

На правах рукописи

УДК 631.445.2 :631.81 :631.1

ВИНОГРАДОВ
Вадим Вадимович

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИНКОВЫХ УДОБРЕНИЙ
ПОД ОЗИМУЮ ПШЕНИЦУ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ
СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ**

Специальность 06.01.04-агрохимия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва 2021

Работа выполнена в лаборатории оценки эффективности минеральных удобрений в основных природно-климатических зонах страны ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель: Аристархов Алексей Николаевич,
доктор биологических наук
Шафран Станислав Аронович
доктор сельскохозяйственных наук

Официальные оппоненты: **Шеуджен Асхад Хазретович**
доктор биологических наук, профессор,
академик РАН, Заслуженный деятель науки
Российской Федерации, ФГБОУ ВО «Кубан-
ский государственный аграрный университет»,
кафедра агрохимии, заведующий кафедрой
Верниченко Игорь Васильевич
доктор биологических наук, профессор
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тими-
ряева», кафедра агрономической, биологиче-
ской химии и радиологии, профессор кафедры

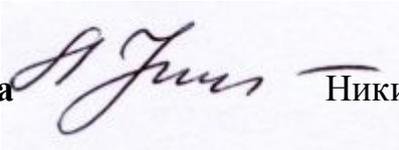
Ведущая организация: ФГБНУ «Федеральный исследовательский
центр «Немчиновка»

Защита диссертации состоится «17» июня 2021 г. в 16.00 час. на заседании диссертационного совета Д. 006.029.01 при ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова») по адресу:
127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31 а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова и на сайте https://vniia-pr.ru/upload/iblock/2e2/vinogradov_diss_29_03_2021.pdf

Автореферат разослан «___» _____ 2021 г.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31а, ученому секретарю диссертационного совета.
E-mail: dissovet_vniia@mail.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета  Никитина Любовь Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и основание для исследований. Проведенными исследованиями последних десятилетий установлено, что одним из наиболее острых факторов нарушения высокоэффективного функционирования целой агроэкосистемы является несбалансированное питание растений (Ринькис, 1982; Пейве, 1988; Ягодин, 1988; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Панасин, 1995; Аристархов, 2000; Ягодин, 2002; Сычев, Аристархов и др., 2009 и др.). Данные авторы подчеркивают острую необходимость решения проблемы содержания микроэлементов в основных типах почв страны путем оптимизации применения микроудобрений.

По данным мониторинга пахотных земель России 97.5 % (по состоянию на 01.01.2010 г.) почв характеризуются недостаточным содержанием подвижного цинка. При практически полном отсутствии применения цинковых удобрений наблюдаются отрицательная динамика содержания цинка в почвах. Площади почв с низким и средним содержанием цинка с 1988 к 2010 г. возросли с 94.5% до 97.5%. Содержание цинка в почвах в целом по РФ свидетельствует о повсеместной недостаточности цинка во всех основных сельскохозяйственных регионах страны, что доказывает необходимость незамедлительного решения данной проблемы (Аристархов, 2000; Сычев, Аристархов, Харитонов и др., 2009; Аристархов, 2011, 2012; Аристархов и др., 2012, 2013, 2014).

Средняя урожайность озимой пшеницы в условиях Нечерноземья составляет порядка 20-22 ц/га и менее, что обусловливается крайне низким уровнем использования традиционных (NPK) макроудобрений, а также микроудобрений, средств защиты от болезней и вредителей, производство же продовольственного зерна не превышает 50% валого сбора продукции (Ваулина, 2007). Однако, при правильном комплексном применении агрохимических приемов, методов и средств и соблюдении технологии выращивания озимой пшеницы на среднекультуренных дерново-подзолистых почвах Северо-Запада России возможно получить высокие урожаи зерна с хорошими показателями качества.

Микроудобрения могут способствовать повышению эффективности традиционных макроудобрений (NPK) и росту урожайности озимой пшеницы наравне с агротехническими и природными факторами. Эффективность применения цинковых удобрений изучена недостаточно, особенно под озимую пшеницу. Имеющиеся данные противоречивы и требуют дополнительных исследований. Перспективой в этом направлении является изучение эффективности новых форм, доз цинковых удобрений, способов их применения в условиях Северо-Запада с учетом экономической окупаемости и повышению показателей качества зерна.

Целью исследований является изучить эффективность применения различных форм, способов и доз цинковых удобрений под озимую пшеницу, возделываемую на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах Северо-Запада России.

Задачи исследований:

- изучить влияние цинковых удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы сорта Московская 39;
- установить наиболее эффективные формы, способы и дозы внесения цинковых удобрений под данную культуру;
- выявить влияние цинковых удобрений на биометрические показатели растений в зависимости от доз, форм и способов внесения цинковых удобрений;
- определить химический состав зерна и соломы, вынос питательных веществ и цинка (Zn) урожаями озимой пшеницы при использовании различных форм, способов и доз цинковых удобрений на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах;
- провести оценку баланса питательных веществ по вариантам опыта и окупаемости применения цинковых удобрений в сравнении с традиционными (NPK).

Научная новизна. Впервые выявлена эффективность применения цинковых микроудобрений под озимую пшеницу сорта Московская 39 на дерново-подзолистых почвах в зависимости от форм, способов и доз их внесения. Исследованиями показателей качества зерна установлен положительный эффект влияния цинковых удобрений на содержание белка, клейковины озимой пшеницы сорта Московская 39. Выявлено, что на величину прибавки урожайности зерна озимой пшеницы на фоне N90P90K90+N30 влияет новейшая форма цинкового удобрения Solu Mikro Zn-15 (комплексоната цинка на основе ЭДТА) в сравнении с традиционной солью цинка – ZnSO₄ (сульфатом цинка), особенно при их основном внесении в почву и при использовании некорневых подкормок в фазу кущения озимой пшеницы. Максимальный урожай зерна озимой пшеницы сорта Московская 39 за 2017-2019 г. исследований составил 35,1 ц/га. Данные микроудобрения способствовали хорошему росту и развитию растений путем усиления поступления основных элементов питания из почвы и удобрений в растения, что способствовало более высокой продуктивности, обеспечивая лучшую кустистость, увеличивая размер колоса и соответственно его озерненность, а в конечном итоге, урожайность и качество зерна озимой пшеницы сорта Московская 39. Исследованиями впервые показано, что окупаемость применения 300 кг/га минеральных макроудобрений NPK возрастала с 3,8 до 5,5-6,1 кг/кг на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Некорневые подкормки цинком повысили окупаемость минеральных удобрений NPK с 4,3-4,7 до 4,9-5,2 кг/кг. Применение цинковых удобрений и особенно их более перспективных

форм позволяет приблизиться к значениям окупаемости наиболее развитых в сельскохозяйственном отношении стран (10-11 кг/кг).

Практическая значимость работы. Научно обоснована целесообразность широкого применения цинковых удобрений под озимую пшеницу в Северо – Западном округе России в целях дополнительного получения урожая улучшенного качества. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования технологий комплексного применения агрохимических средств с участием цинковых удобрений, способствующих дополнительному получению товарного зерна с высокими показателями качества (белок, клейковина). Показано, что применение цинковых удобрений на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве показали их высокие значения почти на 2 порядка выше, чем окупаемость традиционных минеральных удобрений (NPK). При использовании некорневых подкормок была даже выше на три порядка. Полученные данные в опытах о влиянии цинковых микроудобрений на показатели качества зерна озимой пшеницы могут служить ориентиром для товаропроизводителей по внедрению на Северо-Западе России производства товарного зерна сортов озимой пшеницы.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Сравнительная эффективность применения традиционных и новых форм цинковых удобрений по озимую пшеницу сорта Московская 39.
2. Влияние цинковых удобрений на урожай и качество зерна озимой пшеницы, возделываемой на дерново-подзолистых почвах Северо-Запада России.
3. Влияние цинковых удобрений на химический состав растений озимой пшеницы и вынос питательных веществ урожаями озимой пшеницы.
4. Баланс цинка в различных вариантах опыта и окупаемость цинковых удобрений прибавкой урожая озимой пшеницы сорта Московская 39.

Апробация работы. Результаты исследований регулярно докладывались на 51-й и 52-й Международной научной конференции молодых ученых, специалистов – агрохимиков и экологов «Агроэкологические и экономические аспекты применения средств химизации в сельскохозяйственном производстве» в 2017-2018 г. (г. Москва), а также полученные результаты представлены в материалах 53-й Международной научной конференции молодых ученых, специалистов – агрохимиков и экологов «Оптимальное питание растений и восстановление плодородия почв в условиях ведения традиционной и органической систем земледелия» в 2019 г. (г. Москва).

Личный вклад автора. Соискатель непосредственно принимал участие в закладке и проведении полевых опытов, в обработке материалов исследований, выполнению анализов и подготовке работы к защите.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 печатных работы, в том числе 2 работы в изданиях рекомендованных ВАК РФ.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 132 страницах машинописного текста и состоит из введения, 3-х глав, выводов и приложений. Экспериментальный материал представлен в виде таблиц и рисунков. Список литературы включает 267 наименований, в том числе на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю Аристархову Алексею Николаевичу, доктору биологических наук, а также Шафрану Станиславу Ароновичу доктору сельскохозяйственных наук за руководство диссертационной работой, за предложения, критические замечания и ценные советы. Соискатель благодарит сотрудников ФГБНУ Псковского НИИСХ за помощь в проведении и закладки полевого опыта 2017-2019 г., специалистов ФГБУ ГСАС «Псковская» в проведении анализов и всех сотрудников ВНИИ агрохимии им.Д.Н. Прянишникова, которые оказывали помощь при написании диссертационной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Объекты и методы исследований

В качестве изучаемой культуры была выбрана озимая пшеница сорта Московская 39. Данный сорт отличается хорошей зимостойкостью, не поражается бурой ржавчиной (5-25%) и твердой головней, слабо поражается мучнистой росой (5-15%), превосходит по содержанию белка другие сорта на 1,5-2%, по клейковине на 4-6%. Сорт Московская 39 отзывчив на традиционные минеральные удобрения. Данные по влиянию на урожайность озимой пшеницы микроудобрений на дерново-подзолистых почвах особенно Северо-Запада России практически отсутствуют, а под изучаемую культуру их нет вообще.

Для реализации поставленных целей и задач закладка полевого опыта в период с 2017 по 2019 г. проводилась на опытных участках ФГБНУ Псковского НИИСХ. Перед посевом и закладкой полевых опытов отбирались образцы почв, которые исследовались в аккредитованной испытательной лаборатории почв, кормов, агрохимикатов, растительной и пищевой продукции ФГБУ ГСАС «Псковская».

Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва (табл. 1) до закладки опыта характеризовалась среднекислой реакцией среды, среднегумусированностью, высоким содержанием подвижного фосфора и калия, низким уровнем обменных оснований Са и Mg, а также низким содержанием подвижного Zn.

В почвах определяли: содержание гумуса по Тюрину (ГОСТ 26213-91), pH_{KCl} потенциометрический (ГОСТ 26483-85), гидролитическая кислотность по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91), обменные кальций и магний методом ЦИНАО (ГОСТ 26487-85), сумма поглощенных оснований по методу Каппена (ГОСТ 27821-88), подвижный цинк по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 50686-94).

1. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы перед закладкой опыта (2017-2019 г.)

| Слой почвы, см | Гумус, % | рН, сол | Нг, мг-экв./100 г почвы | Обменные основания, мгэкв./100 г почвы | | V, % | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Zn | Cu | Mn | Co |
|-----------------|----------|---------|-------------------------|--|-----|------|-------------------------------|------------------|-----|-----|------|-----|
| | | | | Ca | Mg | | | | | | | |
| 2017 г. | | | | | | | | | | | | |
| 0-20 | 2,1 | 4,9 | 3,2 | 3,4 | 0,4 | 53,9 | 202,5 | 123,8 | 0,7 | 1,9 | 46,2 | 0,3 |
| 2018 г. | | | | | | | | | | | | |
| 0-20 | 2,3 | 5,2 | 3,2 | 3,2 | 0,5 | 53,3 | 241,6 | 133,1 | 0,9 | 1,9 | 47,5 | 0,4 |
| 2019 г. | | | | | | | | | | | | |
| 0-20 | 2,2 | 5,1 | 3,1 | 3,1 | 0,4 | 53,5 | 226,7 | 129,3 | 0,8 | 2,0 | 45,1 | 0,3 |
| Среднее за 3 г. | | | | | | | | | | | | |
| 0-20 | 2,2 | 5,1 | 3,2 | 3,2 | 0,4 | 53,6 | 223,6 | 128,7 | 0,8 | 2,0 | 46,3 | 0,4 |

В зерне и соломе определяли: содержание общего азота по Кьедалу (ГОСТ 13996.4-93), содержание фосфора (ГОСТ 26657-97), калия (ГОСТ 30504-97) и цинка в вытяжках после мокрого озоления с использованием фотоколориметра и пламенного фотометра FAPHO-4. Цинк определяли атомноабсорбционным методом на новом поверенном приборе «Квант-2МТ». Содержание белка определяли расчетным методом по формуле (Nx5.7), клейковину по ГОСТу 13586.1-168.

Цинковые удобрения в опытах использовались в форме как традиционной – ZnSO₄ (сульфат цинка, W(Zn)=22,8% д.в.), так и новой наиболее перспективной – комплексоната цинка на основе ЭДТА (Solu Mikro – Zn 15) производства Буйского химического завода совместно с итальянской фирмой Amati. Данные удобрения в дозах 1,5; 3; 5 и 7,5 кг/га д.в. в почву вносили вручную и смешивали с песком для равномерного распределения. При обработке посевов в период фазы кушения использовали в виде раствора в дозах 100; 150 и 250 г/га препарата. В качестве фоновых минеральных удобрений (NPK) использовалась азофоска марки 16:16:16 с дозой внесения 90 кг/га. Аммонийная селитра (38% д.в.) применялась в период весенней подкормки в фазу кушения. Размеры делянок в опыте составили 6x2 = 12 м², повторность 4-х кратная. Учетная площадь делянки составляла 10 м². Посевы зерна проводились в первой декаде сентября, уборка в 3-й декаде августа. В 2019 г. уборка проводилась в 3-й декаде июля.

Агротехнические мероприятия включали в себя: предпосевную культивацию на глубину 10-12 см (III декада августа), предпосевное прикатывание почвы (I декада сентября), а также посев озимой пшеницы сорта Московская 39 с нормой высева 246-250 кг/га. Ранней весной осуществлялась подкормка растений азотными удобрениями (аммонийная селитра) из расчета 30 кг/га во время возобновления вегетации (13,04-21,04). Во время выхода в трубку растений

озимой пшеницы осуществлялась обработка гербицидными препаратами: магнум (3 г/га) и гербитокс (0,5 л/га).

Статистическую обработку опытных данных проводили методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа по Б.А. Доспехову (1979) с использованием программы STRAZ.

Погодные условия Псковской области за период проведения исследований (2017-2019 г.) варьировали в связи с переносом холодных воздушных масс из районов Арктики, а теплых – с Атлантического океана и Балтийского моря. Изменялось также и количество осадков, которое не всегда было оптимальным по сравнению со среднемноголетними показателями (табл. 2).

2. Метеорологическая характеристика периода вегетации опыта

| Годы исследования | Сумма осадков, мм | | | | Температура, °С | | | | ГТК | | | |
|--------------------|-------------------|------|------|---------|-----------------|------|------|---------|------|------|------|---------|
| | май | июнь | июль | ав-густ | май | июнь | июль | ав-густ | май | июнь | июль | ав-густ |
| 2017 | 26 | 69 | 50 | 147 | 10.6 | 13.9 | 16.2 | 16.4 | 1.09 | 1.83 | 0.99 | 2.88 |
| 2018 | 18 | 49 | 45 | 96 | 15.8 | 16.3 | 20.1 | 18.2 | 0.43 | 1.01 | 0.73 | 1.69 |
| 2019 | 56 | 22 | 103 | 62 | 12.4 | 19.1 | 16.4 | 16.3 | 1.71 | 0.39 | 2.04 | 1.24 |
| Среднемного-летние | 55 | 92 | 76 | 93 | 12.2 | 15.8 | 18.3 | 16.5 | 1.5 | 1.94 | 1.38 | 1.88 |

По количеству осадков 2017 г. был рекордным. Критические значения влажности почвы были в июне, что негативно сказалось на периоде выхода в трубку озимой пшеницы и периодом быстрого роста, но прохладная погода июля и своевременно выпавшие осадки способствовали выравниванию стеблестоя и интенсивному росту изучаемой культуры. В третью декаду августа выпало 101 мм осадков (более чем в 3 раза выше нормы), что затрудняло уборку урожая озимой пшеницы. 2018 г. характеризовался засушливыми погодными условиями по сравнению с предыдущим. В третьей декаде мая 2018 г. выпало всего 0,5 мм осадков, что негативно сказывалось на росте и развитии растений по сравнению с 2017 г. ГТК за май 2018 года составил 0,43 против 1,09 (выпало 26 мм и 18 мм осадков соответственно). Задерживался период трубкования. Переход с осени 2018 по июль 2019 г. был благоприятным, растения лучше росли и развивались. ГТК за 2019 г. – 1,8. 2019 г. был наиболее благоприятным для роста и развития изучаемой культуры.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эффективность применения цинковых удобрений на урожайность озимой пшеницы

Материалы трехлетних исследований в период 2017-2019 г. (табл. 3,4; рис. 1, 2) по сравнительной эффективности применения различных способов и доз внесения комплексоната цинка и традиционной соли – $ZnSO_4$ (сульфат цинка) на фоне минеральных удобрений $N90P90K90+N30$ (весенняя подкормка) показали, что при основном внесении цинка в почву уровень прибавок урожая зерна относительно фона достигал в зависимости от доз применения: 2,8-6,9 ц/га при использовании комплексоната цинка и 1,5-5,1 ц/га его минеральной соли, т.е. разница в урожаях составила 1,3-1,8 ц/га в пользу комплексоната цинка. Преимущество комплексоната цинка на основе хелатирующего агента ЭДТА над традиционной минеральной солью выявилось также и при обработке посевов в период кущения раствором в дозах 100; 150; 250 г/га препарата. Некорневые подкормки обеспечивали соответственно прибавки относительно фона на 2,6-4,1 ц/га при использовании комплексоната цинка и 1,5-3,2 ц/га при использовании $ZnSO_4$. Как видно из данных трехлетних исследований (табл. 3,4; рис. 1, 2) средняя урожайность зерна озимой пшеницы сорта Московская 39 на контрольных вариантах дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (без внесения удобрений) находилась в пределах 15-18 ц/га (среднее 16,8 ц/га за 3 г.), в то время как, на фоне NPK составила 28,2 ц/га. В опытах использовалась ранее неизученная доза (7,5 кг/га) внесения в почву, как комплексоната цинка, так и традиционной минеральной соли ($ZnSO_4$). Данная доза комплексоната цинка обеспечила получение наибольшего урожая в 2019 г., который составил 38 ц/га (прибавка от Zn к фону 9,6 ц/га), в то время как действие минеральной соли ($ZnSO_4$) было менее эффективно (34,5 ц/га – прибавка к фону 6,1 ц/га).

В среднем максимальная доза 7,5 кг/га (табл. 4) при основном внесении цинка в почву за 3 г. исследований повысила уровень прибавки урожая зерна по отношению к фону NPK на 6,9 ц/га (24,5% к фону) при использовании комплексоната цинка и на 5,1 ц/га (18,1% к фону) при использовании стандартной минеральной соли ($ZnSO_4$).

Установленное преимущество хелатирующего агента ЭДТА на основе микроэлемента Zn, показывает, что данная форма микроудобрения быстрее связывается с почвенным субстратом и по-видимому влияет на сбалансированное питание растений. Максимальный урожай зерна озимой пшеницы сорта Московская 39 за 2017-2019 г. составил 35,1 ц/га

**3. Влияние различных форм, способов и доз цинковых удобрений
на урожайность озимой пшеницы сорта Московская 39**

| №№ | Варианты опыта | Урожай, ц/га | | | Прибавка урожайности от фона НРК и Zn, ц/га | | |
|---|--------------------|--------------|------|------|--|------|------|
| | | 2017 | 2018 | 2019 | 2017 | 2018 | 2019 |
| 1 | Контроль | 17,5 | 15,0 | 18,0 | - | - | - |
| 2 | N90P90K90+ N30-фон | 28,3 | 27,9 | 28,4 | 10,8 | 12,9 | 10,4 |
| Внесение Zn в почву, кг/га элемента | | | | | | | |
| 3 | Фон +Zn 1,5к | 31,4 | 31,3 | 30,2 | 3,1 | 3,4 | 1,8 |
| 4 | Фон +Zn 3,0к | 32,2 | 32,6 | 33,0 | 3,9 | 4,7 | 4,6 |
| 5 | Фон +Zn 5,0к | 31,9 | 33,1 | 34,5 | 3,6 | 5,2 | 6,1 |
| 6 | Фон +Zn 7,5к | 32,4 | 34,9 | 38,0 | 4,1 | 7,0 | 9,6 |
| 7 | Фон +Zn 1,5с | 30,0 | 29,7 | 29,5 | 1,7 | 1,8 | 1,1 |
| 8 | Фон +Zn 3,0с | 30,8 | 31,1 | 31,2 | 2,5 | 3,2 | 2,8 |
| 9 | Фон +Zn 5,0с | 31,5 | 31,9 | 32,1 | 3,2 | 4,0 | 3,7 |
| 10 | Фон +Zn 7,5с | 32,1 | 33,4 | 34,5 | 3,8 | 5,5 | 6,1 |
| Некорневая подкормка Zn, г/га препарата | | | | | | | |
| 11 | Фон +Zn 100к | 30,4 | 30,8 | 31,2 | 2,1 | 2,9 | 2,8 |
| 12 | Фон +Zn 150к | 31,4 | 31,8 | 32,7 | 3,1 | 3,9 | 4,3 |
| 13 | Фон +Zn 250к | 32,5 | 32,2 | 32,2 | 4,2 | 4,3 | 3,8 |
| 14 | Фон +Zn 100с | 29,6 | 29,6 | 30,0 | 1,3 | 1,7 | 1,6 |
| 15 | Фон +Zn 150с | 30,3 | 30,1 | 31,1 | 2,0 | 2,2 | 2,7 |
| 16 | Фон +Zn 250с | 30,5 | 30,8 | 32,8 | 2,2 | 2,9 | 4,4 |

НСР 0.5(общее)₂₀₁₇1,4 / НСР 0.5(общее)₂₀₁₈1,2/НСР 0.5(общее)₂₀₁₉1,3 НСР за 3 года = 1,6

**4. Урожайность озимой пшеницы сорта Московская 39 в среднем
за 2017-2019 г.**

| №№ | Вариант опыта | Урожайность, ц/га | Прибавка от Zn, ц/га | Прибавка от Zn, % |
|---|--------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| 1 | Контроль | 16,8 | - | - |
| 2 | N90P90K90+ N30-фон | 28,2 | 11,4* | 67,9* |
| Внесение Zn в почву, кг/га элемента | | | | |
| 3 | Фон +Zn 1,5к | 31,0 | 2,8 | 9,9 |
| 4 | Фон +Zn 3,0к | 32,6 | 4,4 | 15,6 |
| 5 | Фон +Zn 5,0к | 33,2 | 5,0 | 17,7 |
| 6 | Фон +Zn 7,5к | 35,1 | 6,9 | 24,5 |
| 7 | Фон +Zn 1,5с | 29,7 | 1,5 | 5,3 |
| 8 | Фон +Zn 3,0с | 31,0 | 2,8 | 9,9 |
| 9 | Фон +Zn 5,0с | 31,8 | 3,6 | 12,8 |
| 10 | Фон +Zn 7,5с | 33,3 | 5,1 | 18,1 |
| Некорневая подкормка Zn, г/га препарата | | | | |
| 11 | Фон +Zn 100к | 30,8 | 2,6 | 9,2 |
| 12 | Фон +Zn 150к | 32,0 | 3,8 | 13,5 |
| 13 | Фон +Zn 250к | 32,3 | 4,1 | 14,5 |
| 14 | Фон +Zn 100с | 29,7 | 1,5 | 5,3 |
| 15 | Фон +Zn 150с | 30,5 | 2,3 | 8,2 |
| 16 | Фон +Zn 250с | 31,4 | 3,2 | 11,3 |

* – прибавка урожайности от фона (НРК)

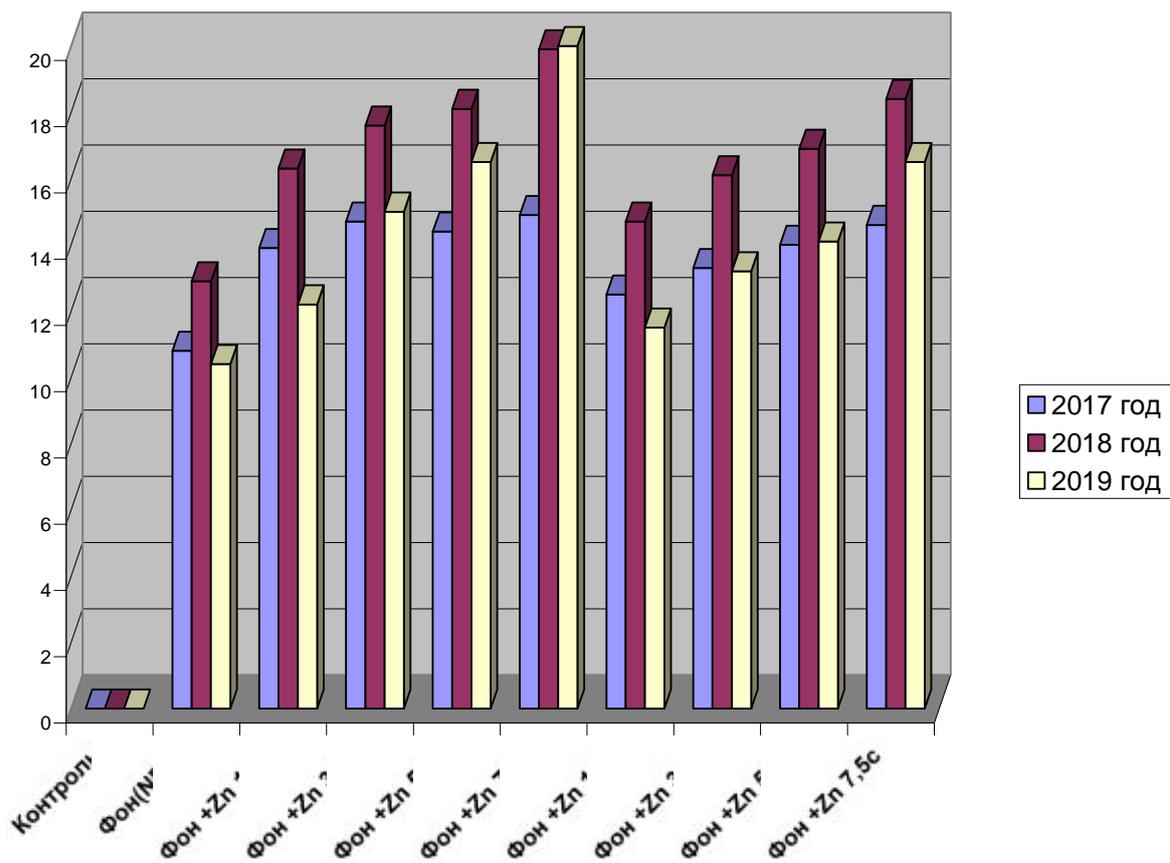


Рис. 1. Прибавка урожая зерна озимой пшеницы (ц/га) при внесении цинка в почву

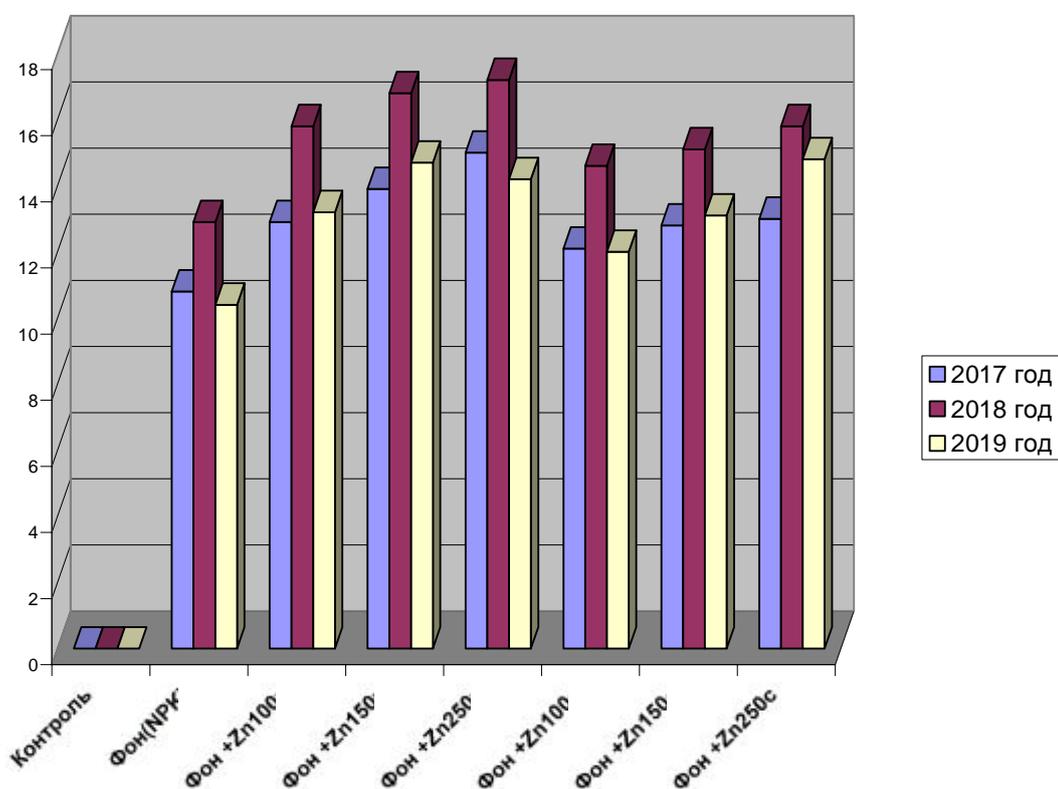


Рис. 2. Прибавка урожая зерна озимой пшеницы (ц/га) при опрыскивании цинком

По материалам трехлетних исследований по эффективности применения цинковых микроудобрений установлено, что наиболее эффективным в условиях проведения полевых опытов способом внесения микроэлемента цинка является основное его внесение в почву в форме как комплексоната, так и сульфата цинка в дозах 3-7,5 кг/га. Наиболее перспективной формой внесения удобрения является комплексонат цинка на основе ЭДТА.

Биометрические показатели растений озимой пшеницы

При изучении структуры урожая зерна за 3 г. проведенных исследований (2017-2019 г.) установлено, что применение цинковых удобрений оказало положительный эффект на рост и развитие растений озимой пшеницы сорта Московская 39, а соответственно и прирост прибавки урожая зерна. Так в условиях проведенных исследований увеличивалось: количество растений с 109-135 шт/м², количество продуктивных стеблей с 456 до 607 шт/м², высота растений с 57 до 76 см (соответственно и размер колоса), а также коэффициент кущения с 3,8 до 4,5 ст/раст. (табл. 5).

5. Структура урожая озимой пшеницы (2017-2019 г.)

| Вариант | Количество растений, шт/м ² | | | Количество продуктивных стеблей, шт/м ² | | | Коэффициент кущения, ст/раст | | | Высота растений, см | | |
|---|--|---------|---------|--|---------|---------|------------------------------|---------|---------|---------------------|---------|---------|
| | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. |
| Контроль | 101 | 99 | 111 | 305 | 308 | 365 | 3,0 | 3,1 | 3,3 | 45 | 47 | 48 |
| Фон(NPK) | 105 | 103 | 115 | 398 | 403 | 425 | 3,8 | 3,9 | 3,7 | 50 | 53 | 55 |
| Внесение комплексоната цинка в почву, кг/га | | | | | | | | | | | | |
| Фон +Zn 1,5к | 109 | 107 | 118 | 467 | 439 | 470 | 4,3 | 4,1 | 4,0 | 62 | 64 | 62 |
| Фон +Zn 3,0к | 118 | 112 | 122 | 520 | 483 | 512 | 4,4 | 4,3 | 4,2 | 61 | 65 | 69 |
| Фон +Zn 5,0к | 124 | 123 | 128 | 545 | 527 | 550 | 4,4 | 4,3 | 4,3 | 69 | 72 | 75 |
| Фон +Zn 7,5к | 126 | 128 | 135 | 567 | 589 | 607 | 4,5 | 4,6 | 4,5 | 73 | 75 | 76 |
| Внесение сульфата цинка в почву, кг/га | | | | | | | | | | | | |
| Фон +Zn 1,5с | 120 | 114 | 118 | 456 | 445 | 448 | 3,8 | 3,9 | 3,8 | 57 | 60 | 59 |
| Фон +Zn 3,0с | 127 | 117 | 120 | 497 | 480 | 469 | 3,9 | 4,1 | 3,9 | 64 | 68 | 64 |
| Фон +Zn 5,0с | 128 | 125 | 126 | 540 | 512 | 505 | 4,2 | 4,1 | 4,0 | 66 | 69 | 66 |
| Фон +Zn 7,5с | 132 | 128 | 130 | 580 | 550 | 559 | 4,4 | 4,3 | 4,3 | 68 | 71 | 73 |
| Некорневая подкормка комплексонатом цинка, г/га | | | | | | | | | | | | |
| Фон +Zn100к | 122 | 120 | 126 | 475 | 483 | 492 | 3,9 | 4,0 | 3,9 | 56 | 57 | 56 |
| Фон +Zn150к | 133 | 128 | 129 | 545 | 525 | 516 | 4,1 | 4,1 | 4,0 | 65 | 69 | 67 |
| Фон +Zn250к | 150 | 139 | 132 | 615 | 598 | 541 | 4,1 | 4,3 | 4,1 | 63 | 67 | 69 |
| Некорневая подкормка сульфатом цинка, г/га | | | | | | | | | | | | |
| Фон +Zn100с | 108 | 107 | 110 | 443 | 429 | 451 | 4,1 | 4,0 | 4,1 | 55 | 59 | 55 |
| Фон +Zn150с | 129 | 121 | 118 | 556 | 495 | 472 | 4,3 | 4,1 | 4,0 | 58 | 64 | 62 |
| Фон +Zn250с | 140 | 134 | 129 | 605 | 548 | 518 | 4,3 | 4,1 | 4,0 | 61 | 69 | 67 |

Совокупность этих показателей свидетельствует о том, что удобрение озимой пшеницы сорта Московская 39 оказывает положительный эффект на рост и развитие растений, повышая урожайность данной культуры за счет не только сбалансированного питания цинком, но и лучшего поглощения основных элементов питания из почвы и удобрений.

Влияние комплексоната и сульфата цинка на химический состав зерна и соломы, вынос цинка урожаем и его баланс

Материалы наших исследований по содержанию питательных элементов в основной и побочной продукции (N,P,K и Zn) за г. проведения полевых опытов представлены в таблицах 6-8. Наиболее характерным является то, что цинковые удобрения способствуют увеличению поступления в растения азота. Особенно это выражено при использовании комплексоната цинка как при внесении его в почву, так и при подкормках. Так в 2017 г. в зерне озимой пшеницы сорта Московская 39 содержание азота на контрольных вариантах составило 2,51 %. На фоне NPK данный показатель отличался всего на 0,08%, а на вариантах с цинковыми удобрениями содержание азота возросло по отношению к фону на 0,07-0,37% при основном способе внесения и на 0,17-0,53% при некорневых подкормках. Аналогичная тенденция по содержанию азота выявлена и в побочной продукции – соломе. Хотя следует особо подчеркнуть, что подобная динамика при основном внесении цинковых удобрений выражена менее четко, в то время, как при опрыскивании растений в период кущения наблюдается аналогичная ситуация. Это свидетельствует о том, что комплексонат цинка действительно лучше взаимодействует с почвой и ионы цинка быстрее проникают в растения, что способствует ускорению биохимических процессов.

Использование разных способов и доз обеих форм цинковых удобрений практически не привело к изменению содержания фосфора в зерне и соломе по отношению к фону. Содержание калия в соломе варьировало и выявилась неустойчивая тенденция к возрастанию его при применении изучаемых доз обеими формами цинка. Установленная зависимость, по-видимому, обусловлена ростовым разбавлением на почвенном участке с рН 4,90 (2017 г. исследования), а также обилие выпавших осадков привело к снижению калия в побочной продукции из-за его вымывания из почвенного субстрата.

Следует отметить, что наибольшие величины содержания основных элементов питания (NPK) характерны для зерна – N 2,18-2,73 %; P₂O₅ 0,51-0,56%; K₂O 0,64-0,70, а для соломы эти показатели намного ниже и они, соответственно, составляют – N 0,79-1,11; P₂O₅ 0,28-0,34; K₂O 0,62-0,73. Эти показатели находятся в пределах ранее установленных в исследованиях других авторов по контрольному и фоновому вариантам. Влияние цинковых удобрений на допол-

нительное поступление в растения азота отмечалось в литературных источниках (Olsen, 1972; Кабата – Пендиас и др., 1989 и др.).

б. Среднее содержание элементов питания в зерне и соломе озимой пшеницы сорта Московская 39 (в среднем за 2017-2019 г.), %, Zn (мг/кг)

| Вариант | N | | P ₂ O ₅ | | K ₂ O | | Zn | |
|-----------------------|-------|--------|-------------------------------|--------|------------------|--------|-------|--------|
| | зерно | солома | зерно | солома | зерно | солома | зерно | солома |
| Контроль | 2,18 | 0,79 | 0,51 | 0,29 | 0,67 | 0,69 | 25,87 | 8,08 |
| N90P90K90+ N30-фон | 2,30 | 0,85 | 0,49 | 0,30 | 0,65 | 0,67 | 26,98 | 8,90 |
| Фон +Zn 1,5к | 2,52 | 0,91 | 0,51 | 0,33 | 0,65 | 0,69 | 30,83 | 11,44 |
| Фон +Zn 3,0к | 2,46 | 1,00 | 0,51 | 0,33 | 0,64 | 0,68 | 32,59 | 12,29 |
| Фон +Zn 5,0к | 2,40 | 0,95 | 0,52 | 0,30 | 0,68 | 0,68 | 33,63 | 12,57 |
| Фон +Zn 7,5к | 2,57 | 0,98 | 0,52 | 0,34 | 0,68 | 0,68 | 36,28 | 12,88 |
| Фон +Zn 1,5с | 2,37 | 0,91 | 0,51 | 0,29 | 0,65 | 0,66 | 31,93 | 11,39 |
| Фон +Zn 3,0с | 2,41 | 0,93 | 0,53 | 0,31 | 0,67 | 0,62 | 32,29 | 12,26 |
| Фон +Zn 5,0с | 2,53 | 1,04 | 0,52 | 0,34 | 0,65 | 0,68 | 33,39 | 13,33 |
| Фон +Zn 7,5с | 2,56 | 1,11 | 0,53 | 0,31 | 0,65 | 0,61 | 35,91 | 12,78 |
| Фон +Zn 100к | 2,51 | 0,95 | 0,55 | 0,28 | 0,68 | 0,72 | 28,53 | 11,55 |
| Фон +Zn 150к | 2,65 | 1,05 | 0,54 | 0,31 | 0,64 | 0,63 | 30,67 | 11,49 |
| Фон +Zn 250к | 2,73 | 1,11 | 0,56 | 0,31 | 0,69 | 0,73 | 31,58 | 12,76 |
| Фон +Zn 100с | 2,50 | 0,95 | 0,53 | 0,28 | 0,66 | 0,72 | 30,33 | 10,87 |
| Фон +Zn 150с | 2,62 | 0,96 | 0,51 | 0,30 | 0,64 | 0,71 | 31,16 | 10,56 |
| Фон +Zn 250с | 2,52 | 0,97 | 0,54 | 0,29 | 0,70 | 0,66 | 32,08 | 11,34 |

В условиях наших исследований установлено, что содержание цинка в зерне озимой пшеницы по вариантам опыта при основном внесении его колебалось от 25,87 до 36,28 мг/кг. Максимальная новая изучаемая доза 7,5 кг/га комплексоната цинка на основе ЭДТА вызвала наибольшее накопление Zn в зерне и соломе (36,28 мг/кг соответственно), в то время как содержание азота (среднее за 3 года) составило 2,58%, что, по-видимому, связано с большей подвижностью цинка по сравнению с той же дозой сульфата цинка (ZnSO₄) на почве с более высокой кислотностью. На данный процесс накопления цинка в зерне может влиять и антагонизм Zn и Ca при поступлении ионов в растения на почве с менее выраженной кислой реакцией (табл. б).

В целом следует подчеркнуть, что применение цинковых удобрений при основном способе внесения их в форме комплексоната цинка (Solu Mikro – Zn 15) наиболее четко оказывало влияние на возрастание содержания цинка в зерне, чем традиционная минеральная соль (ZnSO₄). Некорневые подкормки обеими формами удобрений практически не оказали устойчивого влияния на содержание Zn в зерне.

7. Вынос N, P₂O₅, K₂O урожаем озимой пшеницы сорта Московская 39 при применении комплексоната цинка и сульфата цинка с учетом побочной продукции (соломы), кг/га

| N, п/п | 2017 | | | 2018 | | | 2019 | | | Среднее за 2017-2019 г. | | |
|--|------|-------------------------------|------------------|------|-------------------------------|------------------|------|-------------------------------|------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Контроль (без удобрений) | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 58 | 16 | 22 | 42 | 10 | 20 | 44 | 14 | 29 | 48 | 13 | 24 |
| Фон (NPK) | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 91 | 25 | 34 | 83 | 21 | 39 | 73 | 19 | 37 | 82 | 22 | 37 |
| Внесение комплексоната Zn в почву | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 113 | 25 | 34 | 92 | 25 | 41 | 83 | 23 | 44 | 96 | 24 | 40 |
| 4 | 108 | 26 | 35 | 102 | 26 | 42 | 98 | 24 | 47 | 103 | 25 | 41 |
| 5 | 102 | 24 | 36 | 99 | 27 | 46 | 106 | 26 | 50 | 102 | 26 | 44 |
| 6 | 106 | 26 | 38 | 115 | 31 | 51 | 126 | 28 | 52 | 116 | 28 | 47 |
| Внесение сульфата Zn в почву | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 103 | 24 | 33 | 89 | 23 | 40 | 81 | 20 | 42 | 91 | 23 | 38 |
| 8 | 102 | 24 | 35 | 98 | 26 | 43 | 88 | 24 | 40 | 96 | 25 | 39 |
| 9 | 122 | 28 | 36 | 104 | 27 | 45 | 97 | 24 | 47 | 108 | 26 | 43 |
| 10 | 125 | 26 | 34 | 115 | 29 | 49 | 106 | 26 | 43 | 115 | 27 | 42 |
| Некорневая подкормка комплексонатом Zn | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 118 | 28 | 40 | 94 | 23 | 42 | 90 | 23 | 48 | 101 | 25 | 43 |
| 12 | 123 | 26 | 37 | 104 | 26 | 44 | 101 | 24 | 39 | 109 | 25 | 40 |
| 13 | 133 | 29 | 38 | 110 | 28 | 46 | 111 | 25 | 54 | 118 | 27 | 46 |
| Некорневая подкормка сульфатом Zn | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 117 | 26 | 37 | 96 | 24 | 43 | 84 | 21 | 50 | 99 | 24 | 43 |
| 15 | 119 | 25 | 39 | 101 | 27 | 46 | 95 | 22 | 44 | 105 | 25 | 43 |
| 16 | 108 | 28 | 36 | 100 | 26 | 47 | 104 | 23 | 48 | 104 | 26 | 44 |

Наши исследования показали, что вынос Zn урожаями в условиях 2017-2019 г. (табл. 8) зависит от форм, доз и способов применения цинковых микроудобрений. Общий вынос Zn при урожаях зерна озимой пшеницы сорта Московская 39 31-35 ц/га может достигать 120-160 г/га при основном внесении цинка и 117-134 г/га при подкормке. Минимальный вынос элемента был в вариантах опыта без минеральных удобрений – 53,9, а на фоне N90P90K90+N30 составил 93,1 г/га.

Применение цинковых удобрений за 3 года исследований (2017-2019 г.) способствует характерному повышению выноса NPK (табл. 7). Так при основном внесении в почву Zn в виде комплексоната и сульфата вынос NPK составляет (кг/га):

- по N: 82 на фоне; 91-116 в вариантах с цинковыми удобрениями;
- по P₂O₅: 22 на фоне; 23-28 в вариантах с цинковыми удобрениями;
- по K₂O: 37 на фоне; 38-47 в вариантах с цинковыми удобрениями;

Установлено, что вынос элемента азота находится в пределах от 91 до 116 кг/га при основном внесении цинковых удобрений и 99-118 кг/га при внекорневых подкормках по сравнению с фоном (82 кг/га). На контрольных вариантах

опыта вынос азота был непостоянным. По-видимому, данную тенденцию можно объяснить изменением погодных условий, запасом азота в опытном участке, а также количеством выпавших осадков в результате промывного режима дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы.

8. Вынос Zn урожаем озимой пшеницы сорта Московская 39 с учетом побочной продукции (соломы), г/га

| Вариант | 2017 | 2018 | 2019 | Среднее за 2017-2019 г. |
|---|-------|-------|-------|-------------------------|
| Контроль | 57,4 | 46,8 | 57,7 | 53,9 |
| N90P90K90+N30-фон | 96,6 | 88,6 | 94,0 | 93,1 |
| Внесение комплексоната Zn в почву кг/га | | | | |
| Фон +Zn 1,5к | 126,3 | 112,9 | 116,5 | 118,6 |
| Фон +Zn 3,0к | 134,4 | 122,4 | 143,0 | 133,3 |
| Фон +Zn 5,0к | 139,4 | 127,5 | 156,1 | 141,0 |
| Фон +Zn 7,5к | 142,4 | 144,0 | 194,8 | 160,4 |
| Внесение сульфата Zn в почву кг/га | | | | |
| Фон +Zn 1,5с | 139,5 | 108,0 | 112,0 | 119,9 |
| Фон +Zn 3,0с | 142,0 | 118,1 | 125,3 | 128,5 |
| Фон +Zn 5,0с | 156,8 | 129,8 | 136,7 | 141,1 |
| Фон +Zn 7,5с | 160,5 | 135,4 | 160,3 | 152,1 |
| Некорневая подкормка комплексонатом Zn г/га | | | | |
| Фон +Zn 100к | 130,3 | 108,3 | 112,0 | 116,9 |
| Фон +Zn 150к | 126,9 | 123,2 | 123,4 | 124,5 |
| Фон +Zn 250к | 146,2 | 133,7 | 130,1 | 136,7 |
| Некорневая подкормка сульфатом Zn г/га | | | | |
| Фон +Zn 100с | 136,3 | 104,3 | 113,3 | 118,0 |
| Фон +Zn 150с | 128,4 | 118,1 | 119,4 | 122,0 |
| Фон +Zn 250с | 134,4 | 123,5 | 128,2 | 128,7 |

Приведенные выше данные доказательно свидетельствуют о том, что цинковые удобрения оказывают большое влияние на более сбалансированное питание растений озимой пшеницы, что неоднократно наблюдалось многими исследователями.

Целесообразно рассмотреть еще один важный показатель – вынос питательных элементов 1 т урожая зерна озимой пшеницы сорта Московская 39 в условиях Псковской области.

В условиях проведенных исследований (2017-2019 г.) на фоновых вариантах вынос элементов питания составил, соответственно: по N 29,2 кг/т; по P₂O₅ 7,6 кг/т; по K₂O 12,9 кг/т. вынос Zn с урожаем озимой пшеницы колеблется в пределах от 38,5 до 45,8 г/т (на фоне NPK 33,0 г/т соответственно) при основном способе внесения в почву, а при некорневых подкормках от 37,9 до 41,6 г/т соответственно. Исследованиями установлено, что в вариантах с цинковыми удобрениями (табл. 9) вынос питательных элементов заметно увеличивался и

составил по N: от 30,5 до 34,9 кг/т, в том числе по P₂O₅ 7,6-8,3 кг/т; по K₂O 12,9-14,6 кг/т. Максимальный уровень выноса элемента Zn выявился при основном способе внесения и составил 45,8 г/т, а при некорневых подкормках – 41,6 г/т.

Определение баланса элементов питания имеет важное научно-практическое значение. Нашими исследованиями установлено, что в отсутствии применения цинковых удобрений, баланс цинка складывается отрицательным (табл. 10). На исследуемых опытных участках с дерново-подзолистой почвой в условиях 2017-2019 г. дефицитность ежегодного баланса по цинку составила –0,1 г/га. Практически не восполняют баланс и некорневые подкормки 0.0-0,1 г/га, в то время как вносимые в опытах цинковые удобрения основным способом в дозах 1,5-7,5 кг/га обеспечивают устойчивый положительный баланс этого элемента в пределах 1,4-7,3 г/га. Баланс азота, фосфора и калия в условиях 2017-2019 г. был отрицательным на контрольных делянках опыта.

9. Вынос питательных элементов 1 т урожая зерна озимой пшеницы сорта Московская 39 с учетом побочной продукции (соломы), кг/т, Zn (г/т) за 2017-2019 г.

| Вариант | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Zn |
|---|------|-------------------------------|------------------|------|
| Контроль | 28,3 | 7,9 | 14,1 | 32,0 |
| N90P90K90+N30-фон | 29,2 | 7,6 | 12,9 | 33,0 |
| Внесение комплексоната Zn в почву кг/га | | | | |
| Фон +Zn 1,5к | 31,2 | 7,9 | 12,9 | 38,5 |
| Фон +Zn 3,0к | 32,0 | 8,0 | 12,8 | 41,3 |
| Фон +Zn 5,0к | 31,3 | 7,9 | 13,4 | 43,0 |
| Фон +Zn 7,5к | 33,0 | 8,2 | 13,4 | 45,4 |
| Внесение сульфата Zn в почву кг/га | | | | |
| Фон +Zn 1,5с | 30,5 | 7,6 | 12,9 | 40,0 |
| Фон +Zn 3,0с | 31,2 | 8,1 | 12,7 | 41,6 |
| Фон +Zn 5,0с | 33,9 | 8,4 | 13,5 | 44,3 |
| Фон +Zn 7,5с | 34,9 | 8,2 | 12,7 | 45,8 |
| Некорневая подкормка комплексонатом Zn г/га | | | | |
| Фон +Zn 100к | 32,6 | 8,0 | 14,0 | 37,9 |
| Фон +Zn 150к | 34,1 | 8,0 | 12,4 | 38,8 |
| Фон +Zn 250к | 36,0 | 8,3 | 14,0 | 41,6 |
| Некорневая подкормка сульфатом Zn г/га | | | | |
| Фон +Zn 100с | 33,2 | 8,0 | 14,6 | 39,6 |
| Фон +Zn 150с | 34,2 | 8,1 | 14,0 | 39,6 |
| Фон +Zn 250с | 33,0 | 8,0 | 13,7 | 40,8 |

10. Баланс питательных элементов (NPK) кг/га и цинка (Zn) г/га в среднем за 2017-2019 г.

| Вариант | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Zn |
|---|-----|-------------------------------|------------------|------|
| Контроль | -48 | -13 | -24 | -0,1 |
| N90P90K90+N30-фон | 38 | 69 | 54 | -0,1 |
| Внесение комплексоната Zn в почву кг/га | | | | |
| Фон +Zn 1,5к | 24 | 66 | 51 | 1,4 |
| Фон +Zn 3,0к | 17 | 64 | 49 | 2,9 |
| Фон +Zn 5,0к | 18 | 64 | 46 | 4,9 |
| Фон +Zn 7,5к | 4 | 61 | 43 | 7,3 |
| Внесение сульфата Zn в почву кг/га | | | | |
| Фон +Zn 1,5с | 29 | 67 | 52 | 1,4 |
| Фон +Zn 3,0с | 24 | 65 | 51 | 2,9 |
| Фон +Zn 5,0с | 12 | 63 | 47 | 4,9 |
| Фон +Zn 7,5с | 4 | 63 | 48 | 7,3 |
| Некорневая подкормка комплексонатом Zn г/га | | | | |
| Фон +Zn 100к | 19 | 65 | 47 | 0.0 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Фон +Zn 150к | 11 | 65 | 50 | 0.0 |
| Фон +Zn 250к | 2 | 63 | 44 | 0.1 |
| Некорневая подкормка сульфатом Zn г/га | | | | |
| Фон +Zn 100с | 21 | 66 | 47 | 0.0 |
| Фон +Zn 150с | 15 | 65 | 47 | 0.0 |
| Фон +Zn 250с | 16 | 65 | 47 | 0.1 |

Проведенными ранее исследованиями баланса микроэлементов в отдельных регионах страны, также зафиксирована его отрицательная направленность (Панасин, 1995; Подколзин и др., 2002; Середа и др., 2014).

Нами установлено, что при основном способе внесения цинка как при применении комплексоната и сульфата цинка баланс по цинку возрастает от 1,4 до 7,3 и, как показывают данные (табл. 10), не особо изменялся по годам. Данная тенденция говорит о преимуществе использования цинковых удобрений в качестве основного способа внесения в почву.

Влияние цинковых удобрений на содержания белка в зерне озимой пшеницы сорта Московская 39

Влияние цинковых удобрений на продуктивность пшеницы новых перспективных сортов еще изучены в малой степени, поскольку химический состав зерна и особенно его показатели качества в литературных источниках противоречивы, редки, а порой и трудно объясняемые (Аристархов 2000; Ягодин, 2002 и др.).

По материалам наших исследований (2017-2019 г.) установлено, что внесение цинка в почву (кг/га д.в.), а также обработка посевов растворами цинко-

вых удобрений (г/га препарата) увеличивает содержание белка в зерне озимой пшеницы сорта Московская 39, поскольку, как отмечалось ранее, возрастает поступление доступного азота растениям. В связи с этим влияние минеральных удобрений (фон – NPK) по сравнению с контролем повышает содержание белка в зерне и на его фоне использование форм, способов и доз цинковых микроудобрений способствует еще большему поступлению азота в растения. В результате сформированное дополнительное количество белка может улучшить и показатели качества зерна озимой пшеницы. В среднем за 3 г. проведения полевых опытов (табл. 11) изучаемой культуры содержание белка на контрольных вариантах в условиях Северо-Западного Нечерноземья составило 12,45 %. На фоне NPK данный показатель возрос всего на 0,66%, а на вариантах с цинковыми удобрениями содержание белка по отношению к фону (NPK) повысилось на 0,59-1,54% (компексонат цинка) и на 0,4-1,48% (сульфат цинка) при основном способе внесения их в почву. Некорневые подкормки увеличили его содержание на 1,14-1,84% при опрыскивании в фазу кущения сульфатом цинка и на 1,2-2,43% при использовании новой формы комплексоната цинка на основе ЭДТА. Целесообразно подчеркнуть действие максимальных доз препаратов, поскольку именно максимальная доза заметно влияла, как на урожай озимой пшеницы, так и на показатели качества.

11. Влияние различных форм, способов и доз цинковых удобрений на содержание белка (% сух.в.) в зерне озимой пшеницы сорта Московская 39

| Вариант | 2017 | 2018 | 2019 | Среднее за 2017-2019гг. |
|--|-------|-------|-------|-------------------------|
| Контроль | 14,31 | 12,20 | 10,83 | 12,45 |
| N90P90K90+N30-фон | 14,76 | 13,28 | 11,29 | 13,11 |
| Внесение комплексоната Zn в почву, кг/га | | | | |
| Фон +Zn 1,5к | 16,87 | 13,57 | 12,71 | 14,38 |
| Фон +Zn 3,0к | 15,16 | 13,79 | 13,05 | 14,00 |
| Фон +Zn 5,0к | 14,36 | 13,34 | 13,39 | 13,70 |
| Фон +Zn 7,5к | 14,82 | 14,36 | 14,76 | 14,65 |
| Внесение сульфата Zn в почву, кг/га | | | | |
| Фон +Zn 1,5с | 15,22 | 13,22 | 12,08 | 13,51 |
| Фон +Zn 3,0с | 15,16 | 13,85 | 12,19 | 13,73 |
| Фон +Zn 5,0с | 16,32 | 14,31 | 12,65 | 14,43 |
| Фон +Zn 7,5с | 16,42 | 14,48 | 12,88 | 14,59 |
| Некорневая подкормка комплексонатом Zn, г/га | | | | |
| Фон +Zn 100к | 16,76 | 13,51 | 12,65 | 14,31 |
| Фон +Zn 150к | 17,56 | 13,97 | 13,79 | 15,11 |
| Фон +Zn 250к | 17,78 | 14,31 | 14,54 | 15,54 |
| Некорневая подкормка сульфатом Zn, г/га | | | | |
| Фон +Zn 100с | 17,21 | 13,45 | 12,08 | 14,25 |
| Фон +Zn 150с | 17,73 | 13,62 | 13,51 | 14,95 |
| Фон +Zn 250с | 15,73 | 13,51 | 13,79 | 14,34 |

12. Влияние различных форм, способов и доз цинковых удобрений на прибавку содержания белка % от фона в зерне озимой пшеницы сорта Московская 39

| Вариант | 2017 | 2018 | 2019 | Среднее за 2017-2019гг. |
|--|-------|-------|------|-------------------------|
| Контроль | - | - | - | - |
| N90P90K90+N30-фон | 0,45 | 1,08 | 0,46 | 0,66 |
| Внесение комплексоната Zn в почву, кг/га | | | | |
| Фон +Zn 1,5к | 2,11 | 0,29 | 1,42 | 1,27 |
| Фон +Zn 3,0к | 0,40 | 0,51 | 1,76 | 0,89 |
| Фон +Zn 5,0к | -0,40 | 0,06 | 2,10 | 0,59 |
| Фон +Zn 7,5к | 0,06 | 1,08 | 3,47 | 1,54 |
| Внесение сульфата Zn в почву, кг/га | | | | |
| Фон +Zn 1,5с | 0,46 | -0,06 | 0,79 | 0,4 |
| Фон +Zn 3,0с | 0,40 | 0,57 | 0,90 | 0,62 |
| Фон +Zn 5,0с | 1,56 | 1,03 | 1,36 | 1,32 |
| Фон +Zn 7,5с | 1,66 | 1,20 | 1,59 | 1,48 |
| Некорневая подкормка комплексонатом Zn, г/га | | | | |
| Фон +Zn 100к | 2,00 | 0,23 | 1,39 | 1,20 |
| Фон +Zn 150к | 2,80 | 0,69 | 2,50 | 2,00 |
| Фон +Zn 250к | 3,02 | 1,03 | 3,25 | 2,43 |
| Некорневая подкормка сульфатом Zn, г/га | | | | |
| Фон +Zn 100с | 2,45 | 0,17 | 0,79 | 1,14 |
| Фон +Zn 150с | 2,97 | 0,34 | 2,22 | 1,84 |
| Фон +Zn 250с | 0,97 | 0,23 | 2,50 | 1,23 |

Полученные данные (табл. 12) показывают, что наибольшая прибавка содержания белка по отношению к фону (NPK) наблюдалась в вариантах с максимальными дозами цинковых микроудобрений (7,5 кг/га) при внесении их в почву и особенно при использовании новой формы комплексоната цинка при некорневых подкормках. Так, в 2017 г. максимальная прибавка содержания белка при опрыскивании посевов наблюдалась при дозе 250 г/га препарата и составила 3,02% по отношению к фону (NPK), в 2018 г. данный показатель был ниже и составил всего 1,03%, в то время как от фона (NPK) по отношению к контрольному варианту прибавка была 1,08% против 0,45-0,46% соответственно (2017 и 2019 г. исследования).

Нами установлено, что традиционные минеральные удобрения (NPK) дают хорошую прибавку содержания белка в зерне, а на их фоне использование различных форм, способов и доз цинковых микроудобрений способствует формированию дополнительного количества белка в зерне.

Натура зерна, содержание клейковины и ее качество

Эффективность применяемых агрохимических приемов повышения урожая озимой пшеницы обуславливается не только прибавками урожая по отно-

шению к контролю, но и качеством получаемого в процессе урожая зерна. К таким параметрам можно отнести содержание белка, содержание клейковины, натура, стекловидность и др.

При увеличении содержания общего белка в зерне пшеницы сорта Московская 39 возрастает и количество клейковины. Материалы трехлетних испытаний (2017-2019 г.) по влиянию цинковых удобрений на качество зерна озимой пшеницы представлены в таблице 13.

13. Натура зерна, содержание клейковины и ее качество

| Вариант | Натура зерна, г/л | | | Общая стекловидность, % | | | Содержание клейковины (% сух. вещ.) | | | Прибавка от Zn к фону (%) | ИДК, ед. шк. |
|---|-------------------|---------|---------|-------------------------|---------|---------|-------------------------------------|---------|---------|---------------------------|-----------------|
| | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. | Среднее за 3 г. | Среднее за 3 г. |
| Контроль | 635 | 650 | 680 | 37 | 39 | 40 | 18 | 20 | 19 | - | 58 |
| Фон(NPK) | 680 | 699 | 705 | 40 | 41 | 41 | 20 | 22 | 21 | 2* | 50 |
| Внесение комплексоната цинка в почву, кг/га | | | | | | | | | | | |
| Фон +Zn 1,5к | 700 | 705 | 708 | 40 | 41 | 42 | 21 | 23 | 23 | 1,3 | 55 |
| Фон +Zn 3,0к | 705 | 709 | 710 | 41 | 40 | 42 | 21 | 23 | 22 | 1,0 | 60 |
| Фон +Zn 5,0к | 702 | 707 | 715 | 41 | 42 | 41 | 24 | 26 | 25 | 4,0 | 60 |
| Фон +Zn 7,5к | 709 | 715 | 720 | 42 | 44 | 44 | 25 | 26 | 26 | 4,7 | 70 |
| Внесение сульфата цинка в почву, кг/га | | | | | | | | | | | |
| Фон +Zn 1,5с | 698 | 703 | 707 | 40 | 40 | 41 | 20 | 23 | 22 | 0,7 | 50 |
| Фон +Zn 3,0с | 705 | 702 | 705 | 41 | 42 | 41 | 21 | 24 | 22 | 1,3 | 55 |
| Фон +Zn 5,0с | 709 | 708 | 710 | 42 | 42 | 43 | 22 | 24 | 23 | 2,0 | 63 |
| Фон +Zn 7,5с | 711 | 710 | 712 | 43 | 44 | 43 | 23 | 23 | 24 | 2,3 | 69 |
| Некорневая подкормка комплексонатом цинка, г/га | | | | | | | | | | | |
| Фон +Zn100к | 705 | 711 | 708 | 41 | 42 | 43 | 21 | 23 | 23 | 1,3 | 50 |
| Фон +Zn150к | 706 | 704 | 714 | 41 | 42 | 42 | 22 | 24 | 23 | 2,0 | 52 |
| Фон +Zn250к | 710 | 711 | 735 | 43 | 44 | 44 | 24 | 27 | 27 | 3,7 | 53 |
| Некорневая подкормка сульфатом цинка, г/га | | | | | | | | | | | |
| Фон +Zn100с | 695 | 709 | 704 | 40 | 41 | 41 | 22 | 23 | 22 | 1,3 | 48 |
| Фон +Zn150с | 705 | 706 | 710 | 41 | 42 | 42 | 23 | 25 | 24 | 3,0 | 43 |
| Фон +Zn250с | 707 | 708 | 715 | 41 | 42 | 43 | 23 | 23 | 27 | 3,3 | 53 |

* – прибавка содержания клейковины от фона (NPK)

Установлено, что по вариантам опыта показатель содержания клейковины колеблется от 19 до 25,5%, т.е. полученное зерно может быть оценено по-разному, от слабого до среднего. Необходимо отметить, что цинковые удобрения при внесении в почву в дозах 1,5-7,5 кг/га в форме комплексоната цинка наиболее обеспечили относительно фона NPK дополнительный прирост содержания клейковины на 1-4,5% по сравнению с сульфатом цинка (0,5-2,0% сух. в. соответственно). Традиционные минеральные соли цинка ($ZnSO_4$) при основном способе применения действовали несколько слабее, чем комплексонат цинка (Solu Mikro – Zn 15). При этом выявлена приоритетность влияния на этот показатель качества зерна основного способа внесения цинка (в почву).

Теоретическое обоснование более слабого действия сульфата цинка состоит в том, что комплексонат, попадая на листья растений озимой пшеницы, действует как детергент (этот препарат смачивает поверхность листьев, размягчает восковой слой и быстрее проникает через устьица в сосудистую систему питания растений).

Таким образом, исследованиями доказано, что в условиях Северо-Западного Нечерноземья можно получить зерно с клейковиной более 24%. Также опытами установлено, что это достигается на почвах с благоприятными агрохимическими показателями и благоприятными почвенно-климатическими условиями.

Окупаемость применения цинковых удобрений под озимую пшеницу

Одной из важных задач, стоящих перед сельхозтоваропроизводителями является рациональное использование, как макро-, так и микроудобрений для получения максимально возможных прибавок урожая зерна. Целесообразно подчеркнуть, что окупаемость применения цинковых микроудобрений под различные сельскохозяйственные культуры в литературных источниках практически нет, хотя расширение информации по данной тематике позволит объяснить недооценку эффективности применения традиционных макроудобрений (NPK) и цинкосодержащих на основе наиболее перспективных форм ЭДТА.

Агрономическая эффективность использования минеральных удобрений (NPK) отражает действие изучаемых факторов на величину урожайности озимой пшеницы сорта Московская 39 и ее качество зерна. Исходным показателем для определения эффективности удобрений является величина прибавки урожая за счет действия удобрений и окупаемость удобрений дополнительным урожаем сельскохозяйственной продукции (Чекмарев, Лукманов, 2015).

За годы проведенных исследований (2017-2019 г.) расчеты окупаемости использования цинковых микроудобрений на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве показали их высокие значения почти на 2 порядка выше, чем окупаемость традиционных минеральных макроудобрений (NPK) (табл. 14).

14. Окупаемость NPK и цинковых удобрений урожаями зерна озимой пшеницы сорта Московская 39 на дерново-подзолистой почве (средние данные 2017-2019 г.)

| Вариант | Прибавки от NPK+Zn, ц/га | Окупаемость NPK, кг/кг | Прибавки от Zn, ц/га | Окупаемость Zn, кг/кг* |
|--|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| Контроль | - | - | - | - |
| N90P90K90+ N30-фон | 11,4 | 3,8 | - | - |
| Внесение комплексоната Zn в почву кг/га | | | | |
| Фон +Zn 1,5к | 14,2 | 4,7 | 2,8 | 187 |
| Фон +Zn 3,0к | 15,8 | 5,3 | 4,4 | 147 |
| Фон +Zn 5,0к | 16,4 | 5,5 | 5,0 | 100 |
| Фон +Zn 7,5к | 18,3 | 6,1 | 6,9 | 92 |
| Внесение сульфата Zn в почву кг/га | | | | |
| Фон +Zn 1,5с | 12,9 | 4,3 | 1,5 | 100 |
| Фон +Zn 3,0с | 14,2 | 4,7 | 2,8 | 93 |
| Фон +Zn 5,0с | 15,0 | 5,0 | 3,6 | 72 |
| Фон +Zn 7,5с | 16,5 | 5,5 | 5,1 | 68 |
| Некорневая подкормка комплексонатом Zn г/га* | | | | |
| Фон +Zn 100к | 14,0 | 4,7 | 2,6 | 2600 |
| Фон +Zn 150к | 15,2 | 5,1 | 3,8 | 2533 |
| Фон +Zn 250к | 15,5 | 5,2 | 4,1 | 1640 |
| Некорневая подкормка сульфатом Zn г/га* | | | | |
| Фон +Zn 100с | 12,9 | 4,3 | 1,5 | 1500 |
| Фон +Zn 150с | 13,7 | 4,6 | 2,3 | 1533 |
| Фон +Zn 250с | 14,6 | 4,9 | 3,2 | 1280 |

* – при использовании препарата Zn в г/га окупаемость в г/кг

Целесообразно отметить, что цинковые удобрения на основе ЭДТА окупались заметно выше, чем традиционная минеральная соль сульфата цинка ($ZnSO_4$), а высокие значения окупаемости некорневых подкормок могут быть объяснены использованием низких доз применяемых препаратов. Особо следует подчеркнуть ранее не отмечаемый исследователями факт, что комплексное применение традиционных NPK и цинка способствует более эффективному их использованию. В условиях проведенных исследований с озимой пшеницей сорта Московская 39 (2017-2019 г.) окупаемость применения 300 кг/га минеральных макроудобрений NPK возрастала с 3,8 до 5,5-6,1 кг/кг на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Некорневые подкормки цинком повысили окупаемость минеральных удобрений NPK с 4,3-4,7 до 4,9-5,2 кг/кг.

Таким образом, по полученным данным исследований можно сделать вывод, что применяя изучаемые препараты удобрений в комплексе с NPK вероятнее всего можно приблизиться к значениям окупаемости наиболее развитых в сельскохозяйственном отношении стран (10-11 кг/га).

ВЫВОДЫ

1. Материалами проведенных исследований с цинковыми удобрениями на дерново-подзолистой почве показано, что озимая пшеница сорта Московская 39 отлично отзывается не только на традиционные минеральные удобрения, но и на цинковые удобрения. Озимая пшеница сорта Московская 39 при комплексном применении удобрений (NPK+Zn) способна обеспечить получение устойчивых по годам урожаев товарного зерна на уровне 32-38 ц/га. При этом применение цинковых удобрений на фоне N90P90K90+N30 (весенняя подкормка) обеспечивало повышение урожая зерна пшеницы не на 10-15%, как считалось ранее, а намного выше – на 12-25% в зависимости от форм цинковых удобрений, доз и способов их применения.

2. Новая форма цинкового микроудобрения – комплексопат цинка Solu Mikro – Zn 15 (на основе ЭДТА) – обеспечила получение более высокого урожая зерна и его прибавки в сравнении с минеральной солью на основе сульфата цинка. Наибольший эффект от обеих форм цинковых удобрений установлен при основном внесении в почву 3-7,5 кг/га д.в., а при подкормках – 150-250 г/га препарата, особенно от использования перспективной формы Solu Mikro – Zn 15.

3. Использование цинковых удобрений при внесении в почву привело к получению более высокой прибавки урожая зерна в сравнении с некорневыми подкормками. Разница при применении комплексопата цинка в урожаях составила от 0,7-3,5 ц/га при основном внесении и 1,2-2,4 ц/га при подкормке по сравнению с сульфатом цинка ($ZnSO_4$). Максимальный урожай зерна озимой пшеницы сорта Московская 39 в среднем за 3 г. проведенных исследований (2017-2019 г.) составил 35,1 ц/га.

4. Применение цинковых удобрений способствовало улучшению качества зерна. На дерново-подзолистой почве содержание сырого протеина в зерне при основном внесении комплексопата цинка по сравнению с фоном NPK увеличилось с 14,38 до 14,65% , а клейковины с 23 до 26%. Аналогичные изменения происходили и при подкормках. Оба способа применения цинковых удобрений повышали качественные показатели зерна озимой пшеницы.

5. Повышение урожая и качества зерна озимой пшеницы происходило за счет улучшенного роста и развития растений (высота растений, размер колоса, количество продуктивных стеблей, продуктивная кустистость растений). Совокупность данных показателей говорит о том, что цинковые удобрения оказывают положительный эффект на развитие и рост растений, способствуют увеличению урожайности озимой пшеницы.

6. Изучение биометрических показателей растений озимой пшеницы в годы проведенных исследований показало, что применение цинковых удобрений

способствует увеличению высоты растений с 62 до 76 см по отношению к фону НРК, количество растений находилось в пределах 492-541 шт/м² при опрыскивании растений комплексонатом цинка и 451-518 шт/м² при использовании сульфата цинка.

7. Окупаемость цинковых микроудобрений при их внесении в почву превышала на 2 порядка окупаемость минеральных НРК, а при некорневых подкормках была заметно выш. Комплексонаты цинка по данным показателям существенно превосходили сульфат цинка. Установлено, что цинковые микроудобрения повысили окупаемость минеральных удобрений (НРК) прибавками урожая зерна (2,5-4,3 ц/га) на 2,8-6,9 кг/кг (примерно на 35-43%).

Предложение производству

На дерново-подзолистых почвах Северо-Западного Нечерноземья с низким содержанием подвижного цинка (<2 мг/кг) рекомендуется под озимую пшеницу сорта Московская 39 применять цинковые удобрения в дозах 3-7,5 кг д.в./га при основном способе внесения и 150-250 г/га препаратов при подкормках. При этом следует учитывать, что основной способ внесения цинка агрохимически более эффективен, чем некорневые подкормки, так как обеспечивает питание растений цинком не только в год внесения, но и в последующие годы, т.е. имеет последствие (до 3-х и более лет). Тем не менее в современной земледелии по экономическим соображениям некорневые подкормки цинком также рекомендуют для широкого использования. Применение цинковых удобрений заметно окупается прибавками урожая зерна и позволит повысить также и окупаемость традиционных минеральных удобрений на 2,8-6,9 кг/кг (примерно на 35-43%).

Список опубликованных работ по теме диссертации

Публикация в изданиях из перечня Российских рецензируемых научных журналов, в которых изложены основные научные результаты исследований.

1. А.Н. Аристархов, Н.А. Кирпичников, В.В. Виноградов. Эффективность применения цинковых удобрений под озимую пшеницу // Плодородие, 2019, №2. – С. 7-11. DOI: 10.25680/S19948603.2019.107.02

2. А.Н. Аристархов., В.В. Виноградов., Т.А. Яковлева. Эффективность разных форм и доз цинковых удобрений при внесении под яровую и озимую пшеницу (*Triticum aestivum* L.) в Нечерноземье // Проблемы агрохимии и экологии, 2019, №4. – С. 39-42. DOI: 10.26178/АЕ.2019.17.13.004

Публикации в других изданиях

3. *Виноградов В.В.* Отзывчивость озимой пшеницы на применение различных форм цинковых удобрений в комплексе с минеральными в почвенно-климатических условиях Северо-Западного Нечерноземья // Агрэкологические и экономические аспекты применения средств химизации в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства / Материалы 51-й Международной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов. Москва: ВНИИ агрохимии, 2017. – С. 17-22.

4. *Виноградов В.В.* Влияние различных форм и способов применения цинковых удобрений в комплексе с минеральными на продуктивность озимой пшеницы в почвенно-климатических условиях Северо-Запада // Агрэкологические и экономические аспекты применения средств химизации в условиях биологизации и экологизации сельскохозяйственного производства / Материалы 52-й Международной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков. Москва: ВНИИ агрохимии, 2018. – С. 46-49.

5. *Виноградов В.В.* Эффективность различных форм, доз и способов применения цинковых удобрений в комплексе с минеральными на продуктивность и качество зерна озимой пшеницы в почвенно-климатических условиях Северо-Запада // Оптимальное питание растений и восстановление плодородия почв в условиях ведения традиционной и органической систем земледелия / Материалы 53-й Международной очно-заочной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов. Москва: ВНИИ агрохимии, 2019. – С. 39-45.