

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 Ивановна



**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОУДОБРЕНИЙ
ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ
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 – 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ).....	9
1.1 Микроэлементы в почвах и растениях.....	9
1.2 Влияние микроудобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур	18
2 ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	29
2.1 Объекты исследований.....	29
2.2 Климат и метеорологические условия в годы проведения исследований.....	34
2.3 Методика полевых и лабораторных исследований.....	38
3 ВЛИЯНИЕ МИКРОУДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ.....	42
4 УПРАВЛЕНИЕ ПИТАНИЕМ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ОСНОВЕ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПОЧВЫ.....	58
4.1 Связь величины урожая озимой пшеницы с содержанием подвижного цинка в почве и оптимизация обеспеченности им растений	58
4.2 Нормативные показатели для определения потребности озимой пшеницы в элементах минерального питания.....	66
5 УПРАВЛЕНИЕ ПИТАНИЕМ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ОСНОВЕ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РАСТЕНИЙ.....	75
5.1 Содержание макро- и микроэлементов в растениях при применении удобрений.....	77
5.2 Оптимальное содержание и соотношение элементов в растениях.....	86

6 КАЧЕСТВО И СТРУКТУРА УРОЖАЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МИКРОУДОБРЕНИЙ.....	99
6.1 Влияние микроудобрений на качество урожая озимой пшеницы	99
6.2 Влияние микроудобрений на структуру урожая озимой пшеницы	107
7 БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПОД ОЗИМУЮ ПШЕНИЦУ	113
7.1 Биоэнергетическая эффективность применения удобрений.....	113
7.2 Экономическая эффективность применения удобрений	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	121
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.....	123
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	124
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	149

ВВЕДЕНИЕ

Ведущая роль среди зерновых культур принадлежит высокопродуктивной ценной продовольственной культуре – озимой пшенице. Мягкая озимая пшеница распространена практически по всему земному шару и принадлежит к числу наиболее ценных и высокоурожайных зерновых культур. Озимая пшеница более урожайна, чем озимая рожь и яровые хлеба. Зерно ее богато клейковинными белками и другими ценными веществами, поэтому широко используется для продовольственных целей; пшеничные отруби – высококонцентрированный корм для сельскохозяйственных животных [167, 168].

В настоящее время с ростом применения минеральных удобрений все большее значение приобретает проблема пополнения микроэлементов, содержащихся в почве, более того, в отдельных регионах ощущается их дефицит [5, 9, 17, 76, 89, 140]. Наука и практика располагают обширным материалом, доказывающим, что при недостатке в почве доступных форм микроэлементов сельскохозяйственные культуры дают невысокие урожаи. Одними из основных таких элементов являются цинк, марганец и медь.

Цинк принимает непосредственное участие в синтезе хлорофилла и оказывает влияние на фотосинтез, углеводный и белковый обмен в растениях. Принимает участие в метаболических процессах, входит во многие ферментативные системы, влияет на плодоношение, способствует формированию генеративных органов [86, 203].

Значение меди связано с вхождением ее в состав медьсодержащих белков и ферментов. Она влияет на азотный обмен, играет важную роль в фотосинтезе, в образовании хлорофилла, способствует повышению устойчивости растений к неблагоприятным условиям внешней среды: высоким и низким температурам, засухе, а также к поражению различными заболеваниями [127].

Марганец участвует в дыхательном процессе, азотном обмене, биосинтезе белка, образовании хлорофилла, синтезе нуклеиновых кислот и передаче

наследственной информации. Он способствует избирательному поглощению ионов из питательных растворов, устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды [86].

По данным агрохимического обследования черноземных почв Омской области низкий уровень содержания подвижного цинка отмечен на 98,9% от обследованной площади, низкое и среднее содержание в почве подвижных меди и марганца – на 99,4 и 80,7 % соответственно, что характеризует регион как проблемный с точки зрения обеспечения культурных растений микроэлементами [106].

Озимая пшеница отзывчива на применение микроудобрений [59], но в условиях лесостепи Западной Сибири данный прием не изучался. Управление питанием микроэлементами озимой пшеницы на основе нормативных параметров интеграционной системы почвенно-растительной оперативной диагностики «ИСПРОД» (разработана научной школой под руководством профессора Ю.И. Ермохина [73]) даст возможность оптимизировать питание с целью получения высокого и качественного урожая зерна.

Цель исследований – разработать агрохимические нормативные параметры для диагностирования минерального питания растений озимой пшеницы микроэлементами (Zn, Cu, Mn) и оптимизации применения микроудобрений на лугово-черноземных почвах лесостепи Западной Сибири.

Для достижения цели были поставлены задачи:

- выявить действие микроудобрений на величину и качество урожая озимой пшеницы;
- установить оптимальные дозы цинковых удобрений в основное внесение и оптимальные дозы микроудобрений (Zn, Cu, Mn) при опудривании семян;
- изучить взаимосвязь между химическим составом почвы, дозами цинковых удобрений, величиной и качеством урожая озимой пшеницы;

- установить оптимальные уровни и соотношения макро- (N, P, K) и микроэлементов (Zn, Cu, Mn) в растениях для диагностирования питания и потребности в удобрениях;
- установить нормативные количественные показатели выноса макро- и микроэлементов урожаем, коэффициенты использования питательных веществ из почвы, удобрений и интенсивности действия удобрений на химический состав почвы для расчета доз удобрений;
- дать оценку экономической и биоэнергетической эффективности применения микроудобрений под озимую пшеницу.

Научная новизна исследований. Впервые в условиях южной лесостепи Западной Сибири выявлены закономерности влияния доз микроудобрений (Zn, Cu, Mn) на величину и качество урожая озимой пшеницы. Установлены математические зависимости действия микроудобрений, применяемых на фоне макроудобрений, на концентрацию и соотношение макро- (N, P, K) и микроэлементов (Zn, Cu, Mn) в почве, на основе которых предложены нормативные агрохимические параметры, позволяющие оптимизировать минеральное питание озимой пшеницы. Установлены коэффициенты использования элементов из почвы и удобрений, а также интенсивности действия единицы цинковых удобрений на химический состав почвы.

Практическое значение. Выявленные закономерности в системе «почва – микроудобрение – растение» дают возможность оптимизировать удобрением поступление N, P, K, Zn, Cu, Mn в растения озимой пшеницы, создавая сбалансированное питание с помощью использования установленных нормативных параметров, и тем самым управлять процессом формирования величины и качества урожая. Применение удобрений на основе агрохимических параметров позволяет повысить их агрономическую и экономическую эффективность.

Основные положения, выносимые на защиту:

- показатели оптимального содержания подвижного цинка в почве, содержания и соотношения элементов в растениях позволяют диагностировать

состояние микроэлементного (Zn, Cu, Mn) питания озимой пшеницы;

– расчет доз удобрений на основе агрохимических параметров почвенно-растительной диагностики (оптимальное содержание подвижного цинка в почве, затраты элементов питания на создание 1 тонны урожая, коэффициенты использования и интенсивности действия удобрений на химический состав почвы, оптимальное содержание и соотношение элементов в растениях) обеспечивает основное и дополнительное внесение микроудобрений в оптимальных дозах.

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

Апробация исследований. Основные результаты исследований были представлены докладами и обсуждены на Всероссийских научных конференциях «Россия молодая: передовые технологии – в промышленность» (Омск, 2009, 2013), «Экологические проблемы региона и пути их решения» (Омск, 2016), «Перспективы производства продуктов питания нового поколения» (Омск, 2017); Международной научной конференции, посвященной 45-летию факультета агрохимии, почвоведения и экологии Омского ГАУ (Омск, 2009), 44-й международной научной конференции молодых учёных и специалистов (Москва, 2010), IV Международной научной конференции молодых учёных, посвящённой 40-летию СО Россельхозакадемии (Новосибирск, 2010), Международных научных конференциях «Диагностика и управление минеральным питанием растений» (Омск, 2010), «Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий» (Горно-Алтайск, 2011), «Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития» (Тамбов, 2013, 2015), «Инновационные разработки молодых учёных – развитию агропромышленного комплекса» (Ставрополь, 2013, 2014), «Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения – 2017)» (Омск, 2017) и опубликованы в 27 печатных рабо-

тах общим объемом 14 п.л., в том числе 7 работ в ведущих рецензируемых научных журналах, 1 статья в журнале из базы Scopus.

Результаты исследований прошли производственную проверку в ООО «РУСКОМ-Агро» на площади 23 га, используются в учебном процессе (приложения М, Н, О, П).

Автор выражает искреннюю благодарность за научное руководство доктору сельскохозяйственных наук, академику Международной академии аграрного образования И.А. Бобренко, а также за всестороннюю помощь доктору сельскохозяйственных наук, профессору, заслуженному деятелю науки РФ, лауреату Государственной премии РФ имени акад. Д.Н. Прянишникова Ю.И. Ермохину. Автор благодарит преподавателей, лаборантов, студентов 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 ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Микроэлементы в почвах и растениях

Озимая пшеница в условиях Западной Сибири является высокоурожайной культурой, способной давать урожаи зерна по 40-60 т/га. Она предъявляет высокие требования к почвам, лучшие для нее – черноземы. Оптимальная реакция почвенного раствора – нейтральная. С появлением двух-трех листьев озимой пшенице необходимо усиленное фосфорное и умеренное азотное питание. Фосфор ускоряет развитие корневой системы. В фазу кущения усиливается потребность в азоте. Максимальная потребность во всех элементах питания наблюдается в период выхода в трубку – колошения. Недостаток азота в это время уменьшает продуктивную кустистость, размер колоса, количество в нем колосков и цветков. При наличии достаточного количества фосфора усиленно формируются генеративные органы, недостаток его ведет к череззернице. Калий повышает устойчивость к грибковым заболеваниям [150].

Для возделывания озимой пшеницы наиболее пригодны черноземы. Они отличаются высоким содержанием гумуса в пахотном слое, мощным гумусовым горизонтом, большим количеством питательных веществ, благоприятными водно-физическими свойствами.

Высокие урожаи озимой пшеницы можно получить лишь на фоне внесения органических и минеральных удобрений и при выполнении всего комплекса агротехнических мероприятий. В период вегетации пшеница поглощает большое количество элементов минерального питания. Все они крайне необходимы и каждый в отдельности выполняет определенную роль в физиолого-биохимических процессах, проходящих в растениях. В полевых условиях снижение интенсивности роста озимой пшеницы чаще всего является следствием недостаточного содержания в почве основных элементов минерального питания – азота, фосфора и калия. Нарушения нормального роста может происхо-

дить и из-за недостатка других элементов минерального питания, в том числе и микроэлементов [57].

Микроэлементы находятся в растениях в количествах тысячных и сотых долей процента и реализовывают важные функции в процессе их жизнедеятельности, входят в состав ферментов, гормонов, витаминов или оказывают влияние на их активность. Обеспечение культурных растений микроэlementным питанием – одна из важнейших задач в растениеводстве. Наиболее часто встречается недостаток в почвах и растениях цинка, меди и марганца [5, 28, 59, 91, 112, 163, 182, 204, 211, 218].

Цинк. Количество цинка в растениях зависит от биологических особенностей растений, анализируемого органа, свойств почвы, на которой они возделываются, и составляет 7-150 мг на 1 кг сухой биомассы. Семена содержат цинка больше, чем солома, а растения, выращенные на дерново-подзолистой почве из-за кислой реакции среды, более обогащены цинком, чем на черноземах. Он выполняет различные функции в жизни растений и животных, входит в большое число ферментов, в частности карбоангидразу (она содержит 0,33-0,34 % цинка). Этот фермент катализирует обратимую реакцию расщепления угольной кислоты: $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, следовательно, велика его роль в процессе дыхания. Цинк принимает непосредственное участие в синтезе хлорофилла и оказывает влияние на фотосинтез и углеводный обмен в растениях. Весьма специфично значение цинка в образовании ауксинов, его дефицит уменьшает их количество, из-за чего замедляется рост растений [90, 140, 174].

Цинк влияет на плодоношение, способствует формированию генеративных органов, усиливает ферментативную деятельность в прорастающих семенах. При его недостатке на растениях могут совсем не образовываться семена. Поэтому наибольшая эффективность наблюдается при улучшении цинкового питания в период цветения – начала образования семян и плодов. Цинковые удобрения повышают устойчивость растений к неблагоприятным метеороуслови-

ям. При недостатке цинка растения плохо развиваются, на листьях появляются хлоротичные бледно-зеленые или белые пятна.

Дефицит цинка ощущается при содержании в растениях 10-20 мг/кг сухого вещества и менее. При недостатке цинка наблюдаются различные отклонения в реакциях цепи дыхания, окислительного и энергетического обмена, которые связаны с нарушением хода гликолиза и цикла Кребса; также может тормозиться синтез белка [140]. Активируя пептидазы, цинк связан с синтезом пептидов, что и обуславливает его участие в белковом обмене растений. В то же время, по мнению М.Я. Школьника [209], влияние цинка на синтез белка в большей степени осуществляется через цинксодержащий фермент глутаматдегидрогеназу.

Цинк в почве представлен в виде различных соединений. Известно 64 минерала содержащих цинк (сфалерит ZnS , цинкит ZnO , смитсонит $ZnCO_3$, виллемит Zn_2SiO_4 и др.). Содержание цинка в почвах зависит от характера материнских пород, содержания органического вещества, текстуры почвы, реакции среды и составляет $5 \cdot 10^{-3}\%$, при этом колебания в незагрязненных почвах весьма значительны.

Значительная часть этого элемента связана с органическими соединениями почвы и представлена водорастворимыми соединениями. Наибольшей подвижностью цинка отличаются кислые почвы. С уменьшением кислотности подвижность цинка снижается. При pH почвы 6,0-7,0 наблюдается наименьшая подвижность цинка, а в щелочном интервале подвижность цинка вновь возрастает, что связано с образованием цинкатов [90, 106]. Потребление цинка растениями возрастает с повышением содержания подвижных форм металла в почве. Содержание его в растениях зависит от вида, при этом может меняться весьма существенно [174].

При внесении высоких норм фосфорных удобрений снижается подвижность почвенного цинка и его доступность для растений [12, 69, 91, 209]. Так, по данным М.С. Панина [145] повышенные и высокие дозы фосфора (60-120

д.в. кг/га) на лугово-темно-каштановой почве в среднем наполовину снижали поступление цинка в растения яровой пшеницы Саратовская 29 и ячменя Донецкий 650 (от 12 до 17 мг/кг по сравнению с фоном), способствуя уменьшению выноса цинка (до 50-55 г/га относительно азотных удобрений, особенно в фазы кущения и выхода в трубку. В то же время высокие дозы азота (90-120 д.в. кг/га) во все фазы роста яровой пшеницы и ячменя способствовали значительному увеличению поступления цинка в растения. Особенно ярко это проявилось в периоды кущения и выхода в трубку (от 10 до 26 мг/кг по сравнению с фоном) и в конечном итоге способствовало значительному росту урожая зерна (2,17-2,66 т/га). Высокие дозы калия (60-120 д.в. кг/га) так же увеличивали поступления цинка в растения яровой пшеницы и ячменя на 8-12 мг/кг, особенно в период до наступления колошения. Применение азотно-фосфорно-калийных удобрений способствовало увеличению выноса цинка из почвы урожаями пшеницы и ячменя (37,3-64,6 г/га) в сравнении с вариантами без применения минеральных удобрений (36,1-39,0 г/га), что значительно увеличивает и без того имеющийся резкий дефицит подвижных форм цинка в почве.

Цинк оказывает благоприятное влияние и на повышение болезнеустойчивости растений. Наиболее ранние сообщения о влиянии микроэлементов на повышение устойчивости растений к болезням были сделаны Чириковым (1913) и К. Спинксом (1913). В условиях Молдавии изучалось влияние цинка, бора и меди на устойчивость кукурузы к пузырчатой головне. Наибольший эффект был получен на внесении цинка. На контрольном посеве количество больных растений достигло 40,6%, а в варианте с цинком – только 10,6%. Соли цинка снижали так же количество проросших спор возбудителя пузырчатой головни (цит. по [178]).

Некоторые проявления токсичности цинка могут быть обусловлены его взаимодействием с другими элементами. Например, избыток цинка может вызывать симптомы недостаточности марганца, проявляющиеся в виде хлороза [12, 203]. При взаимодействии цинка с другими микроэлементами, например, Си

чаще всего наблюдается явление антагонизма. Некоторые авторы считают это следствием эффекта разбавления за счет роста биомассы [90]. Обильное питание растений азотом усиливает признаки дефицита цинка [68].

Медь. Значение меди в жизни растений связано со вхождением ее в состав медьсодержащих белков (например, пластоцианина) и ферментов: нитрит- и гипонитритредуктазы, аскорбиноксидазы и др. Она влияет на азотный обмен, играет важную роль в фотосинтезе, в образовании хлорофилла, способствует повышению устойчивости растений к неблагоприятным условиям внешней среды: высоким и низким температурам, засухе, а также к поражению различными грибковыми и бактериальными заболеваниями.

При медном голодании у злаковых приостанавливается рост, наблюдается сильное кущение, задерживается колошение, растения приобретают светло-зеленую окраску, кончики листьев белеют и отсыхают, при остром недостатке меди не образуются колосья, растения погибают. Это заболевание чаще всего наблюдается на осушенных болотных почвах и носит название «болезнь обработки» или «белоколосица» [148, 201, 202].

Как правило, при поедании растений, выращенных при дефиците меди, животные болеют «лизухой». В кормах ее должно содержаться не менее 3 мг/кг – 5 мг/кг сухой массы. При недостатке меди в кормах животные сильно худеют, шерсть у них становится вклоченной, животные теряют аппетит и усиленно лижут всевозможные предметы [8].

Содержание меди в растениях зависит от их видовых особенностей, фазы развития, анализируемого органа и почвенных условий их произрастания. Количество меди в растениях невелико, ее больше в вегетативных органах, чем в репродуктивных, и в овощах больше, чем в злаках. Медь не реутилизируется, поэтому ее, как правило, больше в нижних листьях, чем в верхних, особенно при дефиците ее в почве.

Медь в почве входит в состав кристаллической решетки первичных и вторичных минералов, органических веществ почвы, находится в поглощенном со-

стоянии на поверхности коллоидных частиц почвы и в виде водорастворимых солей. Она входит в состав более 200 минералов: медного колчедана, медного блеска, малахита, азурита и др. Доступными для питания растений являются соединения меди, растворимые в воде и частично те, что находятся в обменно-поглощенном состоянии. Подвижность меди и доступность ее растениям зависит в значительной степени от кислотности почвы – в кислых почвах медь наиболее подвижна. Известкование способствует ее закреплению, хотя и не столь резко выраженному, как марганца и цинка. Подвижность меди уменьшается также в результате всех процессов, усиливающих связь меди с органическими веществами почвы [90, 91].

Наименьшее содержание подвижной меди в Омской области обнаружено в дерново-подзолистых и серых лесных почвах, особенно легкого гранулометрического состава. Особенно мало меди в переходных и верховых торфах, где без внесения медных удобрений невозможно получить полноценное зерно. В солонцах содержится много меди, что обусловлено особенностями их формирования (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Содержание меди в почвах Омской области [140]

Почвы	Cu, мг/кг	
	валовая	подвижная (в 1 н. HCl)
Дерново-подзолистые*	7,0-19,0	1,0-3,5
Серые лесные	12,4-18,2	2,2-3,5
Черноземные	17,0-25,3	3,0-6,0
Солонцы	-	3,0-9,1

Примечание. * – максимальные значения в окультуренных почвах

При прогнозировании обеспеченности почв медью следует учитывать, что внесение высоких доз азотных удобрений, а по некоторым данным и фосфорных, усиливает потребность растений в меди и способствует обострению симптомов медной недостаточности [140].

Марганец выполняет исключительно важную роль в жизни растений. Он входит в состав 30 ферментов, которые катализируют гидролиз, декарбоксилирование и другие реакции. Марганец активирует большое количество неспецифических металлоферментных комплексов, которые принимают участие в реакции цикла Кребса. Велика роль марганца в фотосинтезе, дыхании, азотном обмене, в образовании хлорофилла.

Марганец необходим животным для образования скелета. При его недостатке в кормах (менее 10-20 мг/кг сухой массы) у молодых животных отмечается искривление конечностей и замедление роста.

Содержание марганца в растениях изменяется от тысячных до сотых долей процента и зависит от биологических особенностей самого растения, его органа, от концентрации подвижных форм этого элемента и величины pH в почве. Содержание марганца в растениях в зависимости от типа почвы изменяется в следующих пределах: для клевера – от 50 до 1000 мг/кг; для льна – от 90 до 920 мг/кг, ячменя – от 50 до 400 мг/кг [8]. Наибольшее количество марганца поступает в растения из известкованной дерново-подзолистой суглинистой почвы, наименьшее – из черноземов. На сильноокислых почвах количество марганца в растениях может достигать очень больших величин (800-1000 мг/кг), способных оказывать токсичное действие на растения. Максимальное количество марганца накапливается в вегетативных частях растений, что связано с его участием в процессе фотосинтеза.

Марганец в почве представлен различными соединениями. Он входит в состав многих минералов: пиролюзита, псиломелана, манганита и др. Известно 150 собственно марганцевых минералов. Значительная часть марганца находится в органическом веществе. Эти соединения марганца недоступны для растений. Растения могут использовать марганец, который находится в почве в обменно-поглощенном состоянии и в форме водорастворимых соединений. Он присутствует в почве в двух-, трех-, или четырехвалентной форме:



Соединения трехвалентного марганца неустойчивы. В двухвалентной форме он доступен для питания растений, в четырехвалентной – недоступен. При наличии в почвах восстановительных условий (кислая реакция, плохая аэрация, переувлажнение) образуются наиболее растворимые соединения двухвалентного марганца. При усилении окислительных процессов (хорошая аэрация, рыхление) содержание его подвижных форм уменьшается в связи с образованием более окисленных труднорастворимых соединений. Поэтому концентрация подвижного марганца существенно варьирует в течение вегетационного периода и зависит от температурного режима почвы, ее аэрации и других факторов. Исследования на черноземных почвах Западной Сибири показали, что концентрация подвижного марганца в них весьма изменчива. Следовательно, для диагностики марганцевого питания необходимо определять количество этого микроэлемента в основные фазы развития растений, т.е. в динамике.

Исследования Э.Д. Орловой [137] показали, что после хранения почвенных проб количество подвижного марганца по сравнению с исходным, как правило, увеличивается. Поэтому при определении подвижного марганца необходимо анализировать почвенные пробы по возможности максимально короткие сроки.

Подвижность марганца в почве зависит в значительной степени от агротехнических приемов: под влиянием известкования, рыхления, внесения фосфорных удобрений его количество снижается. Ориентировочная оценка исследованных почв свидетельствует о высоком содержании подвижного марганца в дерново-подзолистых, серых лесных почвах и солонцах Омской области. Следует отметить, что в кислых дерново-подзолистых почвах марганец может накапливаться в избыточных, порой токсичных концентрациях. Очень мало этого микроэлемента в черноземах карбонатных, обыкновенных и южных [53, 104, 140].

Потребность растений в марганце может проявиться на известкованных дерново-подзолистых почвах, на карбонатных обыкновенных и южных черно-

земах при рН более 6,0. Особенно велика потребность в марганце индикаторных культур и на повышенных минеральных фонах. Дефицит марганца сильнее сказывается на растениях при использовании азота в нитратной форме и при высоком фоне калия в почве.

Чтобы добиться высокой эффективности микроудобрений, необходимо, прежде всего, учитывать содержание подвижных (усвояемых растениями) форм микроэлементов в почве. Микроудобрения нужно применять в первую очередь при низком или среднем содержании подвижных форм микроэлементов в почвах. Результаты агрохимического обследования почв России показывают, что от 81 до 98 % обследованной пашни характеризуется низкой и средней обеспеченностью различными микроэлементами. Особенно недостаточно обеспечены почвы цинком, 80 % обследованной площади имеют низкое его содержание (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Распределение площади пашни Российской Федерации по степени обеспеченности подвижными формами микроэлементов [59]

Элемент	Обследованная площадь, тыс. га	Обеспеченность микроэлементами					
		низкая		средняя		высокая	
		тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
Медь	18679	2904	15,6	5293	28,3	10482	56,1
Цинк	21487	17213	80,1	3187	14,8	1087	5,1
Марганец	23600	3384	14,4	10394	44,0	9822	41,6

В целом по содержанию микроэлементов в черноземах региона В.М. Красницкий [104-106] отметил различный их уровень по природным зонам (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Обеспеченность микроэлементами черноземных почв Омской области [106]

Зона	Общая площадь, тыс. га	Содержание по группам, % от общей площади								
		Zn			Cu			Mn		
		низ.	сред.	выс.	низ.	сред.	выс.	низ.	сред.	выс.
Степная	1843,4	99,8	0,2	-	43,6	52,3	4,1	13,7	73,2	13,1
Южная лесостепь	1026,3	99,6	0,4	-	43,6	52,3	4,1	9,2	64,9	25,9
Северная лесостепь	450,7	99,8	0,2	-	48,3	49,4	2,3	14,2	59,8	26,0
По области	3320,4	98,9	0,2	0,9	59,8	39,6	0,6	11,6	69,1	19,3

Автор делает вывод о низком уровне содержания подвижного цинка в почвах всех зон (99,6-99,8% от обследованной площади), низкое и среднее содержание в почве подвижных марганца (74,0-86,9 %) и меди (97,7-95,9 %), что характеризует регион как проблемный с точки зрения обеспечения культурных растений микроэлементами.

1.2 Влияние микроудобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур

Различным вопросам применения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры, в т. ч. озимую пшеницу, посвящены исследования многих ученых [1, 10, 18, 38, 40, 41, 47-50, 58, 63, 81, 160, 170, 187, 188, 205-208, 223, 225, 228-236 и др.].

Так, в вегетационных опытах А.З. Ламбина [111] цинковые удобрения на солоди и выщелоченном черноземе повышали урожайность пшеницы на 11-30 %, в полевых опытах на черноземах – на 15 %. В опытах Г.П. Гамзикова [53] достоверное повышение урожайности зерна гороха при использовании цинка составило 0,26 т/га, вики – 0,25 т/га. Для бобовых культур автор предлагает

считать оптимальным 0,3-0,4 мг обменного цинка на 1 кг почвы (для извлечения цинка из почвы использовали 1 н. KCl). Применение цинкового удобрения под яровую пшеницу на лугово-черноземной почве (при концентрации обменного цинка 0,7 мг/кг) обеспечило увеличение урожайности на 14-20% [112].

Эксперименты на лугово-черноземной почве Омской области с содержанием подвижного цинка 1,0-1,3 мг/кг (в аммонийно-ацетатном буфере) позволили установить высокий эффект от цинка при использовании его под кукурузу. Средняя прибавка в урожайности общей массы кукурузы составила 18,5-25,9 %, а початков – 30,8-37,1 % [140].

В опытах М.А. Скляровой [178, 179] на лугово-черноземной почве Омского Прииртышья при низком уровне доступного цинка также установлено положительное действие этого микроэлемента на продуктивность кукурузы, при этом наилучшим было основное внесение Zn_{18} . В этих же условиях получено достоверное увеличение урожая озимой тритикале при внесении цинка удобрений. Наибольшая урожайность получена в варианте $N_{30}P_{60}Zn_8$ – 3,28 т/га, прибавка зерна составила 1,02 т/га (45,1 %) [21, 220].

Эффективным способом применения микроудобрений является предпосевная обработка семян, которая обеспечивает культуры микроэлементами в начале развития, активизирует физиологические процессы в прорастающем семени. На южном тяжелосуглинистом черноземе (рН = 6,8-7,0) Одесской опытной станции от опудривания семян кукурузы сульфатом цинком получена прибавка 0,46 т/га, или 11%. При опудривании семян овощных культур солями микроэлементов получена значительная прибавка урожая от сернокислого цинка [160, 170].

Максимальная прибавка урожая озимой ржи на лугово-черноземной почве Западной Сибири (0,56 т/га или 12,84% к фону) получена при совместном опудривании цинком и марганцем в дозе 50 г на 100 кг семян. Действие Zn_{100} по своей эффективности было близким к действию Mn_{50} , прибавка урожая зерна

составила соответственно 0,48 т/га и 0,50 т/га. При обработке солью цинка 50 г на 100 кг семян получена прибавка 0,43 т/га [33, 34].

Устранить недостаток цинка можно с помощью внекорневых подкормок, т. е. опрыскиванием растений слабыми растворами сульфата цинка. Так, по данным ученых США, наиболее высокий эффект можно получить при опрыскивании кукурузы 0,5%-ным раствором сернокислого цинка 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% [8, 91].

В условиях Омской области установлено положительное влияние марганцевых удобрений на урожайность и качество различных культур на черноземных почвах. Отзывчивость растений на марганец зависела от содержания его подвижных форм в почве и от биологических особенностей культур. Сернокислый марганец не оказал устойчивого влияния на урожайность яровой пшеницы. Существенная прибавка от этого микроэлемента (18 % по отношению к фону) наблюдалась только в засушливом году при содержании подвижного марганца в почве 46,0 мг/кг (в вытяжке 0,1 н H_2SO_4). В опытах с суданской травой марганца в почве наблюдалось значительно больше. Несмотря на это, применение микроэлемента, как до посева, так и в виде некорневой подкормки оказало положительное влияние на суданскую траву. Наибольший положительный эффект от марганца получен от некорневых подкормок на высоких минеральных фонах. Благоприятное влияние марганца на суданскую траву объясняется биологическими особенностями этой культуры, развивающей большую вегетативную массу с хорошей облиственностью [140].

Медные удобрения оказывают положительное влияние на урожайность не только на торфяно-болотных почвах, но и на дерново-подзолистых и даже черноземах. В опытах на дерново-сильноподзолистой почве прибавка от 6 кг/га меди составила 16 %, при этом созревание зерна происходило на 4-5 дней раньше, чем в контроле, содержание белка в зернах пшеницы возросло на 16 %,

стекловидность – на 17 % [3]. Применение меди под яровую пшеницу на лугово-черноземной почве было неэффективным [111, 112].

В исследованиях в Мордовии при возделывании озимой пшеницы с применением высоких доз удобрений и фунгицидов (под урожай 7-8 т/га), подкормки медными и марганцевыми удобрениями на черноземе, выщелоченном дали прибавки 0,8 и 1,1 т/га соответственно [107].

О.А. Митрохина с соавторами [215] изучала влияние микроэлементов на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в Курской области. Некорневую обработку посевов озимой пшеницы проводили растворами Zn, Cu, Mn в фазы трубкования и кущения. Было установлено, что при обработке посевов в период кущения, увеличение урожая пшеницы было получено под действием меди и марганца на 0,45 и 0,28 т/га соответственно, урожайность в контроле составила 2,87 т/га. При этом медь и марганец накапливаются в зерне озимой пшеницы и растения поглощают их интенсивнее, чем другие микроэлементы. Микроэлементы воздействовали и на показатели качества зерна. Так, при обработке в период кущения содержание клейковины в контроле составило 30,4 %, под влиянием цинка увеличилось на 2,9 %, меди на 2,4 %, марганца на 4,9 %. Показатель натурности зерна в контроле составил 625 г/л, а в вариантах с применением хелатов цинка, меди и марганца составил 750, 740 и 680 г/л соответственно.

При обработке посевов в период трубкования отмечалась более высокая эффективность хелатных форм меди и марганца. Прибавка от использования хелатов цинка, меди и марганца по сравнению с контролем (2,41 т/га) составила 0,44 т/га, 1,23 т/га и 0,92 т/га соответственно.

На показатели натурности зерна и содержания клейковины большое влияние при обработке в фазу трубкования оказали хелаты меди, цинка и марганца. Количество клейковины при использовании меди возросло на 4,9 %, цинка на 2,4 %, марганца – 4,7 % по сравнению с контролем (30,9 %). Наибольшее увеличение натурности зерна характерно для вариантов с использованием хелатов меди и

цинка. Натура зерна в контрольном варианте составила 645 г/л, в вариантах с применением хелата меди и цинка – 745 г/л, марганца – 712 г/л.

Лучшие результаты обеспечивает проведение некорневых подкормок в период трубкования. Особенно это касается применения хелатов меди и марганца. Недостаточная обеспеченность микроэлементами стала фактором, определяющим высоту, качество урожая, и эффективность применения удобрений [215].

По данным И.А. Гайсина [48, 49] на светло-серых лесных почвах 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 внесение микроудобрений совместно не было более эффективным.

Было установлено значительное повышение коэффициентов использования макроудобрений за ротацию севооборота в вариантах, где применялись микроудобрения. По фону NPK коэффициенты использования азота за I ротацию севооборота достигали 43 %, а за II – 36 %, то есть в среднем 39 %. Коэффициенты использования фосфора за I и II ротацию составили соответственно 16-17 %, калия 44 и 27 %. В вариантах с применением В, Мо, Сu, Zn, Mn, Со коэффициенты использования азота достигали 61-64 %, фосфора – 22-29 %, калия 51-56 %. Между тем коэффициенты использования микроудобрений, внесенных в почвы за ротацию севооборота, были невысокими: медьсодержащих – 0,5-1,5 %, цинк- и марганецсодержащих – 2,0-5,5 % [48].

Эксперименты С.П. Абазяна [1] позволили ему прийти к выводу, что применение микроэлементов путем опудривания семян микроэлементами и

внекорневого опрыскивание растений озимой пшеницы оказывает положительное влияние на урожай и качество зерна. Предпосевное опудривание семян солями микроэлементов (бор, марганец и цинк) способствовало повышению урожая зерна озимой пшеницы на орошаемых полупустынных почвах на 0,11-0,23 т/га (4,9-10,3%) при урожае в контроле 2,23 т/га; горных каштановых – 0,07-0,22 т/га (4,0-12,7 %) при урожае в контроле – 1,73 т/га; горных черноземах – 0,10-0,49 т/га (3,7-18,3 %) при урожае в контроле 2,68 т/га.

Результаты исследований на почвах Нижегородской области показали, что применение микроэлементов в условиях недостаточного содержания их дает возможность повысить урожайность озимой пшеницы при обработке растений раствором на 12% [205].

При изучении эффективности отдельного и совместного применения жидкого азотного удобрения КАС с медным купоросом и многокомпонентным микроудобрением Витамар (включает Mg, S, B, Zn, Mn, Cu, Mo, Fe, гуматы) при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой почве Беларуси было установлено, что урожайность увеличивалась до 6,29 т/га [38].

Гречишкиной О.С. (2008) на южных черноземах Оренбургской области были изучены процессы формирования урожая и качества зерна озимой пшеницы в зависимости от предпосевной обработки семян физиологически активными веществами и биопрепаратами и внесения микроэлементов в чистом виде и в смеси с азотом в период формирования и налива зерна. Наиболее эффективными при обработке семян были препараты ЖУСС и ЖУСС-2, способствующие повышению урожайности на 0,26 и 0,23 т с 1 га.

На Украине изучались микроудобрение «РЕАКОМ» на основе хелатов, оно представляет собой водный высококонцентрированный раствор 1-гидроксиэтилидендифосфонатов Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Mo и B. Так, в Харьковской области в контрольном варианте урожайность ячменя составила 2,49 т/га, при обработке семян микроудобрениями – 3,17 т/га; эти же показатели озимой пшеницы: 20,0 и 26,3. На Николаевской опытной станции при внекорневой об-

работке озимой пшеницы микроудобрением прибавка составила 0,44 т/га при урожайности в контроле 3,28 т/га [121].

При изучении обработки семян и внекорневой подкормки «РЕАКОМ» озимой пшеницы различных сортов установлено, что без микроудобрений урожайность Киевской 8 составила 5,61 т/га, Лузановки – 5,86 и Белоцерковской полукарликовой – 5,66. При обработке семян и внекорневой подкормки растений «РЕАКОМ» получены прибавки 0,59; 0,52; 0,44 т/га соответственно. По данным Института зернового хозяйства (г. Днепропетровск) прирост урожая озимой пшеницы от обработки семян этим микроудобрением составил 0,47 т/га, и от внекорневой подкормки – 0,64 т/га, а при объединении этих двух приемов – 1,10 т/га зерна, при урожайности в контрольном варианте 2,90 т/га. Результаты опытов с зерновыми культурами свидетельствуют о стабильности повышения урожая от применения микроудобрений [121].

Проведение некорневой подкормки озимой пшеницы в условиях Ставропольского края препаратом Лаварин и Лигнас (содержат цинк, молибден, медь, кобальт, железо, марганец в хелатной форме) обеспечило прибавку 0,38 и 0,54 т/га соответственно при урожайности без подкормки 4,0 т/га [58].

При изучении влияния некорневых подкормок микроудобрениями на урожайность озимой пшеницы на черноземе выщелоченном лесостепи ЦЧЗ урожайность была минимальной в контроле (фон – навоз, 40 т/га + $P_{60}K_{60} + N_{30}$ (рано весной + вода) и составила 3,58 т/га. При внесении микроэлементов максимальный результат был получен в варианте фон + Мастер ($N_{20}P_{20}K_{20} + MgO_3$ + микроэлементы S, B, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo) – 4,2 т/га с прибавкой 0,34 т/га (8,8% к контролю). Использование $CuSO_4$ и H_3BO_3 привело к увеличению урожайности соответственно на 0,29 и 0,27 т/га (8,2 и 7,5%). Некорневые подкормки $ZnSO_4$ обеспечивали прибавку 0,22 т/га (6,1% к контролю). Минимальная прибавка урожайности отмечена при применении $MnSO_4$ и $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ и составила 0,16 и 0,14 т/га [193].

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 % к фону). В лучшем варианте медных удобрений Cu_{100} прибавка составила 19,1 % при урожайности 2,81 т/га. При применении Mn урожайность зерна существенно не изменялась в зависимости от доз 50-150 г на 100 кг семян, прибавка составила 0,34-0,42 т/га (12,9-15,6 % к фону). Максимальное увеличение урожайности получено при $Zn_{50}Cu_{50}Mn_{50}$, которая составила 3,01 т/га (прибавка 24,5 % к фону). На увеличение белка в зерне влияние оказали цинковые и медные удобрения. 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 (на фоне – 18,7 %) [19].

Микроудобрения можно применять равными способами, в зависимости от содержания подвижных форм микроэлементов в почве, в растениях, применяемых удобрений и особенностей возделываемых культур. В производстве практикуется три способа внесения микроудобрений: обработка семян до посева, внекорневая подкормка путем опрыскивания растений растворами солей, основное внесение в почву. Многие исследования посвящены определению лучшего способа применения микроудобрений.

Основное внесение микроудобрений в почву предпочтительно в том случае, когда в почве обнаружен недостаток микроэлементов. В этом случае желательно их применять на фоне достаточного обеспечения растений азотом и фосфором. Однако этот способ требует больших затрат удобрений.

Американскими исследователями проводились опыты с овсом. При внесении цинка в рядки и междурядья в дозах 22,6; 45 и 90,4 кг/га были получены высокие прибавки урожая. При внесении в рядки большая прибавка получена от меньшей дозы, а при внесении в междурядья от большей. На Долгопрудной опытной станции в опыте с ячменем изучали три дозы сульфата цинка – 2,5; 5 и 10 мг/кг на трех видах почв – подзолистый суглинок, подзолистая супесь и серозем. На подзолистом суглинке, особенно на известкованном фоне, значитель-

ная прибавка зерна получена от дозы 5 мг/кг, а на подзолистой супеси – от 10 мг/кг. Урожай ячменя на сероземе в одинаковой степени повысился от всех доз цинка. 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% [8, 91].

В опытах, проведенных в Харьковской области Украины, намачивание семян кукурузы в течение 24 часов в 0,002%-ном растворе сернокислого цинка и смачивание их этим раствором с быстрым просушиванием из расчета 2 мг цинка на 1 кг семян оказало благоприятное влияние на энергию прорастания, увеличение содержания аскорбиновой кислоты в листьях и накопление белкового азота в зерне. В Житомирской области были получены высокие прибавки урожая от намачивания семян кукурузы в растворах, в пять раз более концентрированных, чем в выше описанных опытах, то есть 0,01-0,03%-ных. При этом применялись дозы 20, 40, 60 мг цинка на 1 кг семян (соотношение семян и раствора 1:2), замачивание продолжалось 20 часов. Максимальная прибавка зеленой массы кукурузы составила 136 ц/га (44,1%) при дозе 20 мг цинка на 1 кг семян. Однако нужно иметь в виду, что влияние цинка проявляется в большей мере, чем других элементов, только при определенных условиях. В Кировской области намачивание семян в 0,05%-ном растворе сернокислого цинка при раннем посеве, когда температура почвы и воздуха были ниже биологического минимума для прорастающих семян кукурузы, стимулировало прорастание, увеличивало холодостойкость проростков, улучшало структуру урожая, повышало урожай. В то время как намачивание семян в растворах сернокислой меди и сернокислого алюминия тормозило прорастание и ослабляло появившиеся всходы (цит. по [178]).

На основании проведенных опытов многие ученые пришли к выводу, что допосевное обогащение семян путем обработки их растворами микроэлементов является экономически выгодным и перспективным приемом [127].

Яровая пшеница при применении NPK + Zn на дерново-подзолистых среднеокультуренных почвах Центрального Нечерноземья способна обеспечивать получение урожаев зерна 3,5-4,0 т/га. При этом увеличение урожайности от NPK достигала 1,56-1,61 т/га, а от цинковых при основном удобрении (относительно NPK) – 0,59-0,75 т/га, а при проведении некорневых подкормок – 0,19-0,40 т/га [45].

В вегетационных опытах цинковые удобрения, применяемые на солоди и выщелоченном черноземе, повышали урожайность пшеницы на 11-30 %, в полевых опытах на черноземах – на 15 %. В данных опытах при сравнении трех приемов применения цинка (внесение в почву, предпосевной обработки семян, внекорневой подкормки) был сделан вывод о том, что предпосевная обработка семян обнаружила значительные преимущества перед другими способами [140].

Основное внесение цинковых удобрений на лугово-черноземной почве, содержащей 0,05 мг/кг подвижного цинка (в 1 н KCl), в дозах 2-4 кг/га увеличило урожайность семян капусты белокочанной на 0,06-0,12 т/га, что составило 20-33 % по отношению к контрольному варианту. Некорневая подкормка семенных посадок капусты 0,05 %-ным раствором ZnSO₄ обеспечила дополнительный выход 12 % семян [181].

На лугово-черноземной почве при возделывании кукурузы на зерно выявлено, что опудривание семян более эффективный метод, чем некорневая подкормка. При опудривании семян прибавки составили 31,6 % (Омка 130) и 18,1 % (Омка 150), а при опрыскивании – 21,7 и 14,4 % соответственно [178].

На лугово-черноземной почве южной лесостепи Западной Сибири действие цинковых удобрений в основное внесение на урожайность яровой пшеницы было эффективным. Внесение Zn₄ и Zn₈ без применения фосфорных удобрений позволило сформировать прибавку урожая 0,37 и 0,54 т/га соответственно (урожайность 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.

Максимальная прибавка 0,85 т/га сформировалась при применении Zn_8 на фоне P_{60} . При обработке сульфатом цинка наилучшим было применение 50 г на 100 кг семян – прибавка составила 0,65 т/га или 26,7% к фону [28].

А.Н. Аристарховым [59] с соавторами были обобщены данные 405 полевых опытов, проведенных агрохимической службой по изучению эффективности микроудобрений, вносимых под зерновые и зернобобовые культуры. В ходе анализа были выявлены закономерности в действии цинковых микроудобрений, вносимых под озимую пшеницу в различных почвенно-климатических условиях. Цинковые удобрения во всех зонах изучали в основном при внесении цинка 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 цинкового удобрения – 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 способа применения цинка уменьшалась. В целом, применение цинкового удобрения имело большое практическое значение.

В целом, чтобы удовлетворить потребность растений в элементах питания в разные периоды жизни, а также уменьшить отрицательное действие факторов внешней среды (температуры, влажности почвы и др.) на процесс питания, надо применять удобрения с учетом физиологических особенностей культур и агрохимических свойств почвы путем основного, припосевного или дополнительного внесения. Каждый способ имеет свои преимущества [9, 10, 93].

Таким образом, можно сделать вывод, что микроудобрения эффективны на черноземных почвах при выращивании сельскохозяйственных культур при различных способах применения. Но изучение применения микроудобрений (Zn, Cu, Mn) под озимую пшеницу в условиях лесостепи Западной Сибири не проводилось, и данная тема исследований является актуальной.

2 ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Объекты исследований

Объектами исследований являлись: озимая пшеница, почва лугово-черноземная, минеральные удобрения: азотные, фосфорные, калийные, цинковые, марганцевые, медные.

Озимая пшеница (*Triticum L.*) относится к семейству Poaceae Barnhart (мятликовые). Корневая система мочковатая, сильно развитая. В условиях южной лесостепи Омской области корни озимой пшеницы к фазе восковой спелости зерна проникают на глубину до 131-134 см. Глубина проникновения в фазу восковой спелости узловых корней 126-133 см. Стебель – соломина, состоящая из 5-7 междоузлий, высота его от 50 до 200 см. Растение озимой пшеницы способно образовывать 4-6 и более побегов из почек, расположенных в узле кущения. Лист – простой, линейный, соцветие – сложный колос, плод – зерновка [57, 172].

Продолжительность вегетации у озимой пшеницы достигает 300-360 дней. Транспирационный коэффициент составляет 400-500. Вегетация озимой пшеницы начинается с осени в год посева и заканчивается летом следующего года. Осенью, до наступления низких температур, озимая пшеница кустится и развивает мощную корневую систему. Первый период вегетации у озимой пшеницы проходит при более низких положительных температурах, в связи с чем требуется больше времени для формирования вегетативной массы и качественных изменений, обуславливающих развитие генеративных органов. Ранняя весенняя вегетация позволяет лучше использовать влагу, накопленную за осенне-зимний период. Благодаря хорошо развитой с осени корневой системе ей доступна влага более глубоких слоев почвы [150].

Набухание и прорастание семян. Зерно наклеивается и прорастает при поглощении воды до 45-50 % своей массы. Минимальная температура для прорастания семян 1-2 °С, наиболее благоприятная – 12-19 °С. Продолжительность

фазы набухания и прорастания составляет 7-25 дней. От начала набухания семян до появления всходов при глубине заделки 5-6 см необходима сумма среднесуточных положительных температур около 120 °С.

Всходы озимой пшеницы в условиях южной лесостепи Омской области появляются через 7-8 дней после посева семян по куливному пару. Температура почвы в этот период составляет 14-18 °С при достаточном количестве влаги. Резкое понижение температуры и избыточная влажность почвы при непрерывных осенних дождях задерживают появление всходов на 3-4 дня. При повышенной влажности почвы возможно вымерзание проростков и всходов озимой пшеницы при температуре -13 – -15 °С.

Кущение. Через несколько дней после появления всходов растения озимой пшеницы формируют 3-4 листа. С этого момента начинается кущение. Узел кущения формируется из верхнего узла главного стебля на глубине 1,5-3 см. Если в конце всходов устанавливается пасмурная и влажная погода, он нередко располагается на глубине 0,5-1,0 см от поверхности почвы. Энергия кущения обуславливается влажностью почвы, глубиной заделки, температурой почвы, генетическими особенностями сорта. Кущение может проходить при 2-4 °С. Осенью кущение продолжается до установления температуры 3-5°С, а весной возобновляется при 10-12 °С.

При оптимальном увлажнении в корнеобитаемом слое озимая пшеница развивает мощную корневую систему. Первичные корни к фазе кущения могут достигать 40-50 см. После возобновления весенней вегетации рост их продолжается до молочной спелости зерна, достигая порой 1,5 м. Эти корни играют большую роль в снабжении растений водой, используя влагу глубоких слоев почвы. Стеблевые же корни, проникая на глубину 30-50 см, пронизывают плодородный верхний слой почвы, снабжают растения питательными веществами, продуктивно используют осадки, выпадающие в течение вегетационного периода.

Выход в трубку наступает через 28-30 дней после возобновления весен-

ней вегетации. При благоприятных условиях эта фаза начинается у растений озимой пшеницы при среднесуточной температуре 8-10 °С. С повышением температуры рост стебля и листьев ускоряется. Если для завершения фазы при среднесуточной температуре 10-11°С необходимо 35-40 дней, то при 13-15 °С – 30-32 дня, а при 20-22°С – всего 18-20 дней.

Колошение. Закладка и формирование колоса происходит весной, когда температура воздуха повышается до 7-8°С и более. Если посеы изреженные и растения имеют по 3-4 продуктивных побега, колошение может растянуться на 7-8 дней.

Цветение наступает через 2-3 дня после колошения. Оптимальные условия для цветения: влажность воздуха 25 % и выше, температура 25-27 °С. Озимая пшеница относится к растениям-самоопылителям. Однако при определенных условиях может опыляться и перекрестно. Избыточное увлажнение сдерживает, а недостаток влаги ускоряет эти процессы.

Созревание. С момента оплодотворения начинается формирование зерна. Первым формируется зародыш, затем эндосперм и другие части. Окончательного размера зерновка достигает через 10-12 дней. К этому моменту в ней содержится 25-30 % сухого вещества от количества, содержащегося в нормально созревшем зерне. Затем наступает период налива зерна. Оптимальное увлажнение способствует получению зерна с высокой натурной массой. Налив протекает до начала восковой спелости. Зерно за этот период увеличивается в размерах, окраска его изменяется от зеленой до телесной, содержание воды в зерне снижается с 65-70 до 40-38 %. Дата наступления молочной спелости отмечается, когда содержимое зерновки достигает консистенции густой сметаны, а сама зерновка начинает слабо желтеть. Восковая спелость наступает через несколько дней после молочной и по продолжительности может быть различной. При жаркой сухой погоде она длится 3-5 дней, при влажной и пасмурной – 8-10 дней. Максимального количества сухое вещество в зерне достигает к середине восковой спелости. Характерный признак наступления восковой спелости –

пожелтение зерна. Содержание воды в зерне снижается до 40-35 % [150].

Сорт озимой мягкой пшеницы Омская 4 создан в Государственном научном учреждении Сибирском научно-исследовательском институте сельского хозяйства. Авторы сорта: Р.И. Рутц, В.Р. Борадулин, Ю.Л. Максимов, Е.Г. Мухордов, Е.В. Веревкин, П.В. Поползухин, С.С. Сеницын. Разновидность лютеценс. Сорт среднеспелый, созревает за 314-328 дней. Отличается высокой зимостойкостью и устойчивостью к полеганию, низкорослый. Благодаря высокой продуктивности, зимостойкости, устойчивости к полеганию, пыльной и твердой головне сорт вполне конкурентоспособен в условиях лесостепи Западной Сибири, где он и включен с 2001 г. в Государственный реестр [186].

Характеристика почв опытного участка. Полевые опыты проводились на поле СибНИИСХа (в настоящее время Омский аграрный научный центр). Территория южной лесостепной зоны – это слабоволнистая 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 лугово-чернозёмных почв менее насыщен азотом. По составу поглощённых катионов 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 поглощательную способность. Поглощательная способность коррелирует с гранулометрическим составом и содержанием гумуса [4, 29, 61, 126].

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

Вскипание от НС1 с 57 см, оглеение с 90 см.

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

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

$B_1 \frac{45 - 57}{8}$ – переходный, свежий, бурый с большим количеством гумусовых затеков, тяжелосуглинистый, пылевато-комковатый, уплотненный, новообразований нет, переход постепенный

$B_{2к} \frac{57 - 90}{33}$ – переходный, свежий, бурый с гумусовыми затеками, тяжелосуглинистый, пылевато-комковатый, плотный, новообразования $CaCO_3$ в форме пропитки

$B_{3к} \frac{90 - 114}{24}$ – переходный, свежий, светло-бурый, окончание гумусовых затеков, глинистый, комковатый, плотный, $CaCO_3$ в форме пропитки, переход ясный

$C_{кг} \frac{114 - 154}{40}$ – 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 0-30 см опытного участка нитратным азотом и подвижным фосфором – средняя, обменным калием – высокая, подвижными цинком, медью – низкая, марганцем – средняя (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Содержание доступных элементов питания в почве опытных участков, слой почвы 0-30 см, мг/кг*

Год	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu	Mn
2007	16,6/12,4	95,0/356	254/776	0,57	0,11	60,1
2008	20,6/15,6	83,2/314	247/815	0,56	0,12	52,5
2009	14,1/10,4	94,0/353	280/855	0,60	0,14	49,5
2010	16,7/12,5	80,6/305	252/770	0,60	0,14	59,4
2011	20,1/15,2	83,2/314	254/776	0,64	0,13	55,4

Примечание. *Макроэлементы: в числителе – содержание, определенное в 2 %-ной уксуснокислой вытяжке, в знаменателе – стандартными методами.

Микроэлементы – в ацетатно-аммонийном буферном растворе с рН 4,8.

Формы удобрений – аммиачная селитра (N – 34%), суперфосфат двойной (P₂O₅ – 46%), калий хлористый (K₂O – 60%), сернокислый цинк (Zn – 22%), сернокислая медь (Cu – 25,5%), сернокислый марганец (Mn – 22,8%).

2.2 Климат и метеорологические условия в годы проведения исследований

Омская область, на территории которой были поставлены опыты, расположена в пределах южной части Западно-Сибирской равнины, в среднем течении реки Иртыш. Омское Прииртышье – относительно плоская поверхность с преобладающими абсолютными отметками 100-140 м. Однообразный рельеф на отдельных участках нарушается понижениями плоских западин, древних ложбин стока, озерными котловинами, гривами и увалами. Территория области лежит вдали от морей и океанов, что обуславливает формирование резко континентального климата с холодной малоснежной зимой, короткой сухой весной, с поздними возвратами холодов, жарким коротким летом, осенью с ранними заморозками и неустойчивой погодой. Абсолютная годовая амплитуда температуры воздуха значительна (80-90°С). Характерна большая изменчивость средних температур. Так, температура января – самого холодного месяца в городе Омске варьирует от – 30,6° до – 11,2°С, при средней многолетней – 18,9°С, а июля – самого жаркого месяца от + 14,9 до 22,7, при среднемноголетней + 18,4°С. Сумма средних суточных температур выше +10 °С составляет 1850 – 2050 °С. Первые осенние заморозки наблюдаются во второй половине сентября, весенние продолжаются до конца мая. Безморозный период равен 115 дням. Непродолжительный безморозный период – неблагоприятная черта климата территории.

Устойчивый снежный покров образуется 10 декабря. Высота снежного покрова увеличивается медленно, преимущественно в марте достигает максимума. В среднем высота – 20-30 см. Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом составляет 150-160 дней.

Годовая сумма осадков составляет 300-350 мм, осадки выпадают неравномерно, основная их часть приходится на март-сентябрь, и 25% на зиму. Гидротермический коэффициент 1,0-1,2 указывает на удовлетворительную влагообеспеченность в период активной вегетации.

Преобладающее направление ветра зимой – юго-западное, летом – северо-западное. Наибольшая скорость ветра отмечается зимой и весной, что является

причиной частых метелей и пыльных бурь.

Обилие света (по количеству часов солнечного сияния за год южная часть Омской области почти не уступает районам Северного Кавказа) и тепла в течение вегетационного периода в большой мере компенсирует непродолжительность периода с положительными температурами и убыстряет вегетацию растений [95].

Сумма активных температур составляла 1850-2150 °С, среднегодовая сумма осадков 286-783 мм. Вегетационные периоды 2007-2008 и 2009-2010 гг., 2011-2012 гг. были более жаркими и засушливыми, а 2008-2009, 2010-2011 гг. более холодными и влажными.

В годы проведения экспериментов были различные метеорологические условия (таблицы 2.2 и 2.3, рисунки 2.1 и 2.2, Приложение А), количество осадков и температурный режим характеризовались типичным для зоны непостоянством.

Таблица 2.2 – Температура воздуха в года исследований

Месяц	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Среднее многолетнее
Январь	-20,1	-20,0	-17,0	-24,9	-22,1	-19,8	-20,7
Февраль	-12,9	-12,9	-19,4	-21,8	-15,4	-19,1	-16,9
Март	2,5	-2,5	-5,3	-8,0	-7,7	-5,8	-5,3
Апрель	4,6	4,6	4,8	5,8	-7,1	8,7	5,9
Май	13,0	13,0	12,5	11,4	11,9	12,3	12,3
Июнь	17,6	17,6	16,7	18,6	19,3	20,5	18,3
Июль	21,8	21,8	18,2	17,8	17,9	22,8	20,5
Август	17,1	17,2	16,3	18,6	15,4	17,9	17,1
Сентябрь	12,8	8,5	10,7	11,3	13,4	–	11,3
Октябрь	4,8	5,1	4,0	4,6	6,0	–	4,9
Ноябрь	-5,8	-0,1	-5,8	-2,8	-9,1	–	-7,2

Декабрь	-12,5	-11,4	-17,8	-18,2	-15,7	–	-15,1
---------	-------	-------	-------	-------	-------	---	-------

Таблица 2.3 – Количество осадков в период вегетации, мм

Месяц	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Среднее многолетнее
Январь	9	9	52	11	3	2	14,3
Февраль	26	26	19	16	20	2	18,1
Март	18	18	5	24	26	19	18,3
Апрель	12	17	27	6	65	17	24,0
Май	20	25	37	27	23	38	28,3
Июнь	34	34	60	44	37	47	42,6
Июль	55	55	163	20	80	8	63,5
Август	73	35	144	22	64	49	64,5
Сентябрь	25	51	139	13	5	–	46,6
Октябрь	14	19	99	13	51	–	39,2
Ноябрь	20	36	28	55	53	–	38,4
Декабрь	20	10	10	35	23	–	19,6

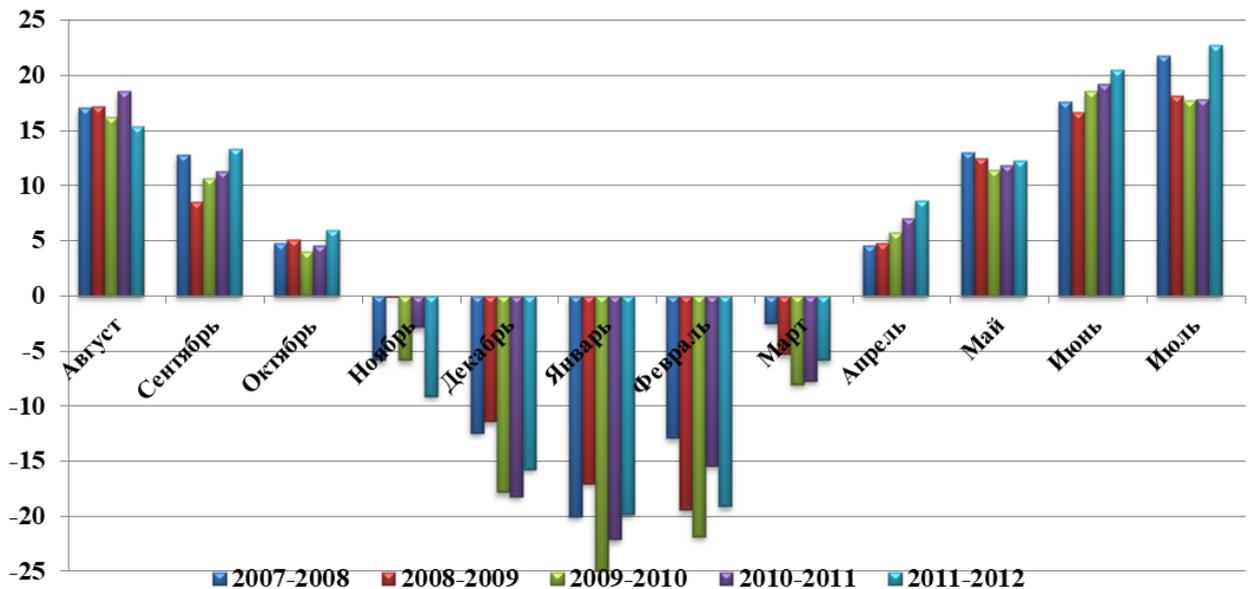


Рисунок 2.1 – Среднемесячная температура воздуха за вегетационные периоды 2007-2012 гг. (данные ГМС г. Омска)

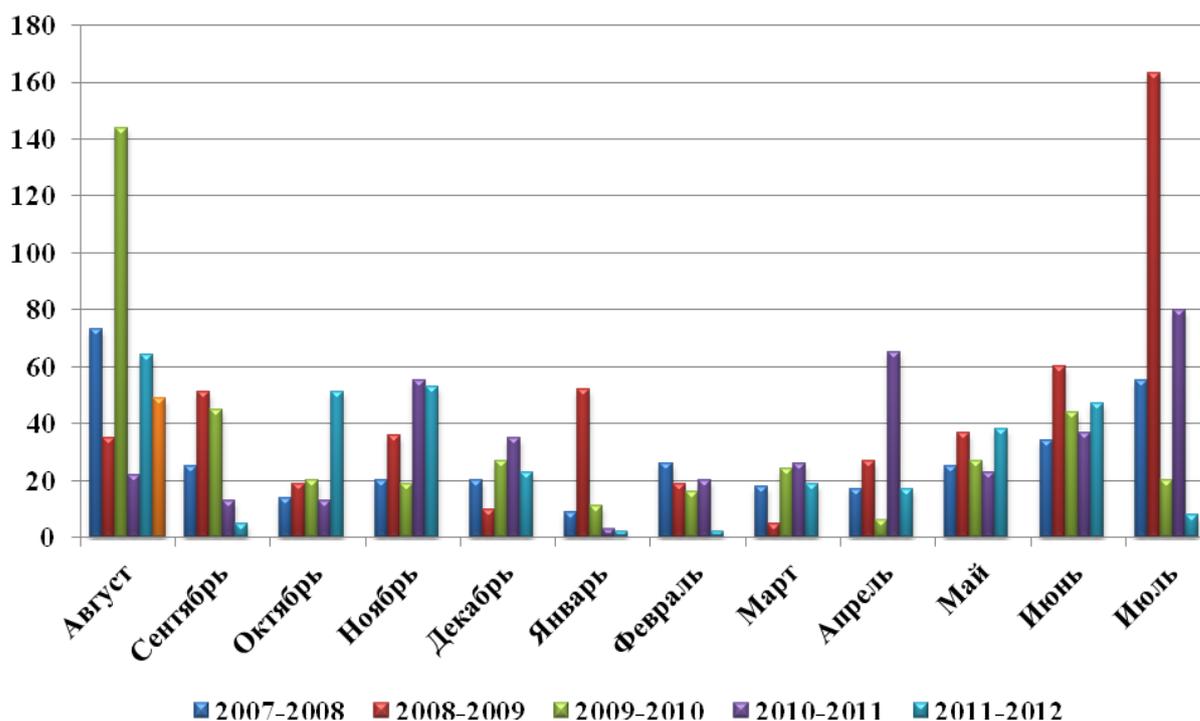


Рисунок 2.2 – Среднемесячные осадки за вегетационные периоды 2007-2012 гг. (данные ГМС г. Омска)

2.3 Методика полевых и лабораторных исследований

Для решения поставленных задач по оптимизации микроэлементного питания озимой пшеницы в работе использованы методы полевых, лабораторных исследований, а также математический анализ с использованием информационных технологий. Схемы опытов представлены ниже.

Опыт № 1. Влияние различных способов применения цинковых удобрений на продуктивность озимой пшеницы (2007-2011 гг.): 1. N_{30} – фон 1, 2. Фон 1 + Zn_4 , 3. Фон 1 + Zn_8 , 4. Фон 1 + Zn_{12} , 5. $N_{30}P_{60}$ – фон 2, 6. Фон 2 + Zn_4 , 7. Фон 2 + Zn_8 , 8. Фон 2 + Zn_{12} , 9. Фон 2 + Zn_{50}^* , 10. Фон 2 + Zn_{100}^* , 11. Фон 2 + Zn_{150}^* (* – обработка семян, г соли на 100 кг семян).

Опыт № 2. Влияние предпосевной обработки семян солями микроэлементов на продуктивность озимой пшеницы (2007-2011 гг., г солей на 100 кг семян): 1. $N_{30}P_{60}K_{60}$ – фон, 2. Фон + Zn_{50} , 3. Фон + Zn_{100} , 4. Фон + Zn_{150} , 5. Фон + Cu_{50} , 6. Фон + Cu_{100} , 7. Фон + Cu_{150} , 8. Фон + Mn_{50} , Фон + Mn_{100} , Фон + Mn_{150} .

Варианты с дозами Zn_{12} и Zn_{150} , Cu_{150*} , Mn_{150*} были введены в схему исследований в 2009 г. для изучения повышенного уровня микроэлементного питания.

Опыт № 3. Применение расчетных доз цинковых удобрений в основное внесение (2010-2012 гг.): 1. $N_{30}P_{60}$ – фон, 2. Фон + $Zn_{3,4}$ (ОУ), 3. Фон + $Zn_{6,6}$ (ОУ), 4. Фон + $Zn_{11,3}$ (ПО).

В исследованиях наряду с расчетной дозой макроудобрений по оптимальному содержанию элементов в почве, цинковые удобрения применяли в дозах, определенных расчетными методами. Метод определения доз в опытах применялся с учетом оптимальных уровней (ОУ, [73]) содержания цинка в почве с использованием формулы (1):

$$D = \frac{Э_о - Эф}{b}, \quad (1)$$

где b – коэффициент интенсивности действия 1 кг д. в./га удобрения, внесенного в почву, на содержание подвижных форм элементов питания, мг/кг;

$Э_о$ – содержание элемента в почве оптимальное, мг/кг;

$Эф$ – содержание элемента в почве фактическое, мг/кг.

Дозу на основе полевого опыта (ПО, [73]) рассчитывали по формуле (2):

$$D_{п} = \frac{D_о \cdot X_о}{X_{п}}, \quad (2)$$

где $D_о$ – установленная доза удобрений (кг д.в /га) при соответствующем содержании (мг/кг) элемента в почве ($X_о$);

$D_{п}$ – предполагаемая доза удобрений (кг д.в./га) при содержании соответствующего элемента в почве конкретного поля ($X_{п}$).

Проводимые опыты однофакторные. Расположение делянок на опытном участке систематическое. Площадь делянок – 16 м²; учётная площадь – 15 м². Повторность вариантов в опыте трёхкратная, расположение повторностей в один ярус.

Предшественник озимой пшеницы – кулисный пар. Агротехника – общепринятая для этой 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 [130, 150]. Посев производили в третьей декаде августа, норма высева 6,5 млн. всхожих семян, сеялкой ССФК-7. Затем почву прикатывали кольчатыми катками ЗКК-3А. Уборку озимой пшеницы проводили в первой декаде августа прямым комбайнированием «Неге-125».

В исследованиях для оптимизации применения микроудобрений использовали интеграционную систему почвенно-растительной оперативной диагностики «ИСПРОД» [73], которая состоит из трех блоков: 1) установление обеспеченности растений элементами питания до сева на основе почвенной диагностики; 2) контроль питания растений в период их активного роста и развития на основе растительной диагностики; 3) прогнозирование величины и качества растениеводческой продукции по формулам листового анализа.

В полевых опытах проводились наблюдения:

1. определение запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы до посева и после уборки урожая;
2. определение содержания подвижных форм элементов питания в слое почвы 0-30 см;
3. фенологические наблюдения за развитием растений;
4. определение химического состава растений по фазам;
5. учёт урожая. Уборка урожая осуществлялась в середине периода восковой спелости зерна, когда озимая пшеница имеет 5% зерна молочной, 85% восковой и 10% полной спелости;
6. определение структуры урожая;
7. определение показателей качества.

Закладку опытов, все учеты, наблюдения производили по общепринятым методикам [62, 149, 158, 201].

Химические анализы почв и растений проводили на кафедре агрохимии ФГБОУ ВО Омский ГАУ, в Сибирском научно-исследовательском институте сельского хозяйства, в Центре агрохимической службы «Омский» общепринятыми в агрохимии и почвоведении методами [110, 158, 171].

В почвенных пробах определяли: гумус по Тюрину в модификации Симанкович, 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). В почвенных пробах нитратный азот, подвижный фосфор и обменный калий определяли также и в 2%-ной CH_3COOH вытяжке общепринятыми методами. Определение содержания микроэлементов в растениях и почве проводили атомно-абсорбционным методом (ГОСТ MnP 50685-94, 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) и в почве (ГОСТ 28268-89). По общепринятым методикам проводили определение: содержания белка (ГОСТ 10846-74), стекловидности зерна (ГОСТ 10987-79), клейковины (ГОСТ 27839-88).

Результаты полевых и лабораторных исследований подвергнуты математической обработке [62, 149]. Биоэнергетическую и экономическую эффективность применения удобрений рассчитывали согласно рекомендациям Ю.И. Ермохина и А.Ф. Неклюдова [78].

3 ВЛИЯНИЕ МИКРОУДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Начало изучению применению микроудобрений в Сибири было положено в 1933-1960 гг. профессором А.З. Ламбиным [111, 112], а затем Э.Д. Орловой [137-142] и Ю.И. Ермохиным [68]. Основным направлением являлось изучение роли большого количества микроэлементов и их эффективности в повышении урожая и качества сельскохозяйственных культур. Затем закономерности микроэлементов в почвах Западной Сибири и применение различных микроудобрений изучены Г.П. Гамзиковым [53], Н.Н. Сказаловой [177], В.А. Агеевым [3], Э.Д. Орловой [137-142], В.М. Красницким [103, 106]. Сотрудниками кафедры агрохимии и почвоведения Омского ГАУ было проведено большое количество опытов с микроудобрениями в условиях Омского Прииртышья. В результате установлены уровни содержания подвижных форм микроэлементов в почвах и их оптимальные дозы [4-7, 24, 26, 28, 33, 34, 65, 66, 68-71, 73-77, 113, 173, 174, 180, 181]. Исследования применения микроудобрений при возделывании озимой пшеницы на лугово-черноземной почве южной лесостепи Омского Прииртышья ранее не проводились.

Наличие тесных связей в системе почва – растение – удобрение дает возможность управлять продуктивностью культур, путем создания оптимальных условий минерального питания. Знание всех этих показателей дает полевой опыт с удобрениями. Для определения потребности растений в питательных элементах в конкретной почвенно-климатической зоне полевой опыт с удобрениями остается основным, хотя громоздким, длительным и довольно дорогим методом диагностики [11]. Он позволяет получить «ответ» от растения на изучаемые вопросы в виде прибавки урожая.

В полевых опытах 2007-2012 гг. на лугово-черноземной почве Омского Прииртышья изучали отзывчивость пшеницы озимой на микроудобрения, которые оказали существенное влияние на формирование урожая. В экспериментах предусматривалось выявить закономерности действия различных доз и спо-

собов внесения цинковых удобрений на азотном и азотно-фосфорном фонах (опыт № 1), различных доз цинковых, марганцевых и медных удобрений методом опудривания семян на оптимальном фоне полного удобрения (опыт № 2), расчетных доз цинка при основном внесении (опыт № 3).

Необходимо отметить, что, так как предшественником озимой пшеницы был пар и применялись фоны макроудобрений во всех опытах содержание основных элементов питания в почве было очень высоким: нитратного азота – 28,3-38,1, подвижного фосфора – 85,5-132, обменного калия – 255-396 мг/кг почвы в фазу весеннего кущения (2%-ая уксуснокислая вытяжка, приложения Б и В).

Экспериментальные данные (таблицы 3.1-3.3) позволяют сделать вывод о высокой эффективности применения микроудобрений при возделывании озимой пшеницы. Улучшение условий питания путем применения цинковых удобрений в качестве основного внесения (опыт №1, таблица 3.1) обеспечило получение прибавок урожая зерна в среднем за годы исследований от 0,26 до 0,87 т/га (9,4-32,8%).

Сопоставляя урожайные данные по годам исследований, следует отметить их резкие отличия: в 2009 и 2010 гг. урожайность озимой пшеницы была в 1,85 и 1,50 раза ниже, чем в 2008 и 2011 гг. (на фоне N_{30} соответственно 1,79; 2,19 и 3,30; 3,32 т/га). Это объясняется неблагоприятными метеорологическими условиями. Обильные осадки в начале вегетации (конец июня – начало июля) и низкие температуры воздуха и почвы угнетающе подействовали на развитие растений озимой пшеницы, что в дальнейшем сказалось на формировании зерна, и как следствие на величине урожая. Однако уровень прибавок урожайности зерна при внесении цинка оставался на примерно одном уровне.

Таблица 3.1 – Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от доз цинковых удобрений (основное внесение)
на лугово-черноземной почве (опыт №1)

Вариант	Урожайность зерна, т/га						Прибавка к фону 1			
	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	средняя		т/га		% к контролю	
					2010-2011 гг.	2008-2011 гг.	2010-2011 гг.	2008-2011 гг.	2010-2011 гг.	2008-2011 гг.
N ₃₀ – фон 1	3,30	1,79	2,19	3,32	2,75	2,65	–	–	–	–
Фон 1 + Zn ₄	4,59	2,30	2,34	3,81	3,07	3,26	0,32	0,61	11,6	23,0
Фон 1 + Zn ₈	3,98	1,93	2,85	3,81	3,33	3,14	0,58	0,49	21,0	18,4
Фон 1 + Zn ₁₂	–	–	2,49	3,54	3,01	–	0,26	–	9,4	–
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	4,24	2,29	2,34	3,99	3,16	3,21	0,41	0,59	14,9	21,1
Фон 2 + Zn ₄	4,50	2,64	2,35	3,82	3,08	3,32	0,33	0,67	12,0	25,2
Фон 2 + Zn ₈	4,54	2,72	2,56	4,29	3,42	3,52	0,67	0,87	24,3	32,8
Фон 2 + Zn ₁₂	–	–	2,69	3,95	3,32	–	0,57	–	20,7	–
Фон 2 + Zn ₅₀ *	3,33	2,24	2,27	4,09	3,18	2,98	0,43	0,33	15,6	12,4
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	4,33	2,51	2,63	4,46	3,54	3,48	0,79	0,83	28,7	31,3
Фон 2 + Zn ₁₅₀ *	–	–	2,41	4,75	3,58	–	0,83	–	30,1	–
НСР ₀₅	0,22	0,16	0,16	0,26						

Примечание. * – обработка семян г соли на 100 кг

Исследования выявили положительное действие основного внесения цинковых удобрений на урожайность озимой пшеницы (опыт №1, таблица 3.1).

Применение Zn_4 и Zn_8 без фосфорных удобрений позволило создать высокую прибавку урожая 0,32-0,61 т/га (11,6-23,0% к фону N_{30}). При этом окупаемость цинка удобрений была даже выше, чем от их внесения на азотно-фосфорном фоне. В опыте наибольшая прибавка урожая зерна 0,87 т/га в среднем за 4 года исследований сформировалась при применении дозы цинка 8 кг д.в./га на фоне $N_{30}P_{60}$ (при урожайности зерна на фоне N_{30} 2,65 т/га).

В то же время внесение Zn_4 на фоне $N_{30}P_{60}$ не привело к достоверному увеличению урожайности по сравнению с такой же дозой на фоне N_{30} (прибавка урожая 0,59 и 0,67 т/га соответственно). Вероятно, это можно объяснить негативным влиянием на поступление цинка повышенного содержания фосфора в почве при применении фосфорных удобрений, что было отмечено ранее и другими учеными [73, 90, 146, 147, 178]. Для преодоления негативного действия этого фактора потребовалось увеличение дозы до Zn_8 , что и позволило получить наивысшую прибавку урожая в опыте.

Внесение же Zn_{12} на фонах $N_{30}P_{60}$ и N_{30} не привело к увеличению урожайности по сравнению с Zn_8 . Вариант Zn_{12} был добавлен в схему опыта после двух лет эксперимента для изучения эффективности повышенного уровня цинкового питания.

На рисунках 3.1 и 3.2 показана взаимосвязь между дозами цинка (х, кг/га) в основное внесение и урожайностью зерна озимой пшеницы по фонам N_{30} и $N_{30}P_{60}$.

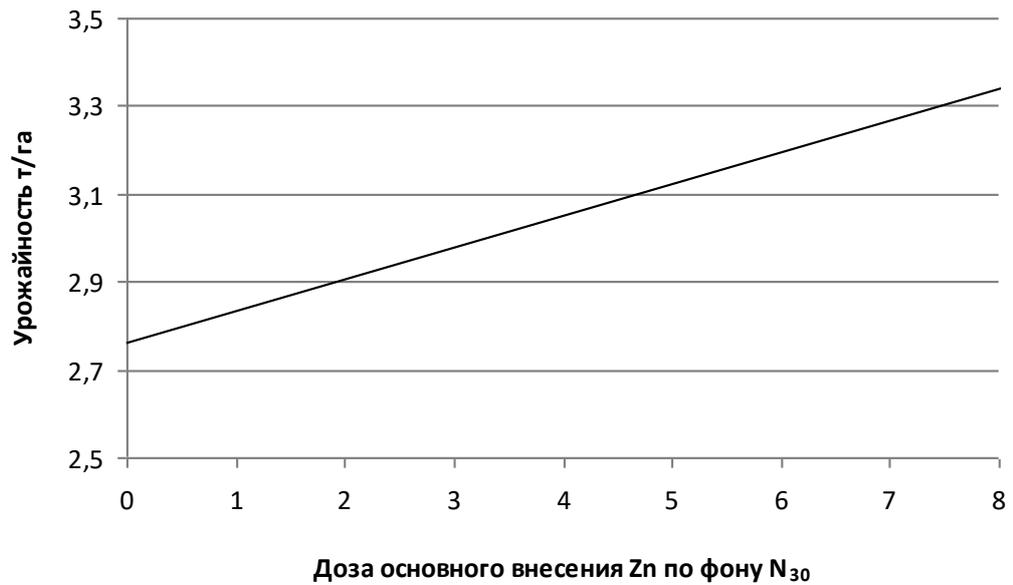


Рисунок 3.1 – Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от доз цинковых удобрений (основное внесение) по фону N₃₀ (опыт №1, 2008-2011 гг.)

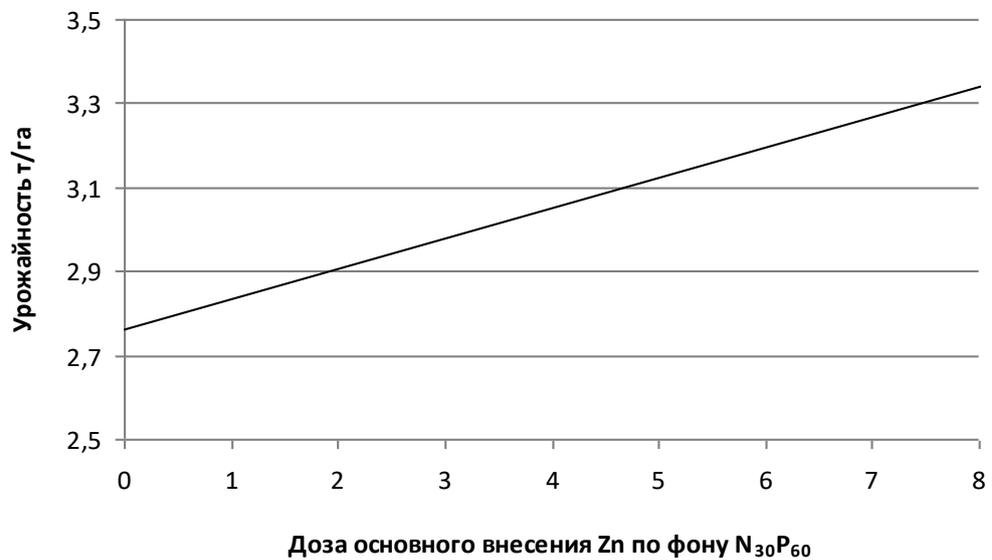


Рисунок 3.2 – Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от доз цинковых удобрений (основное внесение) по фону N₃₀P₆₀ (опыт №1, 2008-2011 гг.)

Коэффициенты корреляции (0,75 – по фону N₃₀, 0,92 – по фону N₃₀P₆₀) показывают, что в среднем по годам исследований каждый килограмм цинкового удобрения в основное внесение повышал урожайность зерна озимой пшеницы на 61 кг по фону N₃₀ и на 38 кг по фону N₃₀P₆₀.

$$y = 0,061x + 2,77; \quad r = 0,75, \quad (3)$$

$$y = 0,038x + 3,20. \quad r = 0,92. \quad (4)$$

На рисунках 3.3 и 3.4 показана зависимость между дозами Zn и урожайностью озимой пшеницы, из которой следует, что урожайность увеличивается до дозы Zn 8 кг д. в./га. Дальнейшее увеличение дозы способствовало уменьшению урожайности зерна пшеницы (уравнения 5 и 6):

$$y = -0,0116x^2 + 0,163x + 2,69; \quad (\eta = 0,61) \quad (5)$$

$$y = -0,0048x^2 + 0,0714x + 3,19. \quad (\eta = 0,65) \quad (6)$$

Эффективный способ применения микроудобрений – предпосевной (путем опрыскивания или опудривания семян). Такой способ применения микроудобрений, в самом начале роста, способствует активизации физиолого-биохимических процессов в прорастании семян, усиленному гидролизу в семенах.

При опудривании семян сульфатом цинка выявлено, что наиболее эффективно на фоне N₃₀P₆₀ применение соли цинка в дозах 100 и 150 г на 100 кг семян – получена практически одинаковая средняя за два года прибавка урожая 0,79 и 0,83 т/га или 28,7% и 30,1 % к фону N₃₀ соответственно.

Следует заметить, что обработка семян микроэлементами не является приемом, заменяющим внесение микроэлементов в почву, но в конкретный вегетационный период с ее помощью можно предотвратить цинковую недостаточность у растений [49, 127].

Таким образом, применение цинковых удобрений при возделывании озимой пшеницы в условиях лугово-черноземных почв является эффективным. Оптимальной дозой в основное внесение является Zn₈, а при опудривании – Zn₁₀₀ на фоне N₃₀P₆₀.



Рисунок 3.3 – Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от доз цинковых удобрений (основное внесение) по фону N₃₀ (опыт №1, 2010-2011 гг.)



Рисунок 3.4 – Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от доз цинковых удобрений (основное внесение) по фону N₃₀P₆₀ (опыт №1, 2010-2011 гг.)

Эффективность обработки семян озимой пшеницы солями цинка, меди и марганца при проведении исследований была различной (опыт № 2, таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от доз микроудобрений (обработка семян, г соли на 100 кг) на лугово-черноземной почве (опыт №2)

Вариант	Урожайность зерна, т/га						Прибавка к фону			
	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	средняя		т/га		%	
					2010-2011 гг.	2008-2011 гг.	2010-2011 гг.	2008-2011 гг.	2010-2011 гг.	2008-2011 гг.
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	3,31	2,22	1,95	4,47	3,21	2,99	–	–	–	–
Фон + Zn ₅₀	3,33	2,24	1,89	4,46	3,17	2,98	-0,04	-0,01	-1,2	-0,2
Фон + Zn ₁₀₀	4,33	2,51	2,05	4,80	3,42	3,42	0,21	0,43	6,5	14,6
Фон + Zn ₁₅₀	–	–	1,92	4,97	3,45	–	0,24	–	7,4	–
Фон + Cu ₅₀	4,14	2,54	2,24	4,59	3,41	3,38	0,20	0,39	6,2	13,1
Фон + Cu ₁₀₀	4,17	2,89	1,61	4,81	3,21	3,37	0	0,38	0,0	12,8
Фон + Cu ₁₅₀	–	–	1,53	4,47	3,00	–	-0,21	–	-6,5	–
Фон + Mn ₅₀	4,04	2,05	1,61	4,47	3,04	3,04	-0,17	0,06	-5,2	1,8
Фон + Mn ₁₀₀	4,33	3,01	1,95	4,81	3,38	3,53	0,17	0,54	5,2	18,1
Фон + Mn ₁₅₀	–	–	1,73	4,43	3,08	–	-0,13	–	-4,0	–
НСП ₀₅ , т/га	0,21	0,16	0,17	0,18						

Из полученных данных видно, что в среднем за четыре года исследований урожайность зерна при опудривании дозой Zn_{50} составила 2,98 т/га, что не превышало вариант без внесения микроэлементов. При увеличении дозы Zn в два раза урожайность возросла на 0,43 т/га и составила 3,42 т/га. В 2009 г. была введена доза Zn_{150} и за два года исследований в данном варианте была получена урожайность 3,45 т/га, что дало прибавку 0,46 т/га (на фоне 2,99 т/га). По сравнению с дозой Zn_{100} обработка семян Zn_{150} не обеспечила достоверной прибавки урожая.

При опудривании Cu_{50} урожайность озимой пшеницы составила 3,38 т/га, что превышает урожайность на фоне на 0,39 т/га. В варианте с обработкой Cu_{100} урожайность соответственно сформировалась 3,37 и 0,38 т/га, Cu_{150} – 3,00 и 0,38 т/га.

В варианте, где вносился Mn_{50} , урожайность составила 3,04 т/га, прибавка – 0,06 т/га. Доза Mn в 100 г на 100 кг семян увеличила урожайность по сравнению с фоном на 0,54 т/га. Обработка семян озимой пшеницы повышенной дозой Mn_{150} себя не оправдала и дала меньшую прибавку урожая – 0,09 т/га, а урожайность составила 3,08 т/га в среднем за два года исследований.

Таким образом, при опудривании семян солями микроэлементов выявлено, что наиболее эффективно применение цинка и марганца в дозе 100 г на 100 кг семян – при применении сульфата цинка получена средняя прибавка урожая зерна за четыре года 0,44 т/га или 14,6% к фону, сульфата марганца – 0,54 т/га или 18,1 %. При опудривании сульфатом меди лучший результат получен от дозы 50 г на 100 кг семян – соответственно 0,39 т/га и 13,1%.

Как показали данные полевого опыта № 1, озимая пшеница хорошо реагирует на цинковые удобрения в основное внесение. Об этом свидетельствуют и установленная высокая функциональная зависимость урожайности зерна озимой пшеницы (Y , т/га) от доз цинковых удобрений, внесенных в почву (X , кг/га) на оптимальном азотно-фосфорном фоне (уравнение 4):

$$y = 0,038x + 3,20, \quad r = 0,92.$$

Из уравнения (4) следует, что коэффициент интенсивности действия (b) единицы поступившего цинка в почву (кг д.в./га) на формирование величины урожая зерна пшеницы составляет 0,038 т/га.

Полученный норматив эффективности цинковых удобрений позволяет в производственных условиях на лугово-черноземной почве проводить планирование прибавок урожая зерна. Зная, что для получения 1 т/га зерна озимой пшеницы требуется 26 кг (1 т/га : 0,038 т/га = 26) действующего вещества цинка, рассчитать прибавки урожая зерна можно по формуле (7):

$$П = Д / 26, \quad (7)$$

где П – планируемая прибавка урожайности зерна, т/га;

Д – доза внесения цинка, кг д.в./га;

26 – затраты количества внесенного цинка для получения 1 тонны зерна, кг д.в./га.

Знание планируемой прибавки урожая (П, т/га) и коэффициента интенсивности действия цинковых удобрений ($b_1 = 0,038$ т/га) позволяет спрогнозировать дозы внесения цинка (кг/га, формула 8):

$$Д = П / b_1. \quad (8)$$

Пример. При планировании прибавки зерна озимой пшеницы 0,5 т/га доза цинка составит:

$$Д = \frac{0,5}{0,038} = 13 \text{ кг/га.}$$

Итак, применяемые цинковые удобрения в опытах на лугово-черноземной почве положительно повлияли на урожайность озимой пшеницы. Во всех вариантах с цинком урожайность зерна в значительной степени выше, чем в вариантах без него. Следовательно, имеющееся содержание подвижного цинка в почве – 0,54 мг/кг, недостаточно для формирования высоких урожаев озимой пшеницы. Поэтому, на лугово-черноземной почве при достаточном уровне содержания макроэлементов в почве применение цинковых удобрений под озимую пшеницу целесообразно.

Исследованиями с данной культурой Ю.И. Ермохина [75] и О.А. Шубина [210] установлены оптимальные уровни азотно-фосфорного питания озимой пшеницы (калия достаточно для создания урожая не менее 6 т/га). В нашем опыте при возделывании озимой пшеницы до посева имелся дефицит азота и фосфора в почве. Поэтому нашей задачей было довести концентрацию этих элементов в почве до оптимального уровня для сбалансированного питания озимой пшеницы. Для расчета необходимой дозы удобрений использовали формулу 1 (метод определения доз удобрений с учетом оптимальных уровней (ОУ) содержания элементов питания в почве):

$$D = \frac{\mathcal{E}_o - \mathcal{E}_\phi}{"b"}$$

где \mathcal{E}_o – содержание элемента в почве оптимальное, мг/кг;

\mathcal{E}_ϕ – содержание элемента в почве фактическое, мг/кг;

" b "_N, " b "_P – коэффициенты интенсивности действия 1 кг азота и фосфора удобрения, внесенного в почву, на содержание N-NO₃ (0,24 мг/кг) и P₂O₅ (0,27 мг/кг) в слое почвы 0-30 см [24, 69, 72, 73].

Для создания оптимальных уровней азотного и фосфорного питания растений в почве были внесены данные элементы в дозе N₃₀P₆₀.

Определение всесторонне обоснованных оптимальных доз и соотношений удобрений под культурами с учётом биологических особенностей их и чередования, почвенно-климатических и организационно-экономических условий является центральным звеном агрохимических исследований и практики применения удобрений,

Множество различных методов определения доз удобрений объединяет то обстоятельство, что все они базируются на данных полевых опытов, а различия их объясняются неодинаковой степенью полноты и точности отражения закономерностей взаимоотношений растений, почв и удобрений, полученных по результатам проводимых полевых и лабораторных исследований.

Несмотря на сложную взаимосвязь величины дозы (D) с химическим составом почвы (X) можно констатировать, что доза является функцией химиче-

ского состава почвы и может быть выражена в общем виде следующим уравнением $D=f(X_{II})$ и графиком (рисунок 3.5). Зависимость эта обратно пропорциональная – чем выше содержание питательных веществ в почве, тем ниже доза внесения удобрений, что выражается формулой:

$$D_o \cdot X_o = D_n \cdot X_n \quad (9)$$

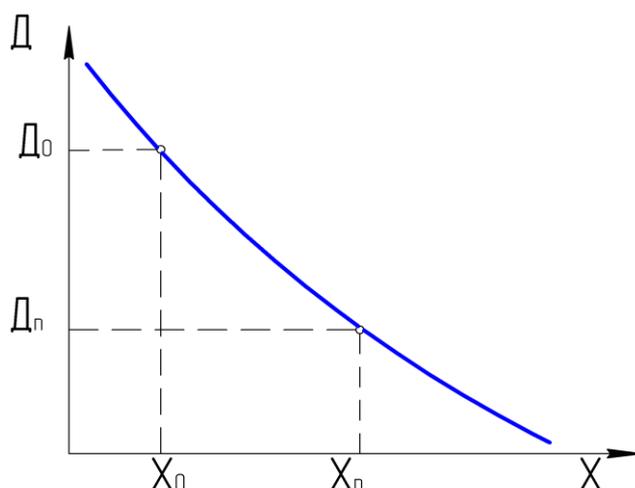


Рисунок 3.5 –Зависимость между содержанием элементов питания в слое почвы 0-30 см и дозами питательных веществ удобрений

где D_o – установленная оптимальная доза удобрений в кг д.в./га при соответствующем содержании элементов в почве перед посевом, мг/кг (X_o);

D_n – доза удобрений в кг д.в./га, прогнозируемая в зависимости от содержания элементов питания в почве конкретного поля, мг/кг (X_n).

Отсюда формула (2) для расчета доз удобрений на основе полевого опыта (ПО) получается следующая [69]:

$$D_n = \frac{D_o \cdot X_o}{X_n}.$$

В наших опытах наилучшей была доза цинка 8 кг на оптимальном азотно-фосфорном фоне. При содержании цинка 0,54 мг/кг в слое почвы 0-30 см перед посевом озимой пшеницы, расчетная доза цинковых удобрений (кг/га) может определяться по формуле:

$$D_n = \frac{8 \cdot 0,54}{X_n} \quad \text{или} \quad D_n = \frac{4,3}{Zn_{\text{мг/кг}}} \quad (10)$$

Для выявления лучших расчетных методов определения доз удобрений нами в 2011-2012 гг. были проведены исследования по применению расчетных доз цинковых удобрений вышеуказанными методами на продуктивность озимой пшеницы на фоне высокой обеспеченности растений ($N_{30}P_{60}$) макроэлементами (опыт № 3, таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от расчетных доз цинковых удобрений (основное внесение) на лугово-черноземной почве (опыт №3)

Вариант	Урожайность зерна, т/га			Прибавка	
	2011 г.	2012 г.	средняя	т/га	% к фону
$N_{30}P_{60}$ – фон	2,85	2,38	2,61	–	–
Фон + $Zn_{3,4}$ (ОУ)	3,81	2,60	3,21	0,60	22,3
Фон + $Zn_{6,6}$ (ОУ)	3,61	2,60	3,10	0,49	18,7
Фон + $Zn_{11,3}$ (ПО)	3,62	2,57	2,57	0,40	15,3
$НСР_{05}$	0,24	0,20			

Метод определения доз удобрений с учетом оптимальных уровней (ОУ) содержания элементов питания в почве основан на применении формулы (1), при этом коэффициент интенсивности действия единицы внесенного минерального удобрения (1 кг д.в./га) на химический состав почвы (мг/кг) b для цинка равен 0,16. При этом изучались два предполагаемых уровня оптимального питания (содержание подвижного цинка 1,0 и 1,5 мг/кг почвы, дозы Zn 3,4 и 6,6 кг д.в./га соответственно).

Дозу на основе полевого опыта (ПО) рассчитывали по формуле (2). Данные методы расчета доз удобрений были апробированы ранее для различных культур в ряде исследований [24, 68-77, 113, 124, 210].

Расчетные дозы удобрений положительно повлияли на продуктивность озимой пшеницы, прибавки урожая зерна во всех вариантах получены достоверные. Наилучшим методом из изучаемых оказался расчет на основе оптимальных уровней (ОУ). Определенные этим методом дозы Zn 3,4 и 6,6 кг д.в./га имели преимущество перед дозой Zn 11,3 кг д.в./га, полученной расчетом на основе полевых опытов (ПО). Увеличение урожайности составило 0,60, 0,49 и 0,40 т/га соответственно при урожайности на фоне $N_{30}P_{60} - 2,61$ т/га.

Таким образом, на основе данных полевых опытов и математических методов можно диагностировать потребность озимой пшеницы в дополнительном внесении элементов питания. Полевой опыт с удобрениями представляет собой связующее звено между теоретическими исследованиями и сельскохозяйственной практикой. Основной особенностью полевого опыта является изучение культурного растения вместе со всей совокупностью почвенных, климатических и агротехнических факторов. Только данный метод может установить связь между продуктивностью культуры и средствами воздействия на нее [62, 149, 158].

Данный метод позволяет установить значение отдельных питательных элементов в повышении урожайности культур, возделываемых в полевых условиях, дает возможность установить зависимости между концентрацией элементов питания в почве, растениях, урожайностью сельскохозяйственных культур [68].

Значимость полевого опыта еще больше возрастает, когда устанавливаются количественные связи между дозами применяемых удобрений, урожайностью, содержанием питательных веществ в почве и на основе этого появляется возможность подняться на уровень научного прогнозирования действия удобрений. Но полевыми опытами определяется лишь результат влияния удобрений на урожай. Ими невозможно охватить все разнообразие почв, климатических особенностей зон, а тем более конкретного поля. Более прогрессивным в этом отношении является комплексный метод диагностики питания растений и уста-

новление расчетным путем доз удобрений [24, 33, 60, 67, 68, 108, 109, 118, 123, 164].

Агрохимической научной школой профессора Ю.И. Ермохина разработана интеграционная система почвенно-растительной оперативной диагностики «ИСПРОД» более чем для 40 культур в условиях Западной Сибири и Северного Казахстана (рисунок 3.6) [6, 7, 23, 67-77, 113, 124, 178, 181, 195, 210 и др.].



Рисунок 3.6 – Модель интеграционной почвенно-растительной оперативной диагностики минерального питания растений «ИСПРОД»

В блок почвенной диагностики (ПД) входит учёт минимума, оптимума, максимума содержания элементов питания в почве, уравновешенного питания и расчёт доз удобрений в основное внесение. Для оперативного осуществления диагностики специально разработан единый метод экстрагирования элементов питания 2 %-ной уксусной кислотой из почвы и растений [68, 73].

В период вегетации культур ряд факторов внешней среды оказывает влияние на поступление питательных веществ в растения, в конечном итоге, на формирование величины и качества урожая. Возникает ситуация несоответствия фактически сложившегося баланса элементов в растениях тому оптимуму, при котором формируется высокий и качественный урожай. При этом в течение вегетации используется растительная диагностика (РД) для оценки и корректировки питания.

Система «ИСПРОД» для озимой пшеницы на лугово-черноземной почве Омской области разработана Ю.И. Ермохиным [75] и О.А. Шубиным [210]. При этом рассматривалось питание растений макроэлементами, разработаны соответствующие агрохимические нормативы, предложены формулы расчета доз макроудобрений.

В данной работе рассмотрены аспекты микроэлементного питания растений и применения микроудобрений при возделывании озимой пшеницы в условиях Омского Прииртышья.

4 УПРАВЛЕНИЕ ПИТАНИЕМ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ОСНОВЕ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПОЧВЫ

В настоящее время основным путем повышения эффективности растениеводства является лучшее использование имеющихся почвенных ресурсов. Для этого используют метод почвенной диагностики [14, 24, 30, 31, 51, 52, 64, 68, 72, 82, 83, 100, 102, 165, 166, 200 и др.].

Чтобы в какой-то мере управлять ростом и развитием растений, своевременно удовлетворять их потребности в воде и пище, необходимо знать наличие указанных факторов роста в почве и потребности растений в них по фазам развития. Надо знать, в каком количестве и какие питательные вещества растения поглощают из почвы в отдельные периоды вегетации, достаточно ли этих веществ в почве для удовлетворения потребностей растений. Разработка нормативных параметров почвенной диагностики является неотъемлемой частью системы «ИСПРОД» (первый блок, рисунок 3.6).

4.1 Связь величины урожая озимой пшеницы с содержанием подвижного цинка в почве и оптимизация обеспеченности им растений

Внесение минеральных удобрений изменяет концентрацию и соотношение питательных элементов в почвенном растворе. Между растворёнными катионами и анионами в почвенном растворе наступает сложное взаимодействие, смещается уравнивание раствора в положительную или отрицательную сторону. А содержание элементов питания в почве, их химический состав в свою очередь влияют на рост, развитие и урожайность культурных растений.

При разработке почвенной диагностики потребности растений в удобрениях необходимо изучить закономерности поведения элементов питания в почве в различные периоды жизни растений.

Микроэлементный состав черноземных почв изучен многими учеными [4, 5, 24, 75, 86, 91, 96, 131, 190 и др.]. На доступность для растений микроэлементов влияют подстилающие породы, содержание гумуса и рН и другие факторы.

Так, растворимость соединений цинка возрастает с подкислением среды. Кислые почвы содержат относительно больше обменного цинка. Минимальная растворимость соединений этого металла наблюдается при рН 5,5-6,9. Дальнейшее повышение рН ведет к увеличению растворимости, т. к. цинк, как амфотерный элемент, образует в щелочной среде цинкаты типа Na_2ZnO_2 . Однако в присутствии достаточных количеств кальция подвижность соединений цинка в слабощелочной среде мала ввиду небольшой растворимости цинкатов кальция. Растворимость и доступность цинка в почвах обнаруживает отрицательную корреляцию с содержанием соединений фосфора [90]. Таким образом, минимальное количество подвижного цинка содержится в почвах с нейтральной реакцией среды. При этом цинковые удобрения особенно эффективны при высоком уровне обеспеченности подвижным фосфором.

Для диагностирования и оптимизации питания растений микроэлементами следует располагать количественными характеристиками содержания доступных форм в почве. Наши наблюдения за динамикой подвижных форм микроэлементов питания в почве под озимой пшеницей показали наличие определенных закономерностей. Распределение содержания микроэлементов по профилю лугово-черноземной почвы опытного участка, представлено в таблице 4.1 и в целом соответствует показателям для почв региона. Их концентрация не превышала предельно-допустимой (ПДК для Zn – 24, Cu – 3, Mn – 140 мг/кг).

Таблица 4.1 – Динамика содержания подвижных микроэлементов в лугово-чернозёмной почве под озимой пшеницей, мг/кг

Слой почвы, см	Всходы			Выход в трубку		
	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn
0-20	0,93	0,10	55,4	0,80	0,14	68,7
20-40	0,32	0,13	16,7	0,45	0,08	49,8
40-60	0,41	0,12	37,3	0,35	0,09	28,4
60-80	0,27	0,18	13,4	0,64	0,30	29,9
80-100	0,90	0,68	33,7	0,92	0,85	34,5

Можно отметить, что содержание подвижных форм микроэлементов в лугово-черноземной почве с глубиной изменяются по-разному. Минимальное количество подвижных соединений меди наблюдалось в слое 0-20 см, в низлежащих горизонтах его количество увеличивается.

Концентрация подвижных марганца и цинка с глубиной сначала понижается, а в горизонте 80-100 см наблюдается ее увеличения. Данная закономерность наблюдается в течение всего вегетационного периода (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Содержание подвижных микроэлементов в почве в течение вегетации при основном внесении цинковых удобрений, мг/кг (среднее 2007-2011 гг.)

Вариант	Кущение осеннее			Кущение весеннее			Выход в трубку			Уборка		
	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn
N ₃₀ – фон 1	0,75	0,10	48,9	0,61	0,09	49,6	0,79	0,10	52,3	0,69	0,12	55,1
Фон 1 + Zn ₄	1,39	0,12	48,2	1,07	0,10	49,9	1,28	0,10	52,7	1,04	0,14	56,5
Фон 1 + Zn ₈	2,06	0,09	50,0	1,92	0,09	51,5	1,87	0,13	51,2	1,49	0,16	59,9
Фон 1 + Zn ₁₂	2,75	0,10	48,9	2,77	0,12	48,9	2,76	0,12	51,4	1,73	0,09	49,0
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	0,71	0,12	51,2	0,69	0,12	46,8	0,85	0,11	57,7	0,58	0,15	50,9
Фон 2 + Zn ₄	1,39	0,14	52,2	1,57	0,15	50,3	1,25	0,14	53,5	1,49	0,21	46,7
Фон 2 + Zn ₈	2,03	0,09	57,8	1,88	0,11	50,3	1,68	0,08	57,5	1,82	0,16	54,0
Фон 2 + Zn ₁₂	2,70	0,11	56,5	2,85	0,12	55,2	3,09	0,08	52,8	2,78	0,12	53,6

Одной из основных задач данных исследований является прогнозирование отзывчивости озимой пшеницы на внесение цинковых удобрений в конкретных почвенных условиях [59, 191].

На взаимодействие почвы и удобрений влияют многочисленные факторы. Но, несмотря на это, все же наблюдается четкая зависимость между концентрацией подвижного элемента в почве и дозами минеральных удобрений в различ-

ных зонах. Изменяя условия питания, можно усиливать или тормозить эти процессы, в результате чего по-разному будут развиваться растения, изменяться величина и качество урожая [51, 102, 128, 162, 169, 175, 178].

Поэтому необходимо решить вопрос оптимизации уровня питательных веществ в почве и растениях в конкретных условиях почвенно-климатической зоны и при определенной продуктивности сельскохозяйственной культуры. Это позволит управлять питанием растений озимой пшеницы, формированием плановой урожайности, почвенным плодородием.

Для этого были установлены количественные взаимосвязи между содержанием подвижного цинка в почве и урожайностью озимой пшеницы, что позволяет объективно оценивать экспериментальные данные агрохимической характеристики почв, диагностировать необходимость применения удобрений, прогнозировать урожайность на ранних стадиях развития растений.

При сбалансированном азотно-фосфорном питании озимой пшеницы необходимо было установить закономерности действия удобрений на химический состав почвы. В таблице 4.3 представлены данные по содержанию подвижного цинка в почве при внесении доз цинковых удобрений.

Таблица 4.3 – Содержание подвижного цинка в слое почвы 0-30 см под озимой пшеницей при основном внесении цинковых удобрений

Внесено Zn, кг/га	Содержание Zn в почве, мг/кг	Увеличение Zn в почве (мг/кг) после внесения цинковых удобрений	b, мг/кг	Уравнение регрессии
N ₃₀ – фон 1	0,75	–	–	$y = 0,164x + 0,71$ $r = 0,79$ (11)
Фон 1 + Zn ₄	1,39	0,64	0,160	
Фон 1 + Zn ₈	2,06	1,31	0,164	
Фон 1 + Zn ₁₂ *	2,75	2,00	0,167	
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	0,71	–	–	$y = 0,167x + 0,73$ $r = 0,81$ (12)
Фон 2 + Zn ₄	1,39	0,68	0,170	
Фон 2 + Zn ₈	2,03	1,32	0,165	
Фон 2 + Zn ₁₂ *	2,70	1,99	0,166	

Примечание:* – данные 2009-2011 гг.

Внесение цинковых удобрений от 4 до 12 кг д.в./га способствовало увеличению содержания подвижного цинка в почве с 0,71 и 0,75 до 2,70 и 2,75 мг/кг соответственно в зависимости от дозы и фона, но не превышало предельно допустимой концентрации этого элемента (23 мг/кг).

Полученные нормативные характеристики влияния удобрений на концентрацию цинка в почве b (мг/кг) позволяют не только прогнозировать содержание вещества в почве, но и нормировать применение промышленных удобрений под изучаемую культуру.

Для решения практических задач можно использовать формулу (13) для прогнозирования содержания цинка в почве (C , мг/кг) при внесении цинковых удобрений:

$$C = C_1 + D \cdot b_2, \quad (13)$$

где C_1 – содержание элемента в почве до посева, мг/кг;

D – доза внесения элемента в почву, кг д.в./га;

b_2 – коэффициент интенсивности действия 1 кг д.в. цинковых удобрений на содержание Zn в почве, мг/кг.

В качестве примера приведем результаты полученных вычислений содержания цинка в почве от внесения доз Zn на фоне $N_{30}P_{60}$ по формуле (13):

Доза внесения Zn – 4 кг/га: $C = 0,73 \text{ мг/кг} + 4 \text{ кг} \cdot 0,167 = 1,40 \text{ мг/кг}$;

фактически в почве Zn = 1,39 мг/кг (ошибка 1,0%).

Доза внесения Zn – 8 кг/га: $C = 0,73 \text{ мг/кг} + 8 \text{ кг} \cdot 0,167 = 2,07 \text{ мг/кг}$;

фактически в почве Zn = 2,03 мг/кг (ошибка 2,0%).

Доза внесения Zn – 12 кг/га: $C = 0,73 \text{ мг/кг} + 12 \text{ кг} \cdot 0,167 = 2,73 \text{ мг/кг}$;

фактически в почве Zn = 2,70 мг/кг (ошибка -1,1%).

Расчеты показали, что для повышения содержания подвижного цинка в почве на 1 мг/кг нужно применять Zn_6 (1 мг/кг: 0,167 мг/кг = 6). Отсюда расчет доз применения цинка (кг д.в./га) под растения может проводиться по формуле (14), зная оптимальный уровень подвижного цинка в почве для озимой пшеницы:

$$D = (Zn_o - Zn_\phi) \cdot 6, \quad (14)$$

где Zn_0 – содержание подвижного цинка в почве оптимальное, мг/кг;

Zn_{ϕ} – содержание подвижного цинка в почве фактическое, мг/кг;

b – доза цинковых удобрений для повышения содержания элемента на 1 мг/кг в слое почвы 0-30 см, кг д.в./га.

Выявленные зависимости в системе «удобрение – почва» позволяют успешно диагностировать цинковое питание озимой пшеницы и при необходимости рассчитывать дозы цинковых удобрений в основное внесение на фоне сбалансированного макроэлементного питания. Эксперименты показали, что между изменяющимся химическим составом почвы (x) и величиной урожая (y) имеется тесная корреляционная зависимость $r = 0,71$ и $0,69$ для фонов N_{30} и $N_{30}P_{60}$ соответственно (уравнения 15 и 16, рисунки 4.1 и 4.2).

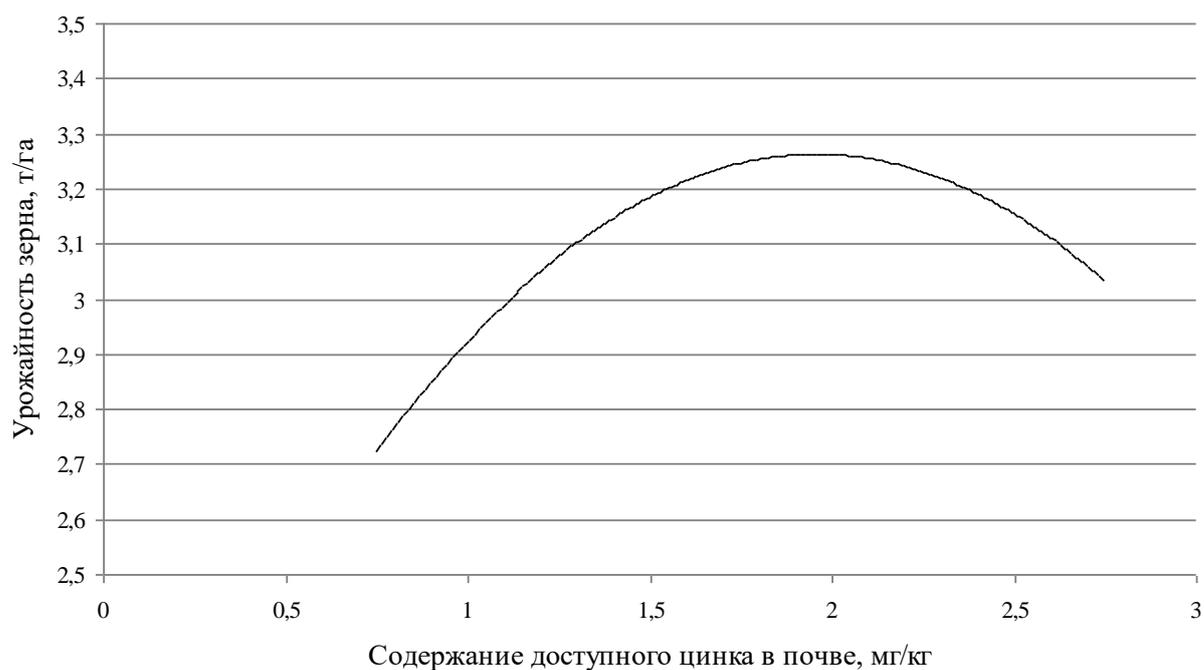


Рисунок 4.1 – Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от содержания подвижного цинка в почве по фону N_{30}

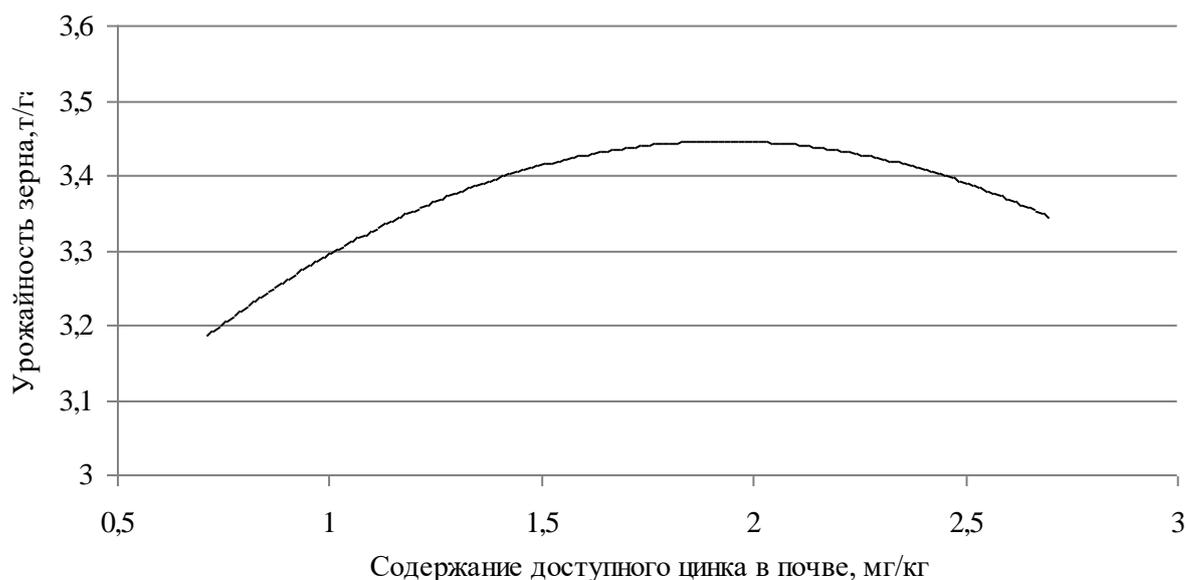


Рисунок 4.2 – Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от содержания подвижного цинка в почве по фону $N_{30}P_{60}$

$$y = -0,368x^2 + 1,44x + 1,85, \quad r = 0,71 \quad (15)$$

$$y = -0,174x^2 + 0,67x + 2,80. \quad r = 0,69 \quad (16)$$

В области до оптимальных значений зависимость между химическим составом почвы (в данном случае содержанием подвижного цинка, x) и урожайностью культуры (y) носит прямолинейный характер (уравнение 17, для оптимального макроэлементного фона):

$$y = 0,24x + 3,03. \quad r = 0,69 \quad (17)$$

Для каждой культуры существует свой оптимальный уровень содержания в почве конкретного элемента. В данных исследованиях с помощью статистических методов установлены взаимосвязи между содержанием подвижного цинка в почве и урожайностью озимой пшеницы и определен оптимальный уровень его содержания в лугово-черноземной почве в фазу весеннего кушения – 2,0 мг/кг. Этот показатель позволяет не только диагностировать, но и управлять питанием озимой пшеницы при помощи основного внесения расчетных доз цинковых удобрений.

Коэффициент регрессии даёт суммарную характеристику этой связи в диапазоне от низкой до оптимальной обеспеченности растений подвижным цинком. В эксперименте при изменении его содержания на 1 мг/кг почвы урожайность зерна изменяется на 0,24 т/га. Знание этого показателя дает возможность прогнозировать урожайность, эффективность удобрений и определить оптимальный уровень цинка в почве.

В наших опытах наивысшая прибавка урожайности зерна озимой пшеницы была получена 0,31 т/га при внесении Zn_8 на фоне сбалансированного азотно-фосфорного питания. По формуле (13) можно сделать вывод об оптимальном уровне питания растений цинком (C , мг/кг):

$$C = C_1 + D \cdot b = 0,71 + 8 \cdot 0,167 = 2,04.$$

Таким образом, как установлено в процессе исследований, если внесение в почву 1 кг цинковых удобрений увеличивает его содержание на 0,167 мг/кг, и обеспечивает прибавку озимой пшеницы – 0,038 т/га, то для повышения содержания подвижного цинка в почве на 1 мг/кг почвы требуется внести дозу 6 кг д.в. /га, которая повысит урожайность на 0,23 т/га (6 кг/га · 0,038 т/га).

Располагая оптимальным (Zn_o) и фактическим (Zn_ϕ) содержанием подвижного цинка в почве под озимой пшеницей, можно спрогнозировать получение прибавки урожая (Π , т/га) с учетом того, что 1 мг/кг подвижного цинка почвы обеспечивает получение дополнительно 0,23 т/га урожая зерна по формуле (18):

$$\Pi = (Zn_o - Zn_\phi) \cdot 0,23, \quad (18)$$

где Zn_o – содержание подвижного цинка в почве оптимальное, мг/кг;

Zn_ϕ – содержание подвижного цинка в почве фактическое, мг/кг;

0,23 – коэффициент интенсивности действия 1 мг/кг подвижного цинка почвы для формирования урожая зерна, т/га.

Таким образом, с помощью полученных зависимостей определены оптимальные уровни цинка в почве, влияние его на формирование урожая, дозы удобрений с учетом содержания подвижного цинка в почве и потребности его для формирования плановой величины урожая.

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

Озимая пшеница в процессе своего роста и развития потребляет различное количество элементов питания, зависящее от многих факторов, таких как биологические особенности культуры, почвенно-климатические условия, содержание питательных веществ в почве, агротехника и др. Для разработки количественных нормативных показателей для определения потребности растений в удобрениях необходимо иметь следующие характеристики: вынос элементов питания величиной урожая, коэффициенты использования элементов из почвы и удобрений, величину азота текущей нитрификации [52, 83, 124, 210].

По мнению Д. А. Сабина [169] химический состав растений и величина выноса ими питательных веществ зависят от географических и климатических условий произрастания. По данным Р. Т. Вильдфлуш, А. Н. Минич [39], в прохладный вегетационный период вынос питательных веществ культурой был значительно меньше, чем в теплый. Вынос азота значительно возрастает с улучшением водного режима, свидетельствуют данные А.И. Коровина [99].

Вынос элементов питания зависит от доз удобрений [75-77]. По данным И.А. Бобренко [24] расход на создание единицы продукции зависит от сорта возделываемой культуры. Многие авторы [11, 24, 123, 124 и др.] считают, что удобрения являются главным фактором, влияющим на абсолютный и относительный вынос питательных веществ. При их внесении вынос питательных веществ на единицу продукции, как правило, увеличивается.

По отношению к элементам почвенного питания вегетационный цикл озимой пшеницы, как любой другой зерновой культуры условно делят на три периода, существенно различающихся по потребности растений в макро- и микроэлементах [79, 150].

1. прорастание семян – образование ассимиляционной поверхности;
2. вегетативный период роста и развития (до цветения);
3. репродуктивный период (цветение – созревание).

Указывается на наличие двух критических периодов в жизнедеятельности озимой пшеницы по отношению к элементам минерального питания. Первый из них – от всходов до выхода в трубку – для озимых культур приходится на осень и начало весенней вегетации. В этот период растения особенно чувствительны к концентрации почвенного раствора и содержанию в нем макро- и микроэлементов; недостаток или значительный избыток, какого либо элемента существенно влияет на рост и развитие растений [210].

Период максимального потребления элементов питания – второй критический период – совпадает с периодом формирования и интенсивного образования вегетативной массы и включает фазы от трубкования до завершения цветения.

Данные по выносу элементов минерального питания за период с 2007-2011 гг. приведены в таблицах 4.4-4.7, приложениях Г, Д, Е, Ж, И. Применение цинковых удобрений различными способами оказало значительное влияние на вынос элементов питания растениями озимой пшеницы (таблицы 4.4 и 4.5). Вынос азота и фосфора зерном превышает вынос этих элементов соломой. Вынос калия, в отличие от азота и фосфора, в большей степени приходится на солому, что подтверждается данными валового состава.

При анализе потребления микроэлементов растениями озимой пшеницы можно отметить, что цинк и марганец преимущественно выносятся зерном, а медь – соломой (таблица 4.5).

В фоновом варианте вынос 1 т продукции в среднем составил: N – 35,3 кг, P₂O₅ – 18,0 кг, K₂O – 16,6 кг, Zn – 18,0 г, Cu – 3,9 г, Mn – 106 г. Основное внесение цинковых удобрений привело к увеличению выноса макроэлементов и цинка единицей урожая. Для создания 1 т урожая в лучшем варианте N₃₀P₆₀Zn₈ озимой пшенице потребовалось: N – 36,6 кг, P₂O₅ – 19,3 кг, K₂O – 17,4 кг, Zn – 23,8 г, Cu – 3,3 г, Mn – 100 г. При опудривании семян лучшей дозой 100 грамм соли на 100 кг семян по фону N₃₀P₆₀ вынос элементов питания составил: N – 32,5 кг, P₂O₅ – 15,1 кг, K₂O – 17,3 кг, Zn – 26,1 г, Cu – 2,1 г, Mn – 92 г.

Таблица 4.4 – Вынос макроэлементов озимой пшеницей в зависимости применяемых различными способами цинковых удобрений (среднее 2008-2011 гг.)

Вариант	Вынос, кг/га									Вынос единицей 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
N ₃₀ – фон 1	72,2	27,0	20,5	11,5	15,6	18,93	83,7	42,6	39,4	35,3	18,0	16,6
Фон 1 + Zn ₄	90,9	33,3	28,2	14,6	20,5	24,50	105	53,8	52,7	35,9	18,3	17,9
Фон 1 + Zn ₈	89,9	32,8	27,0	14,6	21,4	24,01	104	54,1	51,0	37,0	19,1	18,0
Фон 1 + Zn ₁₂	85,4	30,6	24,5	14,0	17,7	21,65	99,4	48,3	46,1	36,4	17,7	16,9
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	90,3	31,1	26,8	14,8	21,7	23,81	105	52,8	50,6	36,0	18,1	17,3
Фон 2 + Zn ₄	96,1	32,2	26,6	15,0	21,1	25,47	111	53,3	52,1	37,0	17,8	17,4
Фон 2 + Zn ₈	101	36,8	28,8	16,1	24,7	26,72	117	61,5	55,5	36,6	19,3	17,4
Фон 2 + Zn ₁₂	97,1	33,0	24,9	15,3	22,2	26,40	112	55,2	51,3	36,8	18,1	16,8
Фон 2 + Zn ₅₀ *	78,8	29,0	24,1	12,2	12,8	22,01	91,0	41,8	46,1	31,8	14,6	16,1
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	93,4	36,7	29,4	14,6	13,3	28,08	108	50,0	57,5	32,5	15,1	17,3
Фон 2 + Zn ₁₅₀ *	83,7	35,2	24,4	13,1	14,1	22,72	96,8	49,3	47,1	32,2	16,4	15,7

Примечание. * – обработка семян г соли на 100 кг

Таблица 4.5 – Вынос микроэлементов озимой пшеницей в зависимости применяемых различными способами цинковых удобрений (среднее 2008-2011 гг.)

Вариант	Вынос, г/га									Вынос единицей продукции, г/т		
	зерно			солома			общий					
	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn
N ₃₀ – фон 1	33,4	4,5	149	9,3	4,8	102	42,6	52,7	251	18,0	3,9	106
Фон 1 + Zn ₄	45,1	6,4	184	12,6	6,1	126	57,7	66,9	311	19,6	4,2	106
Фон 1 + Zn ₈	44,1	2,7	169	11,9	5,6	108	55,9	58,4	277	19,8	2,9	98
Фон 1 + Zn ₁₂	40,1	3,6	166	19,7	5,2	103	59,7	55,5	269	21,9	3,2	98
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	39,0	2,9	185	10,5	3,2	111	49,5	34,7	296	17,0	2,1	101
Фон 2 + Zn ₄	48,5	3,2	186	17,1	3,4	113	65,6	36,8	298	21,9	2,2	99
Фон 2 + Zn ₈	57,5	4,1	200	18,5	6,4	118	76,1	67,9	318	23,8	3,3	100
Фон 2 + Zn ₁₂	51,9	2,8	189	18,0	5,1	107	69,9	53,5	296	22,9	2,6	97
Фон 2 + Zn ₅₀ *	49,3	3,5	170	16,3	5,8	97	65,6	62,0	267	22,9	3,3	93
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	67,2	2,6	196	19,6	4,3	108	86,7	45,4	305	26,1	2,1	92
Фон 2 + Zn ₁₅₀ *	61,5	2,9	178	18,6	3,7	96	80,1	40,2	274	26,7	2,2	91

Примечание. *– обработка семян г соли на 100 кг

При изучении влияния доз микроудобрений при опудривании семян на потребление элементов питания (таблицы 4.6, 4.7) установлено, что вынос 1 т зерна с учетом побочной продукции составил: N – 39,2 кг, P₂O₅ – 20,0 кг, K₂O – 22,3 кг, Zn – 22,6 г, Cu – 5,4 г, Mn – 144 г.

В лучшем варианте по урожайности M_{n100} вынос единицей продукции изменялся разнонаправлено по сравнению с фоном, но можно отметить повышенное потребление микроэлементов. В зависимости от элемента этот показатель составил: по N – 35,1 кг, P₂O₅ – 21,0 кг, K₂O – 19,5 кг, Zn – 32,9 г, Cu – 5,1 г, Mn – 142 г.

В ходе своего роста и развития растение поглощает подвижные формы микроэлементов, как из почвы, так и из удобрений. Для установления интенсивности поглощения элементов минерального питания мы произвели расчет коэффициентов использования элементов из естественных запасов почвы и удобрений. Полученные данные говорят об изменении этих показателей в зависимости от уровня урожая, запасов подвижных форм основных питательных веществ, количества применяемых удобрений и т.д.

В связи с этим очень важным является более точное определение коэффициента использования питательных веществ из удобрений. Внесенные в почву минеральные удобрения далеко не в полной мере усваиваются растениями. Повышение коэффициента использования элементов питания из удобрений (КИУ) издавна считалось одной из важнейших задач агрономической науки [82, 83, 175]. КИУ широко применяется в практике расчета доз удобрений для планирования урожаев, разработке системы применения удобрений и определении баланса питательных веществ [102, 162 и др.]. О.В. Шубин [210] отмечает высокий КИУ макроэлементов озимой пшеницей.

Таблица 4.6 – Вынос макроэлементов урожаем озимой пшеницы в зависимости от микроудобрений при опудривании семян (среднее 2008-2011 гг.)

Вариант	Вынос, кг/га									Вынос единиц 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
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	82,1	27,6	17,9	19,6	21,3	34,2	102	48,9	52,1	37,5	18,0	19,2
Фон + Zn ₅₀	85,9	26,7	19,3	22,2	22,8	35,7	108	49,4	55,0	39,9	18,3	20,3
Фон + Zn ₁₀₀	92,0	31,2	21,7	28,7	30,9	45,4	121	62,1	67,1	39,6	20,4	22,0
Фон + Zn ₁₅₀	91,6	33,1	22,1	28,4	33,2	46,6	120	66,3	68,7	38,1	21,1	21,8
Фон + Cu ₅₀	93,0	34,0	22,4	30,1	34,8	47,8	121	67,3	69,0	40,1	22,2	22,8
Фон + Cu ₁₀₀	93,7	33,3	22,6	30,7	35,3	48,6	124	68,1	70,4	41,1	22,6	23,3
Фон + Cu ₁₅₀	86,0	28,9	21,0	27,9	29,5	43,5	114	58,4	64,5	41,4	21,3	23,5
Фон + Mn ₅₀	85,1	32,9	20,2	26,7	29,5	47,5	113	62,4	63,7	41,4	22,8	23,3
Фон + Mn ₁₀₀	100	35,1	24,3	25,5	27,7	40,1	127	64,6	71,9	39,2	20,0	22,3
Фон + Mn ₁₅₀	87,2	30,9	22,1	23,3	25,7	37,7	111	56,6	59,8	39,3	20,1	21,2

Таблица 4.7 – Вынос микроэлементов урожаем озимой пшеницы в зависимости от микроудобрений при опудривании семян (среднее 2008-2011 гг.)

Вариант	Вынос, г/га									Вынос единиц продукции, г/т		
	зерно			солома			общий					
	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	47,7	3,0	164	23,1	8,7	151	70,7	11,7	315	26,1	4,3	116
Фон + Zn ₅₀	57,7	3,7	163	25,3	9,2	141	83,0	12,8	304	30,6	4,7	112
Фон + Zn ₁₀₀	55,6	2,5	187	32,3	8,2	190	87,9	10,8	377	28,9	3,5	124
Фон + Zn ₁₅₀	58,2	2,4	190	39,5	8,5	188	97,7	10,9	378	31,0	3,5	120
Фон + Cu ₅₀	53,8	6,5	181	26,9	11,9	183	80,7	15,0	364	26,7	5,0	120
Фон + Cu ₁₀₀	57,1	3,5	179	28,1	12,0	183	85,3	15,4	362	28,3	5,1	120
Фон + Cu ₁₅₀	54,3	3,0	160	26,2	8,6	174	80,5	11,6	334	29,3	4,2	121
Фон + Mn ₅₀	51,8	1,4	187	21,6	11,1	199	73,4	10,0	386	26,9	3,7	141
Фон + Mn ₁₀₀	51,1	6,5	222	21,9	8,9	245	73,0	17,6	467	22,6	5,4	144
Фон + Mn ₁₅₀	50,4	2,6	190	18,4	7,1	198	68,8	9,6	388	24,5	3,4	138

Минеральные удобрения, в почве подвержены различным преобразованиям, доза удобрения внесенная, без учета этих изменений чаще бывает ниже, необходимой растению. Поэтому для разработки путей рационального использования удобрений необходим учет их потребления возделываемой культурой [60, 82, 83, 93].

Коэффициент использования фосфора и калия из почвы (КИП) рассчитывали по формуле (19):

$$\text{КИП} = \text{Ву} / \text{С}, \quad (19)$$

где Ву – вынос элемента биомассой, кг/га;

С – содержание элемента в почве, кг/га.

КИУ определяли по формуле (20):

$$\text{КИУ} = (\text{Ву} - \text{Вк}) / \text{Д}, \quad (20)$$

где Ву и Вк – вынос питательных элементов биомассой в варианте с применением удобрений и с контроля, кг/га;

Д – доза удобрений, кг д.в./га.

Определенные в исследованиях агрохимические параметры можно использовать для установления доз минеральных удобрений под озимую пшеницу расчётными методами (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Нормативные агрохимические показатели минерального питания озимой пшеницы

Показатель	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu	Mn
КИП, %	68,0	18,0	10,0	3,0	2,5	0,15
КИУ, %	–	16,0	–	0,33	–	–
Потребление для создания 1 т зерна, кг (NPK) или г (Zn, Cu, Mn)	35	19	20	24	3,3	100
Nт, кг/га	90	–	–	–	–	–

Данные нормативы могут использоваться для расчета доз удобрений на плановую прибавку урожая (П, формула 21):

$$D = \frac{K_d \cdot H \cdot P}{K_y}, \quad (21)$$

где D – доза удобрений, кг д.в./га;

K_d – коэффициент действия удобрений, указывающий на отклонение фактического содержания элемента питания в почве от оптимального; H – норма расхода элемента питания на создание 1 т основной продукции; K_y – коэффициент использования элемента питания из удобрений.

Расчет доз удобрений на плановый урожай (ПУ) возможен по формуле (22):

$$D = \frac{ПУ \cdot H - C \cdot K_p}{K_y}, \quad (22)$$

где C – содержание элемента питания в слое почвы 0-30, кг/га;

K_p – коэффициент использования элементов питания из почвы.

При определении дозы азотных удобрений используется формула (23):

$$D = \frac{ПУ \cdot H - (C + N_t) \cdot K_p}{K_y}, \quad (23)$$

где N_t – азот текущей нитрификации, кг/га.

Приведенные формулы апробированы при удобрении более 40 сельскохозяйственных культур в условиях Западной Сибири и Северного Казахстана [24, 68-76, 113, 124, 178, 195].

5 УПРАВЛЕНИЕ ПИТАНИЕМ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ОСНОВЕ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РАСТЕНИЙ

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 [30, 31, 69, 73, 124, 165, 169, 202 и др.].

Еще Ю. Либих отмечал невозможность оценить доступность питательных веществ почвенными анализами и считал, что это можно установить только с помощью самого растения. Одним из главных предметов изучения и забот человека должно быть растение, – писал К.А. Тимирязев и неоднократно напоминал, что для определения и возможно для 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 Ермохину [75]).

Внимание к химическому составу растений в зависимости от условий выращивания (водный, питательный, температурный и др. режимы) возникло в начале становления агрохимической науки. В этот период развития диагностики, особое внимание было уделено поступлению азота в растения и его влиянию на урожай и качество. Так, в классических работах Д.Н. Прянишникова [162] обозначены основные закономерности превращения азотистых веществ в растениях и намечены главные пути регулирования данных процессов. В дальнейшем работы по диагностике минерального питания растений получили развитие в трудах В.В. Церлинг [201, 202], К.П. Магницкого [117, 118] и др. В

условиях Западной Сибири значительный вклад в развитие диагностики внесли А.Е. Кочергин [100, 102], Н.К. Болдырев [31], Г.П. Гамзиков [51], Ю.И. Ермохин [67] и др. В Восточной Сибири по минеральному режиму почв и химическому составу растений были опубликованы работы А.Н. Угарова [196], Э.П. Поповой, Я.И. Лубите [156].

За рубежом управлению питанием культур на основе химического анализа растений посвящены работы D. Boyton и O. Compton [221], D.J.D. Nicholas [228], H. Lundegardh [226], H.D. Chapman [222], P.F. Smith [232, 233], W. Reuter [229], И. Коларжик [98], Ф. Эммерта [212], А. Ульриха [197], П. Прево и М. Оланье [159], К. Боулд [35], P. Neubert [227] и др.

Метод растительной диагностики устанавливает, что химический состав растений оказывает контролирующее влияние на рост и продуктивность растений и даёт возможность выявить связь между содержанием элементов питания в растениях и урожаем в количественном и качественном отношении [24, 30, 68, 73, 98, 169 и др.]. Кроме того, растительная диагностика позволяет проводить корректировку питания растений в процессе вегетации, чем способствует более полному использованию питательных элементов почвы и удобрений. Умение определять значение поступления элементов питания в растения на их рост и развитие, а в конечном счете, на урожай и качество, являлось и является на сегодняшний день одной из главных задач работы агрохимиков, как в России, так и за рубежом.

По мнению ряда авторов [31, 67, 69], следует рассматривать почвенную и растительную диагностику не как два параллельных метода, а как единый метод оптимизации минерального питания. В настоящее время в решении проблемы питания сельскохозяйственных культур применяется комплексный подход. Важным дополнением к методу почвенной диагностики в настоящее время как у нас, так и за рубежом стал метод растительной диагностики. Определение запаса питательных элементов в почве и растительная диагностика минераль-

ного питания – это две стороны единого производственного контроля в земледелии.

Растительная диагностика завоевала широкое признание в агрохимической практике сельскохозяйственного производства. Она позволяет, на основе полученных взаимосвязей между условиями питания, химический составом растений в процессе развития, урожаем и его качеством, проводить расчет доз подкормок с целью оптимизации минерального питания растений и таким образом получения высоких урожаев хорошего качества.

В связи с вышесказанным по ходу процесса вегетации необходимо использовать растительную диагностику для управления питанием озимой пшеницы (второй блок в системе «ИСПРОД», рисунок 3.6).

5.1 Содержание макро- и микроэлементов в растениях при применении удобрений

Чтобы использовать данные химического анализа растений для диагностики минерального питания, нужно знать, как меняется концентрация минеральных элементов в растении в зависимости от возраста и фазы развития растения. Располагая этими сведениями, можно довольно правильно определить какая именно концентрация соответствует недостатку, обеспеченности и избытку элементов питания. 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 главным образом на том, что между содержанием какого-либо элемента в корневой зоне и количеством его в растительных тканях существует непосредственная и положительная зависимость. Растения при взаимодействии корневой системы с растворенными в почве удобрениями поглощают их составные части, и прочно фиксируют их в клетках и тканях. Поглощенные растениями

макро- и микроэлементы положительно влияют на рост и развитие их, а, следовательно, и на урожай сельскохозяйственных культур [13, 15, 16, 37, 42, 50, 85, 87, 92, 115, 116, 119, 122, 125, 129, 133, 148, 166, 188, 189, 191, 192, 219, 223, 230, 231 и др.].

Весьма важным вопросом при разработке метода растительной диагностики является срок отбора на химический анализ. Химический состав растений изменяется при переходе от одной фазы развития к другой. В наших исследованиях для изучения химического состава растений и диагностирования питания на его основе использовали рекомендации В.В. Церлинг [201]. Использование растительного анализа в целях контроля за поступлением и аккумуляцией питательных элементов в течение вегетации, являлось решающим фактором объяснения направленности процессов, происходящих в растениях при изменении условий минерального питания.

В проведенных нами исследованиях применение микроудобрений под озимую пшеницу (полевые опыты №1 и №2, таблица 5.1) не оказало существенного влияния на поступление калия в растения. Имеющиеся различия не носят закономерного характера, что объясняется высоким содержанием калия в лугово-черноземной почве и, соответственно, в растениях.

Применение возрастающих доз цинка в основное внесение (опыт №1) от 4 до 8 кг/га способствовало увеличению количества общего азота в зерне озимой пшеницы на обоих фонах. Зависимость содержания общего азота в зерне озимой пшеницы (Y_1 – фон N_{30} , Y_2 – фон $N_{30}P_{60}$, %) от доз применяемого цинка (X , кг/га) представлена следующими уравнениями (24, 25):

$$y = 0,014x + 2,62, \quad r = 0,84 \quad (24)$$

$$y = 0,020x + 2,57. \quad r = 0,79 \quad (25)$$

Из данных уравнений следует, что 1 кг цинка удобрений при основном внесении увеличивает содержание азота в растениях пшеницы на 0,014% (фон N_{30}) и 0,020% (фон $N_{30}P_{60}$). Таким образом наблюдается синергизм между цинком и азотом. Содержание азота в зерне снижается от доз сульфата цинка при

Таблица 5.1 – Содержание макроэлементов в озимой пшенице в фазу уборки в зависимости от применяемых микроудобрений, % на абсолютно сухую массу (среднее 2008-2011 гг.)

Вариант	Зерно			Солома		
	N	P	K	N	P	K
Опыт №1						
N ₃₀ – фон 1	2,62	0,43	0,47	0,49	0,29	0,67
Фон 1 + Zn ₄	2,66	0,43	0,48	0,50	0,31	0,70
Фон 1 + Zn ₈	2,73	0,44	0,53	0,52	0,33	0,71
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	2,56	0,40	0,51	0,51	0,33	0,68
Фон 2 + Zn ₄	2,66	0,40	0,51	0,50	0,31	0,71
Фон 2 + Zn ₈	2,72	0,43	0,51	0,51	0,34	0,70
Фон 2 + Zn ₅₀ *	2,57	0,38	0,47	0,43	0,30	0,64
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	2,42	0,42	0,46	0,44	0,28	0,71
Опыт №2						
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	2,60	0,38	0,39	0,49	0,29	0,62
Фон + Zn ₅₀	2,73	0,37	0,43	0,50	0,31	0,62
Фон + Zn ₁₀₀	2,60	0,39	0,43	0,52	0,33	0,63
Фон + Cu ₅₀	2,64	0,42	0,44	0,51	0,33	0,66
Фон + Cu ₁₀₀	2,67	0,42	0,45	0,50	0,31	0,68
Фон + Mn ₅₀	2,68	0,45	0,44	0,50	0,32	0,62
Фон + Mn ₁₀₀	2,66	0,41	0,45	0,43	0,30	0,64

Примечание. * – обработка семян г соли на 100 кг

опудривании семян с 2,57% (от 50 г на 100 кг семян на фоне N₃₀P₆₀) до 2,42% при применении цинковых удобрений 100 г на 100 кг семян. Это, можно объяснить эффектом «разбавления» за счет формирования большей урожайности. При обработке семян сульфатом цинка в дозе 50 г на 100 кг на фоне N₃₀P₆₀K₆₀ (опыт №2) концентрация азота в зерне выше, чем в зерне на фоне (2,73 и 2,50%

соответственно). Но при обработке более высокой дозой 100 г количество азота в зерне пшеницы уменьшилось до 2,60%.

Существенных изменений химического состав зерна и соломы озимой пшеницы при применении медных и марганцевых удобрений не наблюдалось.

В целом можно отметить, что содержание азота в зерне больше чем в соломе в пять раз и более. Фосфора так же больше в зерне, что объясняется участием фосфора в репродуктивных процессах: его содержание в зерне составило 0,37-0,45 %, а в соломе 0,28-0,34%. Концентрация калия, в отличие от азота и фосфора, больше в соломе (0,62-0,71%), чем в зерне пшеницы (0,39-0,53%).

В целом, в результате данных исследований наблюдается влияние цинка на азотный обмен. При дефиците его в почве нарушается процесс синтеза соединений азота в растениях озимой пшеницы. По мнению П.А. Власюка [43] роль цинка в азотном обмене состоит не только в его участии в синтезе белка, но и в увеличении азота из окружающей среды.

Содержание микроэлементов в растениях изменяется по периодам онтогенеза (таблицы 5.2 и 5.3). Максимальное их количество наблюдается в ранних фазах развития растений. Дальнейшее снижение концентрации элементов питания обусловлено так называемым ростовым разбавлением. В меньшей степени это выражено у марганца, в большей – у меди.

При исследовании концентрации цинка в растениях пшеницы можно отметить, что она составляла от 3,6 до 32,8 мг/кг сухого вещества. Наибольшее содержание цинка отмечалось в фазу осеннего кущения. Так, в варианте N₃₀ оно составило 25,2 мг/кг (таблица 5.2). Наименьшее количество цинка содержалось в соломе в фазу уборки – 5,3 мг/кг. При этом в зерне его концентрация значительно выше, чем в соломе и составила 15,1 мг/кг.

Таблица 5.2 – Содержание микроэлементов в растениях озимой пшеницы по фазам развития в зависимости от способов применения цинковых удобрений, мг/кг сухого вещества (среднее 2007-2011 гг.)

Вариант	Всходы			Кущение осеннее			Кущение весеннее			Выход в трубку			Колошение			Уборка (солома)			Уборка (зерно)		
	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn
N ₃₀ – фон 1	23,0	4,80	79,0	25,2	4,03	62,0	23,6	3,60	57,0	13,9	1,68	63,6	12,5	1,77	63,0	3,9	2,03	43,0	12,1	1,64	54,0
Фон 1 + Zn ₄	24,8	4,82	87,0	28,9	4,70	68,0	25,2	3,32	52,6	16,0	1,74	58,6	15,0	1,82	56,2	4,3	2,06	43,0	13,2	1,87	54,0
Фон 1 + Zn ₈	25,0	4,72	93,0	29,3	3,61	66,3	24,1	3,09	51,4	15,6	1,99	52,6	12,9	1,91	54,9	4,2	1,97	38,3	13,4	0,83	51,3
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	20,3	4,30	79,0	23,7	4,04	70,0	22,4	2,70	60,1	13,3	2,06	55,3	11,8	1,96	60,3	3,6	1,09	38,0	11,5	0,84	54,6
Фон 2 + Zn ₄	24,8	5,20	79,0	24,2	4,32	63,4	27,9	2,63	53,6	14,2	2,08	53,3	14,2	2,04	56,3	5,7	1,12	37,6	13,9	0,92	53,2
Фон 2 + Zn ₈	25,5	5,00	73,0	26,4	4,62	62,9	29,4	2,92	51,6	15,4	2,63	50,6	14,8	1,96	55,9	5,8	2,00	36,9	15,5	1,10	54,0
Фон 2 + Zn ₅₀ *	22,8	5,50	79,0	26,2	4,41	60,1	27,6	3,00	54,0	13,8	2,55	44,1	15,3	2,51	57,7	5,7	2,04	33,9	14,8	1,06	51,1
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	24,0	5,46	73,0	29,2	4,06	58,9	29,8	2,41	53,9	15,2	2,39	42,1	16,7	1,30	53,6	5,9	1,29	32,6	17,4	0,67	50,9

Примечание. * – обработка семян г соли на 100 кг

Таблица 5.3 – Содержание микроэлементов в растениях озимой пшеницы по фазам развития в зависимости от применяемых микроудобрений, мг/кг сухого вещества (среднее 2007-2011 гг.)

Вариант	Всходы			Кущение осеннее			Кущение весеннее			Выход в трубку			Колошение			Уборка (солома)			Уборка (зерно)		
	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ - фон	24,3	5,37	67,3	22,9	3,88	68,2	22,6	2,19	52,1	11,9	1,61	42,3	14,8	1,98	55,2	5,3	2,00	34,6	15,1	0,94	52,0
Фон + Zn ₅₀	26,3	5,70	73,0	24,4	3,97	63,6	23,4	2,12	50,1	14,2	1,80	41,0	16,3	1,99	53,2	5,6	2,03	31,2	18,3	1,16	51,6
Фон+ Zn ₁₀₀	27,8	5,51	65,0	26,4	2,49	59,1	24,7	2,13	48,3	14,6	1,88	38,9	16,2	2,00	52,1	5,6	1,43	33,0	15,7	0,72	52,9
Фон + Cu ₅₀	25,5	5,69	64,0	26,2	3,99	60,2	17,2	3,27	44,2	13,6	1,84	40,7	14,4	2,03	50,1	4,6	2,04	31,3	15,3	1,84	51,6
Фон + Cu ₁₀₀	25,3	5,70	62,7	32,8	2,52	57,7	16,3	2,68	41,0	12,1	2,06	39,8	13,7	1,45	48,9	4,7	2,01	30,6	16,3	0,99	51,0
Фон + Mn ₅₀	28,0	5,41	65,0	24,2	3,67	84,6	16,3	3,00	53,1	14,4	2,00	39,9	11,6	2,45	55,6	3,9	2,01	36,0	16,3	0,45	58,9
Фон + Mn ₁₀₀	28,1	5,55	71,6	24,3	4,01	115	16,1	3,81	54,9	15,6	2,09	41,2	12,8	1,44	56,0	4,3	1,74	48,0	13,6	1,72	59,0

Концентрация меди в растениях озимой пшеницы находилась в пределах от 0,45 до 5,70 мг/кг сухого вещества. Максимальное количество меди (в варианте N₃₀) 4,80 мг/кг в растениях пшеницы наблюдалось в фазу всходов. При прохождении последующих фаз вегетации содержание ее в целом снижалась. В уборку концентрация меди в зерне (2,0) выше, чем в соломе (0,94 мг/кг).

Содержание марганца в растениях озимой пшеницы в течение вегетации составляло 30,6 – 115,0 мг/кг сухого вещества: в период всходов было максимальным – 79,0, затем наблюдалось его снижение до фазы выхода в трубку (где оно составило 42,3 мг/кг) и некоторое увеличение в фазу колошения и в период уборки в зерне (55,2 и 52,0 мг/кг соответственно). Отличительной особенностью накопления марганца является, то, что концентрация его в растениях некоторых культур увеличивается по ходу вегетации, что сообщалось ранее другими исследователями [24, 42] и наблюдалось и в данных исследованиях. Минимальная концентрация его отмечена в соломе (34,6 мг/кг), что в полтора раза ниже его содержания в зерне (все показатели для варианта N₃₀, таблица 5.2).

Можно отметить, что фосфорные удобрения уменьшают содержание цинка в растениях озимой пшеницы на азотном фоне во все фазы развития (вариант N₃₀P₆₀), где относительное уменьшение составило (по сравнению с фоном N₃₀): на 11,7% в фазу всходов, 6,0% – в фазу осеннего кушения, 5,1% – весеннего кушения, 4,3% – выхода в трубку, 5,6% – колошения, 7,7 и 5,0% – в уборку, соответственно, в соломе и зерне. Антагонистическое действие фосфора по отношению к цинку максимально в ранние фазы развития (таблица 5.2).

Одни условия среды усиливают, другие, наоборот, ослабляют питание растений некоторыми ионами. Раствор, содержащий все соли в правильном для растений соотношении, которое взаимно ограничивает поступление ионов 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 элементами при поступлении в растения наблюдаются толь-

ко при определенных соотношениях их в почвенном растворе [43, 69, 90, 145, 174].

В исследованиях выявлены закономерности поступления микроэлементов в растения озимой пшеницы в зависимости от цинковых удобрений (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Схема действия цинка удобрений на концентрацию микроэлементов в растениях озимой пшеницы в течение вегетации

Доза цинковых удобрений	Всходы	Кущение осеннее	Кущение весеннее	Выход в трубку	Колошение	Уборка (солома)	Уборка (зерно)
Цинк							
N ₃₀ + Zn ₄	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
N ₃₀ + Zn ₈	↑	↑	↓	↓	↓	→	→
N ₃₀ P ₆₀ + Zn ₄	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
N ₃₀ P ₆₀ + Zn ₈	↑	↑	↑	↑	↑	→	↑
N ₃₀ P ₆₀ + Zn ₅₀ *	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
N ₃₀ P ₆₀ + Zn ₁₀₀ *	↑	↑	↑	↑	↑	→	↑
Медь							
N ₃₀ + Zn ₄	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑
N ₃₀ + Zn ₈	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↓
N ₃₀ P ₆₀ + Zn ₄	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑
N ₃₀ P ₆₀ + Zn ₈	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑
N ₃₀ P ₆₀ + Zn ₅₀ *	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
N ₃₀ P ₆₀ + Zn ₁₀₀ *	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Марганец							
N ₃₀ + Zn ₄	↓	↑	↓	↓	↓	→	→
N ₃₀ + Zn ₈	↑	→	↓	↓	↓	↓	↓
N ₃₀ P ₆₀ + Zn ₄	→	↓	↓	↓	↓	↓	↓
N ₃₀ P ₆₀ + Zn ₈	↓	→	↓	↓	→	↓	↓
N ₃₀ P ₆₀ + Zn ₅₀ *	→	↓	↓	↓	↓	↓	↓
N ₃₀ P ₆₀ + Zn ₁₀₀ *	↓	↓	→	↓	↓	↓	↓

Примечание. * – обработка семян г соли на 100 кг, ↑ – увеличение концентрации, ↓ – уменьшение концентрации, → – концентрация не изменяется.

Нетрудно заметить, что направление взаимодействия между элементами зависит от уровня обеспеченности одного из них или обеих, что отмечали в своих работах К.П. Магницкий [118], Ф. Эммерт [212], Ю.И. Ермохин [69], И.А. Бобренко [24], А.В. Синдирева [174]. В лугово-черноземной почве при применении цинковых удобрений содержание цинка в растениях в основном увеличивается (от доз Zn_4 и Zn_8 – в основное внесение, Zn_{50} и Zn_{100} при опудривании). Но при меньшем уровне обеспечения фосфором (по сравнению с $N_{30}P_{60}$) на фоне N_{30} от дозы повышенной дозы Zn_8 наблюдается переход от синергетических отношений к антагонистическим.

При анализе действия цинковых удобрений на содержание меди в растениях озимой пшеницы установлено, что цинк удобрений при низких дозах (Zn_4 – в основное внесение, Zn_{50} – при опудривании) в основном повышает этот показатель на фоне N_{30} (кроме фазы весеннего кущения), дальнейшее увеличение доз цинка преимущественно приводит к обратному направлению взаимодействия (особенно при опудривании).

Концентрация марганца уменьшалась, особенно при внесении повышенных доз (Zn_8 в основное внесение и Zn_{100} – при опудривании).

В целом можно отметить, что внесение цинковых удобрений увеличивает содержание меди в растениях при различных способах применения; цинка – в зависимости от макроэлементного фона; содержание же марганца в растениях при внесении цинка уменьшалось.

При превышении оптимального уровня обеспеченности цинком отношения между элементами могут стать антагонистическими, что повлияет на поступлении ряда микроэлементов. Фосфорные удобрения при избыточной дозировке также способны нарушить микроэлементный обмен и изменить внутренний баланс элементов в растениях в положительную или отрицательную сторону. Особенно это относится к обеспечению растений цинком и медью, о чем свидетельствовали ранее и другие ученые для черноземных почв [24, 73, 86, 105, 178].

Количественная информация о концентрациях микроэлементов в растениях озимой пшеницы является основой как для определения их оптимальных содержания и соотношения в растениях для управления минеральным питанием культуры методом растительной диагностики.

5.2 Оптимальное содержание и соотношение элементов в растениях

Основой диагностики питания является определение оптимального содержания и соотношения элементов питания в растениях [73, 117, 118, 185, 201, 202, 212, 226]. 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 (рисунок 5.1).

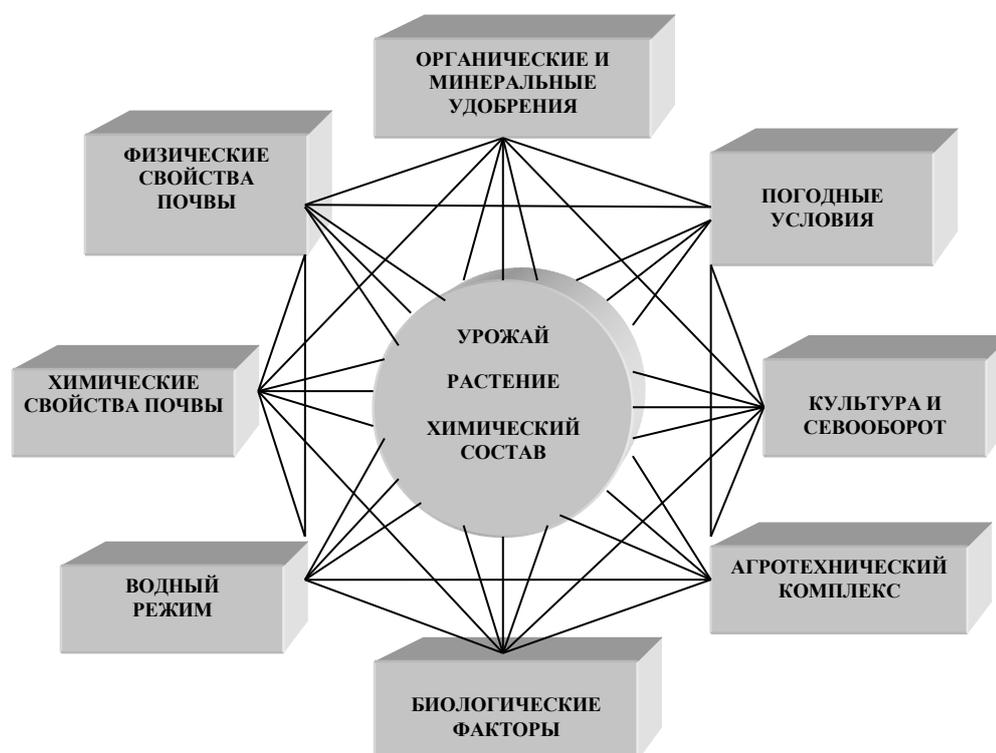


Рисунок 5.1 – Факторы, влияющие на урожай и химический состав растений
(Ермохин, 1995)

Характер связи между химическим составом растений и величиной урожая описывается уравнением квадратической параболы (рисунок 5.2); в области до оптимальных величин содержания элементов питания, зависимость урожайности культуры от этих параметров носит линейный характер. Для практических целей прогноза величины будущего урожая можно использовать разные уравнения. Теоретический прогноз урожая по данным уравнениям хорошо согласуется с практическими данными.

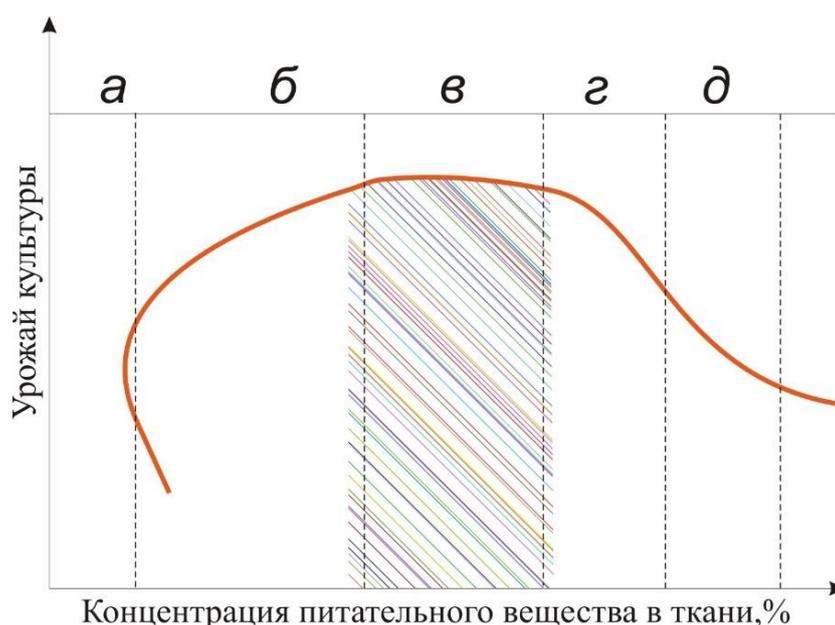


Рисунок 5.2 – Ответная реакция растений на концентрацию элемента питания в ткани: зона, а – голодания (предел выживания); зона б – положительная реакция на увеличение дозы элемента; зона в – оптимальный (нормальный) уровень содержания элемента; зона г – начальное и токсическое действие избытка элемента

Установлено, что с увеличением дозы питательного вещества, вносимого под растения, концентрация этого вещества в тканях большинства культур возрастает до определенного уровня концентрации, на последующее увеличение

дозы растение практически не реагирует из-за того, что клеточный сок представляет собой буферную систему, переводящие минеральные элементы в различные состояния, а, следовательно, увеличение дозы удобрений может привести к снижению урожая и его качества [169].

Концентрация минеральных элементов питания в растениях хорошо отражает содержание подвижных форм этих элементов в почве. Установленные зависимости между химическим составом почвы, растений и величиной урожая наглядно свидетельствует о возможности практического использования данной закономерности для оптимизации минерального питания сельскохозяйственных культур. Для этого должны быть определены, во-первых, границы, в которых может изменяться содержание каждого питательного вещества в листьях, во-вторых, оптимальное содержание, которое указывало бы на полную обеспеченность растений соответствующим элементом.

Проследив связь между концентрацией макро- и микроэлементов в надземной массе в течение вегетации и урожаем зерна (таблицы 3.1, 3.2, 5.2, 5.3, 5.5, 5.6, приложения Е, Ж), нами установлены оптимальные уровни элементов, свойственные для высоких урожаев (таблица 5.7).

Таблица 5.5 – Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от доз цинковых удобрений и содержания подвижного цинка в почве и валового в растениях на оптимальном азотно-фосфорном фоне

Доза цинка удобрений, кг д.в./га	Содержание цинка в растении, мг/ кг					Урожайность, т/га
	Всходы	Кущение (осень)	Кущение (весна)	Выход в трубку	колошение	
N ₃₀ P ₆₀ – фон	20,3	23,7	22,4	13,3	11,8	3,16
Фон + Zn ₄	24,8	24,2	27,9	14,2	14,2	3,08
Фон + Zn ₈	25,5	26,4	29,4	15,4	14,8	3,42
Фон + Zn ₁₂	25,8	26,0	29,4	14,9	14,7	3,32

Таблица 5.6 – Зависимость урожайности озимой пшеницы (У, т/га) от валового содержания микроэлементов в растениях (Х, мг/кг сухого вещества) в течение вегетации (опыт №2)

Фаза развития	Уравнение	r
Цинк		
Всходы	$y = 0,052x^2 - 2,35x + 29,5$ (26)	0,79
Кущение (осень)	$y = 0,097x^2 - 4,77x + 61,5$ (27)	0,88
Кущение (весна)	$y = 0,030x^2 - 1,51x + 22,1$ (28)	0,82
Выход в трубку	$y = 0,142x^2 - 3,93x + 30,3$ (29)	0,73
Колошение	$y = 0,194x^2 - 5,17x + 36,1$ (30)	0,66
Медь		
Всходы	$y = -65,5x^2 + 726x - 2008$ (31)	0,83
Кущение (осень)	$y = 0,557x^2 - 3,53x + 8,56$ (32)	0,79
Кущение (весна)	$y = 0,62x^2 - 3,17x + 7,2$ (33)	0,75
Выход в трубку	$y = -6,07x^2 + 22,8x - 17,9$ (34)	0,85
Колошение	$y = 0,37x + 2,55$ (35)	0,65
Марганец		
Всходы	$y = -0,0023x^2 + 0,37x - 11,1$ (36)	0,86
Кущение (осень)	$y = 0,0005x^2 - 0,081x + 6,57$ (37)	0,89
Кущение (весна)	$y = -0,0201x^2 + 2,21x - 57,5$ (38)	0,63
Выход в трубку	$y = -0,173x^2 + 14,32x - 292$ (39)	0,89
Колошение	$y = 1,39x^2 - 154,3x + 4286$ (40)	0,88

Таблица 5.7 – Оптимальное содержание элементов в растениях озимой пшеницы в течение вегетации (сухая масса)

Фаза развития	N	P	K	Zn	Cu	Mn
	%			мг/кг		
Всходы	4,0 ± 0,2	0,62 ± 0,05	4,1 ± 0,1	25 ± 2	5,0 ± 0,5	70 ± 10
Кущение осеннее	3,4 ± 0,2	0,50 ± 0,05	4,0 ± 0,3	28 ± 2	4,0 ± 0,5	68 ± 7
Кущение весеннее	4,6 ± 0,4	0,50 ± 0,05	3,8 ± 0,3	27 ± 2	3,0 ± 0,5	48 ± 6
Выход в трубку	4,1 ± 0,3	0,43 ± 0,03	3,9 ± 0,1	15 ± 1	2,0 ± 0,5	50 ± 8
Колошение	3,5 ± 0,4	0,35 ± 0,05	2,4 ± 0,2	14 ± 1	2,0 ± 0,5	55 ± 2
Уборка (солома)	0,50 ± 0,02	0,31 ± 0,03	0,70 ± 0,02	5 ± 1	1,8 ± 0,3	40 ± 4
Уборка (зерно)	2,7 ± 0,1	0,43 ± 0,02	0,50 ± 0,02	14 ± 1	1,5 ± 0,3	59 ± 5

Таким образом, проведенные нами исследования позволили установить для основных фаз развития озимой пшеницы оптимальные уровни содержания макро- и микроэлементов в растениях. Но при несбалансированном питании растений, необходимо определять степень потребности в каком-либо элементе с учетом оптимального их соотношения в растении [46]. Улучшение питания растений и увеличение поступления питательных веществ в растения может приводить к тому, что процент содержания данного элемента будет возрастать, оставаться без изменения или уменьшаться в зависимости от темпов роста органической массы и темпов поглощения. Эти обстоятельства необходимо учитывать при определении потребности в дополнительном внесении элементов питания, при этом соотношение между элементами в растении играет основополагающую роль.

Оптимальные уровни обеспеченности элементами питания позволяет правильно интерпретировать фактические результаты химического анализа растений в природной обстановке. Так, при замедленном росте и недостатке какого-либо элемента в растениях дефицит последнего следует устранить путем подкормки. Высокое содержание элементов питания и замедленный рост отражают избыток элементов, либо нарушение соотношения между ними. При оптимальном содержании и соотношении элементов нарушение роста и развития растений обусловлено другими факторами [124, 178].

Основоположники листовой диагностики французские ученые Лагатю и Мом оценивали питание растений по концентрации элементов в сухом веществе растений («количество питания») и по их соотношению («качество питания»). З. И. Журбицкий [82, 83], оперируя теми же понятиями (количество и качество питания), полагает, что соотношение питательных веществ, в известных пределах, оказывает большее влияние на его рост и развитие, а также на продуктивность, чем концентрация поглощаемых элементов. Установлению оптимальных соотношений и их практическому использованию посвящены ряд работ [67, 202 и др.].

Ряд авторов, отмечает малую изменчивость соотношения между элементами в растении с возрастом. Н.К. Болдырев [31] и Ю.И. Ермохин [69] полагают, что наличие определенного устойчивого соотношения между азотом фосфором в листьях высокопродуктивных растений, изменяется в зависимости от культуры от 12 до 15, составляет одну из главных основ физиологического метода растительной диагностики. В публикациях Н.К. Болдырева [31], Ю.И. Ермохина [73], И.А. Бобренко [24], А.В. Синдиревой [174] предложено отношения элементов питания в растениях между собой выражать так (41):

$$N = a_1 \cdot P = a_2 \cdot K = a_n \cdot M_n \dots \dots \quad (41)$$

При анализе данных были установлены оптимальные соотношения макро- и микроэлементов в растениях озимой пшеницы по фазам развития. Из данных таблицы 5.8 видно, что оптимальное соотношение валовых Mn и Zn (Mn : Zn) в течение вегетации от 1,7 до 8,0, соотношение между Mn и Cu (Mn: Cu) составляет 14,0 – 39,3.

Таким образом, оптимальное соотношение зависит от фазы развития, элемента, органа растений. При расчете норм удобрений под отдельные культуры и в различные фазы роста, развития и формирования урожая по химическому составу почвы, часто упускается влияние комплекса внешних условий, биологические особенности питания растений и умение им удовлетворить. Исходя из этого ученые все чаще обращаются «к мнению самого растения» [30, 76, 118, 124, 195, 202, 210 и др.]. Поэтому в процессе роста и развития растений в установленные диагностические фазы включается система растительной диагностики для получения информации о растении и управления, коррекции в питании растений путем дополнительного внесения удобрений.

Для определенного периода роста фактический уровень обеспеченности элементами питания характеризует концентрацию физиологически доступных питательных веществ в почве. Оптимальный уровень и уравновешенных баланс в целом растении в период вегетации озимой пшеницы указывают на высокую обеспеченность ее минеральным питанием (таблицы 5.7, 5.8) и при наличии

Таблица 5.8 – Оптимальное соотношение элементов в растениях озимой пшеницы в течение вегетации (сухая масса)

Фаза развития	Уравнение баланса
Макроэлементы	
Всходы	$N = 6,5 \cdot P = 1 \cdot K,$ (42)
Кущение осеннее	$N = 6,8 \cdot P = 0,85 \cdot K,$ (43)
Кущение весеннее	$N = 9,2 \cdot P = 1,2 \cdot K,$ (44)
Выход в трубку	$N = 9,5 \cdot P = 1,05 \cdot K,$ (45)
Колошение	$N = 10 \cdot P = 1,5 \cdot K,$ (46)
Уборка (солома)	$N = 1,6 \cdot P = 0,7 \cdot K,$ (47)
Уборка (зерно)	$N = 3,7 \cdot P = 5,4 \cdot K,$ (48)
Микроэлементы	
Всходы	$Mn = 14,0 \cdot Cu = 2,8 \cdot Zn,$ (49)
Кущение осеннее	$Mn = 17,0 \cdot Cu = 2,4 \cdot Zn,$ (50)
Кущение весеннее	$Mn = 16,0 \cdot Cu = 1,7 \cdot Zn,$ (51)
Выход в трубку	$Mn = 25,0 \cdot Cu = 3,3 \cdot Zn,$ (52)
Колошение	$Mn = 27,5 \cdot Cu = 3,9 \cdot Zn,$ (53)
Уборка (солома)	$Mn = 22,2 \cdot Cu = 8,0 \cdot Zn,$ (54)
Уборка (зерно)	$Mn = 39,3 \cdot Cu = 4,2 \cdot Zn.$ (55)

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 определения очередности внесения того или иного элемента [73]. При этом используется коэффициент потребности (K_p), который показывает, на сколько отклоняется фактическое содержание или соотношение элемента в растении от оптимального (56):

$$K_{\text{п}} = \frac{N : P, N : K, Zn : Cu, Zn : Mn \text{ и т. д. (оптим)}}{N : P, N : K, Zn : Cu, Zn : Mn \text{ и т. д. (факт)}}, \quad (56)$$

и если $K_{\text{п}} > 1$ то растения нуждаются в данном элементе и тем сильнее, чем больше коэффициент. При $K_{\text{п}} < 1$ – потребность в этом элементе отсутствует. Наибольший $K_{\text{п}}$ указывает на тот элемент, который находится в первом минимуме. Исходя из этого, Ю.И. Ермохин [69] предложил формулу расчёта доз удобрений в подкормку (57):

$$D = K_{\text{п}} \cdot H, \quad (57)$$

где H – минимальная норма потребления элементов растением в определенную фазу развития, выявленная ранее для высоких урожаев. Для озимой пшеницы в исследованиях она составила в фазу весеннего кущения Zn – 24, Cu – 3, Mn – 50; в фазу выхода в трубку соответственно 50,7 и 160 г/га.

Диагноз состояния питания растений 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 установленной нормы потребления элементов в определенный период развития растений (H) в условиях производства появляется возможность осуществлять оптимизацию минерального питания культур. Используя формулу 48 элемента можно доводить сложившийся фактический уровень питания до оптимального, установив дозу элемента и внося её способом опрыскивания 0,05-0,10% раствором соли. При этом нужно учесть, что применение микроудобрений результативно при оптимальном уровне обеспеченности макроэлементами, поэтому одновременно нужно оптимизировать макроэлементное питание с учетом ранее разработанной «ИСПРОД» для озимой пшеницы [210].

Пример. В результате химического анализа растений озимой пшеницы установлено, что содержание Zn в фазу весеннего кущения ниже (45 г/кг), а Cu и Mn выше (соответственно 8,5 и 245 г/кг) оптимального уровня. Рассчитываем

коэффициент потребности K_p по формуле 47 (оптимальное содержание в фазу весеннего кущения $Zn - 60$, $Cu - 8$, $Mn - 220$ г/кг):

$$K_{nZn} = \frac{Zn : Cu(\text{оптим})}{Zn : Cu(\text{факт})} = \frac{60 : 8}{45 : 8,5} = 1,42;$$

$$K_{nCu} = \frac{Cu : Zn(\text{оптим})}{Cu : Zn(\text{факт})} = \frac{8 : 60}{8,5 : 45} = 0,72;$$

$$K_{nMn} = \frac{Mn : Zn(\text{оптим})}{Mn : Zn(\text{факт})} = \frac{220 : 60}{245 : 45} = 0,68.$$

Приходим к выводу, что растения озимой пшеницы плохо обеспечены цинком ($K_p > 1$). Рассчитываем дозу удобрений для дополнительного внесения в течение вегетации по формуле 48:

$$D_{Zn} = K_{pZn} \cdot H = 1,42 \cdot 24 = 34,1 \text{ г/га.}$$

При проведении некорневых подкормок культурных растений микроудобрениями наблюдается устойчивый эффект в различных почвенно-климатических условиях [48, 80, 128, 193].

Для диагностирования потребности растений в том или ином микроэлементе нужно использовать химический анализ растений в период активного роста, установленные оптимальные уровни и соотношения элементов. В 2017 году была проведена производственная проверка разработанных нормативов для расчета доз удобрений для подкормки растений озимой пшеницы в течение вегетации на лугово-чернозёмной почве Омской области и был получен положительный результат (приложение О).

Таким образом, чтобы использовать данные химического анализа растений для диагностики минерального питания, нужно знать, как меняется концентрация минеральных элементов в растении в зависимости от возраста и фазы развития растения. Располагая этими сведениями, можно довольно правильно определить какая именно концентрация соответствует недостатку, обеспеченности и избытку элементов питания. Растения в процессе роста и развития предъявляют определённые требования к обеспеченности элементами питания.

Для растений озимой пшеницы характерны определённые соотношения элементов питания в разные периоды онтогенеза.

Применение химического анализа растений в целях диагностики основывается главным образом на том, что между содержанием какого-либо элемента в корневой зоне и количеством его в растительных тканях существует непосредственная и положительная зависимость. Растения при взаимодействии корневой системы с растворёнными в почве удобрениями поглощают их составные части, и прочно фиксируют их в клетках и тканях. Поглощенные растениями питательные элементы положительно влияют на рост и развитие их, а следовательно и на урожай сельскохозяйственных культур.

Использование растительного анализа в целях контроля за поступлением и аккумуляцией питательных элементов в течение вегетации, являлось решающим фактором объяснения направленности процессов, происходящих в растениях озимой пшеницы при изменении условий минерального питания.

На основании исследований были выявлены отношения между азотом, фосфором, калием как источниками питания и цинком, медью и марганцем, а также взаимоотношения между макро- и микроэлементами в растениях. Это очень важно для понимания процессов питания растений и для практики применения удобрений. Внешне нарушения в питании часто не проявляются (они скажутся на величине урожая), но анализ растений 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 (42-55). Химический состав растений – хороший показатель потребности их в удобрениях, но если не учитывать взаимодействия ионов, то он может дать неверную информацию.

Например, на фоне $N_{30}P_{60}$ полевого опыта 2011-2012 гг. (таблица 5.9) наблюдался значительный недостаток подвижного Zn в почве (0,54 мг/кг при оптимуме 2,0), в результате – концентрация Zn в растениях без внесения цинковых удобрений было ниже оптимального во все фазы развития.

Таблица 5.9 – Содержание микроэлементов в растениях озимой пшеницы в зависимости от расчетных доз цинковых удобрений в основное внесение, мг/кг сухого вещества (среднее 2011-2012 гг.)

Вариант	Всходы			Выход в трубку			Уборка (солома)			Уборка (зерно)		
	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn
$N_{30}P_{60}$ - фон	22,2	5,50	74,0	11,9	2,04	38,3	3,86	1,40	41,0	11,0	0,38	43,0
Фон + $Zn_{3,4}$ (ОУ)	25,4	5,06	65,0	14,8	2,20	49,1	5,90	1,92	46,3	14,1	1,73	61,3
Фон + $Zn_{6,6}$ (ОУ)	27,6	4,88	76,0	15,4	2,08	47,9	11,0	1,83	40,0	13,8	1,47	63,1
Фон + $Zn_{11,3}$ (ПО)	39,8	3,01	95,0	18,0	1,64	38,3	17,3	0,68	49,8	16,2	0,58	71,1

При этом концентрация Cu и Mn – в пределах оптимума в растениях в фазы всходов, выхода в трубку и в соломе в уборку, в зерне же она было ниже оптимального уровня (таблица 5.10).

Таблица 5.10 – Действие расчетных доз цинковых удобрений в основное внесение на содержания микроэлементов в растениях озимой пшеницы по фазам развития от (опыт №3)

Вариант	Всходы			Выход в трубку			Уборка (солома)			Уборка (зерно)		
	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn
N ₃₀ P ₆₀ – фон	↓	→	→	↓	→	→	↓	→	→	↓	↓	↓
Фон +Zn _{3,4} (ОУ)	→	→	→	→	→	→	→	→	↑	→	→	→
Фон +Zn _{6,6} (ОУ)	→	→	→	→	→	→	↑	→	→	→	→	→
Фон + Zn _{11,3} (ПО)	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↑

Примечание. «↑» – уровень выше оптимального, «↓» – уровень ниже оптимального, «→» – оптимальный уровень.

Недостаток в цинковом питании привел к дисбалансу элементов и недостаточному усвоению Cu и Mn к периоду уборки.

При внесении расчетных доз Zn 3,4 кг/га и 6,6 кг/га (на основе оптимальных уровней) содержание микроэлементов было в пределах оптимума во все фазы развития, что позволило сформировать максимальную урожайность в опыте – соответственно 3,21 и 3,10 (на фоне – 2,61 т/га).

При применении расчетной дозы на основе полевого опыта Zn_{11,3} наблюдалось значительное повышение содержания Zn в растениях, уменьшение содержания Cu и разнонаправленное изменение концентрации Mn. В результате в данном варианте наблюдались несбалансированные условия микроэлементного питания и наименьшая урожайность (2,57 т/га).

Таким образом, внесение неправильно определенных доз удобрений может нарушить микроэлементный обмен и изменить внутренний баланс элементов питания в растениях в отрицательную сторону. Анализ растений при правильном использовании указывает на то, что растение смогло взять при сложившихся внешних условиях, тогда как почвенный анализ – лишь на потенциальную

доступность питательных веществ почвы для растения. Листовая диагностика является вполне надежным методом для предсказания отзывчивости растений на минеральные удобрения. Этот метод дополняет и уточняет почвенную диагностику, так как химический состав растений отражает индивидуальную способность культуры извлекать питательные вещества из почвы при данном сочетании внешних условий, а также многочисленные факторы, влияющие на величину урожая.

6 КАЧЕСТВО И СТРУКТУРА УРОЖАЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МИКРОУДОБРЕНИЙ

6.1 Влияние микроудобрений на качество урожая озимой пшеницы

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 растительной продукции. Выявленные закономерности позволяют целенаправленно изменять качество растениеводческой продукции [84, 101, 113, 124, 128, 200].

Известно достаточно много исследований, где показано, что внесение одного какого-либо элемента питания влияют на содержание другого. В свою очередь это влияет на нарушение баланса питательных элементов в почве и 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 сочетания удобрений качество продукции зависит в значительной степени [93, 128, 135, 136, 211].

Применение сбалансированных доз удобрений, обеспечивающих высокие урожаи и качество продукции, является актуальным вопросом. Оно должно улучшать или, по крайней мере, не ухудшать биологическое (гигиеническое) качество культур при увеличении урожая до возможных пределов. Понятие биологического качества включает в себя не только калорийность, белковость, витаминизированность, но также качественный и количественный состав макро- и микроэлементов, удовлетворяющий потребность в них человека и сельскохозяйственных животных и не вредящий их здоровью.

Для прогнозирования качества зерна озимой пшеницы (третий блок в системе «ИСПРОД», рисунок 3.6) необходимо установление взаимосвязей в системе почва-растение-удобрение. Это дает возможность управлять продуктивностью культуры путем создания оптимальных условий минерального питания. Установленные связи в этой системе позволяют задолго до уборки по химиче-

скому составу растений и почвы предвидеть качество зерна и влиять на него [73, 191, 201, 202].

По наличию питательных веществ зерно 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 натурному весу, стекловидности [57, 161, 183, 194, 199].

Микроудобрения в наших исследованиях оказали положительное действие на качество зерна озимой пшеницы (таблицы 6.1 и 6.2, приложения К и Л).

Стекловидность является важнейшим технологическим свойством зерна. Стекловидное зерно оказывает большее сопротивление раздавливанию и скалыванию, поэтому при разломе требуется больше энергии, чем для мучнистого зерна. Оно дает больший выход муки, которая ценится в хлебопечении. Показатель в наших опытах варьирует от 45 до 50 % (табл. 6.1 и 6.2). Таким образом, сорт озимой пшеницы Омская 4, изучаемого в наших исследованиях, относится к среднестекловидным сортам и его зерно обладает довольно высоким содержанием белка, клейковины и хорошими хлебопекарными качествами.

Показателем натурального веса (вес 1 л зерна, выраженный в граммах) широко пользуются при оценке зерна пшеницы в отечественной и зарубежной практике. Исследования показывают, что снижение натурности на 100 г приводит к недобору почти половины урожая [132].

Основное внесение цинка с применением азотно-фосфорных удобрений привело к снижению показателя натурности зерна по сравнению с азотным фоном (753 и 762 г/л соответственно, таблица 6.1). При изучении разных способов внесения цинковых удобрений максимальное значение натурности зерна 774 и 773 г/л отмечено в лучших вариантах Zn_8 и Zn_{100} на фоне $N_{30}P_{60}$.

Таблица 6.1 – Показатели качества зерна озимой пшеницы в зависимости от применяемых разными способами цинковых удобрений (среднее 2008-2011 гг.)

Вариант	Натура, г/л	Стекловидность, %	Белок, %	Клейковина, %	ИДК, ед.
N ₃₀ – фон 1	762	49	15,2	26,3	71,7
Фон 1 + Zn ₄	758	49	15,4	26,0	73,3
Фон 1 + Zn ₈	753	48	15,8	26,8	76,7
Фон 1 + Zn ₁₂	759	48	15,6	25,8	74,5
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	753	49	14,8	26,1	74,3
Фон 2 + Zn ₄	758	49	15,4	26,2	77,0
Фон 2 + Zn ₈	773	50	15,8	27,3	72,7
Фон 2 + Zn ₁₂	767	48	15,8	26,4	67,5
Фон 2 + Zn ₅₀ *	761	49	14,9	25,4	70,0
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	774	49	14,6	27,6	74,0
Фон 2 + Zn ₁₅₀ *	770	49	13,9	26,5	67,0

Примечание. * – обработка семян г соли на 100 кг

Количество белка в зерне определяет пищевую ценность и может составлять от 9 до 26 %. Содержание белка в зерне пшеницы зависит главным образом от климатических условий ее выращивания и увеличивается с запада на восток. Решающая роль в биосинтезе белка в растениях принадлежит влажности и температуре почвы и почвенного воздуха. Зерно пшеницы, выращенное в условиях засушливого климата, отличается повышенным содержанием белка по сравнению с зерном, выращенным в условиях влажного климата. В сухие годы урожай пшеницы может снижаться, а содержание белка – увеличиваться, во влажные наоборот [183].

Для хлебопекарного производства основным показателем качества зерна является количество и качество клейковины. Клейковина – комплекс белковых веществ, способных при набухании в воде образовывать связную эластичную массу. Она состоит из набухших белков (70-80 % на сухое вещество), крахмала

(около 20 %) и небольшого количества жира, клетчатки и др. Содержание клейковины в опыте составило 25,4-27,6% (при ИДК 67,0-77,0 условных единиц), в лучших вариантах по урожайности (Zn_8 и Zn_{100} на фоне $N_{30}P_{60}$) оно было на максимальном уровне 27,3 и 27,6% соответственно (ИДК 76,7 и 74,0).

Максимальные показатели содержания белка в наших исследованиях получены в вариантах с применением высоких доз в основное внесение Zn_4 и Zn_8 15,6-15,8 % на обоих фонах. Влияние цинка при основном внесении на содержание белка представлено на рисунках 6.1 и 6.2. Увеличение содержания белка с 15,2 на фоне N_{30} до 15,8 % происходило при возрастании дозы цинка до 8 кг д.в./га. Внесение 12 кг д.в./га привело к снижению показателя (рисунок 6.1).

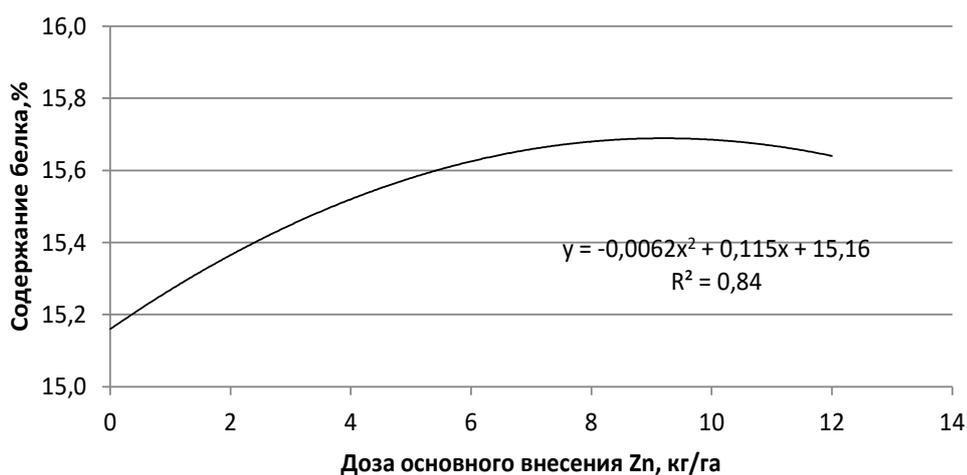


Рисунок 6.1 – Содержание белка в зерне озимой пшеницы в зависимости от цинковых удобрений (основное внесение) по фону N_{30} (среднее 2008-2011 гг.)

Увеличение белка от основного внесения цинка с 14,8% на фоне $N_{30}P_{60}$ (рисунок 6.2) начинается с дозы 4 кг д.в./га (15,4 %) и достигает максимума при применении дозы 8 кг д.в./га (15,8%).

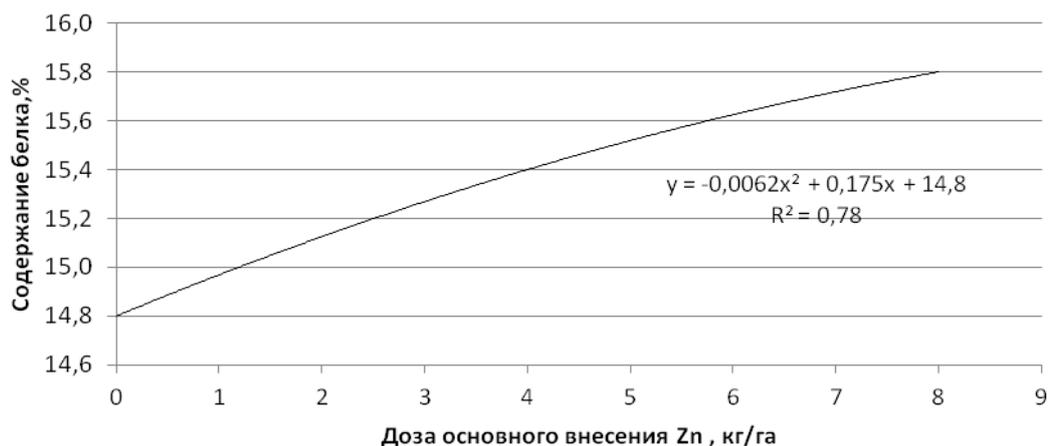


Рисунок 6.2 – Содержание белка в зерне озимой пшеницы в зависимости от цинковых удобрений (основное внесение) по фону $N_{30}P_{60}$ (среднее 2008-2011 гг.)

В наших опытах, после исследования связи между дозой используемого цинка в основное внесение (X , кг/га) и содержанием белка в зерне (Y_1 – фон N_{30} и Y_2 – фон $N_{30}P_{60}$, %) установлена тесная корреляционная зависимость, при внесении цинка в дозах до 8 кг/га:

$$Y_1 = 0,075x + 15,17; \quad r = 0,84 \quad (58)$$

$$Y_2 = 0,125X + 14,83. \quad r = 0,79 \quad (59)$$

Положительное влияние цинка на содержание белка объясняется тем, что этот элемент тесно связан с белковым синтезом. Влияние цинка на белковый синтез 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 [90, 122].

При опудривании солью цинка по фону $N_{30}P_{60}$ наибольшие показатели содержания белка (рисунок 6.3, опыт №1) отмечены в варианте с дозой 50 на 100 кг семян и составили 14,9 %.

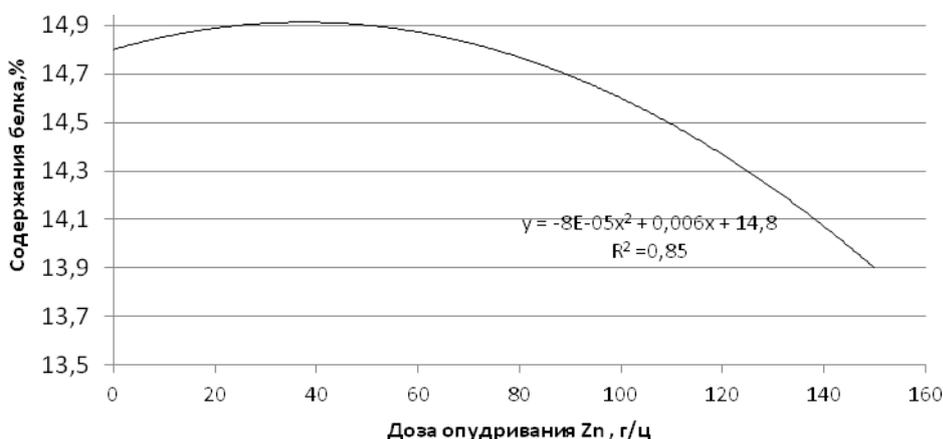


Рисунок 6.3 – Содержание белка в зерне озимой пшеницы в зависимости от цинковых удобрений (опудривание семян) по фону $N_{30}P_{60}$ (среднее 2008-2011 гг.)

При опудривании семян солями микроэлементов (таблица 6.2, опыт №2) показатели натуры зерна составили 771-787 г/л, при этом цинковые и медные удобрения изменяли их в меньшей степени, чем марганцевые. Наименьшая натура зерна 771 г/л сформировалась при применении Mn_{50} , наибольшая – 787 г/л – при Zn_{100} .

При применении микроудобрений способом опудривания наибольшее количество белка содержалось в зерне в варианте с применением Zn_{50} – 15,8 %, наименьшее – 14,5 % – при обработке Zn_{150} (на фоне $N_{30}P_{60}K_{60}$ – 15,1%).

Максимальное содержание клейковины в 28,1 % в зерне озимой пшеницы было получено в варианте с применением Mn_{100} (превышало фон на 1,4 %), минимальное – 26,0 % – при применении Zn_{100} . Наибольший показатель стекловидности зафиксирован в варианте Mn_{50} – 50 %, а низкий – 45 % – в варианте с

Таблица 6.2 – Показатели качества зерна озимой пшеницы в зависимости от применяемых микроудобрений (среднее 2009-2011 гг.)

Вариант	Натура, г/л	Стекловидность, %	Белок, %	Клейковина, %	ИДК, ед.
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	784	47	15,1	26,7	73,5
Фон + Zn ₅₀	785	48	15,8	27,5	69,0
Фон + Zn ₁₀₀	787	47	15,1	26,0	63,0
Фон + Zn ₁₅₀	785	46	14,5	26,4	66,5
Фон + Cu ₅₀	781	47	15,3	26,7	64,5
Фон + Cu ₁₀₀	777	47	15,5	27,7	65,0
Фон + Cu ₁₅₀	781	45	15,6	27,4	69,5
Фон + Mn ₅₀	771	50	15,5	27,2	72,5
Фон + Mn ₁₀₀	783	48	15,4	28,1	72,0
Фон + Mn ₁₅₀	785	47	15,5	27,0	69,0

Cu₁₅₀. В лучшем по урожайности варианте Mn₁₀₀ показатели качества были на высоком уровне: содержание белка составило 15,4%, клейковины – 28,1 %, стекловидность – 48%, натура зерна – 783 г/л, ИДК – 72,0.

Наряду с традиционными показателями качества, важно содержание микроэлементов в зерне, так как недостаток или избыток их в кормах и продуктах питания приводит к нарушению обмена веществ в организме животных и человека, а часто и к болезням [86, 90, 96, 178]. Установлено, что 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 появляются такие симптомы:

- падение остроты зрения, извращение вкуса, расстройства обоняния;
- красноватый оттенок волос, замедление их роста, очаговое облысение;
- образование язв на коже и слизистых;

- кожные заболевания, снижение скорости заживления ран;
- уменьшение содержания инсулина;
- 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.

Содержание цинка в зерне озимой пшеницы при использовании минеральных удобрений находилось в диапазоне от 12,1 до 21,2 мг/кг (таблицы 5.2 и 5.3), но не превышало ПДК цинка в продуктах питания (40-60 мг/кг). Между дозами цинка в основное внесение, содержанием цинка в почве и зерне пшеницы существует корреляционная зависимость (таблица 6.3, уравнения 60-63) при уровне обеспеченности растений цинком в диапазоне до оптимального.

Таблица 6.3 – Содержание цинка в зерне озимой пшеницы (мг/кг)
в зависимости от доз цинковых удобрений
и содержания подвижного цинка в почве

Доза цинка удобрений, кг д.в./га	Содержание цинка, мг/ кг	
	в почве (весеннее кушение)	в зерне
N ₃₀ – фон 1	0,61	12,1
Фон 1 + Zn ₄	1,07	13,2
Фон 1 + Zn ₈	1,92	13,4
Фон 1 + Zn ₁₂	2,77	12,6
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	0,69	11,5
Фон 2 + Zn ₄	1,57	13,9
Фон 2 + Zn ₈	1,88	15,5
Фон 2 + Zn ₁₂	2,85	14,6

Например, связь концентрации цинка в зерне (Y_1 – фон N_{30} , Y_2 – фон $N_{30}P_{60}$, мг/кг) и содержания подвижного цинка в лугово-чернозёмной почве (X , мг/кг) выражается уравнениями (60, 61):

$$Y_1 = 0,90x + 11,82, \quad r = 0,82 \quad (60)$$

$$Y_2 = 3,22x + 9,18. \quad r = 0,80 \quad (61)$$

Зависимость содержания цинка в зерне (Y_1 – фон N_{30} , Y_2 – фон $N_{30}P_{60}$, мг/кг) от доз цинкового удобрения (X , кг/га) выражается уравнениями (62, 63):

$$Y_1 = 0,16x + 12,25, \quad r = 0,79 \quad (62)$$

$$Y_2 = 0,50x + 11,63. \quad r = 0,81 \quad (63)$$

Таким образом, с увеличением запаса цинка в почве, благодаря возрастающим дозам цинковых удобрений, происходит повышение содержания цинка в зерне озимой пшеницы до определенного уровня. Используя полученные уравнения можно прогнозировать качественные показатели урожая.

Содержание элементов питания от фазы всходов до уборки играют важную роль в получении высокого и качественного урожая. При постоянном контроле и регулировании уровня питательных элементов в корнеобитаемом слое почвы, можно развивать в растении те показатели качества, которые необходимы. Минеральное питание непосредственно влияет на качество урожая, следовательно, на дальнейшую цену при реализации и расширение рынка сбыта убранного зерна.

6.2 Влияние микроудобрений на структуру урожая озимой пшеницы

Условия внешней среды, в том числе и минерального питания, меняют направленность биохимических процессов внутри организма и органогенез, что влияет на структуру урожая. З.И. Журбицкий [82, 83] 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, оптимальные дозы удоб-

рений являются фактором создания наилучшей структуры урожая, при которой отмечается самое экономное расходование элементов питания для создания 1 т основной продукции.

Эффективное управление питанием сельскохозяйственных культур сопровождается воздействием на растения, обеспечивающее возможно более высокие показатели всех элементов структуры урожая. Урожайность озимой пшеницы зависит от числа растений на единице площади и продуктивности каждого растения, которая складывается из продуктивной кустистости, числа зерен в колосе, массы 1000 зерен [57].

Количество зерен в колосе определяется теми условиями, в которых проходит фаза кущения озимой пшеницы, так как в этот период у нее завершается формирование колоса. При дефиците влаги и элементов питания значительная часть колосков в колосе может оказаться недоразвитой и озерненность будет пониженной [150].

Масса 1000 зерен также зависит от условий развития растений. Полновесное зерно формируется при полном удовлетворении потребности растений в период налива в минеральном питании, влаге, температуре, при отсутствии негативных воздействий. Растение находится в многосторонней и тесной связи с окружающей внешней средой. Благоприятное сочетание всех факторов жизни растения позволяют получать максимальную его продуктивность при наилучшем качестве урожая [198, 199].

Рассмотрение показателей структуры урожая при исследовании способов применения цинковых удобрений (опыт №1) показало, что они положительно влияют на продуктивную кустистость, озерненность колоса и массу 1000 зерен озимой пшеницы (таблица 6.4). Продуктивная кустистость в лучших вариантах по урожайности Zn_8 и Zn_{100} на фоне $N_{30}P_{60}$ составила 9 шт. (на фоне 8); количество колосков в главном колосе соответственно 17, 17, 16 шт.

Таблица 6.4 – Высота растений и структура урожая озимой пшеницы в зависимости применяемых различными способами цинковых удобрений (среднее 2008-2011 гг.)

Вариант	Высота растений, см	Кустистость		Главный колос			М 1000 зерен, г
		Общая	Продуктивная	Количество колосков	Количество зерен	Масса зерна, г	
N ₃₀ – фон 1	91	9	9	16	37	1,51	42,3
Фон 1 + Zn ₄	96	8	8	15	32	1,59	46,9
Фон 1 + Zn ₈	102	8	8	16	39	1,78	45,2
Фон 1 + Zn ₁₂	95	10	10	17	39	1,73	44,3
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	92	9	8	16	38	1,89	43,8
Фон 2 + Zn ₄	94	9	8	16	39	1,69	43,1
Фон 2 + Zn ₈	98	10	9	17	40	1,71	48,2
Фон 2 + Zn ₁₂	92	7	7	17	39	1,74	42,5
Фон 2 + Zn ₅₀ *	98	8	7	16	37	1,84	47,8
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	95	13	9	17	40	1,99	49,4
Фон 2 + Zn ₁₅₀ *	102	9	6	15	37	1,68	45,3

Примечание * – обработка семян г соли на 100 кг

Реальным резервом повышения урожайности является увеличение числа зерен в колосе. Наибольшее количество зерен в главном колосе сформировалось также в лучших вариантах по урожайности Zn_8 и Zn_{100} на фоне $N_{30}P_{60}$ – 40 шт. (фон – 38), хотя в целом этот показатель почти на всех вариантах вошёл в диапазон от 37 до 40 шт. Масса зерна главного колоса изменялась существенно от 1,51 г на фоне $N_{30}P_{60}$ до 1,99 г при применении Zn_{100} . Цинк в значительной мере влияет на формирование репродуктивных органов [90, 140, 174], что объясняет факт значительного его действия на массу зерна в наших экспериментах.

Масса 1000 зерен на фоне N_{30} составила 42,3 г, а $N_{30}P_{60}$ – 43,8 г. Наибольшая масса 1000 зерен получена в самом продуктивном варианте, с применением обработки семян солью цинка в дозе 100 г на 100 кг по фону $N_{30}P_{60}$ – 49,4 г.

В целом, наиболее стабильное положительное действие на показатели структуры урожая наблюдалось при основном внесении 8 кг д.в./га цинковых удобрений и обработкой сульфатом цинка 100 г соли на 1 ц семян.

При изучении влияния опудривания семян солями микроэлементов на структуру урожая (опыт №2) можно сделать вывод, что наиболее благоприятные условия для роста и развития растений складывались в варианте Mn_{100} : количество продуктивных стеблей 10 шт./м², озерненность главного колоса – 40 зерен, масса 1000 зерен – 44,0 г. Высокие показатели структуры хорошо коррелируют с наибольшей урожайностью в эксперименте в этом варианте. На фоне без применения микроудобрений данные показатели составили соответственно 8; 39; 41,8 (таблица 6.5).

В опыте на количество продуктивных стеблей наибольшее влияние оказали марганцевые удобрения в дозе 100 г на 100 кг семян – их количество увеличилось до 10 шт./м². На массу 1000 зерен повлияли лучше всего цинковые и медные удобрения в дозе 100 г, где этот показатель составил 45,1 г.

Таблица 6.5 – Высота растений и структура урожая озимой пшеницы в зависимости от микроудобрений
(среднее 2008-2011 гг.)

Вариант	Высота растений, см	Кустистость		Главный колос			М 1000 зерен, г
		Общая	Продуктивная	Количество колосков	Количество зерен	Масса зерна, г	
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	95	11	8	16	39	1,50	41,8
Фон + Zn ₅₀	97	9	8	17	37	1,34	42,3
Фон + Zn ₁₀₀	99	9	8	16	39	1,61	45,1
Фон + Zn ₁₅₀	96	7	7	17	36	1,62	44,9
Фон + Cu ₅₀	98	8	8	17	38	1,42	42,9
Фон + Cu ₁₀₀	98	7	7	16	37	1,61	45,1
Фон + Cu ₁₅₀	96	7	7	16	35	1,69	41,9
Фон + Mn ₅₀	96	7	7	16	40	1,39	41,9
Фон + Mn ₁₀₀	98	10	10	18	40	1,75	44,0
Фон + Mn ₁₅₀	96	9	9	15	37	1,60	42,8

Высота растений составила 95-102 см в зависимости от варианта, при этом в лучших их них по урожайности растения были несколько выше, чем на фонах. Так, при основном внесении цинка 8 кг д.в./га и при предпосевной обработке солью цинка в дозе 100 г на 100 кг семян на фоне $N_{30}P_{60}$ высота растений составила 98 и 95 см соответственно, а на фоне $N_{30}P_{60}$ – 92 см (таблица 6.4). При опудривании семян солями цинка и марганца в дозе 100, меди – 50 г на 100 кг высота растений озимой пшеницы составила соответственно 99, 98, 98, а на фоне $N_{30}P_{60}K_{60}$ – 95 см (таблица 6.5).

В целом, можно констатировать, что анализ структуры урожая, полученного в экспериментах, свидетельствует о позитивном влиянии микроудобрений на основные показатели, от которых зависит урожайность озимой пшеницы.

7. БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПОД ОЗИМУЮ ПШЕНИЦУ

7.1 Биоэнергетическая эффективность применения удобрений

Для того, чтобы рекомендовать выявленные нами технологии определения доз к внедрению в производство необходимо дать им биоэнергетическое и экономическое обоснование. Расчет проводился по большому числу показателей. Для полной оценки энергетических затрат, связанных с внесением удобрений, нужно учитывать затраты на уборку и доработку дополнительного урожая, полученного за счет их применения [2, 19-21, 36, 94, 143, 176, 184].

В настоящее время разработана методика, позволяющая оценить энергетическую эффективность применения удобрений [78].

Энергетическую эффективность минеральных удобрений определяли по биоэнергетическому КПД их применения. Для ее расчета используют следующие показатели:

– приходная часть – количество энергии, накопленной в надземной массе от применения удобрений:

– расходная часть – энергетические затраты на применение удобрений, на уборку урожая, уход за посевами и т.д.

Количество энергии (V_{f0} , МДж/га), накопленной в основной продукции, полученной от применения удобрений, определяется по формуле (64):

$$V_{f0} = Un \times Ril \cdot 1000, \quad (64)$$

где Un – прибавка урожая зерна от применения удобрений, т/га;

Ri – коэффициент перевода сельскохозяйственной продукции в сухое вещество;

l – содержание общей энергии в 1 кг сухого вещества продукции, Мдж;

1000 – коэффициент перевода т в кг.

Энергетические затраты (A_0 , МДж/га) на применение минеральных удобрений определяют по формуле (65):

$$A_0 = (H_N \cdot a_N) + (H_P \cdot a_P) + (H_K \cdot a_K) + (Y_{II} \cdot a_{уб}) + (H_{ф.в.} \cdot a_{вн}) \quad (65)$$

где H_N, H_P, H_K – фактические дозы внесения удобрений, кг д.в./га;

Y_{II} – прибавка урожая от применения удобрений, ц/га;

$H_{ф.в.}$ – дозы удобрений в физической массе, ц/га;

$a_{уб}, a_{вн}$ – затраты энергии на уборку и внесение удобрений, МДж;

$a_N; a_P; a_K$ – энергозатраты в расчете на 1 кг д.в. удобрений

Расчет энергетической эффективности (биоэнергетического КПД) применения удобрений (η) определяется по формуле (66):

$$\eta = \frac{V_{f_0}}{A_0}, \quad (66)$$

где V_{f_0} – количество энергии, полученной в прибавке продукции от удобрений, МДж/га;

A_0 – энергетические затраты на применение удобрений, МДж.

При анализе энергетической эффективности применяемых удобрений, установлено что на единицу энергетических затрат получено 1,67-8,49 единиц энергии, содержащейся в прибавке урожая от минеральных удобрений (таблицы 7.1 и 7.2).

При основном внесении цинковых удобрений наиболее энергетически эффективно их применение без фосфорных удобрений, так как энергетические затраты при этом относительно невелики при содержании значительной дополнительной энергии в прибавке урожая. Применение цинковых удобрений на фоне P_{60} способствовало увеличению энергетической эффективности – биоКПД составил в варианте $P_{60}Zn_8$ 3,92, а без внесения цинка (вариант P_{60}) – 3,81.

Таблица 7.1 – Биоэнергетическая эффективность основного внесения цинковых удобрений под озимую пшеницу (по фону N₃₀, среднее 2007-2011 гг.)

Вариант	Количество энергии, накопленной в основной продукции (Vf ₀ , МДж/га)	Энергетические затраты на применение минеральных удобрений (A ₀), МДж/га	Энергетические затраты на получение дополнительной продукции за счет удобрений, МДж/т	Биоэнергетический КПД
Zn ₄	9913	1168	1915	8,49
Zn ₈	7963	1106	2257	7,20
P ₆₀	9588	2517	4266	3,81
P ₆₀ + Zn ₄	10888	3325	4962	3,27
P ₆₀ + Zn ₈	14138	3602	4140	3,92

Таблица 7.2 – Влияние опудривания семян микроэлементами на биоэнергетическую эффективность применения макроудобрений под озимую пшеницу (по фону N₃₀, среднее 2007-2011 гг.)

Вариант	Количество энергии, накопленной в основной продукции (Vf ₀ , МДж/га)	Энергетические затраты на применение минеральных удобрений (A ₀), МДж/га	Энергетические затраты на получение дополнительной продукции за счет удобрений, МДж/т	Биоэнергетический КПД
P ₆₀ K ₆₀	5525	3223	9480	1,71
P ₆₀ K ₆₀ + Zn ₅₀	5363	3206	9716	1,67
P ₆₀ K ₆₀ + Zn ₁₀₀	12513	3948	5127	3,17
P ₆₀ K ₆₀ + Cu ₅₀	11863	3880	5315	3,06
P ₆₀ K ₆₀ + Cu ₁₀₀	11700	3863	5366	3,03
P ₆₀ K ₆₀ + Mn ₅₀	6500	3324	8311	1,96
P ₆₀ K ₆₀ + Mn ₁₀₀	14300	4133	4697	3,46

При опудривании семян микроэлементами биоКПД применения фосфорно-калийных удобрений P₆₀K₆₀ изменялся от 1,71 до 3,46. При этом

наивысшей биоэнергетической эффективности удобрения $P_{60}K_{60}$ способствовало применение Mn_{100} (биоКПД 3,46). Таким образом, при помощи микроудобрений можно сделать значительно более энергетически эффективным применение макроудобрений.

Энергетические затраты на получение 1 т дополнительной продукции (зерна) за счет удобрений уменьшаются в более эффективных вариантах с точки зрения энергетической эффективности применения удобрений. Так при применении возрастающих доз цинковых удобрений в основное внесение на фосфорном фоне (P_{60}) энергетические затраты на получение 1 т зерна уменьшились с 4558 до 3806 МДж (рисунок 7.1) при увеличении биоКПД с 3,60 до 4,32.

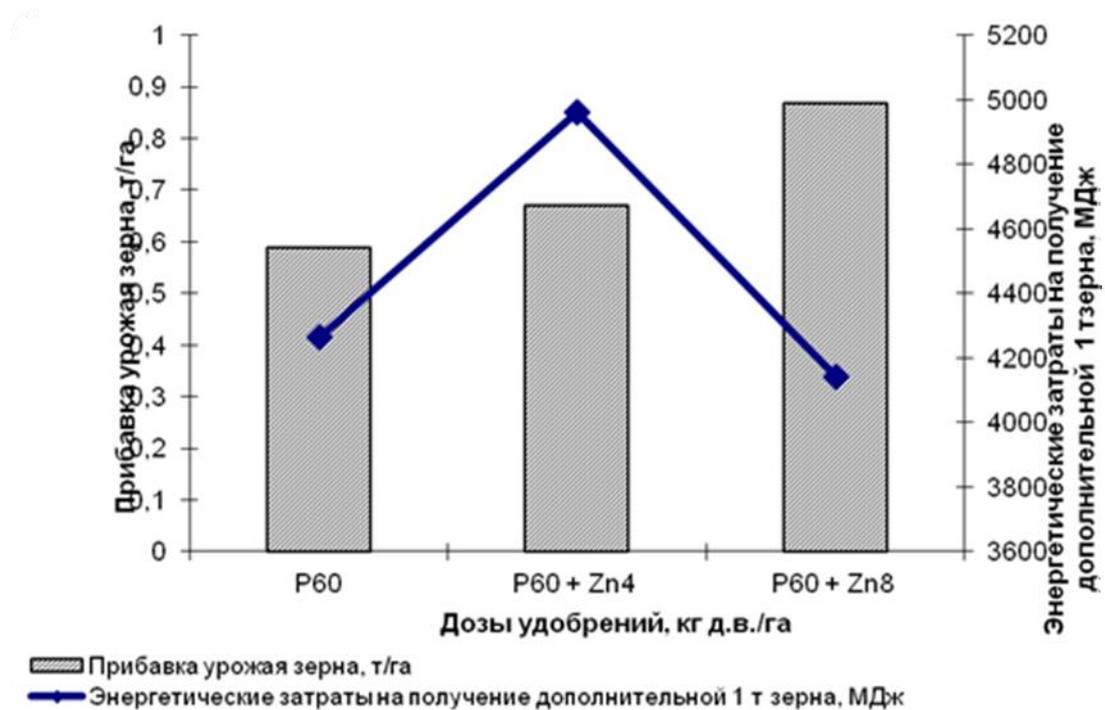


Рисунок 7.1 – Энергетическая эффективность основного внесения цинковых удобрений под озимую пшеницу на фоне N_{30}

Аналогичные закономерности отмечались и при совместном применении макро- и микроудобрений при обработке семян сульфатами. Так, при опудривании возрастающими дозами солей микроэлементов затраты энергии на получение дополнительной тонны зерна на фоне N_{30} уменьшались с 9480

(в варианте $P_{60}K_{60}$) до 5127 МДж ($P_{60}K_{60} + Zn_{100}$, рисунок 7.2), 5315 МДж ($P_{60}K_{60} + Cu_{50}$, рисунок 7.3) и 4697 МДж ($P_{60}K_{60} + Mn_{100}$, рисунок 7.4).

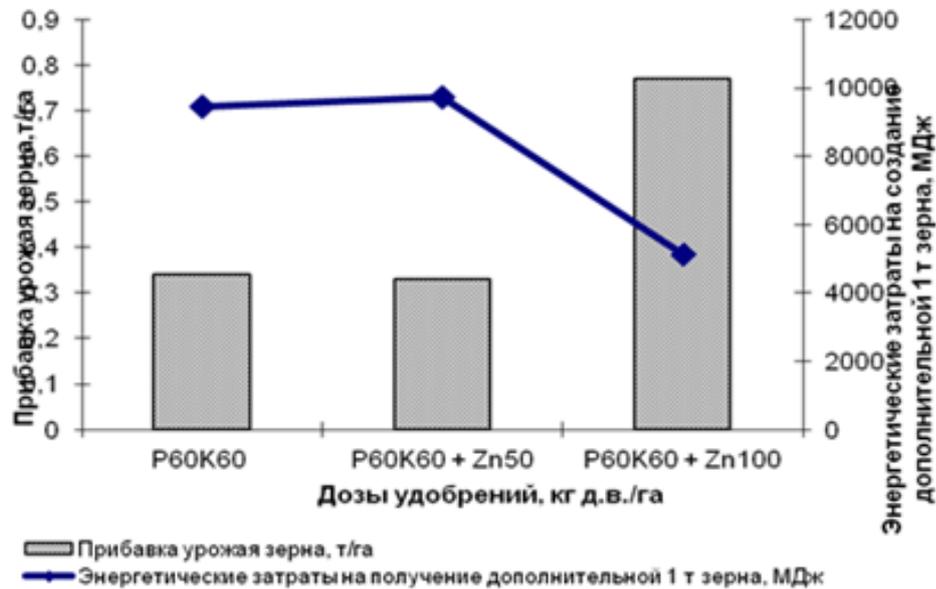


Рисунок 7.2 – Влияние опудривания семян солью цинка на энергетическую эффективность применения макроудобрений под озимую пшеницу на фоне N_{30}

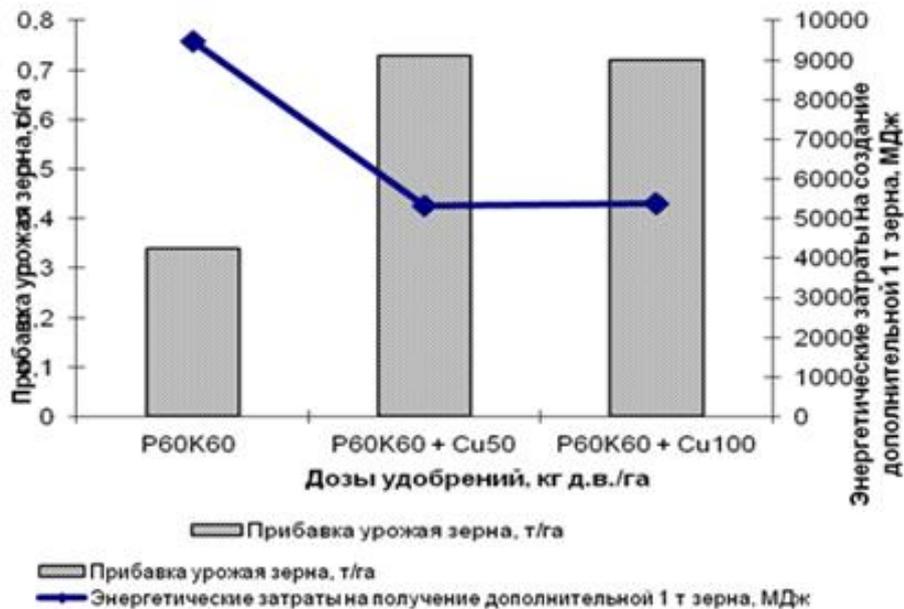


Рисунок 7.3 – Влияние опудривания семян солью меди на энергетическую эффективность применения макроудобрений под озимую пшеницу на фоне N_{30}

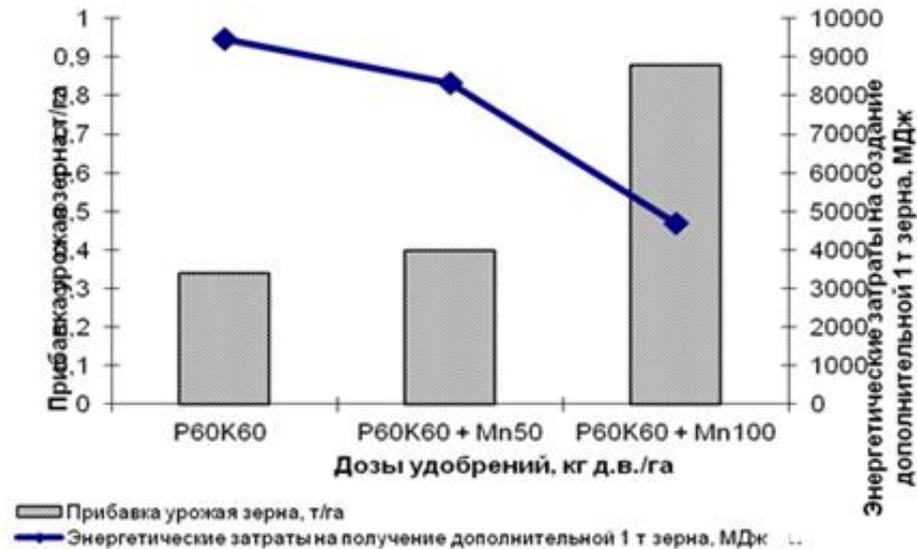


Рисунок 7.4 – Влияние опудривания семян солью марганца на энергетическую эффективность применения макроудобрений под озимую пшеницу на фоне N_{30}

Такая оценка позволяет количественно оценить энергетическую эффективность технологического приема, в данном случае применения минеральных удобрений.

7.2 Экономическая эффективность применения удобрений

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, совершенствованием экономических отношений, развитием разнообразных форм собственности и видов хозяйствования.

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

Понятие экономической эффективности применимо и к деятельности предприятия, и к функционированию всей хозяйственной системы.

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 (в данном случае 2016 г.). Это позволяет выявить целесообразность вложений в полученную прибавку урожая от удобрений [78]. Все основные затраты, связанные с возделыванием озимой пшеницы, уборкой дополнительной продукции от применения минеральных удобрений, транспортировкой, погрузкой – разгрузкой рассчитывали по нормативам затрат, применяемых в ООО «РУСКОМ-Агро» Омской области.

Для расчета экономической эффективности применения удобрений под озимую пшеницу использовались наиболее эффективные варианты с наибольшей урожайностью (таблица 7.3).

В наших экспериментах чистый доход, полученный от применения удобрений, составил 491-1654 руб./га в зависимости от варианта. Рассчитанная рентабельность показала, что применение микроудобрений под озимую пшеницу экономически выгодно. Уровень рентабельности лучших вариантов по урожайности составил 35,1-96,4%. При этом можно отметить, что основное внесение цинка Zn_8 менее рентабельно, чем обработка семян Zn_{100} на фоне $N_{30}P_{60}$ – этот показатель составил соответственно 35,1 и 62,7 %.

Таблица 7.3 – Экономическая эффективность применения микроудобрений под озимую пшеницу (среднее 2007-2011 гг.)

Показатель	Zn ₈	Zn ₁₀₀ *	Zn ₁₀₀ *	Cu ₅₀ *	Mn ₁₀₀ *
	Фон N ₃₀ P ₆₀		Фон N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀		
Прибавка урожая, т/га	0,31	0,27	0,43	0,39	0,54
Затраты, связанные с применением удобрений, руб./ га	1400	1012	1380	1211	1680
Цена реализации, руб./т	6100	6100	6100	6100	6100
Стоимость дополнительной продукции, руб./га	1891	1647	2623	2379	3294
Условный чистый доход, руб./га	491	635	1243	1168	1654
Рентабельность, %	35,1	62,7	90,1	96,4	96,1

Примечание. * – грамм соли микроэлемента на 100 кг

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В 2007-2011 гг. при изучении влияния микроудобрений на урожайность озимой пшеницы сорта Омская 4 на лугово-черноземной почве лесостепи Западной Сибири установлено, основное внесение цинковых удобрений и опудривание семян одинаково эффективны: максимальная урожайность соответственно 3,52 и 3,48 т/га получена при основном внесении дозы цинка 8 кг д.в./га и при предпосевной обработке солью цинка в дозе 100 г на 100 кг семян, урожайность зерна на фоне $N_{30}P_{60}$ составила 3,21 т/га. 1 кг д.в. цинка в основное внесение давал дополнительно 38 кг зерна.

2. Установлены количественные характеристики (« b_1 » – 0,038, т/га) интенсивности действия 1 кг д.в. удобрений на урожайность зерна и на основе этого предложены формулы для прогнозирования прибавок урожая и доз основного внесения цинка ($D = \Pi / b_1$) и расчета доз цинковых удобрений на основе полевого опыта с учетом содержания цинка в почве ($D_{Zn} = \frac{4,3}{Zn_{мг/кг}}$).

3. Определено оптимальное содержание подвижного цинка в почве в фазу весеннего кущения – 2,0 мг/кг. Выявлен нормативный показатель интенсивности действия 1 кг д.в./га цинковых удобрений на содержание подвижного цинка (« b_2 » = 0,167) мг/кг, что позволяет сделать прогноз накопления цинка в почве (мг/кг) по формуле $C = C_1 + D \cdot b_2$. и определить дозу удобрений с учетом оптимального и фактического содержания цинка в почве: $D = (Zn_0 - Zn_{ф}) \cdot 6$.

4. При опудривании семенного материала наиболее эффективно применение цинка и марганца в дозе 100 г на 100 кг – от цинка получена прибавка урожая зерна 0,44 т/га или 14,6% к фону, марганца – 0,54 т/га или 18,1 %; меди – в дозе 50 г на 100 кг – соответственно 0,39 т/га и 13,1%.

5. Метод расчета доз на основе оптимальных уровней (дозы Zn 3,4 и 3,6 кг д.в./га) более эффективен, чем на основе полевого опыта (11,3): увеличе-

ние урожайности составило 0,60, 0,49 и 0,40 т/га соответственно при урожайности на фоне $N_{30}P_{60}$ 2,61 т/га.

6. Определены оптимальные уровни содержания азота, фосфора, калия, цинка, меди и марганца в растениях по фазам развития как физиологические характеристики сбалансированного, оптимального питания растений (табл. 5.7 и 5.8). Получены нормативные параметры расчета доз удобрений для применения в период вегетации по формуле $D = K_p \cdot H$.

7. Применение цинковых удобрений под озимую пшеницу способствует формированию качественной продукции. Выявленные зависимости между цинком почвы и удобрений и содержанием цинка и белка в зерне (уравнения 58-63) позволяют прогнозировать качество урожая.

8. Определены агрохимические нормативы при возделывании озимой пшеницы: коэффициенты использования (%) элементов из почвы (N – 68; P_2O_5 – 18, K_2O – 10, Zn – 3,0; Cu – 2,5; Mn – 0,15) и удобрений (P_2O_5 – 16; Zn – 0,33); нормы потребления макроэлементов (кг/т) N – 35, P_2O_5 – 19, K_2O – 20; микроэлементов (г/т) Zn – 24, Cu – 3,3, Mn – 100; азот текущей нитрификации (N_T) – 90 кг/га.

9. Применение микроудобрений в виде предпосевной обработки семян опудриванием и в основное внесение цинка энергетически эффективно. Биоэнергетический КПД при основном внесении Zn_8 на фоне $N_{30}P_{60}$, при обработке семян Zn_{100} , Cu_{50} , Mn_{100} на фоне $N_{30}P_{60}K_{60}$ составил 3,92; 3,17; 3,06 и 3,46 ед. соответственно.

10. Внесение микроэлементов под озимую пшеницу является экономически эффективным. Условный чистый доход составил 491-1654 руб./га, рентабельность – 35,1-96,4%.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Для получения максимального урожая высокого качества зерна озимой пшеницы на лугово-черноземной почве микроудобрения (цинковые, медные, марганцевые) следует применять согласно нормативам интеграционной системы почвенно-растительной оперативной диагностики («ИСПРОД»):

– оптимальное содержание подвижного Zn в почве (слой 0-30 см) – 2,0 мг/кг;

– коэффициенты использования элементов питания из почвы (КИП, %):

N – 68; P₂O₅ – 18, K₂O – 10, Zn – 3,0; Cu – 2,5; Mn – 0,15;

– удобрений (КИУ, %): P₂O₅ – 16; Zn – 0,33;

– нормы потребления макроэлементов, кг/т:

N – 35; P₂O₅ – 19; K₂O – 20;

– нормы потребления микроэлементов, г/т:

Zn – 24, Cu – 3,3, Mn – 100;

– оптимальные уровни содержания и соотношения элементов питания в растениях (табл. 5.7 и 5.8);

– дозы применения солей микроэлементов способом опудривания при недостатке микроэлемента в почве, г на 100 кг семян:

Zn – 100, Cu – 50, Mn – 100;

– формулы расчета доз цинковых удобрений:

а) основное удобрение: $D = (Zn_o - Zn_{\phi}) \cdot 6$, кг/га;

б) для коррекции питания в период вегетации: $D = K_{п} \cdot H$, г/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абазян С.П. Эффективность микроэлементов под озимую пшеницу в условиях Арташатского, Абовянского и Разданского районов Армянской ССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / С.П. Абазян. – Ереван, 1972. – 28 с.
2. Абрамов Н.В. Производительность агроэкосистем: методические рекомендации, по биоэнергетической оценке, севооборотов / Н.В. Абрамов, Г.П. Селюкова. – Тюмень, 2000. – 48 с.
3. 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.
4. 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.
5. Азаренко Ю.А. Эколого-агрохимическая оценка содержания микроэлементов в почвах и растениях лесостепной и степной зон Омской области / Ю.А. Азаренко, В.М. Красницкий, Ю.И. Ермохин // Плодородие. – 2010. – № 5(56). – С.49-51.
6. Анализ почв, растений и проблема применения удобрений в Западной Сибири: монография / Ю.И. Ермохин [и др.]; Под общей редакцией Ю.И. Ермохина, И.А. Бобренко. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2002. – 407 с.
7. Андриенко Л.Н. Диагностика потребности корнеплодов в цинке, никеле, кадмии на лугово-черноземной почве Омского Прииртышья: дис. ... канд. с.-х. наук / Л.Н. Андриенко. – Омск, 2006. – 182 с.
8. Анспок П.И. Микроудобрения: справочник / П.И. Анспок. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Агрохимиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 272 с.
9. 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.

10. 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.
11. Афендулов К.П. Удобрения под планируемый урожай / К.П. Афендулов, Л.И. Лантухова. – М.: Колос, 1973. – 253 с.
12. Аштаб И.В. Взаимодействие цинка с другими элементами как показатель его экологической активности / И.В. Аштаб // Агрохимия. – 1994. – № 11. – С.116-128.
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. Барбер С.А. Биологическая доступность питательных веществ в почве / С.А. Барбер. – М.: Агропромиздат, 1988. – 376 с.
15. Бахнов В.К. К биогеохимии меди и марганца в ландшафтах юга Западной Сибири / В.К. Бахнов, А.А. Трейман // Генетические особенности почв Обь-Иртышского междуречья и Горного Алтая. – Новосибирск: Наука, 1966. – С. 17-31.
16. Биогеохимические основы экологического нормирования / В.Н. Башкин [и др.]. – М.: Наука, 1993. – 304 с.
17. Битюцкий Н.П. Необходимые микроэлементы растений / Н.П. Битюцкий. – СПб.: Изд-во ДЕАН, 2005. – 256 с.
18. Бобко Е.В. Избранные сочинения / Е.В. Бобко. – М.: Изд-во с.-х. литературы, журналов и плакатов, 1963. – 360 с.
19. 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.

20. 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.

21. 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.

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. 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.

26. 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.

27. 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-летнему юбилею Омского ГАУ (21 февраля 2018 г.). – Омск: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2018. – С. 58-61.

28. 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.

29. 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.

30. Болдырев Н.К. Анализ листьев как метод определения потребности растений в удобрениях: учеб. пособие / Н.К. Болдырев. – Омск: ОмСХИ, 1970. – 125 с.

31. 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.

32. Болдырев Н.К. Планирование урожая по данным полевых опытов / Н.К. Болдырев, Г.С. Липкина, Л.С. Могиндовид. – М, 1979. – 52 с.

33. Болдышева Е.П. Оптимизация применения цинковых удобрений при возделывании озимой ржи на лугово-чернозёмной почве / Е.П. Болдышева, И.А. Бобренко // Материалы III международной научно-практической конференции «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия (Россия, г. Новосибирск, 15-16 августа, 2014 г.): ежемесячный научный журнал. – 2014. – №3 (часть 6). – С. 104-106.

34. 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.

35. 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.

36. Булаткин Г.А. Сравнительная энергетическая эффективность возделывания многолетних трав и кукурузы на силос на серых лесных почвах / Г.А. Булаткин // Доклады ВАСХНИЛ. – 1985. – №10. – С. 18-14.

37. Вернадский В.И. Избранные сочинения / В.И. Вернадский. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – Т.1. – 696 с.

38. Вильдфлуш И.Р. Эффективность применения КАС с микроэлементами при возделывании озимой пшеницы / И.Р. Вильдфлуш, Э.М. Батыршаев // Агрохимический вестник. – 2008. – №1. – С. 13-14.

39. Вильдфлуш Р.Т. Особенности питания и урожай овса при разбросном и ленточном внесении удобрений / Р.Т. Вильдфлуш, А.Н. Минич // Сб. науч. тр. / Бел. с.- х. акад. – Горки, 1974. – Т.74. – С.21-36.

40. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1957. – 238 с.

41. 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.

42. Власюк А.П. Физиологическое значение марганца для роста и развития растений / А.П. Власюк, З.М. Климовицкая. – М.: Колос, 1969. – 162 с.

43. Власюк П.А. Биологические элементы в жизнедеятельности растений: Монография / П.А. Власюк. – Киев: Наукова думка, 1969. – 516 с.

44. 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.

45. 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.
46. 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.
47. 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.
48. Гайсин И.А. Микроудобрения в современном земледелии / И.А. Гайсин, Р.Н. Сагитова, Р.Р. Хабибуллин // Агрехимический вестник. – 2010. – №4. – С. 13-15.
49. 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.
50. Гайсин И.А. Хелатные микроудобрения: практика применения и механизм действия: монография / И.А. Гайсин, В.М. Пахомова. – Казанский ГАУ. – Йошкар-Ола, 2014. – 344 с.
51. Гамзиков Г.П. Агрехимия азота в агроценозах: монография / Г.П. Гамзиков. – Новосибирск: РАСХН, Сиб. отд-ние, 2013. – 790 с.
52. Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири / Г.П. Гамзиков. – М.: Наука, 1981. – 267 с.
53. 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.
54. 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.

55. Горынин Л.В. Озимая пшеница / Л.В. Горынин. – Москва, 1979. – 160 с.
56. 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.
57. Губанов А.Я. Озимая пшеница / А.Я. Губанов, Н.Н. Иванов. – Москва, 1988. – 303 с.
58. 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(5). – С. 1-11.
59. Действие микроудобрений на урожайность, сбор белка, качество продукции зерновых и зернобобовых культур / Аристархов А.Н. [и др.] // Агрохимия. – 2010. – №9. – С. 36-42.
60. Державин Л.М. Современные методы определения доз минеральных удобрений / Л.М. Державин, Ш.И. Литвак, Е.В. Седова. – М., 1988. – 44 с.
61. Диагностика и классификация почв Омской области и их сельскохозяйственное использование / Я.Р. Рейнгард [и др.]. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2000. – 67 с.
62. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – 5-е изд. доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
63. 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.
64. Ермолаев О.Т. Оптимизация фосфатного режима при возделывании зерновых в засушливых условиях: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / О.Т. Ермолаев. – Минск, 1990. – 38 с.

65. 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.
66. Ермохин Ю.И. Взаимосвязи в питании растений: монография / Ю.И. Ермохин, А. В. Синдирева. – Омск: Вариант-Омск, 2011. – 208 с.
67. Ермохин Ю.И. Определение потребности растений в удобрениях на планируемый урожай: рекомендации / Ю.И. Ермохин, А.Е. Кочергин. – Омск: ОмСХИ, 1983. – 43 с.
68. Ермохин Ю.И. Оптимизация минерального питания и качества урожая картофеля и овощных культур: дис. ... д-ра с.-х. наук. – Омск, 1983. – 437 с.
69. 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.
70. Ермохин Ю.И. Оптимизация минерального питания сорговых культур: монография / Ю.И. Ермохин, И.А. Бобренко.– Омск: Изд-во ОмГАУ, 2000. – 118 с.
71. 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.
72. 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.
73. 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.

74. Ермохин Ю. И. Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений: монография / Ю. И. Ермохин. – Омск: Литера, 2014. – Т. 1: Плодородие почв и эффективность удобрений. – 304 с.

75. Ермохин Ю. И. Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений: монография / Ю. И. Ермохин. – Омск: Литера, 2014. – Т. 2: Моделирование и оптимизация режима минерального питания и качества зерновых и овощных культур в условиях Западной Сибири и Северного Казахстана. – 340 с.

76. Ермохин Ю. И. Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений: монография / Ю. И. Ермохин. – Омск: Литера, 2014. – Т. 3: Диагностика микроэлементного состояния почв и обеспеченности культурных растений в агроценозе. – 336 с.

77. Ермохин Ю. И. Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений: монография / Ю. И. Ермохин. – Омск: Литера, 2014. – Т. 4: Моделирование и оптимизация режима минерального питания кормовых и лекарственных культур в условиях Западной Сибири и Северного Казахстана: в 2 ч. – 210 с.

78. Ермохин Ю.И. Экономическая и биоэнергетическая оценка применения удобрений: методические рекомендации / Ю.И. Ермохин, А.Ф. Неклюдов. – Омск, 1994. – 44 с.

79. Есаулко А.Н. Влияние микроудобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на черноземе выщелоченном / А.Н. Есаулко, Ю.И. Гречишкина, А.Ю. Олейников // Агрехимический вестник. – 2011. – № 4. – С. 10-12.

80. 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.

81. 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.

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

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

84. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство / А.А. Жученко. – Кишинев, 1990. – 432 с.

85. 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.

86. 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.

87. 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.

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

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

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

91. Каталымов М.В. Микроэлементы и микроудобрения / М.В. Каталымов. – М.-Л.: Химия, 1965. – 329 с.

92. Кашин В.К. Особенности накопления микроэлементов в зерне пшеницы в Западном Забайкалье / В.К. Кашин, Л.Л. Убугунов // Агрохимия. – 2012. – № 4. – С. 68-76.
93. Кидин В.В. Особенности питания и удобрения сельскохозяйственных культур: учеб. пособие / В.В. Кидин. – М.: Изд-во РГАУ – МСХА им. Тимирязева, 2009. – 412 с.
94. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. – М.: Колос, 1996. – 367 с.
95. Климат Омска. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 246 с.
96. Ковальский В.В. Геохимическая экология / В.В. Ковальский. – М.: Наука, 1974. – 300 с.
97. Ковырялов Ю.П. Интенсивные технологии производства пшеницы / Ю.П. Ковырялов. – Москва, 1986. – 126 с.
98. Коларжик И. Анализ растений как метод изучения правильного питания растений / И. Коларжик // За социалистическую науку. – 1959. – №6. – С. 615-641.
99. Коровин А.И. Растения и экстремальные температуры / А.И. Коровин. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 272 с.
100. Кочергин А.Е. Диагностика потребности сельскохозяйственных культур в азотных удобрениях на чернозёмах Западной Сибири // Химия в сельском хозяйстве. – 1974. – № 2. – С. 9-11.
101. Кочергин А.Е. Озимая пшеница в Западной Сибири / А.Е. Кочергин, Е.Г. Мухордов // Сибирский вестник с.-х. науки. – 1985. – № 3. – С. 17-21.
102. 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.
103. Красницкий В.М. Агрохимическая и экологическая характеристики почв Западной Сибири: монография / В.М. Красницкий. – Омск: ОмГАУ, 2002. – 144 с.

104. Красницкий В.М. Агрохимическая характеристика и плодородие почв Омской области / В.М. Красницкий. – Омск, 1999. – 51 с.
105. Красницкий В.М. Агроэкотоксикологическая оценка агроценозов: Монография / В.М. Красницкий. – Омск: ОмГАУ, 2001. – 68 с.
106. 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.
107. 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.
108. Кук Д.У. Система удобрения для получения максимальных урожаев / Д.У. Кук. – М.: Колос, 1975. – 415 с.
109. Кушниренко Ю.Д. Оценка методов определения доз удобрений для разнотипных сортов пшеницы / Ю.Д. Кушниренко, С.Ф. Слепец // Вопросы химизации земледелия Зауралья. – Челябинск, 1975. – Вып. 2. – С. 53.
110. Лабораторно-практические занятия по почвоведению: учебное пособие / М.В. Новицкий, И.Н. Донских, Д.В. Чернов [и др.]. – СПб.: Проспект Науки, 2009. – 320 с.
111. 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.
112. 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.
113. Лихоманова Л.М. Диагностика минерального питания, эффективности применения удобрений и качества корнеплодов столовой свеклы: дис. ... канд. с.-х. наук / Л.М. Лихоманова. – Омск, 1986. – 214 с.
114. 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.

115. Лукин С.В. Закономерности накопления цинка в сельскохозяйственных растениях / С.В. Лукин, И.Е. Солдат, Е.А. Пендюрин // *Агрохимия*. – 1999. – № 2. – С.79-82.
116. Лукин С.В. Цинк в агроландшафтах Белгородской области / С.В. Лукин, П.М. Авраменко // *Агрохимический вестник*. – 2005. – №5. – С. 4-5.
117. Магницкий К.П. Взаимосвязи в питании растений / К.П. Магницкий // *Агрохимия*. – 1967. – №10. – С. 32-46.
118. Магницкий К.П. Диагностика потребности растений в удобрениях / К.П. Магницкий. – М.: Московский рабочий, 1972. – 271 с.
119. 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.
120. Микроэлементы в растениеводстве Сибири и Дальнего Востока / В.Е. Шевчук [и др.]. – Иркутск: Восточно-Сибирское кн. изд-во, 1974. – 212 с.
121. Микроэлементы в сельском хозяйстве / С.Ю. Булыгин [и др.]. – Днепропетровск: «Січ», 2007. – 100 с.
122. Минеев В.Г. Цинк в окружающей среде / В.Г. Минеев, А.А. Алексеев, Т.А. Тришина // *Агрохимия*. – 1984. – №3. – С.94-103.
123. Михайлов Н.Н. Определение потребности растений в удобрениях / Н.Н. Михайлов, В.П. Книпер. – М.: Колос, 1971. – 256 с.
124. Михальская Н.В. Диагностика минерального питания, величины и качества урожая сена костреца безостого на лугово-черноземной почве Западной Сибири: дис. канд. с.-х. наук. – Омск, 2003. – 156 с.
125. Мишин П.Я. Динамика содержания меди и цинка в яровой пшенице по фазам развития / П.Я. Мишин // *Агрохимия*. – 1967. – №2. – С.62-66.
126. Мищенко Л.Н. Почвы Омской области и их сельскохозяйственное использование: учеб. пособие / Л.Н. Мищенко, В.М. Прудникова. – Омск, 1986. – 108 с.

127. Мокриевич Г.Л. Цинковые удобрения / Г.Л. Мокриевич, З.И. Шлавицкая. – Алма-Ата: Кайнар, 1972. – 140 с.
128. Мосолов И.Ф. Физиологические основы применения удобрений / И.Ф. Мосолов. – М.: Наука, 1979. – 225 с.
129. Мотузова Г.В. Зависимость подвижности цинка от химических свойств почв / Г.В. Мотузова, А.А. Попова // Агрохимия. – 1989. – №8. – С. 81-83.
130. Мощенко Ю.Б. Возделывание озимой пшеницы в Омской области / Ю.Б. Мощенко. – Омск, 1993. – 8 с.
131. Мязин Н.Г. Влияние длительного применения удобрений на накопление микроэлементов в черноземе типичном / Н.Г. Мязин // Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах. – М., 1994. – С.187-193.
132. Никитин Ю.А. Интенсивная технология производства озимой пшеницы / Ю.А. Никитин, П.Н. Бурченко, К.С. Орманджи. – М.: Россельхозиздат, 1988. – 303 с.
133. Овчаренко М.М. Тяжелые металлы в системе почва – растение – удобрение: автореф. ... д-ра с.-х. наук / М.М. Овчаренко. – М., 2000. – 56 с.
134. Олейников А. Ю. Влияние микроудобрений на показатели качества зерна озимой пшеницы на черноземе выщелоченном / А.Ю. Олейников, А.Н. Есаулко, Е.А. Устименко // Современные ресурсосберегающие инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Северо-Кавказском федеральном округе: материалы 75-й научно-практической конференции (г. Ставрополь, 22–30 марта 2011 года). – Ставрополь: Параграф, 2011. – С. 69-72.
135. Олейников А. Ю. Эффективность микроудобрений в посевах озимой пшеницы в зоне неустойчивого увлажнения в зависимости от погодных условий / А.Ю. Олейников, А.Н. Есаулко, Е.А. Устименко // Современные ресурсосберегающие инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Северо-Кавказском федеральном округе: материалы

75-й научно-практической конференции (г. Ставрополь, 22-30 марта 2011 г.). – Ставрополь: Параграф, 2011. – С. 66-69.

136. 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.

137. 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.

138. Орлова Э.Д. Влияние разных доз меди и марганца на поступление их в растения и урожай томатов / Э.Д. Орлова // Агрохимия. – 1975. – № 5. – С. 93-99.

139. Орлова Э.Д. Влияние разных доз молибдена и бора на поступление их в растения и урожай томатов / Э.Д. Орлова // Агрохимия. – 1978. – №1. – С. 119-123.

140. 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.

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

142. 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.

143. Оценка энергетической эффективности технологий возделывания озимой пшеницы в шести ротациях севооборота многолетнего стационара // Н.И. Цимбалист [и др.] / Агрохимия. – 2007. – №7. – С.49-63.

144. Павлюк Н.Т. Селекционно-генетические основы повышения урожайности и качества зерна озимой пшеницы и тритикале в Центрально-Черноземной зоне / Н.Т. Павлюк, В.Е. Шевченко. – Воронеж, 1988. – 192 с.

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

146. Парибок Т.А. Влияние цинка на поглощение и использование фосфора растениями / Т.А. Парибок, А.В. Алексеева-Попова // Физиология растений. – 1965. – Т.12. – вып. 4. – С.591-596.

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

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

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

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

151. Попова В.И. Биоэнергетическая эффективность применения удобрений под озимые зерновые культуры в Западной Сибири / В.И. Попова, Е.П. Болдышева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – т. 84. – №10. – С. 10-15.

152. 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.

153. Попова В.И. Нормативные показатели для определения потребности озимой пшеницы в элементах минерального питания / В.И. Попова, Н.В.

Гоман // I региональная (заочная) научно-практическая конференция молодых ученых и обучающихся «Проблемы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов», посвященная 100-летию Омского государственного аграрного университета (6 декабря 2017 г.). – Омск: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2018. – С. 357-362.

154. 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.

155. Попова В.И. Эффективность применения цинковых удобрений под озимую пшеницу на лугово-черноземной почве / В.И. Попова, Н.В. Гоман // Международная научно-практическая конференция «Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения – 2017)». – Омск: ЛИТЕРА, 2017. – С. 229-232.

156. Попова Э. П. Биохимическая активность и азотный режим почв Красноярской лесостепи: монография / Э.П. Попова, Я.И. Лубите. – Красноярск, 1975. – 271 с.

157. Почвенная диагностика минерального питания растений овощных культур и картофеля / Ю.И. Ермохин, И.А. Бобренко, Л.М. Лихоманова, Н.К. Трубина, Е.Г. Бобренко // Состояние и перспективы развития садоводства в Сибири: материалы II Национальной науч.-практич. конф. посвящ. 85-летию плодового сада Омского ГАУ имени профессора А.Д. Кизюрина (7-9 декабря 2016 г.), 2016. – С. 39-47.

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

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

160. Применение макро- и микроудобрений в современных технологиях возделывания зерновых культур / Н.В. Войтович [и др.]. – М.: ЦИНАО, 2003. – 92 с.
161. Пруцков Ф.М. Озимая пшеница / Ф.М. Пруцков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., Колос, 1976. – 352 с.
162. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения / Д.Н. Прянишников. – М.: Сельхозиздат, 1963. – Т. 3. – 647 с.
163. Рейли К. Металлические загрязнения пищевых продуктов / К. Рейли. – М.: Агропромиздат, 1985. – 184 с.
164. Ринькис Г.Я. Оптимизация минерального питания растений / Г.Я. Ринькис. – Рига: Зинанте, 1972. – 355 с.
165. Ринькис Г.Я. Сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами / Г.Я. Ринькис, Ф.В. Ноллендорф. – Рига, 1982. – 202 с.
166. Рудакова Э.В. Связь цинка и марганца с белками в листьях сахарной свеклы // Микроэлементы в жизни растений, животных и человека. – Киев, 1964. – С. 53-61.
167. Рутц Р.И. Научные основы и практические результаты селекции яровой пшеницы озимых мятликовых культур в Западной Сибири / Р.И. Рутц. – РАСХН. Сиб. отд-ние. СибНИИСХ. – Новосибирск, 2005. – 624 с.
168. Рутц Р.И. Расширение озимого клина – важный резерв увеличения производства зерна в Омской области / Р.И. Рутц // Материалы науч.-практ. конф. – Омск, 1989. – С. 189-200.
169. Сабинин Д.А. Избранные труды по минеральному питанию растений / Д.А. Сабинин. – М.: Наука, 1971. – 512 с.
170. Савицкая О.А. Влияние предпосевной обработки семян микроэлементами на урожай и качество овощных культур // Сб. «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». – М., 1963. – 143 с.
171. 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.

172. Саранин К.И. Озимая пшеница / К.И. Саранин. – М.: Московский рабочий, 1973. – 150 с.

173. Синдирёва А.В. Агроэкологическая оценка действия кадмия, никеля, цинка в системе почва-растение-животное: дис. ... канд. с.-х. наук / А.В. Синдирева. – Омск, 2001. – 199 с.

174. Синдирева А.В. Критерии и параметры действия микроэлементов в системе почва-растение-животное: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / А.В. Синдирева. – Тюмень, 2012. – 32 с.

175. Синягин И.И. Применение удобрений в Сибири / И.И. Синягин, Н.Я. Кузнецов. – М.: Колос, 1979. – 373 с.

176. Сисо А.В. Биоэнергетическая оценка различных агроприемов возделывания озимой пшеницы, сахарной свеклы и сои в орошаемом травяно-зернопропашном севообороте / А.В. Сисо, А.В. Югов, В.Н. Герасименко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2007. – №4(28). – С. 43-51.

177. 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.

178. Склярова М.А. Диагностика и оптимизация цинкового питания кукурузы на лугово-черноземной почве Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / М.А. Склярова. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2008. – 16 с.

179. 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.

180. Скудаева Е.А. Влияние никеля и фосфора на урожайность и качество суданской травы на лугово-черноземной почве Западной Сибири: дис. ... канд. с.-х. наук / Е.А. Скудаева. – Омск, 2004. – 169 с.

181. 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.

182. Содержание микроэлементов и железа в почвах и растениях бассейна озера Котокельское (Западное Забайкалье) / С.Б. Сосорова, А.Б. Гынинова, М.Г. Меркушева, Л.Л. Убугунов, Л.Н. Болонева // Почвоведение. – 2012. – № 4. – С. 429-438.

183. Созинов А.А. Улучшение качества зерна озимой пшеницы и кукурузы / А.А. Созинов, Г.П. Жешена. – М.: Колос, 1983. – 270 с.

184. Созинов А.А. Энергетическая цена индустриализации агросферы / А.А. Созинов, Ю.Ф. Новиков // Природа. – 1985. – № 5. – С. 11-19.

185. Соколов А.В. Химический анализ почвы и применения удобрений / А.В. Соколов // Журн. Всесоюз. хим. о-ва, 1965. – Т. 10. – № 4. – С. 375-381.

186. Сорта сельскохозяйственных культур селекции ФГБНУ СибНИИСХ / Отв. ред. И.Ф. Храмцов. – Омск: ЛИТЕРА, 2016. – 169 с.

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

188. 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.

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

190. 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.

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

192. 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.

193. 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.

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

195. Трубина Н.К. Диагностика условий минерального питания лука репчатого: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Н.К. Трубина. – Омск: ОмСХИ. – 1993. – 16 с.

196. Угаров А.Н. Опыт исследования аммиачной воды в Иркутской области. – Иркутск, 1961. –132 с.

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

198. Филин В.И. Агрохимические основы управления качеством зерна озимой пшеницы / В.И. Филин // *Научный вестник: Волгоград*. – 1999. – № 1.– С. 197-204.

199. Филин В.И. Влияние удобрений и нормы посева на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в степной зоне Волгоградской области / В.И. Филин, А.Г. Кузин // *Научный журнал КубГАУ: политематический сетевой электронный науч. журн.* – 2007. – № 29 (5). – С. 1-9.

200. Храмцов И.Ф. Система применения удобрений и воспроизводства плодородия почв в полевых севооборотах лесостепи Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / И.Ф. Храмцов. – Омск, 1997. – 32 с.

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

202. 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.

203. Чернавина И.А. Физиология и биохимия микроэлементов / И.А. Чернавина. – М.: Высшая школа, 1970. – 310 с.

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

205. 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.

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

207. Шепелев В.В. Эколого-агрохимическая оценка почв и растений при длительном применении удобрений: дис. ... канд. с.-х. наук / В.В. Шепелев. – Омск, 1999. – 169 с.

208. 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.

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

210. Шубин О.А. Оптимизация минерального питания и моделирование продуктивности озимой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири: дис. ... канд. с.-х. наук / О.А. Шубин. – Омск, 2008. – 222 с.

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

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

213. Эффективность микроудобрений Микромак и Микроэл в посевах озимой пшеницы на черноземе, выщелоченном / А.Н. Есаулко [и др.] // Плодородие. – 2010. – № 1. – С. 24-26.
214. 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.
215. 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.
216. 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.
217. Ягодин Б.А. Агрохимия: учебник для вузов / Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков, В.И. Кобзаренко. – М.: Колос, 2002. – 584 с.
218. Ягодин Б.А. Проблемы микроэлементов в биологии / Б.А. Ягодин, Е.Н. Максимова, С.М. Саблина // Агрохимия. – 1988. – № 7. – С. 126-134.
219. 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.
220. 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.
221. Boyton D., Compton O. Leaf analysis in estimating the potassium, magnesium and nitrogen needs of fruit trees // Soil Science. – 1945. – 59. – P. 339-351.
222. Chapman H.D. Foliar sampling for determining the nutrient status of crops // World crops. – 1964. – №9. – P. 34-36.
223. 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.

224. 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.

225. Kuo S., Mikkelson D.S. Effect of P and Mn on growth response and uptake of Fe, Mn and P by sorghum // Plant Soil. – 1981. – V.62. – P. 15-22.

226. Lundegardh H. Leaf analysis. – London, 1951. – 124 p.

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

228. Nicholas D.J.D. Experiments on correcting magnesium deficiency in glasshouse tomatoes // J. Hort. science, 1948. – 24. – P. 1-18.

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

230. 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.

231. 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.

232. 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.

233. Smith P.F., Specht A.W. Heavy-metal nutrition and iron chlorosis of citrus seedlings // Plant Physiol. – 1953. – 28. – P.371-382.

234. Steckel J.E. Manganese fertilization of soybeans in Indiana // Soil Sci. Soc. Am. Proc. – 1946. – 11. – P. 345-348.

235. 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.

236. 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.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А – Метеорологические условия в годы проведения
исследований (2007-2011 гг.)

Месяц	Температура, °С				Осадки, мм			
	I	II	III	сред. за ме- сяц	I	II	III	∑ за месяц
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2007-2008 гг.								
Август	18,6	13,4	19,1	17,1	51	16	6	73
Сентябрь	16,7	12,5	8,3	12,8	2	20	3	25
Октябрь	6,2	6,8	1,9	4,8	4	2	8	14
Ноябрь	-2,6	-6,7	-8	-5,8	12	2	6	20
Декабрь	-11,7	-10,7	-14,9	-12,5	5	4	11	20
Январь	-16,1	-23,5	-20,3	-20	5	2	2	9
Февраль	-15,3	-16,2	-5,8	-12,9	2	4	20	26
Март	-5,1	-7,7	2,9	-2,5	8	6	4	18
Апрель	2,3	3,6	7,8	4,6	5	0,2	12	17
Май	9,5	16,4	13,2	13	3	2	20	25
Июнь	14,3	18,1	20,3	17,6	27	5	2	34
Июль	19,5	23,4	22,3	21,8	31	18	6	55
2008-2009 гг.								
Август	17	17	15,4	16,4	5	14	19	38
Сентябрь	12,6	7	6	8,5	39	12	0,4	51
Октябрь	9,8	3	2,6	5,1	0,1	19	0	20
Ноябрь	1	-1	0	0,6	25	11	0,2	36
Декабрь	-6,4	-14,2	-18,3	-13	6	0,8	0,3	7
Январь	-14,1	-17	-19,7	-17	16	7	29	52
Февраль	-20,1	-20,4	-17,9	-19,4	12	7	0	19
Март	-10,5	-6,1	0,1	-5,3	0,5	3	1	5
Апрель	3,9	2,5	8	4,8	8	11	8	27
Май	10	15,4	12,2	12,5	10	9	18	37
Июнь	20	15,9	14,2	16,7	0	35	25	60
Июль	19,5	18,5	16,6	18,2	20	48	95	163
2009-2010 гг.								
Август	16,8	15,1	17,7	16,5	104	13	27	144
Сентябрь	11,2	10,7	10,2	10,7	28	11	6	45
Октябрь	8,9	6,2	-2,4	4	4	8	8	20
Ноябрь	-6,6	-8	-2,7	-5,8	6	4	9	19
Декабрь	-13,3	-18,8	-20,9	-17,8	16	6	5	27
Январь	-27,2	-24,8	-20,8	-24,9	2	9	0,4	11

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Февраль	-25,2	-16,4	-23,6	-21,8	2	5	9	16
Март	-12,1	-7,1	-5,1	-8	7	11	6	24
Апрель	-0,2	4,8	12,7	5,9	0	2	4	6
Май	11,7	9,2	13	11,4	4	1	22	27
Июнь	18,5	20,4	17	18,6	9	17	18	44
Июль	16,4	19,6	17,4	17,8	5	9	6	20
2010-2011 гг.								
Август	20,2	16,8	18,9	18,6	0,4	11	11	22
Сентябрь	13,3	7,4	13,1	11,3	6	7	0,4	13
Октябрь	6	5	3,1	4,6	2	11	0	13
Ноябрь	2,5	1,3	-12,1	-2,8	18	12	25	55
Декабрь	-13,9	-17,1	-23,1	-18,2	16	7	12	35
Январь	-31,2	-17,2	-18,9	-22,3	0	3	0,2	3
Февраль	-12,6	-15,6	-18,6	-15,4	12	8	0,4	20
Март	-11,2	-8	-4,2	-7,7	4	15	7	26
Апрель	1,3	11	8,9	7,1	9	28	28	65
Май	10,2	11,8	13,6	11,9	0	8	15	23
Июнь	19,2	18,7	20,1	19,3	18	10	9	37
Июль	17,4	17,4	18,9	17,9	10	55	15	80
2011-2012 гг.								
Август	15,3	18,8	12,1	15,4	28	0	36	64
Сентябрь	15,3	14,3	10,5	13,4	0,7	0	4	5
Октябрь	10,2	8,1	0,4	6,0	31	1	19	51
Ноябрь	-5,2	-9,1	-12,3	-9,1	20	18	15	53
Декабрь	-12,3	-22,2	-13,0	-15,7	9	5	9	23
Январь	-14,4	-21,1	-23,4	-19,6	0,5	1	0,4	2
Февраль	-21,9	-18,3	-16,9	-19,1	2	0,2	0	2
Март	-9,3	-7,6	-0,9	-5,8	0,1	6	13	19
Апрель	5,0	12,1	8,9	8,7	1	0	16	17
Май	6,6	13,5	16,3	12,3	27	8	3	38
Июнь	20,3	19,8	21,4	20,5	14	16	17	47
Июль	20,1	25,6	22,8	22,8	2	5	1	8
Август	19,8	19,6	14,4	17,9	19	7	23	49

Приложение Б – Содержание макроэлементов в лугово-чернозёмной почве (слой 0-30 см) при возделывании озимой пшеницы по фазам развития в зависимости от применяемых цинковых удобрений, мг/кг (опыт №1)

Вариант	Перед посевом			Весеннее кушение		
	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	2	3	4	5	6	7
2007-2008 гг.						
N ₃₀ – фон 1	18,6	95,8	253	32,6	112	285
Фон 1 + Zn ₄	20,2	90,1	254	33,5	105	283
Фон 1 + Zn ₈	22,4	88,9	266	32,5	112	244
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	19,8	92,2	266	34,6	128	356
Фон 2 + Zn ₄	17,8	91,8	283	35,8	130	289
Фон 2 + Zn ₈	19,9	92,1	233	31,5	126	366
Фон 2 + Zn ₅₀ *	22,6	91,7	244	33,6	132	287
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	19,6	92,0	266	33,5	133	255
2008-2009 гг.						
N ₃₀ – фон 1	22,6	80,6	280	35,6	85,5	299
Фон 1 + Zn ₄	20,2	85,4	322	34,7	85,5	357
Фон 1 + Zn ₈	21,2	90,2	366	36,4	96,3	344
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	18,4	90,5	351	31,6	110	388
Фон 2 + Zn ₄	16,6	90,9	258	28,3	112	277
Фон 2 + Zn ₈	15,6	91,0	249	30,3	110	245
Фон 2 + Zn ₅₀ *	20,5	91,2	253	32,2	108	263
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	16,6	91,2	266	33,2	105	272
2009-2010 гг.						
N ₃₀ – фон 1	14,6	102	211	33,5	115	268
Фон 1 + Zn ₄	20,2	102	322	34,4	102	299
Фон 1 + Zn ₈	21,3	98,3	301	32,3	104	366
Фон 1 + Zn ₁₂	19,4	96,4	289	34,5	108	332
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	18,9	102	266	36,3	120	342
Фон 2 + Zn ₄	19,6	91,4	235	34,4	126	322
Фон 2 + Zn ₈	20,4	98,8	253	37,3	126	367
Фон 2 + Zn ₁₂	18,3	92,0	266	32,5	129	299
Фон 2 + Zn ₅₀ *	18,5	91,5	289	34,4	130	362
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	21,3	90,8	289	36,2	132	335
Фон 2 + Zn ₁₅₀ *	20,5	91,2	301	34,3	129	316

окончание приложения Б

1	2	3	4	5	6	7
2010-2011 гг.						
N ₃₀ – фон 1	16,4	80,3	355	30,5	95,6	385
Фон 1 + Zn ₄	22,3	78,5	321	32,3	90,3	356
Фон 1 + Zn ₈	21,2	86,6	367	35,3	96,2	366
Фон 1 + Zn ₁₂	20,3	86,4	366	33,5	98,3	357
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	16,3	80,0	347	36,3	116	364
Фон 2 + Zn ₄	18,2	80,1	321	34,3	110	324
Фон 2 + Zn ₈	21,3	78,2	302	35,4	108	289
Фон 2 + Zn ₁₂	19,2	81,2	311	36,6	116	268
Фон 2 + Zn ₅₀ *	20,3	81,4	309	33,4	122	255
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	21,2	80,6	352	32,3	106	286
Фон 2 + Zn ₁₅₀ *	21,2	78,3	366	32,2	112	255

Приложение В – Содержание макроэлементов в лугово-чернозёмной почве (слой почвы 0-30 см) при возделывании озимой пшеницы по фазам развития в зависимости от применяемых микроудобрений при опудривании семян, мг/кг (2%-ая CH_3COOH), мг/кг (опыт №2)

Вариант	Перед посевом			Весеннее кушение		
	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	2	3	4	5	6	7
2007-2008 гг.						
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	18,1	88,8	265	36,4	91,8	389
Фон + Zn ₅₀	19,0	98,2	321	34,3	105	358
Фон + Zn ₁₀₀	21,2	110	269	35,6	88,9	358
Фон + Cu ₅₀	19,5	95,2	268	36,1	105	366
Фон + Cu ₁₀₀	18,4	112	278	37,3	112	390
Фон + Mn ₅₀	19,2	103	254	36,4	122	354
Фон + Mn ₁₀₀	20,5	93,6	269	36,6	89,6	302
2008-2009 гг.						
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	19,1	83,5	286	32,3	115	288
Фон + Zn ₅₀	15,8	73,4	255	34,5	123	265
Фон + Zn ₁₀₀	17,3	90,2	267	35,6	122	237
Фон + Cu ₅₀	19,6	95,6	232	34,4	114	299
Фон + Cu ₁₀₀	20,3	83,5	239	36,3	132	211
Фон + Mn ₅₀	21,4	92,3	238	32,5	115	258
Фон + Mn ₁₀₀	22,5	78,5	265	31,6	89	263
2009-2010 гг.						
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	18,8	96,6	256	34,6	112	387
Фон + Zn ₅₀	18,6	112	298	34,8	118	389
Фон + Zn ₁₀₀	20,5	103	300	32,6	110	355
Фон + Zn ₁₅₀	22,3	102	306	35,2	111	366
Фон + Cu ₅₀	23,2	98,3	364	33,3	125	360
Фон + Cu ₁₀₀	20,3	110	290	35,4	114	243
Фон + Cu ₁₅₀	22,4	79,2	357	36,2	102	298
Фон + Mn ₅₀	22,5	112	321	35,3	112	302
Фон + Mn ₁₀₀	22,3	98,5	309	36,1	123	303
Фон + Mn ₁₅₀	22,2	98,3	311	35,2	114	318

1	2	3	4	5	6	7
2010-2011 гг.						
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	16,5	97,8	308	33,6	108	308
Фон + Zn ₅₀	18,2	111	268	30,8	114	290
Фон + Zn ₁₀₀	18,2	93,6	259	33,4	111	316
Фон + Zn ₁₅₀	20,4	82,6	322	36,6	123	396
Фон + Cu ₅₀	22,5	87,8	356	37,3	132	369
Фон + Cu ₁₀₀	21,3	96,3	256	37,4	115	378
Фон + Cu ₁₅₀	21,2	102	298	35,3	112	389
Фон + Mn ₅₀	20,3	83,6	304	36,6	83,9	355
Фон + Mn ₁₀₀	22,4	80,8	306	35,2	98,5	369
Фон + Mn ₁₅₀	21,3	86,6	322	35,5	96,3	302

Приложение Г – Содержание основных элементов питания в растениях озимой пшеницы в фазу уборки в зависимости от применяемых способов внесения цинковых удобрений, % на абсолютно сухую массу (опыт №1)

Вариант	Зерно			Солома		
	N	P	K	N	P	K
1	2	3	4	5	6	7
2008 г.						
N ₃₀ – фон 1	2,72	0,48	0,45	0,49	0,37	0,68
Фон 1 + Zn ₄	2,74	0,37	0,48	0,49	0,40	0,68
Фон 1 + Zn ₈	2,78	0,43	0,51	0,53	0,49	0,69
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	2,74	0,47	0,46	0,52	0,33	0,65
Фон 2 + Zn ₄	2,76	0,38	0,58	0,53	0,44	0,70
Фон 2 + Zn ₈	2,85	0,43	0,53	0,55	0,41	0,71
Фон 2 + Zn ₅₀ *	2,78	0,44	0,48	0,55	0,48	0,65
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	2,85	0,47	0,46	0,56	0,43	0,69
2009 г.						
N ₃₀ – фон 1	3,07	0,41	0,48	0,58	0,32	0,69
Фон 1 + Zn ₄	3,11	0,54	0,53	0,60	0,39	0,75
Фон 1 + Zn ₈	3,25	0,49	0,58	0,61	0,43	0,78
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	3,04	0,43	0,51	0,62	0,43	0,72
Фон 2 + Zn ₄	3,07	0,44	0,51	0,59	0,41	0,74
Фон 2 + Zn ₈	3,25	0,41	0,53	0,57	0,43	0,73
Фон 2 + Zn ₅₀ *	3,11	0,40	0,54	0,57	0,43	0,66
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	3,11	0,41	0,55	0,57	0,45	0,68

1	2	3	4	5	6	7
2010 г.						
N ₃₀ – фон 1	2,34	0,40	0,45	0,45	0,21	0,63
Фон 1 + Zn ₄	2,34	0,39	0,41	0,46	0,20	0,64
Фон 1 + Zn ₈	2,45	0,40	0,48	0,48	0,19	0,64
Фон 1 + Zn ₁₂	2,52	0,40	0,45	0,48	0,20	0,64
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	2,52	0,41	0,51	0,49	0,25	0,64
Фон 2 + Zn ₄	2,58	0,41	0,52	0,46	0,18	0,68
Фон 2 + Zn ₈	2,52	0,46	0,55	0,47	0,19	0,69
Фон 2 + Zn ₁₂	2,52	0,33	0,46	0,45	0,15	0,72
Фон 2 + Zn ₅₀ *	2,34	0,39	0,47	0,45	0,19	0,63
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	2,45	0,43	0,46	0,46	0,16	0,69
Фон 2 + Zn ₁₅₀ *	2,45	0,39	0,43	0,46	0,21	0,63
2011 г.						
N ₃₀ – фон 1	2,34	0,42	0,48	0,42	0,25	0,66
Фон 1 + Zn ₄	2,45	0,40	0,50	0,44	0,23	0,71
Фон 1 + Zn ₈	2,45	0,42	0,53	0,45	0,21	0,72
Фон 1 + Zn ₁₂	2,45	0,38	0,52	0,43	0,17	0,63
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	2,29	0,37	0,43	0,42	0,20	0,64
Фон 2 + Zn ₄	2,34	0,36	0,45	0,42	0,21	0,71
Фон 2 + Zn ₈	2,45	0,43	0,46	0,43	0,25	0,69
Фон 2 + Zn ₁₂	2,45	0,41	0,46	0,42	0,24	0,69
Фон 2 + Zn ₅₀ *	2,39	0,37	0,46	0,40	0,20	0,65
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	2,39	0,40	0,45	0,42	0,19	0,72
Фон 2 + Zn ₁₅₀ *	2,34	0,49	0,42	0,41	0,20	0,63

Примечание * – обработка семян г соли на 100 кг

Приложение Д – Содержание основных элементов питания в растениях озимой пшеницы в фазу уборки в зависимости от применяемых микроудобрений при опудривании семян, % на абсолютно сухую массу (опыт №2)

Вариант	Зерно			Солома		
	N	P	K	N	P	K
1	2	3	4	5	6	7
2008 г.						
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	2,68	0,44	0,48	0,41	0,12	0,65
Фон + Zn ₅₀	2,85	0,37	0,46	0,52	0,14	0,61
Фон + Zn ₁₀₀	2,74	0,39	0,48	0,55	0,19	0,62
Фон + Cu ₅₀	2,73	0,42	0,48	0,52	0,20	0,63
Фон + Cu ₁₀₀	2,77	0,44	0,55	0,55	0,22	0,63
Фон + Mn ₅₀	2,83	0,44	0,53	0,56	0,21	0,71
Фон + Mn ₁₀₀	2,76	0,32	0,56	0,55	0,21	0,59
2009 г.						
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	3,11	0,35	0,50	0,54	0,21	0,69
Фон + Zn ₅₀	3,22	0,35	0,56	0,56	0,19	0,75
Фон + Zn ₁₀₀	3,07	0,37	0,58	0,58	0,19	0,76
Фон + Cu ₅₀	2,70	0,40	0,52	0,51	0,23	0,76
Фон + Cu ₁₀₀	3,07	0,39	0,58	0,59	0,22	0,77
Фон + Mn ₅₀	3,04	0,40	0,59	0,55	0,24	0,74
Фон + Mn ₁₀₀	3,25	0,42	0,60	0,52	0,19	0,75

1	2	3	4	5	6	7
2010 г.						
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	2,45	0,37	0,49	0,44	0,24	0,68
ФОН + Zn ₅₀	2,52	0,39	0,52	0,46	0,22	0,60
ФОН + Zn ₁₀₀	2,34	0,39	0,49	0,44	0,24	0,63
ФОН + Zn ₁₅₀	2,37	0,40	0,48	0,41	0,16	0,65
ФОН + Cu ₅₀	2,52	0,43	0,48	0,50	0,25	0,60
ФОН + Cu ₁₀₀	2,58	0,41	0,52	0,51	0,20	0,70
ФОН + Cu ₁₅₀	2,52	0,42	0,51	0,52	0,17	0,72
ФОН + Mn ₅₀	2,34	0,44	0,51	0,46	0,23	0,58
ФОН + Mn ₁₀₀	2,51	0,37	0,51	0,50	0,23	0,63
ФОН + Mn ₁₅₀	2,34	0,35	0,53	0,48	0,24	0,63
2011 г.						
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	2,17	0,37	0,42	0,41	0,18	0,69
ФОН + Zn ₅₀	2,31	0,37	0,50	0,42	0,22	0,65
ФОН + Zn ₁₀₀	2,24	0,39	0,49	0,42	0,21	0,66
ФОН + Zn ₁₅₀	2,21	0,36	0,53	0,43	0,24	0,59
ФОН + Cu ₅₀	2,21	0,43	0,51	0,42	0,23	0,75
ФОН + Cu ₁₀₀	2,24	0,41	0,51	0,43	0,25	0,63
ФОН + Cu ₁₅₀	2,24	0,42	0,52	0,41	0,24	0,65
ФОН + Mn ₅₀	2,35	0,45	0,52	0,41	0,16	0,69
ФОН + Mn ₁₀₀	2,17	0,44	0,52	0,45	0,18	0,70
ФОН + Mn ₁₅₀	2,31	0,47	0,52	0,46	0,22	0,70

Примечание * – обработка семян г соли на 100 кг

Приложение Е – Содержание макроэлементов в растениях озимой пшеницы по фазам развития в зависимости от применяемых способов внесения цинковых удобрений, % (среднее 2007-2011 гг., опыт №1)

Вариант	Всходы			Кущение осеннее			Кущение весеннее			Выход в трубку			Колошение		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
N ₃₀ – фон 1	3,62	0,55	4,01	3,21	0,40	3,90	4,44	0,40	3,60	3,68	0,38	3,78	3,25	0,28	2,20
Фон 1 + Zn ₄	3,91	0,53	3,96	3,22	0,41	3,92	4,48	0,42	3,61	3,69	0,42	3,88	3,28	0,30	2,21
Фон 1 + Zn ₈	3,92	0,52	3,97	3,28	0,38	3,88	4,50	0,42	3,65	3,81	0,41	3,92	3,26	0,30	2,20
Фон 1 + Zn ₁₂	3,88	0,50	3,90	3,30	0,36	3,88	4,50	0,38	3,70	3,86	0,42	3,92	3,30	0,31	2,24
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	3,65	0,59	3,91	3,24	0,41	3,91	4,35	0,42	3,66	3,71	0,35	3,71	3,30	0,28	2,21
Фон 2 + Zn ₄	3,70	0,60	4,01	3,30	0,42	4,01	4,44	0,44	3,68	3,89	0,36	3,80	3,38	0,28	2,35
Фон 2 + Zn ₈	4,03	0,64	4,08	3,39	0,49	4,00	4,60	0,50	3,78	4,09	0,40	3,90	3,51	0,33	2,46
Фон 2 + Zn ₁₂	3,98	0,58	4,05	3,48	0,41	4,04	4,65	0,51	3,80	4,01	0,44	3,91	3,46	0,35	2,40
Фон 2 + Zn ₅₀ *	3,95	0,58	4,01	3,28	0,42	3,95	4,51	0,41	3,61	4,01	0,36	3,85	3,29	0,28	2,34
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	4,01	0,61	4,06	3,38	0,48	3,98	4,58	0,49	3,71	4,08	0,41	3,91	3,52	0,34	2,44
Фон 2 + Zn ₁₅₀ *	4,20	0,55	3,98	3,41	0,42	3,90	4,58	0,44	3,52	3,95	0,38	3,86	3,40	0,28	2,44

Примечание * – обработка семян г соли на 100 кг

Приложение Ж – Содержание макроэлементов питания в растениях озимой пшеницы по фазам развития в зависимости от применяемых микроудобрений, % (среднее 2007-2011 гг., опыт №2)

Вариант	Всходы			Кущение осеннее			Кущение весеннее			Выход в трубку			Колошение		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	3,71	0,51	3,91	3,12	0,41	3,89	4,31	0,41	3,68	3,91	0,37	3,80	3,36	0,30	2,36
Фон + Zn ₅₀	3,81	0,53	3,95	3,28	0,44	4,0	4,48	0,44	3,74	3,98	0,41	3,81	3,41	0,32	2,38
Фон + Zn ₁₀₀	4,02	0,62	4,12	3,41	0,50	4,02	4,62	0,53	3,81	4,14	0,43	3,92	3,52	0,35	2,45
Фон + Zn ₁₅₀	4,00	0,62	4,10	3,35	0,42	4,05	4,50	0,48	3,86	4,10	0,40	3,90	3,46	0,30	2,42
Фон + Cu ₅₀	4,11	0,65	4,14	3,42	0,52	4,04	4,61	0,52	3,92	4,12	0,45	3,91	3,52	0,36	2,41
Фон + Cu ₁₀₀	3,78	0,71	4,20	3,33	0,54	4,15	4,62	0,54	3,98	4,20	0,48	3,95	3,56	0,31	2,51
Фон + Cu ₁₅₀	3,76	0,72	4,01	3,30	0,54	4,20	4,51	0,55	3,97	4,01	0,49	3,95	3,58	0,32	2,50
Фон + Mn ₅₀	3,91	0,58	4,08	3,31	0,42	3,89	4,58	0,41	3,91	3,98	0,37	3,78	3,46	0,34	2,36
Фон + Mn ₁₀₀	4,08	0,64	4,11	3,42	0,54	4,09	4,70	0,55	3,99	4,12	0,44	3,91	3,52	0,38	2,44
Фон + Mn ₁₅₀	4,11	0,56	4,15	3,46	0,52	3,81	4,57	0,54	3,98	4,15	0,41	3,90	3,52	0,35	2,46

Приложение 3 – Вынос макроэлементов урожаем озимой пшеницы в зависимости от применяемых способов внесения цинковых удобрений (опыт №1)

Вариант	Зерном			Соломой			Общий вынос			Вынос единицей про- дукции, кг/т		
	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
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2008 г.												
N ₃₀ – фон 1	75,0	30,3	14,9	11,6	20,1	19,4	86,7	50,4	34,3	36,5	21,3	14,4
Фон 1 + Zn ₄	93,6	29,0	19,7	14,4	26,9	24,0	108	55,9	43,7	36,8	19,0	14,9
Фон 1 + Zn ₈	91,4	32,4	20,1	15,0	31,7	23,4	106	64,1	43,5	37,6	22,7	15,4
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	87,1	34,2	17,6	14,2	20,7	21,3	101	54,9	38,9	37,1	20,1	14,2
Фон 2 + Zn ₄	93,7	29,5	23,6	15,5	29,4	24,5	109	58,9	48,1	37,4	20,2	16,5
Фон 2 + Zn ₈	99,4	34,4	22,2	16,5	28,2	25,6	116	62,5	47,8	38,6	20,8	15,9
Фон 2 + Zn ₅₀ *	103,2	37,4	21,4	17,6	35,1	24,9	121	72,5	46,3	37,8	22,7	14,5
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	101	38,2	19,6	17,1	30,1	25,3	118	68,3	44,9	38,7	22,4	14,7
2009 г.												
N ₃₀ – фон 1	84,7	25,9	15,9	13,8	17,4	19,7	98,5	43,3	35,5	41,5	18,3	15,0
Фон 1 + Zn ₄	106	42,2	21,7	17,6	26,2	26,4	124	68,5	48,2	42,7	23,3	16,4
Фон 1 + Zn ₈	107	36,9	22,9	17,3	27,9	26,5	124	64,8	49,6	43,9	22,9	17,5
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	96,6	31,3	19,5	17,0	26,9	23,6	114	58,2	43,1	41,5	21,3	15,8
Фон 2 + Zn ₄	104	34,2	20,7	17,2	27,4	25,9	121	61,6	46,7	41,6	21,1	16,0
Фон 2 + Zn ₈	113	32,8	22,2	17,1	29,5	26,3	130	62,3	48,5	43,5	20,8	16,2
Фон 2 + Zn ₅₀ *	115	34,0	24,1	18,2	31,4	29,1	134	65,5	53,2	41,9	20,5	16,7
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	110	33,4	23,5	17,4	31,5	28,6	128	64,8	52,0	41,9	21,2	17,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2010 г.												
N ₃₀ – фон 1	64,6	25,3	14,9	10,7	11,4	17,9	75,2	36,7	32,8	31,7	15,5	13,8
Фон 1 + Zn ₄	79,9	30,5	16,8	13,5	13,5	22,6	93,5	44,0	39,4	31,8	15,0	13,4
Фон 1 + Zn ₈	80,6	30,2	18,9	13,6	12,3	21,7	94,2	42,4	40,7	33,3	15,0	14,4
Фон 1 + Zn ₁₂	80,1	29,1	17,2	13,1	12,5	21,0	93,2	41,6	38,2	34,1	15,2	14,0
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	85,5	31,9	20,8	14,3	16,7	22,4	99,8	48,6	43,2	34,2	16,6	14,8
Фон 2 + Zn ₄	90,0	32,7	21,8	13,8	12,4	24,5	104	45,1	46,3	34,6	15,0	15,4
Фон 2 + Zn ₈	93,6	39,1	24,5	15,0	14,0	26,4	109	53,0	50,9	34,0	16,6	16,0
Фон 2 + Zn ₁₂	89,5	26,9	19,6	13,6	10,5	26,4	104	37,3	46,0	33,8	12,2	15,1
Фон 2 + Zn ₅₀ *	78,0	29,8	18,8	13,0	12,5	21,7	90,9	42,2	40,5	31,7	14,7	14,1
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	94,6	38,0	21,3	15,3	12,6	27,5	110	50,2	48,8	33,1	15,1	14,7
Фон 2 + Zn ₁₅₀ *	85,6	31,2	18,0	13,8	14,5	22,7	99,5	45,7	40,7	33,1	15,2	13,6
2011г.												
N ₃₀ – фон 1	64,6	26,5	15,9	9,97	13,6	18,8	74,5	40,1	34,7	31,4	16,9	14,6
Фон 1 + Zn ₄	83,7	31,3	20,5	12,9	15,5	25,0	96,6	46,8	45,5	32,9	15,9	15,5
Фон 1 + Zn ₈	80,6	31,6	20,9	12,7	13,6	24,4	93,3	45,2	45,4	33,0	16,0	16,0
Фон 1 + Zn ₁₂	77,9	27,7	19,8	11,8	10,6	20,7	89,6	38,3	40,5	32,8	14,0	14,8
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	77,7	29,0	17,5	12,3	13,4	22,4	90,0	42,1	39,9	30,8	14,4	13,7
Фон 2 + Zn ₄	81,6	28,8	18,8	12,6	14,4	25,6	94,2	43,2	44,4	31,4	14,4	14,8
Фон 2 + Zn ₈	91,0	36,6	20,5	13,7	18,3	26,4	105	54,8	46,9	32,8	17,2	14,7
Фон 2 + Zn ₁₂	87,0	33,4	19,6	12,8	16,8	25,3	99,9	50,2	44,9	32,7	16,4	14,7
Фон 2 + Zn ₅₀ *	79,6	28,2	18,4	11,5	13,1	22,4	91,1	41,4	40,7	31,8	14,4	14,2
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	92,3	35,4	20,9	13,9	14,4	28,7	106	49,8	49,5	32,0	15,0	14,9
Фон 2 + Zn ₁₅₀ *	81,8	39,2	17,6	12,3	13,8	22,7	94,1	53,0	40,3	31,3	17,6	13,4

Примечание. * – обработка семян г соли на 100 кг

Приложение И – Вынос макроэлементов урожаем озимой пшеницы в зависимости от применяемых макро- и микроудобрений (опыт №2)

Вариант	Вынос, кг/га									Вынос единиц 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
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2008 г.												
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	84,6	31,8	18,2	17,8	12,0	33,9	102	43,8	52,1	37,7	16,1	19,2
Фон + Zn ₅₀	89,8	26,7	17,9	23,5	14,5	33,1	113	41,2	50,5	41,8	15,2	18,6
Фон + Zn ₁₀₀	97,0	31,6	20,4	31,7	25,1	42,9	128	56,7	63,3	42,3	18,6	20,8
Фон + Cu ₅₀	99,9	35,2	21,1	31,6	27,8	45,9	131	63,0	67,0	41,8	20,0	21,3
Фон + Cu ₁₀₀	97,4	35,4	23,2	32,1	29,4	44,2	129	63,3	69,2	42,7	20,9	22,9
Фон + Mn ₅₀	99,2	35,3	22,3	33,5	28,8	51,0	131	64,7	66,4	43,6	21,5	22,0
Фон + Mn ₁₀₀	88,2	23,4	21,5	30,6	26,8	39,4	119	50,2	60,9	43,2	18,3	22,2
2009 г.												
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	98,1	25,3	18,9	23,5	26,5	36,0	121	51,8	55,0	44,8	19,1	20,3
Фон + Zn ₅₀	101	25,3	21,2	25,3	24,9	40,7	127	50,2	61,9	46,8	18,5	22,8
Фон + Zn ₁₀₀	109	30,0	24,6	33,4	31,8	52,5	142	61,8	77,2	46,7	20,8	25,4
Фон + Cu ₅₀	98,8	33,5	22,8	31,0	40,5	55,4	130	74,1	78,3	41,2	23,5	24,9
Фон + Cu ₁₀₀	108	31,4	24,5	34,5	37,3	54,0	142	68,7	78,4	47,1	22,7	25,9
Фон + Mn ₅₀	107	32,1	24,8	32,9	41,7	53,2	140	73,8	78,0	46,3	24,5	25,9
Фон + Mn ₁₀₀	104	30,7	23,0	29,1	30,7	50,1	133	61,4	73,1	48,3	22,4	26,6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2010г.												
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ –фон	77,3	26,7	18,6	19,2	23,9	30,7	96,5	50,7	49,3	35,5	18,7	18,2
ФОН + Zn ₅₀	79,4	28,1	19,6	20,8	22,8	33,9	100	50,9	53,5	37,0	18,8	19,8
ФОН + Zn ₁₀₀	82,9	31,6	20,8	25,4	31,7	40,7	108	63,3	61,5	35,5	20,8	20,2
ФОН + Zn ₁₅₀	86,7	33,5	21,1	24,9	22,3	42,0	112	55,8	63,1	35,5	17,7	20,0
ФОН + Cu ₅₀	88,6	34,6	20,3	29,2	33,4	40,4	114	56,9	62,3	37,5	18,8	20,6
ФОН + Cu ₁₀₀	90,4	32,9	21,9	30,5	27,4	44,8	120	66,3	62,2	39,7	22,2	20,7
ФОН + Cu ₁₅₀	80,5	30,7	19,6	29,0	21,7	40,9	110	52,4	60,5	39,8	19,1	22,0
ФОН + Mn ₅₀	74,3	32,0	19,4	25,5	29,2	40,7	103	53,7	60,3	37,8	19,7	22,1
ФОН + Mn ₁₀₀	94,3	31,8	23,9	25,5	26,9	37,7	120	61,0	63,7	37,1	18,9	19,7
ФОН + Mn ₁₅₀	76,6	26,2	20,8	22,1	25,3	35,2	99,0	51,6	56,0	35,1	18,3	19,9
2011г.												
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	68,5	26,7	15,9	17,8	22,7	36,0	86,3	49,5	51,9	31,8	18,2	19,1
ФОН + Zn ₅₀	72,8	26,7	18,9	19,0	28,8	35,3	91,8	55,5	54,2	33,9	20,5	20,0
ФОН + Zn ₁₀₀	79,3	31,6	20,8	24,2	35,1	45,6	104	66,7	66,5	34,0	21,9	21,8
ФОН + Zn ₁₅₀	80,9	30,2	23,3	26,1	42,1	43,0	107	72,5	66,3	34,0	23,0	21,1
ФОН + Cu ₅₀	77,7	34,6	21,5	24,5	39,0	52,6	104	76,9	64,5	34,3	25,4	21,3
ФОН + Cu ₁₀₀	78,5	32,9	21,5	25,7	43,4	45,3	103	71,9	74,0	34,2	23,8	24,6
ФОН + Cu ₁₅₀	71,6	30,7	19,9	22,8	38,8	43,5	94,4	69,5	63,4	34,4	25,3	23,1
ФОН + Mn ₅₀	74,7	32,7	19,8	22,7	25,7	45,9	97,5	71,5	63,3	35,7	26,2	23,2
ФОН + Mn ₁₀₀	81,5	37,9	23,4	23,0	26,6	42,9	104	63,5	69,3	32,3	19,7	21,5
ФОН + Mn ₁₅₀	75,6	35,2	20,4	21,2	29,4	38,7	96,8	64,6	59,1	34,4	23,0	21,0

Приложение К – Влияние различных способов внесения цинковых удобрений на качество озимой пшеницы

(опыт №1)

Вариант	Натура, г/л	Белок, %	Стекловидность, %	Клейковина, %	ИДК, ед.
1	2	3	4	5	6
2008 г.					
N ₃₀ – фон 1	774	15,5	50	31,1	76
Фон 1 + Zn ₄	756	15,6	50	31,2	75
Фон 1 + Zn ₈	768	15,8	50	31,7	77
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	766	15,6	50	31,4	82
Фон 2 + Zn ₄	748	15,8	50	31,5	85
Фон 2 + Zn ₈	784	16,2	50	32,0	77
Фон 2 + Zn ₅₀ *	772	15,8	49	30,9	82
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	762	16,2	50	32,1	87
2009 г.					
N ₃₀ – фон 1	725	17,5	51	32,2	74
Фон 1 + Zn ₄	728	17,7	50	32,3	75
Фон 1 + Zn ₈	692	18,5	50	33,4	76
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	694	17,3	50	32,0	82
Фон 2 + Zn ₄	734	17,5	51	32,1	86
Фон 2 + Zn ₈	732	18,5	52	33,4	87
Фон 2 + Zn ₅₀ *	722	17,7	50	32,3	83
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	720	17,7	51	32,2	87
2010 г.					
N ₃₀ – фон 1	788	13,3	50	28,1	68
Фон 1 + Zn ₄	788	13,3	50	28,2	74
Фон 1 + Zn ₈	786	14,0	48	28,5	74

окончание приложения К

1	2	3	4	5	6
Фон 1 + Zn ₁₂	783	14,4	51	28,8	80
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	782	14,4	50	28,4	76
Фон 2 + Zn ₄	781	14,7	52	28,4	75
Фон 2 + Zn ₈	778	14,4	52	28,5	76
Фон 2 + Zn ₁₂	778	14,4	51	29,2	73
Фон 2 + Zn ₅₀ *	776	13,3	50	27,2	76
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	788	14,0	52	27,8	71
Фон 2 + Zn ₁₅₀ *	780	14,0	53	26,7	68
2011 г.					
N ₃₀ – фон 1	760	13,3	44	27,2	71
Фон 1 + Zn ₄	758	14,0	47	27,2	71
Фон 1 + Zn ₈	764	14,0	42	28,4	79
Фон 1 + Zn ₁₂	756	14,0	45	26,7	69
N ₃₀ P ₆₀ – фон 2	769	13,0	45	27,2	65
Фон 2 + Zn ₄	768	13,3	44	27,2	71
Фон 2 + Zn ₈	772	14,0	44	26,8	65
Фон 2 + Zn ₁₂	768	14,0	45	25,2	62
Фон 2 + Zn ₅₀ *	772	13,6	46	26,7	52
Фон 2 + Zn ₁₀₀ *	766	13,6	42	26,7	64
Фон 2 + Zn ₁₅₀ *	767	13,3	44	26,9	66

Примечание * – обработка семян г соли на 100 кг

Приложение Л – Влияние микроудобрений на качество зерна озимой пшеницы при опудривании семян (опыт №2)

Вариант	Натура, г/л	Белок, %	Стекловидность, %	Клейковина, %	ИДК, ед.
1	2	3	4	5	6
2008 г.					
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	758	15,5	50	31,4	82
Фон + Zn ₅₀	772	16,3	50	31,7	82
Фон + Zn ₁₀₀	744	15,6	50	31,6	77
Фон + Cu ₅₀	783	15,6	50	31,2	89
Фон + Cu ₁₀₀	771	15,8	50	31,8	77
Фон + Mn ₅₀	752	16,1	50	32,8	80
Фон + Mn ₁₀₀	775	15,8	49	31,6	83
2009 г.					
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	716	17,7	52	32,4	85
Фон + Zn ₅₀	698	18,4	50	31,7	85
Фон + Zn ₁₀₀	721	17,5	50	32,4	85
Фон + Cu ₅₀	730	15,4	50	31,0	89
Фон + Cu ₁₀₀	720	17,5	51	31,9	79
Фон + Mn ₅₀	730	17,3	49	32,0	85
Фон + Mn ₁₀₀	698	18,5	51	31,6	84
2010 г.					
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	782	14,0	52	27,8	77
Фон + Zn ₅₀	789	14,4	49	28,5	78
Фон + Zn ₁₀₀	795	13,3	50	27,0	69
Фон + Zn ₁₅₀	789	13,5	50	27,2	76

1	2	3	4	5	6
ФОН + Cu ₅₀	781	14,4	51	28,5	72
ФОН + Cu ₁₀₀	784	14,7	50	29,5	73
ФОН + Cu ₁₅₀	787	14,4	50	29,2	77
ФОН + Mn ₅₀	782	13,3	52	27,0	73
ФОН + Mn ₁₀₀	786	14,3	50	29,0	76
ФОН + Mn ₁₅₀	786	13,3	49	27,0	72
2011 г.					
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	786	12,4	41	25,6	72
ФОН + Zn ₅₀	780	13,2	47	26,5	60
ФОН + Zn ₁₀₀	778	12,8	44	25,0	57
ФОН + Zn ₁₅₀	780	12,6	42	25,5	57
ФОН + Cu ₅₀	781	12,6	43	24,9	57
ФОН + Cu ₁₀₀	769	12,8	43	25,8	57
ФОН + Cu ₁₅₀	775	12,8	39	25,6	62
ФОН + Mn ₅₀	760	13,4	47	27,3	72
ФОН + Mn ₁₀₀	780	13,2	38	27,2	68
ФОН + Mn ₁₅₀	784	13,3	44	27,0	66

Приложение Н

«Утверждаю»

Генеральный директор

ООО «РУСКОМ-Агро»


В.И. Гоман

14 сентября 2014 г.

Акт

о внедрении результатов научной деятельности

Внедрение результатов исследований Поповой В.И. по теме «Влияние основного внесения цинковых удобрений при возделывании озимой пшеницы сорта Омская 4 на урожайность и качество зерна» проводилось в «РУСКОМ-Агро» на лугово-черноземной почве на площади 6 га. Это позволило при использовании цинковых удобрений в рекомендуемой дозе Zn_6 получить урожайность зерна 3,22 т/га в условиях Омской области. При возделывании озимой пшеницы условно чистый доход составил 12360 рублей, при этом рентабельность применения микроудобрений составила 22,8%.

Зам. генерального директора

ООО «РУСКОМ-Агро»



В.В. Заздравных

Приложение О

«Утверждаю»

Генеральный директор

ООО «РУСКОМ-Агро»

В.И. Гоман

28 сентября 2016 г.

Акт

о внедрении результатов научной деятельности

Внедрение результатов исследований Поповой В.И. по теме «Влияние опудривания семян озимой пшеницы сорта Омская 4 цинком, медью и марганцем на урожайность и качество зерна» проводилось в ООО «РУСКОМ-Агро» Омской области на лугово-черноземной почве на площади 12 га. Это позволило при использовании микроудобрений в рекомендуемых дозах 100 г/ц (цинковые и марганцевые удобрения) и 50 г/ц (медные удобрения) получить урожайность зерна озимой пшеницы соответственно 3,66; 3,56 и 3,44 т/га. Условно чистый доход составил соответственно 13400, 13240 и 12950 рублей, при этом рентабельность применения микроудобрений составила 22,1%, 21,5% и 19,0%.

Зам. генерального директора
ООО «РУСКОМ-Агро»



В.В. Заздравных

Приложение П

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



УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по образовательной
деятельности ФГБОУ ВО Омский ГАУ
А.И.И. С.Ю. Комарова
« 07 » сентября 2018 г.

Справка

об использовании результатов диссертации В.И. Поповой «Оптимизация применения микроудобрений при возделывании озимой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири»

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

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

И.А. Бобренко И.А. Бобренко

И.о. декана факультета агрохимии,
почвоведения, экологии,
природообустройства
и водопользования
канд. с.-х. наук, доцент

Н.М. Невенчанная

Н.М. Невенчанная