

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

*На правах рукописи*

**Болдышева Елена Павловна**

**ДИАГНОСТИКА И ОПТИМИЗАЦИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО  
ПИТАНИЯ ОЗИМОЙ РЖИ НА ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЁМНОЙ ПОЧВЕ  
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

06.01.04 - агрохимия

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:  
доктор сельскохозяйственных наук  
Бобренко И.А.

Омск - 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>1 БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ ОЗИМОЙ РЖИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ).....</b>	<b>10</b>
1.1 История, значение и биологические особенности озимой ржи.....	10
1.2 Особенности минерального питания озимой ржи.....	12
1.3 Содержание микроэлементов в почве.....	14
1.4 Физиологическая роль микроэлементов.....	18
1.5 Влияние микроудобрений на продуктивность культурных растений....	22
1.6 Диагностика минерального питания растений.....	28
<b>2 ОБЪЕКТЫ, МЕТОДИКА И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>33</b>
2.1 Метеорологические условия.....	34
2.2 Агрохимическая характеристика почвы.....	44
2.3 Общие сведения о методике полевого опыта.....	46
<b>3 ДИАГНОСТИКА ПОТРЕБНОСТИ ОЗИМОЙ РЖИ В УДОБРЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ПОЛЕВОГО ОПЫТА.....</b>	<b>50</b>
3.1 Применение микроудобрений и урожайность зерна озимой ржи.....	51
3.2 Влияние микроудобрений на структуру урожая озимой ржи.....	60
3.3 Метод определения доз цинковых удобрений на основе данных полевого опыта.....	62
<b>4 ПОЧВЕННАЯ ДИАГНОСТИКА ПОТРЕБНОСТИ ОЗИМОЙ РЖИ В МИКРОУДОБРЕНИЯХ .....</b>	<b>65</b>
4.1 Влияние удобрений на содержание микроэлементов в почве.....	65
4.2 Связь величины урожая озимой ржи с содержанием цинка в почве и уровни обеспеченности им растений.....	70
4.3 Нормативные агрохимические показатели для определения потреб- ности озимой ржи в элементах минерального питания .....	75

<b>5 РАСТИТЕЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ОЗИМОЙ РЖИ.....</b>	<b>86</b>
5.1 Содержание элементов в растениях при применении удобрений.....	86
5.2 Оптимальные уровни микроэлементов в растениях и их связь с урожаем.....	98
5.3 Диагностика качества урожая озимой ржи .....	106
<b>6 БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ.....</b>	<b>116</b>
<b>ВЫВОДЫ.....</b>	<b>124</b>
<b>ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ.....</b>	<b>126</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	<b>127</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>147</b>

**Список сокращений и обозначений:**

Гор. – горизонт;  
A<sub>пах</sub> – пахотный горизонт;  
B<sub>1</sub> – горизонт B<sub>1</sub>;  
B<sub>2</sub> – горизонт B<sub>2</sub>;  
C – горизонт C;  
г. – год;  
гг. – годы;  
га – гектар  
др. – другие;  
ед. – единиц;  
з.е. – зерновые единицы;  
мг/кг – миллиграмм на килограмм;  
кг д.в. – килограмм действующего вещества;  
мг·экв/100 г – миллиграмм эквивалент на 100 грамм;  
МДж – мегаджоуль;  
мм – миллиметр;  
N-NO<sub>3</sub> – азот нитратов;  
P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – подвижный фосфор;  
K<sub>2</sub>O – обменный калий;  
т/га – тонн на гектар;  
ц/га – центнер на гектар;  
ЧП – число падения;  
сек. – секунда;  
Lim – пределы колебаний.

## ВВЕДЕНИЕ

Россия является ведущей ржанопроизводящей державой в мировом сообществе: на её долю приходится более одной трети всех посевов и четверть валового сбора зерна ржи в мире. Являясь важнейшей продовольственной и кормовой культурой, озимая рожь в России возделывается на площади около 1,7 млн. га, что составляет в структуре посевных площадей озимых культур 10-15 % .

Рожь – культура универсального назначения, однако основное ее использование – продовольственное. Благодаря сбалансированности питательных веществ ржаной хлеб в течение ряда столетий обеспечивал полноценность питания населения огромных территорий страны. Ржаной хлеб из муки грубого помола был не только продуктом питания, но и постоянным мощным профилактическим средством против ожирения, атеросклероза, ишемической болезни, нервных и даже онкологических заболеваний (Перспективная ресурсосберегающая..., 2010).

Значительная часть зерна ржи используется на фуражные цели. Зеленая масса озимой ржи, формирующаяся ранее других культур, используется на подкормку всем видам скота и птицы, закладку сенажа и раннего силоса, на приготовление высокопитательной травяной муки и гранул. Научные исследования показали положительное значение озимой ржи не только в кормлении, но и при воспроизводстве стада крупного рогатого скота. Зерно озимой ржи представляет ценность как техническое сырье для крахмального и спиртового производства.

Рожь часто возделывается на бедных почвах, поэтому внесение удобрений имеет большое значение для повышения её урожаев. Применение минеральных удобрений, содержащих азот, фосфор и калий, необходимо сочетать с микроудобрениями (Каталымов М.В., 1965).

По данным агрохимического мониторинга плодородия чернозёмных почв Омской области содержание подвижного цинка характеризуется недостаточным. Низкое содержание этого микроэлемента отмечено на 2878,5 тыс. га или 98,9 % обследованной площади. Содержание подвижных меди и марганца в черноземных почвах Омской области также часто находятся на низком (соответственно 47,1 и 11,6 % обследованных площадей) и среднем уровне (50,0 и 69,1 %) (Красницкий В.М., 2002).

При дефиците микроэлементов в почве применение микроудобрений способствует росту урожайности культур, повышению качества продукции и улучшению здоровья населения и сельскохозяйственных животных (Аристархов А.Н., 2012).

Одним из прогрессивных методов диагностики питания является система почвенно-растительной диагностики «ПРОД», разработанная на кафедре агрохимии и почвоведения Омского ГАУ под руководством профессора Ю.И. Ермохина (2014) .

**Цель исследований** – разработка параметров управления микроэлементного питания (Zn, Cu, Mn) растений озимой ржи на основе почвенно-растительной диагностики.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- выявить действие микроудобрений (Zn, Cu, Mn) на урожайность и качество озимой ржи на лугово-чернозёмной почве при сбалансированном азотно-фосфорно-калийном питании;
- установить оптимальные дозы цинковых удобрений при основном внесении и цинковых, медных, марганцевых удобрений при опудривании семян;
- установить взаимосвязь между содержанием цинка в почве, растениях ржи, дозами применяемых удобрений и величиной и качеством урожая;
- установить оптимальный уровень содержания доступного цинка в почве для растений озимой ржи;

- установить оптимальные уровни и соотношения основных макро- и микроэлементов в растениях для диагностирования культуры в удобрениях;
- дать экономическую и биоэнергетическую оценку применения микроудобрений под озимую рожь.

**Научная новизна исследований.** Впервые в условиях южной лесостепи Западной Сибири выявлены математические закономерности, отражающие зависимость величины и качества урожая, химического состава почвы и растений от количества применяемых микроудобрений. На основе этого определены оптимальные уровни содержания подвижного цинка в почве, макро- и микроэлементов в растениях озимой ржи в течение вегетации, установлены нормативные показатели выноса элементов питания урожаем, коэффициенты использования питательных веществ из почвы и удобрений и интенсивность действия единицы цинковых удобрений на химический состав почвы и растений. Разработанные параметры позволяют диагностировать состояние микроэлементного питания на основе системы почвенно-растительной оперативной диагностики «ПРОД». Установлены оптимальные дозы микроудобрений (Zn, Cu, Mn) при опудривании семян озимой ржи при возделывании на лугово-чернозёмной почве.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

- установленные оптимальные уровни содержания подвижного цинка в почве, содержание и соотношение макро- и микроэлементов в растениях позволяют диагностировать состояние минерального питания растений озимой ржи;
- применение агрохимических нормативных параметров почвенно-растительной диагностики (оптимальное содержание подвижного цинка в почве, оптимальные уровни содержания и соотношение элементов в растениях, затраты элементов питания на создание 1 тонны урожая, коэффициенты использования и интенсивности действия удобрений на химический состав почвы и растений) обеспечивает внесение микроудобрений в оптимальных дозах.

**Практическая значимость и реализация результатов исследований.** На основе агрохимических исследований почв и растений получены закономерности действия микроудобрений на обеспеченность озимой ржи микроэлементами, которые дают возможность оптимизировать поступление макро- и микроэлементов (Zn, Cu, Mn) в растения озимой ржи, создавая уравновешенное питание на основе принципов системы почвенно-растительной диагностики. Применение разработанных параметров позволяет оптимизировать микроэлементное питание озимой ржи в условиях лугово-чернозёмных почв лесостепи Западной Сибири, тем самым управлять процессом формирования величины и качества урожая зерна.

Результаты исследований прошли производственную проверку в ООО «РУСКОМ-Агро» (приложения К, Л, М), внедрены в учебный процесс (приложение И).

**Личный вклад.** В основу настоящей работы положены собственные исследования автора. Автор принимала непосредственное участие в составлении методики опыта. Самостоятельно проводила опыты и наблюдения в полевых и лабораторных условиях, обобщала и анализировала экспериментальные данные, написала текст диссертации.

**Апробация исследований.** Основные результаты исследований были представлены докладами и обсуждены на Всероссийских молодежных научных конференциях «Россия молодая: передовые технологии – в промышленность» (г. Омск, 2009, 2013), Международной научно-практической конференции, посвященной 45-летию факультета агрохимии, почвоведения и экологии Омского государственного аграрного университета (г. Омск, 2009), 44-й Международной научной конференции молодых учёных и специалистов (г. Москва, 2010), IV Международной научной конференции молодых учёных, посвящённой 40-летию СО Россельхозакадемии (г. Новосибирск, 2010), Международной научно-практической конференции «Диагностика и управление минеральным питанием растений» (г. Омск, 2010), научно-практической конференции «Проблемы

безопасности. Технологии и управление» (г. Омск, 2012), II и III Международной конференции «Инновационные разработки молодых учёных – развитию агропромышленного комплекса» (г. Ставрополь, 2013, 2014), III Международной научно-практической конференции «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия» (г. Новосибирск, 2014), Международной научно-практической конференции обучающихся в магистратуре (г. Омск, 2014), Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции, посвящённой 100-летнему юбилею со дня образования учебной лаборатории Агрометеорологии ФГБОУ ВО Омский ГАУ (г. Омск, 2016), Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Перспективы производства продуктов питания нового поколения» (г. Омск, 2017), научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов ФГБОУ ВО Омский ГАУ в 2009-2017 гг. и опубликованы в двадцати печатных работах общим объемом 12 п.л., в том числе четыре работы в ведущих рецензируемых научных журналах.

**Благодарности.** Автор выражает искреннюю благодарность за методическое руководство и всестороннюю помошь своему научному руководителю доктору с.-х. наук, академику Международной академии аграрного образования И.А. Бобренко.

Автор выражает глубокую благодарность за научно-методическое руководство и всестороннюю помошь научному консультанту доктору с.-х. наук, профессору, заслуженному деятелю науки РФ, лауреату Государственной премии РФ имени акад. Д.Н. Прянишникова Ю.И. Ермохину.

За регулярную помошь в проведении лабораторных опытов автор благодарит преподавателей, лаборантов кафедры агрохимии и почвоведения, сотрудников ФГБУ «Сибирское отделение аграрной науки», а также обучающихся ФГБОУ ВО Омский ГАУ, принимавшим участие в проведении исследований.

# 1 БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ ОЗИМОЙ РЖИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

*Озимая рожь в условиях  
России относится к числу  
стратегических культур*

*A.A. Жученко*

## **1.1 История, значение и биологические особенности озимой ржи**

Возделывание озимой ржи в качестве культурного растения, по данным археологии, началось ещё до нашей эры. В Среднем Приднепровье рожь была известна за 1-2 тысячелетия до нашей эры. В Моравии рожь как культурное растение использовали около 2000 лет назад, в конце бронзового периода. Однако древние цивилизации Египта, Индии, Китая, Греции не знали рожь как культурное растение.

В Северной Руси рожь выращивали в VI в. н. э. Можно говорить о возделывании ржи восточными славянами в IX в., то есть в периоды возникновения русского государства. Первые письменные указания о посевах озимой ржи на территории русского государства имеются в летописи Нестора (1056-1115 гг.) (Тиунов А.Н., 1969).

Значение озимой ржи многообразно: продовольственное, кормовое и техническое. В зерне озимой ржи содержится в среднем: белка 13-15 %; углеводов 60-80 %. В нём значительно больше незаменимых аминокислот – лизина, аргинина и других, поэтому биологическая ценность белков зерна ржи выше, чем пшеницы. Питательность белков ржи составляет 83 % от питательности молока, а пшеницы – лишь 41 %. Зерно ржи превосходит пшеницу по содержанию витаминов В<sub>2</sub> и Е. Жиры в нем представлены кислотами, способными снижать в организме человека содержание холестерина. В золе имеется значительное количество солей кальция, фосфора, железа, магния (Кидин В.В., 2009; Рутц Р.И., 1989, 2005).

В последние годы всё больше возрастает значение озимой ржи, как кормовой культуры. Зерно и отруби – ценнейшее сырьё для комбикормовой промышленности. Озимая рожь даёт ранний высококачественный зёлёный корм. Весной она рано трогается в рост, очень быстро растёт. Обычно с озимой ржи весной начинается зелёный конвейер для животных (Полевые культуры..., 2003).

Нельзя недооценивать высокое агротехническое значение озимой ржи в севообороте. В ее посевах сорняки сильно угнетаются, большинство их всходов погибает. Поле после ржи остается более чистым, чем после других зерновых культур. Озимая рожь обладает мощной корневой системой, оставляет в почве больше корней, чем яровые зерновые, улучшая этим структуру почвы. Она меньше, чем яровые хлеба поражается корневыми гнилями.

Как и другие озимые культуры, благодаря своим биологическим особенностям, рожь лучше, чем яровые зерновые, использует агроклиматические ресурсы региона. Она более отзывчива на удобрения и улучшение агротехники. По данным государственного сортоиспытания урожай озимой ржи в Омской области достигали 5,9 т/га (Озимые хлеба..., 1985).

Продолжительность вегетационного периода озимой ржи составляет 345-350 дней. Озимая рожь проходит следующие фенологические фазы: всходы, кущение, выход в трубку, колошение, цветение, формирование зерна, молочное состояние, восковая и полная спелость зерна. Активная вегетация протекает в два периода: осенний и весенне-летний. Осенью интенсивно растет корневая система, углубляясь в почву до 150-200 см, а также бурно нарастает листовая поверхность, и создаются определённые запасы пластичных веществ, необходимых для хорошей перезимовки нормального отрастания весной. Продолжительность осеннего развития составляет 50-60 дней. С наступлением устойчивого похолодания растения прекращают вегетацию. За осенний период растения проходят фазы всходов и кущения. Кущение ржи начинается через 14-15 дней после появления всходов в фазу образования четвертого листа. Эти фазы у ржи продолжаются 35 - 40 дней и завершаются осенью. При поздних посевах,

прохладной и влажной погоде может продолжаться и весной в течение 17 - 18 дней сразу после отрастания (Зигашвин А.А., 1981; Кидин В.В., 2009).

Весной при установлении среднесуточной температуры воздуха +5°C растения отрастают и кустятся. Оптимальный режим температуры 10-12°C. Рожь может формировать 6-8 нормальных стеблей, они все практически осенние. Общая продолжительность весенне-летнего периода у озимой ржи 90-100 дней.

Озимая рожь – самая холодостойкая культура среди зерновых хлебов. К низким температурам она мало чувствительна, и в малоснежные зимы лучшие сорта способны переносить морозы до 25-35°C. Холодостойкость ржи зависит от наличия защитных веществ, способствующих увеличению количества связанный воды, от состояния протоплазмы клеток, количества гидрофильных коллоидов, степени гидролиза белков и т.д.

Высокая потребность во влаге осенью проявляется в фазу кущения. При хорошей обеспеченности водой быстро растёт корневая система, при её недостатке плохо идёт кущение, растения уходят в зиму слабыми. Второй максимум потребности во влаге отмечается в период интенсивного роста и развития – от выхода в трубку до полного колошения и цветения. За это время расходуется до 70 % воды от общей потребности за вегетацию.

Озимая рожь менее требовательна к условиям освещения, чем озимая пшеница. В период осеннего закаливания при хорошем солнечном освещении рожь формирует короткие междуузлия, что повышает устойчивость к полеганию (Полевые культуры..., 2003).

## **1.2 Особенности минерального питания озимой ржи**

Озимая рожь малотребовательна к почвам, может расти на серых лесных, лёгких песчаных, тяжёлых глинистых почвах и на кислых с реакцией почвенной среды 5,0-5,5. Нетребовательность ржи к почвам связана с наличием у неё мощной корневой системы, способной проникать с осени на большую глубину и полнее использовать питательные вещества. По сравнению с другими зерно-

выми культурами корневая система ржи лучше усваивает питательные вещества из труднорастворимых соединений (Панников В.Д., 1987).

По характеру поглощения питательных веществ озимая рожь относится к группе растений, у которых азот, фосфор и калий активно поглощаются в ранние фазы развития: за осенний период хорошо раскустившаяся рожь усваивает 40-50 % питательных веществ урожая; к концу колошения их поступление в растения практически заканчивается, хотя рожь к этому времени создаёт всего 50-60 % фитомассы. Азот необходим осенью в fazu кущения, он обеспечивает лучшее кущение, способствует увеличению количества колосков в колосе. Избыток азота в этот период способствует перерастанию, выпреванию и вымерзанию культуры. Следует учитывать и то, что ослабленные после перезимовки растений озимой ржи в условиях холодной сибирской весны часто испытывают азотное голодание. Азот в этот период крайне необходим для форсирования ростовых процессов и преодоления последействий перезимовки (Синягин И.И., 1979; Пронин М.Е., 1961; Физиология сельскохозяйственных..., 1969).

Большое влияние на повышение зимостойкости ржи оказывают удобрения, особенно калийные и фосфорные. Установлена связь между фосфорно-калийными удобрениями и накоплением сахаров в растении. При недостатке калия, повышается интенсивность дыхания, а следовательно, увеличивается расход сахаров. Калий и фосфор повышают водоудерживающую способность коллоидов протоплазмы и стойкость белковых соединений.

Озимая рожь является культурой, среднереагирующей на внесение калийных удобрений. При обеспечении потребности ржи в калии развиваются более сильные растения, имеющие прочные, менее склонные к полеганию стебли. Недостаток в калии приводит к ослаблению ассимиляционной деятельности растений, замедлению оттока пластических веществ из листьев к растущим органам растений. Одновременно увеличивается расход углеводов на процесс дыхания (Зигашвин А.А., 1981).

Таким образом, несколько повышенное фосфорно-калийное и умеренное, удовлетворяющее потребности растений, азотное питание озимой ржи с осени – важное условие для получения высоких урожаев (Иваненко А.С., 1983).

### **1.3 Содержание микроэлементов в почве**

Закономерности содержания и поведения микроэлементов в почве посвящены работы многих исследователей (Авраменко П.М., 1999; Азаренко Ю.А., 2010, 2012, 2013; Бокрис Дж., 1982; Виноградов А.П., 1957; Ильин В.Б., 2001; Ковальский В.В., 1968, 1971; Красницкий и др., 2016; Куликова А.Х., 2014; Методы определения..., 1974; Микроэлементы в СССР, 1983; Минеев В.Г., 1988, 1993; Пейве Я.В., 1954; Синявский И.В., 2002; Сказалова Н.Н., 1973; 2007; Чулджиян Х., 1988; Alloway B.J., 2008; Kabata A., 2011 и др.).

Содержание цинка в почвах изменяется в пределах 10-300 мг/кг, средняя концентрация составляет 0,005 %, из этого количества на долю растворимого цинка приходится не более 1 % ( Ковда В.А., 1959; Красницкий В.М., 2014; Орлова Э.Д., 1989; Синдирирова А.В., 2012).

Цинк входит в состав первичных минералов и некоторых разновидностей глинистых минералов. Содержание цинка в горных породах достигает 50-130 мг/кг, а в глинах и сланцевых осадочных породах его содержится до 80 мг/кг.

Цинк в почвах может находиться в обменных и необменных формах. Наибольшее количество обменного цинка содержится в гумусовом горизонте. Превращение цинка в почве изучено слабо. Однако известно, что он может образовывать с органическими веществами почвы комплексные соединения и, следовательно, влиять на гумус и видоизменять его. В поглощающем комплексе почвы для цинка характерны формы:  $Zn^{2+}$ ,  $[ZnOH]^+$ ,  $[ZnCl]^+$ . Одновременно с фиксированным и адсорбционно связанным цинком в почве также встречается сульфат цинка в виде цинкового купороса (белый купорос), цинковая обманка и др. В кислых почвах цинк образует положительные ионы  $Zn^{2+}$ , в щелочных

почвах отрицательно заряженные ионы цинката  $[Zn(OH)_4]^{2-}$ . Наиболее доступная для растений водорастворимая форма цинка, однако все его соединения, за исключением находящихся в кристаллической решетке почвенных минералов, в различной степени используются растениями (Орлова Э.Д., 1989).

На подвижность цинка в почвах и его доступность растениям влияние оказывает pH почвенного раствора, а также содержание в почве карбонатов и органических веществ. Недостаток цинка в почве проявляется при pH 6,0-8,0. Первостепенным фактором, оказывающим влияние на доступность цинка, является органическое вещество почвы, повышенное содержание которого значительно снижает доступность цинка. Связываемость цинка с гуминовыми кислотами объясняет закрепление цинка в черноземных почвах, богатых гуминовыми кислотами и органическими соединениями. Фосфаты почв также способствуют снижению подвижности цинка (Кабата-Пендиас А., 1989).

Увеличение содержания в почвенном растворе минеральных солей или диоксида углерода в присутствии соды, значительно повышает подвижность цинка. Улавливается связь между подвижностью этого элемента и окислительно-восстановительным режимом почвы: с уменьшением окислительно-восстановительного потенциала почвы она снижается, что способствует образованию нерастворимых фосфидов и сульфидов цинка.

Почвы с нейтральной реакцией среды содержат наименьшее количество подвижного цинка. Низкая подвижность цинка в богатых кальцием и фосфором почвах, в хорошо аэрируемых, содержащих соединения серы, и в почвах, насыщенных кальцием минералов, а также водных оксидов, имеет важное практическое значение, объясняющее возникновение дефицита цинка для растений. Поскольку в черноземных почвах отмечается невысокое количество подвижного цинка, применение цинковых удобрений оправдано на этих почвах (Анспок П.И., 1990; Орлова Э.Д., 2007). Следует учесть, что цинк особенно эффективен при высоком содержании доступного фосфора в почве. Однако, большая часть внесенного в почву цинка быстро и прочно закрепляется в ней (Мокриевич Г.Л.,

1972). Серые лесные почвы обеднены цинком, в дерново-подзолистых значительно его больше. Велик диапазон в содержании этого элемента в черноземах, однако в них мало обменного цинка (Ковалевский В.В., 1970; Минеев В.Г., 1984).

Общее содержание меди в земной коре невелико – не превышает 0,01 %. Медь образует множество минералов, среди них наиболее распространены первичные минералы – простые и сложные сульфиды. В почвах различают следующие формы меди: водорастворимые, обменные (поглощённые органическими и минеральными коллоидами), труднорастворимые медные соли, медь-содержащие минералы, комплексные органические соединения. Преобладающей формой меди является её 2-х валентный катион  $Cu^{2+}$ , но отмечаются и другие формы:  $[Cu (CO_3)_2]^{2-}$ ,  $[Cu (OH)_4]^{2-}$ ,  $[Cu (OH)_3]^-$  и др. Медь представляет собой один из наименее подвижных в почве микроэлементов. Её подвижность в почве и доступность растениям во многом зависят от процессов адсорбции и комплексообразования. Практически все минералы почв способны адсорбировать ионы меди. Растворимость большинства катионных и анионных форм меди понижается при pH 7-8. Наиболее доступные для растений водорастворимые и обменно-сорбированные почвой соединения меди.

П.А. Власюк (1969) констатировал, что почвенная влага стимулирует деятельность микроорганизмов, оказывающих огромное влияние на содержание подвижной меди. Микроорганизмы, потребляя микроэлемент для поддержания жизненных функций, закрепляют его в своей плазме, что в свою очередь способствует повышению концентрации меди, освобождая ее из органического вещества почвы. Эти два противоположно направленные процессы в значительной степени определяют количество подвижной меди.

В.Б. Ильин (1987, 1991) отмечает, что содержание подвижной меди в черноземах достаточное для растений. Тем не менее, медные удобрения весьма эффективны на черноземах Омской области, что подтверждается исследова-

ниями Ю.И. Ермохина (1995). Наименьшее содержание подвижных форм отмечается в торфянистых и дерново-подзолистых почвах (0,05-5,0 мг/кг).

Содержание марганца в земной коре 1000 мг/кг, в горных породах 350-2000 мг/кг, он превалирует в основных почвообразующих породах. В почве встречается в виде солей, оксидов, гидрооксидов и комплексных ионов. Марганец в почвах встречается в виде катионов  $Mn^{2+}$ ,  $Mn^{3+}$ ,  $Mn^{4+}$ . Состояние марганца в почве зависит от направления и степени выраженности окислительно-восстановительных процессов и щёлочно-кислотных условий, которые создаются в почвах при почвообразовании (Власюк П.А., 1952). Наиболее растворимы 2-х валентные катионы марганца. Соединения двухвалентного марганца представлены в почвах главным образом обменным марганцем, марганцем карбонатов ( $MnCO_3$ ), фосфатов ( $Mn(H_2PO_4)_2$ ) и гидратов ( $Mn(OH)_2$ ). В аэробных условиях при значениях рН близких к нейтральным, соединения марганца характеризуются низкой растворимостью. Соединения 4-х валентного марганца в почвенном растворе почти нерастворимы, но в кислых растворах марганец легко восстанавливается и переходит в более подвижное соединение. Направленность окислительно-восстановительных реакций с участием соединений марганца и его аккумуляция в значительной степени зависит от деятельности микроорганизмов, из которых наиболее изучен *Metallogenium*.

Для диагностирования и оптимизации питания растений микроэлементами необходимы количественные характеристики содержания доступных форм в почве. По данным кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО Омский ГАУ в таблице 1.1 и приложении А приведены уровни их содержания в основных типах почв Омской области (Ермохин Ю.И., 2014; Орлова Э.Д., 2007).

Таким образом, почвенный покров Омской области отличается исключительным разнообразием, что в сочетании с климатическими условиями определяет характер и направленность биохимических превращений микроэлементов в почве, их валовое содержание и степень подвижности, доступности растениям.

Таблица 1.1 – Содержание подвижных форм микроэлементов в почвах  
Омской области (Ермохин Ю.И., 2014; Орлова Э.Д., 2007)

Почва	Содержание, мг/кг почвы		
	Zn	Mn	Cu
Дерново-подзолистая	1,76	51,6-146,6	1,0-3,5
Серая лесная	1,00	44,7-181,0	2,2-3,5
Чернозёмная	0,60	8,30-126,6	3,0-6,0
Солонец	0,48	65,0-213,0	3,0-9,1

#### 1.4 Физиологическая роль микроэлементов

Жизнедеятельность любого организма невозможна без микроэлементов. Несмотря на относительно низкое содержание в клетках и тканях микроэлементы участвуют в ключевых физиологических процессах. Как недостаток, так и избыток их в питательной среде приводят к эндемическим заболеваниям растений, животных и человека. Наиболее часто встречается недостаток в почвах и растениях таких микроэлементов как цинк, марганец, медь (Авчин П.А. и др., 1991; Битюцкий Н.П., 1999; Ильин В.Б., 2001; Кабата-Пендиас А., 1989; Кашин В.К., 2013; Красницкий В.М., 2002; Панин М.С., 2007).

*Цинк.* Растения содержат 15-150 мг Zn на 1 кг сухой биомассы (Тихомиров Ф.А., 1975; Чернявская Н.А., 1975). У высших растений цинк накапливается, прежде всего, в семенах, где концентрируется в зародыше.

К.А. Тимирязев впервые в 1872 г. установил необходимость цинка для высших растений. Последующие многочисленные исследования показали, что цинк в растительном организме выполняет многочисленные функции. Он входит в состав ряда ферментов или усиливает их активность. Например, входит в состав фермента карбоангидразы, который расщепляет угольную кислоту на воду и CO<sub>2</sub>, в состав фермента алкогольдегидрогеназы и в другие. Цинк повышает активность ферментов каталазы и пероксидазы, увеличивает актив-

ность ферментов в прорастающих семенах (Орлова Э.Д., 1971, 1989, 2007). Цинк положительно действует на активность ферментов липазы, протеазы и инвертазы, усиливает биосинтез витаминов – аскорбиновой кислоты и тиамина.

Цинк влияет и на фосфатный обмен в растениях. Он повышает водоудерживающую способность растений путем увеличения количества прочно связанный воды. Цинк повышает устойчивость растений к болезням – стеблевой головне и др. (Минеев В.Г., 1984).

М.Я. Школьник (1957, 1974) указывает на повышенную потребность в цинке растений в ранние фазы роста. Это связывается с опубликованными фактами о важности цинка для формирования и развития зародыша. Известно, также, что цинк аккумулируется в молодых листьях растений. Влияние цинка на углеводный обмен проявляется в том, что при его недостатке в растениях содержится больше редуцирующих сахаров, меньше сахарозы и крахмала. Из этого следует, что цинк способствует переходу моносахаридов в дисахариды и крахмал (Власюк П.А., 1969).

Недостаток микроэлемента сильнее угнетает процесс формирования генеративных органов и плодоношение (образование семян), чем рост вегетативной массы. В случае критического низкого уровня обеспеченности растений цинком возможно полное отсутствие семян. Недостаток цинка обычно ощущается при концентрации в молодых растениях или органах менее 10-20 мг/кг сухого вещества (Ильин В.Б., 2001; Сысо А.И., 2007).

Недостаток цинка вызывает нарушения в обмене веществ в растениях в липоидном, углеводном обмене, а также в обмене серы, в растениях задерживается образование ростовых веществ – ауксинов. При этом отмечается задержка в росте растений. При недостатке цинка нарушается фосфатный обмен, это проявляется увеличением содержания в растениях минерального фосфора и уменьшением количества фосфороорганических соединений.

Избыточное количество цинка, как показали исследования С.А. Барбера (1988) нарушает физиологические и биохимические процессы в растениях,

приводит к несбалансированному их питанию макро- и микроэлементами и нарушению процессов фотосинтеза, митоза, поглощения воды.

*Медь.* Распределение меди в растениях очень изменчиво. В корнях медь связана в основном с клеточными стенками и крайне малоподвижна. В ростках наибольшие концентрации меди обнаруживаются в фазе интенсивного роста при оптимальном уровне ее поступления. Луговая и лугово-степная травянистая растительность аккумулирует в 1 кг воздушно-сухой массы от 3 до 13 мг меди: наименьшее количество (2-5 мг) микроэлемента содержится в злаках, наибольшее (до 10 мг и более) – в бобовых растениях (Орлова Э.Д., 1971).

Роль меди в жизни растений весьма специфична; медь не может быть заменена каким-либо другим элементом или их суммой. Медь участвует в углеводном и белковом обмене, в растениях под влиянием меди увеличивается как активность пероксидазы, так и синтез белков, углеводов и жиров. Следовательно, медные удобрения увеличивают содержания белка в зерне, сахара в корнеплодах и улучшают качество кормов (Власюк П.А., 1969).

Медь повышает интенсивность дыхания. Особенно важно присутствие меди в окислительно-восстановительных реакциях. В клетках растений эти реакции протекают при участии ферментов, в состав которых входит медь. Поэтому медь является составной частью ряда важнейших окислительных ферментов – полифенолоксидазы, аскорбинатоксидазы, лактазы, дегидрогеназы и др.

Характерной особенностью меди является повышение устойчивости растений против грибных и бактериальных заболеваний. Медь снижает заболевание зерновых культур различными видами головни (Анспок П.И., 1990).

Медь играет большую роль в процессах фотосинтеза. При её недостатке разрушение хлорофилла происходит значительно быстрее, чем при нормальном уровне питания растений медью. Таким образом, медь влияет на образование хлорофилла и препятствует его разрушению. Недостаток меди вызывает у растений понижение активности синтетических процессов и ведёт к накоплению растворимых углеводов, аминокислот и других продуктов распада сложных органических веществ.

При избытке меди происходит подавление активности ферментов, фотосинтеза, понижение концентрации в листьях хлорофилла. В побегах и корнях снижается концентрация азота, фосфора и калия. Больше всего меди накапливается в корнях, в меристемах которых выявлены нарушения в структуре и функциях ядер: конденсация хроматина, подавление синтеза ДНК.

*Марганец.* Содержание марганца в растениях колеблется от 17 до 334 мг/кг. Марганец концентрируют растения богатые танидами. На физиологическое значение марганца для роста, развития и продуктивности растений впервые обратил внимание французский учёный Берtrand, которому ещё 1897 г. удалось обнаружить его в золе многих растительных оксидаз (Власюк П.А., 1969).

В отдельных органах растений марганец содержится в различных формах соединений – растворимой, обменной и нерастворимой. Наиболее важной из них является обменная форма марганца, которая имеет физиологическое значение в улучшении системы питания и повышении эффективности органических и минеральных удобрений и продуктивности растений (Власюк П.А., 1952).

Марганец выполняет исключительную роль в жизни растений. Он принимает участие в деятельности более 30 ферментов, включая те, которые катализируют окислительно-восстановительные реакции, декарбоксилирование, гидролиз. Марганец входит в состав ряда истинных металоферментов. Наибольшее значение из марганецсодержащих ферментов имеют гидроксималимредуктаза, восстанавливающая гидроксиламин до аммиака в процессе биосинтеза белка, и ассимиляционный фермент, осуществляющий восстановление углекислоты при фотосинтезе (Орлова Э.Д., 1989).

При недостатке марганца понижается синтез органических веществ, уменьшается содержание хлорофилла в растениях. Недостаток данного элемента приводит к накоплению избыточного железа, который вызывает хлороз. Марганцевая недостаточность у растений обостряется при низкой температуре и высокой влажности. В связи с этим озимые хлеба наиболее чувствительны к его недостатку ранней весной. Избыток марганца задерживает поступление железа в растение, следствием чего также является хлороз, но уже от недостатка железа.

за. Накопление марганца в токсических для растений концентрациях происходит на дерново-подзолистых почвах.

Уровень накопления микроэлементов в биомассе растений, в целом, соответствовал их запасам в почве (таблица 1.2). В зерне и соломе ячменя, пшеницы, овса, выращенных на черноземных почвах, концентрации Mn. Уровень концентраций Cu и Zn в растениях в основном низкий. Данное содержание микроэлементов в почвах и биомассе зерновых культур, обладающих невысокой потребностью в микроэлементах, соответствовало урожаям зерна 14-19 ц/га (Ермохин Ю.И., 2014).

Таблица 1.2 – Содержание микроэлементов (мг/кг) в растениях на чернозёмных почвах (чернозёмы, лугово-чернозёмные почвы) (Ермохин Ю.И., 2014)

Культура, орган	Mn		Cu		Zn	
	Lim	Среднее	Lim	Среднее	Lim	Среднее
Пшеница						
Зерно	21,9 -47,3	34,5	3,2-5,3	4,1	21,7-38,0	27,6
Солома	21,3-78,5	37,0	0,3-9,8	2,4	1,6-13,2	7,7
Овес						
Зерно	45,0-47,0	46,0	3,2-3,5	3,4	16,9-18,0	17,5
Солома	38,0-39,0	38,5	2,2-2,6	2,4	7,1-11,0	9,1
Ячмень						
Зерно	14,2-47,0	28,7	3,5-4,7	4,1	13,0-35,0	22,8
Солома	18,0-58,0	41,7	1,7-9,3	4,1	1,2-15,6	8,4

## 1.5 Влияние микроудобрений на продуктивность культурных растений

Многочисленными исследованиями установлено, что микроудобрения положительно влияют на продуктивность сельскохозяйственных культур (Ламбин А.З., 1938, 1949, 1952, 1959; Действие микроудобрений..., 2010; Микроэлементы и урожай..., 1961; Олейников А.Ю., 2012; Орлова Э.Д., 1968; Осипов А.И., 2013; Панин М.С., 1999; Смирнова Т.Б., 2003; Степанок В.В., 1991; Стефановский К.С., 1984; Чернавина И.А., 1970; Черных Н.А., 1988, 1991; Шеуджен

A.X., 1992; Есаулко А.Н. и др., 2010; Бобренко и др., 2011; Adrino D.C., Paulsrn G.M., Murhy L.S., 1971; Alloway B.J., 2008; Grant C.A, Bailey L.D., 1989; Nardin D. S. и др., 2016; Kuo S., Mikkelson D.S., 1981; Singh M., Singh R.S., 1979; Singh M., Yadav D.S., 1980; Smith P.F. и др., 1954; Smith P.F., Specht A.W., 1953; Steckel J.E., 1946; Verma T.S., Trapthi B.R., 1986; Warnok R.E., 1970).

В опытах Я.М. Логановского (1952), проведённых на разных почвах Латвии, прибавка урожая зерна озимой ржи при внесении цинкосодержащих удобрений составила 0,2-0,8 т/га, или 14,7-40,9 %. У злаковых растений под влиянием цинка доля зерна в общем урожае соломы и зерна увеличивалась, больше становился вес 1000 зёрен. Удобрение растений цинком ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ) в количестве 20 кг сульфата цинка на 1 га путем опрыскивания растений 0,4 % раствором этого удобрения повышало урожай зерна ржи на 0,26-0,77 т/га, или на 14,7-40,9 %; овса на 0,15-0,22 т/га, или на 9,4-25,5 %; яровой пшеницы от 0,2 до 0,25 т/га, или на 12,5-14,4 %. Цинк способствовал росту и развитию зерна и меньше соломы. Цинковое удобрение увеличивает содержание фосфора в зерне, и одновременно уменьшает содержание калия.

Опытами М.В. Каталымова (1965) показано положительное действие цинка на урожай овса на подзолистых почвах, причем на фоне извести действие цинка было значительно выше, чем без известкования. Цинк вносился в дозах 5-8 мг на 1 кг почвы. Результатами исследований А.В. Волкова (2015) по изучению эффективности применения цинковых удобрений на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах Центрального Нечерноземья доказано, что комплексное применение удобрений (NPK + Zn) обеспечивает получение устойчивых урожаев яровой пшеницы на уровне 3,5-4,0 т/га.

Исследованиями М.А. Скляровой (2008, 2014) установлено высокое положительное влияние цинка на лугово-чернозёмной почве Омской области на урожайность зерна кукурузы. Следует отметить, что при низком уровне обменного цинка эффективным было основное внесение  $Zn_{18}$ .

Применение цинковых удобрений при возделывании озимой пшеницы в условиях лугово-черноземных почв Западной Сибири является эффективным. Оптимальной дозой в основное внесение является 8 кг д.в./га, а при опудривании семян – 100 г/ц на фоне  $N_{30}P_{60}$  (Бобренко И.А., 2014; Попова В.И., 2013, 2016).

Максимальная средняя урожайность зерна озимой тритикале на лугово-чернозёмной почве Омской области сформировалась на фоне  $N_{30}P_{60}$  в варианте  $Zn_8$  (3,28 т/га), где получена прибавка 1,02 т/га или 45,1 %. Увеличение дозы цинковых удобрений до 12 кг д.в. на га не привело к дальнейшему росту урожайности (Бобренко И.А., 2013).

Основное внесение цинковых удобрений в зависимости от доз и фона применения оказало разнообразное положительное действие на урожайность яровой пшеницы на лугово-черноземной почве Омского Прииртышья. Наибольшая прибавка урожая зерна пшеницы 0,85 т/га сформировалась при применении дозы цинка 8 кг/га на фоне  $N_{30}P_{60}$ . В то же время внесение цинковых удобрений в дозе 4 кг/га на фоне  $N_{30}P_{60}$  не привело к увеличению урожайности по сравнению с такой же дозой без фосфорного фона (прибавка урожая 0,64 и 0,69 т/га соответственно). При опудривании семенного материала цинковым удобрением выявлено, что наиболее эффективно их применение 50 г/ц – получена прибавка урожая зерна 0,65 т/га или 26,7 % к контролю (Бобренко И.А., 2012).

А.Н. Аристарховым с соавторами обобщены (2010) результаты 405 полевых опытов, проведенных агрохимслужбой по изучению влияния микроудобрений ( $Zn$ ,  $Cu$ ,  $Mn$  и др.) на урожайность и качество зерна зерновых и зернобобовых культур (озимая пшеница, яровая пшеница, ячмень, кукуруза на зерно и силос, горох и соя). В опытах изучали не только разные дозы микроудобрений, но и различные способы их внесения.

Наибольший эффект от цинковых удобрений был получен на дерново-подзолистых почвах южно-таежно-лесной зоны. При основном внесении на фоне с NPK цинковые удобрения обеспечивали прибавку урожая до 0,56 т/га,

при этом урожайность достигала 4,1 т/га, а содержание белка и клейковины увеличивалось на 2,4 и 3,4 % соответственно. В лесостепной зоне на выщелоченных и оподзоленных черноземах при основном внесении на фоне с NPK цинковые удобрения обеспечивали прибавку урожая до 0,8 т/га, при этом урожайность достигала 4,3 т/га, а содержание белка и клейковины возросло до 15 и 29 % соответственно. Некорневые подкормки обеспечивали прибавку урожая до 0,67 т/га. В степной зоне на обыкновенных черноземах при основном внесении на фоне с NPK цинковые удобрения обеспечивали прибавку урожая до 0,48 т/га, при этом урожайность достигала 5,2 т/га, а содержание белка и клейковины – 14,5 и 37,5 % соответственно. В сухостепной зоне на темнокаштановых почвах при основном внесении на фоне с NPK цинковые удобрения обеспечивали прибавку урожая до 0,25 т/га, при этом урожайность достигала 4,5 т/га, а содержание белка и клейковины возросло до 13,7 и 25 % соответственно.

На дерново-подзолистых почвах южно-таежно-лесной зоны при основном внесении на фоне с NPK медные удобрения обеспечивали прибавку урожая озимой пшеницы до 0,43 т/га, а содержание белка увеличивалось на 0,3-1,3 %. На выщелоченных черноземах лучшим способом внесения под озимые культуры оказалась предпосевная обработка семян, которая на фоне с NPK обеспечила прибавку урожая до 0,68 т/га, при этом урожайность достигала 5,1 т/га, содержание белка увеличивалось на 0,2-1,5 %, а клейковины – на 2,0-6,3 %.

При изучении влияния марганцевых удобрений установлено, что они оказывали существенное положительное влияние на урожайность и качество зерновых культур во всех изученных природно-климатических зонах. В южно-таежной зоне на известкованных дерново-подзолистых почвах основное внесение марганцевых удобрений увеличивало урожайность озимой пшеницы на 0,21-0,62 т/га. В лесостепной зоне на обыкновенных черноземах некорневые подкормки марганцевыми удобрениями на фоне с NPK обеспечили прибавку урожая до 0,11 т/га, содержание белка увеличилось на 0,2-1,6 %, клейковины – на 0,5-4,8 %. С сухостепной зоне на темно-каштановых почвах основное внесе-

ние марганцевых микроудобрений на фоне с NPK приводило к увеличению урожайности на 0,17-0,35 т/га, содержания белка на 0,1-0,8 %, а клейковины – на 2,0-4,0 % (Аристархов А.Н., 2012, 2014).

Исследования в центральной зоне Краснодарского края на чернозёме выщелоченном позволили установить, что некорневая подкормка растений микроудобрениями увеличивала урожайность зерна кукурузы. Увеличение составило 0,16-0,36 т/га или 3,4-7,6 %. Применение цинка и меди способствовало получению максимальных прибавок урожайности зерна, в котором также отмечалось наибольшее содержание белка, что составило 11,10 % и 11,22 % с превышением фона на 1,38 % и 1,50 % соответственно (Булдыкова И.А., 2014).

Опытами с некорневыми подкормками микроэлементов озимой пшеницы на чернозёме выщелоченном опытной станции Воронежского ГАУ установлено, что применение медного купороса способствует увеличению урожайности 0,29 т/га с прибавкой к контролю 8,2 %. Некорневые подкормки озимой пшеницы сульфатом цинка обеспечивали прибавку 0,22 т/га (6,1 % прибавка к контролю), применение сернокислого марганца характеризуется минимальной прибавкой 0,16 т/га (Есаулко А.Н., 2011).

Изучение эффективности комплексного удобрения Микромак (Zn, Mn, Cu) на чернозёмах Среднего Поволжья подтверждает значительную роль удобрения в формировании урожайности зерновых культур. При возделывании озимой пшеницы установлено, что предпосевная обработка семян Микромак способствовала повышению урожайности зерна 0,2 т/га. Применение Микромак на фоне N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub> повысило её на 0,37 т/га (Куликова А.Х., 2014).

В условиях южной зоны республики Беларусь проведены исследования совместного применения смеси природного регулятора роста и микроэлементов для озимой тритикале на дерново-подзолистой супесчаной почве. Однократное применение препарата на фоне 90 кг минерального азота достоверно повышало урожайность зерна тритикале на 0,25 т/га. Внекорневая подкормка N<sub>30</sub> посевов

тритикале данными препаратами значимо увеличивала урожайность зерна на 0,49 т/га (Кочурко В.И., 2016).

К рациональным приёмам использования микроэлементов, относятся те при которых с наименьшими затратами можно получить наивысшие прибавки урожая и улучшить качество продукции. Сроки, способы и техника внесения микроудобрений под различные культуры зависят от биологических особенностей культур, видов микроудобрений, почвенных разностей, а также от принятой системы удобрений в севообороте (Анспок П.И., 1990).

Широко используется предпосевное опрыскивание семян растворами, содержащими микроэлементы. Обычно в этом случае на 1 ц семян расходуют 6 - 10 л раствора. Для предпосевной обработки семян используют сернокислые соли меди, марганца, цинка. М.В. Каталымов (1965) рекомендует для опрыскивания семян овощных культур растворы микроэлементов следующих концентраций: 0,05-0,1 %-ный раствор сернокислого марганца, 0,02 %-ный раствор сернокислой меди и 0,03 %-ный раствор сернокислого цинка. Замачивание семян труднее осуществить, чем обработку их микроэлементами путём опрыскивания или опудривания. Эффективным и экономически выгодным приемом применения микроэлементов является опудривание семян. Этот способ по сравнению с заделкой микроэлементов в почву даёт возможность сократить количество необходимых микроэлементов в 20-100 и более раз.

Внесение микроудобрений в почву позволяет создавать определённый уровень корнеобитаемого питания растений микроэлементами в течение вегетации. Внекорневые подкормки позволяют усиливать питание растений микроэлементами в определенные периоды. Предпосевная обработка семян обеспечивает растения микроэлементами в самом начале роста, вызывая определенную перестройку процессов жизнедеятельности зародыша.

Преимущества предпосевной обработки семян микроэлементами перед их внесением в почву обусловлено тем, что когда они, израсходовав минеральные вещества семени и не будучи еще способны удовлетворить свои потребности за-

счет минеральных веществ почвы, испытывают в них временный недостаток. В это же время растения обладают пониженной устойчивостью к неблагоприятным факторам среды, в том числе и к низким температурам. В связи с этим обогащение зародыша микроэлементами должно улучшить питание растений в этот критический период, а, следовательно, и обеспечить их более высокую устойчивость к экстремальным условиям (Каталымов М.В., 1965; Орлова Э.Д., 2007; Школьник М.Я., 1957).

По мнению Ермохина Ю.И. (2014) микроудобрения следует применять:

- на почвах с низким и средним содержанием подвижных микроэлементов в почве;
- с учетом содержания в почве оптимальных уровней азота, фосфора и калия, т.е. при низком и среднем уровне азота, фосфора и калия в почве следует использовать совместно макро- и микроудобрения;
- учитывать биологические особенности сельскохозяйственных культур;
- правильно определить дозы, сроки и способы их применения.

Таким образом, по результатам анализа литературных данных можно отметить, что применение цинковых, медных и марганцевых удобрений эффективно при возделывании сельскохозяйственных культур в различных почвенно-климатических зонах. При этом необходимо отметить, что под озимую рожь в условиях лугово-чернозёмных почв лесостепи Западной Сибири применение данных микроудобрений не изучалось.

## **1.6 Диагностика минерального питания растений**

Одним из актуальных направлений исследований в современных агрохимических в науке и производстве является диагностирование уровня минерального питания на основе комплексной диагностики (Ермохин Ю.И., 1983; Магницкий К.П., 1964, 1972; Церлинг В.В., 1950, 1960, 1962, 1968, 1971, 1978).

На основе обобщения экспериментальных данных по диагностике питания Ю.И. Ермохин (1995, 2014) пришел к выводу об обязательном учете двух основных принципов:

1. оптимальных уровней содержания элементов питания в почве до посева (посадки) и растениях сельскохозяйственных культур для конкретных величин урожая и вида растений;
2. сбалансированного (уравновешенного) питания элементов в почве и растениях.

Исследования по этим вопросам следует проводить по следующим основным направлениям:

- установление оптимальных параметров содержания питательных веществ в почвах различных регионов страны, математических зависимостей в системе «почва-удобрение-урожай-погода» с учетом экологической ситуации;
- установление содержания питательных веществ в растениях по основным этапам органогенеза, поведение многоэлементного анализа растений для разработки метода растительной диагностики питания культур;
- разработка моделей режима минерального питания культур позволяющих диагностировать, прогнозировать, оптимизировать питание, разрабатывая гибкую систему удобрения полей с целью повышения урожая, считая величину и количество его функцией элементного состава растений;
- проведение полевых, микрополевых опытов с удобрениями при увязывании данных урожая и качества с нормативными агрохимическими характеристиками почвы, физиолого-биохимическими характеристиками растений.

Начиная с 1954 года сотрудниками кафедры агрохимии Омского ГАУ наиболее глубоко стала развиваться физиолого-биохимическое направление в агрохимии, родоначальником которого был Д.Н. Прянишников – диагностирование потребности сельскохозяйственных культур в удобрениях с учетом химического состава листьев и почвы. В начале Н.К. Болдыревым (1957-1961 гг.), а затем

Е.Д. Волковым (1959-1962 гг.) был разработан метод листовой диагностики потребности зерновых культур в удобрениях.

Исходя из концепции единства почвы и растения при разработке системы применения удобрений научной школой профессора Ю.И. Ермохина разрабатывается система оперативной интеграционной диагностики «Управление почвенным плодородием, питанием культурных растений и качеством урожая», которая позволяет осуществлять оптимизацию питания как направленного способа воздействия через почву на формирование величины и качества урожая сельскохозяйственных культур (Ермохин Ю.И., 1983, 1995, 2005, 2014).

Разработаны математические модели оперативной диагностики минерального питания, эффективности использования удобрений, прогнозирования величины и качества урожая, которые основаны на трех принципах:

- 1) способности почв удовлетворять потребность растений в питательных веществах на основе системы ПД – почвенной диагностики;
- 2) потребности растений в питательных веществах и их способности к усвоению этих веществ в конкретных условиях сельскохозяйственного производства – система РД – растительная (листовая) диагностика;
- 3) состоянии питания растений, расчете доз удобрений в период роста и развития и прогнозирования величины и биологической полноценности растениеводческой продукции по формулам листового анализа.

Исходя из этих принципов приходим к выводу, что при рассмотрении потребности растений в питательных веществах и их способности к усвоению из внешней среды (почвы) нельзя рассматривать, а точнее переоценивать физико-химические процессы, происходящие между корневой системой и внешней средой (первый принцип).

Разрабатывая нормативные параметры модели интеграционной почвенно-растительной оперативной диагностики минерального питания растений (системы «ПРОД») становится ясно, что традиционными методами только почвенной диагностики «разговаривать» с растениями невозможно, все необходимое

для беседы в познании потребности растений и способности к усвоению элементов питания «язык растений» (Ермохин Ю.И., 1995).

Начальный блок используется для разработки и получения действительно возможного урожая (ДВУ) в конкретных почвенно-климатических условиях с учетом объективного закона земледелия – закона минимума.

В результате многопланового исследования найдены математические зависимости, связывающие урожайность и качество продукции с количеством применяемых удобрений, определено оптимальное содержание и уравновешенный баланс в почве 12 элементов (почвенная диагностика), в листьях растений (листовая диагностика), в тканях листьев (тканевая диагностика), в клеточном соке черешков листьев (соковая диагностика), разработана методика расчета доз удобрений для основного внесения и для коррекции питания культур в виде подкормки по ходу процесса роста и развития культур.

Разработанная модель «ПРОД» (рисунок 1.1) хорошо показывает, что организм растений находится в постоянном количественном и качественном взаимодействии со средой обитания. Действие внешних факторов в конечном итоге проявляется через внутреннюю организацию и функционирование частей растительного организма, через изменения на молекулярном уровне, возникающее в результате влияния среды или нарушения отдельных компонентов ее (т.е. в потреблении различных видов энергии в том числе, питательных элементов, сложившемся ионном равновесии в растительном организме). Химический подход к жизненным явлениям растительного организма в системе почва – растение – удобрение позволяет «раскрыть» вызываемый растительным организмом голодание или нормальное функционирование растения.

В настоящее время разработана система почвенно-растительной диагностики минерального питания, величины и качества урожая картофеля, томатов, огурцов, моркови, свеклы, капусты, (Ермохин Ю.И., 1968, 1995); репчатого лука (Трубина Н.К., 1993) огурцов и томатов в защищенном грунте (Науменко И.В., 1973), поздней капусты (Володина Т.И., 1086), черной смородины (Северин

И.Ф., 1981), люцерны (Масалкин С.Д., 1986), рапса и сурепицы (Кормин В.П., 1988), овсяно-гороховой смеси (Ракицкий И.А., 1989), проса (Пробереж Э.С., 1991, 2002), озимой пшеницы (Шубин О.А., 2008), костреца безостого (Михальская Н.В., 2003), яровой пшеницы (Миссаль А.Р., 1989), редиса (Бобренко Е.Г., 2001), сорговых культур (Бобренко И.А., 2001) и другие (Бобренко И.А., 2004; Ермохин Ю.И., Склярова М.А., 2010 и др.).

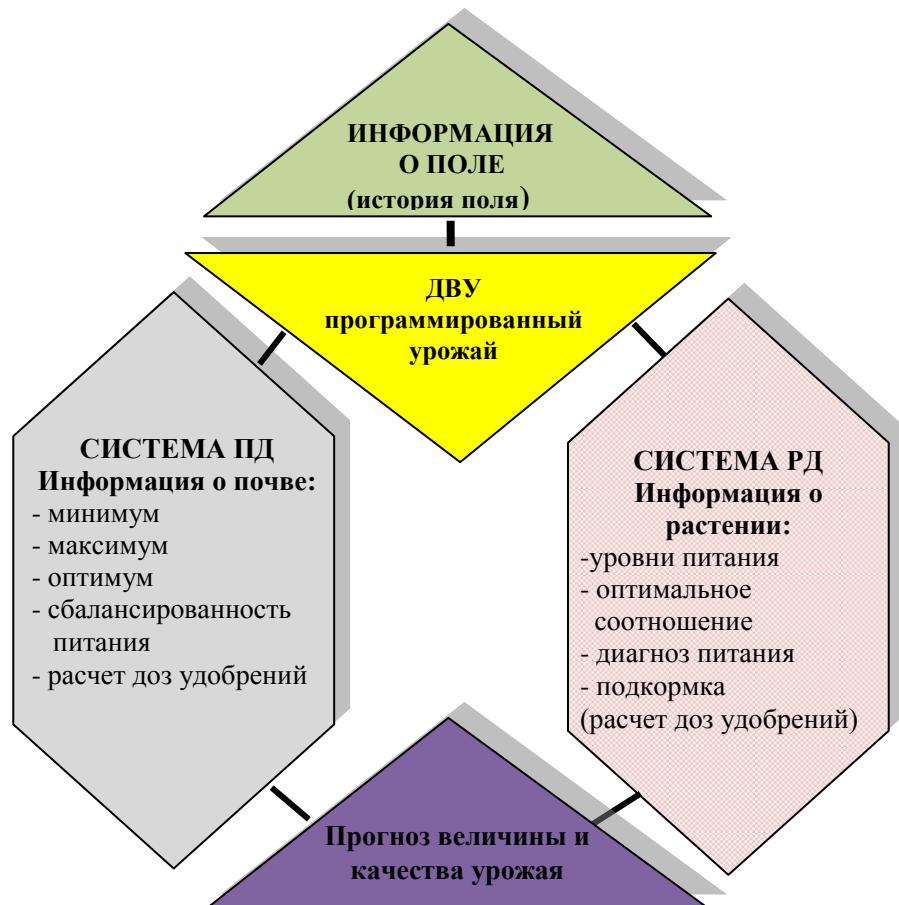


Рисунок 1.1 – Модель интеграционной почвенно-растительной оперативной диагностики минерального питания растений «ПРОД»

Данная система почвенно-растительной оперативной диагностики минерального питания для озимой ржи при возделывании в условии лесостепи Западной Сибири разработана Ю.И. Ермохиным (2014) и М.А. Ли (2009). Авторами предложены параметры питания растений ржи азотом, фосфором и калием. В данной работе в дальнейшем будут отражены результаты исследования по оптимизации микроэлементного питания данной культуры.

## 2 ОБЪЕКТЫ, МЕТОДИКА И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований: растения озимой ржи (сорт Сибирь 3), лугово-черноземная среднемощная среднегумусовая тяжелосуглинистая почва, азотные, фосфорные, калийные, цинковые, медные и марганцевые удобрения.

**Характеристика сорта.** Сорт Сибирь 3 создан в Сибирском научно-исследовательском институте сельского хозяйства Р.И. Рутцем с соавторами. Куст стелющийся, стебель толстый, прочный, полный. Лист широкий без опушения и воскового налёта в период кущения. Колос призматический, длинный (12-15 см), белый, с хорошо выраженным восковым налётом, средней плотности. Зерно крупное, удлинённое, полуоткрытое, серо-зелёной окраски. Сорт среднепоздний, созревает за 330-334 дня. Зимостойкость высокая, высокоустойчива к полеганию. Благодаря высокой зимостойкости, высокому потенциалу продуктивности, технологичности, хорошему качеству зерна сорт Сибирь 3 вполне конкурентоспособен для условий Западной Сибири.

Основное достоинство сорта – высокая зимостойкость, продуктивность, технологичность, хорошее качество зерна. Средняя урожайность за годы испытания составила 4,75 т/га, превышение над стандартом составляло 0,69 т/га, максимальная урожайность составила 6,70 т/га. По качеству зерна Сибирь 3 на уровне лучших сортов, имея массу 1000 зерен 37,2 г, содержание белка – 15,59 %, стекловидность – 43 %, натура зерна – 689 г/л, объём хлеба – 311 см<sup>3</sup>.

Коммерческая ценность сорта Сибирь 3 заключается в его достоверных преимуществах по зимостойкости, устойчивости к засухе и полеганию, по качеству зерна при выращивании в Западно-Сибирском регионе и сопредельных областях (Сорта сельскохозяйственных..., 2016).

## 2.1 Метеорологические условия

Лесостепная зона Западной Сибири простирается узкой полосой в Центральной части Западно-Сибирской равнины и занимает южную оконечность Ишимской возвышенности и Барабинской низменности, а также северную часть Павлодарской и Кулундинской равнины. Типичными для Южной лесостепи зоны почвенно-климатическими условиями характеризуется Омское Прииртышье.

Поверхность лесостепной зоны представляет собой плоскую, ровную, слегка волнистую равнину с незначительным уклоном с юга на север. Такой характер поверхности способствует беспрепятственному проникновению холодных арктических масс воздуха с севера и тёплых сухих из Средней Азии, которые обуславливают формирование резко континентального климата. Климат зоны, характеризуется суровой продолжительной зимой, сравнительно коротким, но жарким летом, короткими весной и осенью (Агроклиматические ресурсы..., 1971).

Температурный режим отличается резкими колебаниями по месяцам и даже в течение суток. Неблагоприятной чертой климата являются поздние весенние и ранние осенние заморозки, обуславливающие короткий безморозный период. В районе города Омска последний весенний заморозок отмечали 12 июня, а первый осенний – 22 августа. Переход среднесуточной температуры воздуха через +10°C происходит весной в середине мая, осенью – в середине сентября (Климат Омска, 1980).

По степени влагообеспеченности лесостепная зона Западной Сибири относится к районам неустойчивого увлажнения. Среднегодовая сумма осадков составляет 300-350 мм, большая часть из которых 75-80 % к годовому количеству – выпадает летом, что сглаживает недостаток воды для роста и развития сельскохозяйственных культур.

Осадки в период вегетации выпадают крайне неравномерно, в первую половину лета их сравнительно мало, а максимум наблюдается в июле. Отличительной особенностью зоны являются частые раннелетние, июньские засухи, которые пагубно отражаются на продуктивности большинства зерновых и кормовых культур. Коэффициент увлажнения территории по В.С. Мезенцеву равен 0,6, что свидетельствует о засушливом климате. Повторяемость засух, в среднем один раз в 5 лет.

Основные климатические условия, которые оказывают большое влияние на рост и развитие озимой ржи: обеспеченность растений влагой в период посева и развития всходов, температурно-водный режим в период закалки растений осенью, снежный покров и температура в зимний период, температура и влажность в период от выхода в трубку до колошения и при наливе зерна.

Для озимой ржи особенно важно наличие достаточного количества влаги в период всходов и кущения. Отсутствие влаги в почве во время сева задерживает всходы, а сухость почвы в последующем уменьшает кущение, что сказывается на перезимовке и урожае. Наибольший расход влаги озимой рожью падает на период от начала выхода в трубку до полного колошения. При сравнительно высокой засухоустойчивости рожь в отдельные годы значительно страдает от недостатка влаги во второй половине мая и в июне. Недостаток влаги оказывает отрицательное влияние на озернённость колоса и крупность зерна. На образование 1 кг сухого вещества озимая рожь расходует 400-420 кг воды (Денисов П.В., 1965).

Годы проведения исследований характеризовались разным количеством осадков и их распределением по периодам роста озимой ржи и температурам (рисунки 2.1, 2.2, приложение Б).

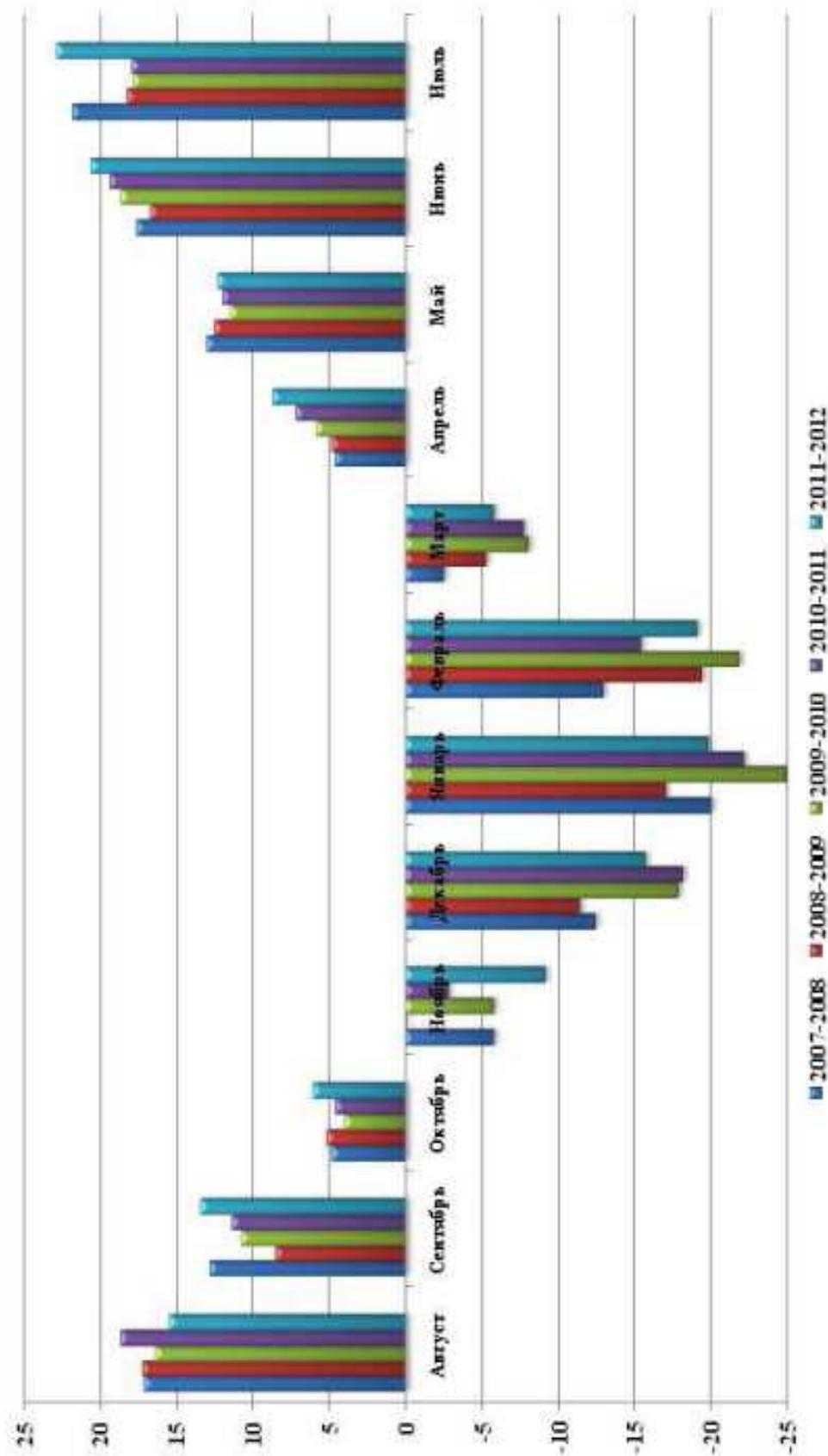
Средняя температура сентября 2007 г. составила +12,8°C, осадков выпало 25 мм, что значительно ниже нормы. В октябре среднемесячная температура составила +4,8°C, осадков выпало 14 мм. Погодные условия всей осени удовле-

творительны для роста и развития озимой ржи. Запасы продуктивной влаги в слое 0-10 см – 12 мм, в слое 0-100 см – 57 мм.

Зима 2007-2008 г. была теплая и малоснежная. Практически все зимние месяцы, за исключением января характеризовались положительной аномалией температуры воздуха.

Постоянный снежный покров установился 7-8 ноября. Снег выпал на талую почву, он укрывал поверхность слоем в 4-5 см, на 5-6 см меньше средних многолетних значений. Декабрь был тёплый, среднемесячная температура воздуха  $-12,4^{\circ}\text{C}$ , сумма осадкой составила 20 мм, высота снежного покрова – 16-18 см. В январе преобладала холодная погода, среднемесячная температура  $-20,0^{\circ}\text{C}$  оказалась ниже нормы на  $1-2^{\circ}\text{C}$ . Снег выпадал редко, сумма осадков за месяц составила 9 мм. В феврале стояла также необычайно тёплая погода. Среднемесячная температура составила  $-12,9^{\circ}\text{C}$ . В феврале сумма осадков 26 мм, но высота снежного покрова была всего 25 см. За зимний период вегетации озимой ржи минимальная температура на глубине узла кущения не понижалась до опасных пределов ( $-4, -6^{\circ}\text{C}$ ).

Весна была теплой с умеренно дождливой погодой. Март характеризовался аномально теплой погодой. Среднемесячная температура составила  $-2,5^{\circ}\text{C}$ , сумма осадков за месяц 18 мм. Снеготаяние началось 21 марта. Апрель характеризовался теплой погодой со среднемесячной температурой в  $+4,6^{\circ}\text{C}$  и количеством осадков за месяц 17 мм. В мае преобладала теплая погода со среднемесячной температурой воздуха в  $+13,0^{\circ}\text{C}$ , выпало осадков 25 мм, что больше нормы.



Рису-

нок 2.1 – Среднемесячная температура воздуха за вегетационные периоды 2007-2012 гг. (ГМС Омск)

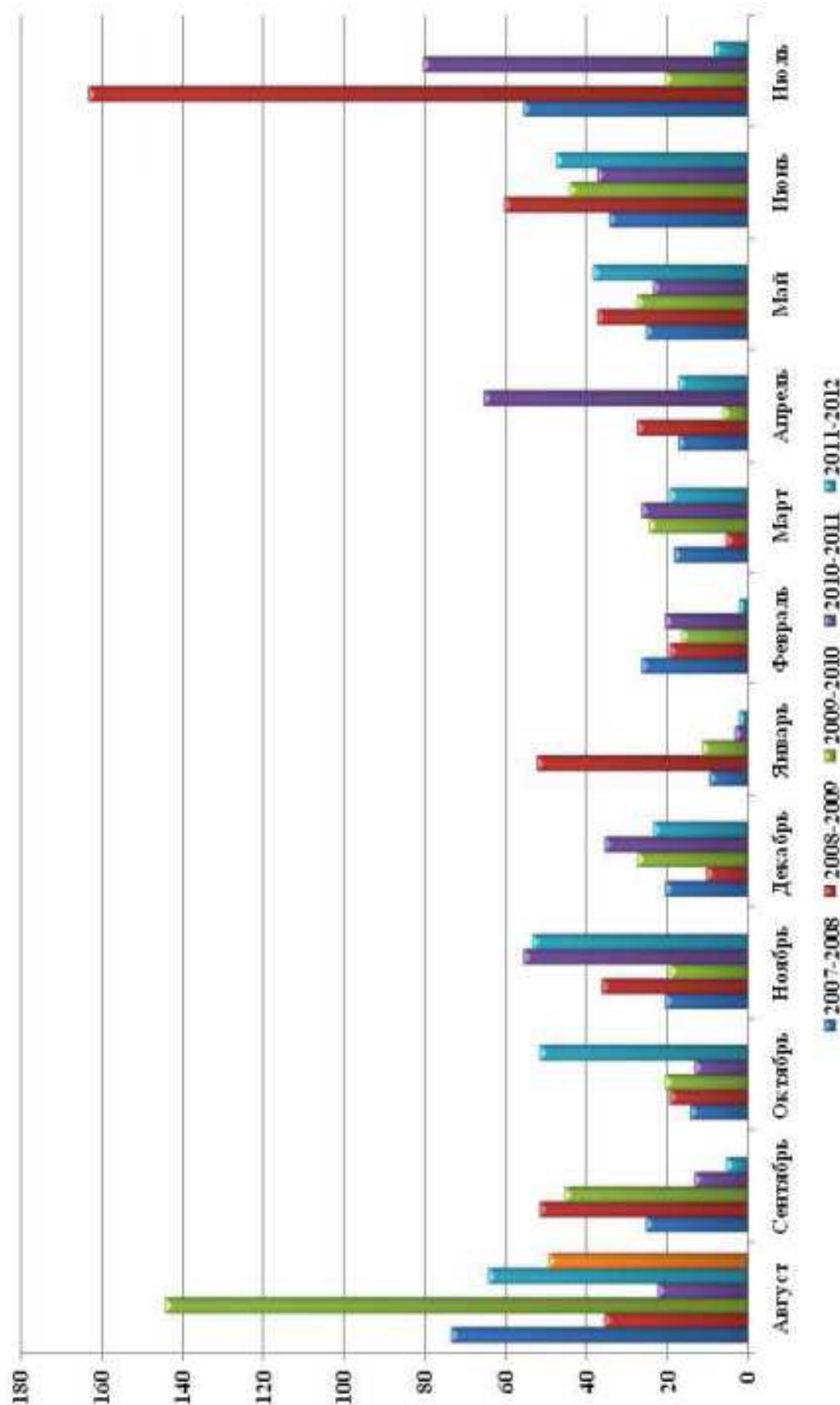


Рисунок 2.2 – Среднемесячные осадки за вегетационные периоды 2007-2012 гг. (ГМС Омск)

Лето было умеренно-влажным и теплым. В июне среднемесячная температура воздуха составила  $+17,6^{\circ}\text{C}$ , сумма осадков – 34 мм. Июль характеризовался жаркой погодой, со среднемесячной температурой  $21,8^{\circ}\text{C}$  и суммой осадков за месяц 55 мм.

Агрометеорологические условия осеннего развития озимой ржи в августе были удовлетворительными из-за дефицита влаги в почве, в сентябре хорошиими по влагообеспеченности, но удовлетворительными из-за недобора тепла. В начале октября наблюдалась очень теплая, сухая погода. Первая фаза закаливания прошла в нормальных условиях: дневная температура  $+4\dots+10^{\circ}\text{C}$ , ночная  $0\dots-3^{\circ}\text{C}$ . За месяц в среднем температура составила  $5,1^{\circ}\text{C}$  при среднемесячном количестве осадков – 19 мм. С момента прекращения активной вегетации 15-17 октября до 5 ноября из-за повышенного температурного фона культура в дневные часы слабо вегетировала. Вторая фаза закаливания прошла при среднесуточных температурах воздуха  $-2\dots-8^{\circ}\text{C}$ . Минимальная температура на глубине узла кущения в ноябре понижалась до  $-1\dots-4^{\circ}\text{C}$ .

В декабре для озимой ржи складывались неблагоприятные условия. Минимальная температура почвы на глубине узла кущения в эти дни понижалась до  $-10\dots-17^{\circ}\text{C}$ .

В январе 2009 г. минимальная температура воздуха на поверхности снега понижалась до  $-36\dots-44^{\circ}\text{C}$ . Растения озимой ржи были надежно укрыты снегом, поэтому минимальная температура почвы на глубине узла кущения до опасных пределов не понижалась и составила  $-4\dots-13^{\circ}\text{C}$ . Февраль характеризовался теплой погодой с малым количеством осадков. Среднемесячная температура воздуха составила  $-19,4^{\circ}\text{C}$  с суммой осадков в 19 мм.

В марте стояла теплая погода с недобором осадков. Средняя температура за месяц составила  $-5,3^{\circ}\text{C}$ , сумма осадков – 5 мм. Апрель был прохладным с нормальным количеством осадков. Средняя температура за месяц –  $4,8^{\circ}\text{C}$  с суммой осадков в 27 мм. Май характеризовался преобладанием теплой погоды с обильными осадками. Среднемесячная температура составила  $12,5^{\circ}\text{C}$  и сумма осадков 37 мм.

В июне преобладала прохладная погода, во второй половине месяца был дождливым. Температура составила  $16,7^{\circ}\text{C}$ , зарегистрирована сумма осадков в 60 мм. В июле и августе преобладала прохладная погода с избыточным количеством осадков.

Агрометеорологические условия осеннего периода характеризовались хорошей влаго- и теплообеспеченностью для развития озимой ржи. Среднемесячная температура воздуха в сентябре  $10,7^{\circ}\text{C}$ , что в пределах нормы.

Температурный фон в среднем за октябрь составил  $4,0^{\circ}\text{C}$ , это выше нормы на  $1,7^{\circ}\text{C}$ . Озимая рожь прекратила активную вегетацию на 16 дней позднее обычных сроков. Условия закаливания в текущем году были неблагоприятными. В октябре средняя температура воздуха резко снизилась от положительных значений до отрицательных. В ноябре преобладала теплая погода, среднемесячная температура воздуха составила  $-5,8^{\circ}\text{C}$ .

Зима 2009-2010 гг. была аномально холодной. Декабрь характеризовался холодной погодой. Среднемесячная температура воздуха составила  $-17,8^{\circ}\text{C}$ , на  $3,4^{\circ}\text{C}$  ниже средних многолетних значений. В январе преобладала необычно холодная погода. Среднемесячная температура воздуха составила  $-24,9^{\circ}\text{C}$ , на  $8^{\circ}\text{C}$  ниже нормы. Холодная погода в феврале сохранялась. Среднемесячная температура воздуха  $-21,8^{\circ}\text{C}$ , оказалась ниже нормы на  $5^{\circ}\text{C}$ . Сумма осадков за зимний период составила 120 мм, 113 % от нормы. К моменту наступления сильных морозов снег надёжно предохранял озимые от низких температур. Минимальная температура почвы на глубине узла кущения зимой до опасных пределов не понижалась, абсолютный минимум составил  $-8\dots-13^{\circ}\text{C}$ .

Весной преобладала теплая, с большим недобором осадков погода. В марте преобладала тёплая, с обильными осадками погода. В апреле отмечалась засушливая и тёплая погода со среднемесячной температурой воздуха  $5,8^{\circ}\text{C}$ . Май характеризовался холодной с дефицитом осадков погодой. Лето выдалось засушливым и жарким в отдельные периоды. В июне преобладала неустойчивая погода, среднемесячная температура воздуха составляла  $18,6^{\circ}\text{C}$  и превы-

сила многолетнюю на 0,9°C. В июле среднемесячная температура воздуха составляла 17,8°C, оказалась ниже средней многолетней на 1,9°C. Месячная сумма осадков составила 20 мм, 34 % от нормы. В августе удерживалась аномально теплая погода, среднемесячная температура воздуха 18,6°C превысила многолетнюю на 2,5°C. Наблюдался недобор осадков, месячная сумма их 22 мм составила всего 41 % от нормы.

Осень характеризовалась теплой с недобором осадков погодой. Для прорастания озимой ржи сложились удовлетворительные условия. Сентябрь был тёплый и с недобором осадков: среднемесячная температура – 11,3°C, суммарное количество осадков – 13 мм. Такое же количество осадков за месяц выпало в октябре, среднемесячная температура составила – 4,6°C. Ноябрь характеризовался аномально теплой погодой с обильными осадками в виде дождя и снега. Среднемесячная температура воздуха составила -2,8°C, на 4,7°C выше нормы. Осадки в течение месяца выпадали в виде дождя и снега. Постоянный снежный покров установился 18 ноября, на 10 дней позднее обычных сроков. Глубина промерзания почвы на 30 ноября составила 36 см, на 9 см меньше нормы. Озимая рожь находилась в состоянии покоя. Полное закаливание осуществлялось в третьей декаде ноября уже под снегом. Высота снежного покрова 19 см, при норме 11 см.

Зима 2010-2011 гг. была умеренно холодной с обильными осадками. Декабрь характеризовался холодной погодой с обильными снегопадами. Среднемесячная температура воздуха составила -18,2°C, на 3,8°C ниже средних многолетних значений. Высота снежного покрова 32 см. Минимальная температура почвы на глубине узла кущения в декабре опускалась до -4°C. В январе преобладала умеренно холодная с недобором осадков погода. Среднемесячная температура воздуха составила -22,1°C, на 4,1°C ниже нормы. Сумма осадков за месяц составила 3 мм, 18 % от нормы. В феврале преобладала теплая погода в первой и второй декадах, холодная в третьей. Обильные снегопады отмечались в первой половине месяца. Месячная сумма осадков составила 20 мм, 146

% от нормы. Абсолютный минимум температуры почвы на глубине узла кущения озимых за прошедший период зимы по наблюдениям на метеостанциях ниже 14°C не понижался.

Весной преобладала теплая, с обильными осадками погода. Март – теплый с обильными осадками. Среднемесячная температура воздуха -7,7°C. Месячная сумма осадков составила 26 мм, 186 % от нормы. Апрель характеризовался необычно теплой, дождливой погодой. Среднемесячная температура воздуха составила 7,1°C, на 3,7°C выше обычных значений. Осадки интенсивно выпадали в конце месяца. В мае преобладала умеренно теплая погода с обильными осадками. Среднемесячная температура воздуха составила 11,9°C, на 0,3°C выше нормы. Сумма осадков за месяц – 23 мм, 68 % от нормы.

Лето характеризовалось контрастной по температурному режиму и умеренно влажной погодой. Июнь был прохладным и дождливым. Характер погоды в июле следующий: среднемесячная температура воздуха составила 17,9°C, на 2,5°C ниже нормы, количество осадков за месяц составило 80 мм, что значительно превышало норму. В августе преобладала прохладная, дождливая погода. Среднемесячная температура воздуха 15,4°C оказалась ниже средней многолетней на 0,7°C, количество осадков – 64 мм, 119 % от нормы.

Сентябрь характеризовался необычно тёплой и сухой погодой. Средняя температура воздуха составила 13,4°C, на 2-4°C выше среднемноголетних значений. В сентябре стояла на редкость сухая погода, сумма осадков составила 5 мм. Погодные условия для роста и развития озимой ржи хорошие и удовлетворительные.

В октябре преобладала тёплая, с большим количеством осадков погода. За месяц средняя температура воздуха составила 6°C, на 5-6°C выше нормы, количество осадков выпало 51 мм. Озимые прекратили активную вегетацию на 11 дней позднее средних дат. Первая фаза закаливания прошла при благоприятных условиях: дневные температуры составляли 3-9°C, ночные -3...+3°C. Вторая фаза закалки проходила после наступления зимы при среднесуточных

температурах -3...-6°C. Для осеннеого развития растений тепла и влаги было в оптимальном количестве, которые продолжали куститься.

Ноябрь характеризовался обильными снегопадами и холодной погодой. Среднемесячная температура воздуха составила -9,1°C, на 1,9°C ниже нормы. Минимальная температура воздуха 25 ноября понижалась до -23...-28°C, на поверхности снега до -26...-36°C. Постоянный снежный покров установился 5-9 ноября, высота снежного покрова на 30 ноября составила 18 см.

В декабре температура умеренно холодная с недобором осадков. Среднемесячная температура воздуха составила -15,7 °C, при норме -15,1°C. Высота снежного покрова составила 23 см.

Холодная малоснежная погода наблюдалась в январе 2012 г. Среднемесячная температура воздуха составила -19,8°C, на 0,9°C выше нормы. Февраль холодный и малоснежный. Среднемесячная температура воздуха составила – 9,1°C, холоднее обычной на 2,2°C. Осадки отмечены большим недобором, количество которых за два месяца составило 4 мм.

Для марта характерна теплая погода с осадками в виде дождя и снега. Среднемесячная температура воздуха составила -5,8°C, при норме 5,3°C. Сумма осадков составила 19 мм, что соответствовало норме. В апреле была очень теплая погода, с недобором осадков. Среднемесячная температура воздуха составила 8,7°C, на 2,8°C выше нормы. В мае среднемесячная температура воздуха 12,3°C близка к многолетним значениям, сумма осадков составила 38 мм при норме 28,3.

Июнь характеризовался очень теплой с ливневыми осадками погодой. Среднемесячная температура воздуха 20,5°C превышала многолетнюю на 2,3°C. Месячная сумма осадков ровнялась 47 мм при норме 42,3. В июле была жаркая сухая погода. Среднемесячная температура воздуха составила 22,8°C, выше нормы на 2,3°C. Отмечался значительный недобор осадков. В августе – теплая погода с недостатком осадков. Среднемесячная температура воздуха составила 17,9°C (1,5°C выше нормы), сумма осадков – 49 мм.

Таким образом, погодные условия в годы исследований были различны по тепло- и влагообеспеченности. Вегетационные периоды 2007-2008 гг., 2009-2010 гг. и 2011-2012 гг. были более жаркими и засушливыми, а 2008-2009 гг., 2010-2011 гг. более холодными и влажными.

## 2.2 Агрохимическая характеристика почвы

Полевой опыт был заложен на лугово-черноземной среднемощной среднегумусовой тяжелосуглинистой почве опытного поля ФГБНУ Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства.

Зональными пахотными почвами лесостепной Омской области являются обыкновенные и выщелоченные черноземы, а также лугово-черноземные почвы. Основной массив Прииртышской полосы, часть которой занимает опытное поле, сложен третичными пластообразованиями. Почвообразующие породы представлены лессовидными карбонатными желто-бурыми суглинками, которые подстилаются третичными глинами.

Морфологическая характеристика лугово-черноземной среднемощной среднегумусовой тяжелосуглинистой почвы представлен описанием следующего разреза.

Вскапание от соляной кислоты на глубине 107 см.

Гор.  $\frac{A_{\text{MAX}}}{0 - 45} \text{ см}$  Влажный, темно-серый. Однородный, глыбисто-комковатый, тяжелосуглинистый, много остатков корней, переход в AB постепенный по структуре и цвету.

Гор.  $\frac{AB}{45 - 64} \text{ см}$  Влажный, темно-серый, однородный, глыбисто-комковатый, тяжелосуглинистый, корней меньше, переход в B<sub>1</sub> ясный.

Гор.  $\frac{B_1}{64 - 87} \text{ см}$  Влажный, серовато-бурый, неоднородный, тяжело-суглинистый, глыбисто-ореховатый с гумусовыми потеками, уплотненный, переход в B<sub>2</sub> постепенный.

Гор.  $\frac{B_2}{87 - 107}$  см Влажный, желтый, неоднородный, среднесуглинистый, глыбистый, переход в С по структуре постепенный.

Гор.  $\frac{C_k}{107 - 140}$  см Палево-желтая, карбонатная бесструктурная глинистая порода.

Мощность однородного гумусового слоя составила 45 см. По содержанию гумуса почва относится к среднегумусовым, в пахотном горизонте гумуса 5,0-6,5 %. С глубиной наблюдается равномерное убывание гумуса.

Данные почвы являются распространенными на территории Омской области: обыкновенные черноземы занимают 1886,9, лугово-черноземные – 514,9 тыс. га. Из общей площади пашни области 2214,8 тыс. га или 53,5 % относится к этим почвам (соответственно 40,2 и 10,3 %) (Мищенко Л.Н., 1991, 2010).

В верхних горизонтах в составе поглощенных оснований преобладает кальций – 25,6-22,4 мг·экв/100 г. Отмечено присутствие натрия до 0,1 %, pH водной вытяжки в слое 0-45 см равна 6,7 (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Агрохимические свойства лугово-чернозёмной почвы

Горизонты	Глубина, см	рН водной вытяжки	Гумус, %	Поглощенные основания, мг·экв/100 г			Сумма поглощенных оснований, мг·экв/100 г
				Ca	Mg	Na	
A <sub>пах</sub>	0-45	6,7	6,80	25,6	2,5	0,06	28,16
AB	45-64	6,9	5,80	22,4	6,05	0,01	28,46
B <sub>1</sub>	64-87	7,2	2,10	-	-	0,01	-
B <sub>2</sub>	87-107	7,5	0,43	-	-	0,02	-
C <sub>k</sub>	107-140	8,3	0,36	-	-	0,02	-

Содержание в пахотном слое почвы опытного участка нитратного азота и подвижного фосфора – среднее, обменного калия – высокое, подвижных цинка, меди и марганца – низкое (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Содержание доступных элементов питания в почве  
(слой 0-30 см), мг/кг\*

Год	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Zn	Cu	Mn
2007	20,6/15,6	85,2/321,4	258/788,5	0,55	0,11	60,2
2008	26,8/20,6	83,2/314,3	257/785,5	0,58	0,11	51,4
2009	16,4/12,3	80,0/302,9	250/764,2	0,55	0,15	48,3
2010	20,1/15,2	81,6/308,6	252/770,3	0,61	0,12	49,4
2011	20,3/15,4	73,9/281,1	254/776,4	0,54	0,14	55,1

Примечание: \*Макроэлементы: в числителе – содержания, определенные в 2 %-ной уксусно-кислой вытяжке, в знаменателе – стандартными методами; микроэлементы – в ацетатно-аммонийном буферном растворе с pH 4,8.

### 2.3 Общие сведения о методике полевого опыта

С целью получения экспериментальных данных были заложены следующие полевые опыты.

Опыт №1. Влияние различных способов применения цинковых удобрений при возделывании озимой ржи (2007-2011 гг.): 1. N<sub>30</sub>, 2. N<sub>30</sub> + Zn<sub>4</sub>, 3. N<sub>30</sub> + Zn<sub>8</sub>, 4. N<sub>30</sub> + Zn<sub>12</sub>, 5. N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>, 6. N<sub>30</sub>P<sub>60</sub> + Zn<sub>4</sub>, 7. N<sub>30</sub>P<sub>60</sub> + Zn<sub>8</sub>, 8. N<sub>30</sub>P<sub>60</sub> + Zn<sub>12</sub>, 9. N<sub>30</sub>P<sub>60</sub> + Zn<sub>50</sub>\*, 10. N<sub>30</sub>P<sub>60</sub> + Zn<sub>100</sub>\*, 11. N<sub>30</sub>P<sub>60</sub> + Zn<sub>150</sub>\*. (\* - опудривание семян микроэлементами, г/ц).

Опыт №2. Предпосевная обработка семян озимой ржи солями микроэлементов (2007-2011 гг.): 1. N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> – фон, 2. Фон + Zn<sub>50</sub>, 3. Фон + Zn<sub>100</sub>, 4. Фон + Zn<sub>150</sub>, 5. Фон + Cu<sub>50</sub>, 6. Фон + Cu<sub>100</sub>, 7. Фон + Cu<sub>150</sub>, 8. Фон + Mn<sub>50</sub>, 9. Фон + Mn<sub>100</sub>, 10. Фон + Mn<sub>150</sub>.

Варианты с дозами Zn<sub>12</sub> и Zn<sub>150</sub>, Cu<sub>150</sub>\*, Mn<sub>150</sub>\* были введены в схему исследований в 2009 г. для изучения повышенного уровня микроэлементного питания. Дозы удобрений для изучения выбраны в результате анализа исследований по данной тематике различных учёных (Ламбин А.З., 1949, 1959; Каталымов М.В., 1965; Ермохин Ю.И., 2005; Орлова Э.Д, Пыхтарева Е.Г., 2007).

Опыт №3. Применение расчётных доз цинковых удобрений в основное внесение (2010-2012 гг.): 1. N<sub>30</sub>P<sub>60</sub> – фон; 2. Фон + Zn<sub>3,4</sub> (ОУ), Zn<sub>6,6</sub> (ОУ) , 4. Фон + Zn<sub>11,3</sub> (ПО).

В исследованиях наряду с дозой макроудобрений для создания оптимальных уровней макроэлементного питания N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>, цинковые удобрения применяли в дозах, определённых расчётными методами.

В эксперименте применялся метод определения доз удобрений на основе оптимальных уровней (ОУ) содержания элемента в почве, который основан на применении формулы (1):

$$\Delta = (\mathcal{E}_o - \mathcal{E}_\phi) / b, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_o$  – оптимальный уровень содержания элемента в почве, мг/кг;

$\mathcal{E}_\phi$  – фактический уровень содержания элемента в почве, мг/кг;

$b$  – коэффициент интенсивности действия единицы внесённого минерального удобрения (1 кг д.в./га) на химический состав почвы (мг/кг).

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

$$D_p = D_o \cdot X_o / X_p, \quad (2)$$

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

$D_p$  – предполагаемая доза удобрений (кг д.в./га) при содержании (мг/кг) соответствующего элемента в почве конкретного поля ( $X_p$ ).

Проводимые опыты однофакторные. Расположение делянок на опытном участке систематическое со смещением. Площадь учётной делянки – 15 м<sup>2</sup>. Повторность вариантов в опыте трёхкратная. Предшественником озимой ржи являлся кулисный пар.

Агротехника общепринятая для этой зоны: в начале августа – основная обработка почвы ПН-8-35 на глубину 20-22 см. Посев в третьей декаде августа, пунктирный, на глубину 5-6 см, сеялкой ССФК-7 с междурядьями 15 см; норма высева – 6,0 млн. всхожих зёрен на гектар. После посева осуществлялось прикатывание кольчатаими катками ЗКК-3А с целью выравнивания по-

верхности участка и подтягивания влаги из нижних слоев почвы в верхние. Семенной материал опудривали микроудобрениями согласно схеме опыта из расчета 50, 100 и 150 г соли на 1 центнер семян.

Использовались формы удобрений: аммиачная селитра ( $N - 34,5\%$ ); сульфат двойной ( $P_2O_5 - 46\%$ ); хлористый калий ( $KCl - 60\%$ ), сернокислый цинк ( $Zn - 22\%$ ), сернокислая медь ( $Cu - 22,5\%$ ), сернокислый марганец ( $Mn - 22,8\%$ ).

Учёт урожая производился в фазу восковой спелости. Озимую рожь убирали в фазу восковой спелости зерна прямым комбайнированием «НЕГЕ-125». Уборку урожая осуществляли в середине периода восковой спелости зерна, когда озимая рожь имела 85 % восковой и 10 % полной спелости.

В полевых опытах проводились наблюдения:

1. определение содержания подвижных форм элементов минерального питания в слое почвы 0-30 см;
2. фенологические наблюдения за ростом и развитием растений по фазам;
3. определение химического состава растений по фазам (кущение, выход в трубку, колошение, восковая спелость);
4. учёт урожая;
5. определение структуры урожая;
6. определение показателей качества.

Закладку опытов, а также учёты и наблюдения проводили по общепринятым методикам (Кидин В.В., 2015; Пискунов А.С., 2004; Юдин Ф.А., 1980).

Аналитические работы выполнены на кафедре агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО Омский ГАУ, ФГБНУ Сибирский научно-исследовательском институте сельского хозяйства (определение качества зерна в лаборатории качества зерна), в ЦАС «Омский» (определение содержания микроэлементов).

Химический анализ почвы проводили из одной вытяжки, полученной с применением 2 %-ной уксусной кислоты по Ю.И. Ермохину (2005). В почвенных пробах определяли: нитратный азот с дисульфофероловой кислотой по

Грандвалль-Ляжу, подвижный фосфор – по Дениже в модификации Малюгина и Хреновой, обменный калий – на пламенном фотометре. Также применяли определение нитратного азота в водной вытяжке, фосфора и калия по методу Чирикова.

Гигроскопическую влагу определяли методом высушивания в сушильном шкафу при температуре  $105\pm2^{\circ}\text{C}$  (ГОСТ 27548-97). Сжигание растительных навесок проводили методом мокрого озоления по Гинзбург; общий азот в полученном растворе определяли по Кьельдалю.

Определяли структуру урожая: продуктивную кустистость, озернённость колоса, вес 1000 зёрен и т.д. Урожай зерна приводили к 100 %-ной чистоте и 14 %-ной влажности. Определение содержания белка натуры и стекловидности, число падения по общепринятым методикам (ГОСТ 10846-91; ГОСТ 10987-79, ГОСТ 30498-97).

Определение подвижных форм цинка, меди и марганца определяли в ацетатно-аммонийных вытяжках из почв методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (ГОСТ Р 50685-94; ГОСТ Р 50683-94; ГОСТ Р 50686-94).

Статическую обработку опытных данных проводили методом дисперсионного и корреляционного анализа, биоэнергетическую и экономическую – согласно рекомендациям (Доспехов Б.А., 1979; Ермохин Ю.И., 1994).

### 3 ДИАГНОСТИКА ПОТРЕБНОСТИ ОЗИМОЙ РЖИ В УДОБРЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ПОЛЕВОГО ОПЫТА

Для повышения урожайности озимой ржи решающее значение имеет применение удобрений. При внесении удобрений растения не только получают дополнительно необходимые им усвояемые питательные вещества, но и лучше используют элементы питания самой почвы.

На протяжении вегетационного периода, который длится около 200 дней, растения озимой ржи потребляют питательные элементы неравномерно. Озимая рожь уже в течение осеннего периода усваивает примерно до 40-50 % конечного содержания элементов питания в урожае. Значительное количество питательных элементов усваивается в период от всходов до конца кущения. Основную же часть элементов питания растения используют от кущения до конца колошения. Отсюда вытекает необходимость внесения удобрений до посева или во время его, в том числе и микроудобрений (Денисов П.В., 1979).

Первые исследования в Западной Сибири по применению микроудобрений провёл профессор А.З. Ламбин (1938, 1945, 1952, 1959). Сотрудниками кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО Омский ГАУ Э.Д. Орловой (1968), Ю.И. Ермохиным (1983, 2002, 2014), А.В. Синдиревой (2001, 2012), В.М. Красницким (2002), Т.Б. Смирновой (2003), И.А. Бобренко (2004), Л.Н. Андриенко (2006), Е.Г. Пыхтаревой (2007), М.А. Скляровой (2008, 2014), Н.К. Трубиной (2009), Ю.А. Азаренко (2012), Л.М. Лихомановой (2012), Н.В. Гоман (2016), В.И. Поповой (2016) и другими к настоящему времени проведено большое количество вегетационных и полевых опытов с марганцевыми, медными, молибденовыми, борными, цинковыми, кобальтовыми удобрениями на дерново-подзолистых, серых лесных почвах и черноземах с зерновыми, корневыми, овощными культурами, картофелем (Азаренко Ю.А., 2010, 2013; Бобренко И.А. и др., 2011, 2012; Орлова Э.Д., 1971, 1989, 2007; Попова В.И.,

2013; Bobrenko I.A., 2013). Исследования влияния микроэлементов на урожайность озимой ржи в условиях Западной Сибири ранее не проводились.

Агрохимическое обследование на содержание микроэлементов в почвах Омской области проведено сотрудниками агрохимической службы: ФГБУ ЦАС «Омский» и ФГБУ САС «Тарская». Результаты этой ценной работы дают представление о микроэлементной ситуации во всех районах области и позволяют прогнозировать необходимость применения микроудобрений.

### **3.1 Применение микроудобрений и урожайность зерна озимой ржи**

В проведенных опытах в 2007-2012 гг. по изучению эффективности микроудобрений, применяемых под озимую рожь на лугово-черноземной почве предусматривалось выявить закономерности действия различных доз и способов внесения цинковых удобрений на азотном и азотно-фосфорном фоне (полевой опыт № 1); различных доз и сочетаний цинковых, марганцевых и медных удобрений методом предпосевного опудривания семян на оптимальном фоне полного удобрения (полевой опыт № 2); расчетных доз цинка при основном внесении (полевой опыт № 3) на урожайность культуры.

Одним из необходимых условий эффективного действия микроудобрений является создание оптимальных фонов по созданию макроэлементов в почвах опытных участков. В наших исследованиях содержание нитратного азота составило в фазу кущения 28-37 мг/кг, подвижного фосфора 69-103 мг/кг, обменного калия 138-344 мг/кг почвы (приложения Д, Е). Данные уровни соответствуют оптимальному содержанию элементов для растений озимой ржи, установленные ранее исследованиями Ю.И. Ермохина (2014) и М.А. Ли (2009).

Исследования выявили положительное действие цинковых удобрений в основное внесение на урожайность озимой ржи в зависимости от доз и способов применения на различных фонах (таблица 3.1, приложение В).

Таблица 3.1 – Эффективность внесения цинковых удобрений различными способами при возделывании озимой ржи на лугово-чернозёмной почве  
(среднее 2008-2011 гг., опыт №1)

Варианты	Урожайность, т/га	Прибавка			
		т/га к фонам		% к фонам	
		N <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	N <sub>30</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>
N <sub>30</sub>	3,91	-	-	-	-
N <sub>30</sub> + Zn <sub>4</sub>	4,02	0,11	-	2,81	-
N <sub>30</sub> + Zn <sub>8</sub>	4,33	0,42	-	10,74	-
N <sub>30</sub> + Zn <sub>12</sub>	4,02**	0,11	-	2,81	-
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	4,22	0,31	-	7,93	-
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	4,72	0,81	0,50	20,72	11,85
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>8</sub>	4,03	0,12	-0,19	3,10	-4,50
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>12</sub>	4,39**	0,48	0,17	12,28	4,03
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>50</sub> *	4,21	0,30	-0,01	7,67	-0,24
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>100</sub> *	4,79	0,88	0,57	22,51	13,51
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>150</sub>	4,44**	0,53	0,22	13,55	5,21
HCP <sub>05</sub>	0,24				

Примечание: \* - граммов соли микроэлемента на 1 центнер семян;

\*\* - данные за 2010-2011 гг.

Основное внесение различных доз цинковых удобрений по разному способствовало формированию урожайности зерна озимой ржи. Внесение цинка в дозе 4 кг д.в./га на фоне N<sub>30</sub> не способствовало получению достоверной прибавки урожайности (4,02 т/га в варианте и 3,91 т/га на фоне). При увеличении дозы данного микроэлемента в два раза (8 кг д.в./га) урожайность выросла на 0,31 т/га по сравнению с дозой цинковых удобрений 4 кг д.в./га и на 0,42 т/га (10,74 %) по сравнению с фоном.

Рассмотрение результатов внесения дозы цинка 12 кг д.в./га на фонах N<sub>30</sub> не выявило увеличение урожайности зерна озимой ржи, по сравнению с дозой 4 кг д.в./га. Увеличение урожайности зерна озимой ржи на 0,31 т/га в варианте N<sub>30</sub>P<sub>60</sub> по сравнению с фоном N<sub>30</sub> формировалось в условиях улучшенного фосфорного питания растений. На фоне N<sub>30</sub>P<sub>60</sub> максимальная урожайность по-

лучена в варианте с внесением сернокислого цинка в дозе 4 кг д.в./га и соста- вила 4,72 т/га. Применение доз 8 и 12 кг д.в./га привело к снижению урожай- ности до 4,03 и 4,39 т/га соответственно.

Обработка семенного материала озимой ржи сернокислой солью цинка способствовала увеличению урожайности зерна. При опудривании цинком в дозах  $Zn_{50}$ ,  $Zn_{100}$ ,  $Zn_{150}$  получена урожайность соответственно: 4,21; 4,79; 4,44 т/га. Следовательно, наиболее эффективной являлась доза 100 г/ц, что позво- лило получить прибавку зерна 0,57 т/га (13,51 %) по сравнению с фоном  $N_{30}P_{60}$ .

Взаимосвязь между урожайностью зерна озимой ржи на фоне  $N_{30}$  и дозами цинка ( $x$ , кг/га), применяемых в основное внесение, проиллюстрирована на рисунках 3.1 и 3.2.

По фону  $N_{30}$  килограмм цинка повышал урожайность зерна озимой ржи на 52 кг (рисунок 3.1, уравнение 3). Урожайность увеличивалась до дозы цинка 8 кг д.в./га. Дальнейшее увеличение дозы цинка влекло к снижению уро- жайности зерна озимой ржи (рисунок 3.2, уравнение 4):

$$y = 0,052 x + 3,87; \quad r = 0,92 \quad (3)$$

$$y = -0,008 x^2 + 0,090 x + 4,09. \quad \eta = 0,83 \quad (4)$$

Зависимость между дозами цинка и урожайностью озимой ржи на фоне  $N_{30}P_{60}$  (рисунок 3.3, уравнение 5) показывает, что урожайность увеличивалась до дозы цинка 4 кг д.в./га. Дальнейшее увеличение дозы цинка снижало уро- жайность зерна озимой ржи:

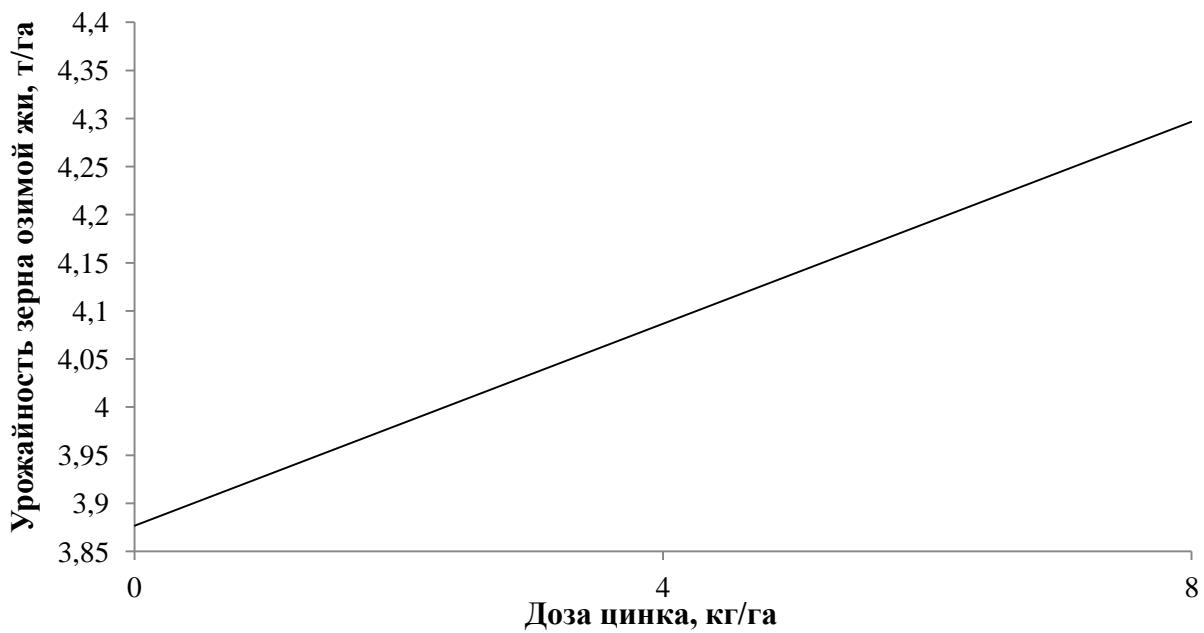


Рисунок 3.1 – Зависимость между дозами цинка (основное внесение) и урожайностью зерна озимой ржи по фону N<sub>30</sub> (опыт №1, 2008-2011 гг.)

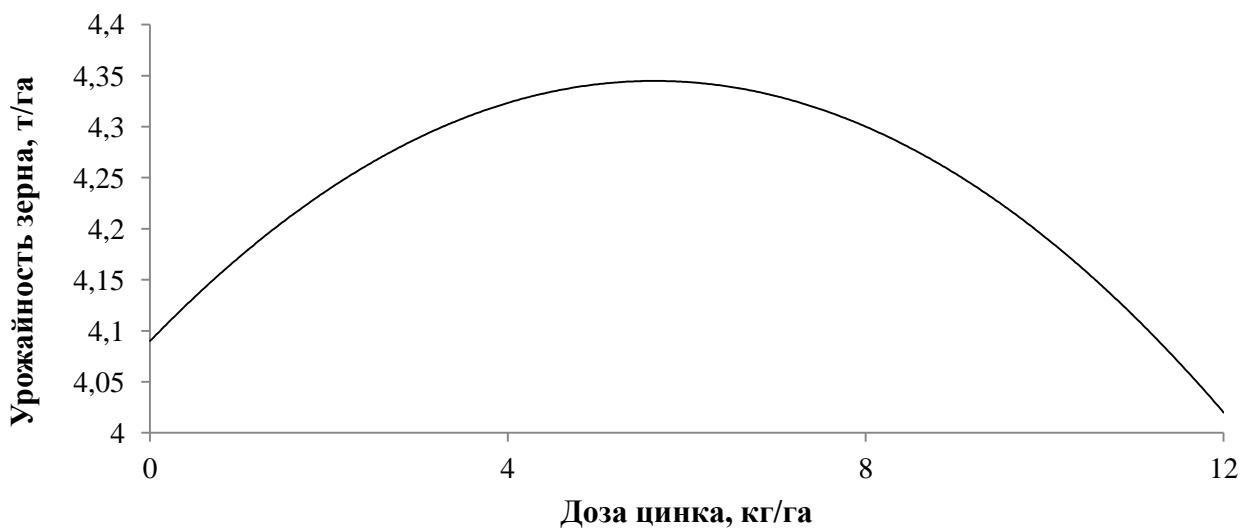


Рисунок 3.2 – Зависимость между дозами цинка (основное внесение) и урожайностью зерна озимой ржи по фону N<sub>30</sub> (опыт №1, 2010-2011 гг.)

$$y = -0,012 x^2 + 0,149 x + 4,16. \quad \eta = 0,80 \quad (5)$$

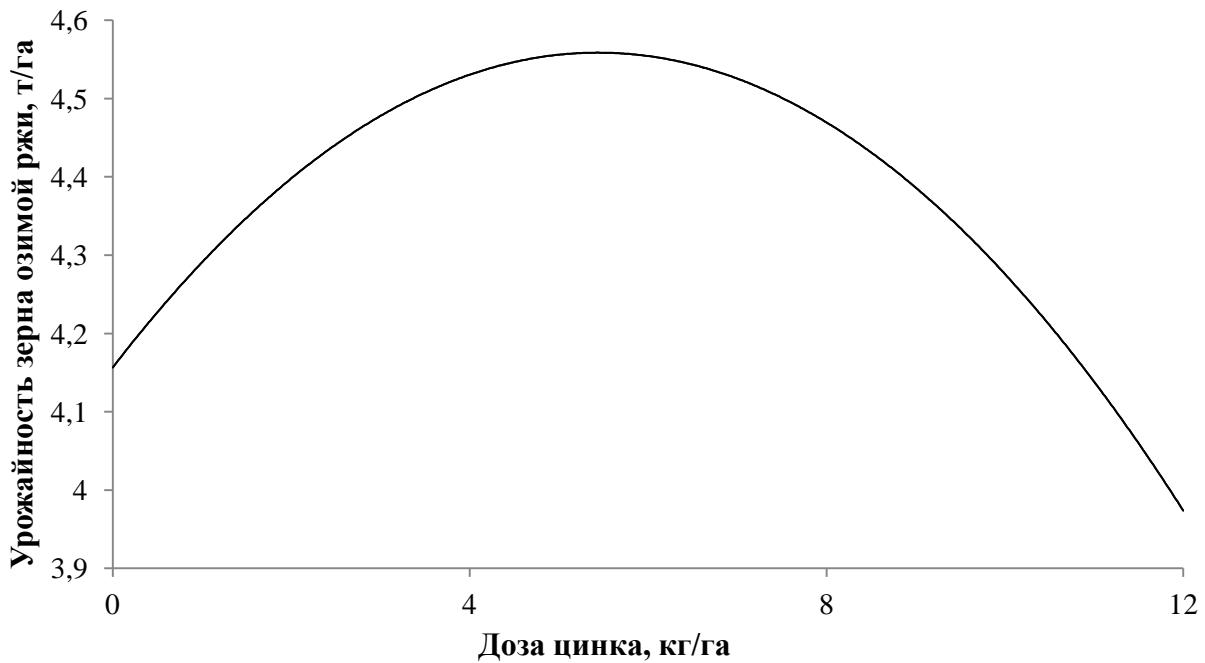


Рисунок 3.3 – Зависимость между дозами цинка (основное внесение) и урожайностью зерна озимой ржи по фону  $N_{30}$  (опыт №1, 2010-2011 гг.)

При этом 1 кг внесённого цинка (при дозе 4 кг д.в./га) увеличивал урожайность озимой ржи на 0,125 т ( $b_I$  – коэффициент интенсивности действия цинка на урожайность зерна):

$$b_I = \Pi : \Delta, \quad b_I = 0,50 : 4 = 0,125 \text{ т/га}, \quad (6)$$

где  $\Pi$  – прибавка урожая, т/га;

$\Delta$  – доза удобрения, кг/га.

Экспериментальные данные позволяют сделать вывод о высокой отзывчивости озимой ржи на применение микроудобрений при опудривании семян. Опудривание семенного материала озимой ржи сернокислыми солями цинка, меди и марганца способствовало увеличению урожайности зерна (полевой опыт № 2, таблица 3.2, рисунки 3.4-3.6, приложение Г).

Таблица 3.2 – Влияние обработки семян микроэлементами (г/ц) на урожайность озимой ржи, возделываемой на лугово-черноземной почве (среднее 2008-2011 гг., опыт №2)

Варианты	Урожайность, т/га	Прибавка	
		т/га к фону	% к фону
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> - фон	4,36	-	-
Фон + Zn <sub>50</sub>	4,79	0,43	9,86
Фон + Zn <sub>100</sub>	4,84	0,48	11,01
Фон + Zn <sub>150</sub>	4,44*	0,08	1,83
Фон + Cu <sub>50</sub>	4,44	0,08	1,83
Фон + Cu <sub>100</sub>	4,73	0,37	8,49
Фон + Cu <sub>150</sub>	4,48*	0,12	2,75
Фон + Mn <sub>50</sub>	4,86	0,50	11,47
Фон + Mn <sub>100</sub>	4,33	-0,03	-0,69
Фон + Mn <sub>150</sub>	4,56*	0,20	4,59
HCP <sub>05</sub>	0,19		

Примечание: \* - данные за 2010-2011 гг.

В исследованиях урожайность зерна озимой ржи на фоне составила 4,36 т/га. Предпосевная обработка семян сернокислым цинком в дозах 50 и 100 г/ц способствовала получению урожайности 4,79 т/га и 4,84 т/га, прибавка составила 0,43 т/га (9,86 %) и 0,48 (11,01 %). При повышении дозы цинка до 150 г/ц наблюдалось снижение урожайности (рисунок 3.4, уравнение 7):

$$y = -8E-05 x^2 + 0,013 x + 4,356 \quad \eta = 0,79 \quad (7)$$

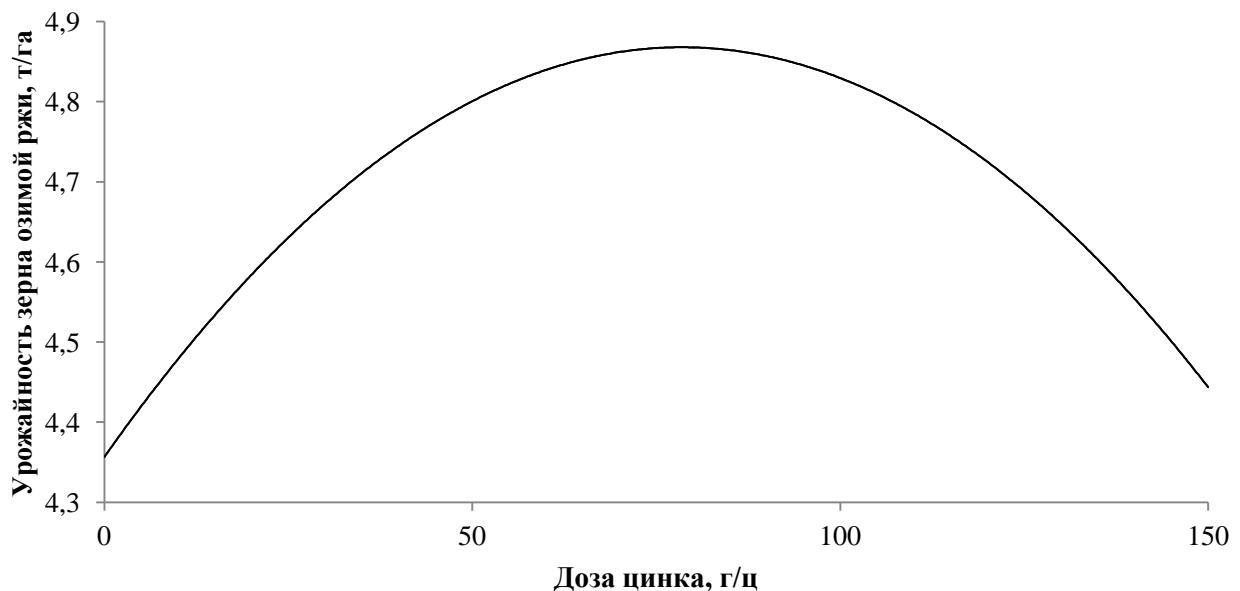


Рисунок 3.4 – Зависимость между дозами цинка (обработка семян) и урожайностью зерна озимой ржи по фону  $N_{30}P_{60}K_{60}$  (опыт №2, 2010-2011 гг.)

При опудривании семян медью в дозах 50 и 100 г/ц семян урожайность получена соответственно 4,44 и 4,73 т/га. Из чего следует, что увеличение дозы меди до 100 г/ц привело к достоверному увеличению урожайности по сравнению с дозой 50 г ( $HCP_{05} = 0,19$ ).

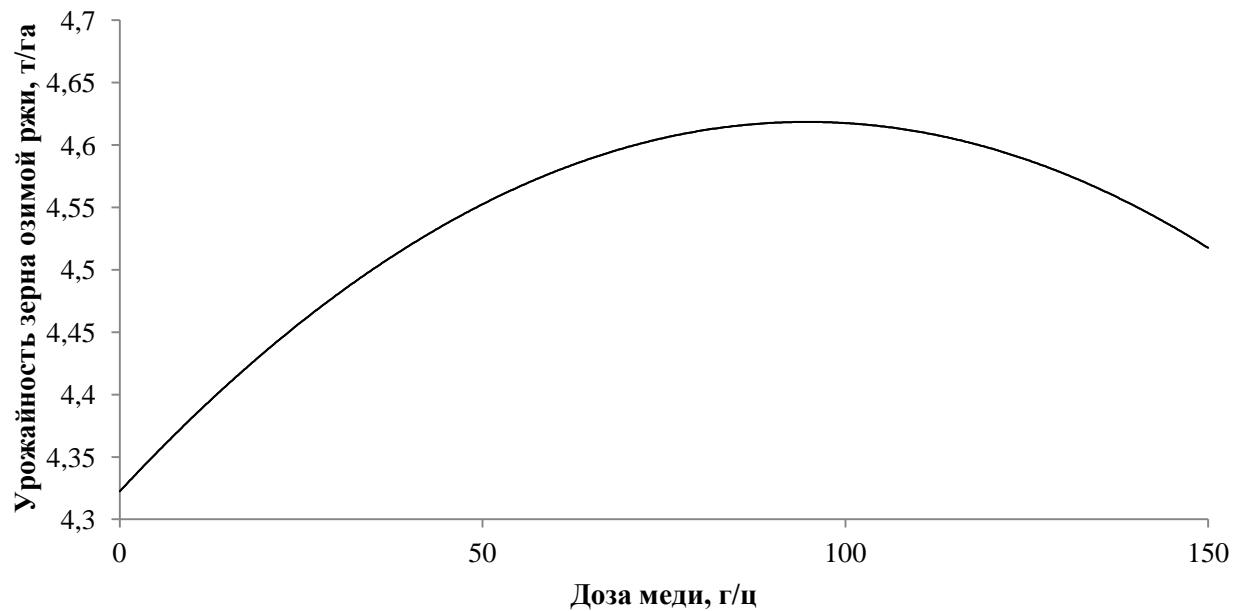


Рисунок 3.5 – Зависимость между дозами меди (опудривание семян) и урожайностью зерна озимой ржи по фону  $N_{30}P_{60}K_{60}$  (опыт №2, 2010-2011 гг.)

Дальнейшее увеличение дозы не являлась эффективным (рисунок 3.5, уравнение 8):

$$y = -3E - 0,05 x^2 + 0,006 x + 4,322. \quad \eta = 0,63 \quad (8)$$

Наибольшую эффективность при применении марганца показала доза 50 г/ц – получена урожайность 4,86 т/га, что на 11,47 % выше, чем на фоне. Дальнейшее увеличение доз опудривания семян сернокислым марганцем до 100 г/ц и 150 г/ц не привело к положительному результату (рисунок 3.6, уравнение 9):

$$y = 5E - 0,5 x^2 + 0,007 x + 4,39. \quad \eta = 0,65 \quad (9)$$

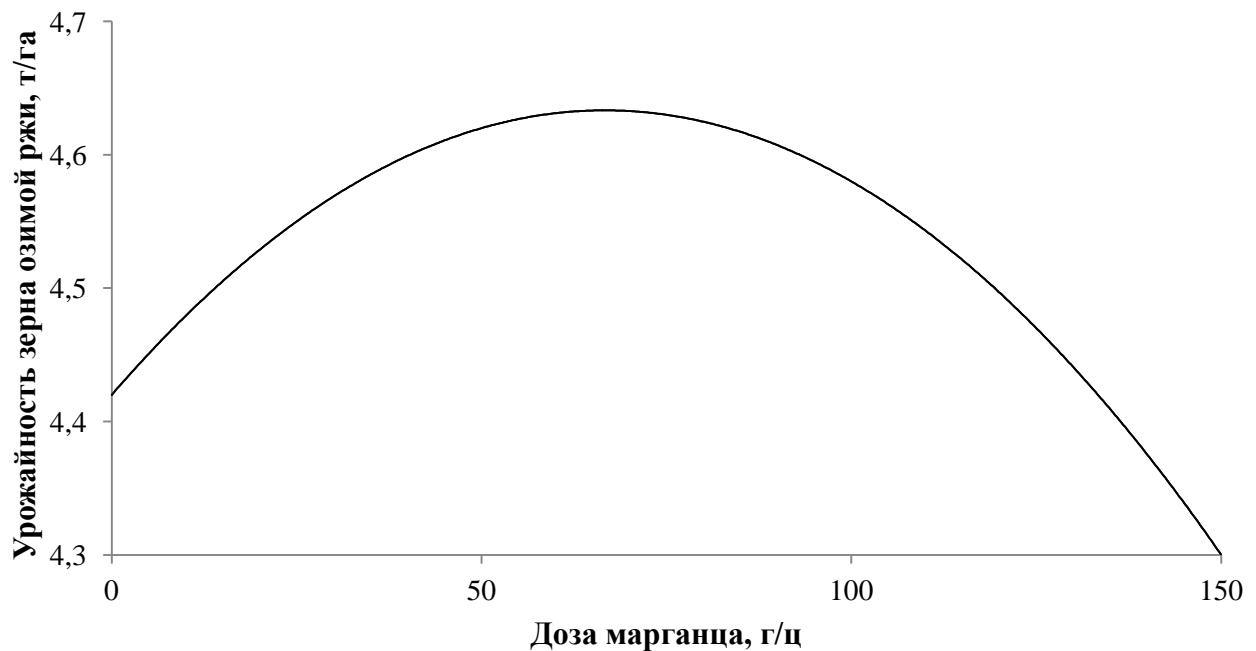


Рисунок 3.6 – Зависимость между дозами марганца (опудривание семян) и урожайностью зерна озимой ржи по фону N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> (опыт №2)

Таким образом, в результате проведённого полевого опыта выявлена эффективность применения опудривания семян озимой ржи микроэлементами.

Данные полевого опыта №1 свидетельствуют о высокой отзывчивости озимой ржи на цинковые удобрения, применяемые в основное внесение. Со-

гласно расчётом по формуле 6 коэффициент интенсивности действия ( $b_1$ ) единицы поступившего цинка в почву (кг д.в./га) на формирование величины урожая зерна ржи составляет 0,125 т/га.

Данный показатель эффективности цинковых удобрений позволяет в конкретных условиях на лугово-черноземной почве проводить планирование прибавок урожая зерна. Учитывая, что для получения 1 т/га зерна озимой ржи

требуется 8 кг ( $\frac{1\text{кг} \cdot 1\text{т}}{0,125\text{ м} / \text{га}} = 8,0$ ) действующего вещества цинка, можно рассчитать прибавки урожая зерна по формуле (10):

$$\Pi = \frac{\Delta}{8}, \quad (10)$$

где  $\Pi$  – планируемая прибавка урожайности зерна, т/га;  
 $\Delta$  – доза внесения цинка, кг д.в./га;  
 $8$  – затраты количества внесенного цинка для получения 1 тонны зерна, кг д.в./га.

При этом необходимо учитывать, что максимальная доза цинка не может превышать 4 кг д.в./га.

Зная планируемую прибавку урожая ( $\Pi$ , т/га) и коэффициент интенсивности действия цинка ( $b_1 = 0,125$  т/га) можно спрогнозировать дозы внесения цинка (кг/га) под озимую рожь по формуле (11):

$$\Delta = \frac{\Pi}{b_1}. \quad (11)$$

*Пример.* При планировании прибавки зерна озимой ржи 0,6 т/га доза цинка составит:

$$\Delta = \frac{0,6}{0,125} = 4,8 \text{ кг/га.}$$

Согласно наших исследований, максимальная прибавка при внесении цинковых удобрений не превышает 0,5 т/га.

Таким образом, цинковые удобрения в условиях лугово-черноземных почв положительно повлияли на продуктивность озимой ржи в лучших вари-

антах. Следовательно, имеющиеся запасы цинка в почве (0,58 мг/кг) недостаточны для формирования высоких урожаев зерна озимой ржи. Вместе с тем избыточное цинковое питание может не привести к желаемому результату. Поэтому необходимо разработать параметра оптимального питания на лугово-черноземной почве под озимую рожь для правильной диагностики его уровня.

### **3.2 Влияние микроудобрений на структуру урожая озимой ржи**

Элементы структуры урожая зависят от сложного комплекса биологических, агротехнических, почвенных и метеорологических условий (Ермолаев О.Т., 1990; Иванова Т.И., 1977; Озимая рожь..., 1988; Сычев В.Г., 2008; Храмцов И.Ф., 1997).

Для целенаправленного воздействия на уровень урожайности и осуществления биологического контроля за состоянием растений по этапам органогенеза следует определить, какие параметры элементов ее структуры надо иметь, чтобы получить необходимый урожай. Густота стояния растений – важный фактор, оказывающий существенное влияние на урожайность озимой ржи. Для получения высокой продуктивности каждого растения и урожайности посевов очень важно иметь не только необходимую густоту стеблестоя, но и обеспечить равномерность их размещения, то есть близкую к расчетной площади питания. Для этого, в частности, требуется тщательная подготовка почвы, равномерность и одинаковая глубина посева, выравненность и биологическая полноценность посевного материала, следовательно, практически все условия, от которых зависит густота посевов, могут быть обеспечены.

В среднем за годы исследований цинковые удобрения по-разному влияли на высоту растений озимой ржи (таблица 3.3). Основное внесение цинка в дозе 4 кг д.в./га на фоне N<sub>30</sub> максимально увеличивало высоту растений до 127 см (на фоне – 121 см).

Таблица 3.3 – Структура урожая и высота растений озимой ржи в зависимости от применения микроудобрений (среднее 2008-2011 гг.)

Варианты	Высота растений, см	Кустистость		Масса 1000 зёрен, г
		общая	продуктивная	
Опыт №1				
N <sub>30</sub>	121	7,6	6,7	40,3
N <sub>30</sub> + Zn <sub>4</sub>	127	7,6	6,9	41,1
N <sub>30</sub> + Zn <sub>8</sub>	121	8,3	7,4	43,7
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	122	7,5	7,1	43,4
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	123	8,5	8,0	45,0
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>8</sub>	120	7,5	7,1	42,1
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>50*</sub>	117	7,7	7,0	42,6
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>100*</sub>	123	8,6	8,4	45,1
Опыт №2				
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> - фон	120	6,2	6,1	38,1
Фон + Zn <sub>50*</sub>	123	6,8	6,3	39,0
Фон + Zn <sub>100*</sub>	124	8,0	7,2	39,1
Фон + Cu <sub>50*</sub>	124	5,9	5,6	38,4
Фон + Cu <sub>100*</sub>	122	6,4	6,3	39,0
Фон + Mn <sub>50*</sub>	122	7,1	6,5	39,9
Фон + Mn <sub>100*</sub>	126	6,0	6,0	38,7

Примечание: \* - граммов соли микроэлемента на 1 центнер семян

Показатель общей кустистости показывает число побегов, образовавшихся в среднем на одном растении. Максимальное количество стеблей при основном внесении (опыт №1) сформировалось в варианте N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>Zn<sub>4</sub> – 8,5, а при опудривании – в варианте N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>Zn<sub>100</sub> – 8,6 штук. В этих же вариантах опыта отмечается и максимальный показатель продуктивной кустистости или числа нормально развитых вызревших колосьев, приходящихся на одно растение. Наибольшая масса 1000 зерен (45,0 и 45,1 г соответственно) также сформиро-

валась в этих вариантах, что объясняет формирование максимальной урожайности зерна в опыте.

При опудривании семян цинковыми ( $Zn_{100}$ ), медными ( $Cu_{100}$ ) и марганцевыми ( $Mn_{50}$ ) удобрениями наблюдалось максимальное количество продуктивных стеблей в опыте №2 – 7,2; 6,3 и 6,5 штук на растении соответственно. В этих же вариантах наблюдалась наибольшая урожайность.

Таким образом, положительное действие микроэлементов на основные показатели, формирующие урожайность культуры, подтверждается величиной урожая озимой ржи.

### **3.3 Метод определения доз цинковых удобрений на основе данных полевого опыта**

Традиционно научно-исследовательские учреждения рекомендуют дозы удобрений под сельскохозяйственные культуры для больших регионов без учета агрохимической ситуации конкретного поля. Вместе с тем располагая агрохимическими картами содержания питательных веществ в почве, можно внести поправку к рекомендуемым дозам в соответствии с уровнем содержания элементов питания в почве конкретного поля. Эти дозы ( $D$ ) зависят от ряда факторов и, в первую очередь, являются функцией содержания подвижных элементов питания в почве:  $D = f(X_p)$  (рисунок 3.7).

Зависимость между дозой удобрений и концентрацией соответствующего элемента питания в почве обратно пропорциональная, и чем выше величина содержания элемента питания в почве, тем ниже доза внесения удобрений.

Эта зависимость выражается формулой (12):

$$D_o \cdot X_o = D_n \cdot X_n, \quad (12)$$

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

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

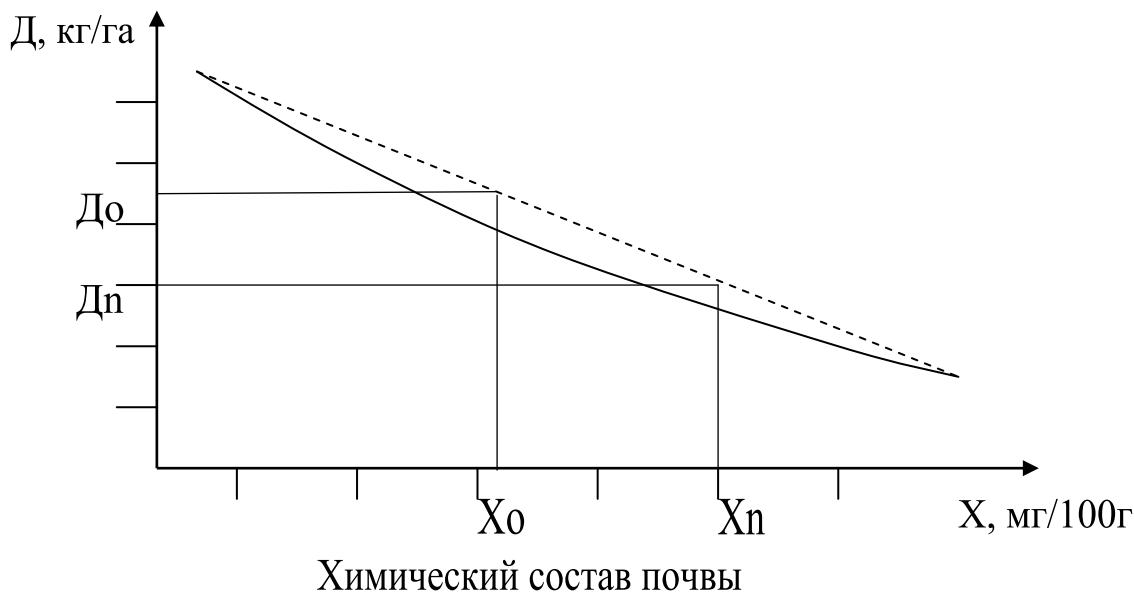


Рисунок 3.7 – Зависимость между содержанием элементов питания в слое почвы 0-30 (X) см и дозами питательных веществ удобрений (Д)

Расчет доз удобрений на основе данных полевого опыта (ПО) производится по формуле 2 (Ермохин Ю.И., 1995):

$$D_p = D_o \cdot X_o / X_p.$$

В исследованиях при сбалансированном макроэлементном питании наиболее эффективным было внесение 4 кг д.в./га цинковых удобрений. Таким образом, при содержании цинка в слое почвы 0-30 см перед посевом 0,58 мг/кг, доза цинковых удобрений (кг/га) под озимую рожь может определяться по формуле:

$$D_n = \frac{4 \cdot 0,58}{X_n} \quad \text{или} \quad D_{Zn} = \frac{2,32}{C_{Zn}}.$$

Таким образом, наши исследования показывают, что микроудобрения существенно повышают продуктивность озимой ржи. Но оптимальные дозы удобрений установлены на основе полевых опытов с удобрениями для кон-

крайних условий возделывания – опытным путем. Но этим методом устанавливается только конечное действие удобрений на урожай. К тому же он отличается громоздкостью, необходимостью повторения во времени, длительностью и дороговизной исследований. Полевыми опытами невозможно охватить все разнообразие почв, климатических особенностей зон и регионов страны, а также каждого хозяйства и конкретного поля. Более прогрессивным в этом отношении является метод химического анализа почв и растений и установление расчетным путем доз удобрений (Ермохин Ю.И., 1995, 2014).

При комплексном подходе к диагностике питания растений, необходимо иметь агрохимические и физиологические характеристики оптимального уровня и соотношения ряда элементов питания системе «почва - растения», которые являются основой при разработке системы «ПРОД» конкретной возделываемой культуры (раздел 1.6, рисунок 1.1).

## **4 ПОЧВЕННАЯ ДИАГНОСТИКА ПОТРЕБНОСТИ ОЗИМОЙ РЖИ В МИКРОУДОБРЕНИЯХ**

Почвенная диагностика широко используется в системе агрохимической службы и практики хозяйств. В разработке метода почвенной диагностики особенно важен учёт биологических особенностей питания конкретной сельскохозяйственных культуры и фактической обеспеченности растений питательными элементами почв. Оптимальный рост растений обеспечивается только при гармоничном сочетании необходимых питательных веществ, которое создаётся внесением необходимого количества элемента с удобрением с учётом сложившейся агрохимической ситуации на конкретном поле (первый блок системы ПРОД, рисунок 1.1) (Ермохин Ю.И., 1995, 1999, 2010).

### **4.1 Влияние удобрений на содержание микроэлементов в почве**

Содержание микроэлементов в почвах зависит от условий почвообразования, от минералогического и гранулометрического состава почвообразующих пород, наличия в почвах органического вещества, реакции среды и других факторов, которые подробно рассматриваются в монографиях В.А. Ковды (1959), В.Б. Ильина (1991), А.И. Сысо (2007). Микроэлементы в почвах находятся в составе различных соединений: они входят в состав минералов, водорастворимых соединений, органических веществ, почвенно-поглощающем комплексе. Доступными для питания растений являются водорастворимые соединения и, частично, находящиеся в обменно-поглощенном состоянии.

Содержание подвижных для растений форм микроэлементов весьма динамично и зависит от многих факторов: влажности почвы, ее микробиологической активности и др. Водорастворимые соли микроэлементов могут поступать в почву с поверхностными стоками и в результате подпитывания грунтовыми водами. Разные типы почв, как правило, содержат разное количество

микроэлементов, однако и в пределах одного типа колебания в уровнях микроэлементов могут быть значительными.

Кроме естественных природных источников поступления микроэлементов в почву, большую роль в этом процессе играют антропогенные факторы. Минеральные и органические удобрения обогащают почву микроэлементами (Красницкий В.М., 2002; Орлова Э.Д., 1971, 2007). Следует отметить, что при взаимодействии их с компонентами почвы возможно снижение подвижности некоторых микроэлементов. Например, фосфорные удобрения в больших дозах снижают содержание цинка, меди, марганца.

Высокие урожаи, получаемые при интенсивном возделывании сельскохозяйственных культур, сопровождаются повышенным выносом микроэлементов, что приводит к обеднению ими почв. Для установления потребности растений в микроэлементах определяют в почве доступные или «подвижные» их формы, для извлечения которых применяют различные растворители. Длительное время для этой цели использовали метод, предложенный Я.В. Пейве и Г.Я. Ринькисом, в котором для извлечения микроэлементов использовали вытяжки: для марганца – 0,1 Н  $H_2SO_4$ , цинка – 1 Н  $KCl$ , меди – 1 Н  $HCl$ . Авторы предложили для диагностической цели применять разработанные ими градации (Ермохин Ю.И., 1995; Орлова Э.Д., 1989).

В настоящее время в агрохимической службе для извлечения марганца, цинка, меди применяют ацетатно-аммонийный буфер с pH 4,8, предложенный Н.К. Крупским и А.М. Александровой (таблица 4.1). Эти градации используются агрохимической службой при проведении агрохимического обследования почв на микроэлементы. В них, к сожалению, не учтены свойства почвы и потребность отдельных групп культур в микроэлементах.

Научно обосновано и практически доказано, что рациональное использование микроэлементов увеличивает продуктивность растений, улучшает качество продукции, повышает устойчивость растений к неблагоприятным факторам – засухе, болезням. Применение микроэлементов способствует лучшему

использованию азота, фосфора, калия, магния и других элементов из почвы и удобрений.

Таблица 4.1 – Группировка почв по обеспеченности растений микроэлементами (Красницкий В.М., 2002)

Обеспеченность	Mn	Cu	Zn
	мг/кг почвы		
<b>Первая группа (невысокий вынос)</b>			
Низкая	<5	<0,1	1
Средняя	5-10	0,1-0,2	1-2
Высокая	>10	>0,2	>2
<b>Вторая группа (повышенный вынос)</b>			
Низкая	<10	<0,2	2
Средняя	10-20	0,2-0,5	2-5
Высокая	>20	>0,5	>5
<b>Третья группа (высокий вынос)</b>			
Низкая	<20	<0,5	5
Средняя	20-40	0,5-1,0	5-10
Высокая	>40	>1,0	>10

Эффективность микроудобрений не может быть одинаковой в различных почвенно-климатических зонах. Рациональное использование микроудобрений возможно только с учетом необходимых разработок региональных данных, связанных с фактическим содержанием доступных микроэлементов в почве, с выносом их различными сельскохозяйственными культурами, нормативами использования их из почвы и удобрений (Ермохин Ю.И., 2014).

По данным В.М. Красницкого (2002) на юге Омской области, где почвенный покров представлен преимущественно черноземами обыкновенными, обеспеченность подвижным марганцем ниже, чем лугово-черноземных, черноземов обыкновенных и выщелоченных, солонцов и черноземно-луговых почв южной и северной лесостепи: площадь почв с высоким содержанием марганца в степной зоне 13,1 %, в южной лесостепи – 25,9 %, а в северной – 26,0 % от обследованной (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Микроэлементы в черноземных почвах Омской области  
(Красницкий В.М., 2002)

Зона	Общая площадь, тыс. га	Содержание по группам, % от общей площади								
		Cu			Zn			Mn		
		низ.	сред.	выс.	низ.	сред.	выс.	низ.	сред.	выс.
Степная	1843,4	43,6	52,3	4,1	99,8	0,2	-	13,7	73,2	13,1
Южная лесостепь	1026,3	48,3	49,4	2,3	99,6	0,4	-	9,2	64,9	25,9
Северная лесостепь	450,7	59,8	39,6	0,6	99,8	0,2	-	14,2	59,8	26,0
По области	3320,4	47,1	50,0	2,9	98,9	0,2	0,9	11,6	69,1	19,3

Рядом учёных разработаны уровни обеспеченности почв микроэлементами для разных почвенно-географических зон. Многообразие индексов обеспеченности почв подвижными формами микроэлементов свидетельствует о сложности этой проблемы. Индексы должны уточняться для каждой почвенно-климатической зоны на основании результатов полевых опытов с микроудобрениями, проводимых агрохимической службой и научными учреждениями (Кабата-Пендиас А., 1989; Каталымов М.В., 1965; Ягодин Б.А., 2004).

Закономерности содержания микроэлементов в лугово-черноземной почве в наших исследованиях в зависимости от горизонта, сроков отбора проб, удобрений представлены в таблицах 4.3 и 4.4.

Таблица 4.3 – Содержание подвижных Zn, Cu, Mn в лугово-чернозёмной почве, мг/кг (в варианте N<sub>30</sub>, 2007-2011 гг.)

Слой почвы, см	Перед посевом			Кущение весеннее		
	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn
0-20	0,61	0,12	49,4	0,53	0,14	41,7
20-40	0,38	0,13	25,3	0,73	0,09	42,6
40-60	0,39	0,11	14,9	0,53	0,16	26,6
60-80	0,52	0,51	22,0	0,60	0,16	25,4
80-100	0,86	0,69	28,3	0,99	0,47	28,4

Можно отметить, что в пахотном горизонте содержание подвижных форм меди практически не изменяется (0,10-0,14 мг/кг, таблица 4.3). Содержание марганца варьирует значительно сильнее (с 49,4 мг/кг перед посевом до 41,7 мг/кг в фазу весеннего кущения).

Таблица 4.4 – Содержание подвижных микроэлементов в лугово-чернозёмной почве в слое 0-30 см в течение вегетации в зависимости от цинковых удобрений, мг/кг (среднее 2007-2011 гг.)

Варианты	Элемент	Кущение осенне	Кущение весеннее	Выход в трубку	Колошение	Уборка
$N_{30}$	Zn	0,80	0,80	0,54	0,67	0,74
	Cu	0,12	0,08	0,09	0,13	0,11
	Mn	56,4	45,1	49,7	52,6	59,1
$N_{30} + Zn_4$	Zn	1,54	1,63	0,82	1,47	1,70
	Cu	0,11	0,11	0,12	0,12	0,10
	Mn	54,9	49,7	51,6	53,7	53,8
$N_{30} + Zn_8$	Zn	2,26	2,07	1,35	2,61	2,33
	Cu	0,13	0,12	0,09	0,13	0,12
	Mn	55,4	48,4	51,5	66,2	42,8
$N_{30} + Zn_{12}^*$	Zn	2,97	2,56	3,47	2,88	2,51
	Cu	0,10	0,11	0,20	0,14	0,10
	Mn	59,5	59,7	49,6	55,1	45,2
$N_{30}P_{60}$	Zn	0,79	0,71	0,60	0,70	0,58
	Cu	0,14	0,10	0,13	0,10	0,09
	Mn	46,5	55,2	55,3	57,7	45,1
$N_{30}P_{60} + Zn_4$	Zn	1,48	1,53	0,81	1,60	1,60
	Cu	0,12	0,09	0,13	0,11	0,11
	Mn	52,0	48,0	49,4	56,6	49,0
$N_{30}P_{60} + Zn_8$	Zn	2,02	2,05	1,01	2,40	2,35
	Cu	0,11	0,16	0,12	0,09	0,15
	Mn	55,0	50,3	48,8	59,6	48,0
$N_{30}P_{60} + Zn_{12}^*$	Zn	2,61	2,63	1,30	2,75	2,83
	Cu	0,09	0,14	0,09	0,10	0,08
	Mn	51,7	50,3	50,6	51,4	48,8

Примечание: \* - данные за 2009-2011 гг.

Концентрация цинка изменяется в меньшей степени (0,53-0,61 мг/кг). При этом содержание меди с глубиной увеличивается, а содержание цинка и мар-

ганца сначала уменьшается до горизонта 60-80 см, затем отмечается его увеличение.

При основном внесении цинковых удобрений существенно изменялось только содержание подвижного цинка. На концентрацию меди и марганца в верхнем горизонте почвы данные удобрения влияния не оказали (таблица 4.4).

Все величины содержания подвижных микроэлементов в почве не превышают ПДК (для цинка – 23 мг/кг, меди – 3 мг/кг, марганца – 140 мг/кг).

#### **4.2 Связь величины урожая озимой ржи с содержанием цинка в почве и уровни обеспеченности им растений**

Важнейшей задачей работы являлось установление закономерностей действия удобрений на химический состав почвы при сбалансированном азотно-фосфорном питании озимой ржи. Выявленные связи в системе «удобрение – почва» позволяют успешно диагностировать питание озимой ржи цинком и при необходимости рассчитывать требуемые дозы удобрений на фоне сбалансированного азотно-фосфорного питания.

При увеличении доз цинка наблюдается увеличение содержания подвижного цинка в почве с 0,79-0,80 до 2,61-2,97 мг/кг при внесении доз 12 кг д.в./га (таблица 4.5).

Проведённые исследования позволили получить уравнения, отображающие зависимость содержания цинка в почве от доз применяемых цинковых удобрений. Выявленный средний нормативный показатель  $\langle b_2 \rangle$  (мг/кг) интенсивности действия каждого килограмма цинка поступившего в почву ( $D$ , кг д.в./га) способствовал расчёту ориентировочного прогноза накопления элемента в почве.

Таблица 4.5 – Влияние цинковых удобрений на содержание подвижного цинка в лугово-чернозёмной почве в фазу осеннего кущения при возделывании озимой ржи (слой почвы 0-30 см, среднее 2007-2011 гг.)

Варианты	Содержание Zn в почве, мг/кг	Увеличение Zn в почве после внесения цинковых удобрений, мг/кг	Уравнение регрессии
N <sub>30</sub>	0,80	-	$y = 0,180 x + 0,808$ $r = 0,89 (13)$
N <sub>30</sub> + Zn <sub>4</sub>	1,54	0,74	
N <sub>30</sub> + Zn <sub>8</sub>	2,26	1,46	
N <sub>30</sub> + Zn <sub>12</sub> *	2,97	2,17	
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	0,79	-	$y = 0,150 x + 0,825$ $r = 0,81 (14)$
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	1,48	0,69	
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>8</sub>	2,02	1,23	
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>12</sub> *	2,61	1,82	

Примечание: \* - данные за 2009-2011 гг.

Коэффициент интенсивности действия « $b_2$ » цинковых удобрений на содержание подвижного цинка в почве равен 0,171 мг/кг.

Для решения практических задач можно прогнозировать содержание цинка в почве (С, мг/кг) при внесении цинковых удобрений, используя формулу (15):

$$C = C_1 + \Delta \cdot b_2, \quad (15)$$

где С<sub>1</sub> – содержание элемента в почве до посева, мг/кг;

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

$b_2$  – коэффициент интенсивности действия килограмма внесенного цинка на содержание данного элемента в почве, мг/кг ( Ермохин Ю.И., 1995).

Для повышения содержания подвижного цинка в почве на 1 мг/кг требуется внести 5,8 кг/га цинка (1 мг/кг : 0,171 мг/кг = 5,8).

Расчет доз применения цинка (кг/га) под растения сельскохозяйственных культур осуществим по формуле (16), зная оптимальный уровень содержания цинка в почве для данной культуры:

$$\Delta = (\mathcal{E}_o - \mathcal{E}_f) \cdot 5,8, \quad (16)$$

где  $\mathcal{E}_o$  – оптимальный уровень содержания подвижного цинка в почве, мг/кг;

$\mathcal{E}_f$  – фактический уровень содержания подвижного цинка в почве, мг/кг;

5,8 – требуется внести цинка для увеличения содержания подвижного цинка на 1 мг/кг в слое почвы 0-30 см, кг/га.

В данных опытах наивысшая урожайность зерна озимой ржи получена при внесении цинка в дозе 4 кг д.в./га на фоне сбалансированного азотно-фосфорного питания с прибавкой 0,81 т/га по отношению к фону  $N_{30}$ , а 0,50 т/га по фону  $N_{30}P_{60}$ . По формуле (12) можно сделать вывод об оптимальном уровне питания растений цинком ( $C$ , мг/кг):

$$C = C_1 + \Delta \cdot b_2 = 0,79 + 4 \cdot 0,171 = 1,474 \approx 1,50.$$

В процессе исследований выявлено, применение 1 кг цинка увеличивает его содержание в почве на 0,171 мг/кг, и обеспечивает прибавку зерна озимой ржи – 0,125 т/га, следовательно, для повышения содержания подвижного цинка в почве на 1 мг/кг почвы требуется внести цинка 5,8 кг/га, который повысит урожайность зерна на 0,73 т/га ( $5,8 \text{ кг/га} \cdot 0,125 \text{ т/га}$ ).

Следовательно, располагая оптимальным ( $Zn_o$ ) и фактическим ( $Zn_f$ ) уровнем содержания цинка в почве под озимую рожь, можно спрогнозировать получение прибавки урожая зерна ( $P$ , т/га) с учетом потребности культуры 1 мг Zn/кг почвы для получения урожая зерна 0,73 т/га по формуле (17):

$$P = (Zn_o - Zn_f) \cdot 0,73, \quad (17)$$

где  $Zn_o$  – оптимальный уровень содержания подвижного цинка в почве, мг/кг;

$Zn_f$  – фактический уровень содержания подвижного цинка в почве, мг/кг;

0,73 – коэффициент интенсивности действия 1 мг цинка на 1 кг почвы для формирования урожая зерна, т/га.

Полученные уравнения позволяют выполнить прогноз содержания оптимальных уровней цинка в почве в результате применения удобрений; формирования единицы урожая зерна; доз удобрений с учетом содержания цинка в почве и потребности его для формирования прогнозируемой величины урожая.

В целом можно отметить, что зависимость урожайности озимой ржи от содержания доступного цинка в почве носит криволинейный характер (рисунки 4.1, 4.2, уравнения 18, 19). Превышение содержания в почве доступного цинка выше 1,48-2,26 мг/кг в фазу осеннего кущения не сопровождалось увеличением урожая.

$$y = -0,15 x^2 + 0,60 x + 3,61. \quad \eta = 0,65 \quad (18)$$

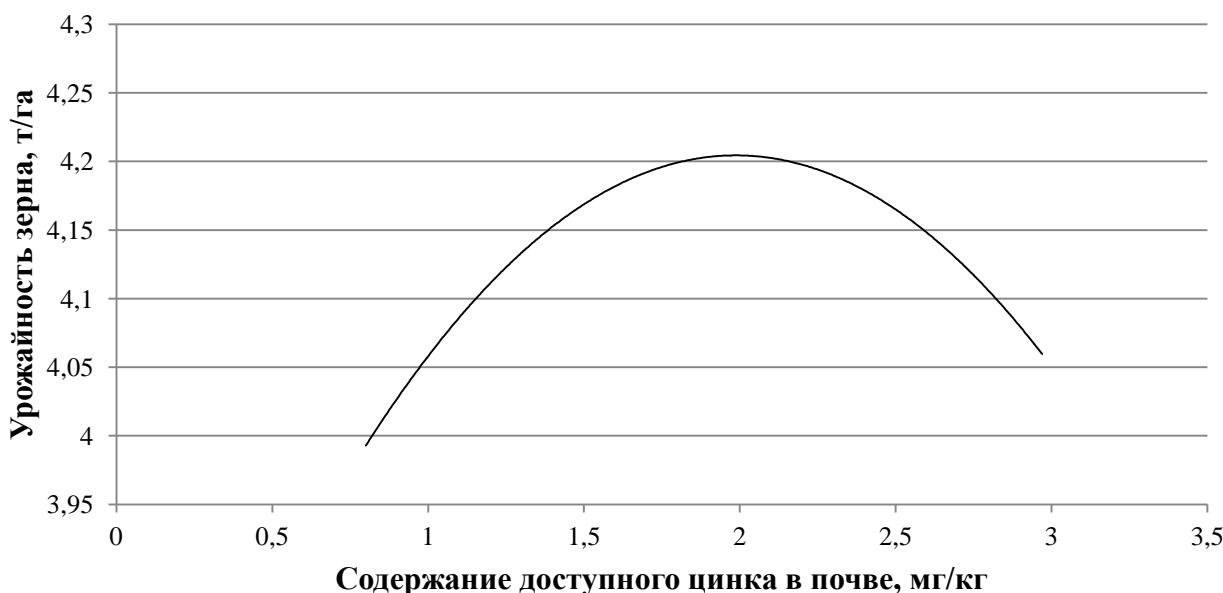


Рисунок 4.1 – Зависимость урожайности зерна озимой ржи от содержания доступного цинка в почве (фон N<sub>30</sub>)

$$y = -0,438 x^2 + 1,4 x + 3,45. \quad \eta = 0,60 \quad (19)$$



Рисунок 4.2 – Зависимость урожайности зерна озимой ржи от содержания подвижного цинка в почве (фон N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>)

Таким образом, на основе данных полевых опытов и статистического анализа представляется возможным диагностировать потребность растений озимой ржи в удобрениях для получения запланированных урожаев и прибавок на лугово-черноземных почвах. Дозы удобрений для основного внесения должны определяться с помощью метода почвенной диагностики.

В 2011-2012 гг. нами проведены исследования по выявлению действия различных расчётных доз цинковых удобрений на продуктивность озимой ржи на фоне высокой обеспеченности растений основными элементами питания. Цель данных исследований – выявление лучших расчётных методов определения доз удобрений.

Кроме изучения метода определения доз удобрения на основе полевого опыта (ПО):

$$\Delta_n = \frac{\Delta_o \cdot X_o}{X_n},$$

в исследованиях изучался расчёт доз с учётом оптимальных уровней (ОУ), который основан на применении формулы:

$$\Delta = (\mathcal{E}_o - \mathcal{E}_\phi) / b.$$

Данные методы расчёта доз удобрений апробированы для различных культур в ряде исследований в условиях Западной Сибири и Казахстана (Бобренко И.А., 2004; Ермохин Ю.И., 1999, 2004; Михальская Н.В., 2003).

Расчётные дозы цинковых удобрений оказали положительное влияние на урожайность озимой ржи (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Влияние расчётных доз цинковых удобрений в основное внесение на урожайность зерна озимой ржи на лугово-чернозёмной почве (опыт №3, 2011-2012 гг.)

Варианты	Урожайность, т/га			Прибавка	
	2011 г.	2012 г.	средняя	т/га	% к фону
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> - фон	4,27	4,20	4,24	-	-
Фон + Zn <sub>3,4</sub> (ОУ)	4,97	4,47	4,72	0,48	11,5
Фон + Zn <sub>6,6</sub> (ОУ)	4,65	4,48	4,57	0,33	7,78
Фон + Zn <sub>11,3</sub> (ПО)	4,44	4,32	4,38	0,14	3,30
HCP <sub>05</sub> , т/га	0,36	0,31			

Из изученных методов наилучший – расчёт доз удобрений на основе оптимальных уровней (по формуле 1). Доза Zn<sub>11,3</sub> кг д.в./га, полученная расчётом на основе полевых опытов значительно уступала по эффективности дозам Zn<sub>6,6</sub> и Zn<sub>3,4</sub>. С увеличением доз цинка наблюдалось снижение урожайности, которая в среднем составила: 4,72 т/га (Zn<sub>3,4</sub>), 4,57 т/га (Zn<sub>6,6</sub>), 4,38 т/га (Zn<sub>11,3</sub>).

#### **4.3 Нормативные агрохимические показатели для определения потребности озимой ржи в элементах минерального питания**

В связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства и развитием методов планирования урожая – появилось более 40 методов определения оптимальных доз удобрений под разные культуры. Каждый из них обладает своими преимуществами и недостатками, и, как показывает практика, проблема оптимизации минерального питания растений однозначного решения не имеет.

Наибольшее распространение в практике расчета доз удобрений получили балансовые методы. В их основу положены нормативные агрохимические показатели: данные о расходе элементов питания на создание единицы продукции (Н), коэффициенты использования питательных веществ из почвы (КИП) и удобрений (КИУ), величины азота нитрификации почвы (Nt) (Бобренко И.А., 2004; Ермохин Ю.И., 1995, 2004, 2014; Сычев В.Г., 2008).

Для формирования высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур необходимо своевременное и полное обеспечение растений питательными элементами. Растения потребляют питательные вещества из почвы в течение длительного времени. Но продолжительность периода питания у отдельных растений существенно отличается. Например, сахарная свекла потребляет питательные вещества из почвы в течение всего периода роста, т.е. 150-180 дней, озимая рожь в осенний и весенне-летний периоды потребляет питательные вещества 180-200 дней, а ячмень – около 40 дней. Большое значение имеет и неравномерность потребления питательных веществ растениями в разные периоды вегетации (Кидин В.В., 2009).

В первый период растения берут из почвы наименьшее количество питательных веществ, далее наступает период, когда они расходуют их большее количество, а затем потребность в питательных веществах снова снижается. Поэтому у каждого растения имеется период наибольшего потребления питательных веществ. У зерновых культур – это период кущения – стеблеобразования (Кидин В.В., 2009, 2015; Ягодин Б.А., 2004).

Определение общего содержания питательных элементов в растениях в отдельные фазы роста, в течение вегетации, очень важно для проведения растительной диагностики их минерального питания. Установление количества питательных элементов даёт возможность сделать заключение об уровне обеспеченности растений питательными веществами и необходимости применения соответствующих удобрений. Для выявления зависимости между потреблением элементов питания и размером урожая необходимо знание общей

потребности культуры в питательных веществах. Известно, что общее потребление элементов питания в сильной степени зависит от условий произрастания, от типа почвы и обеспеченности их элементами, от доз и сочетаний вносимых удобрений. Условия произрастания оказывают существенное влияние на использование растением питательных элементов и в целом на структуру, т.е. на соотношение в общем урожае товарной и нетоварной массы.

Многие исследователи при расчете доз удобрений с целью обеспечения запланированного урожая используют вынос питательных элементов урожаеми, сопоставляя эту величину с потребностью растения в питательных веществах. Использование в расчетных методах данных по выносу дает возможность создать в почве необходимые для той или иной культуры соотношения питательных элементов. Результаты исследований по выносу питательных веществ в зональном аспекте позволяют повысить точность расчетных методов определения доз удобрений для конкретных почвенно-климатических условий.

Определение потребления и выноса элементов питания растениями осуществляется на знании их химического состава. Данные по выносу элементов минерального питания представлены в таблицах 4.7-4.10.

Цинковые удобрения, применяемые различными способами, оказали существенное влияние на вынос питательных элементов растениями озимой ржи (таблицы 4.7 и 4.8). Необходимо отметить, что зерном максимально выносятся азот и фосфор и в меньшей степени калий. Вынос этих же элементов соломой имеет противоположный характер: калий, в отличие от азота и фосфора, выносится значительно больше, что подтверждается данными валового состава.

Потребление микроэлементов растениями озимой ржи значительно увеличивает вынос цинка, при чём зерном выносится больше, чем соломой. Примерно одинаковое количество меди и марганца выносится как зерном, так и соломой (таблица 4.9).

Таблица 4.7 – Влияние различных способов внесения цинковых удобрений на вынос основных элементов питания озимой рожью (среднее 2008-2011 гг.)

Варианты	Вынос					
	зерном, кг/га			соломой, кг/га		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
N <sub>30</sub>	92,6	28,8	19,8	26,2	13,8	59,6
N <sub>30</sub> + Zn <sub>4</sub>	102,6	30,8	19,4	26,5	15,9	57,6
N <sub>30</sub> + Zn <sub>8</sub>	107,4	32,6	21,4	33,3	17,5	60,8
N <sub>30</sub> + Zn <sub>12</sub>	108,8	30,1	12,0	35,0	18,5	70,1
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	97,6	32,5	21,7	29,1	14,1	60,9
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	110,6	31,7	22,9	32,0	15,1	64,4
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>8</sub>	102,9	27,8	20,7	24,9	15,7	57,9
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>12</sub>	119,3	36,1	10,5	44,8	19,3	70,9
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>50</sub> *	105,8	33,2	21,4	26,6	17,1	53,6
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>100</sub> *	118,0	37,1	23,5	33,1	14,9	53,2
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>150</sub> **	123,0	38,3	11,3	34,1	16,4	76,1
общий, кг/га				единицей продукции, кг/т		
N <sub>30</sub>	118,7	42,6	79,5	31,1	11,7	20,7
N <sub>30</sub> + Zn <sub>4</sub>	129,1	46,7	77,1	32,4	12,8	19,3
N <sub>30</sub> + Zn <sub>8</sub>	140,8	50,1	82,2	33,6	13,7	19,5
N <sub>30</sub> + Zn <sub>12</sub>	143,7	48,6	47,0	35,6	11,0	23,1
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	126,7	46,6	82,6	31,6	12,9	20,4
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	142,5	46,8	87,3	32,8	12,8	19,9
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>8</sub>	127,9	43,4	78,6	32,3	11,7	19,7
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>12</sub>	164,1	55,3	46,0	37,1	12,8	20,6
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>50</sub> *	132,4	50,3	75,1	31,0	13,9	17,6
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>100</sub> *	151,1	52,0	76,7	31,9	14,1	16,3
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>150</sub> **	157,0	54,6	49,4	35,3	6,3	21,9

Примечание: \* - граммов соли сернокислого цинка на 1 центнер семян;

\*\* - данные за 2010-2011 гг.

Таблица 4.8 – Влияние предпосевной обработки семян озимой ржи солями микроэлементов на вынос основных элементов питания растениями (среднее 2008-2011 гг.)

Варианты	Вынос					
	зерном, кг/га			соломой, кг/га		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> - фон	96,3	33,7	22,1	30,4	15,4	68,2
Фон + Zn <sub>50</sub>	101,3	34,3	24,4	33,1	12,2	60,2
Фон + Zn <sub>100</sub>	106,6	35,3	27,3	33,8	14,9	70,4
Фон + Zn <sub>150</sub> *	102,8	36,2	14,7	38,7	17,0	80,8
Фон + Cu <sub>50</sub>	99,2	34,9	25,8	31,3	13,6	63,0
Фон + Cu <sub>100</sub>	103,2	34,8	27,1	32,8	14,6	68,2
Фон + Cu <sub>150</sub> *	105,1	34,9	13,0	34,5	17,6	84,8
Фон + Mn <sub>50</sub>	111,9	37,4	29,8	33,3	17,9	82,2
Фон + Mn <sub>100</sub>	97,2	33,6	24,1	37,4	16,8	71,8
Фон + Mn <sub>150</sub> *	103,3	37,4	13,3	31,5	17,3	82,4
	общий, кг/га			единицей продукции, кг/т		
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> - фон	129,5	47,9	88,7	29,5	13,2	20,2
Фон + Zn <sub>50</sub>	135,5	47,0	84,7	29,1	12,9	18,0
Фон + Zn <sub>100</sub>	141,5	50,4	98,4	29,8	13,9	20,5
Фон + Zn <sub>150</sub> *	141,5	53,2	55,1	32,0	12,5	24,7
Фон + Cu <sub>50</sub>	127,2	48,7	88,3	29,0	13,3	20,0
Фон + Cu <sub>100</sub>	140,2	49,4	99,6	29,4	13,5	20,9
Фон + Cu <sub>150</sub> *	139,6	52,6	55,4	31,2	12,1	24,7
Фон + Mn <sub>50</sub>	141,3	53,8	110,6	30,9	14,7	24,2
Фон + Mn <sub>100</sub>	130,1	47,6	91,8	30,3	12,7	21,2
Фон + Mn <sub>150</sub> *	134,8	54,7	54,5	29,5	12,3	23,4

Примечание: \* - данные за 2010-2011 гг.

Вынос 1 т продукции в контрольном варианте в среднем составил: азота – 31,1 кг, фосфора – 11,7 кг, калия – 20,7 кг, цинка – 22,6 г, меди – 3,4 г, марганца – 82,9 г. (таблица 4.7). В целом необходимо отметить, что основное внесение цинковых удобрений способствовало, главным образом, увеличению вы-

носа макроэлементов единицей урожая. Для создания 1 т урожая основной продукции с соответствующего количества побочной в лучшем варианте  $N_{30}P_{60}Zn_4$  озимой ржи потребовалось всего азота – 32,8 кг, фосфора – 12,8 кг, по сравнению с контрольным вариантом и уменьшился вынос цинка – 20,2 г, меди – 2,5 г, марганца – 78 г. Опудривание семян лучшей дозой 100 граммов соли на 1 ц семян по фону  $N_{30}P_{60}$  повлияло на вынос элементов питания и он составил: азота – 31,9 кг, фосфора – 14,1 кг, калия – 16,3 кг, цинка – 23,2 г, меди – 3,6 г, марганца – 78,1 г.

Потребление элементов питания 1 т зерна с учетом побочной продукции в фоновом варианте (таблицы 4.8 и 4.10) характеризуется следующими величинами: азота – 29,5 кг, фосфора – 13,2 кг, калия – 20,2 кг, цинка – 21,9 г, меди – 2,4 г, марганца – 71,3 г.

В варианте с максимальной урожайностью ( $Mn_{50}$ ) наблюдается увеличение выноса элементов питания единицей продукции по сравнению с фоном. Следует отметить повышенное потребление макроэлементов, марганца, меди. Этот показатель составил: по азоту – 30,9 кг, фосфору – 14,7 кг, калию – 24,2 кг, цинку – 17,3 г, меди – 4,2 г, марганцу – 88,1 г.

Анализ потребления микроэлементов растениями озимой ржи свидетельствует, что цинк преимущественно выносится зерном, а медь и марганец – соломой (таблица 4.9).

В периоды максимального потребления питательных веществ в растения поступает значительное количество элементов питания. Это объясняется неравномерным накоплением растениями элементов минерального питания, обусловленным образование новых органов в определённые периоды развития растений, сопровождаемых потреблением именно тех элементов питания, которые в большей степени необходимы в данный момент той или иной культуре. Информация о динамике потребления элементов питания растением в течение вегетации используется при разработке научно-обоснованной системы применения удобрений (Бобренко И.А., 2004; Ермохин Ю.И., 1983).

Таблица 4.9 – Влияние различных способов внесения цинковых удобрений на вынос микроэлементов озимой рожью (среднее 2008-2011 гг.)

Варианты	Вынос					
	зерном, кг/га			соломой, кг/га		
	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn
N <sub>30</sub>	60,1	6,4	171,8	32,2	7,5	167,1
N <sub>30</sub> + Zn <sub>4</sub>	62,0	7,1	165,6	28,4	6,6	153,5
N <sub>30</sub> + Zn <sub>8</sub>	65,8	8,5	176,3	28,7	5,8	169,9
N <sub>30</sub> + Zn <sub>12</sub> **	61,1	4,3	158,4	30,4	9,0	176,3
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	60,2	5,2	164,8	30,7	6,5	166,9
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	66,3	4,4	171,1	24,1	6,9	180,2
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>8</sub>	76,1	8,6	158,7	22,1	5,0	184,3
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>12</sub> **	73,3	7,3	162,9	23,6	5,5	182,2
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>50</sub> *	52,0	5,9	156,1	22,8	5,5	149,5
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>100</sub> *	75,8	8,7	162,4	28,8	7,8	189,8
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>150</sub> **	90,1	7,5	152,7	41,4	9,3	182,1
	общий, кг/га			единицей продукции, г/т		
N <sub>30</sub>	92,3	13,9	338,9	22,6	3,4	82,9
N <sub>30</sub> + Zn <sub>4</sub>	90,4	13,7	319,1	22,2	3,3	78,2
N <sub>30</sub> + Zn <sub>8</sub>	94,5	14,3	346,2	22,0	3,3	80,5
N <sub>30</sub> + Zn <sub>12</sub> **	91,5	13,4	334,7	22,8	3,3	83,3
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	86,0	11,7	331,8	20,1	2,7	77,7
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	90,4	11,3	351,4	20,2	2,5	78,4
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>8</sub>	98,2	13,6	342,9	22,8	3,2	79,8
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>12</sub> **	96,9	12,8	345,1	22,1	2,9	78,6
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>50</sub> *	74,9	11,4	305,6	17,4	2,7	71,1
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>100</sub> *	104,6	16,5	352,2	23,2	3,6	78,1
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>150</sub> **	131,5	16,8	334,8	29,6	3,8	75,4

Примечание: \* - граммов соли сернокислого цинка на 1 центнер семян;

\*\* - данные за 2010-2011 гг.

Таблица 4.10 – Влияние предпосевной обработки семян озимой ржи солями микроэлементов на вынос микроэлементов озимой рожью  
(среднее 2008-2011 гг.)

Варианты	Вынос					
	зерном, кг/га			соломой, кг/га		
	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> - фон	60,1	2,6	137,9	36,6	8,0	177,1
Фон + Zn <sub>50</sub>	96,0	7,4	140,6	36,2	11,3	176,8
Фон + Zn <sub>100</sub>	113,7	3,1	144,4	33,7	12,1	188,3
Фон + Zn <sub>150</sub> *	99,5	4,5	125,2	28,2	6,4	140,8
Фон + Cu <sub>50</sub>	66,6	7,6	127,9	28,4	12,4	157,1
Фон + Cu <sub>100</sub>	90,0	7,9	133,8	31,5	13,8	153,3
Фон + Cu <sub>150</sub> *	39,9	9,4	120,5	34,3	15,1	177,6
Фон + Mn <sub>50</sub>	57,1	10,6	137,1	21,8	8,5	265,3
Фон + Mn <sub>100</sub>	54,7	10,2	144,6	22,7	13,0	270,3
Фон + Mn <sub>150</sub> *	56,5	10,4	147,3	22,2	11,3	191,1
общий, кг/га				единицей продукции, г/т		
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> - фон	96,8	10,6	315,0	21,9	2,4	71,3
Фон + Zn <sub>50</sub>	132,3	18,7	317,4	28,5	4,0	68,4
Фон + Zn <sub>100</sub>	147,4	15,2	332,7	30,2	3,1	68,2
Фон + Zn <sub>150</sub> *	127,6	10,9	266,0	28,7	2,5	59,9
Фон + Cu <sub>50</sub>	94,9	20,0	285,0	21,8	4,6	65,5
Фон + Cu <sub>100</sub>	121,5	21,7	287,0	25,5	4,6	60,3
Фон + Cu <sub>150</sub> *	74,2	24,4	298,1	16,6	5,5	66,5
Фон + Mn <sub>50</sub>	78,9	19,1	402,4	17,3	4,2	88,1
Фон + Mn <sub>100</sub>	77,4	23,2	414,9	17,1	5,1	91,8
Фон + Mn <sub>150</sub> *	78,7	21,7	338,4	17,3	4,8	74,2

Примечание: \* - данные за 2010-2011 гг.

Величина потребления микроэлементов в течение вегетации определяется не только химическим составом и динамикой нарастания вегетативной массы культур. В данных исследованиях установлено (таблица 4.11), что потребление микроэлементов растениями озимой ржи в большей степени происходит

до фазы выхода в трубку (цинка – 40,6 %, меди – 38,5 %, марганца – 50,9 % от общего количества поглощённого в процессе онтогенеза культуры на фоне N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>). От фазы выхода в трубку до фазы колошения потребление менее интенсивное, особенно меди. В период созревания также наблюдается значительное потребление микроэлементов: цинка, меди и марганца с 81,6; 60,7; 73,2 до 100 % от общего количества потребления соответствующего элемента.

Таблица 4.11 – Динамика накопления микроэлементов растениями по фазам вегетации

Варианты	Кущение весеннее			Выход в трубку			Колошение			Уборка		
	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn
	г/га											
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	34,9	4,5	169,0	56,1	8,5	201,4	70,2	7,1	242,8	86,0	11,7	331,8
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	37,3	5,9	180,4	75,8	6,9	241,6	78,1	5,5	254,9	90,4	11,3	351,4
% от фазы уборки												
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	40,6	38,5	50,9	65,2	72,6	60,7	81,6	60,7	73,2	100	100	100
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	41,3	52,2	51,3	83,8	61,1	68,7	86,4	48,7	72,5	100	100	100

Коэффициент использования растением того или иного элемента питания из почвы показывает долю его потребления по отношению к общему содержанию подвижной формы этого элемента в пахотном слое. Чем выше содержание элемента в доступной форме в почве, тем ниже коэффициент его использования растением. Коэффициент использования питательных веществ из удобрений показывает долю их потребления растением от общего количества вносимого удобрения элемента питания на создание прироста урожая.

Рядом учёных региона были определены КИП и КИУ для различных культур, они составили: КИП для марганца 0,2-1,5 % и меди 0,3-0,4 %; КИУ для марганца 0,1-4,7 % и меди 0,5-1,0 % (Ермохин Ю.И., 2005; Орлова Э.Д., 2007; Склярова М.А., 2008).

При изучении минерального питания озимой ржи были установлены следующие коэффициенты использования питательных веществ из почвы и удобрений (таблица 4.12).

Таблица 4.12 – Нормативные параметры минерального питания озимой ржи (2007-2011 гг.)

Показатель	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Zn	Cu	Mn
КИП, %	69	21	16	4,20	2,50	0,17
КИУ, %	–	7	–	1,1	–	–
Потребление для создания 1 т зерна, кг (макроэлементы) или г (микроэлементы)	33	13	20	20	2,5	78

Исследованиями установлено, что коэффициент использованных питательных веществ из почвы составляет: по азоту – 69 %, по фосфору – 21 %, по калию – 16 %. Показатель величины текущей нитрификации (N<sub>t</sub>), характерный для максимальных урожаев ржи составил в эксперименте 105 кг/га.

Коэффициент использования из удобрений составил: по фосфору – 30 %. Потребление культурой азота, фосфора и калия для создания 1 тонны зерна составило 33, 13 и 20 кг соответственно.

На основании полученных агрохимических нормативных показателей можно рассчитать дозы минеральных удобрений на планируемую урожайность или прибавку урожая озимой ржи. Данные показатели могут использоваться для расчета доз удобрений на прибавку урожая (П) по формуле (20):

$$\Delta = \frac{K_d \cdot H \cdot P}{K_y}, \quad (20)$$

где  $\Delta$  - доза удобрений, кг д.в./га;

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

Н – норма расхода элемента питания на создание 1 т основной продукции;

Ку – коэффициент использования элемента питания из удобрений.

$$K_d = \frac{E_o}{E_\phi}, \quad (21)$$

Также данные нормативы используются для расчета доз удобрений на плановый урожай (ПУ) по формуле (22):

$$D = \frac{PU \cdot N - C \cdot Kp}{Ky}, \quad (22)$$

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

Кп – коэффициент использования элементов питания из почвы.

При расчете дозы азота используется формула (23):

$$D = \frac{PU \cdot N - (C + N_t) \cdot Kp}{Ky}. \quad (23)$$

Данные формулы апробированы для условий Западной Сибири и Казахстана для многих сельскохозяйственных культур (Бобренко Е.Г., 2001; Бобренко И.А., 2004; Ермохин Ю.И., 1968; Кормин В.П., 1988; Ли М.А., 2009; Михальская Н.В., 2003; Склярова М.А., 2008).

## **5 РАСТИТЕЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ОЗИМОЙ РЖИ**

Агрохимическое обследование почв на содержание доступных для растений элементов питания является основой почвенной диагностики. Информация о почве позволяет оценить и рассчитать обеспеченность элементами питания растений на весь период вегетации. Но в это время ряд факторов внешней среды оказывает влияние на поступление и усвоение питательных элементов растениями, и в конечном итоге – на рост и развитие. Возникает ситуация несоответствия фактически сложившегося баланса элемента в растениях тому оптимальному балансу (или уровню), при котором способен формироваться высокий, биологически полноценный урожай. В данном случае для получения дополнительной информации о растении дает анализ самих растений.

На растения действуют только те элементы, которые в него поступили (Ермохин Ю.И., 1983, 1995, 2005; Магницкий К.П., 1972), поэтому даже после проведения почвенной диагностики и оптимизации минерального питания растений внесением удобрения на её основе в течение вегетации складываются конкретные условия минерального питания, на которые влияют температура, условия влагообеспеченности, микробиологические процессы, взаимовлияние ионов при поступлении в растения и др. Анализ растений в течение вегетации и диагностирование состояния питания с учётом разработанных нормативов даёт возможность корректировать питание растений. Для этого разрабатывается растительная диагностика конкретной культуры (второе звено системы ПРОД, рисунок 1.1) (Ермохин Ю.И., 1983, 1995, 2005).

### **5.1 Содержание элементов в растениях при применении удобрений**

Накопление питательных веществ растением тесно связано как с условиями минерального питания, так и с другими факторами роста. По мнению Д.А. Сабинина (1937, 1955, 1971) темп и характер процессов новообразования ком-

понентов протоплазматических культур, обусловленные видовыми особенностями растений, ходом роста, интенсивностью дыхания, в очень сильной степени зависят не только от наличия необходимых ионов, но и от их соотношения. Поэтому изучение зависимости жизнедеятельности растения от соотношения ионов в почвенном растворе является первостепенной задачей.

Растения нуждаются во многих биоэлементах, которые поступают из почвы или становятся доступными в результате минерализации органического вещества. Балансы минеральных веществ и углерода хорошо согласованы между собой. Поглощение минеральных веществ регулирует прирост растительной массы, а синтез органического вещества поставляет материал, в который включаются минеральные элементы. Эти элементы поглощаются в форме ионов и включаются в растительную массу или накапливаются в клеточном соке. Для упорядоченного обмена веществ, хорошей продуктивности и беспрепятственного развития нужно, чтобы растение получало питательные вещества, включая микро- и ультрамикроэлементы не только в достаточных количествах, но и в определенных соотношениях. Известно, что урожай зависит от того вещества, которое имеется в недостаточном количестве.

Примерно 98 % биоэлементов в почве содержится в органических остатках, гумусе и труднорастворимых и неорганических соединениях или входят в состав минералов. Это резерв питательных веществ, который очень медленно мобилизуется в результате минерализации и процессов выветривания. В связи с этим внесение минеральных удобрений в почву играет двоякую роль: создать оптимальную концентрацию элементов в почвенном растворе, и сбалансировать элементы питания, так как при уравновешенном питании все ионы почвенного раствора взаимно ограничивают поступление друг друга в клетку корня (Бобренко И.А., 2004; Ермохин Ю.И., 2005; Методические рекомендации..., 1989; Ягодин Б.А., 2004).

Почва является мощным аккумулятором микроэлементов. И, несмотря на избирательную способность растений потреблять питательные вещества из почвы, часто, в результате взаимодействия ионов и внешних факторов, наблю-

дается изменение химизма. Анализ содержания микроэлементов в сельскохозяйственных культурах показал, что пределы колебаний могут достигать двух порядков в зависимости от условий выращивания. При этом выявлено значительное влияние антропогенных факторов на процессы концентрирования микроэлементов (Ермохин Ю.И., 1995; Ильин В.Б., 1991; Кабата-Пендиас А., 1989; Ковальский В.В., 1971; Ринькис Г.Я., 1977; Синдирева А.В., 2012).

Активность у различных элементов в плане проявления взаимодействия с другими элементами является отражением химической активности элемента в конкретной ситуации (культура, химический состав почвы, температура, влагообеспеченность и др.). В исследованиях М.С. Панина (1999, 2007) установлено следующее количество корреляционных связей парных коэффициентов при изучении химического состава яровой пшеницы:

V	Ni	B	Al	Ti	Cr	Fe	Co	Mn	Zn	Mo	Pb	Sn	Cu
10	10	9	7	6	6	6	6	6	5	4	4	3	2

По убыванию способности к взаимной положительной корреляции исследуемые химические элементы образуют следующий ряд:



Наибольшее число антагонистических реакций наблюдалось для Fe, Mn, Cu, Zn, которые, очевидно, являются ключевыми в физиологических процессах у растений. В антагонистических отношениях к ним оказываются Cr, Mo, Se.

Характер взаимодействия различных ионов при поступлении в растения может меняться по различным причинам. В частности, если тот или иной элемент питания находится в минимальной дозировке – является фактором лимитирующим, то он ограничивает действие других элементов (в частности микроэлементов), находящихся в почве в «нормальной» дозировке, что в свою очередь сказывается на продуктивности растений. С переходом элемента в почве из лимитирующего в область оптимальных дозировок, ограничение его, как лимитирующего фактора, снимается и ряд других микроэлементов, взаимодей-

ствую с ним, проявляет полную эффективность, соответствующую агрохимическим и физиологическим особенностям каждого из них. Эффект взаимодействия ионов возрастает в положительном направлении. Наблюдается явление синергизма между основными элементами питания и микроэлементами – «спутниками». Степень несбалансированности минерального питания снижается и приближается к уровню сбалансированного гармоничного питания, позволяющего произвести наибольший эффект продуктивности растений.

При переходе элемента питания в почве через оптимальный уровень до высоких дозировок, эффект взаимодействия основного питательного элемента с элементом-«спутником» в растениях возрастает, принимая часто противоположное направление. Наблюдаются антагонистические отношения между элементами, которое оказывается отрицательно на продуктивности и качестве растений (Ермохин Ю.И., 1995).

Использование в опытах с озимой рожью различных доз и сочетаний микроудобрений позволило проанализировать их влияние на процесс поступления элементов в растения. Концентрация азота в эксперименте в зерне озимой ржи превышала концентрацию в соломе более чем в пять раз (таблицы 5.1 и 5.2). Фосфора так же больше содержится в зерне – 0,37-0,45 %, в то время как в соломе – 0,18-0,33 %. Калий же в большей степени концентрируется в соломе (0,61-0,72 %), чем в зерне (0,39-0,53 %).

Опытные данные, позволяют судить о неодинаковом валовом содержании элементов питания в растениях озимой ржи при разных способах внесении цинка (таблица 5.1, приложение Ж).

Таблица 5.1 – Содержание основных элементов питания в растениях озимой ржи по фазам развития в зависимости от применяемых разными способами цинковых удобрений, % на абсолютно сухую массу  
 (среднее 2007-2011 гг.)

Варианты	Эле-мент	Всходы	Кущение осенне	Кущение весенне	Выход в трубку	Коло-шление	Уборка (солома)	Уборка (зерно)
$N_{30}$	N	3,82	3,32	3,55	3,32	2,01	0,44	2,55
	P	0,48	0,60	0,42	0,38	0,29	0,10	0,32
	K	3,65	4,20	3,20	2,61	2,01	0,84	0,45
$N_{30} + Zn_4$	N	4,09	4,58	3,32	3,60	2,29	0,46	2,71
	P	0,62	0,57	0,48	0,33	0,35	0,32	0,12
	K	3,81	4,61	3,25	3,18	2,36	0,85	0,42
$N_{30} + Zn_8$	N	4,25	4,62	3,31	3,69	2,85	0,54	2,68
	P	0,61	0,59	0,49	0,30	0,37	0,12	0,32
	K	3,89	4,52	3,37	3,34	2,26	0,82	0,44
$N_{30}P_{60}$	N	3,52	4,00	3,77	3,23	1,86	0,46	2,55
	P	0,69	0,57	0,43	0,33	0,34	0,10	0,32
	K	3,56	4,54	3,23	2,77	1,83	0,81	0,47
$N_{30}P_{60} + Zn_4$	N	4,58	4,10	3,19	3,92	2,01	0,50	2,67
	P	0,64	0,57	0,43	0,33	0,30	0,10	0,30
	K	3,61	4,42	3,90	2,81	1,93	0,86	0,45
$N_{30}P_{60} + Zn_8$	N	4,65	4,16	3,06	3,74	2,15	0,40	2,73
	P	0,58	0,58	0,44	0,33	0,36	0,11	0,29
	K	3,59	4,37	3,07	2,80	2,08	0,81	0,45
$N_{30}P_{60} + Zn_{50}^*$	N	4,02	4,86	4,60	3,09	1,86	0,44	2,59
	P	0,58	0,57	0,53	0,38	0,37	0,13	0,31
	K	3,84	4,42	3,84	2,93	2,29	0,74	0,44
$N_{30}P_{60} + Zn_{100}^*$	N	4,18	4,60	3,32	3,26	1,86	0,54	2,59
	P	0,60	0,63	0,49	0,33	0,36	0,10	0,33
	K	4,14	4,47	4,04	3,34	2,13	0,72	0,43

Примечание: \*- обработка семян г соли на 1 центнер семян

Таблица 5.2 – Содержание основных элементов питания в растениях озимой ржи по фазам развития в зависимости от применяемых микроудобрений способом опудривания, % на абсолютно сухую массу  
(среднее 2007-2011 гг.)

Варианты	Эле-мент	Всходы	Кущение осенне	Кущение весенне	Выход в трубку	Колоше-ние	Уборка (солома)	Уборка (зерно)
$N_{30}P_{60}K_{60}$ - фон	N	3,89	3,98	3,11	3,40	1,72	0,49	2,55
	P	0,61	0,6	0,42	0,33	0,36	0,12	0,36
	K	3,07	4,61	3,00	2,95	2,03	0,90	0,49
Фон + $Zn_{50}$	N	5,37	4,44	3,33	3,53	2,57	0,47	2,60
	P	0,63	0,62	0,46	0,36	0,40	0,12	0,34
	K	3,92	4,42	3,19	3,18	2,32	0,88	0,53
Фон + $Zn_{100}$	N	4,37	4,35	3,45	3,55	2,36	0,47	2,61
	P	0,67	0,64	0,50	0,36	0,38	0,14	0,34
	K	3,87	4,71	3,25	3,18	2,46	0,89	0,50
Фон + $Cu_{50}$	N	5,37	4,02	3,32	3,26	1,58	0,50	2,65
	P	0,66	0,54	0,43	0,41	0,36	0,11	0,36
	K	3,7	4,52	3,20	3,22	2,16	0,80	0,51
Фон + $Cu_{100}$	N	5,51	4,63	3,62	4,09	2,29	0,53	2,60
	P	0,59	0,76	0,47	0,35	0,34	0,13	0,34
	K	3,65	4,57	3,40	3,05	2,22	0,92	0,52
Фон + $Mn_{50}$	N	5,22	4,74	3,90	3,71	2,08	0,46	2,65
	P	0,60	0,62	0,51	0,38	0,34	0,15	0,35
	K	4,42	4,57	3,54	3,36	2,46	0,99	0,53
Фон + $Mn_{100}$	N	4,8	4,02	3,45	3,26	1,68	0,56	2,64
	P	0,61	0,57	0,47	0,39	0,40	0,16	0,35
	K	4,03	4,37	3,15	3,29	2,66	0,92	0,50

При применении цинковых удобрений в основное внесение до определенного уровня наблюдается увеличение содержания азота в зерне в зависимости от фона (уравнения 24, 25):

$$y = 0,040 x + 2,55, \quad r = 0,89 \quad (24)$$

$$y = 0,022 x + 2,56. \quad r = 0,96 \quad (25)$$

Таким образом, 1 кг д.в. цинковых удобрений увеличивает содержание валового азота в зерне ржи на 0,040 % (фон N<sub>30</sub>) и 0,022 % (фон N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>). Концентрация азота в зерне снижается при использовании повышенных доз цинковых удобрений с 2,71 % на фоне N<sub>30</sub> и 2,73 на фоне N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>.

Применение различных доз солей цинка, меди и марганца при обработке семян на фоне N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> способствовало незначительному повышению содержания азота в зерне (таблица 5.2, приложение Ж). Наибольшее его содержание можно отметить в варианте с опудриванием солью меди в дозе 150 г/ц по сравнению с зерном фонового варианта (2,66 и 2,55 % соответственно).

В целом, в проведенных исследованиях установлено, что содержание азота в зерне ржи зависит от уровня применения цинковых удобрений в основное внесение. При этом фоновое содержание на лугово-черноземных почвах не обеспечивает максимальное накопление азота.

Концентрация микроэлементов в растениях озимой ржи изменяется по фазам развития (таблицы 5.3 и 5.4). Наибольшая концентрация макроэлементов наблюдается на ранних стадиях развития растений, на поздних стадиях понижение концентрации микроэлементов обусловлено так называемым ростовым разбавлением: в большей степени у меди, в меньшей – у марганца.

Конкретные проявления антагонизма и синергизма между элементами при поступлении в растения наблюдаются только при определенных соотношениях их в почвенном растворе. В исследованиях выявлены закономерности накопления микроэлементов в растениях озимой ржи в зависимости от цинковых удобрений на различных фонах макроудобрений.

Внесение цинковых удобрений по-разному повлияло на концентрацию микроэлементов в растениях ржи в зависимости от элемента и фазы развития (таблицы 5.3, 5.4).

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

Варианты	Элемент	Всходы	Кущение осенне	Кущение весеннее	Выход в трубку	Колошление	Уборка (солома)	Уборка (зерно)
$N_{30}$	Zn	14,9	11,1	12,8	8,7	11,9	4,1	14,7
	Cu	3,82	4,11	1,20	2,88	1,80	0,95	0,57
	Mn	45,0	57,0	63,0	42,4	35,1	21,3	42,0
$N_{30} + Zn_4$	Zn	15,2	12,1	13,8	9,3	11,8	3,7	15,2
	Cu	2,61	2,74	1,68	1,96	1,24	0,86	1,73
	Mn	46,6	51,0	66,3	41,0	35,9	20,0	40,6
$N_{30} + Zn_8$	Zn	19,1	13,0	14,1	13,8	14,8	3,6	15,3
	Cu	3,04	3,62	1,82	3,46	1,91	0,73	2,98
	Mn	47,3	52,2	65,9	41,6	36,2	21,3	41,0
$N_{30}P_{60}$	Zn	13,8	11,2	13,2	11,2	9,6	3,1	14,1
	Cu	2,15	2,81	1,71	1,70	0,97	0,78	1,22
	Mn	49,2	56,3	64,0	40,2	33,2	20,1	38,6
$N_{30}P_{60} + Zn_4$	Zn	16,3	11,7	13,3	12,8	10,6	2,9	14,8
	Cu	1,87	1,92	2,12	2,34	0,74	0,83	0,98
	Mn	48,1	56,0	64,4	40,8	34,6	21,7	38,2
$N_{30}P_{60} + Zn_8$	Zn	15,8	12,5	14,1	14,4	11,5	2,7	17,7
	Cu	3,12	2,10	2,34	2,22	0,83	0,61	2,00
	Mn	48,0	53,9	62,9	39,6	32,9	22,5	36,9
$N_{30}P_{60} + Zn_{50}^*$	Zn	18,3	13,8	12,8	13,7	14,1	3,1	12,1
	Cu	2,88	1,98	1,90	2,75	1,61	0,75	1,37
	Mn	46,6	52,0	63,1	40,0	32,4	20,3	36,3
$N_{30}P_{60} + Zn_{100}^*$	Zn	21,7	13,3	13,4	13,8	16,8	3,4	16,8
	Cu	3,52	2,61	2,72	1,98	1,60	0,92	0,92
	Mn	47,2	51,9	62,9	38,3	32,1	22,4	36,0

Примечание: \* - обработка семян г соли на 1 центнер семян

Таблица 5.4 – Содержание микроэлементов питания в растениях озимой ржи по фазам развития в зависимости от применяемых микроудобрений, мг/кг сухого вещества (среднее 2007-2011 гг.)

Варианты	Элемент	Всходы	Кущение осенне	Кущение весеннее	Выход в трубку	Колошление	Уборка (солома)	Уборка (зерно)
$N_{30}P_{60}K_{60}$ - фон	Zn	17,2	13,8	12,7	9,71	11,8	4,2	13,6
	Cu	2,91	3,10	1,86	1,58	1,32	0,92	0,58
	Mn	45,9	52,1	65,0	36,1	34,6	20,3	31,2
Фон + $Zn_{50}$	Zn	16,9	12,5	11,6	11,2	11,2	4,1	20,7
	Cu	3,84	2,16	2,14	2,14	1,57	1,28	1,60
	Mn	46,3	49,2	64,0	35,2	30,2	20,0	30,3
Фон + $Zn_{100}$	Zn	19,2	14,3	13,0	14,8	11,7	3,8	23,3
	Cu	4,10	3,53	2,0	1,90	1,54	1,36	0,63
	Mn	46,0	49,8	62,1	34,0	33,7	21,2	29,6
Фон + $Cu_{50}$	Zn	14,8	10,3	10,8	15,8	14,2	3,5	15,3
	Cu	2,65	1,74	1,72	2,73	2,23	1,53	1,75
	Mn	47,9	42,8	62,3	34,0	32,0	19,4	29,4
Фон + $Cu_{100}$	Zn	13,6	11,5	12,8	14,2	13,7	3,7	18,9
	Cu	2,80	2,22	1,92	3,12	2,45	1,62	1,66
	Mn	48,0	44,6	66,9	34,6	33,3	18,0	28,1
Фон + $Mn_{50}$	Zn	16,7	13,8	11,7	12,8	12,8	2,3	12,5
	Cu	2,83	2,84	2,19	2,42	1,10	0,90	2,31
	Mn	48,0	71,0	72,0	35,0	35,0	28,0	30,0
Фон + $Mn_{100}$	Zn	17,2	12,7	13,2	11,9	11,7	2,7	12,1
	Cu	3,10	1,93	3,10	2,63	1,40	1,54	2,26
	Mn	61,0	75,0	76,0	39,0	44,0	32,1	32,0

При изучении концентрации цинка в растениях озимой ржи можно отметить, что она на фоне  $N_{30}$  находилась в пределах от 3,0 до 14,9 мг/кг сухого вещества (таблица 5.3, рисунок 5.1). В течение вегетации максимальное содержание цинка наблюдалось в фазу всходов – 14,9 мг/кг. Минимальное количество

содержалось в соломе в фазу уборки – 4,1 мг/кг. При этом в зерне его концентрация значительно выше, чем в соломе и составила 14,7 мг/кг.

Наибольшее количество меди (4,11 мг/кг) в растениях озимой ржи накапливалось в фазу кущения. При прохождении последующих фаз развития концентрация данного микроэлемента в целом снижалась (таблица 5.3, рисунок 5.2). В период уборки культуры содержание меди в зерне и соломе без внесения цинковых удобрений примерно одинаково (0,57-1,22 мг/кг).

Содержание марганца в растениях озимой ржи в период всходы – уборка постепенно увеличивалось, достигая пика в фазу отрастания – 64 мг/кг, затем наблюдалось его снижение (рисунок 5.3). Минимальная концентрация данного элемента питания на фоне N<sub>30</sub> отмечена в соломе (21,3 мг/кг), в зерне содержание марганца увеличилось практически вдвое (42,0 мг/кг) по сравнению с его содержанием в соломе.

ПДК содержания микроэлементов цинка и меди в зерне ржи в исследованиях не превышена (соответственно 50 и 10 мг/кг), содержание марганца в зерне не нормируется.

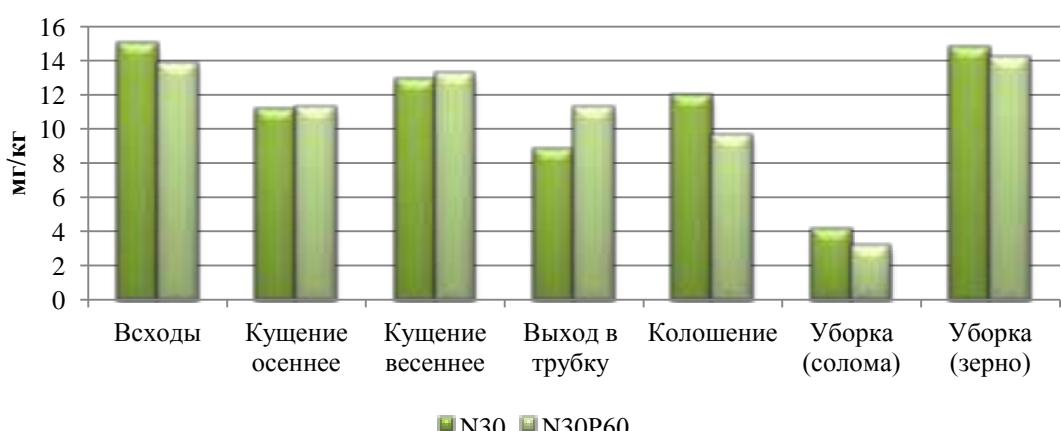


Рисунок 5.1 – Содержание цинка в растениях озимой ржи в течение вегетации на различных фонах (среднее 2007-2011 гг.)

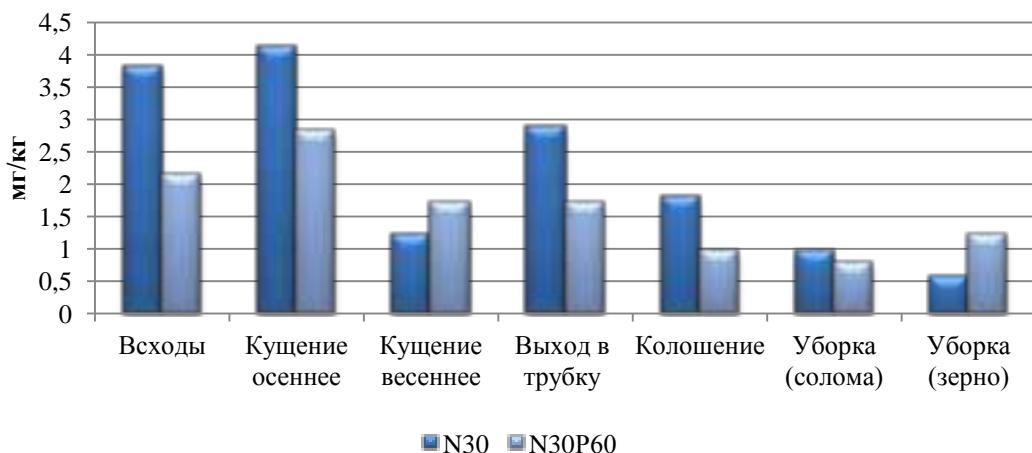


Рисунок 5.2 – Содержание меди в растениях озимой ржи в течение вегетации на различных фонах (среднее 2007-2011 гг.)

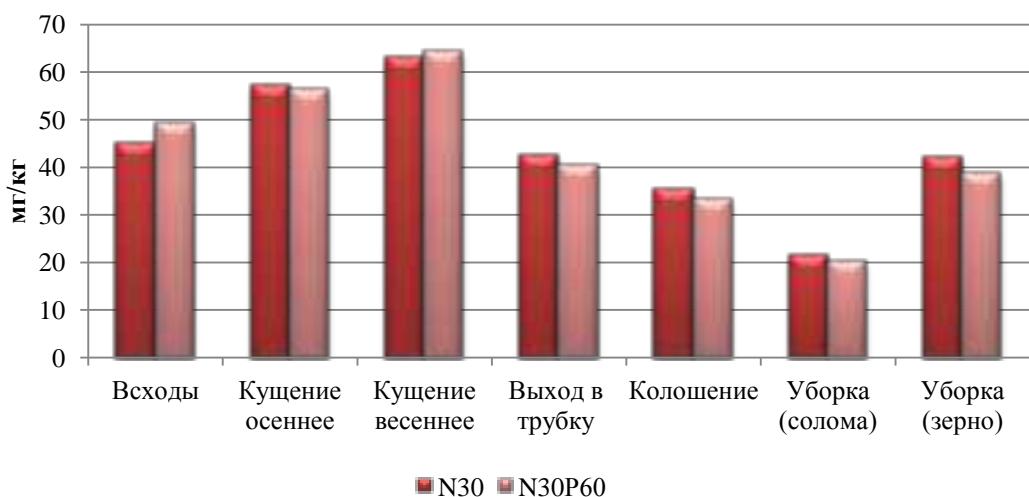


Рисунок 5.3 – Содержание марганца в растениях озимой ржи в течение вегетации на различных фонах (среднее 2007-2011 гг.)

Нетрудно заметить, что направление взаимодействия между элементами зависит от фазы развития культуры и уровня обеспеченности макроэлементами и цинком. В ранние фазы развития цинковые удобрения в умеренных дозах 4 и 8 кг/га в основном повышают концентрацию цинка в растениях. Доза же 12 кг часто приводит к обратному эффекту. На концентрацию меди и марганца устойчивого влияния цинковые удобрения не оказывают. На поступление элемента в растения влияет не только концентрация данного элемента, но и других макро- и микроэлементов. Исследования, проведенные нами, дали возможность

получить зависимости содержания цинка в растениях озимой ржи ( $Zn$ , мг/кг) от накопления его в почве за счет внесения удобрений ( $X$ , кг/га). В результате получены уравнения (таблица 5.5, уравнения 26-31), которые позволяют связать конечный результат (накопление цинка растениями озимой ржи) с действующими величинами (результатами применения доз цинка в почву).

Полученные уравнения регрессии и высокие коэффициенты корреляции указывают на сопряженность содержания микроэлемента цинка в растении от доз вносимых цинковых удобрений. В среднем за годы исследований коэффициент интенсивности действия одного килограмма внесенного цинкового удобрения на содержание цинка в растениях отмечен в фазу выхода в трубку: по азотному фону – 0,64 мг/кг, несколько ниже (0,40 мг/кг) – по фону  $N_{30}P_{60}$ .

Таблица 5.5 – Содержание цинка в растениях (мг/кг) в зависимости от доз применяемых цинковых удобрений ( $X$ , кг/га) в основное внесение на различных фонах

Фаза развития	Уравнение регрессии	$r$
Фон $N_{30}$		
Кущение весенне	$y = 0,162 x + 12,91$ (26)	0,91
Выход в трубку	$y = 0,637 x + 8,05$ (27)	0,84
Колошение	$y = 0,362 x + 11,41$ (28)	0,75
Фон $N_{30}P_{60}$		
Кущение весенне	$y = 0,113 x + 13,08$ (29)	0,83
Выход в трубку	$y = 0,400 x + 11,02$ (30)	0,89
Колошение	$y = 0,247 x + 9,59$ (31)	0,79

Выявленные нормативные показатели « $b_3$ » интенсивности действия каждого внесенного килограмма цинка в почву на содержание его в растениях позволяют определить потребность озимой ржи в цинковых удобрениях (дозы, кг/га) при условии установления оптимальных величин содержания цинка в растениях по фазам роста и развития, используя формулу (32):

$$\Delta = \frac{(\vartheta_o - \vartheta_f)}{b_3 \cdot \vartheta_o}, \quad (32)$$

где:  $\vartheta_o$  и  $\vartheta_f$  – оптимальное и фактическое содержание цинка в растениях для конкретных фаз роста и развития озимой ржи.

Знание и учет в практической агрохимии подобных закономерностей дает возможность сбалансировать питание растений.

## **5.2 Оптимальные уровни микроэлементов в растениях и их связь с урожаем**

Изменение условий минерального питания сказывается на уровне продуктивности сельскохозяйственных культур. Взаимосвязь между величиной обеспеченности растений питательными веществами и величиной урожая может выражаться в виде параболы, сигмоиды или прямой линии. На рисунке 5.4 представлена нелинейная зависимость урожая от степени обеспечения растений питательными веществами при постоянстве других факторов роста.

На кривой урожая имеется отрезок, который иллюстрирует тесную связь между урожаем и дополнительным поглощением питательных веществ растением (зона низкой обеспеченности); затем наблюдается отрезок кривой дополнительного потребления элементов питания растений при постоянном неизменяющемся максимуме урожая (зона оптимальной обеспеченности), за которым следует отрезок кривой урожая, выражающий обратную связь между поглощенными растением элементами и урожаем. Наличие такой связи обычно наблюдается при избыточной концентрации питательных веществ (зона высокой обеспеченности) или резкого голодания растений, когда усиленный рост и увеличение урожая сопровождается снижением концентрации питательных веществ в растении (зона голодания или очень низкой обеспеченности) (Ермохин Ю.И., 1995).

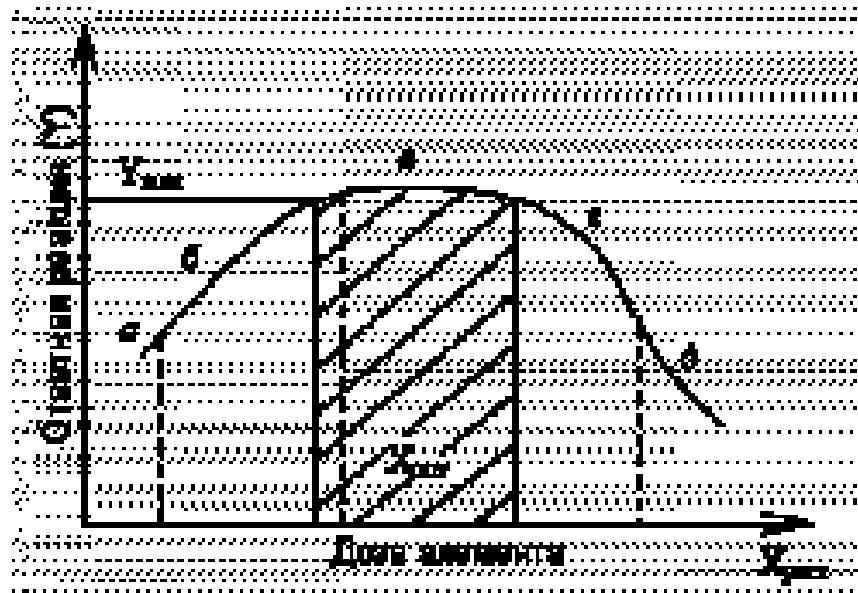


Рисунок 5.4 – Зависимость урожая от обеспеченности питательными веществами: а – голодание (предел выживания) организма из-за дефицита элемента; фаза б – положительная реакция на увеличение дозы элемента; фаза в – оптимальный уровень содержания элемента; фаза г и д – начало и кризис токсического действия элемента (Ермохин Ю.И., 2014)

Наибольшее соответствие между ростом растений и поглощением ими питательных веществ возможно лишь при сбалансированном питании. В результате проведения полевых и лабораторных исследований нами установлено, что при взаимодействии растений и почвы, последняя оказывает влияние на растения содержащимися в ней элементами питания, растения отражают это влияние своим химическим составом (таблицы 3.1, 3.2, 5.3-5.7). Урожайность также является функцией химического состава почвы и растений и зависит от уровня содержания цинка (таблица 5.6).

При анализе зависимости между содержанием микроэлементов в растениях и урожаем зерна, в данных исследованиях установлены оптимальные уровни содержания элементов, характерные для высоких урожаев (таблица 5.8).

Таблица 5.6 – Урожайность зерна озимой ржи в зависимости от доз цинковых удобрений и содержания доступного цинка в почве и валового в растениях

Варианты	Содержание, мг/кг				Урожайность, т/га	
	в почве		в растении			
	кущение осенне	кущение весеннее	выход в трубку	колошение		
N <sub>30</sub>	0,80	11,1	8,7	11,9	3,91	
N <sub>30</sub> + Zn <sub>4</sub>	1,54	12,1	9,3	11,8	4,02	
N <sub>30</sub> + Zn <sub>8</sub>	2,26	13,0	13,8	14,8	4,33	
N <sub>30</sub> + Zn <sub>12</sub> *	2,97	12,7	12,9	12,3	4,02	
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	0,79	11,2	11,2	9,6	4,22	
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	1,48	11,7	12,8	10,6	4,72	
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>8</sub>	2,02	12,5	14,4	11,5	4,03	
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>12</sub> *	2,61	12,1	12,9	12,6	4,39	

Примечание: \* - данные за 2009-2011 гг.

Таблица 5.7 – Зависимость урожайности озимой ржи (Y, т/га) от валового содержания микроэлементов в растениях (X, мг/кг сухого вещества) по фазам развития

Фаза развития	Уравнение регрессии		r
	1	2	
Цинк			
Всходы	Y = 0,058 x + 3,465	(33)	0,66
Кущение (осень)	Y = - 0,404 x <sup>2</sup> + 9,593 x - 52,41	(34)	0,88
Кущение (весна)	Y = - 1,625 x <sup>2</sup> + 44,31 x - 297,4	(35)	0,72
Выход в трубку	Y = - 0,050 x <sup>2</sup> + 1,309 x - 4,015	(36)	0,67
Колошение	Y = - 0,037 x <sup>2</sup> + 0,834 x - 0,279	(37)	0,63
Медь			
Всходы	Y = - 1,267 x <sup>2</sup> + 7,653 x - 6,96	(38)	0,76
Кущение (осень)	Y = - 0,055 x <sup>2</sup> + 0,322 x + 4,06	(39)	0,77
Кущение (весна)	Y = - 0,727 x <sup>2</sup> + 3,523 x + 0,49	(40)	0,79
Выход в трубку	Y = 0,114 x <sup>2</sup> - 0,453 x + 4,84	(41)	0,63
Колошение	Y = 0,683 x <sup>2</sup> - 2,442 x + 6,45	(42)	0,67
Марганец			
Всходы	Y = 0,002 x + 4,396 + 4,396	(43)	0,64
Кущение (осень)	Y = - 0,000 x <sup>2</sup> + 0,120 x + 0,63	(44)	0,69
Кущение (весна)	Y = - 0,001 x <sup>2</sup> + 0,157 x - 1,435	(45)	0,81
Выход в трубку	Y = 0,018 x <sup>2</sup> - 1,357 x + 29,85	(46)	0,63
Колошение	Y = - 0,039 x <sup>2</sup> + 3,083 x - 55,46	(47)	0,79

Для диагностических целей важно не только абсолютное, но и относительное содержание макро- и микроэлементов или соотношение их, характеризующее сбалансированное минеральное питание (Бобренко И.А., 2004; Ермохин Ю.И., 1983; Магницкий К.П., 1972; Церлинг В.В., 1990). Исследованиями были установлены также оптимальные соотношения макро- и микроэлементов в растениях озимой ржи по фазам развития (таблица 5.8, уравнения 48-61).

Зная оптимальное содержание элементов питания в растении и их уравновешенное состояние, можно с успехом прогнозировать действие и очередность внесения удобрений. Для этого применяется коэффициент потребности в элементе ( $K_p$ ), показывающий, на сколько отклоняется фактическое содержание или соотношение элементов в целых растениях или органе-индикаторе от оптимальных величин (62):

$$K_p = \frac{N : P, N : K, Zn : Cu, Zn : Mn \text{ и т.д.}(\text{оптим})}{N : P, N : K, Zn : Cu, Zn : Mn \text{ и т.д.}(\text{факт})}, \quad (62)$$

Если  $K_p > 1$  то растения нуждаются в данном элементе и тем сильнее, чем больше коэффициент. При  $K_p < 1$  – потребность культуры в этом элементе отсутствует. Наибольший  $K_p$  указывает на тот элемент, который находится в первом минимуме. Это значит, что при фактически сложившимся балансе элементов питания в растении их вынос растением не соответствует тем величинам, какие должны быть при оптимальном уровне питания. Исходя из этого Ю.И. Ермохин (1983) предложил формулу расчёта доз удобрений в подкормку для определённой фазы развития растений (63):

$$\Delta = K_p \cdot H, \quad (63)$$

где  $H$  - минимальная норма потребления элементов питания растением в определенную фазу развития культуры, выявленная ранее для уровня высоких урожаев.

Таблица 5.8 – Оптимальное содержание и соотношение элементов в растениях озимой ржи в течение вегетации

Фаза развития	Макроэлементы, %			Микроэлементы, мг/кг		
	N	P	K	Zn	Cu	Mn
Оптимальное содержание						
Всходы	4,87 ± 0,67	0,62 ± 0,05	4,00 ± 0,50	17,4 ± 4,0	2,50 ± 0,9	47,0 ± 5,0
Кущение (осень)	4,48 ± 0,64	0,64 ± 0,09	4,52 ± 0,30	12,9 ± 1,5	2,20 ± 1,0	53,7 ± 7,0
Кущение (весна)	3,46 ± 0,40	0,47 ± 0,08	3,55 ± 0,42	12,6 ± 0,9	2,20 ± 0,3	65,4 ± 6,0
Выход в трубку	3,20 ± 0,20	0,35 ± 0,03	3,15 ± 0,40	13,2 ± 2,0	2,30 ± 0,4	36,0 ± 4,0
Колошениe	2,20 ± 0,40	0,28 ± 0,06	2,25 ± 0,30	12,8 ± 2,0	1,50 ± 0,5	33,0 ± 3,0
Уборка (солома)	1,84 ± 0,09	0,33 ± 0,05	0,49 ± 0,07	3,4 ± 1,0	1,20 ± 0,4	22,0 ± 6,0
Уборка (зерно)	0,49 ± 0,08	0,13 ± 0,05	0,88 ± 0,14	17,8 ± 5,0	1,35 ± 0,4	32,0 ± 4,0
Уравнение оптимального баланса						
Всходы	$N = 7,8 \cdot P = 1,20 \cdot K$ (48)			$Mn = 2,7 \cdot Zn = 19,0 \cdot Cu$ (55)		
Кущение (осень)	$N = 7,0 \cdot P = 0,99 \cdot K$ (49)			$Mn = 4,2 \cdot Zn = 21,0 \cdot Cu$ (56)		
Кущение (весна)	$N = 7,4 \cdot P = 0,97 \cdot K$ (50)			$Mn = 5,2 \cdot Zn = 29,7 \cdot Cu$ (57)		
Выход в трубку	$N = 9,1 \cdot P = 1,01 \cdot K$ (51)			$Mn = 2,0 \cdot Zn = 15,6 \cdot Cu$ (58)		
Колошениe	$N = 7,8 \cdot P = 0,98 \cdot K$ (52)			$Mn = 2,6 \cdot Zn = 22,0 \cdot Cu$ (59)		
Уборка (солома)	$N = 5,6 \cdot P = 3,70 \cdot K$ (53)			$Mn = 6,5 \cdot Zn = 18,3 \cdot Cu$ (60)		
Уборка (зерно)	$N = 3,8 \cdot P = 0,56 \cdot K$ (54)			$Mn = 1,8 \cdot Zn = 23,7 \cdot Cu$ (61)		

В результате наших исследований установлены уровни минимального потребления (Н) микроэлементов для озимой ржи в фазы весеннего кущения и выхода в трубку (таблица 5.9).

Таблица 5.9 – Минимальная норма потребления элементов питания растениями озимой ржи в ранние фазы развития, г/га

Фаза развития	Zn	Cu	Mn
Кущение весенне	35	5	170
Выход в трубку	60	8	220

При недостатке того или иного элемента необходимо, используя данные о фактическом содержании его в растениях по формуле 46 установить дозу микроэлемента и внести её способом опрыскивания используя 0,05-0,10 % раствор соответствующей соли. При этом необходимо учитывать, что микроудобрения эффективны при обеспечении макроэлементами, поэтому одновременно нужно оптимизировать азотно-фосфорно-калийное питание (Ли М.А., 2009).

Пример. В результате химического анализа растений озимой ржи было установлено, что содержание валового цинка в фазу выхода в трубку ниже (9 мг/кг), а меди и марганца выше (соответственно 2,5 и 40 мг/кг) оптимального уровня. Находим коэффициент потребности Кп по формуле 62 (оптимальное содержание в фазу выхода в трубку Zn – 13,2 Cu – 2,3, Mn – 36 мг/кг):

$$KnZn = \frac{Zn : Cu \text{ (оптим)}}{Zn : Cu \text{ (факт)}} = \frac{13,2 : 2,3}{9 : 2,5} = 1,58 ;$$

$$KnCu = \frac{Zn : Mn \text{ (оптим)}}{Zn : Mn \text{ (факт)}} = \frac{13,2 : 36}{9,0 : 40} = 1,63 ;$$

$$KnMn = \frac{Mn : Cu \text{ (оптим)}}{Mn : Cu \text{ (факт)}} = \frac{36 : 2,3}{40 : 2,5} = 0,97 .$$

Приходим к выводу, что в данную фазу растения озимой ржи плохо обеспечены цинком ( $Kp > 1$ ). Рассчитываем дозу удобрений в подкормку по формуле 63 по наибольшему  $K_p$ :

$$\Delta_{Zn} = Kp_{Zn} \cdot 60 = 1,63 \cdot 60 = 98 \text{ г/га.}$$

В 2016 году была проведена производственная проверка по апробации установленных нормативов и формулы расчёта доз удобрений в дополнительное внесение на полях ООО «РУСКОМ-Агро» на лугово-чернозёмной почве Омской области и были получены положительные результаты (приложение М).

При внесении оптимальных доз удобрений происходит регулирование химического состава растений при этом наилучшим условиям питания соответствует оптимальный состав растений и как следствие формируется урожай соответствующей величины и качества. В то же время при внесении несбалансированных доз удобрений происходит нарушение баланса питания растений, что отражается на химическом составе и продуктивности растений. В наших исследованиях (таблица 5.10, полевой опыт №3) при внесении возрастающих доз цинковых удобрений наблюдался различный характер микроэлементного питания растений с точки зрения сбалансированности питания (рисунок 5.5).

Таблица 5.10 – Содержание микроэлементов в растениях озимой ржи по фазам развития в зависимости от расчетных доз цинковых удобрений в основное внесение, мг/кг сухого вещества (среднее 2010-2012 гг.)

Варианты	Всходы			Выход в трубку			Уборка (солома)			Уборка (зерно)		
	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> - фон	14,8	2,15	39,2	10,7	1,84	28,0	3,1	0,78	20,1	14,1	1,22	36,6
фон +Zn <sub>3,4</sub> (ОУ)	23,2	4,20	54,9	12,0	2,35	39,0	6,8	2,17	19,2	20,1	2,02	41,2
фон + Zn <sub>6,6</sub> (ОУ)	20,8	4,24	65,0	14,7	1,24	38,0	5,3	1,80	18,0	32,6	1,18	72,0
фон + Zn <sub>11,3</sub> (ПО)	16,3	1,42	79,0	14,7	1,24	42,5	3,3	0,64	22,1	13,1	1,46	54,0

В варианте без внесения цинковых удобрений на фоне N<sub>30</sub>P<sub>60</sub> содержание цинка, меди и марганца в фазу выхода в трубку было ниже оптимальных уровней (рисунок 5.5 б): соответственно 10,7; 1,84; 28,0 при оптимуме 13,2; 2,3 и 36,0 мг/кг (рисунок 5.5 а). При этом в данном варианте сформировалась урожайность наименьшая в опыте – 4,24 т/га.

В варианте при внесении максимальной дозы 11,3 кг/га (расчёт доз на основе полевого опыта) наблюдалось заметное увеличение содержания цинка 14,7 мг/кг и марганца (42,5 мг/кг), в тоже время наблюдалось значительное уменьшение содержание меди относительно оптимума (1,24 мг/кг, рисунок 5.5 г).

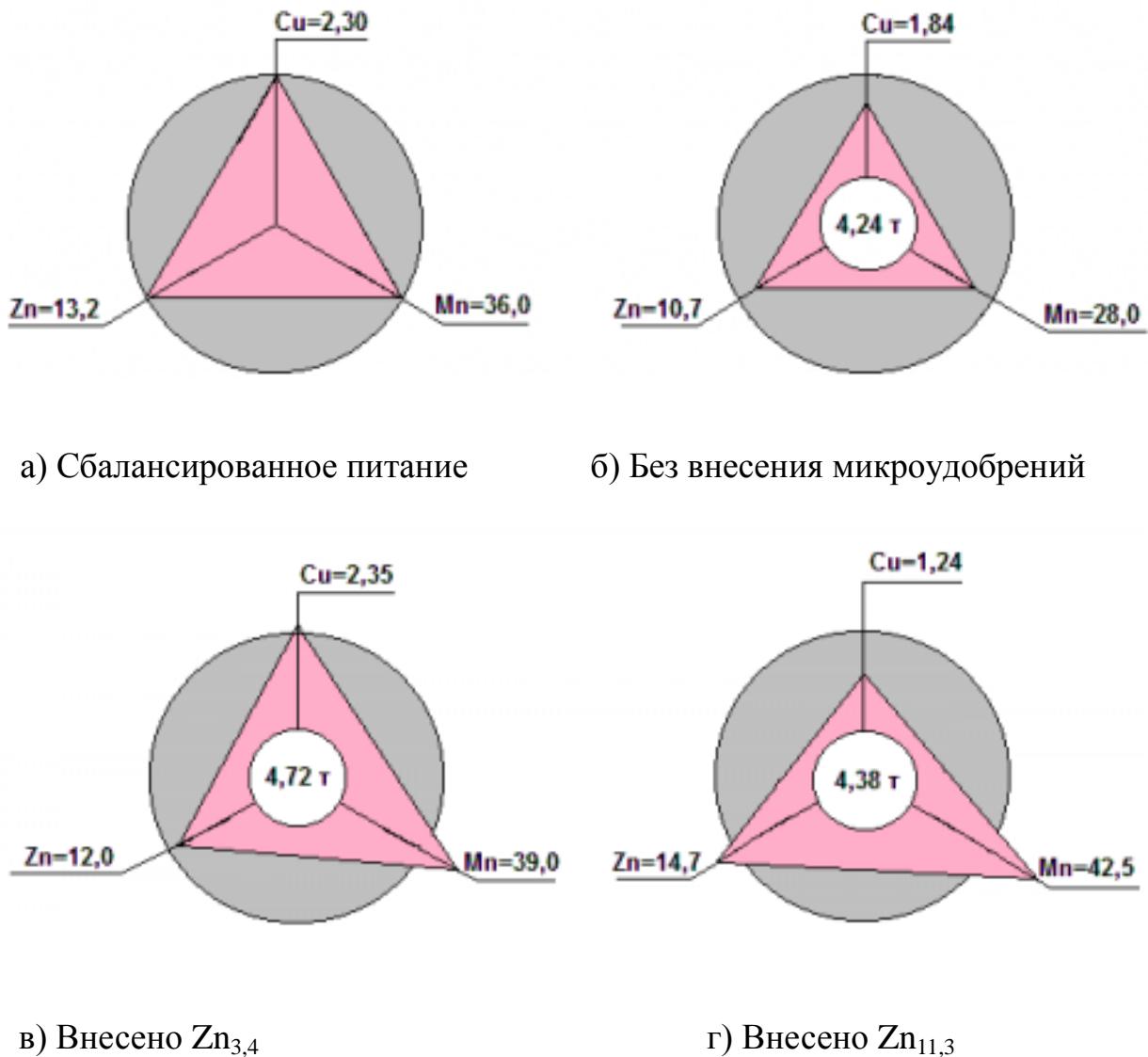


Рисунок 5.5 – Триадагональные диаграммы зависимости между содержанием микроэлементов растений в фазу выхода в трубку и урожаем озимой ржи (полевой опыт №3, N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>)

То есть наблюдается дисбаланс микроэлементного питания, особенно относительно концентрации меди – в итоге увеличение урожайности составило только 0,14 т/га при значительных затратах цинковых удобрений.

В варианте при расчёте дозы цинка на основе оптимальных уровней при внесении дозы 3,4 кг/га наблюдалось наибольшее соответствие между фактическим содержанием в растениях (цинка – 12,0; медь – 2,35; марганец – 39) и оптимальным (рисунок 19 в) в результате сформировался максимальный урожай в опыте 4,74 т/га.

Таким образом, внесением удобрений можно изменять в нужном направлении химический состав растений, создавая оптимальное питание. Растения при этом имеют наилучшие условия для развития, и формируют максимальный урожай. Нарушение равновесия макро- и микроэлементов питания в почве, а затем в растительном организме при неправильном применении удобрений ведет к нарушению гармоничного питания, и, в конечном счете, к снижению величины и качества урожая.

### **5.3 Диагностика качества урожая озимой ржи**

Условия минерального питания в течение вегетации определяют не только величину, но качество урожая. Полученные материалы о влиянии условий питания в корнеобитаемой среде на развитие растений и формирование урожая показывают, что это не может не сказаться на качестве урожая. Контролируя и регулируя условия питания в период роста и развития растений, можно воздействовать в желаемом направлении на качество будущего урожая, и, следовательно влиять на те свойства продукции ради которых мы возделываем культуру.

Одной из задач сельского хозяйства является увеличение производства качественного зерна. Качество зерна – фактор интенсификации зернового производства, который является интегрирующим показателем взаимодействия генотипа сорта, природно-климатических особенностей, агротехнических и органи-

зационно-экономических условий возделывания зерновых культур. Именно качество свидетельствует о технологической пригодности продукции для использования в разных отраслях сельскохозяйственного производства, также определяет ее стоимостное выражение (Аристархов А.Н., 2010, 2012; Бобренко И.А., 2004; Ермохин Ю.И., 2014).

Для прогнозирования качества растениеводческой продукции (третье звено в системе «ПРОД», рисунок 1.1), важно установление взаимосвязей в системе почва – растение – удобрение. Изучив влияние удобрений на химические процессы, происходящие в растении, можно целенаправленно изменять качество получаемой продукции (Ермохин Ю.И., 1983, 2005).

По химическому составу и соотношению питательных веществ зерно ржи выгодно отличается от зерна других культур. Оно содержит большое количество веществ, необходимых для жизни человека.

Качество зерна ржи определяется содержанием белка, крахмала, аминокислотным составом, особенно накоплением таких аминокислот, как лизин, метионин, триптофан. Но главным показателем качества зерна озимой ржи является содержание в нем белка. Для повышения белковости зерна важно иметь в почве достаточное количество усвоемого азота в течение всей вегетации озимой ржи, особенно в фазах колошения-созревания. Содержание белка в зерне ржи при повышенном содержании азота в почве заметно возрастает, однако в этом случае необходимо поддерживать определенное соотношение между белком и крахмалом, так как высокое содержание белков в зерне сопряжено с повышением амилолитической активности (Авдонин Н.С., 1972; Анспок П.И., 1990; Аристархов А.Н., 2012).

В целом формирование высококачественного зерна озимой ржи при высокой урожайности на почвах, различных по гранулометрическому составу и агрехимическим свойствам, зависит от сбалансированности питания растений макро- и микроэлементами. Установление связи в системе почва – удобрение – растение позволяют задолго до уборки по химическому составу растений

предвидеть их качество и влиять на конечную продукцию растениеводства (Ермохин Ю.И., 2014).

В исследованиях установлено, что на качество озимой ржи влияет способ применения цинковых удобрений (приложение 3). При основном внесении цинка в дозе 4 кг д.в. /га на фоне N<sub>30</sub> натура составила 682 г/л, при увеличении дозы цинка до 8 кг д.в./га этот показатель увеличился до 686 г/л, а при дозе 12 кг д.в./га – до 700 г/л, что больше фонового на 20 г/л (таблица 5.11).

Таблица 5.11 – Показатели качества зерна озимой ржи зависимости от применяемых цинковых удобрений (среднее 2008-20011 гг.)

Варианты	Белок, %	Натура, г/л	Стекловидность, %	ЧП, сек.
N <sub>30</sub>	14,53	680	32	134
N <sub>30</sub> + Zn <sub>4</sub>	15,45	682	35	126
N <sub>30</sub> + Zn <sub>8</sub>	15,30	686	34	150
N <sub>30</sub> + Zn <sub>12</sub> **	14,60	700	30	180
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	14,55	678	32	123
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	15,23	680	27	106
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>8</sub>	15,55	688	31	144
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>12</sub> **	14,60	699	33	155
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>50</sub> *	14,78	682	35	152
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>100</sub> *	14,78	688	30	144
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>150</sub> **	14,90	701	31	153

Примечание: \* - граммов соли микроэлемента на 1 центнер семян

\*\* - данные за 2010-2011 гг.

Наилучший показатель натуры 701 г/л наблюдается при опудривании зерна перед посевом солью сернокислого цинка в варианте N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>Zn<sub>150</sub>, увеличение к фону N<sub>30</sub>P<sub>60</sub> – 23 г/л.

Содержание белка по фону N<sub>30</sub> составило 14,53 %. Под влиянием цинковых удобрений вносимых в дозе 4 кг д.в./га его содержание увеличилось до 15,45 %, увеличение дозы цинка до 8 и 12 кг д.в./га так же не способствовало увеличению содержания белка. Максимальный показатель содержания белка (15,55 %) наблюдался в варианте Zn<sub>8</sub> по фону N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>, наименьший (14,60 %) – в варианте

$Zn_{12}$ . Следовательно, внесение повышенных доз цинковых удобрений негативно влияло на синтез белка зерна. Опудривание семян озимой ржи сернокислым цинком не привело к повышению содержания белка в зерне по сравнению с основным внесением цинка.

В отличие от пшеницы повышение содержания в зерне белка обычно не вызывает увеличения объема хлеба. Хлебопекарные свойства ржаной муки зависят в основном от состояния углеводно-амилазного комплекса, в частности от активности фермента альфа-амилазы. Избыточный гидролиз крахмала после его клейстеризации, во время выпечки ржаного хлеба, вызванной высокой активностью альфа-амилазы, приводит к резкому ухудшению качества хлеба (Озимая рожь..., 1988).

Активность фермента резко возрастает, если уборка была затяжной, а погода – дождливой и теплой, так как для ржи характерно быстрое прорастание зерна при повышенном увлажнении в период созревания. Все это важно учитывать, так как, применяя оптимальную систему удобрения в комплексе с другими приемами агротехники, можно вырастить высококачественное зерно озимой ржи, но резко снизить его ценность при нарушении технологии уборки этой культуры (Панников В.Д., 1987).

Рожь характеризуется коротким периодом послеуборочного дозревания и высокой активностью ферментов, расщепляющих крахмал в зерне, в первую очередь альфа-амилазы. Она еще более активизируется в проросшем зерне, в результате чего увеличивается содержание сахаров, водорастворимого азота. Происходят и другие изменения белков, пентозанов приводящие к резкому снижению хлебопекарных качеств муки из проросшего зерна; мякиш даже хорошо испеченного хлеба кажется сырым; он липкий, малопористый, сладкий, отстает от верхней корки, которая имеет интенсивно темный цвет.

Чем сильнее проросло зерно, тем резче ухудшаются хлебопекарные качества. Однако по проценту проросших зерен нельзя достоверно определить, как далекошел процесс прорастания и порчи зерна. Во-первых, при анализе качества зерна часть проростков и корешков обламывается и точно определить ко-

личество проросших зерен невозможно; во-вторых, степень прорастания отдельных зерен на глаз определить весьма затруднительно; в-третьих, у ржи наблюдается так называемое скрытое прорастание: еще нет его видимых признаков (наклевывания, появления корешков и ростка), а ферменты уже активизировались и расщепляют крахмал.

Показатель, характеризующий степень пророслости зерна, называется числом падения. Во Всероссийском научно-исследовательском институте зерна разработана классификация зерна ржи по величине числа падения. Хорошая в хлебопекарном отношении рожь должна иметь число падения выше 140 сек., посредственная – от 80 до 140 сек., рожь с числом падения ниже 80 сек. не годится для хлебопечения, ее следует использовать на корм.

На число падения оказывает влияние не зона выращивания, а степень пророслости зерна, которая зависит от погодных условий во время уборки урожая, а также от устойчивости сортов ржи к полеганию и прорастанию в колосе. Устойчивость к прорастанию время уборки, свойство которое считается главнейшим косвенным показателем хлебопекарных свойств ржаного зерна (Озимая рожь..., 1988; Панников В.Д., 1987).

В исследованиях отмечалось увеличение числа падения от применения возрастающих доз цинка 8 и 12 кг д.в./га как на фоне  $N_{30}$  (150 и 180 сек. соответственно), так и фоне  $N_{30}P_{60}$  (144 и 155 сек. соответственно), что характеризуется уравнениями (64, 65):

$$y = 3,95 x + 125; \quad r = 0,81 \quad (64)$$

$$y = 3,25 x + 114. \quad r = 0,68 \quad (65)$$

Согласно выше представленным уравнениям (64, 65) каждый внесённый килограмм цинка по фонам  $N_{30}$  и  $N_{30}P_{60}$  способствовало увеличению числа падения на 3,95 сек. и 3,25 сек. соответственно. Данные зависимости можно использовать для прогноза числа падения в зерне урожая.

Цинк тесно связан с белковым синтезом. Он является структурным компонентом рибосом. Влияние цинка на белковый синтез осуществляется через регуляцию активности РНК-азы, существенно возрастающую в условиях Zn-

дефицита. Дефицит цинка приводит к значительному накоплению растворимых азотных соединений – аминов и аминокислот, что нарушает синтез белка. Многие исследования подтвердили, что при недостатке цинка содержание белка в растениях уменьшается (Кабата-Пендиас А., 1989; Синдирева А.В., 2012). Интересно, что повышение активности этого фермента опережает появление у растений симптоматики недостатка цинка.

Подтверждают вышесказанное и данные наших экспериментов. Согласно уравнениям (66, 67) один килограмм действующего вещества цинка ( $x$ , мг/кг), внесенного в почву, увеличивает содержание белка в зерне ржи ( $y_1$  – фон  $N_{30}$ ,  $y_2$  – фон  $N_{30}P_{60}$ , %) на 0,228 % (фон  $N_{30}$ ) и 0,125% (фон  $N_{30}P_{60}$ ):

$$y_1 = 0,228 x + 14,53; \quad r = 0,88 \quad (66)$$

$$y_2 = 0,125 x + 14,59. \quad r = 0,94 \quad (67)$$

Влияние предпосевной обработки семян микроэлементами на качество урожая озимой ржи было разнообразно. Содержание белка в зерне по вариантам варьировало от 14,53 до 15,19 % (таблица 5.12).

Таблица 5.12 – Влияние обработки семян микроэлементами на качество урожая озимой ржи (среднее 2008-2011 гг.)

Варианты	Белок, %	Натура, г/л	Стекловидность, %	ЧП, сек.
$N_{30}P_{60}K_{60}$ - фон	14,53	686	31	132
Фон + $Zn_{50}$	14,84	688	34	129
Фон + $Zn_{100}$	14,85	690	34	112
Фон + $Zn_{150}^*$	14,89	706	35	164
Фон + $Cu_{50}$	15,10	691	33	142
Фон + $Cu_{100}$	14,80	685	33	143
Фон + $Cu_{150}^*$	15,19	708	33	186
Фон + $Mn_{50}$	15,12	687	32	136
Фон + $Mn_{100}$	15,07	683	29	127
Фон + $Mn_{150}^*$	14,64	703	32	152

Примечание: \*- данные за 2010-2011 гг.

Применение цинковых удобрений в дозах 50 и 100 г/ц способствовало одинаковому накоплению белка – 14,80 %, максимальная доза 150 г/ц увеличила содержание данного показателя до 14,89 %. Из применяемых доз медных удобрений максимальному накоплению способствовала доза 150 г/ц, что на 0,66 % выше по сравнению с фоновым вариантом. Максимальное содержание белка в зерне при внесении марганцевых удобрений 50 г/ц – 15,12 %, увеличение доз марганца привело к снижению накопления белка.

Растения являются основным источником большинства микроэлементов для организма человека и животных. Следовательно, недостаток микроэлементов в растениях вреден не только растениям, но и опасен потребляющим их человеку и животным. Для нормальной жизнедеятельности человеку необходимо приблизительно 50 различных питательных веществ, из которых 17 – различные микроэлементы.

Цинк является биологически значимым микроэлементом для человека. Его содержание в организме взрослого человека равняется примерно 2 г. Суточная потребность в цинке изменяется от 8 мг для женщины до 11 мг для мужчины. Однако, несмотря на небольшие количества, этот микроэлемент оказывает огромное влияние на сотни биохимических реакций.

Цинк является компонентом более 400 ферментов. Он необходим для образования печенью алкогольдегидрогеназы, ответственной за обезвреживание спиртов. Цинк участвует в продукции ферментов, нужных для синтеза нуклеиновых кислот (ДНК, РНК), деления клеток, образования и распада белков и углеводов.

Микроэлемент есть в составе инсулина. Отсутствие цинка тормозит продукцию гормонов надпочечников, щитовидной железы, соматотропина (гормон роста), тестостерона и эстрогенов. Особенно важен этот микроэлемент для организма мужчины: он обеспечивает нормальное функционирование предстательной железы.

Кроме того, цинк участвует в процессах передачи нервных импульсов. С этим связано его высокое содержание в клетках сетчатки глаза. Микроэлемент

обостряет восприятие вкусов и запахов, влияет на сократительную способность мышц. Также цинк нужен для нормального функционирования иммунной системы, кроветворения, работы сальных желез (Бобренко И.А., 2004; Ильин В.Б., 2001; Кабата-Пендиас А., 1989; Синдириева А.В., 2001).

В настоящее время на смену агрономической практике, сконцентрированной главным образом на увеличении производства продуктов питания с минимальными затратами во многих странах применяются национальные программы, контролирующие уровень питательных веществ в продуктах питания, в том числе и микроэлементов. Ключевой элемент любой глобальной стратегии направлен на сохранение здоровья человека.

Одним из подходов стратегии устранения дефицита микроэлементов в продукции растениеводства является внесение удобрений. Исследованиями установлено, что между дозами применяемого цинка в основное внесение, содержанием цинка в почве и его содержанием в зерне ржи существует корреляционная зависимость (таблица 5.13, уравнения 58-61) при уровне обеспеченности растений цинком в диапазоне до оптимального.

Таблица 5.13 – Содержание цинка в зерне озимой ржи (мг/кг) от уровня цинкового питания на различных фонах макроэлементов  
(среднее 2008-2011 гг.)

Варианты	Содержание, мг/кг	
	в почве (весеннее кущение)	в зерне
N <sub>30</sub>	0,80	14,7
N <sub>30</sub> + Zn <sub>4</sub>	1,63	15,2
N <sub>30</sub> + Zn <sub>8</sub>	2,07	15,3
N <sub>30</sub> + Zn <sub>12</sub> *	2,56	15,2
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	0,71	14,1
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	1,53	14,8
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>8</sub>	2,05	17,7
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>12</sub> *	2,63	16,7

Примечание: \* - данные за 2010-2011 гг.

Зависимость содержания цинка в зерне ( $y_3$  – фон  $N_{30}$ ,  $y_4$  – фон  $N_{30}P_{60}$ , мг/кг) от концентрации доступного цинка в лугово-чернозёмной почве ( $x$ , мг/кг) выражается уравнениями (68, 69):

$$y_3 = 0,31x + 14,55; \quad r = 0,71 \quad (68)$$

$$y_4 = 1,68x + 12,91; \quad r = 0,68 \quad (69)$$

а содержание цинка в зерне ( $y_5$  – фон  $N_{30}$ ,  $y_6$  – фон  $N_{30}P_{60}$ , мг/кг) от доз цинка удобрений ( $x$ , кг/га) представлена следующими уравнениями (70, 71):

$$y_5 = 0,04x + 14,86; \quad r = 0,59 \quad (70)$$

$$y_6 = 0,267x + 14,22. \quad r = 0,81 \quad (71)$$

Зависимость величины показателя числа падения в зерне ( $y_7$  – фон  $N_{30}$ ,  $y_8$  – фон  $N_{30}P_{60}$ , сек) от концентрации доступного цинка в лугово-чернозёмной почве ( $x$ , мг/кг) на различных фонах описывается уравнениями (72, 73):

$$y_7 = 25,39x + 102,6; \quad r = 0,63 \quad (72)$$

$$y_8 = 19,53x + 98,21. \quad r = 0,73 \quad (73)$$

Применение представленных уравнений даёт возможность прогнозировать качественные показатели зерна озимой ржи.

Например, с помощью полученных формул (66, 67, 70, 71) можно прогнозировать содержание белка и цинка в зерне при внесение цинковых удобрений на оптимальном макроэлементном фоне (таблица 5.14).

Таблица 5.14 – Прогноз содержания белка и цинка в зерне озимой ржи по дозам цинка, применяемым в основное внесение

Варианты	Фактическое	Прогнозируемое	Ошибка	
			% (мг/кг)*	%
белок, %				
$N_{30} + Zn_8$	15,30	16,35	1,05	6,86
$N_{30}P_{60} + Zn_4$	15,23	15,09	0,14	0,92
цинк, мг/кг				
$N_{30} + Zn_8$	15,3	15,2	-0,1	0,65
$N_{30}P_{60} + Zn_4$	14,8	15,3	0,5	3,38

Примечание: \* % – для белка, мг/кг – для цинка

Полученные значения ошибок при расчётах поданным формулам (0,65-6,86 %) свидетельствуют о возможности качественного прогноза.

Таким образом, изменения условия минерального питания растений внесением удобрений, можно воздействовать не только на урожай сельскохозяйственной культуры, но и на его качество. По химическому составу растений задолго до уборки появляется возможность предвидеть их качество и влиять на конечную продукцию растениеводства.

## **6 БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ**

В последнее время, наряду с традиционными методами оценки эффективности производства сельскохозяйственной продукции по средствам денежных и трудовых показателей, всё большее значение приобретает метод энергетической оценки. Сущность метода состоит в сопоставлении количества биологической накапленной энергии и затраченной антропогенной (Абрамов Н.В., 2000; Ермохин Ю.И., 1994; Сисо А.В., 2007).

Энергетическая эффективность изменяется по закону А. Тюрго-Т. Мальтуса, который стал прописной истиной сельскохозяйственной экологии и формулируется следующим образом: повышение удельного вложения энергии в аграрную экосистему не дает адекватного, пропорционального увеличения ее продуктивности. Например, в США повышение урожайности кукурузы в 2,61 раза с 1945 по 1970 г.г. за счет внедрения индустриальных методов производства потребовало десятикратного увеличения совокупных расходов энергии, при этом биоэнергетический КПД снизился в 4,4 раза, расход энергии на производство средств производства вырос за это время на 964 %, а непосредственно в сельском хозяйстве – 318 % (Кирюшин В.И., 1996; Созинов А.А., 1985).

Интенсификация сельскохозяйственного производства связана с ростом затрат невозобновляемой энергии. Поэтому важно создание технологий возделывания сельскохозяйственных культур с минимальными энергетическими затратами (Цимбалист Н.И. и др., 2007).

Биоэнергетическая оценка позволяет количественно оценить энергетическую стоимость полученной сельскохозяйственной продукции и является условным показателем энергетической рентабельности производства. Рассчитанный по этому методу энергетический КПД (энергоотдача) показывает соотношение между количеством энергии, полученной с дополнительной сельскохозяйственной продукцией и энергетическими затратами, идущими для получения прибавки урожая. Применительно к нашим исследованиям, этот показатель

позволяет сравнить количество энергии накопленной урожаем и затраты энергии на получение этого урожая по стабильным энергетическим показателям.

Расчет энергетической эффективности применения удобрений проводится по большому числу показателей, которые позволяют выделить дозы, способы и нормы внесения, наиболее выгодные для конкретных условий ведения хозяйства.

Количество энергии ( $V_{fo}$ , МДж/га) накопленной в основной сельскохозяйственной продукции (а также побочной), полученной от применения удобрений, определяем по формуле (74):

$$V_{fo} = Y_{\pi} \cdot R_i \cdot 100, \quad (74)$$

где  $Y_{\pi}$  – прибавка урожая продукции от удобрений, ц/га;

$R_i$  – коэффициент перевода единицы сельскохозяйственной продукции в сухое вещество;

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

100 – коэффициент перевода ц в кг.

Энергетические затраты ( $A_o$ , МДж/га) на применение минеральных удобрений с учетом затрат энергии на уборку и доработку прибавки урожая ( $Y_{\pi}$ ,  $A_{yб}$ ) и внесение удобрений ( $H_{\phi.b.}$ ,  $A_{вн}$ ) определяются по формуле (75):

$$A_o = (H_N \cdot A_N) + (H_p \cdot A_p) + (H_k \cdot A_k) + (Y_{\pi} \cdot A_{yб}) + (H_{\phi.b.} \cdot A_{вн}), \quad (75)$$

где  $H_N$ ,  $H_p$ ,  $H_k$ , ... – фактические дозы внесения удобрений, кг д.в./га;

$A_N$ ,  $A_p$ ,  $A_k$ , ... – энергетические затраты в расчете на 1 кг д.в. удобрений;

$Y_{\pi}$  – прибавка урожая продукции от применения удобрений, ц/га;

$A_{yб}$ ,  $A_{вн}$  – затраты энергии на внесение удобрений в уборку урожая, МДж;

$H_{\phi.b.}$  – дозы удобрений в физическом весе, ц/га.

Расчет энергетической эффективности (энергоотдача или биоэнергетический КПД) применения удобрений ( $\eta$ , ед) определяется по формуле (76):

$$\eta = \frac{V_{f_0}}{A_0} \quad (76)$$

Биоэнергетическая эффективность применения микроудобрений в наших экспериментах представлена в таблицах 6.1 и 6.2.

Таблица 6.1 – Биоэнергетическая эффективность применения цинковых удобрений в основное внесение под озимую рожь (среднее 2008-2011 гг.)

Варианты	Количество энергии, накопленной в основной продукции ( $Vf_0$ , МДж/га)	Энергетические затраты на применение минеральных удобрений ( $A_0$ ), МДж/га	Энергетические затраты на получение дополнительной продукции за счет удобрений, МДж/т	Биоэнергетический КПД
$N_{30}$				
$N_{30} + Zn_4$	1844	325	2958	5,67
$N_{30} + Zn_8$	7039	988	2352	7,13
$N_{30} + Zn_{12}^*$	1844	606	5509	3,04
$N_{30}P_{60}$	5196	2045	6597	2,54
$N_{30}P_{60} + Zn_4$	13576	3325	4105	4,08
$N_{30}P_{60} + Zn_8$	2011	2338	19487	0,86
$N_{30}P_{60} + Zn_{12}^*$	8045	3121	6503	2,58

Примечание: \*- данные за 2010-2011 гг.

При применении в основное внесение цинковых удобрений наиболее энергетически эффективно их применение без фосфорных удобрений, так как энергетические затраты при этом относительно невелики при высокой дополнительной энергии в прибавке урожая (биоКПД в варианте  $Zn_8$  – 7,13).

Внесение цинка 4 кг на фоне  $N_{30}P_{60}$  также способствовало высокой энергетической эффективности применения удобрений, биоКПД составил 4,08.

Таблица 6.2 – Влияние опудривания семян микроэлементами на биоэнергетическую эффективность применения макроудобрений под озимую рожь (среднее 2008-2011 гг.)

Варианты	Количество энергии, накопленной в основной продукции ( $Vf_0$ , МДж/га)	Энергетические затраты на применение минеральных удобрений ( $A_0$ ), МДж/га	Энергетические затраты на получение дополнительной продукции за счет удобрений, МДж/т	Биоэнергетический КПД
$N_{30}P_{60}K_{60}$ - фон	7542	3408	7574	2,21
Фон + $Zn_{50}$	14749	4133	4697	3,57
Фон + $Zn_{100}$	15754	4234	4504	3,72
Фон + $Zn_{150}^*$	9050	3560	6593	2,54
Фон + $Cu_{50}$	8883	3543	6685	2,51
Фон + $Cu_{100}$	15922	4251	4475	3,75
Фон + $Cu_{150}^*$	9553	3611	6335	2,65
Фон + $Mn_{50}$	15922	4251	4475	3,75
Фон + $Mn_{100}$	7207	3375	7848	2,14
Фон + $Mn_{150}^*$	11062	3762	5701	2,94

Примечание: \*- данные за 2010-2011 гг.

При опудривании семян микроэлементами биоКПД применения азотно-фосфорно-калийных удобрений  $N_{30}P_{60}K_{60}$  под озимую рожь изменялся от 2,14 до 3,75. При этом наивысшей биоэнергетической эффективности удобрения  $N_{30}P_{60}K_{60}$  способствовало применение под озимую рожь  $N_{30}P_{60}K_{60} + Cu_{100}$  и  $N_{30}P_{60}K_{60} + Mn_{50}$ ; биоКПД составил 3,75.

При применении возрастающих доз цинковых удобрений при опудривании семенного материала затраты энергии на получении 1 т дополнительной тонны зерна озимой ржи уменьшались с 7574 (в варианте  $N_{30}P_{60}K_{60}$ ) до 4504 мДж ( $N_{30}P_{60}K_{60} + Zn_{100}$ ), а при опудривании медью – уменьшились до 4475 (рисунки 6.1, 6.2).

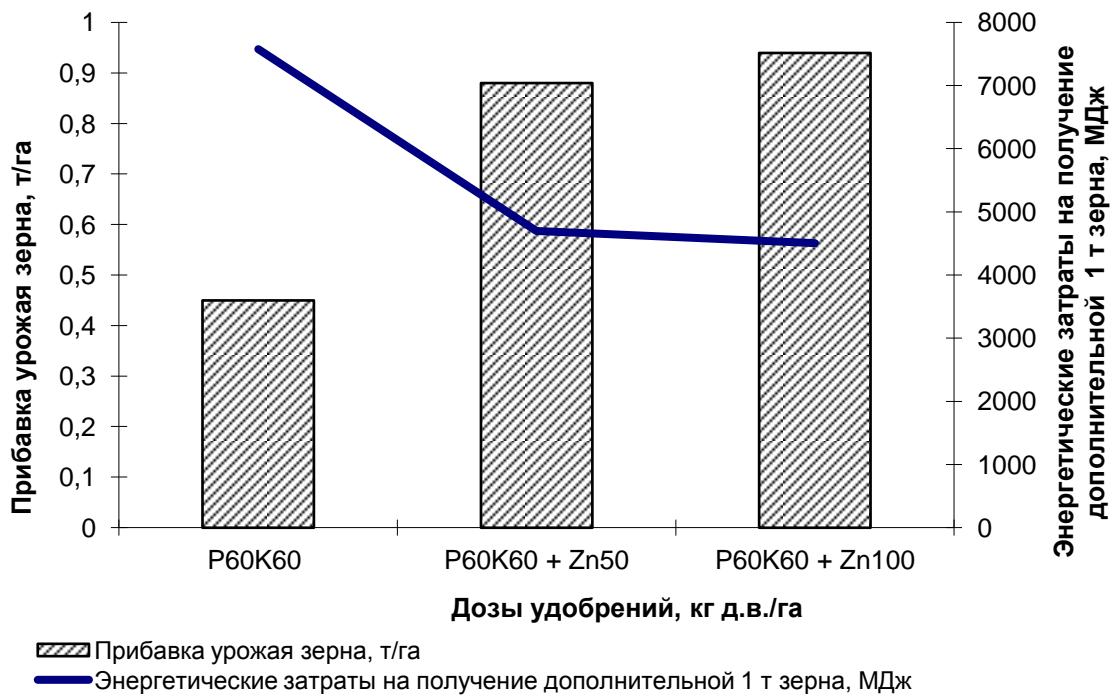


Рисунок 6.1 – Влияние опудривания семян цинком на энергетическую эффективность применения макроудобрений под озимую рожь на фоне  $N_{30}P_{60}K_{60}$

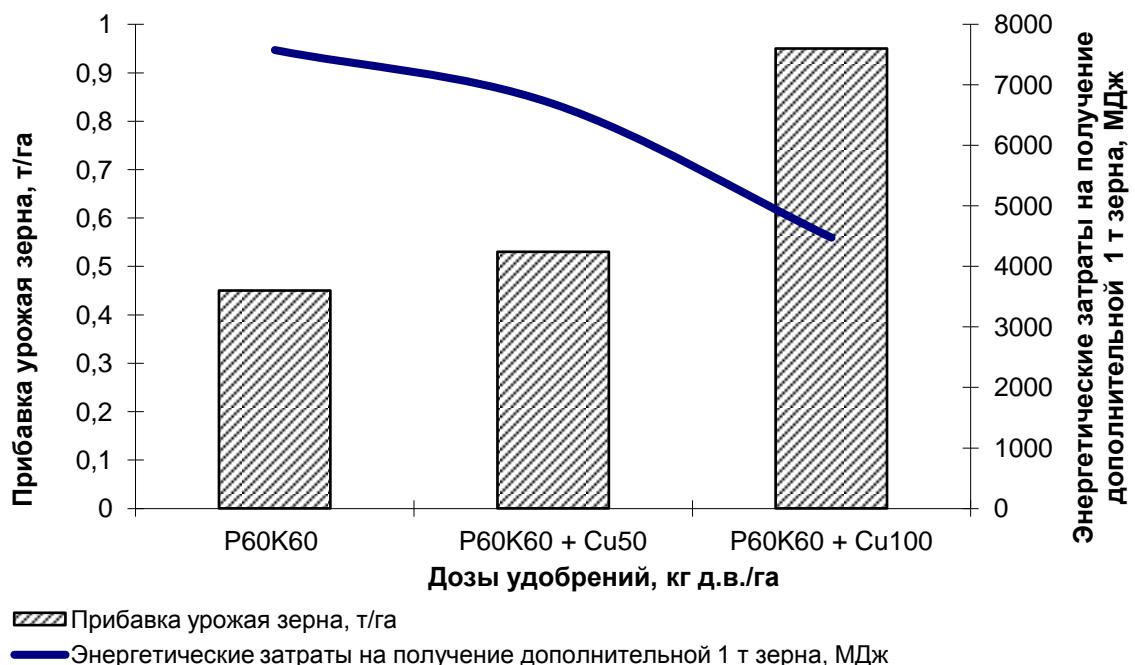


Рисунок 6.2 – Влияние опудривания семян медью на энергетическую эффективность применения макроудобрений под озимую рожь на фоне  $N_{30}P_{60}K_{60}$

Таким образом, расчёт энергетической эффективности применения макро- и микроудобрений под озимую рожь на лугово-черноземной почве позволил установить, что внесение удобрений энергетически эффективно. Максимальный энергетический эффект наблюдается при применении цинка в дозе 8 кг/га в основное внесение.

Экономическая эффективность – результат действия удобрений в стоимостных показателях в форме стоимости в средних ценах реализации дополнительной продукции, чистого дохода (за вычетом издержек, связанных с применением удобрений), окупаемости затрат, повышения производительности труда и снижения себестоимости (Ермохин Ю.И., 1994).

В хозяйствах, интенсивно использующих удобрения, затраты на них в себестоимости продукции растениеводства составляют не менее 20-25%. Применяя удобрения, необходимо знать их фактическую эффективность, выявить имеющиеся резервы и экономически обосновать направление и уровень химизации сельского хозяйства на перспективу.

Агрономическая и экономическая эффективность не всегда совпадают.

1. Урожайность может расти более быстрыми темпами, чем дополнительные затраты на применение удобрений. В этом случае экономическая эффективность удобрений высокая: увеличивается производительность труда, снижается себестоимость продукции, растет рентабельность производства.

2. Рост урожайности совпадает с увеличением затрат на применение удобрений – экономическая эффективность удобрений хорошая. Увеличивается дополнительный доход с 1 га, происходит расширенное воспроизводство.

3. Рост урожайности отстает от увеличения затрат на применение удобрений – экономическая эффективность удобрений снижается (Ермохин Ю.И., 1994).

Выбор показателей для полной и точной оценки экономической эффективности применения удобрений определяется конкретными задачами исследования. Например, при установлении экономически обоснованных доз внесения

минеральных удобрений обычно ограничиваются учетом выхода дополнительной продукции на единицу действующего вещества удобрения на 1 руб. затрат, связанных с применением удобрений и величиной условного чистого дохода с 1 га удобряемой площади. Эти показатели являются основными в агрономической практике.

Чистый доход с 1 га, полученный от применения удобрений, определяют по разности между стоимостью прибавок урожайности, полученных от применения удобрений, и затратами на удобрение, уборку и доработку дополнительной продукции.

Для определения экономической эффективности необходимо установить затраты, связанные с применением удобрений. Все прямые затраты на выращивание сельскохозяйственных культур определяются технологией и учитываются в себестоимости продукции. Дополнительные затраты средств на приобретение и перевозку удобрений в хозяйство вычисляют по действующим прейскурантам.

Основными экономическими показателями хозяйственной деятельности предприятия являются: себестоимость единицы продукции, затраты рабочего времени на единицу продукции, прибыль и рентабельность.

Затраты, связанные с применением удобрений и стоимость дополнительной продукции рассчитывали по реализационным ценам ООО «РУСКОМ-Агро», в котором проводилась апробация результатов исследования. Для расчета экономической эффективности озимой ржи используем наиболее эффективные варианты в опытах №1 и №2 (таблица 6.3).

Полученный уровень рентабельности показал, что применение микроудобрений под озимую рожь экономически выгодно. Высокий уровень рентабельности получен в варианте с наибольшей прибавкой при основном внесении цинковых удобрений ( $N_{30}P_{60} + Zn_4$ ), чистый доход составил 985 рублей на гектар. Рентабельность в наиболее эффективных вариантах применения микроудобрений способом опудривания составила 45,5-98,6 %.

Таблица 6.3 – Экономическая эффективность применения микроэлементов при возделывании озимой ржи (среднее 2008-2011 гг.)

Варианты		Прибавка, т/га	Затраты, связанные с применением удобрений, руб./га	Цена реализации, руб./т	Стоимость прибавки урожая, руб./га	Чистый доход от применения удобренний, с 1 га	Рентабельность, %
$N_{30}P_{60}$	Zn <sub>4</sub>	0,50	1215	4600	2300	985	74,9
	Zn <sub>100</sub> *	0,57	1320	4600	2622	1302	98,6
$N_{30}P_{60}K_{60}$	Zn <sub>100</sub> *	0,48	1257	4600	2208	951	75,6
	Cu <sub>100</sub> *	0,37	1170	4600	1702	532	45,5
	Mn <sub>50</sub> *	0,50	1301	4600	2300	999	76,8

Примечание: \* - граммов соли микроэлемента на 1 центнер семян

Таким образом, внесение микроудобрений под озимую рожь на лугово-черноземных почвах лесостепи Западной Сибири экономически выгодно и оправдано, о чём свидетельствует анализ рассчитанных нами экономических показателей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В исследованиях 2007-2011 гг. на лугово-черноземной почве в условиях Западной Сибири при изучении влияния различных приемов применения цинковых удобрений на урожайность зерна озимой ржи в условиях лесостепи Западной Сибири, было установлено, что и основное внесение цинковых удобрений и опудривание семян было одинаково высоко эффективно: соответственно дозы 4 кг и 100 г/ц позволили сформировать урожайность 4,72 и 4,79 т/га (прибавка урожая 0,50 и 0,57 т/га).

2. На основе выявленной математической связи между урожайностью зерна озимой ржи и дозами вносимого цинка установлена количественная характеристика – коэффициент интенсивности действия единицы поступившего элемента на урожайность зерна озимой ржи ( $"b_1"$  = 0,125 т/га) и на основе этого предложена формула расчета для прогнозирования прибавок урожая зерна и дозы внесения цинка в почву:  $\Delta = \frac{\Pi}{b_1}$ . Получена формула расчета доз цинковых удобрений под озимую рожь с учетом содержания цинка в почве:  $\Delta_{Zn} = \frac{2,32}{C_{Zn}}$ .

3. Установлен коэффициент интенсивности действия единицы цинка, внесенного в почву (кг д.в./га), на содержание подвижного цинка в почве ( $"b_2"$  = 0,171 мг/кг), который позволяет сделать ориентировочный прогноз накопления элемента и создавать его оптимальный уровень в почве (мг/кг) по формуле:  $C = C_1 + \Delta \cdot b_2$ .

4. Определены наиболее эффективные дозы микроэлементов для предпосевной обработки семян (опудривания) озимой ржи. На оптимальном азотно-фосфорно-калийном фоне при применении цинка максимальная урожайность наблюдалась при дозе 100 г/ц и составила 4,84 т/га (прибавка 11,01 % к контролю); меди – 100 г/ц – 4,73 т/га (8,49 %); марганца – 50 г/ц – 4,86 т/га (11,47 %).

5. Разработаны агрохимические нормативные показатели эффективности применения цинковых удобрений на фоне сбалансированного азотно-фосфорного питания под озимую рожь на лугово-черноземной почве: коэффициенты использования элементов из почвы (КИП – N = 69 %; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 21 %; Zn =

4,2 %); коэффициенты использования цинка из удобрений (КИУ Zn = 1,1 %); нормы потребления макроэлементов, кг/т: азота – 33, фосфора – 13, калия – 20; микроэлементов, г/т: цинка – 20, меди – 2,5, марганца – 78; количественная характеристика обогащения почвы доступным для растений азотом в процессе онтогенеза – азот текущей нитрификации –  $N_T = 105$  кг/га; коэффициент интенсивности действия поступившего в почву цинка на химический состав озимой ржи ( $b_3 = 0,40$  мг/кг сухого вещества).

6. Разработаны основные параметры почвенной и растительной диагностики озимой ржи, характеризующие оптимальные уровни питания для получения высоких урожаев зерна в количественном и качественном отношении: в почве содержание подвижного цинка; в растениях – содержание и соотношение азота, фосфора, калия, цинка, меди и марганца в определенные фазы онтогенеза.

7. Применение цинковых удобрений под озимую рожь способствует формированию качественной продукции. Выявлены функциональные зависимости между содержанием цинка в почве, дозами цинковых удобрений и числом падения, содержанием белка и цинка в зерне озимой ржи, которые позволяют по уравнениям (64-73) прогнозировать качественные показатели.

8. Установлена высокая биоэнергетическая эффективность применения цинковых удобрений в основное внесение в дозе 4 кг на фоне азотного-фосфорного минерального удобрения ( $n = 4,08$ ). Биоэнергетический КПД при обработке семян Zn<sub>100</sub> составил 3,72 ед., при опудривании Cu<sub>100</sub> и Mn<sub>50</sub> – 3,75 ед.

9. Полученный уровень рентабельности показал, что применение микроудобрений под озимую рожь экономически выгодно. Высокий уровень рентабельности получен в варианте с наибольшей прибавкой при основном внесении цинковых удобрений (N<sub>30</sub>P<sub>60</sub> + Zn<sub>4</sub>), чистый доход составил 985 рублей на гектар. Рентабельность в наиболее эффективных вариантах применения микроудобрений способом опудривания (Zn<sub>100</sub>, Cu<sub>100</sub>, Mn<sub>50</sub>) составила 45,5-98,6 %.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

На лугово-чернозёмных почвах Омского Прииртышья микроудобрения при возделывании озимой ржи следует применять на основе разработанных нормативных показателей комплексного метода почвенно-растительной оперативной диагностики (система «ПРОД»):

- а) оптимального содержание подвижного цинка в слое почвы 0-30 см до посева – 1,50 мг/кг;
- б) коэффициентов использования элементов питания из почвы и удобрений, нормативов потребления макро- и микроэлементов для получения 1 т урожая основной продукции с соответствующим количеством побочной (таблица 4.12);
- в) оптимальных уровней содержания и соотношения макро- и микроэлементов в растениях в основные фазы развития (таблица 5.8);
- г) коэффициентов действия удобрений « $b_2$ » на химический состав почвы (Zn - 0,171 мг/г почвы) и химический состав растений культуры (таблица 5.5).

Для расчета доз и сочетания удобрений использовать формулы расчета доз удобрений в основное внесение с учетом химического анализа почвы:

$$\Delta = \frac{\mathcal{E}_o - \mathcal{E}\phi}{b}, \quad \Delta_{\Pi} = \frac{\mathcal{D}_o \cdot X_o}{X_{\Pi}};$$

- в подкормку на основе растительной диагностики:

$$\Delta = K_{\Pi} \cdot H_i \Delta = \frac{(\mathcal{E}_o - \mathcal{E}\phi)^2}{b \cdot \mathcal{E}_o}.$$

При применении микроудобрений способом опудривания при недостатке микроэлемента в почве использовать дозы Zn<sub>100</sub>, Cu<sub>100</sub> и Mn<sub>50</sub>.

Использование в производстве рекомендуемых нормативных агрохимических показателей и формул расчета доз удобрений для основного и дополнительного внесения позволит получать максимальный экономически обоснованный урожай озимой ржи хорошего качества.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамов Н.В. Производительность агроэкосистем: Метод. рекомендации по биоэнергетической оценке севооборотов / Н.В. Абрамов, Г.П. Селюкова. – Тюмень, 2000. – 48 с.
2. Авдонин Н.С. Научные основы применения удобрений / Н.С. Авдонин. – М.: Колос, 1972. – 320 с.
3. Авраменко П.М. Загрязнение почвы тяжелыми металлами и их накопление в растениях / П.М. Авраменко, С.В. Лукин // Агрохимический вестник. – 1999. – №2. – С. 31-34.
4. Агроклиматические ресурсы Омской области. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 187 с.
5. Агроэкологический мониторинг в Омской области: учебное пособие / В. М. Красницкий [и др.]. – Омск: Омский ГАУ, 2016. – 52 с.
6. Агроэкологический мониторинг почв на правом берегу Иртыша лесостепной зоны Омской области / В.М. Красницкий, И.А. Бобренко, А.Г. Шмидт, О.А. Матвейчик // Плодородие. – 2016. – №3. – с. 33-36.
7. Азаренко Ю.А. Закономерности содержания и распространения микроэлементов (Mn, Cu, Zn, Co, Mo, В) в почвах лесостепной и степной зон Омского Прииртышья / Ю.А. Азаренко // Омский научный вестник. – 2012. – №2(114). – С. 218-223.
8. Азаренко Ю.А. Закономерности содержания, распределения, взаимосвязей микроэлементов в системе почва-растение в условиях юга Западной Сибири: монография / Ю. А. Азаренко. – Омск: Вариант-Омск, 2013. – 232 с.
9. Азаренко Ю.А. Эколо-агрохимическая оценка содержания микроэлементов в почвах и растениях лесостепной и степной зон Омской области / Ю.А. Азаренко, В.М. Красницкий, Ю.И. Ермохин // Плодородие. – 2010. – №5(56). – С. 49-51.

10. Азаренко Ю.А. Содержание микроэлементов в почвах и почвенно-геохимическое районирование Омской области / Ю.А. Азаренко, Я.Р. Рейнгард // Омский научный вестник. – 2012. – №1(108). – С. 188-192.
11. Андриенко Л.Н. Диагностика потребности корнеплодов в цинке, никеле, кадмии на лугово-черноземной почве Омского Прииртышья: дис. ... канд. с.-х. наук. – Омск, 2006. – 182 с.
12. Анспок П.И. Микроудобрения: справочник / П.И. Анспок, 2-е изд., перераб. и доп. – Л: Агропромиздат, 1990. – 272 с.
13. Аристархов А.Н. Влияние агрохимических свойств почв на эффективность применения цинковых микроудобрений под озимую и яровую пшеницу / А.Н. Аристархов, В.А. Прошкин, А.В. Волков // Агрохимия. – 2014. – №1. – С. 37 – 44.
14. Аристархов А.Н. Приоритеты применения различных видов, способов и доз микроудобрений под озимые и яровые сорта пшеницы в основных природно-сельскохозяйственных зонах России / А.Н. Аристархов, Н.Н. Бушуев, К.Г. Сафонова // Агрохимия. – 2012. – №9. – С. 26-40.
15. Аристархов А.Н. Рекомендации по применению микроудобрений под озимую и яровую пшеницу в различных природно-сельскохозяйственных зонах России / А.Н. Аристархов, К.Г. Сафонова, А.В. Волков. – Москва : ВНИИА, 2012. – 23 с.
16. Аристархов А.Н. Состояние и динамика содержания подвижных форм микроэлементов в почвах России // Мат-лы докл. X1 съезда общества почвоведов им. В.В.Докучаева. – Москва-Петрозаводск: 2012. - кн. II. – С. 274-295.
17. Барбер С.А. Биологическая доступность питательных веществ в почве / С.А. Барбер. – М.: Агропромиздат, 1988. – 376 с.
18. Битюцкий Н.П. Микроэлементы и растение: уч. пособие / Н.П. Битюцкий. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 1999. – 232 с.

19. Бобренко Е.Г. Диагностика минерального питания, величины и качества урожая различных сортов и гибридов редиса в условиях Западной Сибири: дис. ... канд. с.-х. наук / Е.Г. Бобренко. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2001. – 229 с.
20. Бобренко И.А. Биоэнергетическая эффективность применения удобрений под озимую пшеницу в Западной Сибири / И.А. Бобренко, В.И. Попова, Н.В. Гоман // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2014. – №1(13). – С. 3-9.
21. Бобренко И.А. Биоэнергетическая эффективность применения удобрений под озимую тритикале на лугово-черноземной почве Западной Сибири / И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, Е.Ю. Павлова // Омский научный вестник. – 2013. – №1 (118). – С. 166-170.
22. Бобренко И.А. Оптимизация минерального питания кормовых, овощных культур и картофеля на черноземах Западной Сибири: дис. ... доктора с.-х. наук / И.А. Бобренко. – Омск, 2004. – 446 с.
23. Бобренко И.А. Оптимизация применения цинковых удобрений при возделывании озимой пшеницы на лугово-черноземной почве / И.А. Бобренко, В.И. Попова, Н.В. Гоман / Материалы III международной конференции «Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса» : сборник научных трудов. ГНУ СНИИЖК, Ставрополь, 2014. – Т. 2. – вып. 7. – С. 11-15.
24. 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.
25. Бобренко И.А. Эффективность опудривания семян микроэлементами (Zn, Cu, Mn) при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири / И.А. Бобренко, Е.А. Вакалова, Н.В. Гоман // Омский научный вестник. – 2013. – №1(118). – С. 170-173.
26. Бобренко И.А. Эффективность разных приемов применения цинковых удобрений под яровую пшеницу в условиях Западной Сибири / И.А. Бобренко // Омский научный вестник. – 2013. – №1(118). – С. 174-177.

ренко, Н.В. Гоман, Н.В. Шувалова // Омский научный вестник. – 2012. – №1(104). – С. 142 – 145.

27. Бокрис Дж. Химия окружающей среды / Дж. Бокрис. – М.: Химия, 1982. – 682 с.

28. Булдыкова И.А. Влияние микроудобрений на урожайность и качество зерна кукурузы / И.А. Булдыкова, А.Х. Шеуджен // Политеатический сетевой электронный научный журнал Кубанского ГАУ. – 2014. – №98(4) – С. 632 – 644.

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

30. Власюк П.А. Биологические элементы в жизнедеятельности растений / П.А. Власюк. – Киев: Наукова Думка, 1969. – 516 с.

31. Власюк П.А. Применение марганцевых удобрений в СССР / П.А. Власюк. – Киев: Изд-во Академии наук Украинской ССР, 1952. – 34 с.

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

33. Влияние разных способов внесения цинка под озимую тритикале на урожайность зерна в условиях южной лесостепи Западной Сибири / И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, Е.Ю. Павлова, В.М. Красницкий // Плодородие. – 2012. – №3. – С. 7 – 9.

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

35. Володина Т.И. Оптимизация минерального питания капусты при программировании урожаев в условиях Северного Казахстана: дис. ... канд. с.-х. наук / Т.И. Володина. – Омск, 1986. – 215 с.

36. 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.

37. ГОСТ 10846-91 Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 35 с.
38. ГОСТ 10987-79 Зерно. Методы определения стекловидности. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 45 с.
39. ГОСТ 27548-97 Корма растительные. Методы определения содержания влаги. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 18 с.
40. ГОСТ 30498-97 ИСО 3093-82 Зерновые культуры. Определение числа падения. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 32 с.
41. ГОСТ Р 50685-94 Почвы. Определение подвижных соединений марганца по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 9 с.
42. ГОСТ Р 50686-94 Почвы. Определение подвижных соединений цинка по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 13 с.
43. Действие микроудобрений на урожайность, сбор белка, качество продукции зерновых и зернобобовых культур / А.Н. Аристархов [и др.] // Агрохимия. – 2010. – №9 – С. 36-49.
44. Денисов П.В. Озимая рожь и пшеница в Нечерноземной полосе / П.В. Денисов, М.Ф. Стихин. – Л.: Колос, 1965. – 250 с.
45. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований: учеб. для с.-х. вузов / Б.А. Доспехов. – 4-е изд., доп. и перераб. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
46. Ермолаев О.Т. Оптимизация фосфатного режима при возделывании зерновых в засушливых условиях: автореф. дис... д-ра биол. наук / О.Т. Ермолаев. – Минск, 1990. – 38 с.
47. Ермохин Ю.И. Агрэкологическая оценка действия кадмия, никеля, цинка в системе почва-растение-животное: монография / Ю.И. Ермохин, Н.К. Трубина, А.В. Синдириёва. – Омск: ОмГАУ, 2002. – 117 с.

48. Ермохин Ю.И. Влияние расчетных доз удобрений на продуктивность кормовых культур в условиях Западной Сибири / Ю.И. Ермохин, И.А. Бобренко, В.М. Красницкий // Плодородие. – 2004. – №3. – С. 7–11.
49. Ермохин Ю.И. Диагностика минерального питания, величины и качества урожая суданской травы в условиях Западной Сибири / Ю.И. Ермохин, И.А. Бобренко // Агрохимия. – 1999. – № 7. – С. 45–50.
50. Ермохин Ю.И. Динамика накопления доступного азота почвы под кукурузой и его использование при расчете доз удобрений / Ю.И. Ермохин, М.А. Склярова // Плодородие. – 2010. – №5. – С. 23-26.
51. Ермохин Ю.И. Листовая диагностика условий питания и химического состава клубней раннего картофеля: дис. ... канд. с.-х. наук / Ю.И. Ермохин. – Омск, 1968. – 320 с.
52. Ермохин Ю.И. Оптимизация минерального питания и качества картофеля и овощных культур: дис. ... д-ра с.-х. наук / Ю.И. Ермохин; Ом. с.-х. инт. – Омск, 1983. – - 437 с.
53. Ермохин Ю.И. Оптимизация минерального питания сельскохозяйственных культур (на основе «ПРОД»): монография / Ю.И. Ермохин, И.А. Бобренко. – Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2005. – 284 с.
54. Ермохин Ю.И. Почвенно-растительная оперативная диагностика «ПРОД-ОмСХИ» минерального питания, эффективности удобрений, величины и качества урожая сельскохозяйственных культур: монография / Ю.И. Ермохин. – Омск: ОмГАУ. – 1995. – 208 с.
55. Ермохин Ю.И. Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений: монография / Ю.И. Ермохин. – Омск: Литера, 2014. – Т. 1: Плодородие почв и эффективность удобрений. – 304 с.
56. Ермохин Ю.И. Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений: монография / Ю.И. Ермохин. – Омск: Литера, 2014. – Т. 2: Моделирование и оптимизация режима минерального питания и качества зерновых и овощных культур в условиях Западной Сибири и Северного Казахстана. – 340 с.

57. Ермохин Ю.И. Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений: монография / Ю.И. Ермохин. – Омск: Литера, 2014. – Т. 3: Диагностика микроэлементного состояния почв и обеспеченности культурных растений в агроценозе. – 336 с.
58. Ермохин Ю.И. Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений: монография / Ю.И. Ермохин. – Омск: Литера, 2014. – Т. 4: Моделирование и оптимизация режима минерального питания кормовых и лекарственных культур в условиях Западной Сибири и Северного Казахстана: в 2 ч. – 210 с.
59. Ермохин Ю.И. Физиологические основы применения удобрений под озимую рожь / Ю.И. Ермохин, М.А. Ли // Плодородие. – 2010. – №1. – С. 10–11.
60. Ермохин Ю.И. Экономическая и биоэнергетическая оценка применения удобрений: Метод. рекомендации / Ю.И. Ермохин, А.Ф. Неклюдов. – Омск, 1994. – 44 с.
61. Есаулко А.Н. Влияние микроудобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на черноземе выщелоченном / А.Н. Есаулко, Ю.И. Гречишкина, А.Ю. Олейников // Агрехимический вестник. – 2011. – № 4. – С. 10–12.
62. Зигашвин А.А. Озимая рожь / А.А. Зигашвин, Л.Р. Шарифуллин. – М.: Россельхозиздат, 1981. – 216 с.
63. Иваненко А.С. Озимая рожь в Сибири / А.С. Иваненко. – М.: Колос, 1983. – 104 с.
64. Иванова Т.И. Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на величину урожая, содержание белка и технические качества озимой ржи Харьковская 60 / Т.И. Иванова, А.В. Бабанина // Агрехимия. – 1977. – № 1. – С. 74 – 76.
65. Ильин В.Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области: монография / В.Б. Ильин, А.И. Сысо. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.

66. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в почвах Западной Сибири / В.Б. Ильин // Почвоведение. – 1987. – № 11. – С. 87-94.
67. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
68. Ильин В.Б. Цинк в почвах юга Западной Сибири // Агрохимия. – 1973. – №11. – С. 111-116.
69. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М: Мир, 1989. – 440 с.
70. Калинин К.В. Фосфорные удобрения и их применение / К.В. Калин. М.: Колос, 1967. – 136 с.
71. Каталымов М.В. Микроэлементы и микроудобрения / М.В. Каталымов. – М.; Л.: Химия, 1965. – 331 с.
72. Кашин В.К. Особенности накопления микроэлементов в зерне овса в Западном Забайкалье / В.К. Кашин // Агрохимия. – 2013. – №10. – С. 55 – 65.
73. Кидин В.В. Агрохимия: учеб. пособие / В.В. Кидин. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 351 с
74. Кидин В.В. Особенности питания и удобрения сельскохозяйственных культур / В.В. Кидин. – М.: Изд-во РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2009. – 412 с.
75. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия / В.И. Кирюшин – М.: Колос, 1996. – 367 с.
76. Климат Омска. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 246 с.
77. Ковальский В.В. Микроэлементы (Cu, Co, Zn, Mo, B, S, Sr) в почвах СССР / В.В. Ковальский, А.Г. Андрианова // Докл. V Всесоюз. совещ. 23-26 авг. 1966 г., г. Иркутск – Улан-Удэ, 1968. – С. 113 – 136.
78. Ковальский В.В. Микроэлементы в почвах СССР / В.В. Ковальский, Г.А. Андрианова – М., 1970. – 179 с.
79. Ковальский В.В. Микроэлементы в растениях и кормах / В.В. Ковальский, Ю.И. Раецкая, Т.И. Грачева. – М.: Колос, 1971. – 235 с.

80. Ковда В.А. Микроэлементы в почвах Советского Союза / В.А. Ковда, И.В. Якушевская, А.Н. Тюрюканов. – М.: МГУ, 1959. – 67 с.
81. Кормин В.П. Диагностика минерального питания рапса и сурепицы на выщелоченных черноземах лесостепи Западной Сибири: дис. ... канд. с.-х. наук / В.П. Кормин. – Омск, 1988. – 175 с.
82. Кочурко В.И. Влияние совместного применения природных регуляторов роста и микроэлементов на продуктивность озимой тритикале / В.И. Кочурко, Е.Э. Абарова, Е.М. Ритвинская // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2016. – №1. – С. 60 – 68.
83. Красницкий В.М. Агрохимическая и экологическая характеристики почв Западной Сибири: монография / В.М. Красницкий. – Омск: ОмГАУ, 2002. – 144 с.
84. Красницкий В.М. Содержание цинка в почвах Омской области / В.М. Красницкий, А.Г. Шмидт, А.А. Цырк // Плодородие. – 2014. – №4(79). – С. 36-37
85. Красницкий В.М. Эколо-агрохимическая оценка плодородия почв и эффективности применения удобрений в Западной Сибири: дис. ... доктора с.-х. наук / В.М. Красницкий. – Омск, 2002. – 52 с.
86. Куликова А.Х. Микроэлементы в почвах Ульяновской области и эффективность микроэлементсодержащих удобрений при возделывании озимой пшеницы / А.Х. Куликова, Е.А. Черкасов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 4. – С. 19 – 25.
87. Ламбин А.З. Влияние меди, цинка и стронция на рост, урожай и состав яровой пшеницы // Тр. ОмСХИ им. С.М. Кирова. - Т. 21. – Омск, 1949. – С. 39 – 89.
88. Ламбин А.З. Действие микроэлементов на урожай яровой пшеницы, проса, суданской травы и кукурузы // Тр. ОмСХИ. – 1959. – Т. 37. – С. 31–39.
89. Ламбин А.З. Допосевная обработка семян растворами микроэлементов и их влияние на урожай сельскохозяйственных растений / Микроэлементы в жизни растений и животных. – Изд. АН СССР, 1952. – С. 381 – 399.

90. Ламбин А.З. Микроэлементы как факторы урожайности // Тр. ОмСХИ им. С.М. Кирова. – Т. 3. – Омск, 1938. – С. 169–214.
91. Ли М.А. Диагностика и оптимизация минерального питания озимой ржи в условиях южной лесостепи Западной Сибири: дис. ... канд. с.-х. наук / М.А. Ли. – Омск, 2009. – 159 с.
92. Лихоманова Л.М. Влияние обработки семян микроудобрениями на урожайность озимой тритикале в условиях Омской области / Л.М. Лихоманова // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2012. – № 2(6). – С. 13-15.
93. Логановский Я.М. Применение марганца, цинка и меди для удобрений в условиях Латвийской ССР: автореф. дис... канд. с.-х. наук / Я.М. Логановский. – Рига, 1952. – 24 с.
94. Магницкий К.П. Диагностика потребности растений в удобрениях / К.П. Магницкий. – М.: Московский рабочий, 1972. – 271 с.
95. Магницкий К.П. Контроль питания полевых и овощных культур / К.П. Магницкий. – М.: Московский рабочий, 1964. – С. 224. – 228.
96. Масалкин С.Д. Диагностика минерального питания и качества люцерны на черноземных почвах Омского Прииртышья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / С.Д. Масалкин. – Омск, 1986. – 16 с.
97. Методические рекомендации по определению нормативов соотношений макро- и микроэлементов в растениях по системе ИСОД. – М., 1989. - 89 с.
98. Методы определения микроэлементов в почвах, растениях и породах: сб. статей под ред. проф. Важенина И.Г. – М.: Колос, 1974. – 284 с.
99. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология / П.А. Авчин, А.А. Жаворонков, М.А. Риш, Л.С. Строчкива. – М.: Медицина, 1991. – 496 с.
100. Микроэлементы в СССР / Под ред. В.В. Упитис, Г.Я. Жизневской, А.Ф. Ноллендорф. – Рига: Зинатне. – 1983. – Вып. 24. – 87 с.
101. Микроэлементы и урожай: труды лаборатории биохимии почв и

- микроэлементов – Изд-во академии наук Латвийской ССР.- Рига, 1961. – 339 с.
102. Минеев В.Г. Биологическое земледелие и минеральные удобрения / В.Г. Минеев, Б. Дебрецени, Т. Мазур. – М.: Колос, 1993. – 415 с.
  103. Минеев В.Г. Проблема тяжелых металлов в современном земледелии / В.Г. Минеев // Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах. – М., 1994. – С. 5 – 11.
  104. Минеев В.Г. Цинк в окружающей среде / В.Г. Минеев, А.А. Алексеев, Т.А. Тришина // Агрохимия. – 1984. – №3. – С. 94 – 103.
  105. Минеев В.Г. Экологические проблемы агрохимии: Учеб. пособие / В.Г. Минеев. – М.: Колос, 1988. – 284 с.
  106. Миссаль А.Р. Почвенная диагностика минерального питания яровой пшеницы в условиях Омского Прииртышья / А.Р. Миссаль // Комплексная диагностика потребности сельскохозяйственных культур в удобрениях: Сб. науч. тр. – Омск, 1989. – С. 65.
  107. Михальская Н.В. Диагностика минерального питания, величины и качества урожая сена костреца безостого на лугово-черноземной почве Западной Сибири: Дис. .... канд. с.-х. наук / Н.В. Михальская.- Омск, 2003. – 156 с.
  108. Мищенко Л.Н. Классификация, диагностика и агроэкологические особенности почв Западной Сибири : учеб. пособие / Л.Н. Мищенко, В.В. Леонова, В.Е. Кушнаренко. – Омск : Изд-во ОмГАУ, 2010. – 102 с.
  109. Мищенко Л.Н. Почвы Омской области и их сельскохозяйственное использование: учеб. пособие / Л.Н. Мищенко. – Омск: ОмСХИ, 1991. – 164 с.
  110. Мокриевич Г.Л. Цинковые удобрения / Г.Л. Мокриевич, З.И. Шлаковицкая. – Алма-Ата: Кайнар, 1972. – 140 с.
  111. Науменко И.В. Диагностика минерального питания огурцов в условиях закрытого грунта: дис. ... канд. с.-х. наук / И.В. Науменко. - Омск, 1973. – 139 с.
  112. Озимая рожь. Интенсивная технология: практическое руководство. – М.: Агропромиздат, 1988. – 66 с.

113. Озимые хлеба Омской области. – Омск: Омское книжное издательство, 1985. – 44 с.
114. Олейников А.Ю. Влияние способов применения макро- и микроудобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на черноземе выщелоченном : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / А.Ю. Олейников. – Ставрополь, 2012. – 23 с.
115. Орлова Э.Д. Влияние микроудобрений на химический состав и урожай яровой пшеницы на почвах Омской области: Автореф. дис. ...канд. с.-х. наук / Э.Д. Орлова. – Омск, 1968. - 27 с.
116. Орлова Э.Д. Микроэлементы в почвах и растениях Омской области и применение микроудобрений: учеб. пособие / Э.Д. Орлова, Е.Г. Пыхтарева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2007. – 76 с.
117. Орлова Э.Д. Микроэлементы в почвах Омской области и применение микроудобрений: учеб. пособие / Э.Д. Орлова. – Омск: ОмСХИ.-1989.– 60с.
118. Орлова Э.Д. Содержание меди и молибдена в растениях яровой пшеницы и влияние на урожай / Э.Д. Орлова // Агрохимия.–1971.–№11. – С. 114-121.
119. Осипов А.И. Эффективность микроудобрения аквадон-микро на посевах озимой пшеницы / А.И. Осипов, Д.Ф. Суворов, Е.С Шкрабак. // Агрохимический вестник. – 2013. – №2. – С. 16-17.
120. Оценка энергетической эффективности технологий возделывания озимой пшеницы в шести ротациях севооборота многолетнего стационара / Н.И. Цимбалист [и др.] // Агрохимия. – 2007. – №7. – С. 49-63.
121. Панин М.С. Аккумуляция тяжелых металлов растениями Семипалатинского Прииртышья / М.С. Панин. – Семипалатинск: ГУ «Семей». – 1999. – 309 с.
122. Панин М.С. Влияние марганца на молодые растения яровой пшеницы / М.С. Панин, А.Н. Королев // Агрохимия. – 2007. – №1. – С. 68-77.
123. Панников В.Д. Почва, климат, удобрение и урожай. - 2-е изд., перераб. и доп. / В.Д. Панников, В.Г. Минеев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 512 с.

124. Пейве Я.В. Микроэлементы в сельском хозяйстве Нечернозёмной полосы СССР / Я.В. Пейве. – М. : Изд-во Академии наук СССР, 1954. – 108 с.
125. Перспективная ресурсосберегающая технология производства озимой ржи: метод. рекомендации. – М., 2010. – 76 с.
126. Пискунов А.С. Методы агрохимических исследований: учеб. пособие / А.С. Пискунов. – М. : КолосС, 2004. – 312 с.
127. Полевые культуры Западной Сибири: учеб. пособие / Ом. гос. аграр. ун-т; ред. Л.И. Шанина. - Омск: Изд-во ОмГАУ, 2003. – 504 с.
128. Попова В.И. Биоэнергетическая эффективность применения макро- и микроудобрений под озимую пшеницу / В.И. Попова, Н.В. Гоман // Материалы II международной конференции «Инновационные разработки молодых учёных – развитию агропромышленного комплекса»: сб. научных трудов. ГНУ СНИИЖК, Ставрополь, 2013. – том 3. – вып. 6. – С. 219 – 221.
129. Попова В.И. Применение цинковых удобрений при возделывании озимой пшеницы на лугово-черноземной почве Западной Сибири / В.И. Попова // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – №1 (21). – С. 57 – 64.
130. Проберж Э.С. Диагностика потребности проса в минеральных удобрениях на южных черноземах Северного Казахстана: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Э.С. Проберж. – Омск: ОмСХИ, 1991. – 18 с.
131. Проберж Э.С. Оптимизация питательного режима сельскохозяйственных растений на южных черноземах Северного Казахстана: Дис. ... д-ра с.-х. наук / Э.С. Проберж. – Челябинск, 2002. – 295 с.
132. Пронин М.Е. Весенняя подкормка озимых хлебов / М.Е. Пронин // Земледелие. – 1961. – № 2. – С. 55 – 60.
133. Ракицкий И.А. Оптимизация минерального питания овсяно-гороховой травосмеси в лесостепной зоне Северного Казахстана: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / И.А. Ракицкий. – Омск: ОмСХИ, 1989. – 16 с.
134. Рейли К. Металлические загрязнения пищевых продуктов / К. Рейли. -- М.: Агропромиздат, 1985. – 184 с.

135. Ринькис Г.Я. Оптимизация минерального питания полевых и тепличных культур / Г.Я. Ринькис, В.Ф. Ноллендорф. – Рига: Зинанте, 1977. – 168 с.
136. Рутц Р.И. Научные основы и практические результаты селекции яровой пшеницы озимых мятликовых культур в Западной Сибири. / Р.И. Рутц. – РАСХН. Сиб. Отд-ние. СибНИИСХ. – Новосибирск, 2005. – 624 с.
137. Рутц Р.И. Расширение озимого клина – важный резерв увеличения производства зерна в Омской области // Материалы науч.-практ. конф. и обл. агр. совещ. – семинара. – Омск, 1989. – С. 189 – 200.
138. Сабинин Д.А. Избранные труды по минеральному питанию растений / Д.А. Сабинин. – М., 1971. – 512 с.
139. Сабинин Д.А. Влияние минерального питания на качество урожая яровой пшеницы // Труды Московского дома ученых. – Вып. 1. – 1937. – С. 92-112.
140. Сабинин Д.А. Физиологические основы питания растений. / Д.А. Сабинин – М.: АН СССР, 1955. – 512 с.
141. Северин В.Ф. Оптимизация минерального питания черной смородины на основе комплексной диагностики: дис. ... канд. с.-х. наук/ В.Ф. Северин. – Омск, 1981. – 311 с.
142. Синдириева А.В. Агроэкологическая оценка действия кадмия, никеля, цинка в системе почва-растение-животное: Дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04. - Омск, 2001. – 199 с.
143. Синдириева А.В. Критерии и параметры действия микроэлементов в системе почва-растение-животное: автореф. дис...докт. биол. наук / А.В. Синдириева. – Тюмень, 2012. – 32 с.
144. Синдириева А.В. Региональные особенности содержания кадмия и цинка в почвах Омской области / А.В. Синдириева, В.М. Красницкий, Ю.И. Ермохин // Плодородие. – 2012. – №1. – С. 47-50.

145. Синявский И.В. Агрохимические и экологические аспекты плодородия черноземов лесостепного Зауралья: дис. ... д-ра биол. наук / И.В. Синявский. – Тюмень, 2002. – 379 с.
146. Синягин И.И. Применение удобрений в Сибири / И.И. Синягин, Н.Я. Кузнецов – М.: Колос, 1979. – 374 с.
147. Сисо А.В. Биоэнергетическая оценка различных агроприемов возделывания озимой пшеницы, сахарной свеклы и сои в орошаемом травяно-зернопропашном севообороте / А.В. Сисо, А.В. Югов, В.Н. Герасименко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) – Краснодар: КубГАУ, 2007. – №4(28). – С. 43 – 51.
148. Сказалова Н.Н. Микроэлементы (Co, Cu, Mo, Ni, Mn) в почвах поймы реки Иртыша: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Н.Н. Сказалова. – Омск: ОмСХИ. – 1973. – 17 с.
149. Склярова М.А. Влияние цинковых удобрений на содержание цинка в растениях кукурузы на лугово-черноземной почве Западной Сибири / М.А. Склярова // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. – 2014. – Т. 2. – № 7. – С. 189-193.
150. Склярова М.А. Диагностика и оптимизация цинкового питания кукурузы на лугово-черноземной почве Западной Сибири: автореф. дис. с.-х. наук / М.А. Склярова. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2008. – 16 с.
151. Склярова М.А. Эффективность различных приемов применения цинка под кукурузу на лугово-чернозёмной почве Омской области / М.А. Склярова // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2014. – №1 (13). – С. 28-31.
152. Смирнова Т.Б. Влияние бора и цинка на урожайность и качество семян капусты белокочанной на лугово-черноземной почве Омского Прииртышия: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Т.Б. Смирнова. – Омск: ОмГАУ. – 2003. – 16 с.

153. Созинов А.А. Энергетическая цена индустриализации агросфера / А.А. Созинов, Ю.Ф. Новиков // Природа. – 1985. – №5. – С. 11-19.
154. Сорта сельскохозяйственных культур селекции ФГБНУ СибНИИСХ / Отв. ред. И.Ф. Храмцов. – Омск: ЛИТЕРА, 2016. – 169 с.
155. Степанок В.В. Влияние высоких доз цинка на элементный состав растений / В.В Степанок, С.П. Голенецкий // Агрохимия. – 1991. – №7. – С. 60-66.
156. Стефановский К.С. Влияние различных соединений цинка на рост растений / К.С. Стефановский // Агрохимия. – 1984. – №11. – С. 112-118.
157. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири: монография / А.И. Сысо. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 227 с.
158. Сычев В.Г. Приемы управления производственным процессом для достижения потенциальной продуктивности пшеницы / В.Г. Сычев, Н.Т. Ниловская, Л.В. Осипова. – М., 2008. – 192 с.
159. Тиунов А.Н. Озимая рожь/ А.Н.Тиунов, К.А. Глухих, О.А. Хорькова. – М.: Колос, 1969. – 392 с.
160. Тихомиров Ф.А. Формы природного и внесенного цинка в почвах и его поступление в растения / Ф.А. Тихомиров, И.Т. Моисеев // Агрохимия. – 1975. – №12. – С. 90-96.
161. Трубина Н.К. Влияние поступления кадмия, никеля, цинка на их содержание в почве / Н.К. Трубина // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – №3. – С. 12-13.
162. Трубина Н.К. Диагностика условий минерального питания лука репчатого: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Н.К. Трубина. – Омск: ОмСХИ. – 1993. – 16 с.
163. Физиология сельскохозяйственных растений: в 12-ти т. / МГУ им. М.В. Ломоносова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1969 – 1971. - Т. VI: Физиология зерновых растений. Многолетние травы. Хлебные злаки / ред. Б. А. Рубин. – 554 с.

164. Храмцов И.Ф. Система применения удобрений и воспроизведения плодородия почв в полевых севооборотах лесостепи Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / И.Ф.Храмцов. – Омск,1997. – 32 с.
165. Церлинг В.В. Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В.В. Церлинг. – М.: Наука, 1978. – 216 с.
166. Церлинг В.В. Влияние условий азотного питания на формирование урожая яровых хлебов // Тр. Почвенного института. – 1950. – Т. 33. – С. 250-286.
167. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справочник / В.В. Церлинг. – М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.
168. Церлинг В.В. Использование анализов растений для характеристики доступности азота, фосфора и калия почв / В.В. Церлинг, М.А. Горшкова // Почвоведение. – 1971. – № 5. – С. 58-66.
169. Церлинг В.В. Обмен веществ, формирование урожая и диагностика потребности растений в удобрениях: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / В.В. Церлинг. – М., 1962. – 36 с.
170. Церлинг В.В. Развитие исследований по диагностике питания растений / В.В. Церлинг // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1968. – №7. – С. 135-147.
171. Церлинг В.В. Растительная диагностика и питание растений // Известия РАН СССР. – 1960. – №5. – С. 727-745.
172. Чернавина И.А. Физиология и биохимия микроэлементов / И.А. Чернавина. – М.: Высшая школа, 1970. – 310 с.
173. Черных Н.А. Влияние различного содержания цинка, свинца и кадмия в почве на состав и качество растительной продукции: Автореф. дис. ...канд. биол. наук / Н.А. Черных. - М.: МГУ, 1988. – 22 с.
174. Черных Н.А. Изменение содержания ряда химических элементов в растениях под действием различных количеств тяжелых металлов в почве / Н.А. Черных // Агрохимия. – 1991. – №3. – С. 68-76.

175. Черных Н.А. Контроль за поступлением микроэлементов в растения / Н.А. Черных // Химизация сельского хозяйства. – 1991. – №10. – С. 45-49.
176. Черняевская Н.А. О роли цинка в питании растений / Н.А. Черняевская, Г.Г. Фареник, Д.Ф. Гончаренко // Агрохимия. – 1975. – №9. – С. 81-90.
177. Чулджаин Х. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Х. Чулджаин, С. Корвеста, З. Фацек // Экологическая коопeração. – Братислава, 1988. – Вып. 1. – С. 5-24.
178. Шеуджен А.Х. Микроэлементы в питании и продуктивности риса в условиях Краснодарского края : автореф. дисс. ... доктора биол. наук / А.Х. Шеуджен. – М., 1992. – 38 с.
179. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений / М.Я. Школьник. – Л.: Наука, 1974. – 324 с.
180. Школьник М.Я. Микроэлементы в сельском хозяйстве / М.Я. Школьник, Н.А. Макарова. – М.: Колос, 1957. – 167 с.
181. Шубин О. А. Оптимизация минерального питания и моделирование продуктивности озимой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири: дис. ... канд. с.-х. наук / О.А.Шубин. – Омск, 2008. – 222 с.
182. Эффективность микроудобрений Микромак и Микроэл в посевах озимой пшеницы на черноземе выщелоченном / А.Н. Есаулко [и др.] // Плодородие. – 2010. – № 1. – С. 24–26.
183. Эффективность основного внесения цинковых удобрений под озимые зерновые культуры на лугово-черноземной почве Западной Сибири / И.А. Бобренко [и др.] // Омский научный вестник. – 2011. – №1 (104). – С. 246-250.
184. 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
185. Юдин Ф.А. Методика агрохимических исследований: учеб. для вузов/ Ф.А. Юдин. - 2-е изд., перераб. и доп.. – М.: Колос, 1980. – 366 с.
186. Ягодин Б.А. Агрохимия: учеб. для вузов / Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков, В.И. Кобзаренко. – М.: Мир, 2004. – 582 с.

187. Ягодин Б.А. Микроэлементы в овощеводстве / Б.А. Ягодин. – М. : Колос, 1964. – 160 с.
188. Adrino D.C., Paulsrn G.M., Murhy L.S. Phosphorus-iron and phosphorus-zinc relationships in corn (*Zea mays* L.) seedlings as mineral nutrition // Agron. J. - 1971. – V. 63. – P. 36-39.
189. Alloway B.J. Zinc in soil and crop nutrition. Second edition – IZA and IFA. Brussels, Belgium and Paris, France, 2008 – 139 p.
190. Bobrenko I.A. Zinc Application Method Impacts Winter Triticale in Western Siberia / I.A. Bobrenko, N.V. Goman, E.Yu. Pavlova // Better crops contents with plant food. – 2013. - Vol. XCVII (97), № 3. – P. 21-23.
191. Cakmak J., Torun B., Erenoglu B., Ozturk L. et al. Motphological and physio-logical of cereal of zinc deficiency. Euphytica. – 1998. – V.100, №1-3. – P. 349-357.
192. Grant C.A, Bailey L.D. The influence of Zn and P fertilizer on dry matter yield and nutrient content of flax (*Linumusitatissimum* L.) on soil varying in Ca and Mg level // Canadian journal of soil scince. – 1989. - vol.69. – №3. – P. 461-472.
193. Increasing Economic Efficiency of Producing Wheat in the West Siberia and South Ural as a Factor of Developing Import Substitution / D.S. Nardin, I.A. Bobrenko, N.V. Goman, E.A. Vakalova, S.A. Nardina// International Review of Management and Marketing, 2016, 6(4), 772-778.
194. Kabata A. Trace elements in soil and plants. – 4-th ed. London –New York CRC Press Tailor and Francis Group Boca Raton, 2011- 534 p.
195. Kuo S., Mikkelsen D.S. Effect of P and Mn on growth response and uptake of Fe, Mn and P by sorghum // Plant Soil. – 1981. - V.62. – P.15-22.
196. Singh M., Singh R.S. Response of wheat no zinc fertilization at different of levels of phosphorus in a loamy sand soil // J. Indian. Soc. Soil. Sci. – 1979. - V.27. – №3.
197. Singh M., Yadav D.S. Effect of Cu, Fe and liming on the growth, concentration and uptake of Cu, Fe, Mn and Zn in sorghum // J. Indian. Soc. Soil. Sci. – 1980. – V.28. – P. 113-118.

198. Smith P.F., Reuter W., Specht A.W., Hrneir G. Effect of differential nitrogen, potassium and magnesium supply to young Valencia orange trees in sand culture on mineral composition especially of leaves and fibrous roots // Plant Physiol. – 1954. – 29. – P. 349-355.
199. Smith P.F., Specht A.W. Heavy-metal nutrition and iron chlorosis of citrus seedlings // Plant Physiol. – 1953. – 28. – P. 371-382.
200. Steckel J.E. Manganese fertilization of soybeans in Indiana // Soil Sci. Soc. Am. Proc. – 1946. – 11. – P. 345-348.
201. Verma T.S., Trapthi B.R. Interaction effects of P-Zn and P-Cu on dry matter yield micro-nutrient availability to rice in water-logged alfisols // Acta. Agronomica Hungarica. – 1986. - V.35. – №1-2. – P. 83-90.
202. Warnok R.E. Micronutrient uptake and mobility within corn plants (*Zea mays L.*) in relation to phosphorus reduced zinc deficiency // Soil Sci. Soc. Am. Proc. - 1970. – V. 34. – P. 765-769.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

Приложение А – Содержание подвижных форм (1н ААБ, рН = 4,8)  
 микроэлементов (мг/кг) в почвах лесостепной и степной зон Омской области  
 (Азаренко Ю.А., 2012; Ермохин Ю.И., 2014)

Гори- зонт	Черноземы, n = 4-22			Лугово-чернозёмные, n = 6-35			Солонцы, n = 3-7		
	lim	S±s <sub>x</sub>	V, %	lim	S±s <sub>x</sub>	V, %	lim	S±s <sub>x</sub>	V, %
<b>Mn</b>									
A+AB*	4,9-44,7	16,7±3,70	82,6	3,7-37,6	11,0±2,0	84,5	3,2-25,8	7,5±3,1	108
B <sub>k</sub>	7,9-40,0	21,8±7,0	64,2	5,9-30,5	16,4±4,4	65,2	7,0-55,3	18,9±8,2	63,0
C <sub>k</sub>	55,4-118	69,6±12,2	38,9	5,3-65,7	42,7±8,2	51,0	49,3-51,8	50,4±0,7	2,5
<b>Cu</b>									
A+AB*	0,08-0,18	0,12±0,01	22,5	0,05-0,15	0,11±0,01	20,9	0,1-0,12	0,11±0,003	6,4
B <sub>k</sub>	0,10-0,68	0,17±0,15	182	0,07-0,81	0,30±0,13	106,7	0,1-0,43	0,20±0,06	52,0
C <sub>k</sub>	0,44-1,75	0,82±0,24	64,6	0,08-1,23	0,65±0,15	62,3	0,67-1,00	0,88±0,1	20,5
<b>Zn</b>									
A+AB*	0,20-0,50	0,33±0,01	20,6	0,14-0,72	0,34±0,02	29,4	0,30-0,88	0,40±0,08	48,8
B <sub>k</sub>	0,12-0,52	0,41±0,15	61,0	0,22-0,63	0,40±0,07	45,0	0,19-0,42	0,32±0,06	36,2
C <sub>k</sub>	0,42-1,31	0,74±0,20	52,7	0,34-0,78	0,53±0,05	26,4	0,71-0,86	0,77±0,04	10,1

Приложение Б – Метеорологические условия вегетационного периода  
2007-2012 гг. по данным ГМС Омска

Месяц	Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$				Сумма осадков, мм			
	I	II	III	сред- няя за месяц	I	II	III	$\Sigma$ за ме- сяц
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2007 г.								
Август	16,8	13,4	19,1	17,1	51	16	6	73
Сентябрь	16,7	12,5	8,3	12,8	2	20	3	25
Октябрь	6,2	6,5	1,9	4,8	4	2	8	14
Ноябрь	-2,6	-6,7	-8,0	-5,8	12	2	6	20
Декабрь	-11,7	-10,7	-14,9	-12,4	5	4	11	20
2008 г.								
Январь	-16,1	-23,5	-28,3	-20,0	5	2	2	9
Февраль	-15,3	-16,2	-5,8	-12,9	2	4	20	26
Март	-3,1	-7,7	2,9	-2,5	8	6	4	18
Апрель	2,5	3,6	7,8	4,6	5	0,2	12	17
Май	9,5	16,4	13,2	13,0	5	2	20	25
Июнь	14,3	18,1	20,3	17,6	27	5	2	34
Июль	19,5	23,4	22,3	21,8	31	18	6	55
Август	18,3	17,9	15,7	17,2	4	12	19	35
Сентябрь	12,6	7,0	6,0	8,5	39	12	0,4	51
Октябрь	9,8	3,0	2,6	5,1	0,1	19	0	19
Ноябрь	1,0	-1,0	0	-0,1	25	11	0,2	36
Декабрь	-5,3	-11,8	-16,5	-11,4	6	0,8	3	10
2009 г.								
Январь	-14,1	-17,0	-19,7	-17,0	16	7	29	52
Февраль	-20,1	-20,4	-17,9	-19,4	12	7	0	19
Март	-10,5	-6,1	0,1	-5,3	0,5	3	1	5
Апрель	3,9	2,5	8,0	4,8	8,0	11,0	8,0	27
Май	10,0	15,4	12,2	12,5	10,0	9,0	18	37

## Продолжение приложения Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Июнь	20,0	15,9	14,2	16,7	0	35	25	60
Июль	19,5	18,5	16,6	18,2	20	48	95	163
Август	16,8	15,1	17,1	16,3	104	13	27	144
Сентябрь	11,2	10,7	10,2	10,7	28	11	6	45
Октябрь	8,9	6,2	-2,4	4,0	4	8	8	20
Ноябрь	-6,6	-8,0	-2,7	-5,8	6	4	9	19
Декабрь	-13,3	-18,8	-20,9	-17,8	16	6	5	27
2010 г.								
Январь	-27,2	-24,8	-22,8	-24,9	2	9	0,4	11
Февраль	-25,2	-16,4	-23,6	-21,8	2	5	9	16
Март	-12,1	-7,1	-5,1	-8,0	7	11	6	24
Апрель	-0,2	4,8	12,7	5,8	0	2	4	6
Май	11,7	9,2	13,0	11,4	4	1	22	27
Июнь	18,8	20,4	17,0	18,6	9	17	18	44
Июль	16,4	19,6	17,4	17,8	5	9	6	20
Август	20,2	16,8	18,9	18,6	0,4	11	11	22
Сентябрь	13,3	7,4	13,1	11,3	6	7	0,4	13
Октябрь	6,0	5,0	3,1	4,6	2	11	0	13
Ноябрь	2,5	1,3	-12,1	-2,8	18	12	25	55
Декабрь	-13,9	-17,1	-23,1	-18,2	16	7	12	35
2011 г.								
Январь	-31,2	-17,2	-18,9	-22,1	0	3	0,2	3
Февраль	-12,6	-15,6	-18,6	-15,4	12	8	0,4	20
Март	-11,2	-8,0	-4,2	-7,7	4	15	7	26
Апрель	1,3	11,0	8,9	7,1	9	28	28	65
Май	10,2	11,8	13,6	11,9	0	8	15	23
Июнь	19,2	18,7	20,1	19,3	18	10	9	37
Июль	17,4	17,4	18,9	17,9	10	55	15	80
Август	15,3	18,8	12,1	15,4	28	0	36	64
Сентябрь	15,3	14,3	10,5	13,4	0,7	0	4	5

## Окончание приложения Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Октябрь	10,2	8,1	0,4	6,0	31	1	19	51
Ноябрь	-5,2	-9,1	-12,3	-9,1	20	18	15	53
Декабрь	-12,3	-22,2	-13,0	-15,7	9	5	9	23
2012 г.								
Январь	-14,4	-21,1	-23,4	-19,8	0,5	1	0,4	2
Февраль	-21,9	-18,3	-16,9	-19,1	2,0	0,2	0	2
Март	-9,3	-7,6	-0,9	-5,8	0,1	6	13	19
Апрель	5,0	12,1	8,9	8,7	1,0	0	16	17
Май	6,6	13,5	16,3	12,3	27	8	3	38
Июнь	20,3	19,8	21,4	20,5	14	16	17	47
Июль	20,1	25,6	22,8	22,8	2	5	1	8
Август	19,8	19,6	14,4	17,9	19	7	23	49

Приложение В – Эффективность внесения цинковых удобрений различными способами при возделывании озимой ржи на лугово-чернозёмной почве  
 (опыт №1, 2008-2011 гг.)

Варианты	Урожайность зерна по годам исследования, т/га			
	2008	2009	2010	2011
N <sub>30</sub>	3,49	3,97	3,56	4,62
N <sub>30</sub> + Zn <sub>4</sub>	3,84	4,06	3,65	4,52
N <sub>30</sub> + Zn <sub>8</sub>	4,06	4,65	3,74	4,87
N <sub>30</sub> + Zn <sub>12</sub>	-	-	3,43	4,61
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	3,69	4,65	3,90	4,65
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	4,16	5,74	3,96	5,01
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>8</sub>	3,53	4,00	3,77	4,84
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>12</sub>	-	-	3,88	4,91
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>50</sub> *	4,23	4,03	3,92	4,68
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>100</sub> *	5,04	5,11	4,21	4,81
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>150</sub> *	-	-	4,03	4,86
HCP <sub>05</sub>	0,24	0,21	0,23	0,25

Примечание: \* - граммов соли сернокислого цинка на 1 центнер семян

Приложение Г – Влияние обработки семян микроэлементами (г/ц) на урожайность озимой ржи, возделываемой на лугово-черноземной почве  
 (опыт №2, 2008-2011 гг.)

Варианты	Урожайность зерна по годам исследования, т/га			
	2008	2009	2010	2011
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> - фон	4,10	4,50	3,99	4,86
Фон + Zn <sub>50</sub>	4,59	5,28	4,11	5,17
Фон + Zn <sub>100</sub>	4,76	4,85	4,57	5,20
Фон + Zn <sub>150</sub>	-	-	4,04	4,85
Фон + Cu <sub>50</sub>	4,44	4,62	4,00	4,71
Фон + Cu <sub>100</sub>	4,42	4,99	4,40	5,12
Фон + Cu <sub>150</sub>	-	-	3,88	5,08
Фон + Mn <sub>50</sub>	5,16	5,12	4,04	5,11
Фон + Mn <sub>100</sub>	4,11	4,19	4,10	4,94
Фон + Mn <sub>150</sub>	-	-	4,04	5,09
HCP <sub>05</sub> , т/га	0,21	0,16	0,17	0,18

Приложение Д – Содержание макроэлементов в лугово-чернозёмной почве  
 (слой 0-30 см) при возделывании озимой ржи в зависимости от применяемых  
 цинковых удобрений (2%-ая CH<sub>3</sub>COOH), мг/кг (опыт №1, 2007-2011 гг.)

Варианты	Перед посевом			В фазу весеннего кущения		
	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	2	3	4	5	6	7
2007-2008 гг.						
N <sub>30</sub>	21,2	82,1	278	32,9	86,9	261
N <sub>30</sub> + Zn <sub>4</sub>	18,8	90,9	316	34,3	87,7	304
N <sub>30</sub> + Zn <sub>8</sub>	22,4	83,5	303	28,9	80,7	321
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	20,2	79,4	349	34,0	103	303
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	19,9	84,3	242	34,8	100	282
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>8</sub>	21,7	86,0	203	32,3	103	299
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> +Zn <sub>50</sub> *	17,7	83,3	256	34,8	99,1	269
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> +Zn <sub>100</sub> *	22,1	80,0	285	34,8	98,0	288
2008-2009 гг.						
N <sub>30</sub>	22,7	82,4	274	33,2	78,6	269
N <sub>30</sub> + Zn <sub>4</sub>	18,7	91,6	312	34,5	77,5	344
N <sub>30</sub> + Zn <sub>8</sub>	24,4	83,1	309	29,8	79,7	301
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	19,6	96,4	343	35,0	87,5	301
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	19,9	91,2	240	33,3	90,2	213
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>8</sub>	24,7	91,1	203	36,3	93,1	219
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> +Zn <sub>50</sub> *	19,7	92,1	259	35,3	99,1	175
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> +Zn <sub>100</sub> *	25,1	92,2	218	37,4	98,4	281
2009-2010 гг.						
N <sub>30</sub>	18,0	76,1	219	32,1	83,3	300
N <sub>30</sub> + Zn <sub>4</sub>	17,2	75,0	219	31,9	88,1	301
N <sub>30</sub> + Zn <sub>8</sub>	15,7	74,6	224	31,9	86,7	250
N <sub>30</sub> + Zn <sub>12</sub>	16,6	70,0	240	34,8	80,6	320
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	18,0	81,1	251	34,3	103	320
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	21,3	80,4	256	31,9	100	308
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>8</sub>	20,9	79,7	209	32,5	96,1	302
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> +Zn <sub>12</sub>	24,7	79,0	230	33,3	100	306
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> +Zn <sub>50</sub> *	20,3	79,0	245	34,3	95,5	301
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> +Zn <sub>100</sub> *	21,1	73,3	219	34,7	102	290
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> +Zn <sub>150</sub> *	18,4	76,1	214	33,9	95,1	301

## Окончание приложения Д

1	2	3	4	5	6	7
2010-2011 гг.						
N <sub>30</sub>	22,1	63,7	152	33,8	80,8	159
N <sub>30</sub> + Zn <sub>4</sub>	21,2	61,9	143	33,8	79,1	160
N <sub>30</sub> + Zn <sub>8</sub>	24,3	64,1	143	33,7	84,5	164
N <sub>30</sub> + Zn <sub>12</sub>	21,6	62,2	146	32,9	77,6	158
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	23,5	70,5	140	33,8	91,9	150
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	16,3	65,7	132	33,6	91,9	138
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>8</sub>	22,6	61,6	149	34,1	92,3	140
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>12</sub>	24,5	60,6	116	34,0	94,5	150
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>50</sub> *	21,0	60,3	147	34,9	100	168
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>100</sub> *	22,2	69,3	149	32,8	102	160
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>150</sub> *	21,3	64,4	166	33,6	99,3	150

Примечание: \* - граммов соли сернокислого цинка на 1 центнер семян

Приложение Е – Содержание макроэлементов в лугово-чернозёмной почве  
 (слой почвы 0-30 см) при возделывании озимой ржи в зависимости от  
 применяемых микроудобрений при опудривании семян  
 (2 %-ая  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , мг/кг (опыт №2, 2007-2011 гг.)

Варианты	Перед посевом			В фазу весеннего кущения		
	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	2	3	4	5	6	7
2007-2008 гг.						
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> - фон	22,5	72,6	347	36,4	70,8	340
Фон + Zn <sub>50</sub>	21,7	73,9	303	34,1	83,5	346
Фон + Zn <sub>100</sub>	22,7	74,2	349	35,4	76,2	302
Фон + Cu <sub>50</sub>	21,8	72,5	268	31,8	83,5	225
Фон + Cu <sub>100</sub>	19,6	73,9	270	31,8	79,6	241
Фон + Mn <sub>50</sub>	21,2	73,1	349	34,8	82,3	344
Фон + Mn <sub>100</sub>	20,7	70,6	347	32,2	82,5	299
2008-2009 гг.						
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> - фон	25,9	70,2	340	36,4	68,7	344
Фон + Zn <sub>50</sub>	21,0	73,9	309	34,1	73,6	341
Фон + Zn <sub>100</sub>	23,7	71,2	343	35,4	76,5	307
Фон + Cu <sub>50</sub>	22,9	70,9	262	31,8	84,3	225
Фон + Cu <sub>100</sub>	17,5	77,9	278	31,8	78,8	241
Фон + Mn <sub>50</sub>	21,2	69,1	343	34,8	80,8	346
Фон + Mn <sub>100</sub>	21,3	72,7	340	32,2	83,4	291
2009-2010 гг.						
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> - фон	20,5	73,4	210	35,0	76,2	300
Фон + Zn <sub>50</sub>	18,5	83,2	204	36,3	72,3	301
Фон + Zn <sub>100</sub>	17,6	79,7	240	32,8	74,7	304
Фон + Zn <sub>150</sub>	17,3	77,9	204	27,9	76,9	340
Фон + Cu <sub>50</sub>	22,0	75,4	256	32,5	84,3	340
Фон + Cu <sub>100</sub>	20,0	74,7	214	36,7	84,3	304
Фон + Cu <sub>150</sub>	19,1	76,8	227	33,5	77,3	305
Фон + Mn <sub>50</sub>	17,2	80,4	183	36,2	72,5	270
Фон + Mn <sub>100</sub>	18,9	84,0	245	34,8	81,0	320
Фон + Mn <sub>150</sub>	16,7	88,4	209	32,9	76,9	280
2010-2011 гг.						
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> - фон	18,0	84,1	246	34,8	81,0	395
Фон + Zn <sub>50</sub>	18,5	88,5	204	32,1	76,9	210

## Окончание приложения Е

1	2	3	4	5	6	7
Фон + Zn <sub>100</sub>	19,0	81,1	246	32,6	77,0	401
Фон + Zn <sub>150</sub>	19,0	89,2	204	33,9	78,8	213
Фон + Cu <sub>50</sub>	21,6	87,3	237	29,0	82,3	470
Фон + Cu <sub>100</sub>	19,5	74,5	198	33,0	80,5	210
Фон + Cu <sub>150</sub>	18,0	84,1	246	34,8	81,5	395
Фон + Mn <sub>50</sub>	19,5	88,5	204	32,9	76,1	210
Фон + Mn <sub>100</sub>	19,5	81,1	286	32,6	77,1	451
Фон + Mn <sub>150</sub>	18,0	84,2	240	33,9	78,4	293

Приложение Ж – Валовое содержание элементов питания в растениях озимой  
ржи в период уборки, % (2008-2011 гг.)

Варианты	Зерно			Солома		
	N	P	K	N	P	K
1	2	3	4	5	6	7
Опыт №1						
2008 г.						
N <sub>30</sub>	2,60	0,38	0,38	0,43	0,09	0,93
N <sub>30</sub> + Zn <sub>4</sub>	2,56	0,39	0,35	0,49	0,16	0,93
N <sub>30</sub> + Zn <sub>8</sub>	2,61	0,34	0,41	0,65	0,12	0,82
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	2,55	0,37	0,41	0,37	0,14	0,82
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	2,58	0,33	0,35	0,43	0,12	1,16
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>8</sub>	2,53	0,33	0,41	0,49	0,15	1,05
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>50</sub> *	2,51	0,33	0,41	0,43	0,17	0,71
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>100</sub> *	2,50	0,33	0,35	0,59	0,09	0,68
2009 г.						
N <sub>30</sub>	2,72	0,25	0,48	0,45	0,12	0,83
N <sub>30</sub> + Zn <sub>4</sub>	2,91	0,23	0,44	0,55	0,09	0,94
N <sub>30</sub> + Zn <sub>8</sub>	2,72	0,23	0,44	0,49	0,14	1,03
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	2,81	0,26	0,50	0,55	0,10	0,98
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	2,81	0,26	0,50	0,62	0,09	0,83
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>8</sub>	2,86	0,23	0,44	0,35	0,09	0,80
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>50</sub> *	2,76	0,24	0,47	0,49	0,14	0,77
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>100</sub> *	2,73	0,22	0,42	0,49	0,12	0,83
2010 г.						
N <sub>30</sub>	2,18	0,33	0,43	0,45	0,10	0,87
N <sub>30</sub> + Zn <sub>4</sub>	2,34	0,34	0,40	0,31	0,14	0,79
N <sub>30</sub> + Zn <sub>8</sub>	2,16	0,34	0,43	0,50	0,11	0,66
N <sub>30</sub> + Zn <sub>12</sub>	2,10	0,32	0,45	0,38	0,07	0,73
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	2,37	0,33	0,47	0,50	0,07	0,66
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>4</sub>	2,20	0,28	0,49	0,45	0,12	0,60
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>8</sub>	2,42	0,29	0,45	0,35	0,10	0,65
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>12</sub>	2,24	0,34	0,33	0,40	0,10	0,63
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>50</sub> *	2,28	0,32	0,47	0,35	0,09	0,73
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>100</sub> *	2,28	0,39	0,45	0,50	0,09	0,63
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> + Zn <sub>150</sub> *	2,27	0,37	0,33	0,40	0,06	0,71
2011 г.						
N <sub>30</sub>	2,17	0,30	0,48	0,42	0,10	0,75

## Продолжение приложения Ж

1	2	3	4	5	6	7
$N_{30} + Zn_4$	1,99	0,33	0,48	0,50	0,10	0,75
$N_{30} + Zn_8$	2,17	0,35	0,48	0,50	0,12	0,78
$N_{30} + Zn_{12}$	2,16	0,30	0,48	0,49	0,13	0,76
$N_{30}P_{60}$	2,14	0,33	0,49	0,42	0,09	0,79
$N_{30}P_{60} + Zn_4$	2,03	0,32	0,48	0,50	0,09	0,84
$N_{30}P_{60} + Zn_8$	2,04	0,33	0,49	0,42	0,10	0,73
$N_{30}P_{60} + Zn_{12}$	2,17	0,34	0,41	0,63	0,10	0,76
$N_{30}P_{60} + Zn_{50}^*$	2,13	0,36	0,41	0,49	0,12	0,74
$N_{30}P_{60} + Zn_{100}^*$	2,16	0,37	0,49	0,56	0,11	0,75
$N_{30}P_{60} + Zn_{150}^*$	2,27	0,34	0,46	0,42	0,10	0,81

## Опыт №2

2008 г.

$N_{30}P_{60}K_{60}$ -фон	2,47	0,31	0,58	0,65	0,11	1,05
Фон + $Zn_{50}$	2,57	0,36	0,66	0,43	0,14	1,28
Фон + $Zn_{100}$	2,51	0,32	0,66	0,37	0,15	1,16
Фон + $Cu_{50}$	2,54	0,34	0,63	0,59	0,10	1,05
Фон + $Cu_{100}$	2,55	0,31	0,66	0,57	0,15	1,05
Фон + $Mn_{50}$	2,47	0,37	0,52	0,51	0,13	1,05
Фон + $Mn_{100}$	2,55	0,32	0,66	0,53	0,14	1,16

2009 г.

$N_{30}P_{60}K_{60}$ -фон	2,76	0,42	0,42	0,42	0,10	0,87
Фон + $Zn_{50}$	2,72	0,34	0,44	0,49	0,10	0,78
Фон + $Zn_{100}$	2,73	0,38	0,47	0,49	0,07	0,73
Фон + $Cu_{50}$	2,80	0,37	0,53	0,62	0,10	0,68
Фон + $Cu_{100}$	2,69	0,36	0,44	0,55	0,14	0,87
Фон + $Mn_{50}$	2,84	0,32	0,47	0,35	0,11	1,01
Фон + $Mn_{100}$	2,76	0,36	0,47	0,59	0,08	0,94

2010 г.

$N_{30}P_{60}K_{60}$ -фон	2,09	0,33	0,47	0,40	0,19	0,81
Фон + $Zn_{50}$	2,03	0,35	0,45	0,45	0,16	0,59
Фон + $Zn_{100}$	2,13	0,33	0,29	0,40	0,26	0,86
Фон + $Zn_{150}$	2,28	0,34	0,47	0,50	0,26	0,81
Фон + $Cu_{50}$	2,10	0,38	0,43	0,35	0,13	0,69
Фон + $Cu_{100}$	2,24	0,36	0,49	0,50	0,17	0,94
Фон + $Cu_{150}$	2,31	0,32	0,45	0,40	0,24	0,88
Фон + $Mn_{50}$	2,32	0,37	0,47	0,40	0,28	1,06
Фон + $Mn_{100}$	2,07	0,33	0,45	0,50	0,35	0,68
Фон + $Mn_{150}$	2,09	0,28	0,45	0,40	0,16	0,68

## Окончание приложения Ж

1	2	3	4	5	6	7
2011 г.						
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> -фон	2,17	0,36	0,48	0,50	0,07	0,89
Фон + Zn <sub>50</sub>	2,04	0,33	0,56	0,49	0,07	0,89
Фон + Zn <sub>100</sub>	2,00	0,32	0,57	0,63	0,07	0,82
Фон + Zn <sub>150</sub>	2,10	0,33	0,57	0,49	0,08	0,91
Фон + Cu <sub>50</sub>	2,10	0,36	0,48	0,42	0,10	0,79
Фон + Cu <sub>100</sub>	2,03	0,35	0,48	0,49	0,08	0,82
Фон + Cu <sub>150</sub>	2,14	0,32	0,46	0,42	0,08	0,82
Фон + Mn <sub>50</sub>	2,10	0,35	0,67	0,56	0,10	0,86
Фон + Mn <sub>100</sub>	2,14	0,38	0,41	0,60	0,08	0,89
Фон + Mn <sub>150</sub>	2,17	0,38	0,47	0,35	0,10	0,88

Примечание: \* - граммов соли сернокислого цинка на 1 центнер семян

## Приложение 3 – Показатели качества зерна озимой ржи (2008-2011 гг.)

Варианты	Белок, %	Стекловидность, %	Натура, г/л	ЧП, сек.
1	2	3	4	5
Опыт №1 2008 г.				
$N_{30}$	14,84	32	698	131
$N_{30} + Zn_4$	14,59	34	698	127
$N_{30} + Zn_8$	14,88	34	691	148
$N_{30}P_{60}$	14,54	32	696	124
$N_{30}P_{60} + Zn_4$	14,68	28	700	109
$N_{30}P_{60} + Zn_8$	14,42	31	702	141
$N_{30}P_{60} + Zn_{50*}$	14,28	34	704	151
$N_{30}P_{60} + Zn_{100*}$	14,25	30	695	146
2009 г.				
$N_{30}$	15,52	31,0	615,0	77
$N_{30} + Zn_4$	16,59	40,0	628,0	72
$N_{30} + Zn_8$	15,50	39,0	645,0	98
$N_{30}P_{60}$	16,02	35,0	616,0	92
$N_{30}P_{60} + Zn_4$	16,02	38,0	619,0	73
$N_{30}P_{60} + Zn_8$	16,33	29,0	644,0	105
$N_{30}P_{60} + Zn_{50*}$	15,73	33,0	618,0	100
$N_{30}P_{60} + Zn_{100*}$	15,56	31,0	652,0	93
2010 г.				
$N_{30}$	12,43	32,0	696,0	146
$N_{30} + Zn_4$	13,34	30,0	691,0	145
$N_{30} + Zn_8$	12,31	28,0	696,0	165
$N_{30} + Zn_{12}$	11,97	24,0	692,0	167
$N_{30}P_{60}$	13,51	28,0	695,0	130
$N_{30}P_{60} + Zn_4$	12,54	10,0	687,0	120
$N_{30}P_{60} + Zn_8$	13,79	26,0	692,0	181
$N_{30}P_{60} + Zn_{12}$	12,77	32,0	685,0	161
$N_{30}P_{60} + Zn_{50*}$	13,00	34,0	695,0	133
$N_{30}P_{60} + Zn_{100*}$	13,00	22,0	693,0	131
$N_{30}P_{60} + Zn_{150*}$	12,94	32,0	690,0	146
2011 г.				
$N_{30}$	12,37	32,0	696,0	178
$N_{30} + Zn_4$	11,34	34,0	691,0	162
$N_{30} + Zn_8$	12,37	36,0	696,0	186
$N_{30} + Zn_{12}$	12,31	36,0	692,0	193

## Продолжение приложения З

1	2	3	4	5
$N_{30}P_{60}$	12,20	34,0	695,0	148
$N_{30}P_{60} + Zn_4$	11,57	34,0	687,0	125
$N_{30}P_{60} + Zn_8$	11,63	38,0	692,0	146
$N_{30}P_{60} + Zn_{12}$	12,37	33,0	685,0	149
$N_{30}P_{60} + Zn_{50*}$	12,14	39,0	695,0	223
$N_{30}P_{60} + Zn_{100*}$	12,31	37,0	693,0	208
$N_{30}P_{60} + Zn_{150*}$	12,94	29,0	690,0	159
Опыт №2				
2008 г.				
$N_{30}P_{60}K_{60}$ - фон	14,1	31	700	132
фон + $Zn_{50}$	14,65	34	702	130
фон + $Zn_{100}$	14,30	34	710	112
фон + $Cu_{50}$	14,48	33	704	141
фон + $Cu_{100}$	14,54	32	700	143
фон + $Mn_{50}$	14,08	33	708	137
фон + $Mn_{100}$	14,54	30	702	129
2009 г.				
$N_{30}P_{60}K_{60}$ - фон	15,73	32,0	642,0	107
фон + $Zn_{50}$	15,50	31,0	646,0	84
фон + $Zn_{100}$	15,56	39,0	644,0	101
фон + $Cu_{50}$	15,96	35,0	648,0	105
фон + $Cu_{100}$	15,33	30,0	630,0	95
фон + $Mn_{50}$	16,19	31,0	626,0	92
фон + $Mn_{100}$	15,73	33,0	620,0	85
2010 г.				
$N_{30}P_{60}K_{60}$ - фон	11,91	27,0	696,0	131
фон + $Zn_{50}$	11,57	34,0	690,0	140
фон + $Zn_{100}$	12,14	31,0	698,0	100
фон + $Zn_{150}$	13,00	34,0	700,0	178
фон + $Cu_{50}$	11,97	32,0	699,0	148
фон + $Cu_{100}$	12,77	32,0	698,0	182
фон + $Cu_{150}$	13,17	32,0	706,0	158
фон + $Mn_{50}$	13,22	32,0	701,0	157
фон + $Mn_{100}$	11,80	28,0	694,0	147
фон + $Mn_{150}$	11,91	27,0	698,0	122
2011 г.				
$N_{30}P_{60}K_{60}$ - фон	12,37	35,0	696,0	158
фон + $Zn_{50}$	11,63	36,0	690,0	162
фон + $Zn_{100}$	11,40	32,0	698,0	134

## Окончание приложения 3

1	2	3	4	5
фон + Zn <sub>150</sub>	11,97	35,0	700,0	149
фон + Cu <sub>50</sub>	11,97	32,0	699,0	173
фон + Cu <sub>100</sub>	11,57	37,0	698,0	153
фон + Cu <sub>150</sub>	12,20	33,0	706,0	213
фон + Mn <sub>50</sub>	11,97	34,0	701,0	158
фон + Mn <sub>100</sub>	12,20	27,0	694,0	150
фон + Mn <sub>150</sub>	12,37	37,0	698,0	181

Примечание: \* - граммов соли сернокислого цинка на 1 центнер семян

## ПРИЛОЖЕНИЕ И

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

---

УТВЕРЖДАЮ:



Справка

об использовании результатов диссертации Е.П. Болдышевой: «Диагностика и оптимизация микрэлементного питания озимой ржи на лугово-чернозёмной почве Западной Сибири»

Материалы диссертационной работы Болдышевой Е.П. используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Омского государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина» по дисциплинам: «Агрохимия», «Прикладная агрохимия», «Анализ экспериментальных данных в агрохимии», «Агрохимическое картографирование», «Агрохимия микрэлементов», «Управление питанием овощных и плодовых культур», «Иновационные технологии в почвоведении, агрохимии и экологии» при подготовке бакалавров по направлению 35.03.03 – Агрохимия и агропочвоведение; магистров по направлению 35.04.03 – Агрохимия и агропочвоведение.

Зав.кафедрой агрохимии и почвоведения  
д-р с.-х. н., доцент

И.А. Бобренко

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

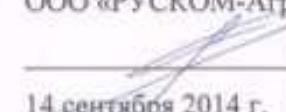
Н.В. Гоман

## ПРИЛОЖЕНИЕ К

«Утверждаю»

Генеральный директор

ООО «РУСКОМ-Агро»

 В.И. Гоман

14 сентября 2014 г.

## Акт

о внедрении результатов научной деятельности

Внедрение результатов исследований Болдышевой Е.П. по теме «Влияние основного внесения цинковых удобрений при возделывании озимой ржи сорта Сибирь 3 на урожайность и качество зерна» проводилось в «РУСКОМ-Агро» на лугово-черноземной почве на площади 6 га. Это позволило при использовании расчётной дозы цинковых удобрений – 6 кг д.в./га получить урожайность зерна 3,42 т/га в условиях Омской области. При возделывании озимой ржи условно чистый доход составил 16460 рублей, при этом рентабельность применения микроудобрений составила 28,8%.

Зам. генерального директора  
ООО «РУСКОМ-Агро»

 В.В. Заздравных



## ПРИЛОЖЕНИЕ Л

«Утверждаю»

Генеральный директор

ООО «РУСКОМ-Агро»

В.И. Гоман

28 сентября 2016 г.

## Акт

## о внедрении результатов научной деятельности

Внедрение результатов исследований Болдышевой Е.П. по теме «Влияние опудривания семян озимой ржи сорта Сибирь 5 цинком, медью и марганцем на урожайность и качество зерна» проводилось в ООО «РУСКОМ-Агро» Омской области на лугово-черноземной почве на площади 15 га. Это позволило при использовании микроудобрений в рекомендуемых дозах 100 г/га (цинковые и медные удобрения) и 50 г/га (марганцевые удобрения) получить урожайность зерна озимой ржи соответственно 4,52; 4,14 и 4,04 т/га. Условно чистый доход составил соответственно 12300, 11940 и 12850 рублей, при этом рентабельность применения микроудобрений составила 21,3%, 20,5% и 21,8%.

Зам. генерального директора

ООО «РУСКОМ-Агро»

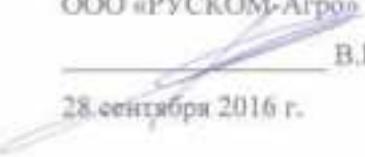
В.В. Заздравных



## ПРИЛОЖЕНИЕ М

«Утверждован»

Генеральный директор  
ООО «РУСКОМ-Агро»

 В.И. Гоман

28 сентября 2016 г.

Акт  
о внедрении результатов научной деятельности

Внедрение результатов исследований Болдышевой Е.П. по теме «Влияние опрыскивания растений раствором цинковых удобрений на продуктивность озимой ржи сорта Сибирь 5» проводилось в ООО «РУСКОМ-Агро» на лугово-черноземной почве на площади 5 га. Это позволило получить урожайность зерна 3,82 т/га при использовании цинковых удобрений в дозе 75 г/га Zn по результатам растительной диагностики в виде 0,1% раствора соли в условиях Омской области. Условно чистый доход составил 11300 рублей, при этом рентабельность применения микроудобрений составила 26,8%.

Зам. генерального директора  
ООО «РУСКОМ-Агро»

 В.В. Заздрянных

