно : солома	Кустистость		Главный колос		
		Общая	Продук- тивная	Количе- ство зерен, шт.	Масса ко- лоса, г	Масса зерна, г
Кон- троль	1:1,82	3,23	2,83	41,90	1,79	1,28
Обработка семян, г/100 кг						
Zn ₁₀	1:1,74	3,50	3,13	41,65	1,85	1,44
Zn ₂₀	1:1,85	3,53	3,22	44,38	1,77	1,44
Zn ₃₀	1:2,18	3,87	3,20	40,18	1,77	1,36
Cu ₁₀	1:1,88	3,37	2,92	41,13	1,81	1,39
Cu ₂₀	1:1,84	3,15	2,90	44,08	1,68	1,46
Cu ₃₀	1:1,87	3,50	3,05	40,42	1,76	1,34
Опрыскивание в фазу кущения, г/га						
Zn ₁₀	1:2,42	3,38	3,15	38,13	1,60	1,23
Zn ₂₀	1:2,04	3,98	3,77	44,73	1,87	1,43
Zn ₃₀	1:1,75	3,83	3,53	39,92	1,78	1,34
Cu ₁₀	1:1,87	3,53	3,23	40,42	1,71	1,36
Cu ₂₀	1:1,88	3,35	3,05	38,63	1,61	1,23
Cu ₃₀	1:2,11	3,33	3,10	39,38	1,64	1,22
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га						
Zn ₁₀	1:2,03	3,43	3,10	41,75	1,82	1,41
Zn ₂₀	1:2,20	3,62	3,23	40,42	1,81	1,47
Zn ₃₀	1:2,22	3,48	3,38	45,42	1,79	1,42
Cu ₁₀	1:1,97	3,63	3,35	42,45	1,81	1,38
Cu ₂₀	1:2,30	3,72	3,27	39,92	1,76	1,32
Cu ₃₀	1:2,05	3,73	3,28	43,52	1,66	1,32

Цинк в значительной мере влияет на формирование репродуктивных органов [15], что объясняет факт значительного его действия на массу зерна в наших экспериментах в отличие от меди. Продуктивная кустистость в лучшем варианте по урожайности при предпосевной обработке семян дозой 20 г/100 кг составила 2,90 шт., при некорневой подкормке в фазу кущения дозой Cu_{10} – 3,23 шт., при некорневой подкормке в фазу выхода в трубку дозой Cu_{20} она составила 3,27 шт.

Реальным резервом повышения урожайности является увеличение числа зерен в колосе. Наибольшее количество зерен в главном колосе сформировалось в лучших вариантах по урожайности Cu_{20} (при предпосевной обработке семян, при некорневой подкормке в фазу выхода в трубку) и Cu_{10} (при некорневой подкормке в фазу кущения). Масса зерна главного колоса изменялась от 1,28 г до 1,46 г.

В целом, можно констатировать, что анализ показателей формирования урожайности (полевая всхожесть и выживаемость растений, структура урожая), полученных в экспериментах, свидетельствует о позитивном влиянии хелатов цинка и меди на характеристики, от которых зависит урожайность яровой пшеницы на лугово-черноземной почве Омского Прииртышья.

4 АГРОХИМИЧЕСКИЕ НОРМАТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ

В настоящее время важнейшим путем повышения эффективности растениеводства является лучшее использование имеющихся почвенных ресурсов. Чтобы контролировать рост и развитие растений, своевременно удовлетворять их потребность в элементах питания, необходимо знать наличие данных факторов роста в почве и потребности растений в них по фазам развития [12, 21, 27, 29, 30, 56, 70, 71, 74, 80, 81, 96, 97, 150].

4.1 Содержание элементов питания в почве

При изменении концентрации и соотношения элементов питания в почвенном растворе между растворёнными ионами протекают сложные реакции, смещается равновесность раствора в позитивную или негативную сторону. А содержание элементов питания в почве, ее химический состав в свою очередь влияют на рост, развитие и продуктивность культур.

При оптимизации минерального питания растений необходимо исследовать закономерности поведения элементов в почве в различные периоды развития яровой пшеницы.

Содержание в почве составило: в фазу кущения нитратного азота в 16,4 - 16,8, подвижного фосфора – 225-250, калия – 310-355 мг/кг; в фазу выхода в трубку нитратного азота – 9,3-12,2, подвижного фосфора – 170-230, калия – 270-450 мг/кг; в фазу колошения нитратного азота – 5,0-8,5, подвижного фосфора – 170-230, калия 270-350 мг/кг; в уборку нитратного азота 4,5-7,3, подвижного фосфора 170-235, калия 290-370 мг/кг (таблица 4.1). Достоверных зависимостей от вариантов не наблюдается. Можно отметить, что количество нитратного азота закономерно уменьшается в течение вегетации, фосфора и калия – находится на одном уровне.

Таблица 4.1 – Содержание элементов питания в почве при применении хелатных микроудобрений (Zn, Cu) при возделывании яровой пшеницы на лугово-черноземной почве (среднее 2017-2019 гг.)

Вариант	Содержание подвижных элементов в почве, мг/кг											
	Всходы			Выход в трубку			Колошение			Уборка		
	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Обработка семян, г/100 кг												
Контроль	16,4	225	355	9,30	195	290	8,5	185	350	4,5	180	330
Zn ₁₀	16,8	253	317	12,2	170	270	8,5	170	300	4,5	180	300
Zn ₂₀	16,4	235	335	12,2	170	300	8,5	170	350	7,3	180	320
Zn ₃₀	16,4	240	315	11,7	200	350	7,3	200	285	5,0	200	330
Cu ₁₀	16,4	220	300	7,70	230	310	8,5	230	290	7,3	200	300
Cu ₂₀	16,4	225	335	11,3	170	300	8,5	170	350	4,5	175	350
Cu ₃₀	16,4	225	300	9,50	230	330	8,5	230	350	4,5	235	290
Опрыскивание в фазу кущения, г/га												
Zn ₁₀	16,8	240	317	9,80	190	340	7,3	180	300	4,5	170	330
Zn ₂₀	16,8	245	317	8,60	190	350	5,0	185	350	5,4	170	370
Zn ₃₀	16,8	245	317	12,2	200	430	7,3	205	320	7,4	200	290
Cu ₁₀	16,4	250	327	10,8	210	300	9,0	215	270	6,6	230	350
Cu ₂₀	16,4	230	310	9,80	170	450	8,5	180	350	4,5	170	290
Cu ₃₀	16,4	230	317	9,00	210	390	8,5	180	320	4,5	230	290
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га												
Zn ₁₀	16,4	215	335	9,6	190	340	8,5	190	300	4,5	174	370
Zn ₂₀	16,4	230	335	9,6	210	340	7,3	170	320	7,3	174	350
Zn ₃₀	16,7	250	335	9,6	210	340	7,3	205	325	7,3	206	390
Cu ₁₀	16,7	220	310	9,6	210	340	8,5	225	270	7,3	230	370
Cu ₂₀	16,4	230	335	9,6	210	340	8,5	190	330	7,3	178	330
Cu ₃₀	16,4	230	335	9,6	190	340	8,5	185	350	4,5	230	390

Микроэлементный состав черноземных почв изучен многими учеными [3, 99-102, 111-113, 117]. На доступность для растений микроэлементов влияют материнские породы, содержание органического вещества, кислотность и другие факторы. Так, минимальная растворимость соединений цинка наблюдается при нейтральной реакции среды. Доступность цинка в почвах обнаруживает отрицательную корреляцию с содержанием подвижного фосфора. Наименьшее количество доступного цинка содержится в нейтральных почвах. При этом цинк удобрений особенно эффективен при высоком уровне фосфора в почве. Доступность меди уменьшается при повышении содержания органического вещества и щёлочности почвы [87, 88].

Наши наблюдения за особенностями содержания подвижных форм цинка и меди в почве под яровой пшеницей показали наличие определенных закономерностей. Распределение их по профилю лугово-черноземной почвы опытного участка представлено в таблице 4.2 и в целом соответствует показателям для почв региона. Их концентрация не превышала предельно-допустимой (ПДК для Zn – 24, Cu – 3).

Таблица 4.2 – Динамика содержания подвижных микроэлементов в лугово-чернозёмной почве под яровой пшеницей, мг/кг

Слой почвы, см	Кущение		Уборка	
	Zn	Cu	Zn	Cu
0-20	0,58	0,06	0,70	0,08
20-40	0,42	0,09	0,41	0,10
40-60	0,39	0,13	0,76	0,13
60-80	0,67	0,22	0,88	0,25
80-100	0,76	0,34	0,86	0,27

Можно отметить, что содержание подвижных форм микроэлементов в лугово-черноземной почве с глубиной изменяются по-разному. Концентрация подвижного цинка в фазу кущения с глубиной сначала понижается от 0,58 в слое 0-20 см, до 0,39 в слое 40-60 см, а с горизонта 60-80 см наблюдается ее увеличения до 0,76 мг/кг. Данная закономерность наблюдалась и в период уборки яровой пшеницы.

Минимальное количество подвижных соединений меди в фазу кущения наблюдалось в слое 0-20 см (0,06 мг/кг), в нижележащих горизонтах ее количество увеличивается до 0,34 (80-100 см). При уборке минимальное количество подвижных соединений меди в 0,08 мг/кг наблюдалось также в слое 0-20 см, максимальное 80-100 см (0,27).

Одной из задач исследований является прогнозирование отзывчивости яровой пшеницы на внесение хелатов цинка и меди в конкретных почвенных условиях [64, 165].

На взаимодействие почвы с удобрениями влияет много разных факторов. Тем не менее, все же наблюдается четкая зависимость между концентрацией подвижного элемента в почве и дозами минеральных удобрений в различных зонах. Изменяя условия питания, можно ускорять или тормозить эти процессы, в результате чего по-разному будут развиваться растения, изменяться величина и качество урожая [56, 97, 124, 147, 151, 155, 157].

Поэтому необходимо решить проблему оптимизации питания в конкретных почвенно-климатических условиях и при определенной продуктивности растений. Это позволит управлять питанием растений и формированием плановой урожайности. Для этого нами были установлены количественные агрохимические характеристики изучаемой культуры.

4.2 Нормативные показатели для определения потребности пшеницы яровой в элементах минерального питания

Яровая пшеница за вегетацию потребляет различное количество элементов питания. Это количество зависит от многих факторов: биологических особенностей культуры, почвенных и метеорологических условий, содержания доступных элементов питания в почве, агротехники и др. Для разработки агрохимических параметров определения потребности растений в удобрениях, в том числе определяются: вынос элементов питания урожаем, коэффициенты использования элементов из почвы и удобрений, азот текущей нитрификации [81].

Химический состав растений и вынос питательных веществ зависят от почвенных и погодных условий. В теплый вегетационный период вынос элементов питания больше, чем в прохладный. Вынос азота существенно возрастает с улучшением влагообеспеченности [95, 169]. Затраты элементов питания на создание 1 т продукции зависит от сорта [21].

Многие авторы [21, 120 и др.] считают, что удобрения являются главным фактором, влияющим на хозяйственный вынос элементов. Так, на серой лесной почве Предкамья использование препарата ЖУСС-3 в дозе 2 л/га совместно с азотом обеспечило получение зерна с наиболее высоким содержанием азота и фосфора. Оно составило соответственно 2,65 и 0,97% (в контроле 2,36 и 0,78%), что свидетельствует об оптимизации белкового обмена под действием некорневой подкормки. Некорневая подкормка растений позволила повысить вынос основных макроэлементов урожаем яровой пшеницы. Наибольшие показатели хозяйственного выноса достигнуты от препарата ЖУСС-3 в дозе 2 л/га совместно с азотом, они составили: азота – 136, фосфора – 54, калия – 65 кг/га [52].

В связи с характером усвоения элементов питания вегетацию яровой пшеницы разделяют на три периода, значительно отличающихся по ее потребности в макро- и микроэлементах [77, 136]:

1. прорастание семян – образование ассимиляционной поверхности;

2. вегетативный период роста и развития (до цветения);
3. репродуктивный период (цветение – созревание).

Отмечаются два критических периода в жизни яровой пшеницы по отношению к уровню минерального питания. В первый период – от всходов до выхода в трубку – растения особенно чувствительны к концентрации почвенного раствора и содержанию в нем элементов; недостаток или значительный избыток, какого-либо элемента существенно влияет на рост и развитие растений [136]. Второй – период наибольшего потребления элементов питания – совпадает с периодом интенсивного образования вегетативной массы и включает фазы от выхода в трубку до окончания цветения.

Величина потребления микроэлементов в течение вегетации определяется не только химическим составом, но и динамикой нарастания вегетативной массы культуры. Установлено (таблица 4.3), что потребление микроэлементов растениями пшеницы яровой в большей степени происходит до фазы колошения (цинка – 64,6 %, меди – 87,1 % от максимального количества поглощённого в процессе онтогенеза культуры). От фазы кущения до фазы выхода в трубку потребление менее интенсивное, особенно цинка. В период созревания также наблюдается значительное потребление микроэлементов: цинка и меди с 81,6 и 60,7 до максимального потребления соответствующего элемента.

При этом азот уже к колошению поглощается на 95,3 % от максимального в уборку, а фосфор в основном – от колошения до уборки (с 33,7 до 100 %). Калий же необходим растению в основном до колошения, затем происходит его отток из надземной части растения в корни и к уборке сохраняется только 65,0 % от максимального выноса этого элемента.

Таблица 4.3 – Динамика накопления элементов растениями по фазам вегетации (контрольный вариант)

Вариант	Кущение	Выход в трубку	Колошение	Уборка
кг/га (макроэлементы), г/га (микроэлементы)				
N	9,36	39,2	67,6	70,9
P ₂ O ₅	2,03	6,23	14,9	44,2
K ₂ O	10,9	26,9	68,6	44,6
Zn	5,47	18,4	65,6	102
Cu	0,95	2,15	5,15	5,91
% от максимального потребления				
N	13,2	55,3	95,3	100
P ₂ O ₅	4,60	14,1	33,7	100
K ₂ O	24,5	60,3	100	65,0
Zn	5,39	18,1	64,6	100
Cu	16,0	36,4	87,1	100

Применение микроудобрений различными способами оказало значительное влияние на вынос элементов питания растениями яровой пшеницы. Вынос азота зерном превышает вынос соломой, а калия и фосфора – в большей степени приходится на солому (таблица 4.4), что подтверждается данными химического состава культуры в уборку.

При анализе потребления микроэлементов растениями можно отметить, что цинк преимущественно выносится зерном, а медь – примерно поровну (таблица 4.5).

Таблица 4.4 – Вынос макроэлементов яровой пшеницей в зависимости от применяемых микроудобрений (среднее 2017-2019 гг.)

Вариант	Вынос, кг/га									Вынос едини- цей продукции, кг/т		
	зерно			солома			общий			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			
Контроль	51,7	17,6	12,4	19,2	26,6	32,2	70,9	44,2	44,6	32,2	20,1	20,3
Обработка семян, г/100 кг												
Zn ₁₀	53,8	22,5	13,4	19,8	28,2	33,3	73,6	50,6	46,7	32,3	22,2	20,5
Zn ₂₀	62,6	22,0	15,8	23,1	30,5	38,4	85,7	52,5	54,2	35,7	21,9	22,6
Zn ₃₀	55,5	21,5	14,7	25,6	37,5	43,0	81,1	59,1	57,7	34,5	25,1	24,6
Cu ₁₀	55,6	20,6	13,8	20,7	28,1	37,6	76,3	48,7	51,3	33,9	21,6	22,8
Cu ₂₀	56,4	22,5	15,4	22,8	28,6	36,2	79,2	51,1	51,6	33,9	21,8	22,1
Cu ₃₀	56,4	21,5	15,5	22,0	31,2	37,4	78,4	52,7	53,0	33,4	22,4	22,5
Опрыскивание в фазу кущения, г/га												
Zn ₁₀	56,4	19,5	13,2	24,5	34,4	43,4	80,8	53,9	56,7	35,1	23,4	24,6
Zn ₂₀	60,5	21,4	15,6	24,5	34,8	40,5	85,0	56,2	56,1	35,4	23,4	23,4
Zn ₃₀	58,3	22,3	16,0	22,1	31,2	36,7	80,4	53,4	52,8	33,1	22,0	21,7
Cu ₁₀	58,1	24,2	16,7	24,2	29,8	39,9	82,3	54,0	56,6	34,3	22,5	23,6
Cu ₂₀	56,9	23,9	15,6	23,2	30,6	38,5	80,0	54,5	54,1	33,8	23,0	22,8
Cu ₃₀	58,8	23,6	17,0	27,9	39,4	44,4	86,7	63,1	61,4	36,1	26,3	25,6
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га												
Zn ₁₀	52,6	19,4	12,8	21,7	30,1	39,1	74,4	49,5	52,0	33,3	22,2	23,3
Zn ₂₀	55,7	21,4	15,7	25,2	37,7	42,6	80,9	59,2	58,4	34,6	25,3	24,9
Zn ₃₀	54,3	21,9	15,1	23,8	42,6	42,2	78,1	64,5	57,3	33,5	27,7	24,6
Cu ₁₀	56,1	21,7	15,8	21,4	35,4	37,1	77,5	57,1	52,9	33,6	24,7	22,9
Cu ₂₀	55,2	21,6	15,6	26,6	36,0	45,6	81,8	57,7	61,2	34,7	24,4	25,9
Cu ₃₀	55,9	22,0	14,6	23,0	34,1	42,6	79,0	56,0	57,2	33,7	23,9	24,4

Таблица 4.5 – Вынос микроэлементов яровой пшеницей в зависимости от применяемых микроудобрений (среднее 2017-2019 гг.)

Вариант	Вынос, г/га						Вынос единицей продукции, г/т	
	зерно		солома		общий		Zn	Cu
	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu		
Контроль	61,8	2,66	39,6	3,24	101,5	5,91	46,1	2,68
Обработка семян, г/100 кг								
Zn ₁₀	49,7	2,33	43,2	7,14	92,9	9,5	40,77	4,15
Zn ₂₀	68,4	5,98	45,7	8,21	114,1	14,2	47,56	5,91
Zn ₃₀	56,6	6,74	52,3	10,04	108,9	16,8	46,34	7,14
Cu ₁₀	62,1	4,97	38,9	5,92	101,0	10,9	44,90	4,84
Cu ₂₀	86,8	6,46	39,6	4,78	126,4	11,2	54,03	4,80
Cu ₃₀	66,5	4,37	47,0	5,93	113,5	10,3	48,31	4,38
Опрыскивание в фазу кущения, г/га								
Zn ₁₀	64,40	6,19	59,0	4,23	123,4	10,4	53,7	4,53
Zn ₂₀	71,76	6,84	47,5	4,85	119,3	11,7	49,7	4,87
Zn ₃₀	77,03	6,15	52,3	2,82	129,3	8,96	53,2	3,69
Cu ₁₀	67,20	6,96	59,7	3,50	126,9	10,5	52,9	4,36
Cu ₂₀	65,65	11,3	45,9	2,45	111,5	13,7	47,1	5,79
Cu ₃₀	76,08	7,25	46,6	4,41	122,7	11,6	51,1	4,86
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га								
Zn ₁₀	70,2	3,21	48,0	2,99	118,2	6,20	53,0	2,78
Zn ₂₀	79,1	7,89	73,1	4,12	152,2	12,0	65,0	5,13
Zn ₃₀	82,2	7,22	49,1	3,83	131,4	11,1	56,4	4,74
Cu ₁₀	70,5	7,18	51,9	4,28	122,3	11,5	53,0	4,96
Cu ₂₀	72,5	8,61	71,6	6,57	144,1	15,2	61,1	6,43
Cu ₃₀	61,8	5,66	36,9	4,51	98,70	10,2	42,2	4,35

В контроле вынос 1 т основной продукции с учетом побочной в среднем составил: N – 32,2 кг, P₂O₅ – 20,1 кг, K₂O – 20,3 кг, Zn – 46,1 г, Cu – 2,68 г. Проведение предпосевной обработки семян привело к увеличению выноса макроэлементов единицей урожая. Для создания 1 т урожая в лучшем варианте Zn₂₀ яровой пшенице потребовалось: N – 35,7 кг, P₂O₅ – 21,9 кг, K₂O – 22,6 кг, Zn – 47,56 г, Cu – 5,91 кг. При обработке Cu₂₀ вынос элементов питания составил: N – 33,9 кг, P₂O₅ – 21,8 кг, K₂O – 22,1 кг, Zn – 54,03 г, Cu – 4,80 г.

При проведении некорневой подкормки в фазу кущения Zn₂₀ вынос элементов питания 1 т урожая составил: N – 35,4 кг, P₂O₅ – 23,4 кг, K₂O – 23,4 кг, Zn – 49,7 г, Cu – 4,87 г; в варианте Cu₁₀ потребовалось: N – 34,3 кг, P₂O₅ – 22,5 кг, K₂O – 23,6 кг, Zn – 52,9 г, Cu – 4,36 г.

Проведение некорневой подкормки в фазу выхода в трубку дозой Zn₂₀ характеризовалось следующим выносом 1 т: N – 34,6 кг, P₂O₅ – 25,3 кг, K₂O – 24,9 кг, Zn – 65,0 г, Cu – 5,13 г; обработке хелатами меди Cu₂₀ вынос элементов питания составил: N – 34,7 кг, P₂O₅ – 24,4 кг, K₂O – 25,9 кг, Zn – 61,1 г, Cu – 6,4 г.

Таким образом, затраты микроэлементов на создание 1 т зерна тем больше, чем позднее применялись хелаты.

В течение вегетации растение поглощает подвижные формы макро- и микроэлементов из почвы. При этом микроудобрения способствуют лучшему использованию макроэлементов. Так, было установлено значительное повышение коэффициентов использования макроудобрений за ротацию севооборота от микроудобрений на светло-серых лесных почвах Татарстана. По фону NPK коэффициенты использования азота достигали 36-43 %, фосфора 16-17 %, калия 27-44 %. В вариантах с применением В, Мо, Cu, Zn, Mn, Со коэффициенты использования азота достигали 61-64 %, фосфора – 22-29 %, калия – 51-56 %. Между тем коэффициенты использования микроудобрений за ротацию севооборота были невысокими: Cu – 0,5-1,5 %, Zn и Mn – 2,0-5,5 % [53].

Для определения уровня поглощения элементов минерального питания сделан расчет коэффициентов использования элементов из почвенных запасов. Полученные данные свидетельствуют об изменении этих показателей в зависимости от уровня урожая, количества применяемых микроудобрений (таблица 4.6).

Коэффициент использования элемента из почвы (КИП) рассчитывали по формуле (1):

$$\text{КИП} = \text{Ву} / \text{З}, \quad (1)$$

где Ву – вынос элемента биомассой, кг/га;

З – запас элемента в почве, кг/га.

При определении КИП по азоту необходимо учитывать азот текущей нитрификации, то есть количество N-NO_3 , образующихся в период вегетации растений. Азот текущей нитрификации (N_T , кг/га) определяется по формуле (2):

$$\text{N}_T = \text{N}_2 + \text{В} - \text{N}_1, \quad (2)$$

где N_1 и N_2 – содержание N-NO_3 в слое почвы 0-40 см до посева растений и в период уборки, кг/га;

В – вынос азота биомассой урожая, кг/га.

Зная это, КИП по азоту находим по формуле (3):

$$\text{КИП} = \frac{\text{В}}{\text{N}_1 + \text{N}_T}. \quad (3)$$

В контроле коэффициенты использования азота достигали 86,8 %, фосфора – 7,87 %, калия – 5,68 %. Микроэлементы несколько увеличили в лучших вари-

антах КИП макроэлементов: в вариантах с применением хелатов Cu и Zn коэффициенты использования азота составили 88,9 %, фосфора – 11,2 %, калия – 7,79 %. КИП цинка в контроле составил 7,05 %, меди – 3,52 %.

Таблица 4.6 – Коэффициенты использования элементов питания из почвы пшеницей яровой при применении хелатных микроудобрений (Zn, Cu) при возделывании на лугово-черноземной почве (среднее 2017-2019 гг.), %

Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu
Контроль	86,8	7,87	5,68	7,05	3,52
Обработка семян, г/100 кг					
Zn ₁₀	87,2	9,01	5,95	6,45	5,63
Zn ₂₀	83,0	9,35	6,91	7,93	8,45
Zn ₃₀	87,1	10,5	7,35	7,56	9,99
Cu ₁₀	81,3	8,67	6,54	7,02	6,48
Cu ₂₀	88,0	9,10	6,58	8,78	6,69
Cu ₃₀	87,9	9,39	6,75	7,88	6,13
Опрыскивание в фазу кущения, г/га					
Zn ₁₀	88,2	9,60	7,22	8,57	6,20
Zn ₂₀	86,8	10,0	7,15	8,28	6,96
Zn ₃₀	81,9	9,51	6,73	8,98	5,34
Cu ₁₀	83,9	9,61	7,21	8,81	6,23
Cu ₂₀	88,1	9,70	6,90	7,75	8,17
Cu ₃₀	88,9	11,2	7,82	8,52	6,94
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га					
Zn ₁₀	87,3	8,81	6,62	8,21	3,69
Zn ₂₀	82,2	10,5	7,44	10,6	7,15
Zn ₃₀	81,7	11,5	7,30	9,12	6,58
Cu ₁₀	81,6	10,2	6,74	8,50	6,82
Cu ₂₀	82,4	10,3	7,79	10,0	9,04
Cu ₃₀	88,0	9,98	7,29	6,86	6,05

Определенные в исследованиях агрохимические нормативы можно использовать для управления питанием яровой пшеницы на основе расчета доз минеральных удобрений и для создания оптимального макроэлементного фона (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Нормативные агрохимические показатели минерального питания пшеницы яровой

Показатель	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu
КИП, %	87	8,0	6,0	7,0	3,5
Потребление для создания 1 т зерна, кг (NPK) или г (Zn, Cu)	35	20	24	50	3,0
Nт, кг/га	54				

Нормативные агрохимические показатели минерального питания пшеницы яровой могут использоваться для расчета доз удобрений на плановую прибавку урожая (П, формула 4):

$$D = \frac{K_d \cdot N \cdot П}{K_y}, \quad (4)$$

где D – доза удобрений, кг д.в./га;

K_d – коэффициент действия удобрений, указывающий на отклонение фактического содержания элемента питания в почве от оптимального;

N – норма расхода элемента питания на создание 1 т основной продукции с учетом побочной;

K_y – коэффициент использования элемента питания из удобрений.

Расчет доз удобрений на плановый урожай (ПУ) возможен по формуле (5):

$$D = \frac{ПУ \cdot N - C \cdot K_p}{K_y}, \quad (5)$$

где C – содержание элемента питания в слое почвы 0-20, кг/га;

$K_{п}$ – коэффициент использования элементов питания из почвы.

При определении дозы азотных удобрений используется формула (6):

$$D = \frac{ПУ \cdot Н - (C + N_{т}) \cdot K_{п}}{K_{у}}, \quad (6)$$

где $N_{т}$ – азот текущей нитрификации, кг/га.

Приведенные формулы апробированы при удобрении более 40 сельскохозяйственных культур в условиях Западной Сибири и Казахстана [21, 31, 71-75, 139, 156].

5 УПРАВЛЕНИЕ ПИТАНИЕМ ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Для характеристики условий минерального питания растений наряду с анализами почв целесообразно использовать анализы самих растений. Фактическое содержание питательных веществ в растениях часто является более точным критерием обеспеченности их элементами питания [27, 29, 72, 75, 150, 151, 174 и др.]. Еще Ю. Либих отмечал невозможность оценить доступность питательных веществ почвенными анализами и считал, что это можно установить только с помощью самого растения. К.А. Тимирязев писал, что для определения точного осуществления требований растений в нужных для него питательных веществах необходимо спросить «мнение» самого растения. Д.Н. Прянишников отмечал, что «нельзя представить общего растворителя, который для всех растений позволял бы предсказать, сколько будет усвоено того или иного питательного вещества. Поэтому нужно удивляться не тому, что нет метода, дающего стопроцентное совпадение с показателями растения, а скорее тому, что все же находятся методы, способные для известного круга почв и растений давать совпадения до 80 %» (цит. по [72]).

Интерес к химическому анализу растений как инструменту диагностики питания возникло на рубеже 20 века. Так, в этот период в России в трудах Д.Н. Прянишникова [147] изучены основные особенности превращения азотистых веществ в растениях и главные пути регулирования данных процессов. В дальнейшем растительной диагностике минерального питания были посвящены работы З.И. Журбицкого [80, 81], В.В. Церлинг [173, 174], К.П. Магницкого [114, 115], Н.К. Болдырева [29], Ю.И. Ермохина [71] и др. За рубежом диагностику питания культур на основе химического анализа растений развивали Prevot P., Ollagnier M. [142], D. Boyton, O. Compton [194], H. Lundegardh [200], H.D. Chapman [195], P.F. Smith [205, 206], И. Коларжик [94], W. Reuter [202], Ф. Эммерта [182], А. Ульриха [172], К. Боулд [33], P. Neubert [201] и др.

Метод растительной диагностики основан на том, что химический состав растений определяет рост и продуктивность растений и даёт возможность выявить связь между содержанием элементов питания в растениях и урожаем [21, 27, 71, 142, 151 и др.]. По ее результатам можно проводить корректировку питания растений в процессе вегетации. Умение определять влияние поступления элементов питания в растения на их рост и развитие, а в конечном счете, на урожай и качество, является одной из основных задач практической агрохимии.

Растительная диагностика широко признана агрохимической практикой. Она позволяет, на основе полученных взаимосвязей между условиями питания, химический составом растений в процессе развития, урожаем и его качеством, проводить расчет доз удобрений в подкормку с целью оптимизации минерального питания и, как следствие – получение высоких урожаев хорошего качества.

Поэтому по ходу процесса вегетации необходимо использовать растительную диагностику для управления питанием яровой пшеницы.

5.1 Содержание макро- и микроэлементов в растениях

Чтобы использовать данные химического анализа растений для диагностики минерального питания, нужно знать, как меняется концентрация элементов в растении в зависимости от возраста и фазы развития. Располагая этими сведениями, можно определить, какая именно их концентрация соответствует недостатку, оптимуму и избытку. Растения в процессе роста и развития предъявляют определённые требования к обеспеченности элементами питания. Для каждого вида растений характерны определённые соотношения элементов питания в разные периоды онтогенеза.

Применение химического анализа растений в целях диагностики основывается на том, что между содержанием какого-либо элемента в корневой зоне и количеством его в растении существует положительная зависимость. Растения

при взаимодействии корневой системы с растворенными в почве элементами питания поглощают и фиксируют их в клетках. Усвоенные растениями питательные вещества позитивно влияют на их развитие, а значит, и на урожайность возделываемых культур [13, 35, 53, 81- 85, 90, 112, 113, 116, 119, 121, 134, 162-166, 192, 197, 203, 204 и др.].

Химический анализ растений с целью контроля над поступлением питательных элементов в течение вегетации является инструментом объяснения происходящей в растениях направленности процессов при изменении условий минерального питания.

Важным вопросом при определении параметров растительной диагностики является срок отбора проб яровой пшеницы для анализа, так как химический состав растений изменяется в течение вегетации. В данных экспериментах фазы развития, в которые исследовался состав культуры для диагностики, определены согласно рекомендаций В.В. Церлинг [173].

В наших экспериментах использование микроудобрений при возделывании яровой пшеницы по-разному изменяло концентрацию элементов в растениях (таблица 5.1). Внесение хелатов не оказало существенного влияния на поступление калия в растения. Имеющиеся различия не носят устойчивого характера, что объясняется высоким содержанием калия в лугово-черноземной почве и, как следствие, в растениях. В то же время концентрация фосфора в целом возрастала.

Использование возрастающих доз цинка от 0 до 20 г/га способствовало увеличению валового азота в зерне при всех изучаемых технологиях применения хелатных микроудобрений. Зависимость содержания азота в зерне ($У1$ – при обработке семян, $У2$ – при опрыскивании в фазу кущения, %) от доз цинка (x ; г/100 кг – при обработке семян, г/га – при опрыскивании) отражается уравнениями (7, 8):

Таблица 5.1 – Содержание макроэлементов в яровой пшенице
в зависимости от применяемых хелатных микроудобрений (Zn, Cu),
% на абсолютно сухую массу (среднее 2017-2019 гг.)

Вариант	Кущение			Выход в трубку			Колошение			Уборка (солома)			Уборка (зерно)		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Контроль	3,9	0,37	3,8	3,5	0,34	2,8	2,6	0,25	2,2	0,48	0,29	0,67	2,35	0,35	0,47
Обработка семян, г/100 кг															
Zn ₁₀	4,0	0,34	3,9	3,6	0,37	2,9	2,9	0,26	2,2	0,50	0,31	0,70	2,36	0,43	0,49
Zn ₂₀	4,5	0,42	3,7	4,1	0,37	2,9	2,9	0,31	2,2	0,52	0,30	0,72	2,61	0,40	0,55
Zn ₃₀	4,7	0,40	3,8	4,0	0,36	3,1	2,9	0,31	2,2	0,50	0,32	0,70	2,36	0,40	0,52
Cu ₁₀	4,1	0,37	3,9	3,4	0,35	2,8	2,6	0,26	2,4	0,49	0,29	0,74	2,47	0,40	0,51
Cu ₂₀	4,4	0,41	3,7	4,0	0,38	2,9	2,8	0,30	2,3	0,53	0,29	0,70	2,41	0,42	0,55
Cu ₃₀	4,3	0,39	3,8	4,1	0,39	3,0	2,9	0,32	2,5	0,50	0,31	0,71	2,40	0,40	0,55
Опрыскивание в фазу кущения, г/га															
Zn ₁₀	4,3	0,38	3,9	3,4	0,39	3,0	2,4	0,25	2,0	0,44	0,27	0,65	2,45	0,37	0,48
Zn ₂₀	4,6	0,41	3,7	4,1	0,38	2,8	2,7	0,31	2,3	0,50	0,31	0,69	2,52	0,39	0,54
Zn ₃₀	4,6	0,42	3,6	4,0	0,38	3,1	2,8	0,29	2,5	0,52	0,32	0,72	2,40	0,40	0,55
Cu ₁₀	4,4	0,40	3,7	4,2	0,40	2,9	3,0	0,30	2,3	0,54	0,29	0,74	2,42	0,44	0,58
Cu ₂₀	4,4	0,39	3,8	3,9	0,38	3,2	2,8	0,32	2,4	0,52	0,30	0,72	2,40	0,44	0,55
Cu ₃₀	4,4	0,39	3,7	4,0	0,39	2,8	3,1	0,28	2,3	0,55	0,34	0,73	2,45	0,43	0,59
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га															
Zn ₁₀	4,1	0,37	3,6	3,0	0,36	3,0	2,6	0,23	2,4	0,48	0,29	0,72	2,36	0,38	0,48
Zn ₂₀	4,3	0,38	3,6	3,2	0,37	2,9	2,5	0,25	2,0	0,49	0,32	0,69	2,38	0,40	0,56
Zn ₃₀	4,4	0,41	3,7	3,1	0,42	3,0	2,4	0,25	2,1	0,46	0,36	0,68	2,33	0,41	0,54
Cu ₁₀	4,3	0,38	3,9	3,4	0,36	2,5	2,4	0,28	2,0	0,47	0,34	0,68	2,43	0,41	0,57
Cu ₂₀	4,7	0,40	3,6	3,0	0,35	2,7	2,7	0,29	2,2	0,49	0,29	0,70	2,34	0,40	0,55
Cu ₃₀	4,1	0,38	3,9	3,4	0,39	3,0	2,4	0,31	2,0	0,48	0,31	0,74	2,39	0,41	0,52

$$Y_1 = 0,013x + 2,31, \quad r = 0,77 \quad (7)$$

$$Y_2 = 0,085x + 2,36. \quad r = 0,79 \quad (8)$$

Из этих уравнений следует, что 1 г цинка удобрений при обработке семян повышает содержание азота в зерне на 0,013 % и 0,085 % (опрыскивание в фазу кущения). Содержание азота в зерне снижается от доз хелата цинка при обработке семян с 2,61 % (от 20 г/100 кг семян) до 2,36 % при применении 30 г/100 кг семян. Это можно объяснить эффектом «разбавления» за счет формирования большей массы урожайности. При опрыскивании в фазу кущения хелатом цинка в дозе 20 г/га концентрация азота в зерне выше, чем в зерне контрольного варианта (2,35 %). Но при опрыскивании листьев повышенной дозой 30 г/га содержание азота в зерне пшеницы понизилось до 2,40 %.

Медные удобрения также повышают в целом содержание азота в зерне, но в меньшей степени, чем цинковые (с 2,35 в контроле до 2,40-2,47 %).

Можно констатировать, что содержание азота в зерне выше, чем в соломе более чем в 4,5 раза. Фосфора так же больше в зерне, что объясняется его участием в репродуктивных процессах: его концентрация в зерне – 0,37-0,44 %, а в соломе – 0,29-0,36 %. Калия же, в отличие от азота и фосфора, больше в соломе (0,65-0,74 %), чем в зерне (0,48-0,58 %).

По результатам исследований отмечалось воздействие цинка на азотный обмен. При недостатке его и избытке нарушается процесс синтеза азотсодержащих соединений в растениях яровой пшеницы. П.А. Власюк [41] указывал, что роль цинка в азотном обмене заключается не только в его участии в синтезе белка, но и в усилении поступления азота из почвы.

Наибольшее содержание цинка и меди наблюдалось на ранних стадиях развития яровой пшеницы (таблицы 5.2-5.4).

Последующее уменьшение концентрации обусловлено ростовым разбавлением. В меньшей степени это выражено у цинка, в большей – у меди.

Таблица 5.2 – Содержание микроэлементов в растениях яровой пшеницы в зависимости от хелатных микроудобрений, мг/кг сухого вещества (обработка семян, г/100 кг, среднее 2017-2019 гг.)

Вариант	Кущение		Выход в трубку		Колошение		Уборка (солома)		Уборка (зерно)	
	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu
Контроль	22,8	3,94	16,4	2,69	16,4	1,98	9,9	0,81	28,1	1,21
Zn ₁₀	34,0	3,70	27,0	1,64	25,2	2,42	10,9	1,80	21,8	1,02
Zn ₂₀	44,5	4,33	28,9	3,49	25,1	2,13	10,3	1,85	28,5	2,49
Zn ₃₀	61,4	8,59	14,5	3,85	26,7	1,55	10,2	1,96	24,1	2,87
Cu ₁₀	69,6	5,11	19,4	5,61	21,8	2,73	9,2	1,40	27,6	2,21
Cu ₂₀	59,6	4,68	16,8	3,21	22,2	1,90	9,2	1,11	37,1	2,76
Cu ₃₀	63,6	7,81	11,6	0,74	20,2	0,42	10,7	1,35	28,3	1,86

Таблица 5.3 – Содержание микроэлементов в растениях яровой пшеницы в зависимости от хелатных микроудобрений, мг/кг сухого вещества (опрыскивание в фазу кущения, г/га, среднее 2017-2019 гг.)

Вариант	Выход в трубку		Колошение		Уборка (солома)		Уборка (зерно)	
	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu
Контроль	16,4	0,69	16,4	1,98	9,9	0,81	28,6	1,21
Zn ₁₀	13,9	1,96	17,6	2,29	10,6	0,76	28,0	2,69
Zn ₂₀	25,2	3,47	21,0	2,49	9,7	0,99	29,9	2,85
Zn ₃₀	29,6	1,52	20,4	2,66	12,3	0,66	31,7	2,53
Cu ₁₀	20,2	4,02	23,5	2,07	13,3	0,78	28,0	2,90
Cu ₂₀	36,4	3,44	26,3	2,00	10,3	0,55	27,7	4,76
Cu ₃₀	40,1	1,65	29,5	2,19	9,2	0,87	31,7	3,02

Таблица 5.4 – Содержание микроэлементов в растениях яровой пшеницы в зависимости от хелатных микроудобрений, мг/кг сухого вещества (опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га, среднее 2017-2019 гг.)

Вариант	Колошение		Уборка (солома)		Уборка (зерно)	
	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu
Контроль	16,4	1,98	9,9	0,81	28,1	1,21
Zn ₁₀	19,3	1,65	10,6	0,66	31,5	1,44
Zn ₂₀	26,6	1,42	14,2	0,80	33,8	3,37
Zn ₃₀	16,1	1,73	9,5	0,74	35,3	3,10
Cu ₁₀	22,2	1,99	11,4	0,94	30,5	3,11
Cu ₂₀	22,5	2,36	13,2	1,21	30,7	3,65
Cu ₃₀	37,8	5,40	7,7	0,94	26,4	2,42

При изучении содержания цинка в растениях яровой пшеницы можно отметить, что оно составляло 7,7-69,6 мг/кг сухого вещества. Наибольшее количество содержалось в фазу кущения при обработке семян Cu₁₀ – 69,6 мг/кг (в контроле 22,8 мг/кг). Наименьшее содержание цинка отмечалось в соломе в фазу уборки – 9,2 мг/кг. При этом в зерне оно было значительно выше, чем в соломе – 37,1 мг/кг.

Содержание меди составило 0,66-8,59 мг/кг. Максимальное ее количество 8,59 мг/кг наблюдалось в фазу кущения при обработке семян Zn₃₀ (в контроле 3,94). При прохождении последующих фаз вегетации содержание ее снижалась. В уборку концентрация меди в зерне (4,76) была выше, чем в соломе (0,66 мг/кг).

Можно отметить, что медные удобрения при обработке семян значительно увеличивают содержание цинка в растениях яровой пшеницы в фазу кущения до 59,6-69,6 мг/кг (в контроле – 22,8), в другие фазы развития увеличение менее значительно. Относительное увеличение составило (по сравнению контролем): на 10,4 % – в фазу выхода в трубку, 3 % – колошения, 7,4 и 10,3 % – в уборку, соответственно, в соломе и зерне. При опрыскивании растений хелатами меди

содержание цинка также увеличивается во все фазы развития (2,4-23,7 г/га). Максимальное его количество в фазу выхода в трубку – при опрыскивании в фазу кущения 40,1 г/га (в контроле – 16,4), в фазу колошения большее влияние оказало опрыскивание в фазу выхода трубку, содержание цинка при этом составило 37,8 г/га (в контроле 16,4). То есть влияние удобрений на химический состав в данном случае наибольшее сразу после их применения.

Таким образом, синергетическое действие меди на цинк наблюдается в течение вегетации, максимально в ранние фазы развития. Вероятно, это связано с тем, что при дефиците меди ее поступление в растения вызывает необходимость дополнительного усвоения цинка для синтеза веществ.

Одни условия среды усиливают, другие, наоборот, ослабляют питание растений некоторыми ионами. Раствор, содержащий все ионы в правильном для растений соотношении, которое взаимно ограничивает поступление их в растения, является физиологически уравновешенным. На поступление элемента в растение влияет не только концентрация данного элемента, но и других элементов. Конкретные проявления антагонизма и синергизма между ионами при поступлении в растения наблюдаются исключительно при определенных соотношениях их в почвенном растворе [41, 72, 87, 132, 154].

В эксперименте выявлены особенности поступления цинка и меди в растения яровой пшеницы при различных технологиях применения хелатов цинка и меди (таблицы 5.5-5.7).

Несложно увидеть, что направление взаимодействия между элементами зависит от уровня обеспеченности одного или другого, о чем писали в своих публикациях К.П. Магницкий [114], Ф. Эммерт [212], Ю.И. Ермохин [72], И.А. Бобренко [21], А.В. Синдирева [154].

При применении хелата цинка при обработке семян содержание цинка в растениях в основном увеличивается (кроме зерна); при этом в ранние фазы влияние сильнее, чем в поздние (таблица 5.5). При анализе содержания меди в растениях установлено, что хелата цинка в основном повышает этот показатель, а хелат

меди повышает его только при низких дозах (Cu_{10}), дальнейшее увеличение доз меди преимущественно приводит к обратному эффекту. На содержание цинка медь хелата также максимально влияет при минимальной дозе в ранние фазы.

Таблица 5.5 – Схема действия цинка и меди удобрений на их концентрацию в растениях яровой пшеницы в течение вегетации (обработка семян, г/100 кг, среднее 2017-2019 гг.)

Доза удобрения	Кущение	Выход в трубку	Колошение	Уборка (солома)	Уборка (зерно)
Цинк					
Zn_{10}	↑	↑	↑	↑	↓
Zn_{20}	↑	↑	→	↓	↑
Zn_{30}	↑	→	→	→	↓
Cu_{10}	↑	↑	↑	→	→
Cu_{20}	↓	↓	→	→	↑
Cu_{30}	→	↓	→	↑	↓
Медь					
Zn_{10}	→	↓	↑	↑	→
Zn_{20}	↑	↑	↓	→	↑
Zn_{30}	↑	↑	↓	↑	↑
Cu_{10}	↑	↑	↑	↑	↑
Cu_{20}	→	↓	↓	↓	↑
Cu_{30}	↑	↓	↓	↑	↓

Примечание. ↑ – увеличение концентрации, ↓ – уменьшение концентрации, → – концентрация находится на одном уровне.

При опрыскивании в фазу кущения хелат цинка при низких дозах (Zn_{10} , Zn_{20}) в основном повышает содержание меди в растениях, дальнейшее увеличение доз преимущественно приводит к обратному направлению взаимодействия (таблица 5.6). Содержание цинка в растениях при этом в основном увеличивается. При анализе действия хелата меди на содержание меди в растениях яровой пшеницы

установлено, что оно максимально при минимальной дозе в ранние фазы. На концентрацию же цинка медные удобрения положительно влияют в наибольшей дозировке.

Таблица 5.6 – Схема действия цинка и меди удобрений на их концентрацию в растениях яровой пшеницы в течение вегетации (опрыскивание в фазу кущения, г/га среднее 2017-2019 гг.)

Доза удобрения	Выход в трубку	Колошение	Уборка (солома)	Уборка (зерно)
Цинк				
Zn ₁₀	→	→	→	→
Zn ₂₀	↑	↑	→	→
Zn ₃₀	↑	→	↑	↑
Cu ₁₀	↑	↑	↑	→
Cu ₂₀	↑	↑	↓	→
Cu ₃₀	↑	↑	↓	↑
Медь				
Zn ₁₀	↑	↑	→	↑
Zn ₂₀	↑	↑	↑	↑
Zn ₃₀	↓	↑	↓	↓
Cu ₁₀	↑	↑	→	↑
Cu ₂₀	↓	→	↓	↑
Cu ₃₀	↓	↑	↑	↓

Примечание. ↑ – увеличение концентрации, ↓ – уменьшение концентрации, → – концентрация находится на одном уровне.

При опрыскивании в фазу выхода в трубку (таблица 5.7) от хелата цинка содержание цинка в растениях в основном увеличивается, меди – уменьшается (кроме зерна). Воздействие хелата меди на содержание цинка и меди в растениях в фазу колошения повышает этот показатель.

Таблица 5.7 – Схема действия цинка и меди удобрений на их концентрацию в растениях яровой пшеницы в течение вегетации (опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га среднее 2017-2019 гг.)

Доза удобрения	Колошение	Уборка (солома)	Уборка (зерно)
Цинк			
Zn ₁₀	↑	↑	↑
Zn ₂₀	↑	↑	↑
Zn ₃₀	↓	↓	↑
Cu ₁₀	↑	↑	↑
Cu ₂₀	→	↑	→
Cu ₃₀	↑	↓	↓
Медь			
Zn ₁₀	↓	↓	↑
Zn ₂₀	↓	↑	↑
Zn ₃₀	↑	→	↓
Cu ₁₀	→	↑	↑
Cu ₂₀	↑	↑	↑
Cu ₃₀	↑	↓	↓

Примечание. ↑ – увеличение концентрации, ↓ – уменьшение концентрации, → – концентрация находится на одном уровне.

По результатам анализа взаимодействия элементов можно отметить, что при удобрении цинком растений в начальный период роста (обработка семян, опрыскивание в фазу кущения) использование хелата цинка увеличивает содержание меди в растениях; цинка – также увеличивает, но при этом при максимальной дозе (Zn₃₀) может наблюдаться обратный эффект. Содержание же цинка в растениях при внесении хелата меди увеличивалось при малых дозах, при увеличении которых взаимодействие переходило из синергетических в антагонистические; содержание меди при этом в растениях повышалось в основном при малых дозах удобрения, при увеличении которых в ранних фазах наблюдалось отрицательное воздействие на концентрацию элемента.

Таким образом, при превышении оптимального уровня обеспеченности цинком или медью отношения между элементами могут стать антагонистическими, что влияет на поступление элементов. Удобрения для черноземных почв при избыточной дозе способны нарушить микроэлементный обмен и изменить внутренний баланс элементов в растениях в положительную или отрицательную сторону, о чем свидетельствовали ранее и другие ученые [21, 75, 83, 157].

Количественная информация о концентрациях микроэлементов в растениях яровой пшеницы является основой как для определения их оптимального содержания и соотношения в растениях, так и для управления минеральным питанием культуры на основе растительной диагностики.

5.2 Оптимальное содержание и соотношение элементов в растениях

Основой диагностики питания является определение оптимального содержания и соотношения элементов питания в растениях [75, 114, 115, 173, 174, 182, 200]. Химический анализ растений отражает способность культуры извлекать элементы питания из почвы при определенном сочетании внешних условий и физиологически суммирует действие различных факторов формированием величины и качества урожая. Поэтому взаимодействие всех факторов в конечном итоге отражается именно на величине и химическом составе растений.

Существует тесная связь между накоплением органического вещества и накоплением питательных или минеральных солей. Химический состав растений не является чем-то постоянным, консервативным, он очень динамичен и зависит от целого ряда факторов внешнего и внутреннего порядка. А. Ульрих [172] отмечал, что в полевой обстановке на внутреннюю концентрацию питательного элемента в растении (X) влияют: почва (Π), климат (K), вид растения (P), агротехника (A) и т.д.: $X = f(\Pi, K, P, A \dots)$.

Эти же факторы, влияя на химический состав растения, оказываются реша-

ющими в формировании урожая. Рост или урожайность в связи с этим представляются функцией от содержания минеральных элементов в листьях.

Установлена тесная связь между концентрацией элементов питания в растении или отдельном органе и продуктивностью культур: $Y=f(X_{раст})$.

Prevot P., Ollagnier M. [209] установили, что с увеличением дозы питательного вещества, вносимого под растения, концентрация этого вещества в тканях культур возрастает до определенного уровня концентрации, на последующее увеличение растение практически не реагирует, очень большие дозы могут привести к снижению урожая и его качества. Влияние поступившей дозы химического элемента на урожайность культуры описывается квадратической параболой (рисунок 5.1).

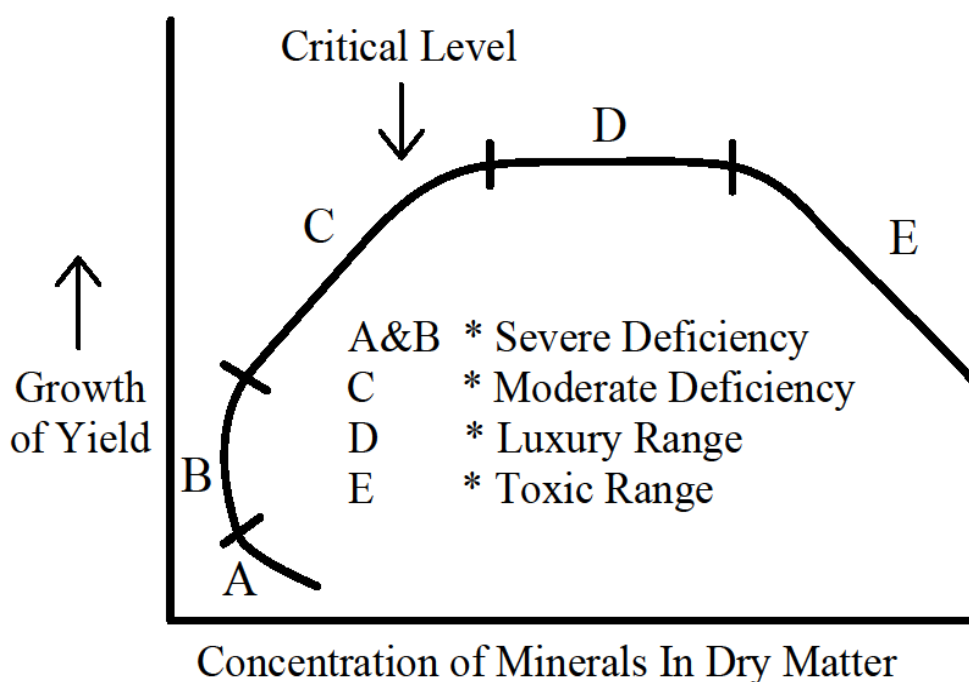


Рисунок 5.1 – Влияние уровня концентрации элемента питания в ткани на урожай: диапазон А и В – критический уровень дефицита элемента; С – лимитирующее действие дефицита элемента; D – оптимальный уровень содержания элемента; E – токсическое действие избытка элемента

(по Prevot P., Ollagnier M. [209], P. F. Smith [210])

По данным различных исследований, концентрация элементов питания в растениях хорошо отражает содержание подвижных форм этих элементов в почве [21, 29, 31, 71 и др.]. Зависимость между химическим составом почвы, растений и величиной урожая делает возможным практическое использование данной закономерности для оптимизации минерального питания растений. Для этого должны быть определены оптимальные содержания элементов в растении для конкретных фаз развития. Оптимальная концентрация (оптимальный уровень) элементов питания – концентрация элементов питания в растении, при которой создаются наилучшие условия для создания высокого урожая сельскохозяйственной культуры хорошего качества.

Проанализировав связь между содержанием элементов в растениях и урожаем зерна (таблицы 3.1, 5.2-5.4, 5.8, 5.9), установлены оптимальные уровни элементов в яровой пшенице по фазам развития (таблица 5.10).

Таблица 5.8 – Урожайность зерна яровой пшеницы в зависимости от доз микроудобрений и валового содержания в растениях (обработка семян, г/100 кг, среднее 2017-2019 гг.)

Доза удобрений	Содержание в растении, мг/ кг			Урожайность, т/га
	Кущение	Выход в трубку	колошение	
Цинк				
Контроль	22,8	16,4	16,4	2,20
Zn ₁₀	34,0	27,0	25,2	2,28
Zn ₂₀	44,5	28,9	25,1	2,40
Zn ₃₀	61,4	14,5	26,7	2,35
Медь				
Контроль	3,94	0,69	1,98	2,20
Cu ₁₀	5,11	5,61	2,73	2,25
Cu ₂₀	4,68	3,21	1,90	2,34
Cu ₃₀	7,81	0,74	0,42	2,35

Таблица 5.9 – Зависимость урожайности яровой пшеницы (У, т/га) от валового содержания микроэлементов в растениях (Х, мг/кг сухого вещества) в течение вегетации (обработка семян, среднее 2017-2019 гг.)

Фаза развития	Уравнение	r
Цинк		
Кущение	$y = - 0,0002x^2 + 0,025x + 1,75$ (9)	0,82
Выход в трубку	$y = 0,0057x^2 - 0,242x + 4,65$ (10)	0,77
Колошение	$y = - 0,0013x^2 + 0,068x + 1,42$ (11)	0,68
Медь		
Кущение	$y = - 0,0127x^2 + 0,1824x + 1,70$ (12)	0,77
Выход в трубку	$y = - 0,0136x^2 + 0,081x + 2,22$ (13)	0,76
Колошение	$y = - 0,0083x^2 - 0,072x + 2,24$ (14)	0,65

Таблица 5.10 – Оптимальное содержание элементов в растениях яровой пшеницы в течение вегетации (сухая масса)

Фаза развития	N	P	K	Zn	Cu
	%			мг/кг	
Кущение	4,4 ± 0,4	0,40 ± 0,05	3,7 ± 0,4	52 ± 8	4,5 ± 0,3
Выход в трубку	4,0 ± 0,3	0,38 ± 0,04	2,9 ± 0,3	25 ± 5	3,6 ± 0,4
Колошение	2,8 ± 0,4	0,30 ± 0,04	2,3 ± 0,3	23 ± 3	2,2 ± 0,3
Уборка (солома)	0,52 ± 0,05	0,30 ± 0,04	0,72 ± 0,05	12 ± 2	1,4 ± 0,5
Уборка (зерно)	2,6 ± 0,2	0,40 ± 0,05	0,55 ± 0,04	30 ± 2	3,2 ± 0,4

Проведенные эксперименты позволили установить оптимальные уровни концентрации элементов в растениях для основных фаз развития яровой пшеницы. Но при несбалансированном питании необходимо определять степень потребности в каком-либо элементе с учетом оптимального их соотношения в растении [47]. Улучшение питания и увеличение поступления питательных веществ в растения может приводить к тому, что процент содержания данного элемента

будет возрастать, оставаться без изменения или уменьшается в зависимости от темпов роста органической массы и темпов поглощения. Эти факторы необходимо учитывать при определении потребности в дополнительном применении удобрений, при этом соотношение между элементами в растении играет главную роль.

Оптимальные уровни обеспеченности элементами питания позволяет правильно интерпретировать результаты химического анализа растений в производстве. При замедленном росте и недостатке какого-либо элемента в растениях его недостаток нужно устранить подкормкой. Высокое содержание элементов питания и отражают избыток элементов, либо нарушение соотношения между ними. При оптимальном содержании и соотношении элементов питания нарушение развития растений обусловлено другими факторами [157].

Родоначальники листовой диагностики французские ученые Н. Lagafu и L. Maute оценивали питание растений по концентрации элементов в сухом веществе растений и по их соотношению. З. И. Журбицкий [80, 81], считал, что соотношение питательных веществ, в определённых пределах, оказывает большее влияние на его рост, развитие и продуктивность, чем концентрация поглощаемых элементов. Оптимальное соотношение элементов питания – это такое соотношение элементов питания в растении, при котором создаются наилучшие условия для обменных реакций и образования органического вещества в растении. Установлению оптимальных соотношений и их практическому использованию посвящены ряд работ и предложены различные способы для этого [174]. Н.К. Болдыревым [31] предложено отношения элементов питания в растениях между собой выражать в виде равенства (15):

$$N = a_1 \cdot P = a_2 \cdot K = a_n \cdot Z_n \dots \quad (15)$$

Он полагал, что наличие определенного устойчивого соотношения между азотом и фосфором в листьях высокопродуктивных растений составляет одну из главных основ физиологического метода растительной диагностики.

При анализе данных нами были установлены оптимальные соотношения элементов в растениях яровой пшеницы по фазам развития. Установлено, что в течение вегетации до уборки оптимальное соотношение между валовыми Zn и Cu (Zn : Cu) составляет 6,8-11,7, N и P (N : P) = 9,3-11, N и K (N : K) = 1,2-1,4 (таблица 5.11).

Таблица 5.11 – Оптимальное соотношение элементов в растениях яровой пшеницы в течение вегетации (сухая масса)

Фаза развития	Уравнение баланса
Макроэлементы	
Кущение	$N = 11 \cdot P = 1,2 \cdot K,$ (16)
Выход в трубку	$N = 10,5 \cdot P = 1,4 \cdot K,$ (17)
Колошение	$N = 9,3 \cdot P = 1,2 \cdot K,$ (18)
Уборка (солома)	$N = 1,7 \cdot P = 0,7 \cdot K,$ (19)
Уборка (зерно)	$N = 6,5 \cdot P = 4,7 \cdot K,$ (20)
Микроэлементы	
Кущение	$Zn = 11,5 \cdot Cu,$ (21)
Выход в трубку	$Zn = 6,8 \cdot Cu,$ (22)
Колошение	$Zn = 11,7 \cdot Cu,$ (23)
Уборка (солома)	$Zn = 6,5 \cdot Cu,$ (24)
Уборка (зерно)	$Zn = 20,2 \cdot Cu.$ (25)

Таким образом, оптимальное соотношение зависит от фазы развития и элемента. При расчете норм удобрений под культуры и в различные фазы роста, развития и формирования урожая по химическому составу почвы, часто упускается влияние комплекса внешних условий и биологические особенности питания растений [27, 115, 174, и др.]. Поэтому в процессе роста и развития растений в

установленные диагностические фазы включается система растительной диагностики для получения информации о растении и управления его питанием способом подкормки.

Для определенного периода роста фактический уровень обеспеченности элементами питания характеризует концентрацию физиологически доступных питательных веществ в почве. Оптимальный уровень и уравновешенный баланс в целом растении яровой пшеницы указывают на высокую обеспеченность ее минеральным питанием (таблицы 5.10, 5.11) и при наличии других благоприятных факторов позволяют сформировать высокий урожай хорошего качества.

Оценка уравновешенности питания проводится путем сопоставления фактически сложившегося баланса в растениях с оптимальным балансом. Величина несоответствия используется при расчете доз удобрений и определении очередности внесения того или иного элемента [75]. При этом используется коэффициент потребности (K_p), который показывает, на сколько отклоняется фактическое содержание или соотношение элемента в растении от оптимального (26):

$$K_p = \frac{N : P, N : K, Zn : Cu \text{ и т. д. (оптим)}}{N : P, N : K, Zn : Cu \text{ и т. д. (факт)}}, \quad (26)$$

и если $K_p > 1$ то растения нуждаются в данном элементе и тем сильнее, чем больше коэффициент. При $K_p < 1$ – потребность в этом элементе отсутствует. Наибольший K_p указывает на тот элемент, который находится в первом минимуме. С учетом коэффициента потребности предложена формула расчёта доз удобрений в подкормку (27):

$$D = K_p \cdot H, \quad (27)$$

где H – минимальная норма потребления элементов растением в определенную фазу развития, выявленная ранее для высоких урожаев.

В результате данных исследований установлены уровни минимального потребления (Н) микроэлементов для яровой пшеницы в различные фазы развития (таблица 5.12).

Таблица 5.12 – Минимальная норма потребления элементов питания растениями пшеницы яровой в ранние фазы развития, г/га

Фаза развития	Zn	Cu
Кущение	9	2
Выход в трубку	20	4

Диагноз состояния питания сельскохозяйственных культур и определение количества удобрений для дополнительного внесения должны строиться на точных физиолого-агрохимических характеристиках. На основании установленных оптимальных уровней и соотношений элементов питания в растении и нормы потребления элементов в определенный период развития (Н) в условиях производства появляется возможность осуществлять оптимизацию минерального питания пшеницы яровой. Используя формулу 27 можно доводить сложившийся фактический уровень питания до оптимального, установив дозу элемента и внося её способом опрыскивания раствором хелата. При этом нужно учесть, что применение микроудобрений результативно при оптимальном уровне обеспеченности макроэлементами, поэтому нужно сначала оптимизировать макроэлементное питание.

При проведении некорневых подкормок культур микроудобрениями наблюдается устойчивый эффект в различных почвенно-климатических зонах [50, 78, 128, 167].

Для диагностирования потребности пшеницы яровой в том или ином микроэлементе нужно использовать химический анализ растений в конкретную фазу, установленные оптимальные уровни и соотношения элементов. В 2020 году была проведена производственная проверка разработанных нормативов для

расчета доз удобрений в подкормку пшеницы яровой в течение вегетации на лугово-чернозёмной почве Омской области и был получен положительный результат (приложение И).

Производственное испытание 1. В результате химического анализа растений яровой пшеницы установлено, что содержание Zn в фазу кущения ниже оптимального уровня (28 мг/кг), а Cu – оптимальное (4,9 мг/кг). Рассчитываем коэффициент потребности Кп по формуле 26 (оптимальное содержание в фазу кущения Zn – 52, Cu – 4,5 мг/кг):

$$K_{nZn} = \frac{Zn : Cu(\text{оптим})}{Zn : Cu(\text{факт})} = \frac{52 : 4,5}{28 : 4,9} = 2,02;$$

$$K_{nCu} = \frac{Cu : Zn(\text{оптим})}{Cu : Zn(\text{факт})} = \frac{4,5 : 52}{4,9 : 28} = 0,50.$$

Приходим к выводу, что растения плохо обеспечены цинком ($K_{п} > 1$). Рассчитываем дозу удобрений для некорневой подкормки по формуле 27:

$$D_{Zn} = K_{пZn} \cdot N = 2,02 \cdot 9 \text{ г/га} = 18,18 \text{ г/га}.$$

Использование с помощью некорневой подкормки расчетной дозы цинка в форме хелата 18 г/га (в растворе 250 л/га) позволило получить урожайность зерна яровой пшеницы 2,25 т/га.

Производственное испытание 2. В результате химического анализа растений яровой пшеницы установлено, что содержание Zn в фазу выхода в трубку выше оптимального уровня (33 мг/кг), а Cu ниже (2,0 мг/кг). Рассчитываем коэффициент потребности Кп (оптимальное содержание в фазу выхода в трубку Zn – 25, Cu – 3,6 мг/кг):

$$KnZn = \frac{Zn : Cu(\text{оптим})}{Zn : Cu(\text{факт})} = \frac{25 : 3,6}{33 : 2,0} = 0,42;$$

$$KnCu = \frac{Cu : Zn(\text{оптим})}{Cu : Zn(\text{факт})} = \frac{3,6 : 25}{2,0 : 33} = 2,4.$$

Приходим к выводу, что растения плохо обеспечены медью ($K_p > 1$). Рассчитываем дозу удобрений для некорневой подкормки:

$$D_{Cu} = K_{pCu} \cdot H = 2,40 \cdot 4 \text{ г/га} = 9,6 \text{ г/га}.$$

Использование с помощью некорневой подкормки расчетной дозы меди 10 г/га в форме хелата (в растворе 250 л/га) позволило получить урожайность зерна яровой пшеницы 2,18 т/га.

Таким образом, чтобы применить данные химического анализа растений для диагностики минерального питания, нужно знать, как изменяется концентрация элементов в растении в зависимости от фазы развития. Располагая этими знаниями, можно правильно определить, какая именно концентрация соответствует их недостатку, оптимуму и избытку. Растения в течение вегетации предъявляют определённые требования к обеспеченности элементами питания. Для яровой пшеницы характерны свои соотношения элементов питания в разные периоды развития.

В результате исследований были выявлены отношения между азотом, фосфором, калием, цинком и медью. Это важно для понимания процессов питания растений и для практики применения удобрений. По виду растений нарушения в питании часто не проявляются (они повлияют на урожай), но их анализ указывает на отклонение от оптимального питания.

В связи с этим, результаты химического анализа мы оценивали по двум критериям: оптимальному содержанию элемента в растении, выше которого уже

трудно обнаружить его ответную реакцию на этот элемент при внесении с минеральными удобрениями, и оптимальному соотношению между элементами, при котором они наиболее физиологически активны. Химический состав растений – хороший показатель потребности их в удобрениях, но если не учитывать взаимодействия ионов, то он может дать неверную информацию.

6 КАЧЕСТВО УРОЖАЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МИКРОУДОБРЕНИЙ

6.1 Влияние микроудобрений на качество зерна

Растение находится в многосторонней связи с окружающей средой. Благоприятное сочетание всех факторов жизни растения позволяют получать максимальную его продуктивность при наилучшем качестве урожая [159]. Установление взаимосвязи в системе почва-растение-удобрение важно не только для диагностирования потребности культур в элементах питания и эффективности удобрений, но и для прогнозирования качества урожая. Выявленные закономерности позволяют целенаправленно изменять качество растениеводческой продукции [29, 89, 124].

Известно достаточно много исследований, где показано, что внесение одного какого-либо элемента питания влияют на содержание другого. В свою очередь это влияет в конечном итоге на питательную ценность растениеводческой продукции. Влияние удобрений на качество продукции изучали многие исследователи и все они пришли к выводу, что от количества и способа их применения качество продукции зависит в значительной степени [91, 124, 126, 181].

Так, на выщелоченном черноземе сбор белка с единицы площади при обработке семян тритикале препаратами с хелатами Мастер специальный и Аквамикс составил 534 и 666 кг/га (в контроле – 499 кг/га). При этом суммарное количество аминокислот увеличилось по отношению к контролю (11,36 мг/г) на 2,28 и 17,78 %. Масса 1000 зерен при некорневой подкормке в фазе кущения составила 36,2-36,9 г, колошения – 37,3-37,8 г, молочной спелости – 37,4-37,9 г (в контроле – 33,6 г). При подкормке в фазе кущения натура зерна составила 769 и 771 г/л, колошения – 774 и 779 г/л, молочной спелости – 776 и 783 г/л (контроль – 761 г/л) [106].

На среднеоккультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве Беларуси наиболее высокое содержание сырого белка в среднем в зерне яровой пшеницы (15,9%) отмечено при некорневой подкормке медью на фоне $N_{70}P_{60}K_{90} + N_{30}$ КАС и применением Витамара на фоне $N_{80}P_{80}K_{130} + N_{45} + N_{25}$. [38].

В условиях серых лесных почв Предкамья сочетание предпосевной обработки семян с некорневой подкормкой растений яровой пшеницы составами (ЖУСС-2, ЖУСС-2а, ЖУСС-2б) в фазу налива зерна способствует динамичному обеспечению их медью и молибденом во все фазы вегетации, максимальному увеличению урожайности (на удобренном фоне до 0,6-0,9 т/га) и показателей качества зерна: стекловидности на 8-12 %, клейковины на 5-7 % и сбора белка до 205 кг/га. Наиболее эффективным способом применения препаратов ЖУСС является предпосевная обработка семян в сочетании с некорневой подкормкой ими растений или без нее. Некорневая подкормка растений препаратами ЖУСС повышает показатели качества зерна, но мало влияет на величину урожая [125].

На серой лесной почве Предкамья использование хелатов меди и цинка оказывает положительный эффект и повышает качество урожая, наибольшее увеличение качественных показателей зерна наблюдается в варианте с применением препарата ЖУСС-3 в дозе 2 л/га совместно с азотом. При этом повышение относительно контроля составило: натуры – 8 г/л, стекловидности – 4 %, клейковины – 5,9 %, сырого протеина – 1,2 %, а сбор белка увеличился на 148 кг/га [52].

При использовании препарата Кристалон Специальный в Калининградской области на дерново-подзолистых почвах содержание белка в зерне озимой пшеницы в целом пропорционально дозе препарата и не зависело от срока внесения. Однако раннее применение препарата лишь незначительно способствовало повышению клейковины в зерне, внесение препарата в фазе колошения в дозах 3 и 5 кг/га дало статистически достоверный эффект. При подкормке в фазе колошения стекловидность возрастала пропорционально дозе препарата [131].

На черноземе типичном тяжелосуглинистом малогумусном в условиях Курской области выявлено влияние микроэлементов на качество зерна озимой

пшеницы. При обработке в период кущения хелатами меди и цинка, содержание клейковины увеличилось на 2,4 и 2,9%, возросла также масса зерен и натура зерна, содержание белка увеличилось на 13,8 и 29,3%. При обработке посевов в фазу выхода в трубку количество клейковины возросло на 2,4 и 4,9 %, наибольшее увеличение натуры зерна характерно для использования хелата цинка (с 645 г/л в контроле до 745 г/л) [188].

Понятие биологического качества включает в себя не только энергетическую ценность, содержание белков и витаминов, но также качественный и количественный состав необходимых химических элементов, удовлетворяющий потребность в них человека и сельскохозяйственных животных и безопасный для здоровья [75, 165, 173, 174].

По наличию питательных веществ зерно яровой пшеницы выгодно отличается от зерна других культур, оно содержит большое количество соединений, необходимых для жизни человека. Основные из них – белки и углеводы. Технологические свойства зерна обусловлены содержанием клейковины. Из физических показателей наибольшее внимание уделяется натурной массе, стекловидности [168].

Микроудобрения в наших исследованиях оказали положительное действие на качество зерна яровой пшеницы (таблицы 6.1-6.4, приложения Г, Д и Е).

Большое значение при оценке качества зерна придается стекловидности. Стекловидное зерно дает больший выход муки, которая ценится в хлебопечении. Стекловидность в эксперименте находилась в пределах 49,0-51,7 % (таблица 6.1), поэтому исследуемый сорт Памяти Азиева, относится к среднестекловидным и его зерно обладает достаточно высоким содержанием белка, клейковины и хорошими хлебопекарными качествами.

Таблица 6.1 – Показатели качества зерна яровой пшеницы в зависимости от применяемых микроудобрений (среднее 2017-2019 гг.)

Вариант	Стекловидность, %	Белок, %	Сбор белка, кг/га	Клейковина, %	ИДК, ед.
Контроль	50,0	13,39	295	26,50	59,0
Обработка семян, г/100 кг					
Zn ₁₀	50,0	13,48	307	27,17	57,3
Zn ₂₀	50,7	13,95	335	27,90	57,7
Zn ₃₀	50,7	13,48	317	26,93	56,0
Cu ₁₀	49,7	14,06	316	27,88	60,0
Cu ₂₀	50,7	13,76	322	27,67	58,0
Cu ₃₀	50,0	13,67	321	27,53	58,0
Опрыскивание в фазу кущения, г/га					
Zn ₁₀	51,0	13,99	322	27,40	61,0
Zn ₂₀	51,7	14,35	344	27,66	58,3
Zn ₃₀	50,3	13,68	332	27,03	56,0
Cu ₁₀	49,0	13,79	331	27,60	57,7
Cu ₂₀	49,7	13,67	324	27,30	57,3
Cu ₃₀	50,3	13,95	335	28,03	57,0
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га					
Zn ₁₀	50,0	13,47	300	26,8	57,7
Zn ₂₀	50,7	13,56	317	26,9	58,3
Zn ₃₀	50,3	13,30	310	26,4	58,7
Cu ₁₀	49,3	13,85	320	27,4	59,0
Cu ₂₀	49,7	13,34	315	27,0	59,7
Cu ₃₀	49,7	13,65	321	27,2	60,7
НСР ₀₅	2,0	0,52	25,2	0,55	3,50

Количество белка в зерне определяет его пищевую ценность. Оно зависит главным образом от климатических условий выращивания и увеличивается с запада на восток. Важнейшая роль в биосинтезе белка в растениях принадлежит влажности и температуре. Зерно пшеницы, выращенное в условиях засушливого климата, отличается повышенным содержанием белка по сравнению с зерном, выращенным в условиях влажного климата. В сухие годы урожай может снижаться, а содержание белка – увеличиваться, во влажные – наоборот [124].

Для хлебопечения важнейшим показателем качества зерна является содержание и качество клейковины, которая представляет собой комплекс белковых веществ, способных при набухании в воде образовывать связную эластичную массу. Состоит из набухших белков (до 80 %), крахмала (около 20 %) и незначительного количества жира, клетчатки и др.

Наибольшее содержание белка в наших экспериментах получено в вариантах с обработкой семян Zn_{20} – 13,95 % и Cu_{10} – 14,06 % (таблица 6.1). Сбор белка при применении хелатов увеличился с 295 в контроле до 307-335 кг/га при применении хелатов.

Содержание клейковины при обработке семян яровой пшеницы составило 26,93-27,90 % (при ИДК 56,0-60,0 единиц), в лучших вариантах по урожайности (Zn_{20} и Cu_{30}) оно было на максимальном уровне 27,90 и 27,53 % соответственно (ИДК 57,0 и 58,5).

При анализе линий тренда действия хелата цинка на урожайность и качество зерна яровой пшеницы, можно отметить (рисунок 6.1), что концентрация белка, содержание клейковины и урожайность были максимальными при дозе 20 г/100 кг.

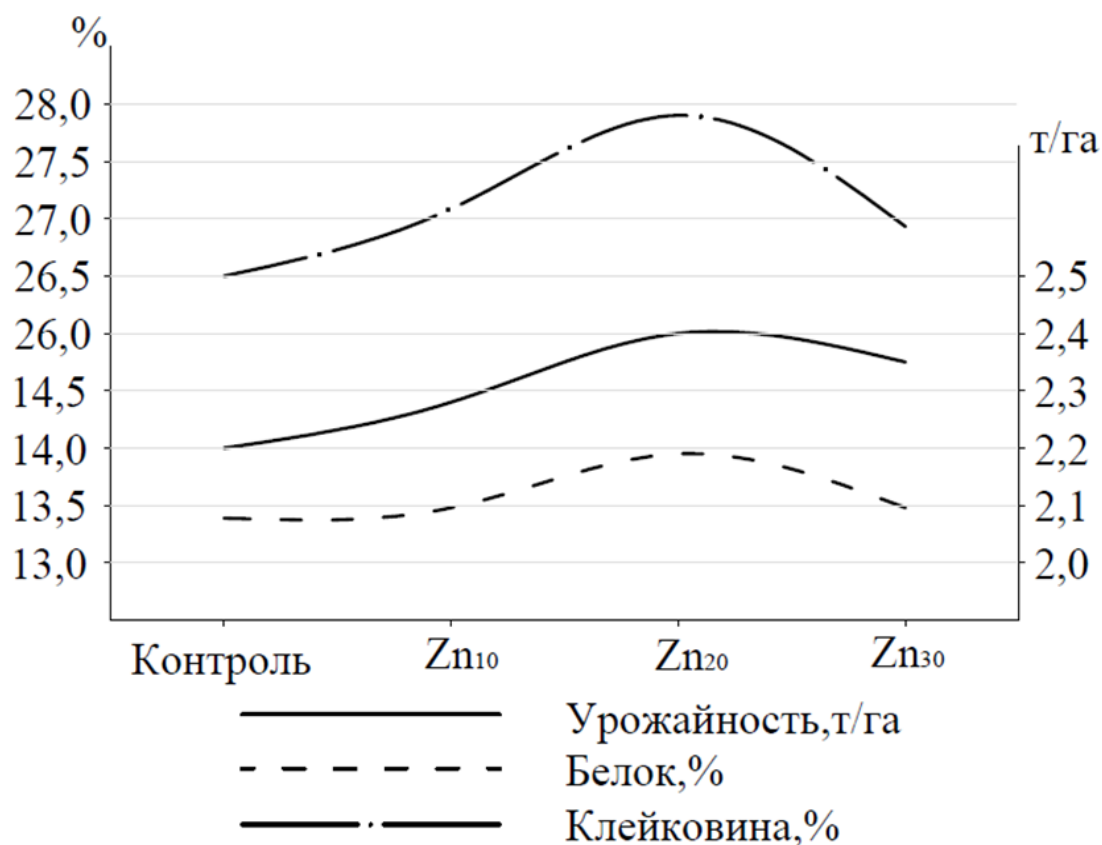


Рисунок 6.1 – Урожайность и качество зерна пшеницы яровой при предпосевной обработке семян хелатом цинка (г/100 кг) на лугово-черноземной почве (среднее 2017-2019 гг.)

При рассмотрении же действия хелата меди на данные показатели качества зерна, можно отметить (рисунок 6.2), что концентрация белка и клейковины при предпосевной обработке семян были максимальными при минимальной дозе 10 г/100 кг, а урожайность была максимальной при дозе 20 г/100 кг. При этом все дозы меди обеспечили существенное увеличение содержания белка – с 13,39 до 13,67-14,06 %, как и клейковины с 26,50 до 27,53-27,88 %.

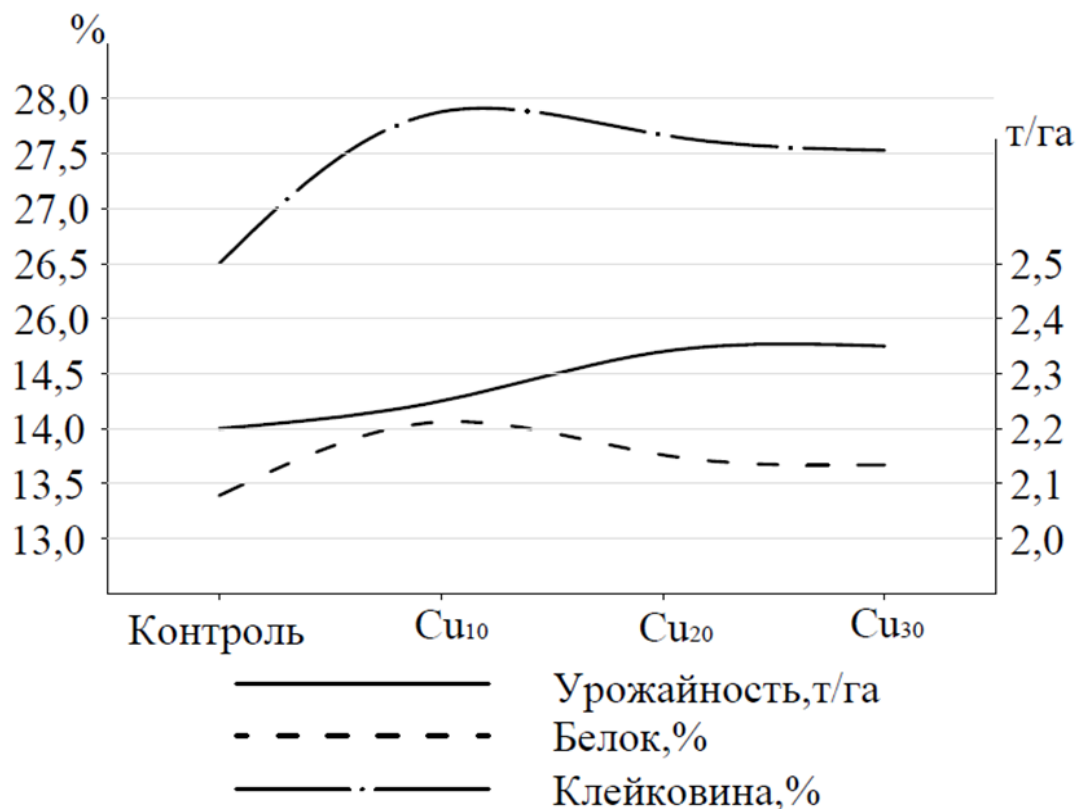


Рисунок 6.2 – Урожайность и качество зерна пшеницы яровой при предпосевной обработке семян хелатом меди (г/100 кг) на лугово-черноземной почве (среднее 2017-2019 гг.)

При некорневой подкормке в фазу кущения максимальное содержание белка получено от Zn₂₀ – 14,35 и Cu₃₀ – 13,95 % (таблица 6.1). Сбор белка при этом увеличился с 295 кг/га в контроле до 322-344 кг/га при применении хелатов микроэлементов, на это влияет и увеличение урожайности под действием удобрений, и изменение химического состава зерна по этой же причине.

Содержание клейковины составило 27,03-28,03 % при контроле 26,50 (ИДК 57,0-61,0 единиц), в лучших вариантах по урожайности (Zn₃₀ и Cu₁₀, Cu₃₀) оно было на уровне 27,03 и 27,6, 28,03% соответственно (ИДК 56 и 57,7, 57,0).

При анализе линий тренда действия хелата цинка на урожайность и качество зерна яровой пшеницы, можно отметить (рисунок 6.3), что концентрация белка как и клейковины была максимальной при дозе 20 г/га,.

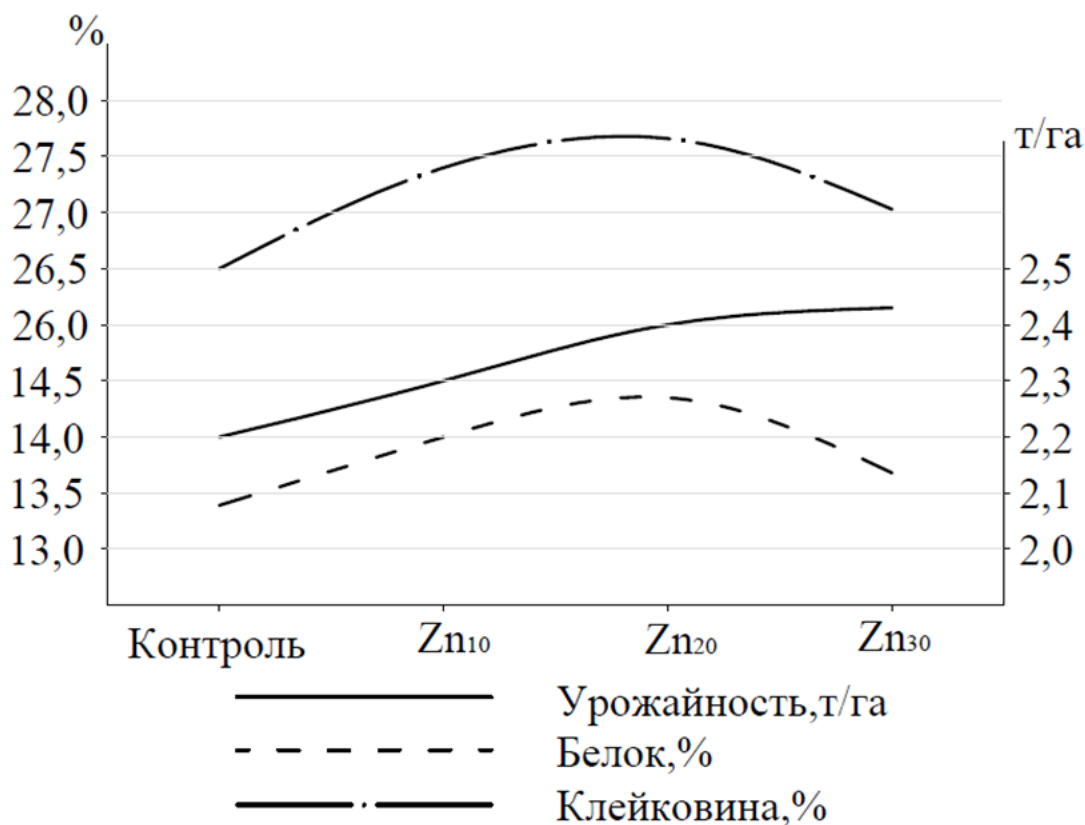


Рисунок 6.3 – Урожайность и качество зерна пшеницы яровой при применении хелатных цинковых удобрений некорневой подкормкой в фазу кущения (г д.в./га) на лугово-черноземной почве (среднее 2017-2019 гг.)

Вместе с тем урожайность возросла до наибольшей величины при применении некорневой подкормкой в фазу кущения Zn₂₀ и Zn₃₀.

При анализе же линий тренда действия хелата меди на такие же показатели изучаемой культуры, можно отметить (рисунок 6.4), что концентрация белка возрастала по мере увеличения дозы до 30 г/га. Содержание клейковины и урожайность были максимальными так же при дозе 30 г/га, но увеличение по сравнению с дозой 20 г/га недостоверно.

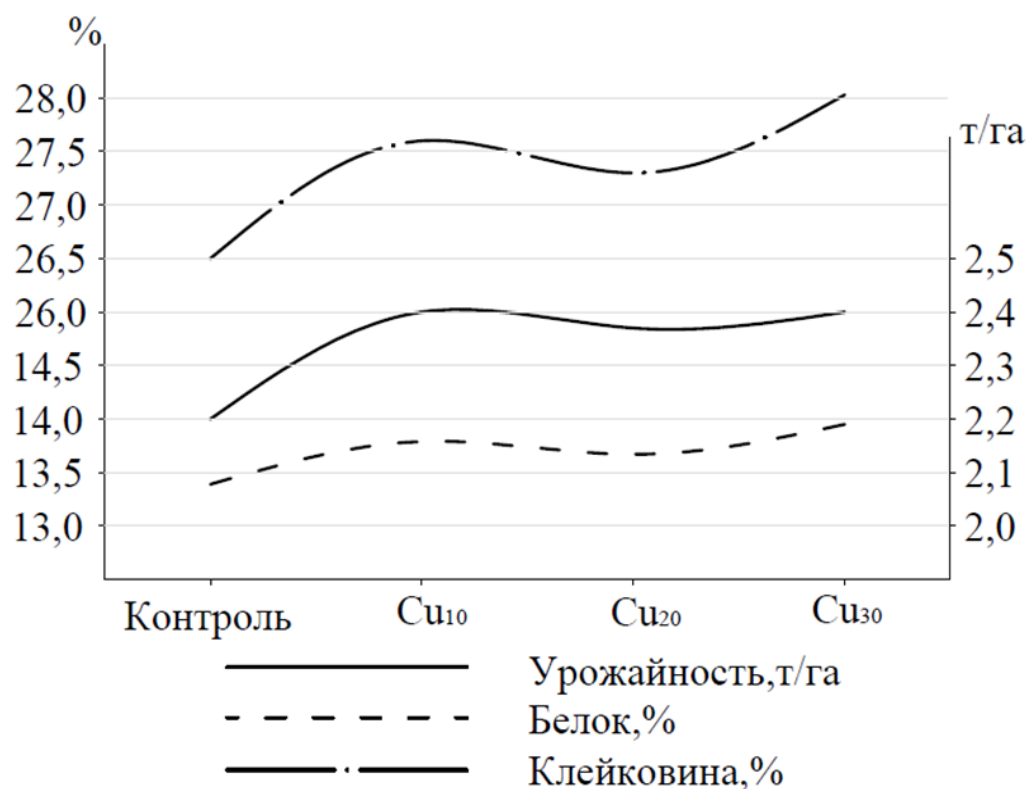


Рисунок 6.4 – Урожайность и качество зерна пшеницы яровой при применении хелатных медных удобрений некорневой подкормкой в фазу кущения (г д.в./га) на лугово-черноземной почве (среднее 2017-2019 гг.)

При применении хелатов цинка и меди в фазу выхода в трубку наибольшее содержание белка получено в вариантах Zn₂₀ – 13,56 и Cu₁₀ – 13,85 % (таблица 6.1). Сбор белка при этом увеличился до 300-321 кг/га.

Содержание клейковины при этом составило 26,43-27,40 % (при ИДК 57,7-60,7 единиц), в лучших вариантах по урожайности (Zn₂₀ и Cu₁₀) оно было на максимальном уровне 27,55 и 27,70 % соответственно (ИДК 58,3 и 59,0).

При анализе линий тренда действия хелата цинка на урожайность и качество зерна яровой пшеницы, можно отметить (рисунок 6.5), что наибольшая величина урожайности, концентрация белка и клейковины была максимальной при дозе 20 г/га, увеличение дозы до 30 г/га показало снижение показателей.

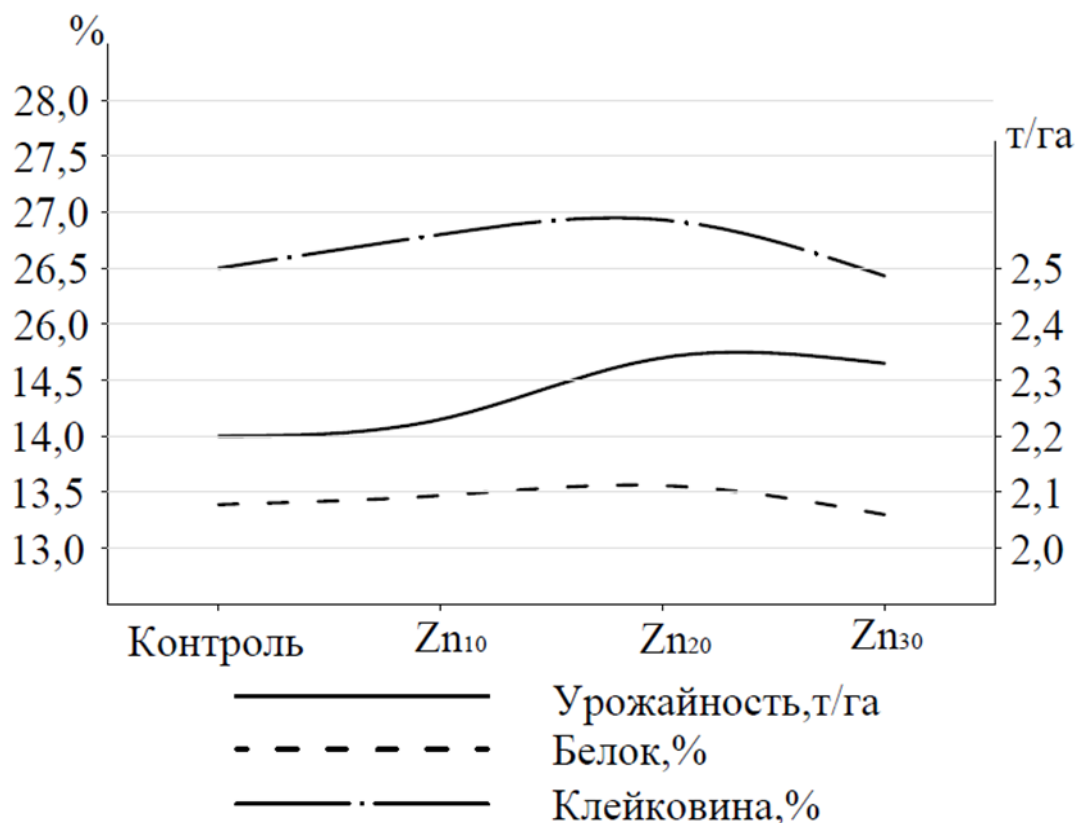


Рисунок 6.5 – Урожайность и качество зерна пшеницы яровой при применении хелатных цинковых удобрений некорневой подкормкой в фазу выхода в трубку (г д.в./га) на лугово-черноземной почве (среднее 2017-2019 гг.)

При анализе же линий тренда влияния хелата меди при обработке в фазу выхода в трубку на данные показатели, можно отметить (рисунок 6.6), что концентрация белка и содержание клейковины были максимальными при начальной дозе 10 г/га. Вместе с тем урожайность возросла до наибольшей величины при применении Cu_{20} .

В целом по эксперименту максимальные показатели содержания белка получены в вариантах с некорневой подкормкой в фазу кушения хелатами цинка в дозе 20 г/га и составило – 14,35 %; содержание клейковины – 27,9 % – получены при предпосевной обработке семян Zn_{20} .

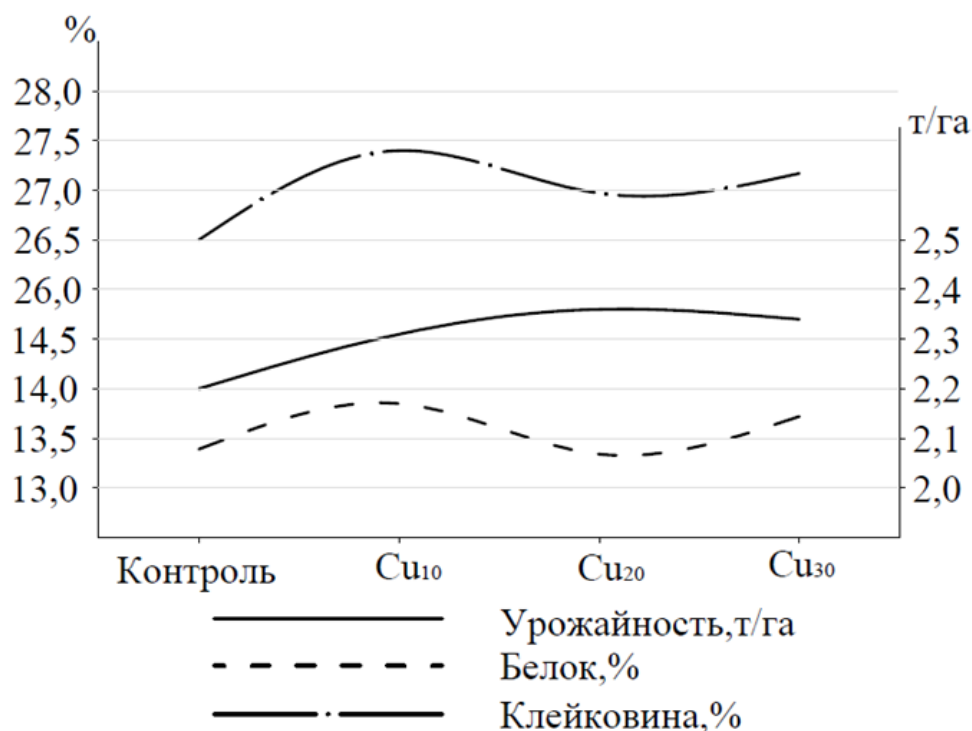


Рисунок 6.6 – Урожайность и качество зерна пшеницы яровой при применении хелатных медных удобрений некорневой подкормкой в фазу выхода в трубку (г д.в./га) на лугово-черноземной почве (среднее 2017-2019 гг.)

В наших опытах, после исследования связи между дозой используемого удобрения и содержанием белка в зерне (Y_1 – при обработке семян, Y_2 – при опрыскивании в фазу кущения, Y_3 – при опрыскивании в фазу выхода в трубку %) от доз цинка и меди (Y_4 – при обработке семян, Y_5 – при опрыскивании в фазу кущения, Y_6 – при опрыскивании в фазу в фазу выхода в трубку %) (x ; г/100 кг – при обработке семян, г/га – при опрыскивании) установлена тесная корреляционная зависимость до определенного установленного уровня дозы, превышение которой не ведет к увеличению показателя:

$$Y_1 = 0,028x + 13,33; \quad r = 0,87 \quad (28)$$

$$Y_2 = 0,048x + 13,43; \quad r = 0,88 \quad (29)$$

$$Y_3 = 0,0085x + 13,39; \quad r = 0,79 \quad (30)$$

$$Y_4 = 0,067x + 13,39; \quad r = 0,84 \quad (31)$$

$$Y_5 = 0,04x + 13,39; \quad r = 0,81 \quad (32)$$

$$Y_6 = 0,046x + 13,39. \quad r = 0,71 \quad (33)$$

В целом микроэлементы существенно увеличивали этот показатель, что ранее отмечали и другие ученые [31, 32, 138, 139]. Вероятно, это можно пояснить участием цинка и меди в реакциях, обеспечивающих азотный обмен в растениях. Так, положительное влияние цинка на содержание белка объясняется тем, что этот элемент тесно связан с белковым синтезом. оно может осуществляться через регуляцию активности РНКазы, существенно возрастающей в условиях Zn-дефицита. Цинк защищает РНК от атак этого фермента. Причем повышение активности РНКазы может опережать появление симптомов недостатка цинка у растений. В связи с важной ролью цинка в белковом синтезе высокие концентрации этого микроэлемента необходимы в меристематических тканях, где активно происходит деление клеток и осуществляется синтез нуклеиновых кислот и белка [87, 119].

Наряду с общим определением содержания белка в зерне определяли его аминокислотный состав в зависимости от условий микроэлементного питания. Условия питания оказывали влияние на количественное содержание аминокислот. Так, при исследовании действия микроудобрений при обработке семян хелатными формами цинка на качественные характеристики белка выявлено, что сумма аминокислот повышается с 7,40 % без удобрений до наибольшей 7,53 % при Zn₃₀ и 7,30 % – при Cu₁₀. В зерне яровой пшеницы имеется полный набор незаменимых аминокислот. При внесении этих доз микроудобрений наблюдалось наибольшее накопление незаменимых аминокислот (таблица 6.2). В целом влияние хелатных форм микроэлементов носит разнонаправленный характер.

Таблица 6.2 – Аминокислотный состав белка яровой пшеницы при предпосевной обработке семян хелатными микроудобрениями (г/100 кг), % (среднее 2017-2019 гг.)

Аминокислота	Вариант						
	Контроль	Zn ₁₀	Zn ₂₀	Zn ₃₀	Cu ₁₀	Cu ₂₀	Cu ₃₀
Содержание белка, %	13,39	13,48	13,95	13,48	14,06	13,76	13,67
Аргинин	0,72	0,71	0,69	0,72	0,69	0,70	0,67
Лизин	0,35	0,35	0,35	0,35	0,34	0,36	0,34
Тирозин	0,26	0,27	0,26	0,27	0,27	0,25	0,26
Фенилаланин	0,52	0,52	0,49	0,54	0,49	0,52	0,50
Гистидин	0,28	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,27
Лейцин+изолейцин	1,23	1,24	1,23	1,25	1,22	1,24	1,21
Метионин	0,22	0,20	0,23	0,20	0,20	0,23	0,20
Валин	0,53	0,53	0,53	0,52	0,50	0,52	0,51
Пролин	1,30	1,30	1,30	1,36	1,33	1,31	1,29
Треонин	0,40	0,39	0,41	0,40	0,40	0,38	0,39
Серин	0,70	0,64	0,66	0,68	0,64	0,64	0,64
Аланин	0,45	0,42	0,42	0,47	0,45	0,43	0,42
Глицин	0,48	0,47	0,49	0,49	0,48	0,48	0,46
Сумма аминокислот	7,40	7,32	7,33	7,53	7,30	7,32	7,16
Сумма незаменимых аминокислот	3,24	3,26	3,24	3,26	3,16	3,24	3,15
Сумма критических аминокислот	0,97	0,94	0,99	0,95	0,94	0,93	0,93

При изучении действия микроудобрений на качественные характеристики белка пшеницы при некорневой подкормке в фазу кущения выявлено, что сумма аминокислот повышается с 7,40 % без удобрений до наибольшей 7,71 % от Zn₁₀

и 8,10 % – от Cu_{20} . В целом влияние хелатных форм микроэлементов носит положительный характер (таблица 6.3).

Таблица 6.3 – Аминокислотный состав белка яровой пшеницы при некорневой подкормке хелатными микроудобрениями (г/га) в фазу кущения, %
(среднее 2017-2019 гг.)

Аминокислота	Вариант						
	Контроль	Zn ₁₀	Zn ₂₀	Zn ₃₀	Cu ₁₀	Cu ₂₀	Cu ₃₀
Содержание белка, %	13,39	13,99	14,35	13,68	13,79	13,67	13,95
Аргинин	0,72	0,82	0,74	0,81	0,81	0,767	0,77
Лизин	0,35	0,35	0,31	0,33	0,32	0,35	0,34
Тирозин	0,26	0,26	0,24	0,26	0,25	0,29	0,29
Фенилаланин	0,52	0,55	0,5	0,52	0,56	0,6	0,57
Гистидин	0,28	0,27	0,25	0,28	0,28	0,29	0,28
Лейцин+изолейцин	1,23	1,29	1,18	1,3	1,3	1,37	1,34
Метионин	0,22	0,2	0,22	0,22	0,18	0,2	0,18
Валин	0,53	0,6	0,51	0,56	0,53	0,6	0,58
Пролин	1,30	1,35	1,27	1,35	1,33	1,51	1,32
Треонин	0,40	0,5	0,36	0,45	0,43	0,43	0,5
Серин	0,70	0,66	0,62	0,64	0,65	0,74	0,68
Аланин	0,45	0,52	0,42	0,51	0,54	0,61	0,54
Глицин	0,48	0,49	0,45	0,48	0,47	0,51	0,51
Сумма аминокислот	7,40	7,71	7,06	7,60	7,51	8,10	7,76
Сумма незаменимых аминокислот	3,24	3,41	3,08	3,33	3,26	3,53	3,43
Сумма критических аминокислот	0,97	0,97	0,89	0,95	0,88	0,96	0,93

При некорневой подкормке микроудобрениями в фазу выхода в трубку выявлено, что сумма аминокислот повышается с 7,40 % без удобрений до наибольшей 7,93 % от применения Zn₂₀ и 7,77 % – Cu₁₀. Положительное влияние хелатных форм микроэлементов при некорневой подкормке в фазу выхода в трубку носит устойчивый характер и повышает сумму аминокислот во всех вариантах (таблица 6.4).

Таблица 6.4 – Аминокислотный состав белка яровой пшеницы при некорневой подкормке хелатными микроудобрениями (г/га) в фазу выхода в трубку, % (среднее 2017-2019 гг.)

Аминокислота	Вариант						
	Контроль	Zn ₁₀	Zn ₂₀	Zn ₃₀	Cu ₁₀	Cu ₂₀	Cu ₃₀
Содержание белка, %	13,39	13,47	13,56	13,30	13,85	13,34	13,72
Аргинин	0,72	0,77	0,74	0,76	0,79	0,73	0,78
Лизин	0,35	0,38	0,37	0,37	0,35	0,34	0,34
Тирозин	0,26	0,28	0,30	0,29	0,30	0,27	0,30
Фенилаланин	0,52	0,5	0,58	0,49	0,55	0,52	0,57
Гистидин	0,28	0,26	0,29	0,28	0,28	0,25	0,28
Лейцин+изолейцин	1,23	1,31	1,4	1,28	1,3	1,24	1,30
Метионин	0,22	0,22	0,20	0,20	0,20	0,21	0,16
Валин	0,53	0,55	0,57	0,51	0,52	0,52	0,54
Пролин	1,30	1,41	1,4	1,37	1,37	1,39	1,53
Треонин	0,40	0,40	0,39	0,39	0,41	0,37	0,38
Серин	0,70	0,66	0,67	0,68	0,69	0,65	0,63
Аланин	0,45	0,51	0,49	0,49	0,51	0,46	0,45
Глицин	0,48	0,51	0,52	0,49	0,51	0,49	0,49
Сумма аминокислот	7,40	7,79	7,93	7,62	7,77	7,47	7,55
Сумма незаменимых аминокислот	3,24	3,41	3,52	3,27	3,33	3,22	3,27
Сумма критических аминокислот	0,97	1,01	0,97	0,96	0,96	0,92	0,88

Положительное влияние хелатных форм микроэлементов на сумму аминокислот в белке тем существеннее, чем позже их применение.

Наряду с традиционными показателями качества, важно содержание микроэлементов в зерне, так как недостаток или избыток их в продуктах питания и кормах приводит к нарушению обмена веществ в организме животных и человека, а часто и к болезням [83, 87, 93, 157]. При недостаточном потреблении цинка с пищей страдает репродуктивная система. Дефицит этого микроэлемента ведет и к угнетению функций других систем, нормальную работу которых он обеспечивает. При этом проявляются такие симптомы:

- падение остроты зрения, извращение вкуса, расстройства обоняния;
- образование язв на коже и слизистых;
- кожные заболевания, снижение скорости заживления ран;
- задержка роста и полового созревания;
- длительные простудные заболевания, аллергии.

Употребление пищи, богатой цинком, не вызывает передозировки этого элемента. Организм человека легко может вывести его избыток. Однако регулярный прием цинка в дозе, превышающей 150 мг/сут., опасен. С пищей получить такое количество микроэлемента невозможно. Для того чтобы повысить содержание цинка, нужно увеличить поступление его с пищей.

Медь является жизненно важным элементом, который входит в состав многих витаминов, гормонов, ферментов, дыхательных пигментов, участвует в процессах обмена веществ, в тканевом дыхании и т.д. Имеет большое значение для поддержания нормальной структуры костей, хрящей, сухожилий, эластичности стенок кровеносных сосудов, легочных альвеол, кожи. Действие меди на углеводный обмен проявляется посредством ускорения процессов окисления глюкозы, торможения распада гликогена в печени.

Медь повышает устойчивость организма к некоторым инфекциям, связывает микробные токсины и усиливает действие антибиотиков, обладает противовоспалительным свойством. При недостатке меди проявляются симптомы:

- ухудшение деятельности сердечно-сосудистой системы;
- ухудшение состояния костной и соединительной ткани, остеопороз;
- усиление предрасположенности к бронхиальной астме;
- увеличение щитовидной железы;
- нарушение липидного обмена (атеросклероз, ожирение, диабет);
- угнетение функций иммунной системы;
- ускорение старения организма.

Рядом исследований установлено, что внесение удобрений повышает содержание микроэлементов в зерне. Так, на серой лесной почве Республики Татарстан некорневая обработка яровой пшеницы ЖУСС - 2 различной кратности приводила к обогащению семян (на 25,2, 55,7, 68,2% соответственно) и надземных органов растений медью (на 66,6, 109,5, 171,4%) [55].

На лугово-черноземной почве Омской области установлено, что благодаря возрастающим дозам цинковых удобрений происходит повышение содержания цинка в зерне озимой пшеницы до определенного уровня. Используя полученные уравнения, можно прогнозировать показатели качества урожая [139].

Содержание цинка в зерне яровой пшеницы при использовании удобрений находилось в диапазоне от 21,8 до 35,3 мг/кг, меди – 1,02-4,76 (таблицы 5.2-5.4) и не превышало ПДК в продуктах питания (цинка – 50 мг/кг, меди – 10 мг/кг). Между дозами цинка и меди при опрыскивании в фазу выхода в трубку и их содержанием в зерне существует корреляционная зависимость (таблица 6.5, уравнения 34 и 35) при уровне доз до оптимального. Применение в более ранние периоды удобрений цинка практически не влияло на содержание цинка в зерне, а меди – положительно влияло на содержание меди в зерне, при том максимум наблюдался при Cu_{20} .

Например, зависимость содержания цинка в зерне (Y_1 – обработка в фазу выхода в трубку, мг/кг) от доз цинкового удобрения (X , г/га), содержания меди в зерне (Y_2 – обработка в фазу выхода в трубку, мг/кг) от доз медного удобрения (X , г/га) выражается уравнениями:

Таблица 6.5 – Содержание цинка и меди в зерне яровой пшеницы (мг/кг)
в зависимости от доз микроудобрений

Вариант	Обработка семян, г/100 кг		Опрыскивание в фазу кущения, г/га		Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га	
	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu
Контроль	28,1	1,21	28,6	1,21	28,1	1,21
Zn ₁₀	21,8	1,02	28,0	2,69	31,5	1,44
Zn ₂₀	28,5	2,49	29,9	2,85	33,8	3,37
Zn ₃₀	24,1	2,87	31,7	2,53	35,3	3,10
Cu ₁₀	27,6	2,21	28,0	2,90	30,5	3,11
Cu ₂₀	37,1	2,76	27,7	4,76	30,7	3,65
Cu ₃₀	28,3	1,86	31,7	3,02	26,4	2,42

$$Y_1 = 0,24x + 28,59, \quad r = 0,87 \quad (34)$$

$$Y_2 = 0,122x + 1,44. \quad r = 0,91 \quad (35)$$

Таким образом, благодаря микроудобрениям, происходит повышение содержания цинка и меди в зерне яровой пшеницы до определенного уровня. Используя полученные уравнения можно, прогнозировать качественные показатели урожая.

6.2 Влияние микроудобрений на качество семян

Посевные качества семян являются важнейшим фактором повышения урожайности яровой пшеницы, их вклад может достигать 50 %. Качественный семенной материал позволяет без дополнительных затрат на удобрения и пестициды обеспечить хорошее развитие растений, снизить отрицательное воздействие сорняков, болезней и вредителей, в результате – повысить урожайность и

качество зерна. Качество посевного материала – важнейший фактор, определяющий число растений на единице площади, его нельзя компенсировать ни повышением нормы высева, ни удобрениями, ни обработкой почвы, так как некачественные семена или не дают всходов, или они будут больные и слабые.

Энергия прорастания является важным показателем посевных качеств, высокие ее значения способствуют одновременности роста и развития растений, созреванию зерна, что улучшает его качество и облегчает уборку [124, 136, 159, 168]. Средняя энергия прорастания семян, полученных при предпосевной обработке, достоверно увеличивалась с 93,3% в контроле до 94,3-97,0 % при удобрении (рисунки 6.7, 6.8, приложение Ж). От применения хелата цинка наибольшую энергию прорастания показал вариант Zn₂₀ – 96,35, а Zn₁₀ и Zn₃₀ – практически одинаковую – 94,8 и 94,3% соответственно.

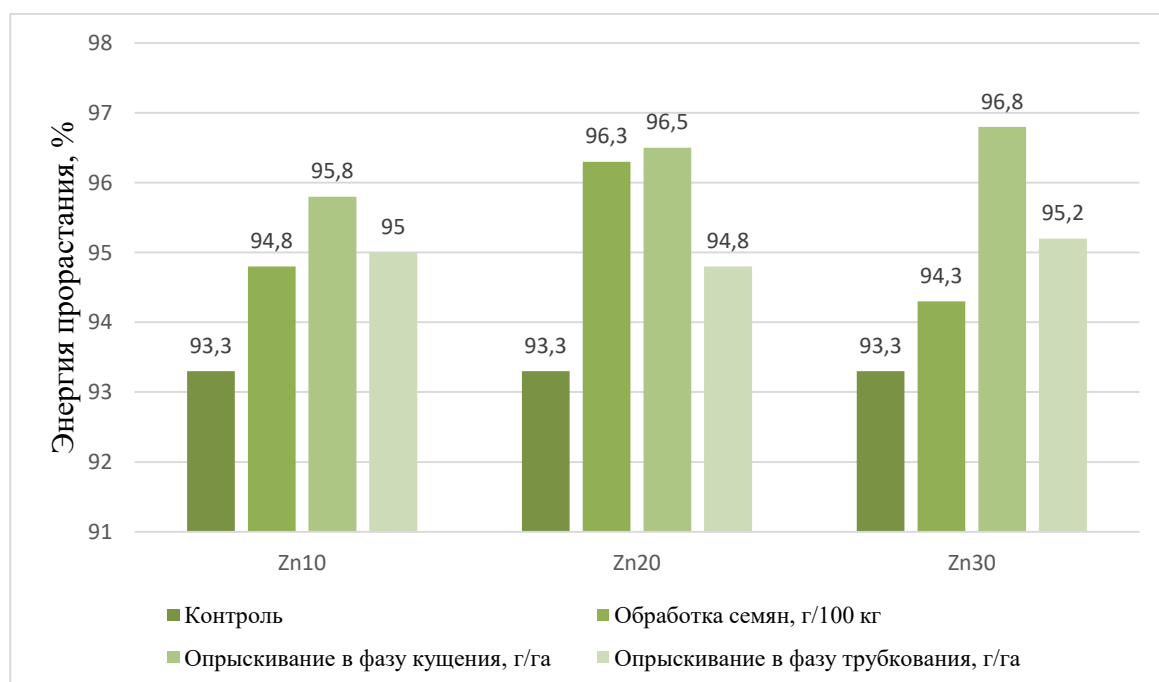


Рисунок 6.7 – Энергия прорастания семян яровой пшеницы в зависимости от доз цинковых удобрений и способов применения (среднее 2017-2019 гг.)

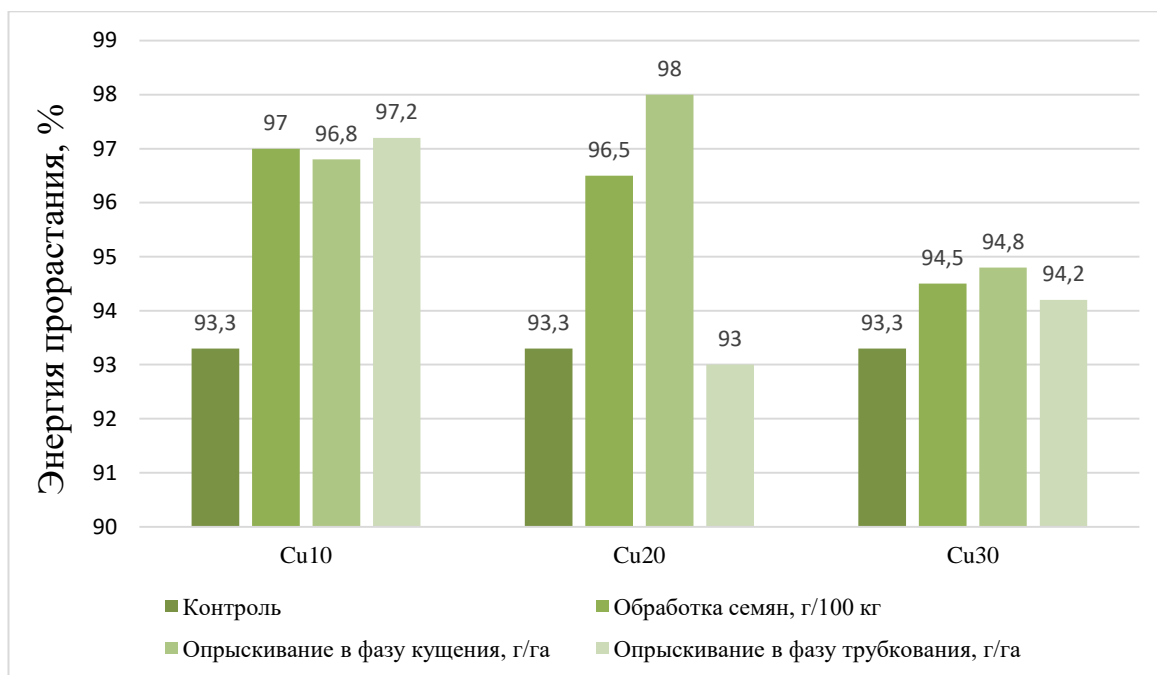


Рисунок 6.8 – Энергия прорастания семян яровой пшеницы в зависимости от доз и способов применения медных удобрений (среднее 2017-2019 гг.)

При действии хелата меди лучший результат по энергии прорастания семян был при начальной дозе Cu_{10} (97,0 %), варианты Cu_{20} и Cu_{30} показали более низкий эффект – соответственно 96,5 и 94,5% (увеличение энергии прорастания при возрастании доз недостоверно).

Лабораторная всхожесть семян при предпосевной обработке семян также увеличилась и составила 97,5-98,7 % (рисунки 6.9, 6.10). Наибольший показатель лабораторной всхожести семян показали варианты обработки хелатами меди. Использование Cu_{10} оказало положительное действие, при этом лабораторная всхожесть составила 98,7 % (в контроле 97,3 %), в вариантах Cu_{20} , Cu_{30} средние показатели по годам исследований получились несколько меньше – соответственно 98,5 и 98,0 % (изменение лабораторной всхожести при возрастании доз недостоверно). При применении хелата цинка Zn_{10} , Zn_{20} , Zn_{30} , результаты отличались незначительно и составили соответственно 97,7; 97,5 и 97,7 %.

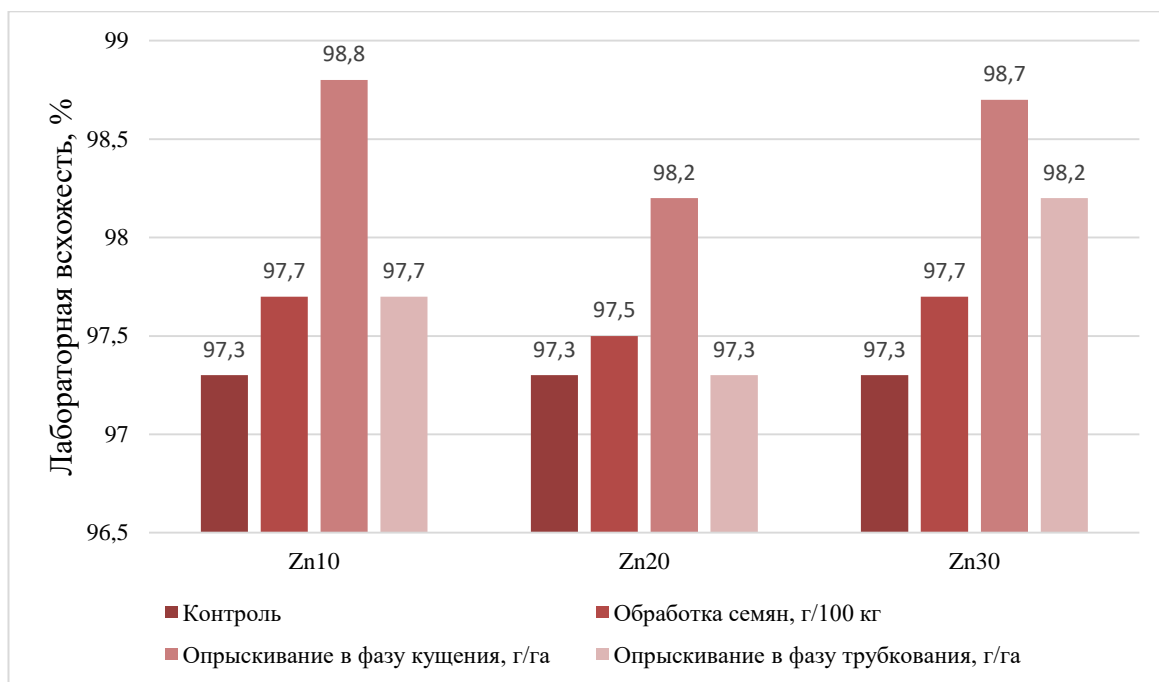


Рисунок 6.9 – Лабораторная всхожесть семян яровой пшеницы в зависимости от доз и способов применения цинковых удобрений (среднее 2017-2019 гг.)

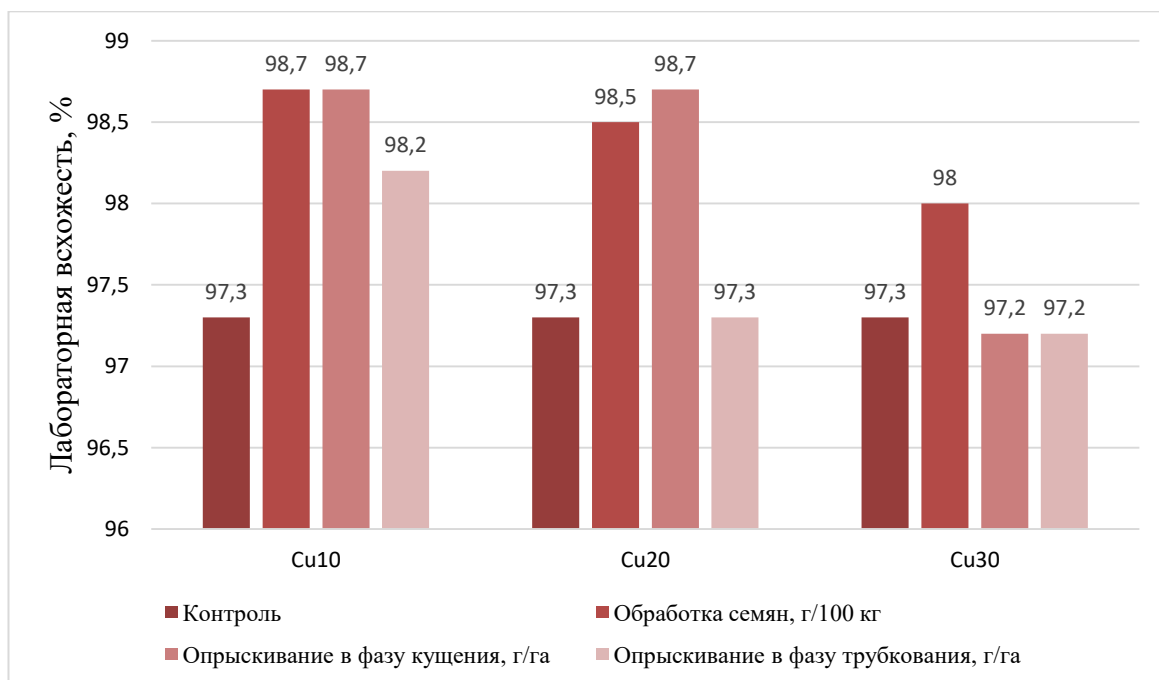


Рисунок 6.10 – Лабораторная всхожесть семян яровой пшеницы в зависимости от доз и способов применения медных удобрений (среднее 2017-2019 гг.)

Энергия прорастания достоверно увеличивалась при некорневой подкормке в фазу кущения с 93,3 в контроле до 94,8-98,0 %. Наибольшая энергия прорастания семян была при некорневой подкормке хелатными формами в дозах Zn₃₀, Cu₁₀, Cu₂₀ соответственно 96,8; 96,8 и 98,0 %.

При лабораторных исследованиях всхожесть полученных семян увеличилась при некорневой подкормке в фазу кущения с 97,3 в контроле до 98,2-98,8 %. Наилучшая всхожесть выявлена при некорневой подкормке хелатными формами в дозах Zn₁₀ (98,8%), при подкормке дозами Zn₃₀, Cu₁₀, Cu₂₀ лабораторная всхожесть одинаковая и составила 98,7%.

При некорневой подкормке хелатными микроудобрениями в фазу выхода в трубку средняя энергия прорастания семян достоверно увеличивалась при удобрении – с 93,3 в контроле до 94,2-97,0 %. Всхожесть семян также увеличилась и составила 97,2-98,2 %. Наибольший средний показатель энергии прорастания семян – в вариантах Zn₁₀, Zn₃₀, Cu₁₀ соответственно 95,0; 95,2 и 97,2%, лабораторной всхожести – в вариантах Zn₃₀, Cu₁₀ (98,2 %).

В целом можно отметить достоверное влияние на энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян пшеницы яровой применения хелатов микроэлементов.

К основным физическим свойствам зерна и семян относятся натурная масса и масса 1000 зерен. Масса 1000 зерен определяет крупность и выполненность зерна. Высокое значение массы 1000 зерен указывает на большой запас питательных веществ в зерне. Показатель зависит от условий развития растений. Полновесное зерно формируется при полном удовлетворении потребности растений в период созревания в питании, влаге, температуре, при отсутствии негативных воздействий.

Одним из признаков, обуславливающих мукомольные достоинства пшеницы, является натурная масса (натура зерна). При определении в чистых от примесей и стандартных по влажности образцах этот показатель тесно связан с вы-

полненностью и плотностью зерна, а также его крупностью и формой. Существует положительная корреляционная зависимость между натурной массой и выходом муки. Натура зерна – изменчивый показатель, который зависит от сорта, погодных условий и уровня почвенного плодородия. Показателем натурального веса (вес 1 л зерна, выраженный в граммах) широко пользуются при оценке зерна пшеницы. Известно, что снижение натуры на 100 г приводит к недобору почти половины урожая [124, 136, 168].

При предпосевной обработке семян хелатом цинка наибольшая масса 1000 зерен сформировалась в варианте Zn₃₀ (30,69 г), по натуре зерна выделился вариант Zn₂₀ (706 г/л) (рисунки 6.11, 6.13). Оценка семян пшеницы яровой от хелата меди показала, что лучшим по массе 1000 зерен (31,26 г) был вариант Cu₃₀, а натуре зерна (715 г/л) – Cu₂₀ (рисунки 6.12, 6.14), при показателях в контроле 29,92 г и 693 г/л соответственно. В целом на массу 1000 зерен и натуру медные удобрения оказали большее влияние, чем цинковые.

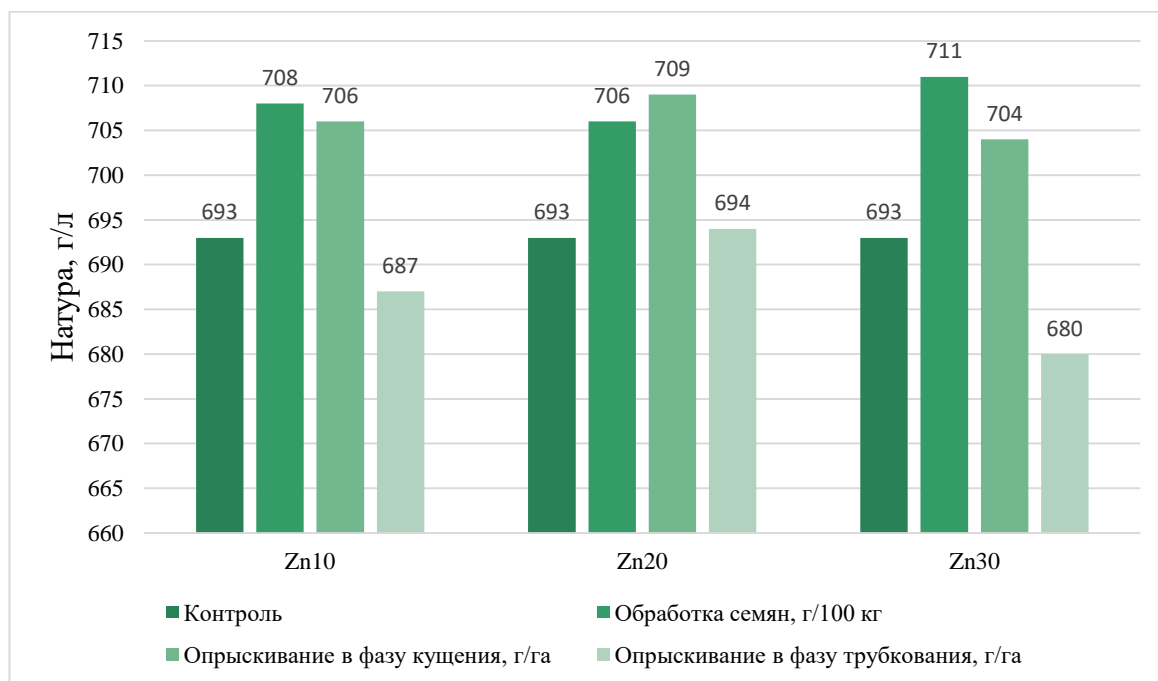


Рисунок 6.11 – Натура зерна яровой пшеницы в зависимости от доз и способов применения цинковых удобрений (среднее 2017-2019 гг.)

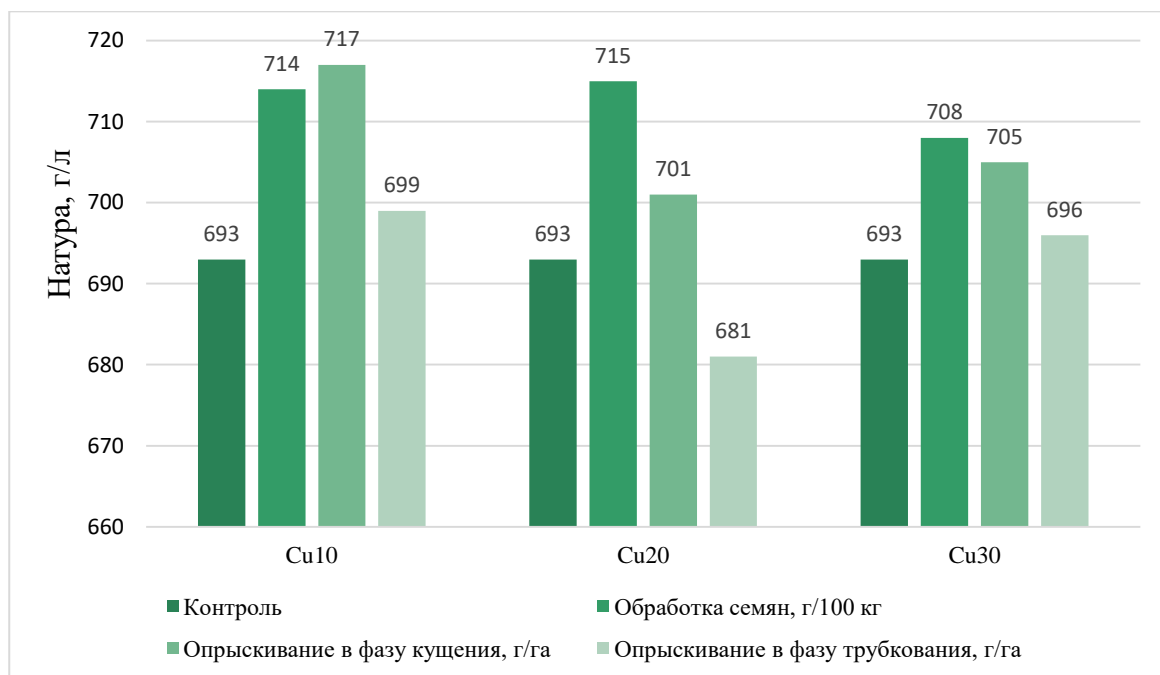


Рисунок 6.12 – Натура зерна яровой пшеницы в зависимости от доз и способов применения медных удобрений (среднее 2017-2019 гг.)

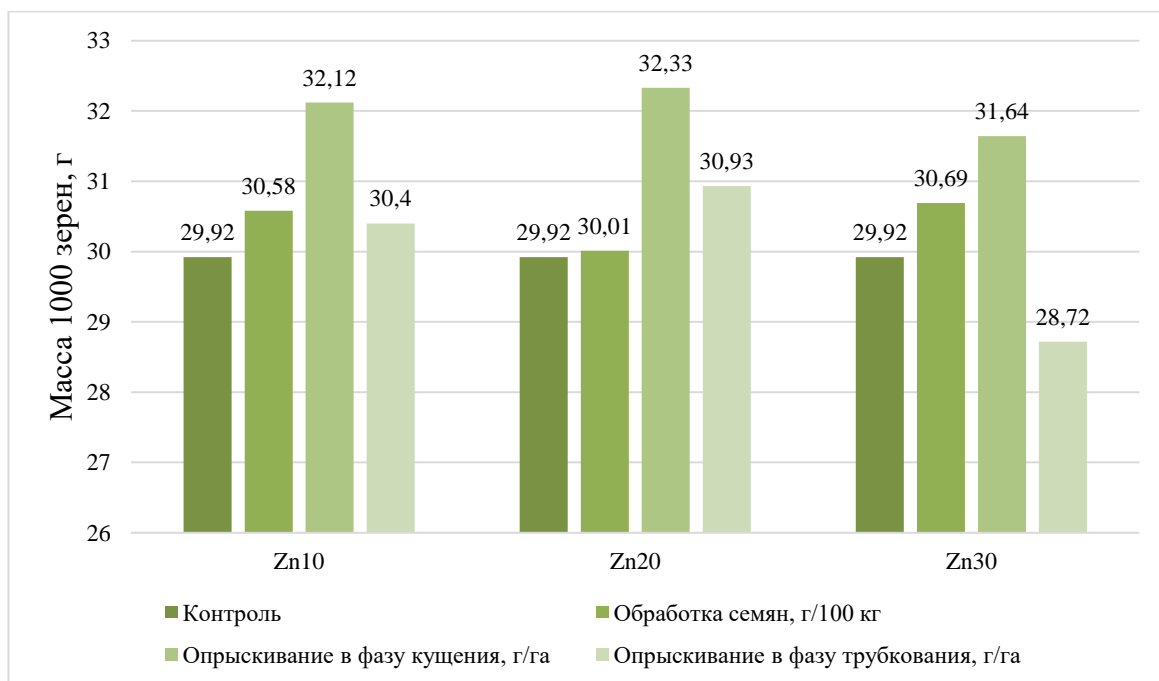


Рисунок 6.13 – Масса 1000 зерен яровой пшеницы в зависимости от доз и способов применения цинковых удобрений (среднее 2017-2019 гг.)

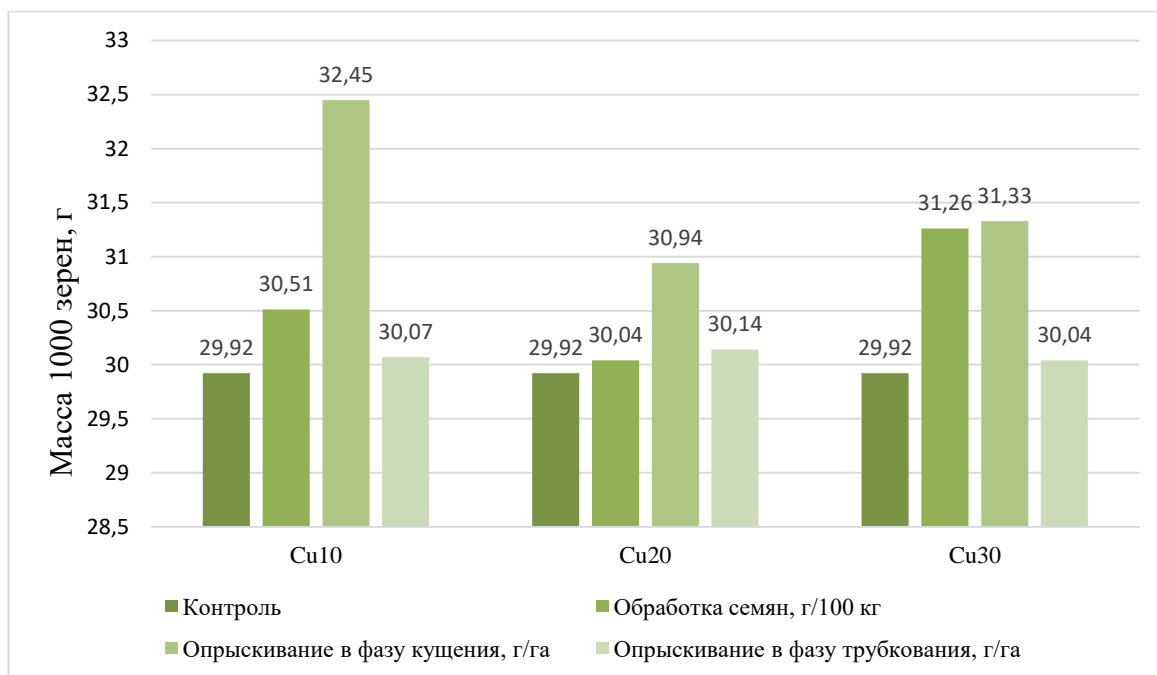


Рисунок 6.14 – Масса 1000 зерен яровой пшеницы в зависимости от доз и способов применения цинковых удобрений (среднее 2017-2019 гг.)

Применение хелатных микроудобрений методом некорневой подкормки в фазу кущения показали более высокие результаты, лучшим по массе 1000 зерен (32,45 г.) и по натуре зерна (717 г/л) характеризовался вариант Cu₁₀. От хелата цинка наибольшая масса 1000 зерен (32,33 г) и натура зерна (709 г/л) сформировались в варианте Zn₂₀ (рисунки 6.12, 6.14). От хелата меди наибольшим значением массы 1000 зерен характеризовался вариант Cu₁₀ (32,45 г), лучшим по натуре зерна был вариант Cu₁₀ (709 г/л).

Оценка семян пшеницы яровой при некорневой подкормке в фазу выхода в трубку показала, что лучшим по массе 1000 зерен (30,93 г) был вариант Zn₂₀, а по натуре зерна (699 г/л) был вариант Cu₁₀. При применении хелата цинка наибольшая масса 1000 зерен (30,93 г) и натура зерна (694 г/л) сформировалась в варианте Zn₂₀. От хелата меди наибольшим значением массы 1000 зерен характеризовался вариант Cu₂₀ (30,14 г), лучшим по натуре зерна был вариант Cu₂₀ (699 г/л). При этом и по массе 1000 зерен, и по натуре, и по энергии прорастания

2018 г. 2019 г. уступали 2017 г. Вероятно, сказалось недостаточное количество тепла в эти годы (приложения А, З). В результате качество семян оказалось сниженным.

Таким образом, лучшими посевными качествами семян характеризовались варианты применения хелатов при опрыскивании яровой пшеницы в фазу выхода в трубку, несколько более низкие значения изучаемых показателей отмечались при обработке семян. Более высокая энергия прорастания семян – в вариантах обработки хелатами цинка, лабораторная всхожесть была выше при использовании хелата меди. На массу 1000 зерен и натуру медные удобрения оказали большее влияние, чем цинковые, при этом более высокие показатели сформировались при обработке семян и опрыскивании в фазу кущения.

7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОУДОБРЕНИЙ ПОД ПШЕНИЦУ ЯРОВУЮ

Важнейшей задачей сельского хозяйства является обеспечение населения страны продовольствием, а перерабатывающей промышленности необходимым сырьем. Решение этой задачи связано с дальнейшей интенсификацией отрасли, ускорением научно-технического прогресса, совершенствований экономических отношений, развитием разнообразных форм собственности и видов хозяйствования.

Экономическая эффективность – показатель, определяемый соотношением экономического результата и затрат, породивших этот результат. Иными словами, чем меньше объем затрат и чем больше величина результата хозяйственной деятельности, тем выше эффективность.

Зерно – основной продукт сельского хозяйства. Производство зерна всегда рентабельно, при благоприятной погоде его рентабельность составляет не менее 50 %. Зерно необходимо для успешного развития всех отраслей сельского хозяйства, а также для увеличения количества продуктов животноводства (мяса, молока, масла и др.), так как является одной из основ кормовой базы.

При определении фактической экономической эффективности применения удобрений под сельскохозяйственные культуры оценивают прибавку урожая по текущим ценам. Это позволяет выявить целесообразность вложений в полученную прибавку урожая от удобрений [2, 76]. Все основные затраты, связанные с возделыванием яровой пшеницы, уборкой дополнительной продукции от применения минеральных удобрений, транспортировкой, погрузкой – разгрузкой рассчитывали по нормативам затрат, применяемых в ООО «Сосновское» Омской области в 2020 г.

Для расчета экономической эффективности удобрения яровой пшеницы использовали данные по урожайности в зависимости от доз и способов применения хелатов (таблицы 7.1, 7.2).

Таблица 7.1 – Экономическая эффективность применения хелатных форм цинковых и медных удобрений методом обработки семян (г/100 кг) при возделывании яровой пшеницы (среднее 2017-2019 гг.)

Показатель	Zn			Cu		
	10	20	30	10	20	30
Прибавка урожая, т/га	0,08	0,20	0,15	0,05	0,14	0,15
Затраты, связанные с применением удобрений, руб./га	587,2	786,6	892,3	545,5	702,9	816,4
Цена реализации, руб./т	11000	11000	11000	11000	11000	11000
Стоимость дополнительной продукции, руб./га	880	2200	1650	550	1540	1650
Условный чистый доход, руб./га	292,8	1413,4	757,7	4,5	837,1	833,6
Рентабельность, %	49,9	179,7	84,9	0,8	119,1	102,1

В наших экспериментах чистый доход, полученный от применения микроудобрений, составил 4,5-1481,3 руб./га в зависимости от варианта. Рассчитанная рентабельность показала, что этот прием под яровую пшеницу экономически выгоден. Уровень рентабельности лучших вариантов по урожайности составил 66,5-179,7%. При этом можно отметить, что некорневая подкормка в фазу выхода в трубку менее рентабельна, чем обработка семян и подкормка в фазу кущения.

Таблица 7.2 – Экономическая эффективность применения хелатных форм цинковых и медных удобрений методом некорневой подкормки (г/га) яровой пшеницы (среднее 2017-2019 гг.)

Показатель	Zn			Cu		
	10	20	30	10	20	30
Опрыскивание в фазу кущения						
Прибавка урожая, т/га	0,1	0,2	0,23	0,2	0,17	0,2
Затраты, связанные с применением удобрений, руб./га	825,1	958,1	1048,6	890,2	953,8	1050,5
Цена реализации, руб./т	11000	11000	11000	11000	11000	11000
Стоимость дополнительной продукции, руб./га	1100	2200	2530	2200	1870	2200
Условный чистый доход, руб./га	274,9	1241,9	1481,3	1309,8	916,2	1149,5
Рентабельность, %	33,3	129,6	141,3	147,1	96,1	109,4
Опрыскивание в фазу выхода в трубку						
Прибавка урожая, т/га	0,03	0,14	0,13	0,11	0,16	0,14
Затраты, связанные с применением удобрений, руб./га	790,5	925,0	933,5	840,58	948,2	777,4
Цена реализации, руб./т	11000	11000	11000	11000	11000	11000
Стоимость дополнительной продукции, руб./га	330	1540	1430	1210	1760	1540
Условный чистый доход, руб./га	- 460,5	614,9	436,5	369,4	811,8	762,6
Рентабельность, %	- 58,3	66,5	43,9	43,9	85,6	98,1

В лучших вариантах по урожайности с применением хелата цинка при обработке семян и подкормке в фазу кущения этот показатель составил соответственно 179,7 и 141,3 %, при использовании хелата меди – 119,1 и 96,1 %. В фазу выхода в трубку уровень рентабельности существенно ниже, в лучших вариантах по урожайности составил при применении халата цинка 66,5%, меди – 85,6%.

Анализируя экономические показатели, можно сделать вывод, что внесение микроудобрений под яровую пшеницу на лугово-черноземных почвах южной лесостепи Омского Прииртышья экономически выгодно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В 2017-2019 гг. при возделывании яровой пшеницы сорта Памяти Азиева на лугово-черноземной почве лесостепи Западной Сибири установлено, что применение хелатных форм цинковых и медных удобрений различными способами является эффективным. Наиболее эффективной дозой хелатов цинка и меди при предпосевной обработке семян является 20 г/100 кг (получена прибавка урожайности зерна 0,20 т/га или 9,1 % к контролю и 0,14 т/га или 6,4 % соответственно), при некорневой подкормке в фазу кущения – 20 и 10 г/га соответственно (0,20 т/га или 9,1 %), при некорневой подкормке в фазу выхода в трубку – 20 г/га (0,14 т/га или 6,4 %; 0,16 т/га или 7,3 %). Лучший результат от применения хелата цинка получен при обработке семян и некорневой подкормке в фазу кущения, а хелата меди – некорневой подкормке в фазу кущения.

2. Полевая всхожесть семян яровой пшеницы увеличилась при применении цинковых удобрений способом обработки семян до 75,4-91,5 %; медных удобрений – 81,0-87,1 % (контроль – 70,3). Выживаемость растений в зависимости от доз и способов применения цинковых удобрений повысилась до 57,5-82,7 %, медных удобрений – 64,6-78,9 % (контроль – 55,0).

3. Применение хелатов цинка и меди позитивно влияли на характеристики структуры урожая. Продуктивная кустистость при применении цинковых удобрений повысилась до 3,10-3,77 шт., медных удобрений – 2,90-3,35 шт. (контроль – 2,83). Наибольшее количество зерен в главном колосе при обработке хелатом цинка сформировалось в варианте опрыскивания в фазу выхода в трубку дозой 30 г/га – 45,42 шт., хелатом меди при обработке семян Cu_{20} – 44,08 шт. (контроль – 41,9). Масса зерна главного колоса в лучших вариантах по урожайности составила 1,32-1,47 г (в контроле – 1,28 г).

4. Выявлена зависимость коэффициентов использования (%) элементов из почвы (КИП) от доз микроудобрений. Определены агрохимические нормативы при возделывании яровой пшеницы: КИП, % (N – 87; P_2O_5 – 8, K_2O – 6, Zn – 7,

Cu – 3,5); затраты макроэлементов для создания 1 тонны зерна (кг) N – 35, P₂O₅ – 20, K₂O – 24 и микроэлементов (г) – Zn – 50, Cu – 3; азот текущей нитрификации – 54 кг/га.

5. Определены оптимальные уровни содержания азота, фосфора, калия цинка, меди в растениях по фазам развития как физиологические характеристики сбалансированного, оптимального питания растений. Получены нормативные параметры расчета доз удобрений (минимальная норма потребления цинка и меди растением, г/га: фаза кущения – Zn – 9, Cu – 2; фаза выхода в трубку – Zn – 20, Cu – 4) для применения в период вегетации по формуле $D = K_p \cdot H$.

6. Применение хелатов цинка и меди различными способами положительно повлияли на содержание белка и клейковины в зерне. Максимальные показатели содержания белка получены при некорневой подкормке в фазу кущения Zn₂₀ (14,35 %), клейковины – при предпосевной обработке семян Zn₂₀ (27,9 %). Выявленные зависимости между дозами цинковых и медных удобрений и содержанием цинка, меди и белка в зерне позволяют прогнозировать качество урожая.

7. Применение цинковых и медных удобрений влияет на качественные характеристики белка, сумма аминокислот повышается с 7,4 % без удобрений до 8,1 % при некорневой подкормке в фазу кущения Cu₂₀ и 7,71 % – Zn₁₀. При некорневой подкормке в фазу выхода в трубку – до 7,93% (Zn₂₀) и 7,77 % (Cu₁₀). Обработка семян не повлияла на сумму аминокислот.

8. Применение микроудобрений улучшает качество посевного материала, существенно повышая массу 1000 семян (с 29,92 г в контроле до 32,45 г), лабораторную всхожесть (с 97,3 % до 98,8%) и энергию прорастания (с 93,3% до 98 %). Натура зерна в лучших вариантах по урожайности составила 706-717 г/л (в контроле 693 г/л). Применение хелатов некорневой подкормкой в фазу кущения показало более высокие результаты по всем показателям качества посевного материала.

9. Применение хелатных форм цинковых и медных удобрений под яровую пшеницу является экономически эффективным. Условный чистый доход составил в лучших вариантах: при обработке семян хелатами цинка – 1413,4 руб./га (рентабельность 179,7 %) и меди – 837,1 руб./га (119,1 %); при некорневой подкормке в фазу кущения соответственно 1481,3 руб./га (141,3 %) и 1149,5 руб./га (109,4 %); фазу выхода в трубку – 614,9 руб./га (66,5 %) и 811,8 руб./га (85,6 %).

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Для получения максимального урожая высокого качества зерна пшеницы яровой при низком содержании подвижных цинка и меди в лугово-черноземной почве необходимо применять дозы хелатов цинка и меди (в одну из фаз, учитывая производственную целесообразность):

- при обработке семян, г на 100 кг семян: Zn – 20, Cu – 20;
- при некорневой подкормке в фазу кущения, г/га: Zn – 20, Cu – 10;
- при некорневой подкормке в фазу выхода в трубку, г/га: Zn – 20, Cu – 20.

Для оптимизации минерального питания следует применять агрохимические нормативы:

- коэффициенты использования элементов питания из почвы (КИП, %):
N – 87; P₂O₅ – 8, K₂O – 6, Zn – 7; Cu – 3,5;
- затраты макроэлементов для создания 1 тонны зерна, кг:
N – 35; P₂O₅ – 20; K₂O – 24;
- затраты микроэлементов для создания 1 тонны зерна, г:
Zn – 50, Cu – 3;
- оптимальные уровни содержания и соотношения элементов питания в растениях;
- минимальная норма потребления цинка и меди растением, г/га:
фаза кущения – Zn – 9, Cu – 2;
фаза выхода в трубку – Zn – 20, Cu – 4;
- формулы расчета доз цинковых и медных удобрений для дополнительного внесения в период вегетации: $D = Kп \cdot H$, г/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев В.А. Содержание меди и молибдена в дерново-подзолистых почвах Омского Прииртышья и отзывчивость яровой пшеницы на микроэлементы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / В.А. Агеев. – Омск, 1980. – 16 с.
2. Агрохимия: учебник / В.Г. Минеев [и др.]. – М.: Изд-во ВНИИА им. Прянишникова, 2017. – 854 с.
3. Агроэкологический мониторинг в Омской области: учеб. пособие / В.М. Красницкий, И.А. Бобренко, В.И. Попова, И.В. Цыплёнова. – Омск: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2016. – 52 с.
4. Агроклиматический справочник по Омской области: Гидрометеоиздат, 1959. – 188 с.
5. Азаренко Ю.А. Закономерности содержания и распространения микроэлементов (Mn, Cu, Zn, Co, Mo, B) в почвах лесостепной и степной зон Омского Прииртышья / Ю.А. Азаренко // Омский научный вестник. – 2012. – №2(114). – С. 218-223.
6. Азаренко Ю.А. Содержание микроэлементов в почвах и почвенно-геохимическое районирование Омской области / Ю.А. Азаренко, Я.Р. Рейнгард // Омский научный вестник. – 2012. – №1(108). – С. 188-192.
7. Азаренко Ю.А. Закономерности содержания, распределения, взаимосвязей микроэлементов в системе почва-растение в условиях юга Западной Сибири: монография / Ю.А. Азаренко. – Омск: Вариант-Омск, 2013. – 232 с.
8. Азаренко Ю.А. Цинк в почвах агроценозов Омского Прииртышья и эффективность применения цинковых удобрений / Ю.А. Азаренко, Ю.И. Ермохин, Ю.В. Аксенова // Земледелие. – 2019. – № 2. – С.13-17.
9. Амиров М.Ф. Влияние уровня минерального питания и микроэлементов на формирование урожая яровой пшеницы / М.Ф. Амиров, Д.И. Толочков // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33. – № 5. – С. 18-20.

10. Анспок П.И. Микроудобрения: справочник / П.И. Анспок. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Агрохимиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 272 с.
11. Аристархов А.Н. Приоритеты применения различных видов, способов и доз микроудобрений под озимые и яровые сорта пшеницы в основных природно-сельскохозяйственных зонах России / А.Н. Аристархов, Н.Н. Бушуев, К.Г. Сафонова // Агрохимия. – 2012. – №9. – С. 26-40.
12. Аристархов А.Н. Рекомендации по применению микроудобрений под озимую и яровую пшеницу в различных природно-сельскохозяйственных зонах России / А.Н. Аристархов, К.Г. Сафонова, А.В. Волков. – Москва: ВНИИА, 2012. – 23 с.
13. Аюба С.А. Влияние микроэлементов на продуктивность и качество зерна яровой пшеницы при различной водообеспеченности: автореф. дис. ... канд. биол. наук / С.А. Аюба. – Москва. – 1992. – 20 с.
14. Битюцкий Н.П. Необходимые микроэлементы растений / Н.П. Битюцкий. – СПб.: Изд-во ДЕАН, 2005. – 256 с.
15. Битюцкий Н.П. Роль комплексонов в регуляции питания растений микроэлементами: автореф. дис. ... док. б. наук / Н.П. Битюцкий. – Москва, 1993. – 32 с.
16. 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 государственного аграрного университета. – 2016. – №1 (21). – С. 70-76.
17. Бобренко И.А. Биоэнергетическая эффективность применения удобрений под озимую пшеницу в Западной Сибири / И.А. Бобренко, В.И. Попова, Н.В. Гоман // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2014. – №1(13). – С.3-9.
18. Бобренко И.А. Биоэнергетическая эффективность применения удобрений под озимое 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.

19. Бобренко И.А. Метод диагностики потребности озимой пшеницы в цинковых удобрениях на основе полевого опыта / И.А. Бобренко, В.И. Попова, Н.В. Гоман // Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Перспективы производства продуктов питания нового поколения», посвященная памяти Сапрыгина Г. П. (13-14 апреля 2017 г.). – Омск: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2017. – С. 194-197.

20. 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.

21. Бобренко И.А. Оптимизация минерального питания кормовых, овощных культур и картофеля на черноземах Западной Сибири: дис. ... д-ра с.-х. наук / И.А. Бобренко. – Омск, 2004. – 446 с.

22. 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.

23. 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.

24. Бобренко И.А. Эффективность применения цинковых удобрений под озимую пшеницу в условиях лесостепи Западной Сибири / И.А. Бобренко, В.И. Попова, Н.В. Гоман // Международная научно-практическая конференция «Научные инновации – аграрному производству», посвященная 100-летию Омского ГАУ (21 февраля 2018 г.).– Омск: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2018. – С. 58-61.

25. 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.
26. Богданов Н.Н. Некоторые принципиальные особенности чернозёмов Западной Сибири / Н.Н. Богданов // Науч. тр. Омского с.-х. ин-та. – Омск, 1969. – Т. 73. – С. 11-22.
27. Болдырев Н.К. Анализ листьев как метод определения потребности растений в удобрениях: учеб. пособие / Н.К. Болдырев. – Омск: ОмСХИ, 1970. – 125 с.
28. Болдырев Н.К. Использование нормативных показателей в методе листовой диагностики для расчета норм удобрений на запланированный урожай пшеницы // Агрохимия. – 1982. – № 2. – С. 105-113.
29. Болдырев Н.К. Комплексный метод листовой диагностики, условий питания, величины и качества урожая сельскохозяйственных культур: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / Н.К. Болдырев. – М., 1972. – 48 с.
30. Болдырев Н.К. Планирование урожая по данным полевых опытов / Н.К. Болдырев, Г.С. Липкина, Л.С. Могиндовид. – М: ВНИИТЭИСХ, 1979. – 50 с.
31. Болдышева Е.П. Диагностика и оптимизация микроэлементного питания озимой ржи на лугово-чернозёмной почве Западной Сибири: дис. ... канд. с.-х. наук / Е.П. Болдышева. – Омск, 2018. – 167 с.
32. 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.
33. Боулд К. Анализ листьев как средство определения обеспеченности ягодных культур элементами минерального питания / К. Боулд // Анализ растений и проблемы удобрения. – М., 1964. – С. 25-39.

34. Васильев А.А. Фолиарная обработка микроудобрением Тенсо-коктейль повышает урожайность и качество клубней картофеля / А.А. Васильев // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2013. – №3 (34). – С.18-23.
35. Вернадский В.И. Избранные сочинения / В.И. Вернадский. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – Т.1. – 696 с.
36. Вильдфлуш И. Р. Агроэкономическая оценка применения новых форм удобрений и регуляторов роста при возделывании гороха / И. Р. Вильдфлуш, О. И. Мишура, О. В. Малашевская // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – №1. – С.74-78.
37. Вильдфлуш И. Р. Продуктивность, вынос элементов питания и агроэкономическая эффективность применения макро-, микроудобрений и регуляторов роста при возделывании яровой и озимой пшеницы / И. Р. Вильдфлуш, О. И. Мишура, С. Р. Чуйко // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – №1. – С.23-27.
38. Вильдфлуш И. Р. Эффективность применения микроудобрений в хелатной форме при возделывании яровой пшеницы // И.Р. Вильдфлуш, О.И. Мишура / Почвоведение и агрохимия. – 2010. – № 2 (45). – С. 172-180.
39. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1957. – 238с.
40. Виноградов А.П. Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой /А.П. Виноградов // Микроэлементы в жизни растений и животных. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – С. 7-20.
41. Власюк П.А. Биологические элементы в жизнедеятельности растений: Монография / П.А. Власюк. – Киев: Наукова думка, 1969. – 516 с.
42. 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 государственного аграрного университета. – 2020. – №8 (160). – С. 2-12.

43. Влияние предпосевной обработки микроэлементами на прорастание семян яровой пшеницы / Н. А. Воронкова, В. А. Волкова, Н. Ф. Балабанова, В. Д. Дороненко, Н. А. Цыганова // Безопасность городской среды: Материалы VI Международной научно-практической конференции (21-23 ноября 2018 г.). – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2019. – С. 9-14.

44. 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.

45. 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.

46. Волков А.В. Эффективность применения различных способов, форм и доз цинковых удобрений под яровую пшеницу на дерново-подзолистых почвах: дис. ... канд. биол. наук / А.В. Волков. – Москва, 2015. – 122 с.

47. Волков Е.Д. Листовая диагностика условий минерального питания и качества урожая яровой пшеницы и кукурузы в условиях Северо-Казахстанской и Омской областей: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. / Е.Д. Волков. – Пермь, 1969. – 24 с.

48. Волкова В.А. К вопросу о применении соединений меди в технологии возделывания яровой мягкой пшеницы / В.А. Волкова // Агрехимический вестник. – 2020. – № 2. – С. 68-72.

49. Воронкова Н.А. Оптимизация минерального питания сои на черноземных почвах Южной Лесостепи Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Н.А. Воронкова. – Омск, 1999. – 16 с.

50. Гайсин И.А. Микроудобрения в современной земледелии / И.А. Гайсин, Р.Н. Сагитова, Р.Р. Хабибуллин // Агрехимический вестник. – 2010. – №4. – С. 13-15.

51. Гайсин И.А. Научные основы регулирования круговорота микро-, макроэлементов в интенсивном земледелии лесостепной зоны Поволжья: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / И.А. Гайсин. – Москва, 1989. – 44 с.

52. Гайсин И.А. Эффективность некорневой подкормки хелатным микроудобрением в сочетании с азотом в технологии возделывания яровой пшеницы на серых лесных почвах республики Татарстан / И.А. Гайсин, М.Г. Муртазин, С.Г. Муртазина // Зерновое хозяйство России. – 2014. – № 2. – С. 1-7.

53. Гайсин И.А. Хелатные микроудобрения: практика применения и механизм действия: монография / И.А. Гайсин, В.М. Пахомова. – Казанский ГАУ. – Йошкар-Ола, 2014. – 344 с.

54. Гайсин И.А. Хелатные микроудобрения препараты (ЖУСС) на посевах яровой пшеницы / И.А. Гайсин, М.Г. Муртазин // Агрохимический вестник. – 2006. – № 5. – С. 16-17.

55. Галияхметов И.В. Физиолого-биохимические механизмы положительного последствия некорневой обработки яровой пшеницы жидким микроудобрением ЖУСС-2: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / И.В. Галияхметов. – Казань: КазГАУ. – 2007. – 19 с.

56. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах: монография / Г.П. Гамзиков. – Новосибирск: РАСХН, Сиб. отд-ние, 2013. – 790 с.

57. Гамзиков Г.П. Содержание микроэлементов (Mn, Cu, Zn, Co) в почвах Омской области и отзывчивость бобовых на микроудобрения: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Г.П. Гамзиков. – Омск: ОмСХИ. – 1967. – 20 с.

58. Глуховцев В. В. Применение листовых подкормок как элементов технологии возделывания ярового ячменя в условиях лесостепи Самарского Заволжья / В. В. Глуховцев, Н.В. Санина, А.А. Апаликов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – №6. – С.20-23.

59. Гоман Н. В. Влияние микроудобрений на структуру урожая озимой пшеницы / Н.В. Гоман, В.И. Попова, И.А. Бобренко // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2016. – №1. – С. 114-117.

60. 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. – С. 38-42.

61. Гоман Н.В. Эффективность предпосевной обработки семян хелатами цинка и меди при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири / Н.В. Гоман, В.В. Попова, И.А. Бобренко, А.А. Гайдар // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. – 2019. – №4 (36). – С. 6-12.

62. Гречишкина О.С. Формирование урожая и качество зерна озимой пшеницы при разработке элементов адаптивной технологии ее возделывания: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / О.С. Гречишкина. – Оренбург: Изд-во ОГАУ, 2008. – 16 с.

63. Губарева В.Т. Эффективность применения микроудобрений Лигнас и Лаварин на озимой пшенице / В.Т. Губарева, В.Н. Зайцев // *Научный журнал КубГАУ: политематический сетевой электронный науч. журн.* – 2010. – № 59(05). – С. 1-11.

64. Действие микроудобрений на урожайность, сбор белка, качество продукции зерновых и зернобобовых культур / Аристархов А.Н. [и др.] // *Агрохимия*. – 2010. – №9. – С. 36-42.

65. Диагностика и классификация почв Омской области и их сельскохозяйственное использование / Я.Р. Рейнгард [и др.]. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2000. – 67 с.

66. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – 5-е изд. доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

67. Егоров В.С. Поступление Cu, Zn и Mn в растениях ячменя и пшеницы на дерново-подзолистой почве с разным содержанием фосфора / В.С. Егоров // *Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах*. – М., 1994. – С. 124-129.

68. Ермохин Ю.И. Агроэкологическая оценка действия кадмия, никеля, цинка в системе почва-растение-животное: монография / Ю.И. Ермохин, Н.К. Трубина, А.В. Синдирёва. – Омск: ОмГАУ, 2002. – 117 с.

69. Ермохин Ю.И. Взаимосвязи в питании растений: монография / Ю. И. Ермохин, А. В. Синдирева. – Омск: Вариант-Омск, 2011. – 208 с.
70. Ермохин Ю.И. Исторические аспекты развития метода комплексной диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / Ю.И. Ермохин, И.А. Бобренко, Е.Г. Бобренко // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2017. – №2 (9). – С. 6.
71. Ермохин Ю.И. Оптимизация минерального питания и качества урожая картофеля и овощных культур: дис. ... д-ра с.-х. наук. – Омск, 1983. – 437 с.
72. Ермохин Ю.И. Оптимизация минерального питания сельскохозяйственных культур (на основе «ПРОД»): монография / Ю.И. Ермохин, И.А. Бобренко. – Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2005. – 284 с.
73. Ермохин Ю.И. Оптимизация питания и эффективность применения цинковых удобрений под кукурузу на зерно в условиях лесостепи Омской области / Ю.И. Ермохин, М.А. Складорова // Вестник Бурятской ГСХА им. В.Р. Филиппова. – Улан-Удэ, 2007. – Вып. IV(9). – С. 39-45.
74. Ермохин Ю.И. Плодородие почвы и факторы внешней среды – основа программирования урожая: учеб. пособие / Ю.И. Ермохин, Н. К. Трубина. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2012. – 136 с.
75. Ермохин Ю.И. Почвенно-растительная оперативная диагностика «ПРОД-ОмСХИ» минерального питания, эффективности удобрений, величины и качества урожая сельскохозяйственных культур: монография / Ю.И. Ермохин. – Омск: ОмГАУ. – 1995. – 208 с.
76. Ермохин Ю.И. Экономическая и биоэнергетическая оценка применения удобрений: методические рекомендации / Ю.И. Ермохин, А.Ф. Неклюдов. – Омск, 1994. – 44 с.
77. Есаулко А.Н. Влияние микроудобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на черноземе выщелоченном / А.Н. Есаулко, Ю.И. Гречишкина, А.Ю. Олейников // Агротехнический вестник. – 2011. – № 4. – С. 10-12.

78. Есаулко А.Н. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от способов применения микроудобрений на черноземе выщелоченном / А.Н. Есаулко, Ю.И. Гречишкина, А.Ю. Олейников // Значение и перспективы агрохимических исследований в повышении продуктивности земледелия: материалы научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Г. Л. Мокриевича. 27-28 сентября. – пос. Персиановский: Изд-во Донского ГАУ, 2011. – С. 77-82.

79. Еськин В.Н. Влияние некорневой подкормки регуляторами роста и микроудобрениями на продуктивность тритикале / В.Н. Еськин, А.Н. Кшникаткина, А.В. Самойленко // Зерновое хозяйство. – 2007. – №7. – С. 11-12.

80. Журбицкий З.И. Потребность растений в питании как основа применения удобрений / З.И. Журбицкий. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 60 с.

81. Журбицкий З.И. Физиологические и агрохимические основы применения удобрений / З.И. Журбицкий. – М.: АН СССР, 1963. – 294 с.

82. Зырин Н.Г. Формы соединений цинка в почвах и поступление его в растения / Н.Г. Зырин, В.И. Рерих, Ф.А. Тихомиров. – Агрохимия. – 1976. – №5. – С. 124-132.

83. Ильин В.Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области: монография / В. Б. Ильин, А.И. Сысо. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.

84. Ильин В.Б. Содержание и соотношение химических элементов в растениях / В.Б. Ильин // Изв. Сиб. отд. АН СССР, Сер.биол. наук. – Новосибирск, 1981. – Вып. 3. – №15.– С.54-56.

85. Ильин В.Б. Элементный химический состав растений / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1985. – 129 с.

86. Интенсификация продукционного процесса растений микроэлементами. Приемы управления / Сычев В.Г. [и др.]. – М., 2009. – 520 с.

87. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 440 с.

88. Каталымов М.В. Микроэлементы и микроудобрения / М.В. Каталымов. – М.-Л.: Химия, 1965. – 329 с.
89. Качество кормовых культур региона (на примере Омской области): учебно-справочное издание / В.М. Красницкий, И.А. Бобренко, Е.Г. Пыхтарева, В.И. Попова. – Омск: ЛИТЕРА, 2017. – 72 с.
90. Кашин В.К. Особенности накопления микроэлементов в зерне пшеницы в Западном Забайкалье / В.К. Кашин, Л.Л. Убугунов // Агрохимия. – 2012. – № 4. – С. 68-76.
91. Кидин В.В. Особенности питания и удобрения сельскохозяйственных культур: учеб. пособие / В.В. Кидин. – М.: Изд-во РГАУ – МСХА им. Тимирязева, 2009. – 412 с.
92. Климат Омска. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 246 с.
93. Ковальский В.В. Геохимическая экология / В.В. Ковальский. – М.: Наука, 1974. – 300 с.
94. Коларжик И. Анализ растений как метод изучения правильного питания растений / И. Коларжик // За социалистическую науку. – 1959. – №6. – С. 615-641.
95. Коровин А.И. Растения и экстремальные температуры / А.И. Коровин. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 272 с.
96. Кочергин А.Е. Диагностика потребности сельскохозяйственных культур в азотных удобрениях на чернозёмах Западной Сибири // Химия в сельском хозяйстве. – 1974. – № 2. – С. 9-11.
97. Кочергин А.Е. Условия питания зерновых культур азотом, фосфором и калием и применение удобрений на черноземах Западной Сибири: автореф. дис. ...д-ра с.-х. наук / А.Е. Кочергин. – Омск: ОмСХИ, 1965. – 37 с.
98. Красницкий В.М. Динамика плодородия пахотных почв Омской области и эффективность использования средств его повышения в современных условиях / В.М. Красницкий, А.Г. Шмидт // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 7. – С. 34-37.

99. Красницкий В.М. Содержание микроэлементов в системе почва-растение в агроценозах Омского Прииртышья / В.М. Красницкий, Ю.А. Азаренко // Плодородие. – 2017. – № 5(98). – С. 28-31.

100. Красницкий В.М. Содержание цинка в почвах Омской области / В.М. Красницкий, А.Г. Шмидт, А.А. Цырк // Плодородие. – 2014. – №4(79). – С. 36-37.

101. Красницкий В.М. Эколого-агрохимические аспекты распространения содержания меди в почвах Омской области / В.М. Красницкий, А.Г. Шмидт, А.А. Цырк // Плодородие. – 2019. – №3(108). – С. 56-58.

102. Красницкий В.М. Эколого-агрохимическая оценка плодородия почв и эффективности применения удобрений в Западной Сибири: дис. ... д-ра с.-х. наук / В.М. Красницкий. – Омск, 2002. – 52 с.

103. Кривобочек В. Г. Реакция сорта яровой мягкой пшеницы Архат на применение комплексных удобрений / В. Г. Кривобочек, С. А. Семина, Н. И. Остроборова // Нива Поволжья. – 2017. – №2 (43). – С.24-27.

104. Кудашкин М.И. Эффективность подкормок медью и марганцем и динамика содержания этих элементов в почвах / М.И. Кудашкин, М.М. Гераськин, И.И. Игонов // Земледелие, 2008. – №3. – С. 18-20.

105. Кузнецова Н.А. Продукционные и физиолого-биохимические процессы яровой пшеницы в связи с качеством урожая при некорневой обработке микроудобрением ЖУСС-2: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Н.А. Кузнецова. –Казань: КГАУ. – 2010. – 19 с.

106. Кшникаткина А.Н. Комплексные водорастворимые удобрения, регуляторы роста и бактериальные препараты в технологии возделывания яровой тритикале / А.Н. Кшникаткина // Земледелие. – 2017. – №1. – С.40-43.

107. Кшникаткина А.Н. Эффективность применения регуляторов роста, комплексных удобрений и бактериальных препаратов при возделывании полевого гороха (*pisum arvense* l.) / А. Н. Кшникаткина, П. Г. Аленин // Нива Поволжья. – 2011. – №2(19). – С. 22-27.

108. Лабораторно-практические занятия по почвоведению: учебное пособие / М.В. Новицкий, И.Н. Донских, Д.В. Чернов [и др.]. – СПб.: Проспект Науки, 2009. – 320 с.
109. Ламбин А.З. Влияние меди, цинка и стронция на рост, урожай и состав яровой пшеницы / А.З. Ламбин // Тр. ОмСХИ. – Т.21. – Омск, 1949. – С. 39-89.
110. Ламбин А.З. Действие микроэлементов, внесенных разными способами, на урожай яровой пшеницы, проса, суданской травы и кукурузы / А.З. Ламбин // Тр. ОмСХИ. – Т.37. – Омск, 1959. – С. 31-39.
111. Логановский Я.М. Применение марганца, цинка и меди для удобрений в условиях Латвийской ССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Я.М. Логановский. – Рига, 1952. – 24 с.
112. Лукин С.В. Закономерности накопления цинка в сельскохозяйственных растениях / С.В. Лукин, И.Е. Солдат, Е.А. Пендюрин // Агрохимия. – 1999. – № 2. – С.79-82.
113. Лукин С.В. Цинк в агроландшафтах Белгородской области / С.В. Лукин, П.М. Авраменко // Агрохимический вестник. – 2005. – №5. – С. 4-5.
114. Магницкий К.П. Взаимосвязи в питании растений / К.П. Магницкий // Агрохимия. – 1967. – №10. – С. 32-46.
115. Магницкий К.П. Диагностика потребности растений в удобрениях / К.П. Магницкий. – М.: Московский рабочий, 1972. – 271 с.
116. Мамилов Ш.З. Цинк в почвах и питание растений цинком / Ш.З. Мамилов, А.К. Саданов, А.Н. Илялетдинов // Агрохимия. – 1987. – №4. – С. 107-116.
117. Микроэлементы в растениеводстве Сибири и Дальнего Востока / В.Е. Шевчук [и др.]. – Иркутск: Восточно-Сибирское кн. изд-во, 1974. – 212 с.
118. Микроэлементы в сельском хозяйстве / С.Ю. Булыгин [и др.]. – Днепрпетровск: «Січ», 2007. – 100 с.
119. Минеев В.Г. Цинк в окружающей среде / В.Г. Минеев, А.А. Алексеев, Т.А. Тришина // Агрохимия. – 1984. – №3. – С.94-103.

120. Михайлов Н.Н. Определение потребности растений в удобрениях/ Н.Н. Михайлов, В.П. Книпер. – М.: Колос, 1971. – 256 с.

121. Мишин П.Я. Динамика содержания меди и цинка в яровой пшенице по фазам развития / П.Я. Мишин // Агрохимия. – 1967. – №2. – С.62-66.

122. Мищенко Л.Н. Почвы Западной Сибири: учеб. пособие / Л.Н. Мищенко, А.Л. Мельников, Ю.В. Аксенова. – 2-е изд., доп. – Омск: ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2018. – 284 с.

123. Мокриевич Г.Л. Цинковые удобрения / Г.Л. Мокриевич, З.И. Шлавицкая. – Алма-Ата: Кайнар, 1972. – 140 с.

124. Мосолов И.Ф. Физиологические основы применения удобрений / И.Ф. Мосолов. – М.: Наука, 1979. – 225 с.

125. Муртазин М.Г. Эффективность способов применения медь-, молибден-содержащих хелатных микроудобрений (ЖУСС) при возделывании яровой пшеницы: дис. ... канд. с.-х. наук / М.Г. Муртазин. – Казань, 2002. – 195 с.

126. Олейников А.Ю. Влияние способов применения макро- и микроудобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на черноземе выщелоченном: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / А.Ю. Олейников. – Ставрополь, 2012. – 23 с.

127. Орлова Э.Д. Влияние микроудобрений на химический состав и урожай яровой пшеницы на почвах Омской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Э.Д. Орлова. – Омск. – 1968. – 27 с.

128. Орлова Э.Д. Микроэлементы в почвах и растениях Омской области и применение микроудобрений: учеб. пособие / Э.Д. Орлова, Е.Г. Пыхтарева. – Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2006. – 70 с.

129. Орлова Э.Д. Содержание меди и молибдена в растениях яровой пшеницы и влияние на урожай / Э.Д. Орлова // Агрохимия. – 1971. – № 11. – С. 114-121.

130. Орлова Э.Д. Содержание микроэлементов в различных культурах в зависимости от условий выращивания / Э.Д. Орлова, Ю.И. Ермохин // Докл. IV Сибирской конференции по микроэлементам. – Улан-Удэ, 1973. – С. 209-213.

131. Панасин В.И. Изучение новых микроудобрений для подкормки озимой пшеницы / В.И. Панасин, Д.А. Рымаренко // Агрохимический вестник. – 2013. – № 2. – С. 4-6.

132. Панин М.С. Аккумуляция тяжелых металлов растениями Семипалатинского Прииртышья / М.С. Панин. – Семипалатинск: ГУ «Семей». – 1999. – 309 с.

133. Парибок Т.А. Взаимодействие цинка и фосфора в минеральном питании растений / Т.А. Парибок // Агрохимия. – 1970. – №2. – С. 153-166.

134. Пейве Я.В. Агрохимия и биохимия микроэлементов / Я.В. Пейве. – М.: Наука, 1960. – 480 с.

135. Пискунов А.С. Методы агрохимических исследований: учеб. пособие / А.С. Пискунов. – М.: Изд-во КолосС, 2004. – 312 с.

136. Полевые культуры Западной Сибири: учеб. пособие. – Омск, 2002. – 459 с.

137. 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, посвященной 100-летию кафедры растениеводства, кормопроизводства и агротехнологий факультета агрономии, агрохимии и экологии (Воронеж, 24 сентября 2019). – Воронеж: Изд-во ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – С. 104-107.

138. 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 науч.-практ. конф. обучающихся в магистратуре. Институт

экономики и финансов ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П.А. Столыпина. – Омск, 2014. – С. 80-84.

139. Попова В.И. Оптимизация применения микроудобрений при возделывании озимой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири: дис. ... канд. с.-х. наук / В.И. Попова. – Омск, 2018. – 173 с.

140. Попова В.И. Применение цинковых удобрений при возделывании озимой пшеницы на лугово-черноземной почве Западной Сибири / В. И. Попова // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – №1 (21). – С. 57-64.

141. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин [и др.]. – М.: Изд-во КолосС, 2008. – 599 с.

142. Прево П. Закон минимума и сбалансированное минеральное питание / П. Прево, М. Оланье // Анализ растений и проблемы удобрения. – М.: Колос, 1964. – С. 247-270.

143. Применение макро- и микроудобрений в современных технологиях возделывания зерновых культур / Н.В. Войтович [и др.]. – М.: ЦИНАО, 2003. – 92 с.

144. Применение некорневых подкормок микроудобрений при выращивании картофеля / Л. С. Федотова, А. В. Кравченко, Н. А. Тимошина, С. С. Тучин // Нива Поволжья. – 2011. – №1 (18). – С.67-72.

145. Применение янтарной кислоты и хелата меди в агротехнологии яровой мягкой пшеницы / Н. А. Воронкова, В. А. Волкова, Н. А. Цыганова, Н. Ф. Балабанова, В. Д. Дороненко // Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития: Материалы Международной научной экологической конференции (24-26 марта 2020 г.). – Краснодар: Изд-во Кубанский ГАУ имени И.Т. Трубилина, 2020. – С. 411-414.

146. Прокина Л. Н. Отзывчивость яровой пшеницы на внесение макро- и микроудобрений в условиях юга Нечерноземной зоны / Л. Н. Прокина // Достижение науки и техники АПК. – 2011. – №7. – С.31-33.

147. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения / Д.Н. Прянишников. – М.: Сельхозиздат, 1963. – Т. 3. – 647 с.
148. Результаты чешско-российских исследований по применению лингогу-матов и хелатов в картофелеводстве / Я. Чепл, П. Касал, А. Коршунов, В. Клима-нов, А. Митюшкин, Р. Рахимов // Достижение науки и техники АПК. –2011. – №4. – С.36-39.
149. Ринькис Г.Я. Оптимизация минерального питания растений / Г.Я. Рин-кис. – Рига: Зинанте, 1972. – 355 с.
150. Ринькис Г.Я. Сбалансированное питание растений макро- и микроэле-ментами / Г.Я. Ринькис, Ф.В. Ноллендорф. – Рига, 1982. – 202 с.
151. Сабинин Д.А. Избранные труды по минеральному питанию растений / Д.А. Сабинин. – М.: Наука, 1971. – 512 с.
152. Самофалова И.А. Лабораторно-практические занятия по химическому анализу почв: учебное пособие / И.А. Самофалова, Ю.А. Рогизная. – Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2013. – 133 с.
153. Семина С. А. Формирование продуктивности яровой мягкой пшеницы при применении регуляторов роста и микроудобрений / С. А. Семина // Нива По-волжья. – 2010. – №3 (16). – С.37-41.
154. Синдирева А.В. Критерии и параметры действия микроэлементов в си-стеме почва-растение-животное: автореф. дис. ...д-ра биол. наук / А.В. Синди-рева. – Тюмень, 2012. – 32 с.
155. Синягин И.И. Применение удобрений в Сибири / И.И. Синягин, Н.Я. Кузнецов. – М.: Колос, 1979. – 373 с.
156. Сказалова Н.Н. Микроэлементы (Co, Cu, Mo, Ni, Mn) в почвах поймы реки Иртыша: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Н.Н. Сказалова. – Омск: ОмСХИ. – 1973.– 17 с.
157. Склярова М.А. Диагностика и оптимизация цинкового питания куку-рузы на лугово-черноземной почве Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. с.- х. наук/ М.А. Склярова. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2008. – 16 с.

158. Склярова М.А. Эффективность различных приемов применения цинка под кукурузу на лугово-черноземной почве Омской области / М.А. Склярова // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2014. – №1 (13). – С. 28-31.

159. Смирнова Т.Б. Влияние бора и цинка на урожайность и качество семян капусты белокочанной на лугово-черноземной почве Омского Прииртышья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Т.Б. Смирнова. – Омск: ОмГАУ. – 2003. – 16 с.

160. Сорты сельскохозяйственных культур селекции ФГБНУ СибНИИСХ / Отв. ред. И.Ф. Храмцов. – Омск: ЛИТЕРА, 2017. – 171 с.

161. Степанюк В.В. Влияние высоких доз цинка на элементный состав растений / В.В. Степанюк, С.П. Голенецкий // Агрохимия. – 1991. – № 7. – С. 60-66.

162. Степанюк В.В. Влияние различных соединений цинка на урожай культур и его поступление в растения / В.В. Степанюк, С.П. Голенецкий // Агрохимия. – 1990. – № 3. – С. 85-91.

163. Стефановский К.С. Влияние различных соединений цинка на рост растений / К.С. Стефановский // Агрохимия. – 1984. – №11. – С. 112-118.

164. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири: монография / А.И. Сысо. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 227 с.

165. Сычев В.Г. Приемы управления продукционным процессом для достижения потенциальной продуктивности пшеницы / В.Г. Сычев, Н.Т. Ниловская, Л.В. Осипова. – М., 2008. – 192 с.

166. Тихомиров Ф.А. Формы природного и внесенного цинка в почвах и его поступление в растения / Ф.А. Тихомиров, И.Т. Моисеев // Агрохимия. – 1975. – №12. – С. 90-96.

167. Толоконников А.М. Влияние некорневых подкормок микроэлементами на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на черноземе выщелоченном / А.М. Толоконников, Н.Г. Мязин // Агрохимический вестник. – 2012. – № 4. – С. 13-14.

168. Трисвятский Л.А. Хранение и технология переработки сельскохозяйственной продукции / Л.А. Трисвятский. – Колос, 1991. – 536 с.

169. Характер действия жидкого удобрительно-стимулирующего состава (ЖУСС-3) на продуктивность картофеля / Г.Ф. Рахманова, Н.Л. Шаронова, И.А. Дегтярева, И.А. Гайсин // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана – 2015. – №3. – С.151-154.

170. Характеристика пахотных почв Ульяновской области по содержанию микроэлементов и эффективность применения микроэлементсодержащих препаратов / Е.А. Черкасов, В. А. Исайчев, Б.К. Саматов, С.Н. Никитин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии – 2012. – №4(20). – С.30 - 34.

171. Хузина Э.Р. Оптимизация применения бактериальных удобрений на яровой пшенице / Э.Р. Хузина, И.Х. Габдрахманов // Агрохимический вестник. – 2009. – № 5. – С. 16-17.

172. Ульрих А. Роль анализа растений в характеристике питания сахарной свеклы / А.Ульрих // Анализ растений и проблемы удобрений. – М., 1964. – С. 174-198.

173. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справочник / В.В. Церлинг. – М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.

174. Церлинг В.В. Обмен веществ, формирование урожая и диагностика потребности растений в удобрениях: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / В.В. Церлинг. – М., 1962. – 36 с.

175. Чернявская Н.А. О роли цинка в питании растений / Н.А. Чернявская, Г.Г. Фареник, Д.Ф. Гончаренко // Агрохимия. – 1975. – №9. – С. 81-90.

176. Шафронов О.Д. Эффективность применения микроудобрений в Нижегородской области / О.Д. Шафронов, Н.П. Егоров, Р.С. Куликов // Агрохимический вестник. – 2009. – №4. – С. 24-26.

177. Шевчук В.Е. Микроэлементы в растениеводстве Сибири и Дальнего Востока / В.Е. Шевчук, А.Ф. Скрипченко, Я.Г. Баркан.– Иркутск: ВосточноСибирское книжное изд-во, 1974. – 210 с.

178. Шеуджен А.Х. Микроэлементы в питании и продуктивности риса в условиях Краснодарского края: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / А.Х. Шеуджен. – М., 1992. – 38 с.

179. Шибаета О.В. Формирование урожая зерна яровой твердой пшеницы в зависимости от технологических приемов возделывания: дис. ... канд. с.-х. наук / О.В. Шибаета. – Казань, 2002. – 143 с.

180. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений: монография / М.Я. Школьник. – Л.: Наука, 1974. – 324 с.

181. Эммануэль Н.М. Химия и пища / Н.М.Эммануэль, Г.Е. Заиков. – М.: Наука, 1986. – 173 с.

182. Эммерт Ф. Влияние взаимодействия ионов на состав растительных тканей / Ф. Эммерт // Анализ растений и проблемы удобрения. – М., 1964. – С. 218-233.

183. Эффективность лигногуматов и комплексного удобрения Акварин-12 на культуре картофеля / А.В. Коршунов, А.В. Митюшкин, Н.А. Гаитова, В.К. Климатов, А.В. Митюшкин // Достижение науки и техники АПК. –2009. – №11. – С.17-19.

184. Эффективность микроудобрений Микромак и Микроэл в посевах озимой пшеницы на черноземе выщелоченном / А.Н. Есаулко [и др.] // Плодородие. – 2010. – № 1. – С. 24-26.

185. 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.

186. 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. – С. 246-250.

187. 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 / Отв. ред. И.А. Бобренко. – Омск: Вариант-Омск, 2010. – С. 163-171.

188. Эффективность применения микроудобрений на черноземах типичных под озимую пшеницу / О.А. Митрохина, Е.П. Проценко, Т.В. Сапрыкина, А.А. Проценко // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – №2. – С.47-49.

189. 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.

190. Эффективность применения регуляторов роста и микроэлементов в технологии выращивания рапса озимого в Западной лесостепи Украины / А. П. Волощук, И. С. Волощук, В. В. Глива, Р. Ю. Роп, М. И. Корецка, А. О. Распутенко // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – №2. – С.83-86.

191. Ягодин Б.А. Проблемы микроэлементов в биологии / Б.А. Ягодин, Е.Н. Максимова, С.М.Саблина // Агрехимия. – 1988. – № 7. – С. 126-134.

192. Adriano D.C., Paulsen G.M., Murhy L.S. Phosphorus-iron and phosphorus-zinc relationships in corn (*Zea mays* L.) seedlings as mineral nutrition // Agron. J. – 1971. – V. 63. – P. 36-39.

193. Bobrenko I.A., Goman N.V., Pavlova E.Yu. Zinc Application Method Impacts Winter Triticale in Western Siberia// Better crops contents with plant food. – 2013. – Vol. XCVII (97), № 3. – P. 21-23.

194. Boyton D., Compton O. Leaf analysis in estimating the potassium, magnesium and nitrogen needs of fruit trees // *Soil Science*. – 1945. – 59. – P. 339-351.

195. Chapman H.D. Foliar sampling for determining the nutrient status of crops // *World crops*. – 1964. – №9. – P. 34-36.

196. 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. The Fifth Technological Order: Prospects for the Development and Modernization of the Russian Agro-Industrial Sector*. – 2019. – V. 393. – P. 232-235.

197. Grant C.A, L.D. Bailey. The influence of Zn and P fertilizer on dry matter yield and nutrient content of flax (*Linum usitatissimum* L.) on soil varying in Ca and Mg level // *Canadian journal of soil science*. – 1989. – V. 69. – №3. – P. 461-472.

198. 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.

199. 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.

200. Lundegardh H. Leaf analysis / H. Lundegardh. – London, 1951. – 124 p.

201. Neubert P. Grund laden und Anwendung der Pflanzenanalyse der Landwirtschaftlichen Kulturen / P. Neubert. – Jena, 1982. – S. 1-72.

202. Reuter W., Smith P.F. Symposium: Minor elements in relation to soil factors; toxic effects of accumulated copper in Florida soils // *Proc. Soil. Sci. Coc. Florida*, 1954. – 14. – P.17-24.

203. Singh M., Singh R.S. Response of wheat to zinc fertilization at different levels of phosphorus in a loamy sand soil // *J. Indian. Soc. Soil. Science.* – 1979. – V.27. – №3.
204. Singh M., Yadav D.S. Effect of Cu, Fe and liming on the growth, concentration and uptake of Cu, Fe, Mn and Zn in sorghum // *J. Indian. Soc. Soil. Science.* – 1980. – V.28. – P.113-118.
205. Smith P.F., Reuter W., Specht A.W., Hrneir G. Effect of differential nitrogen, potassium and magnesium supply to young Valencia orange trees in sand culture on mineral composition especially of leaves and fibrous roots // *Plant Physiol.* – 1954. – 29. – P. 349-355.
206. Smith P.F., Specht A.W. Heavy-metal nutrition and iron chlorosis of citrus seedlings // *Plant Physiol.* – 1953. – 28. – P.371-382.
207. Verma T.S., Trapthi B.R. Interaction effects of P-Zn and P-Cu on dry matter yield micro-nutrient availability to rice in water-logged alfisols // *Acta. Agronomica Hungarica.* – 1986. – V.35. – №1-2. – P. 83-90.
208. Warnok R.E. Micronutrient uptake and mobility within corn plants (*Zea mays* L.) in relation to phosphorus reduced zinc deficiency // *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* – 1970. – V. 34. – P. 765-769.
209. Prevot P., Ollagnier M. Methode d'utilisation du diagnostic foliarie // *Plant Analysis and Fertilizer Problems.* – I.H.R.O., Paris. – 1956. – P. 177-192.
210. Smith P. F. Mineral Analysis of Plant Tissues // *Ann. Rev. Plant Physiol.* – 1962. – V.13. – P. 81-108.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Метеорологические условия в годы проведения исследований (2017-2019 гг.)

Месяц	Температура, °С				Осадки, мм			
	I	II	III	сред. за месяц	I	II	III	∑ за месяц
2017 г.								
Май	10,8	12,9	15,5	13,1	7,4	7,5	11,1	26,0
Июнь	16,99	21,8	21,4	20,1	29,4	1,3	0,9	31,6
Июль	18,1	17	20,3	18,5	11,2	32,2	27	70,4
Август	19,8	14,5	20,3	18,2	9,6	0,0	4	13,6
Сентябрь	13,3	11,2	3,1	9,2	11,6	15,9	1,6	29,1
2018 г.								
Май	5,9	6,6	10,5	7,7	7,7	24,7	10,4	72,3
Июнь	16,9	16,6	18,2	17,2	17,2	7,6	4,9	61,6
Июль	21,1	21,8	16,6	19,8	19,8	0	5,3	45,5
Август	17,7	16,8	13,6	16,0	16	9,6	20,5	61,0
Сентябрь	10,6	11,1	12,7	11,5	11,5	6,9	0,3	17,9
2019г.								
Май	13,9	9,6	13,1	12,2	12,2	0,3	12,6	37
Июнь	14,2	15,6	16,6	15,5	15,5	52,4	22,1	85
Июль	18,8	22,2	20,5	20,5	20,5	23,1	0,0	29
Август	19,5	19,1	15,2	17,9	17,9	13	11,8	40
Сентябрь	11,3	14	7,1	10,8	10,8	22,6	2,0	48

Приложение Б

Влияние хелатных микроудобрений (Zn, Cu) на полевую всхожесть
и выживаемость растений яровой пшеницы при возделывании
на лугово-черноземной почве (2017-2019 гг.)

Вариант	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Полевая всхожесть, %			
Обработка семян, г/100 кг			
Контроль	68,0	72,3	70,5
Zn ₁₀	82,9	83,6	84,2
Zn ₂₀	97,8	87,3	89,5
Zn ₃₀	78,4	70,9	76,8
Cu ₁₀	84,3	79,1	97,9
Cu ₂₀	82,9	77,3	93,7
Cu ₃₀	91,4	73,6	77,9
Выживаемость растений, %			
Контроль	62,8	57,4	44,8
Обработка семян, г/100 кг			
Zn ₁₀	67,6	53,9	51,0
Zn ₂₀	69,9	63,5	66,5
Zn ₃₀	87,5	79,5	60,8
Cu ₁₀	74,6	67,8	51,5
Cu ₂₀	86,2	81,2	55,1
Cu ₃₀	87,5	85,1	61,5
Опрыскивание в фазу кущения, г/га			
Zn ₁₀	76,3	62,4	56,9
Zn ₂₀	72,2	67,8	77,0
Zn ₃₀	79,9	84,1	68,3
Cu ₁₀	71,7	75,5	49,9
Cu ₂₀	85,4	73,6	55,1
Cu ₃₀	83,8	88,2	60,0
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га			
Zn ₁₀	74,8	76,3	61,8
Zn ₂₀	77,3	78,9	66,9
Zn ₃₀	85,3	87,0	75,7
Cu ₁₀	83,4	85,1	68,1
Cu ₂₀	70,7	72,1	60,0
Cu ₃₀	83,4	85,1	57,1

Приложение В

Высота растений и структура урожая яровой пшеницы в зависимости от применяемых хелатных микроудобрений (Zn, Cu) на лугово-черноземной почве (2017-2019 гг.)

Вариант	Высота растений, см	Кустистость		Главный колос			Масса 1000 зерен, г
		Общая	Продуктивная	Количество зерен, шт.	Масса колоса, г	Масса зерна, г	
2017 г.							
Контроль	102,5	3	2,5	42,3	1,75	1,48	31,4
Обработка семян, г/100 кг							
Zn ₁₀	110	3,4	2,9	45,3	2,01	1,73	31,24
Zn ₂₀	110	3,6	3,1	43,4	1,91	1,64	31,14
Zn ₃₀	117,5	4	3,3	36,5	1,84	1,52	32,14
Cu ₁₀	116	3,2	2,8	36,4	1,73	1,45	30,99
Cu ₂₀	110	2,8	2,7	41,8	1,82	1,55	32,34
Cu ₃₀	103,5	3	2,5	34,2	1,33	1,11	33,3
Опрыскивание в фазу кущения, г/га							
Zn ₁₀	110	3,4	3,3	34,6	1,42	1,16	35,20
Zn ₂₀	111	3,5	3,4	39,7	1,64	1,36	35,50
Zn ₃₀	112,5	4,1	3,9	37,8	1,67	1,37	34,90
Cu ₁₀	111	3,1	3,0	37,5	1,71	1,42	35,70
Cu ₂₀	105	3	2,8	38,6	1,68	1,35	32,80
Cu ₃₀	110	2,9	2,8	36,4	1,38	1,14	33,20
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га							
Zn ₁₀	108,5	3,4	3,2	38,6	1,81	1,49	30,88
Zn ₂₀	108,5	3,4	3,1	40,3	1,89	1,46	31,68
Zn ₃₀	108,5	3,4	2,9	39,2	1,82	1,49	30,26

продолжение приложения В

Вариант	Высота растений, см	Кустистость		Главный колос			Масса 1000 зерен, г
		Общая	Продуктивная	Количество зерен, шт.	Масса колоса, г	Масса зерна, г	
Cu ₁₀	107,5	3,1	2,8	40,9	1,97	1,57	31,80
Cu ₂₀	110	3,5	2,8	37,5	1,62	1,21	31,72
Cu ₃₀	113,5	3,6	3,2	44,3	1,71	1,35	31,54
2018 г.							
Контроль	110	3,2	2,9	44,4	1,82	1,40	28,7
Обработка семян, г/100 кг							
Zn ₁₀	107,5	3,9	3,3	46,45	2	1,47	29,84
Zn ₂₀	107,5	3,6	3,25	47,25	1,82	1,42	28,67
Zn ₃₀	107,5	3,4	3,05	46,35	1,89	1,37	28,27
Cu ₁₀	110	3,4	3,05	45	2,05	1,41	29,52
Cu ₂₀	107,5	3,55	3,1	46,35	1,87	1,41	29,13
Cu ₃₀	107,5	3,7	3,25	48,65	2,05	1,57	30,45
Опрыскивание в фазу кущения, г/га							
Zn ₁₀	107,5	3,45	3,15	45	1,86	1,53	31,50
Zn ₂₀	105	3,65	3,2	47,2	2,21	1,51	31,50
Zn ₃₀	105	3,8	3,3	46,45	2,07	1,60	30,00
Cu ₁₀	110	3,6	3,2	46,85	1,93	1,53	30,60
Cu ₂₀	107,5	3,45	3,15	45,8	1,84	1,48	29,70
Cu ₃₀	105	3,6	3,3	44,75	2,01	1,47	30,10
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га							
Zn ₁₀	105	3,5	3,2	49,85	2,08	1,64	30,3
Zn ₂₀	105	3,45	3,2	44,75	2,06	1,36	30,8
Zn ₃₀	107,5	4,05	3,55	46,05	1,91	1,35	27,87
Cu ₁₀	107,5	4,1	3,75	46,15	1,79	1,37	28,4

Вариант	Высота растений, см	Кустистость		Главный колос			Масса 1000 зерен, г
		Общая	Продуктивная	Количество зерен, шт.	Масса колоса, г	Масса зерна, г	
Cu ₂₀	105	4,25	3,7	44,05	1,94	1,26	27,7
Cu ₃₀	107,5	3,4	2,95	47,45	1,81	1,45	28,87
2019 г.							
Контроль	103	3,5	3,1	39	1,79	1,25	29,67
Обработка семян, г/100 кг							
Zn ₁₀	105	3,2	3,2	33,2	1,53	1,12	30,67
Zn ₂₀	101	3,4	3,3	42,5	1,58	1,26	29,97
Zn ₃₀	102	4,2	4	37,7	1,59	1,19	31,67
Cu ₁₀	108	3,5	2,9	42	1,65	1,3	31,03
Cu ₂₀	107	3,1	2,9	33,9	1,34	0,97	28,67
Cu ₃₀	102	3,8	3,4	38,4	1,9	1,34	30,03
Опрыскивание в фазу кущения, г/га							
Zn ₁₀	107	3,3	3	34,8	1,52	0,99	29,67
Zn ₂₀	110	4,8	4,7	47,3	1,77	1,42	30
Zn ₃₀	108	3,6	3,4	35,5	1,59	1,06	30,03
Cu ₁₀	109	3,9	3,5	36,9	1,5	1,14	31,04
Cu ₂₀	106	3,6	3,2	31,5	1,32	0,86	30,33
Cu ₃₀	111	3,5	3,2	37	1,52	1,06	30,7
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га							
Zn ₁₀	110	3,4	3	36,8	1,58	1,1	30,03
Zn ₂₀	112	4	3,6	36,2	1,47	0,98	30,33
Zn ₃₀	112	4,8	3,8	51	1,65	1,43	28,03
Cu ₁₀	105	3,7	3,5	40,3	1,68	1,21	30,01
Cu ₂₀	108	3,4	2,9	38,2	1,72	1,18	31
Cu ₃₀	109	4,2	3,7	38,8	1,47	1,15	29,7

Приложение Г

Влияние хелатных микроудобрений (Zn, Cu) на качество зерна яровой пшеницы при возделывании на лугово-черноземной почве (2017-2019 гг.)

Вариант	Стекловидность, %			Белок, %		
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Контроль	50	52	48	13,62	13,57	12,97
Обработка семян, г/100 кг						
Zn ₁₀	50	51	49	13,75	13,18	13,51
Zn ₂₀	50	51	51	13,9	13,2	14,76
Zn ₃₀	51	51	50	14,08	13,2	13,17
Cu ₁₀	50	50	49	13,85	13,4	14,93
Cu ₂₀	51	51	50	13,62	13,7	13,96
Cu ₃₀	50	50	50	13,71	13,5	13,79
Опрыскивание в фазу кущения, г/га						
Zn ₁₀	49	54	50	13,72	13,9	14,36
Zn ₂₀	51	54	50	14,09	14,24	14,73
Zn ₃₀	50	52	49	13,62	13,8	13,62
Cu ₁₀	51	48	48	13,7	13,9	13,78
Cu ₂₀	50	50	49	13,79	13,64	13,57
Cu ₃₀	50	52	49	13,99	13,1	14,76
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га						
Zn ₁₀	50	50	50	13,57	13,62	13,22
Zn ₂₀	51	51	50	14,19	13,96	12,54
Zn ₃₀	52	50	49	13,57	13,17	13,17
Cu ₁₀	50	50	48	14,19	13	14,36
Cu ₂₀	50	50	49	14,14	13,74	12,14
Cu ₃₀	50	50	49	14,14	13,39	13,41

Приложение Д

Влияние хелатных микроудобрений (Zn, Cu) на качество зерна яровой пшеницы при возделывании на лугово-черноземной почве (2017-2019 гг.)

Вариант	Клейковина, %			ИДК, ед.		
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Контроль	28,1	26,3	25,1	59	62	56
Обработка семян, г/100 кг						
Zn ₁₀	27,8	27,2	26,5	59	57	56
Zn ₂₀	28,6	26,5	28,6	57	59	57
Zn ₃₀	27,3	27,3	26,2	59	57	52
Cu ₁₀	28,4	27,1	28,1	65	58	57
Cu ₂₀	27,5	27,4	27,9	61	58	55
Cu ₃₀	27,8	27,6	27,2	62	57	55
Опрыскивание в фазу кущения, г/га						
Zn ₁₀	27,5	27,1	27,6	66	59	58
Zn ₂₀	27,7	27,3	28	63	59	53
Zn ₃₀	28,2	26,5	26,4	58	57	53
Cu ₁₀	27,9	27,8	27,1	61	58	54
Cu ₂₀	28,3	26,9	26,7	57	58	57
Cu ₃₀	28,1	27,4	28,6	59	57	55
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га						
Zn ₁₀	27	27,4	26	59	57	57
Zn ₂₀	28,2	28,1	24,5	59	58	58
Zn ₃₀	27	26,5	25,8	61	57	58
Cu ₁₀	28,1	26,1	28	62	60	55
Cu ₂₀	28,3	27,6	25	63	62	54
Cu ₃₀	28	26,5	27	62	61	59

Приложение Е

Влияние хелатных микроудобрений (Zn, Cu) на качество семян яровой пшеницы при возделывании на лугово-черноземной почве (2017-2019 гг.)

Вариант	Энергия прорастания, %			Всхожесть, %		
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Контроль	94,5	90,5	95,0	98,0	98,0	96,0
Обработка семян, г/100 кг						
Zn ₁₀	99,0	92,5	93,0	99,5	96,5	97,0
Zn ₂₀	97,5	96,5	95,0	97,5	99,0	96,0
Zn ₃₀	98,0	93,0	92,0	99,5	99,5	94,0
Cu ₁₀	98,0	98,0	95,0	98,0	100	98,0
Cu ₂₀	98,0	97,5	94,0	100	98,5	97,0
Cu ₃₀	90,5	96,0	97,0	99,0	98,0	97,0
Опрыскивание в фазу кущения, г/га						
Zn ₁₀	95,5	97,0	95,0	99,5	99,0	98,0
Zn ₂₀	97,0	95,5	97,0	98,5	98,0	98,0
Zn ₃₀	96,5	98,0	96,0	100	99,0	97,0
Cu ₁₀	98,0	96,5	96,0	98,5	99,5	98,0
Cu ₂₀	99,5	96,5	98,0	99,5	98,5	98,0
Cu ₃₀	94,0	95,9	95,0	99,5	96,0	96,0
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га						
Zn ₁₀	96,5	92,5	96,0	98,0	98,0	97,0
Zn ₂₀	97,5	93,0	94,0	98,5	98,5	95,0
Zn ₃₀	93,5	98,0	94,0	99,0	99,5	96,0
Cu ₁₀	97,5	97,0	97,0	98,0	98,5	98,0
Cu ₂₀	95,0	91,0	93,0	99,5	96,5	96,0
Cu ₃₀	96,5	90,0	96,0	100	95,5	96,0

Приложение Ж

Аминокислотный состав белка яровой пшеницы при некорневой подкормке хелатными микроудобрениями, % (2017-2019 гг.)

Аминокислота	Вариант						
	Контроль	Zn ₁₀	Zn ₂₀	Zn ₃₀	Cu ₁₀	Cu ₂₀	Cu ₃₀
2017 г.							
Обработка семян, г/100 кг							
Содержание белка, %	13,62	13,75	13,9	14,08	13,85	13,62	13,71
Аргинин	0,69	0,64	0,65	0,74	0,71	0,69	0,67
Лизин	0,35	0,33	0,35	0,38	0,33	0,35	0,33
Тирозин	0,27	0,29	0,27	0,3	0,29	0,27	0,28
Фенилаланин	0,52	0,49	0,46	0,58	0,44	0,5	0,47
Гистидин	0,28	0,27	0,26	0,30	0,25	0,26	0,26
Лейцин+изолейцин	1,20	1,20	1,22	1,26	1,19	1,23	1,18
Метионин	0,24	0,24	0,26	0,21	0,25	0,24	0,23
Валин	0,5	0,49	0,5	0,53	0,47	0,49	0,53
Пролин	1,37	1,33	1,31	1,45	1,38	1,36	1,34
Треонин	0,43	0,40	0,42	0,43	0,44	0,4	0,43
Серин	0,7	0,67	0,65	0,74	0,61	0,64	0,66
Аланин	0,45	0,42	0,43	0,49	0,45	0,43	0,42
Глицин	0,45	0,44	0,47	0,51	0,47	0,47	0,45
Сумма аминокислот	7,45	7,21	7,25	7,92	7,28	7,33	7,24
Сумма незаменимых аминокислот	3,25	3,23	3,24	3,26	3,16	3,18	3,15
Сумма критических аминокислот	1,02	0,97	1,03	1,02	1,02	0,99	0,99
Опрыскивание в фазу кущения, г/га							
Содержание белка, %	13,62	13,72	14,09	13,62	13,7	13,79	13,99
Аргинин	0,69	0,88	0,76	0,80	0,84	0,66	0,75
Лизин	0,35	0,30	0,25	0,28	0,27	0,28	0,33
Тирозин	0,27	0,25	0,25	0,27	0,23	0,24	0,29
Фенилаланин	0,52	0,53	0,49	0,52	0,49	0,51	0,58
Гистидин	0,28	0,28	0,25	0,25	0,26	0,25	0,26
Лейцин+изолейцин	1,20	1,24	1,11	1,18	0,17	1,14	1,28

продолжение приложения Ж

Аминокислота	Вариант						
	Контроль	Zn ₁₀	Zn ₂₀	Zn ₃₀	Cu ₁₀	Cu ₂₀	Cu ₃₀
Метионин	0,24	0,23	0,26	0,26	0,22	0,22	0,18
Валин	0,5	0,51	0,46	0,49	0,48	0,47	0,53
Пролин	1,37	1,36	1,25	1,35	1,26	1,3	1,26
Треонин	0,43	0,37	0,33	0,34	0,32	0,35	0,36
Серин	0,7	0,66	0,61	0,63	0,63	0,62	0,69
Аланин	0,45	0,43	0,4	0,52	0,41	0,41	0,46
Глицин	0,45	0,46	0,41	0,43	0,42	0,43	0,5
Сумма аминокислот	7,45	7,5	6,83	7,22	7,00	6,88	7,47
Сумма незаменимых аминокислот	3,25	3,18	2,90	3,07	2,95	2,97	3,26
Сумма критических аминокислот	1,02	0,9	0,84	0,88	0,81	0,85	0,87
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га							
Содержание белка, %	13,62	13,57	14,19	13,57	14,19	14,14	14,14
Аргинин	0,69	0,69	0,65	0,68	0,72	0,71	0,66
Лизин	0,35	0,39	0,34	0,38	0,37	0,35	0,33
Тирозин	0,27	0,30	0,34	0,34	0,31	0,30	0,32
Фенилаланин	0,52	0,57	0,60	0,62	0,56	0,54	0,58
Гистидин	0,28	0,27	0,28	0,28	0,29	0,28	0,27
Лейцин+изолейцин	1,20	1,20	1,36	1,21	1,24	1,23	1,31
Метионин	0,24	0,27	0,21	0,26	0,28	0,28	0,22
Валин	0,5	0,58	0,58	0,54	0,53	0,52	0,57
Пролин	1,37	1,5	1,43	1,45	1,52	1,46	1,36
Треонин	0,43	0,45	0,39	0,45	0,46	0,38	0,40
Серин	0,70	0,71	0,66	0,72	0,73	0,67	0,61
Аланин	0,45	0,51	0,45	0,5	0,49	0,45	0,43
Глицин	0,45	0,50	0,53	0,5	0,5	0,54	0,51
Сумма аминокислот	7,45	7,94	7,82	7,83	8,00	7,71	7,6
Сумма незаменимых аминокислот	3,25	3,46	3,48	3,36	3,44	3,30	3,41
Сумма критических аминокислот	1,02	1,11	0,94	1,09	1,11	1,01	0,95

продолжение приложения Ж

Аминокислота	Вариант						
	Контроль	Zn ₁₀	Zn ₂₀	Zn ₃₀	Cu ₁₀	Cu ₂₀	Cu ₃₀
2018 г.							
Обработка семян, г/100 кг							
Содержание белка, %	13,57	13,18	13,2	13,2	13,4	13,7	13,5
Аргинин	0,79	0,84	0,80	0,79	0,76	0,77	0,75
Лизин	0,37	0,38	0,38	0,36	0,39	0,39	0,38
Тирозин	0,24	0,27	0,26	0,24	0,25	0,23	0,25
Фенилаланин	0,53	0,54	0,50	0,54	0,53	0,55	0,54
Гистидин	0,36	0,32	0,30	0,34	0,36	0,36	0,35
Лейцин+изолейцин	1,32	1,34	1,31	1,33	1,32	1,34	1,32
Метионин	0,16	0,19	0,19	0,19	0,18	0,14	0,20
Валин	0,58	0,62	0,58	0,56	0,56	0,54	0,55
Пролин	1,24	1,33	1,34	1,35	1,29	1,25	1,29
Треонин	0,39	0,41	0,40	0,40	0,41	0,38	0,40
Серин	0,75	0,70	0,71	0,71	0,71	0,72	0,70
Аланин	0,51	0,50	0,49	0,48	0,49	0,50	0,50
Глицин	0,53	0,55	0,55	0,54	0,53	0,55	0,54
Сумма аминокислот	7,71	7,91	7,75	7,84	7,74	7,65	7,69
Сумма незамени- мых аминокислот	3,35	3,48	3,36	3,38	3,39	3,34	3,39
Сумма критических аминокислот	0,92	0,98	0,97	0,95	0,98	0,91	0,98
Опрыскивание в фазу кущения, г/га							
Содержание белка, %	13,57	13,9	14,29	13,8	13,9	13,64	13,1
Аргинин	0,79	0,8	0,83	0,84	0,82	0,82	0,82
Лизин	0,37	0,36	0,35	0,36	0,34	0,36	0,36
Тирозин	0,24	0,25	0,23	0,24	0,23	0,24	0,24
Фенилаланин	0,53	0,53	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53
Гистидин	0,36	0,3	0,3	0,3	0,32	0,31	0,3
Лейцин+изолейцин	1,32	1,31	1,30	1,30	1,32	1,30	1,30

продолжение приложения Ж

Аминокислота	Вариант						
	Контроль	Zn ₁₀	Zn ₂₀	Zn ₃₀	Cu ₁₀	Cu ₂₀	Cu ₃₀
Метионин	0,16	0,22	0,23	0,23	0,21	0,22	0,23
Валин	0,58	0,63	0,60	0,61	0,59	0,60	0,61,
Пролин	1,24	1,33	1,32	1,32	1,32	1,30	1,32
Треонин	0,39	0,40	0,40	0,41	0,41	0,39	0,41
Серин	0,75	0,72	0,70	0,71	0,72	0,70	0,71
Аланин	0,51	0,47	0,78	0,48	0,48	0,46	0,48
Глицин	0,53	0,54	0,52	0,53	0,50	0,52	0,53
Сумма аминокислот	7,71	7,82	7,70	7,80	7,73	7,70	7,82
Сумма незаменимых аминокислот	3,35	3,45	3,40	3,44	3,41	3,40	3,44
Сумма критических аминокислот	0,92	0,98	0,98	1,00	0,96	0,97	1,00
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га							
Содержание белка, %	13,57	13,62	13,96	13,17	13,0	13,74	13,39
Аргинин	0,79	0,82	0,83	0,83	0,92	0,73	0,81
Лизин	0,37	0,41	0,41	0,39	0,40	0,37	0,34
Тирозин	0,24	0,27	0,27	0,26	0,27	0,27	0,27
Фенилаланин	0,53	0,56	0,56	0,55	0,54	0,54	0,50
Гистидин	0,36	0,27	0,34	0,32	0,34	0,20	0,32
Лейцин+изолейцин	1,32	1,40	1,41	1,37	1,38	1,31	1,28
Метионин	0,16	0,25	0,26	0,23	0,20	0,21	0,18
Валин	0,58	0,57	0,57	0,55	0,56	0,53	0,54
Пролин	1,24	1,34	1,32	1,33	1,30	1,29	1,26
Треонин	0,39	0,39	0,38	0,37	0,37	0,37	0,36
Серин	0,75	0,7	0,7	0,71	0,72	0,67	0,65
Аланин	0,51	0,51	0,51	0,50	0,51	0,48	0,44
Глицин	0,53	0,56	0,56	0,54	0,57	0,53	0,51
Сумма аминокислот	7,71	8,05	8,12	7,95	8,08	7,5	7,46
Сумма незаменимых аминокислот	3,35	3,58	3,59	3,46	3,45	3,33	3,2
Сумма критических аминокислот	0,92	1,05	1,05	0,99	0,97	0,95	0,88

продолжение приложения Ж

Аминокислота	Вариант						
	Контроль	Zn ₁₀	Zn ₂₀	Zn ₃₀	Cu ₁₀	Cu ₂₀	Cu ₃₀
2019 г.							
Обработка семян, г/100 кг							
Содержание белка, %	12,97	13,51	14,76	13,17	14,93	13,96	13,79
Аргинин	0,69	0,65	0,63	0,64	0,61	0,63	0,58
Лизин	0,33	0,34	0,33	0,31	0,30	0,34	0,31
Тирозин	0,26	0,25	0,26	0,27	0,28	0,24	0,25
Фенилаланин	0,5	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,50
Гистидин	0,21	0,22	0,24	0,21	0,23	0,22	0,21
Лейцин+изолейцин	1,18	1,18	1,16	1,15	1,14	1,14	1,12
Метионин	0,26	0,18	0,23	0,19	0,17	0,20	0,16
Валин	0,52	0,48	0,50	0,47	0,48	0,45	0,47
Пролин	1,30	1,25	1,25	1,27	1,31	1,32	1,23
Треонин	0,37	0,36	0,41	0,38	0,36	0,35	0,35
Серин	0,64	0,55	0,61	0,58	0,59	0,56	0,55
Аланин	0,46	0,42	0,41	0,43	0,46	0,42	0,43
Глицин	0,45	0,43	0,44	0,41	0,43	0,41	0,40
Сумма аминокислот	7,17	6,84	6,99	6,82	6,87	6,80	6,56
Сумма незаменимых аминокислот	3,16	3,07	3,15	3,01	2,96	3,00	2,91
Сумма критических аминокислот	0,96	0,88	0,97	0,88	0,83	0,89	0,82
Опрыскивание в фазу кущения, г/га							
Содержание белка, %	12,97	14,36	14,73	13,62	13,78	13,57	14,76
Аргинин	0,69	0,77	0,64	0,78	0,76	0,82	0,75
Лизин	0,33	0,38	0,32	0,34	0,34	0,42	0,34
Тирозин	0,26	0,27	0,25	0,27	0,29	0,38	0,33
Фенилаланин	0,5	0,58	0,49	0,51	0,64	0,75	0,61
Гистидин	0,21	0,23	0,20	0,30	0,26	0,30	0,29
Лейцин+изолейцин	1,18	1,32	1,12	1,41	1,40	1,66	1,43

Аминокислота	Вариант						
	Контроль	Zn ₁₀	Zn ₂₀	Zn ₃₀	Cu ₁₀	Cu ₂₀	Cu ₃₀
Метионин	0,26	0,16	0,17	0,17	0,11	0,15	0,11
Валин	0,52	0,66	0,47	0,59	0,51	0,74	0,61
Пролин	1,30	1,36	1,24	1,38	1,42	1,91	1,37
Треонин	0,37	0,50	0,36	0,45	0,43	0,50	0,48
Серин	0,64	0,61	0,56	0,59	0,61	0,90	0,63
Аланин	0,46	0,52	0,42	0,51	0,54	0,61	0,54
Глицин	0,45	0,46	0,41	0,48	0,49	0,58	0,49
Сумма аминокислот	7,17	7,82	6,65	7,78	7,80	9,73	7,98
Сумма незаменимых аминокислот	3,16	3,6	2,93	3,47	3,43	4,22	3,58
Сумма критических аминокислот	0,96	0,82	0,93	0,93	0,88	1,07	0,93
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га							
Содержание белка, %	12,97	13,22	12,54	13,17	14,36	12,14	13,41
Аргинин	0,69	0,79	0,74	0,76	0,72	0,76	0,87
Лизин	0,33	0,35	0,37	0,35	0,27	0,30	0,34
Тирозин	0,26	0,26	0,28	0,26	0,32	0,25	0,30
Фенилаланин	0,5	0,50	0,58	0,49	0,55	0,52	0,57
Гистидин	0,21	0,23	0,26	0,23	0,21	0,26	0,24
Лейцин+изолейцин	1,18	1,33	1,43	1,27	1,28	1,19	1,30
Метионин	0,26	0,14	0,14	0,10	0,13	0,15	0,09
Валин	0,52	0,49	0,55	0,45	0,47	0,52	0,50
Пролин	1,30	1,38	1,46	1,33	1,29	1,42	1,41
Треонин	0,37	0,37	0,41	0,34	0,39	0,36	0,39
Серин	0,64	0,56	0,66	0,61	0,61	0,62	0,63
Аланин	0,46	0,52	0,50	0,47	0,53	0,45	0,49
Глицин	0,45	0,47	0,48	0,42	0,45	0,41	0,46
Сумма аминокислот	7,17	7,39	7,86	7,08	7,22	7,21	7,59
Сумма незаменимых аминокислот	3,16	3,18	3,48	3,00	3,09	3,04	3,19
Сумма критических аминокислот	0,96	0,86	0,92	0,79	0,79	0,81	0,82

Приложение 3

Влияние хелатных микроудобрений (Zn, Cu) на качество семян яровой пшеницы при возделывании на лугово-черноземной почве (2017-2019 гг.)

Вариант	Энергия прорастания, %			Всхожесть, %		
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Контроль	94,5	90,5	95,0	98,0	98,0	96,0
Обработка семян, г/100 кг						
Zn ₁₀	99,0	92,5	93,0	99,5	96,5	97,0
Zn ₂₀	97,5	96,5	95,0	97,5	99,0	96,0
Zn ₃₀	98,0	93,0	92,0	99,5	99,5	94,0
Cu ₁₀	98,0	98,0	95,0	98,0	100	98,0
Cu ₂₀	98,0	97,5	94,0	100	98,5	97,0
Cu ₃₀	90,5	96,0	97,0	99,0	98,0	97,0
Опрыскивание в фазу кущения, г/га						
Zn ₁₀	95,5	97,0	95,0	99,5	99,0	98,0
Zn ₂₀	97,0	95,5	97,0	98,5	98,0	98,0
Zn ₃₀	96,5	98,0	96,0	100	99,0	97,0
Cu ₁₀	98,0	96,5	96,0	98,5	99,5	98,0
Cu ₂₀	99,5	96,5	98,0	99,5	98,5	98,0
Cu ₃₀	94,0	95,9	95,0	99,5	96,0	96,0
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га						
Zn ₁₀	96,5	92,5	96,0	98,0	98,0	97,0
Zn ₂₀	97,5	93,0	94,0	98,5	98,5	95,0
Zn ₃₀	93,5	98,0	94,0	99,0	99,5	96,0
Cu ₁₀	97,5	97,0	97,0	98,0	98,5	98,0
Cu ₂₀	95,0	91,0	93,0	99,5	96,5	96,0
Cu ₃₀	96,5	90,0	96,0	100	95,5	96,0

Приложение И

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

«Сосновское»

(ООО «Сосновское»)

Россия, 646987, Омская область, Кормиловский район, д.Сосновка, Школьная, д. 32 тел: (38170) 3-54-35
 ИНН 5517008125, КПП 551701001, ОГРН 1045531000217, ОКПО 71084035, ОКОПФ 12165,
 Р/сч 40702810009150000023 в Омский РФ ОАО «Россельхозбанк» в г. Омске
 кор/счет 3010181090000000822 БИК 045209822

«Утверждаю»



Генеральный директор

ООО «Сосновское»

А.А. Мендубаев

29 сентября 2020 г.

Акт

о внедрении результатов научной деятельности

Производственная проверка результатов исследований Поповой В.В. по теме «Оптимизация применения хелатных цинковых и медных удобрений при возделывании пшеницы яровой в условиях южной лесостепи Западной Сибири» проводилось в ООО «Сосновское» на лугово-черноземной почве на общей площади 25 га. Получены следующие результаты при возделывании яровой пшеницы Памяти Азиева (использовались растворы хелатов микроэлементов):

1. при обработке семян, г на 100 кг семян: Zn_{20} – урожайность зерна 2,29 т/га, Cu_{20} – 2,21 т/га;

2. при некорневой подкормке в фазу кущения, г на 1 га: Zn_{20} – 2,22 т/га, Cu_{10} – 2,24 т/га;

3. при некорневой подкормке в фазу выхода в трубку, г на 1 га: Zn_{20} – 2,17 т/га, Cu_{20} – 2,16 т/га;

4. при некорневой подкормке в фазу кущения по результатам растительной диагностики, г на 1 га: Zn_{18} – 2,25 т/га.

5. при некорневой подкормке в фазу выхода в трубку по результатам растительной диагностики, г на 1 га: Cu_{10} – 2,18 т/га.

Без применения удобрений урожайность составила 20,04 т/га. Условно чистый доход составил 12600-15560 руб./га, при этом рентабельность применения микроудобрений составила 48,8-67,5 %.

Зам. генерального директора
 ООО «Сосновское»

В.В. Заздравных

Приложение К

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

«ЭйТи-Трейд»

Россия, 646926, Омская область, р-н Калачинский, д. Осокино, ул. Гагарина, д. 22
ИНН 5528203865 КПП 551501001 ОГРН 1095543014159, ОКПО 61366229,
ОКАТО 52218824000, ОКОПФ 12300,
р/сч 40702810309000001610 в ОМСКОМ РФ АО "РОССЕЛЬХОЗБАНК"
к/сч 30101810900000000822, БИК 045209822

Справка

о внедрении в производственную деятельность результатов научно-исследовательской работы Поповой Валентины Владимировны по теме:
«Оптимизация применения хелатных цинковых и медных удобрений при
возделывании пшеницы яровой
в условиях южной лесостепи Западной Сибири»

Результаты исследований Поповой В.В., связанные с разработкой рекомендаций использования хелатных форм микроудобрений удобрений способами обработки семян и некорневой подкормки в различные фазы роста, влияние на величину урожая зерна пшеницы яровой применялись в ООО «ЭйТи-Трейд» в 2020 году на общей площади 211 га (№ поля 745). Получены следующие результаты при возделывании яровой пшеницы Памяти Азиева (использовались растворы хелата микроэлемента, содержание в почве цинка низкое - 0,51 мл/кг): при некорневой подкормке в фазу кущения дозой цинк 20 г на 1 га, получена урожайность 2,1 т/га.

16 сентября 2020 года

Генеральный директор
ООО «ЭйТи-Трейд»



Е.А. Новосельский

Приложение Л

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ П. А. СТОЛЫПИНА»



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по образовательной

деятельности ФГБОУ ВО Омский ГАУ

С.Ю. Комарова

«25» ноября 2020 г.

Справка

об использовании результатов диссертации В.В. Поповой «Оптимизация применения хелатных цинковых и медных удобрений при возделывании пшеницы яровой в условиях южной лесостепи Западной Сибири»

Материалы диссертационной работы Поповой В.В. используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Омский ГАУ по дисциплинам: «Агрохимия», «Агрохимия микроэлементов», «Инновационные технологии в агрохимии» при подготовке бакалавров по направлению 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение; магистров по направлению 35.04.03 Агрохимия и агропочвоведение.

Заведующий кафедрой агрохимии
и почвоведения
д-р с.-х. наук, доцент

И.А. Бобренко

Декан факультета агрохимии,
почвоведения, экологии,
природообустройства
и водопользования
канд. с.-х. наук, доцент

Н. В. Гоман