

На правах рукописи



ПОПОВА ВАЛЕНТИНА ИВАНОВНА

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОУДОБРЕНИЙ
ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ
В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

06.01.04 – Агрохимия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Воронеж – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина» на кафедре агрохимии и почвоведения.

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Бобренко Игорь Александрович

Официальные оппоненты: **Конарбаева Галина Акмулудиновна**, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория биогеохимии почв ФГБУН «Институт почвоведения и агрохимии» Сибирского отделения РАН, ведущий научный сотрудник;

Мамеев Василий Васильевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, кафедра агрохимии, почвоведения и экологии, ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», доцент.


Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет»

Защита состоится «27» декабря 2018 года в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 220.010.07 на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1; тел./факс (4732)53-86-51, e-mail: olga.koltsova.52@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» и на сайте www.ds.vsau.ru, с авторефератом – на сайте ВАК Министерства образования и науки РФ www.vak3ed.gov.ru и ВГАУ www.ds.vsau.ru

Автореферат разослан «___» _____ 2018 года

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные и скрепленные гербовой печатью организации, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета.

Учёный секретарь диссертационного совета  Кольцова О. М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Ведущая роль среди зерновых культур принадлежит высокопродуктивной ценной продовольственной культуре – озимой пшенице. Зерно ее богато клейковинными белками и другими ценными веществами, поэтому она широко используется для продовольственных целей (Рутц, 2005).

В современных условиях, с ростом применения минеральных удобрений все большее значение приобретает проблема пополнения микроэлементов, содержащихся в почве. Одними из основных таких элементов являются цинк, марганец и медь (Сычев и др., 2009). Цинк оказывает влияние на фотосинтез, углеводный и белковый обмен в растениях. Значение меди связано со вхождением ее в состав медьсодержащих белков и ферментов. Марганец участвует в дыхательном процессе, азотном обмене, биосинтезе белка, образовании хлорофилла, синтезе нуклеиновых кислот и передаче наследственной информации (Ильин, Сысо, 2001).

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 (Красницкий, 2002).

Озимая пшеница отзывчива на применение микроудобрений (Аристархов и др., 2010), но в условиях лесостепи Западной Сибири данный прием не изучался. Управление питанием озимой пшеницы микроэлементами на основе нормативных параметров интеграционной системы почвенно-растительной оперативной диагностики «ИСПРОД» (разработана научной школой под руководством профессора Ю.И. Ермохина (1995)) 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 биоэнергетической и экономической 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.

Практическая значимость. Выявленные закономерности в системе «почва – микроудобрение – растение» дают возможность оптимизировать удобрением поступление N, P, K, Zn, Cu, Mn в растения озимой пшеницы, создавая уравновешенное 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 настоящей работы положены собственные исследования автора, она принимала непосредственное участие в составлении методики исследований, проведении опытов, наблюдениях в полевых и лабораторных условиях, обобщала и анализировала экспериментальные данные.

Апробация исследований. Результаты исследований были представлены докладами и обсуждены на Всероссийских (Омск, 2009, 2013, 2016, 2017) и Международных (Омск, 2009, 2010; Москва, 2010; Новосибирск, 2010; Горно-Алтайск, 2011; Ставрополь, 2013, 2014) научных конференциях. Результаты исследований прошли производственную проверку в ООО «РУСКОМ-Агро» на площади 23 га, используются в учебном процессе.

Публикации. Результаты исследований опубликованы в 27 печатных ра-

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

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 173 страницах. Состоит из введения, семи глав, заключения, рекомендаций производству. Содержит 35 таблиц, 19 рисунков, 15 приложений. Список литературы включает 236 наименований, в том числе 18 на иностранных языках.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1 МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

В главе приведен анализ научной литературы по вопросам: 1.1 Микроэлементы в почвах и растениях; 1.2 Влияние микроудобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур. Показано, что цинковые, медные, марганцевые удобрения способствуют оптимизации минерального питания озимой пшеницы в различных почвенно-климатических зонах. Установлено, что микроудобрения эффективны на черноземных почвах при выращивании сельскохозяйственных культур.

2 ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований. *Озимая пшеница* (*Triticum L.*), сорт Омская 4 селекции СибНИИСХ. Сорт среднеспелый, созревает за 314-328 дней.

Почва лугово-черноземная среднемогочная среднегумусовая тяжелосуглинистая. Содержание гумуса – 5,70 %, плотность почвы в слое 0-40 см – 1,20-1,25 г/см³, плотность твердой фазы – 2,65 г/см³, ЕКО – 25,2-28,2 ммоль·экв/100 г, рН водной вытяжки – 6,5-7,1. Обеспеченность почвы в слое 0-30 см нитратным азотом и подвижным фосфором – средняя, обменным калием – высокая, подвижными цинком и медью – низкая, марганцем – средняя.

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

Климат и метеорологические условия в годы проведения исследований. Сумма активных температур составляет 1850-2150 °С, среднегодовая сумма осадков составляет 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.

Методика полевых и лабораторных исследований. Полевые опыты проводились на поле Сибирского НИИСХ в 2007-2012 гг. Для решения поставленных задач по оптимизации микроэлементного питания озимой пшеницы проведены полевые опыты по схемам, представленным ниже:

Опыт № 1. Влияние различных способов применения цинковых удобрений на продуктивность озимой пшеницы (2007-2011 гг.): 1. N₃₀ – фон 1, 2. Фон 1 + Zn₄, 3. Фон 1 + Zn₈, 4. Фон 1 + Zn₁₂, 5. N₃₀P₆₀ – фон 2, 6. Фон 2 + Zn₄, 7. Фон 2 + Zn₈, 8. Фон 2 + Zn₁₂, 9. Фон 2 + Zn_{50*}, 10. Фон 2 + Zn_{100*}, 11. Фон 2 + Zn_{150*} (* – обработка семян, г соли на 100 кг).

Опыт № 2. Влияние предпосевной обработки семян солями микроэлементов на продуктивность озимой пшеницы (2007-2011 гг., г соли на 100 кг): 1. N₃₀P₆₀K₆₀ – фон, 2. Фон + Zn₅₀, 3. Фон + Zn₁₀₀, 4. Фон + Zn₁₅₀, 5. Фон + Cu₅₀, 6. Фон + Cu₁₀₀, 7. Фон + Cu₁₅₀, 8. Фон + Mn₅₀, Фон + Mn₁₀₀, Фон + Mn₁₅₀.

Варианты Zn₁₂ и Zn₁₅₀, 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. N₃₀P₆₀ – фон, 2. Фон + Zn_{3,4} (ОУ), 3. Фон + Zn_{6,6} (ОУ), 4. Фон + Zn_{11,3} (ПО).

Расположение делянок на опытном участке систематическое. Площадь делянок – 16 м²; учётная – 15 м². Повторность вариантов трёхкратная. Предшественник – кулисный пар, агротехника – общепринятая для зоны. Закладку опытов, учёты, наблюдения производили по общепринятым методикам (Доспехов, 1985; Церлинг, 1990; Кидин и др., 2008).

Метод определения доз в опыте № 3 с учетом оптимальных уровней (ОУ; Ермохин, 1995) элементов питания в почве основан на формуле (1):

$$D = \frac{\text{Э}_0 - \text{Эф}}{b}, \quad (1)$$

где b – коэффициент интенсивности действия единицы внесенного минерального удобрения (1 кг д. в./га) на химический состав почвы (мг/кг), Э_0 и Эф – содержание элемента в почве оптимальное и фактическое, мг/кг.

Дозу на основе полевого опыта (ПО) рассчитывали по формуле (2):

$$D_n = \frac{D_o \cdot X_o}{X_n}, \quad (2)$$

где D_o – установленная оптимальная доза питательных веществ 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).

В исследованиях для оптимизации применения микроудобрений использовали интеграционную систему почвенно-растительной оперативной диагностики «ИСПРОД» (Ермохин, 1995), которая состоит из трех блоков: 1) почвенная диагностика; 2) растительная диагностика; 3) прогнозирование величины и качества растениеводческой продукции.

Химические анализы почв и растений проводили на кафедре агрохимии и почвоведения Омского ГАУ, в Сибирском НИИСХ, Центре агрохимической службы «Омский» общепринятыми методами (Кидин и др., 2008; Новицкий и др, 2009; Самофалова, Рогизная, 2013). В почвенных пробах определяли: гумус по Тюрину в модификации Симаковой, рН почвы потенциометрическим методом; ЕКО по Бобко и Аскинази в модификации Грабарова и Уваровой; плот-

ность твердой фазы пикнометрическим методом; нитратный азот по Грандваль-Ляжу; подвижный фосфор, обменный калий по Чирикову. 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. Сжигание растительных навесок проводили методом мокрого озоления по Пиневиц; общий азот определяли по Кьельдалю; фосфор по Дениже; калий – на пламенном фотометре. Определяли содержание белка (ГОСТ 10846-74), стекловидность зерна (ГОСТ 10987-79), клейковины (ГОСТ 27839-88). Биоэнергетическую и экономическую эффективность применения удобрений рассчитывали согласно рекомендаций Ю.И. Ермохина и А.Ф. Неклюдова (1994). Результаты исследований подвергнуты математической обработке (Доспехов, 1985).

3 ВЛИЯНИЕ МИКРОУДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Исследования выявили положительное действие цинковых удобрений в основное внесение на урожайность озимой пшеницы в зависимости от доз и фона (табл. 1). Наибольшая урожайность зерна 3,52 т/га сформировалась от Zn_8 на фоне $\text{N}_{30}\text{P}_{60}$ (на 0,31 т/га выше фона $\text{N}_{30}\text{P}_{60}$). При опудривании семян сульфатом цинка выявлено, что применение дозы 100 г соли на 100 кг семян не уступало основному внесению 8 кг/га, урожайность составила 3,48 т/га.

Эффективность опудривания семян озимой пшеницы цинком, медью и марганцем была неодинаковой (табл. 2). Наиболее эффективно применение цинка и марганца в дозе 100 соли на 100 кг семян – от цинка получена прибавка урожая зерна 0,44 т/га или 14,6% к фону $\text{N}_{30}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$, марганца – 0,54 т/га или 18,1 %. При опудривании солью меди лучший результат получен от дозы 50 г на 100 кг семян – соответственно 0,39 т/га и 13,1%.

В исследованиях установлен коэффициент интенсивности действия (b_1) единицы поступившего цинка в почву (кг д.в./га) на формирование величины урожая зерна – 0,038 т/га. Этот норматив позволяет проводить планирование прибавок урожая зерна. Зная, что для получения 1 т/га зерна пшеницы нужно 26 кг д.в. ($\frac{1\text{м/га}}{0,038\text{м/га}} = 26$) можно рассчитать прибавку урожая по формуле:(3):

$$\text{П} = \text{Д} / 26, \quad (3)$$

где П – планируемая прибавка урожая, т/га; Д – доза 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 b_1 позволяет спрогнозировать дозы внесения (кг/га) под озимую пшеницу по формуле (4):

$$\text{Д} = \text{П} / b_1. \quad (4)$$

**Таблица 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		%	
					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 не проводились.

**Таблица 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	–
НСР ₀₅ , т/га	0,21	0,16	0,17	0,18						

Примечание. *– исследования не проводились.

Фактически в наших опытах наилучшим было внесение Zn_8 на оптимальном азотно-фосфорном фоне. Исходя из формулы 2 при содержании цинка 0,54 мг/кг в слое почвы 0-30 см перед посевом озимой пшеницы, расчетная доза Zn (кг/га) может определяться по формуле (5):

$$D_n = \frac{8 \cdot 0,54}{X_n} \quad \text{или} \quad D_n = \frac{4,3}{Zn_{\text{мг/кг}}} \quad (5)$$

Для выявления влияния расчетных методов определения доз удобрений на основе полевого опыта (ПО) и оптимальных уровней (ОУ) проведены исследования по применению цинковых удобрений (табл. 3).

Таблица 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			

Наилучшими оказались дозы $Zn_{3,4}$ и $Zn_{6,6}$ на основе оптимальных уровней (ОУ), которые имели преимущество перед $Zn_{11,3}$ (ПО). Увеличение урожайности составило 0,60, 0,49 и 0,40 т/га соответственно (на фоне $N_{30}P_{60}$ – 2,61 т/га).

4. УПРАВЛЕНИЕ ПИТАНИЕМ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ОСНОВЕ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПОЧВЫ

Разработка нормативных параметров почвенной диагностики является неотъемлемой частью системы «ИСПРОД» (первый блок).

4.1 Связь величины урожая озимой пшеницы с содержанием подвижного цинка в почве

Внесение доз цинка от 4 до 12 кг/га способствовало увеличению содержания этого элемента в почве с 0,71 и 0,75 до 2,70 и 2,75 мг/кг соответственно – в зависимости от дозы и фона (табл. 4). Выявленный нормативный показатель b_2 (0,167 мг/кг) интенсивности действия 1 кг удобрения, поступившего в почву (Д, кг д.в./га) позволяет сделать прогноз накопления элемента в почве (С, мг/кг) при его начальном содержании в почве C_1 , мг/кг:

$$C = C_1 + Д \cdot b_2 \quad (8)$$

Для повышения концентрации подвижного цинка в почве на 1 мг/кг требуется применить Zn_6 ($1 \text{ мг/кг} : 0,167 \text{ мг/кг} = 6$). Отсюда расчет доз (кг/га) может проводиться по формуле (9):

$$D = (Zn_o - Zn_{\phi}) \cdot 6, \quad (9)$$

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

6 – требуется внести цинковых удобрений для увеличения содержания элемента на 1 мг/кг в слое почвы 0-30 см, кг/га.

В опытах наивысшая прибавка урожайности была получена 0,31 т/га при внесении Zn_8 . По формуле (8) можно сделать вывод об оптимальном уровне питания растений (С, мг/кг):

$$C = C_1 + D \cdot b_2 = 0,71 + 8 \cdot 0,167 = 2,04.$$

Следовательно, располагая оптимальным (Zn_o) и фактическим (Zn_{ϕ}) содержанием Zn в почве под озимую пшеницу, можно спрогнозировать прибавку урожая (П, т/га) по формуле (10) с учетом того, что 1 мг/кг подвижного Zn почвы обеспечивает получение дополнительно 0,23 т/га:

$$П = (Zn_o - Zn_{\phi}) \cdot 0,23, \quad (10)$$

Возможен расчет доз с учетом оптимальных уровней (ОУ, формула 11):

$$D = (Zn_o - Zn_{\phi}) / b_2. \quad (11)$$

Таблица 4 – 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	–	–	$y = 0,164x + 0,71$ $r = 0,79$ (6)
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	–	–	$y = 0,167x + 0,73$ $r = 0,81$ (7)
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.

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

В исследованиях определены агрохимические параметры, которые можно использовать для установления доз удобрений под озимую пшеницу расчетными методами (табл. 5).

**Таблица 5 – Нормативные агрохимические показатели
минерального питания озимой пшеницы**

Показатель	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu	Mn
Коэффициент использования элементов питания из почвы (КИП), %	68,0	18,0	10,0	3,0	2,5	0,15
Коэффициент использования элементов питания из удобрений (КИУ), %	–	16,0	–	0,33	–	–
Потребление для создания 1 т зерна, кг (NPK), г (Zn, Cu, Mn)	35	19	20	24	3,3	100
Азот текущей нитрификации (N _T), кг/га	90	–	–	–	–	–

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 (Церлинг, 1962; Сабинин, 1971; Болдырев, 1970, 1972; Ринькис, 1982; Ермохин, 1995, 2014 и др.). Поэтому в течение вегетации необходимо использовать растительную диагностику для корректировки питания озимой пшеницы (второй блок «ИСПРОД»).

5.1 Содержание макро- и микроэлементов в растениях при применении удобрений

Применение возрастающих доз цинка в основное внесение (опыт №1) от 4 до 8 кг/га способствовало увеличению количества общего азота в зерне озимой пшеницы. 1 кг д.в. цинка, внесенного в почву, увеличивает содержание общего азота в растениях пшеницы на 0,014% (фон N₃₀) и 0,020% (фон N₃₀P₆₀), т.е. проявляется синергизм между цинком и азотом. На поступление элемента в растение влияет не только его концентрация, но и других элементов (табл. 6).

Выявлены закономерности поступления микроэлементов в растения при внесении цинковых удобрений на различных фонах макроэлементов. Направленные взаимодействия между элементами зависят от уровня обеспеченности ими растений, что отмечали ранее К.П. Магницкий (1972), Ф. Эммерт (1964), Ю.И. Ермохин (1983, 1995). Внесение цинковых удобрений увеличивает содержание меди в растениях; марганца – уменьшает, цинка – в зависимости от макроэлементного фона (на фоне N₃₀P₆₀ – увеличивает, N₃₀ – увеличивает только при внесении Zn₄).

Таблица 6 – Схема действия цинка удобрений на концентрацию микроэлементов в растениях озимой пшеницы в течение вегетации на лугово-черноземной почве

Доза 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.

5.2 Оптимальное содержание и соотношение элементов в растениях

Проследив связь между содержанием макро- и микроэлементов в надземной массе в течение вегетации и урожаем, нами установлены оптимальные уровни содержания элементов и их соотношения (табл. 7 и 8).

Таблица 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

Таблица 8 – Оптимальное соотношение элементов в растениях озимой пшеницы в течение вегетации

Фаза развития	Уравнение баланса
Макроэлементы	
Всходы	$N = 6,5 \cdot P = 1 \cdot K,$ (12)
Кущение осеннее	$N = 6,8 \cdot P = 0,85 \cdot K,$ (13)
Кущение весеннее	$N = 9,2 \cdot P = 1,2 \cdot K,$ (14)
Выход в трубку	$N = 9,5 \cdot P = 1,05 \cdot K,$ (15)
Колошение	$N = 10 \cdot P = 1,5 \cdot K,$ (16)
Микроэлементы	
Всходы	$Mn = 14,0 \cdot Cu = 2,8 \cdot Zn,$ (17)
Кущение осеннее	$Mn = 17,0 \cdot Cu = 2,4 \cdot Zn,$ (18)
Кущение весеннее	$Mn = 16,0 \cdot Cu = 1,7 \cdot Zn,$ (19)
Выход в трубку	$Mn = 25,0 \cdot Cu = 3,3 \cdot Zn,$ (20)
Колошение	$Mn = 27,5 \cdot Cu = 3,9 \cdot Zn.$ (21)

Удобрения влияют на содержание и соотношение микроэлементов в растениях. Несбалансированное минеральное питание может не только не увеличить продуктивность культур, но снизить качество в результате повышенного или пониженного поступления макро- и микроэлементов в растения. Например, на фоне $N_{30}P_{60}$ опыта №3 (табл. 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 была ниже оптимального во все фазы развития. При этом содержание Cu и Mn – в пределах оптимума в растениях в фазы всходов, выхода в трубку и в соломе в уборку, в зерне же оно было ниже оптимального уровня. Недостаток цинка 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 в растениях 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).

Применение расчетной дозы на основе полевого опыта $Zn_{11,3}$ значительно повышало содержание Zn в растениях, уменьшало Cu и разнонаправленно изменяло концентрацию Mn. В результате несбалансированных условий питания сформировалась наименьшая урожайность (2,57 т/га).

Таблица 9 – Содержание микроэлементов в растениях озимой пшеницы в зависимости от расчетных доз цинковых удобрений в основное внесение, мг/кг сухого вещества (средние 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}	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}	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}	39,8	3,01	95,0	18,0	1,64	38,3	17,3	0,68	49,8	16,2	0,58	71,1

Зная оптимальную концентрацию элементов питания в растении и их уравновешенное состояние, можно прогнозировать действие и очередность внесения удобрений. При этом используется коэффициент потребности (Кп), показывающий, на сколько отклоняется фактическое содержание или соотношение элемента в растении от оптимального (22):

$$K_{п} = \frac{N : P, N : K, Zn : Cu, Zn : Mn \text{ и т. д. (оптимально)}}{N : P, N : K, Zn : Cu, Zn : Mn \text{ и т. д. (факт)}}, \quad (22)$$

и если $K_{п} > 1$ то растения нуждаются в данном элементе и тем сильнее, чем больше коэффициент. При $K_{п} < 1$ – потребность в этом элементе отсутствует. Наибольший Кп указывает на тот элемент, который находится в первом минимуме. Исходя из этого можно рассчитать дозу удобрений в подкормку (23):

$$D = K_{п} \cdot H, \quad (23)$$

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

6. КАЧЕСТВО И СТРУКТУРА УРОЖАЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МИКРОУДОБРЕНИЙ

6.1 Влияние микроудобрений на качество урожая озимой пшеницы

Прогноз качества урожая сельскохозяйственной культуры является неотъемлемой частью «ИСПРОД» (третий блок). При внесении цинковых удобрений (табл. 10) максимальное значение натурсы, белка и клейковины зерна отмечено в варианте Zn₁₀₀ на фоне N₃₀P₆₀ и составило соответственно 774 г/л; 14,6%; 27,6 %. Установлены зависимости содержания белка и цинка в зерне от обеспеченности цинком, с помощью которых можно прогнозировать эти показатели на ранних стадиях развития растений:

Таблица 10 – Показатели качества зерна озимой пшеницы в зависимости от применяемых цинковых удобрений (среднее 2008-2011 гг.)

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

Примечание. * – обработка семян г соли на 100 кг

- между дозой цинка в основное внесение (X, кг/га) и содержанием белка в зерне (Y₁ – фон N₃₀ и Y₂ – фон N₃₀P₆₀, %):

$$Y_1 = 0,075x + 15,17, \quad r = 0,84 \quad (24)$$

$$Y_2 = 0,125X + 14,83; \quad r = 0,79 \quad (25)$$

- содержанием цинка в зерне (Y₁ – фон N₃₀, Y₂ – фон N₃₀P₆₀, мг/кг) и доступного цинка в лугово-чернозёмной почве (X, мг/кг):

$$Y_1 = 0,90x + 11,82, \quad r = 0,82 \quad (26)$$

$$Y_2 = 3,22x + 9,18; \quad r = 0,80 \quad (27)$$

- содержанием цинка в зерне (Y₁ – фон N₃₀, Y₂ – фон N₃₀P₆₀, мг/кг) от доз цинкового удобрения (X, кг/га):

$$Y_1 = 0,16x + 12,25, \quad r = 0,79 \quad (28)$$

$$Y_2 = 0,50x + 11,63. \quad r = 0,81 \quad (29)$$

6.2 Влияние микроудобрений на структуру урожая озимой пшеницы

Наибольшая масса 1000 зерен при применении цинковых удобрений получена в вариантах Zn₈ и Zn₁₀₀ 47,8 и 49,4 г соответственно (на фоне N₃₀P₆₀ – 42,3 г). При опудривании семян наиболее благоприятные условия для развития растений складывались в варианте Mn₁₀₀: число продуктивных стеблей – 10 шт./м², озерненность главного колоса – 40 зерен, масса 1000 зерен – 44,0 г. Полученный результат хорошо коррелирует с высоким урожаем в данном варианте. Без применения микроудобрений показатели составили соответственно 8; 39; 41,8.

7. БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПОД ОЗИМУЮ ПШЕНИЦУ

7.1 Биоэнергетическая эффективность применения удобрений

Внесение цинка на фоне P_{60} способствовало увеличению энергетической эффективности применения удобрений – биоКПД составил в варианте $P_{60}Zn_8$ 3,92, а без внесения цинковых удобрений (вариант P_{60}) – 3,81; при опудривании семян микроэлементами наивысшей биоэнергетической эффективности удобрения $P_{60}K_{60}$ способствовало применению под озимую пшеницу Mn_{100} (3,46).

7.2 Экономическая эффективность применения удобрений

Чистый доход, полученный от применения удобрений, составил 491-1654 руб./га в зависимости от варианта. 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 %.

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: $D = (Zn_o - Zn_{ф}) \cdot 6$.

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): 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.

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. 7 и 8). Получены нормативные параметры расчета доз удобрений для применения в период вегетации по формуле $D = Kп \cdot H$.

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 24-29) 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 (Nт) – 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, P_2O_5 – 18, K_2O – 10, Zn – 3,0; Cu – 2,5; Mn – 0,15;
- удобрений (КИУ, %): 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;
- оптимальные уровни содержания и соотношения элементов питания в растениях (табл. 7 и 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: $D = (Zn_0 - Zn_f) \cdot 6$, кг/га;
 - б) для коррекции питания в период вегетации: $D = Kп \cdot H$, г/га.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых научных журналах и из базы Scopus

1. Попова В.И. Биоэнергетическая эффективность применения удобрений под озимые зерновые культуры в Западной Сибири / В.И. Попова, Е.П. Болдышева // Вестник Алтайского ГАУ. – 2011. – т. 84. – №10. – С. 10-15.
2. 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.
3. 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.
4. Бобренко И.А. Биоэнергетическая эффективность применения удобрений под озимую пшеницу в Западной Сибири / И.А. Бобренко, В.И. Попова, Н.В. Гоман // Вестник Омского ГАУ. – 2014. – №1(13). – С.3-9.
5. Бобренко И.А. Эффективность обработки семян микроэлементами (Cu, Mn, Zn) при возделывании озимой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири / И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, В.И. Попова // Омский научный вестник. – 2014. – №1(128). – С. 107–111.
6. Гоман Н. В. Влияние микроудобрений на структуру урожая озимой пшеницы / Н.В. Гоман, В.И. Попова, И.А. Бобренко // Вестник Красноярского ГАУ. – 2016. – №1. – С. 114-117.
7. Попова В.И. Применение цинковых удобрений при возделывании озимой пшеницы на лугово-черноземной почве Западной Сибири / В. И. Попова // Вестник Омского ГАУ. – 2016. – №1 (21). – С. 57-64.
8. 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.

В научных сборниках и материалах конференций

9. Михальская Н.В. Влияние цинковых удобрений на урожайность озимой пшеницы на лугово-черноземной почве Омского Прииртышья / Н.В. Михальская, В.И. Попова, И.А. Бобренко // Проблемы агрохимии, почвоведения и эко-

логии: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 45-летию факультета агрохимии, почвоведения и экологии Омского государственного аграрного университета. – Омск: Вариант-Омск. – 2009. – С. 80-84.

10. Попова В.И. Влияние микроудобрений на урожайность озимой пшеницы на лугово-черноземной почве лесостепи Омской области / В.И. Попова, М.Ю. Воробьева, М.Н. Репина // Современные проблемы агрохимии, почвоведения и экологии Омской области: сборник работ, посвященный 45-летию факультета агрохимии, почвоведения и экологии Омского государственного аграрного университета – Омск: Вариант-Омск, 2010. – С. 70-72.

11. Попова В.И. Оптимизация применений микроудобрений под озимые пшеницу и рожь на лугово-черноземной почве лесостепи Омской области / В.И. Попова, Е.П. Болдышева, Н.В. Михальская // Комплексное применение средств химизации в адаптивно-ландшафтном земледелии: материалы 44-й международной научной конференции молодых учёных и специалистов (ВНИИА). – М.: ВНИИА, 2010. – С. 231-234.

12. Болдышева Е.П. Оптимизация применения цинковых удобрений под озимые зерновые культуры на лугово-черноземной почве Омского Прииртышья / Е.П. Болдышева, В.И. Попова, Н.В. Михальская / Новейшие направления развития аграрной науки в работах молодых учёных: труды IV Международной научной конференции молодых учёных, посвященной 40-летию СО Россельхозакадемии (22-23 апреля 2010 г., пос. Краснообск) / Рос. акад. с.-х. наук. Сиб. регион. отд-ние: в 2 ч. – Новосибирск, 2010. – Ч. 1. – С. 34-37.

13. Эффективность основного внесения цинковых удобрений под озимые зерновые культуры на лугово-черноземной почве / Е.П. Болдышева, В.И. Попова, Н.В. Гоман, И.А. Бобренко // Диагностика и управление минеральным питанием растений: сборник материалов Международной научно-практической конференции. – Омск: Вариант-Омск, 2010. – С. 35-45.

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

15. Попова В.И. Влияние микроэлементов микроудобрений (Zn, Cu, Mn) на урожайность и качество озимой пшеницы в условиях Западной Сибири / В.И. Попова, Н.В. Гоман, И.А. Бобренко // Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий: материалы Международной научно-практической конференции. – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2011. – С. 258-265.

16. Бобренко И.А. Биоэнергетическая эффективность применения удобрений под озимую пшеницу в Западной Сибири / И.А. Бобренко, В.И. Попова, Н.В. Гоман // Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития: сборник научных трудов по материалам научно-практической конференции (9 марта 2013 г.), ч. 4. – Тамбов: изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. – С. 24-27.

17. Попова В.И. Биоэнергетическая эффективность применения макро-и микроудобрений под озимую пшеницу / В.И. Попова, Н.В. Гоман // II международная конференция «Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса»: сборник научных трудов. ГНУ СНИИЖК, Ставрополь, 2013. – т. 3. – вып. 6. – С. 219-221.

18. Попова В.И. Оптимизация применения микроудобрений под озимую пшеницу / В.И. Попова // V Всероссийская науч.-техн. конференция с международным участием «Россия молодая: передовые технологии – в промышленность!» (Омск, 12-14 нояб. 2013 г.): в 3 кн. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – С. 48-50.

19. Бобренко И.А. Оптимизация применения цинковых удобрений при возделывании озимой пшеницы на лугово-черноземной почве / И.А. Бобренко, В.И. Попова, Н.В. Гоман / III международная конференция «Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса»: сборник научных трудов. ГНУ СНИИЖК, Ставрополь, 2014. – Т. 2. – вып. 7. – С.11-15.

20. Попова В.И. Влияние микроудобрений на продуктивность озимой пшеницы при возделывании на лугово-черноземной почве в условиях Западной Сибири / В.И. Попова, Н.В. Гоман // Проблемы научно-технологической модернизации сельского хозяйства: производство, менеджмент, экономика: сборник трудов Международной научно-практической конференции обучающихся в магистратуре. – Институт экономики и финансов ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П.А. Столыпина. – Омск, 2014. – С. 80-84.

21. Попова В.И. Прогнозирование параметров цинкового питания растений озимой пшеницы / В.И. Попова, Н.В. Гоман, И.А. Бобренко // Перспективы развития науки и образования: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции (Тамбов, 30 мая 2015 г.): в 10 томах, т. 10. – 2015. – С. 99-102.

22. Попова В.И. Микроэлементный состав растений озимой пшеницы при внесении цинковых удобрений / В.И. Попова, Н.В. Гоман // Национальная научно-практическая конференция с международным участием «Экологические проблемы региона и пути их решения», проводимой в рамках Сибирского экологического форума «Эко-ВООМ» (13-15 октября 2016 г.). – Омск: ЛИТЕРА, 2016. – С. 269-275.

23. 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.

24. 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 окру-

жающей среды (Экологические чтения – 2017)». – Омск: ЛИТЕРА, 2017. – С. 229-232.

25. 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.

26. 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.

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