

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии
имени Д.Н. Прянишникова»

УДК 631:631.445.24:631.821.1:631.85

На правах рукописи

Бижан Сергей Петрович

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЧЕТАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И
ЦИНКА В СВЯЗИ С ИЗВЕСТКОВАНИЕМ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ
ПОЧВЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В СЕВООБО-
РОТЕ**

Специальность 06.01.04 – агрохимия

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук
Кирпичников Николай Алексеевич

Москва 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	8
1.1 Эффективность фосфорных удобрений в зависимости от известкования дерново-подзолистой почвы при выращивании озимой пшеницы и ярового ячменя	8
1.2 Эффективность цинковых удобрений на дерново-подзолистой почве в зависимости от применения удобрений при выращивании озимой пшеницы и ярового ячменя	23
1.3 Влияние фосфорных и цинковых удобрений на качество зерна озимой пшеницы и ярового ячменя в зависимости от известкования дерново-подзолистой почвы	32
ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ..	40
ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИНКА ПРИ ИЗВЕСТКОВАНИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ	45
3.1 Урожайность озимой пшеницы	45
3.2 Структура урожая озимой пшеницы	49
3.3 Содержание и вынос азота, фосфора и калия урожаем озимой пшеницы...	51
ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ ФОСФОРНЫХ И ИЗВЕСТКОВЫХ УДОБРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИНКА ПРИ ИЗВЕСТКОВАНИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ	57
4.1 Урожайность ярового ячменя	57
4.2 Структура урожая ярового ячменя	61
4.3 Содержание и вынос азота, фосфора и калия урожаем ярового ячменя	63
ГЛАВА 5. КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ И ЦИНКА ПРИ ИЗВЕСТКОВАНИИ	68

ГЛАВА 6. БАЛАНС ФОСФОРА И ФОСФАТНЫЙ РЕЖИМ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОРНЫХ И ИЗВЕСТКОВЫХ УДОБРЕНИЙ...	77
ГЛАВА 7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИНКА ПРИ ИЗВЕСТКОВАНИИ.....	79
Выводы	87
Рекомендации производству	89
Список литературы	90
Приложение	108

ВВЕДЕНИЕ

Стратегией развития зернового комплекса России на перспективу предусмотрено значительное повышение урожайности и качества зерновых культур. В решении данной проблемы важное место должно занять освоение интенсивных технологий для получения запланированной урожайности путём планомерного управления производственным процессом, обеспечивающим оптимальное питание растений (Сычев 2019). При этом особая роль отводится повышению плодородия почв путем применения удобрений при рациональном и сбалансированном использовании макро- и микроэлементов.

Дерново-подзолистые почвы Центрального Нечерноземья обладают, в основном, повышенной кислотностью и слабой обеспеченностью подвижными фосфатами (около 70% пашни), а также низким содержанием микроэлементов, особенно цинка (Аристархов, 2019). В условиях недостаточного уровня применения удобрений, урожайность основных зерновых культур, таких как озимая пшеница и яровой ячмень, в настоящее время относительно низкая (2,0-2,2 т/га), также как и качественные показатели зерна, что определяет необходимость разработки приемов эффективного применения известковых, фосфорных и цинковых удобрений в комплексе с другими средствами химизации при использовании новых интенсивных сортов зерновых культур.

Вопрос их действия и взаимодействия на растения озимой пшеницы и ярового ячменя интенсивных сортов в условиях длительного полевого опыта изучены недостаточно.

Перспективными в этом направлении являются исследования по изучению эффективности фосфорных и цинковых удобрений в зависимости от физико-химических свойств дерново-подзолистой почвы при выращивании новых интенсивных сортов озимой пшеницы и ярового ячменя, особенно, в длительном полевым опыте.

Цель исследований: изучить в длительном полевом опыте эффективность сочетания фосфорных и цинковых удобрений в зависимости от известкования дерново-подзолистой почвы при возделывании интенсивных сортов озимой пшеницы сорта Московская 39 и ярового ячменя сорта НУР.

Задачи исследований:

- изучить влияние фосфорных удобрений в сочетании с цинковыми на урожайность озимой пшеницы сорта Московская 39, и ярового ячменя сорта НУР в зависимости от известкования дерново-подзолистой почвы, установить при этом окупаемость 1 кг NPKприбавкой зерна;

– определить действие фосфорных удобрений в сочетании с цинковыми на содержание и вынос азота, фосфора и калия урожаем озимой пшеницы и ярового ячменя в зависимости от известкования;

- исследовать влияние сочетания фосфорных и цинковых удобрений на качество зерна озимой пшеницы и ярового ячменя в зависимости от известкования дерново-подзолистой почвы.

– рассчитать экономическую эффективность сочетания фосфорных и цинковых удобрений в зависимости от применения извести на дерново-подзолистой почве.

Научная новизна работы. Впервые в длительном полевом опыте, заложенном в 1966 году на слабоокультуренной дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Центрального Нечерноземья, изучена эффективность сочетания фосфорных и цинковых удобрений в связи с различным уровнем известкования при возделывании в звене зернотравяного севооборота озимой пшеницы сорта Московская 39 и ярового ячменя сорта НУР.

Установлено, что при систематическом применении одних азотно-калийных удобрений в форме аммиачной селитры и хлористого калия, когда повышалось содержание подвижного алюминия в почве с 45 до 130 мг/кг, формировалась такая же минимальная урожайность, как в варианте контроля без удобрений и составила в среднем за 2016-2019 годы: озимой пшеницы 24,0 ц/га, ярового ячменя – 26,6 ц/га.

При повышении содержания подвижного фосфора в почве с 30 до 100 мг/кг в результате внесения фосфорных удобрений увеличивалась урожайность (на фоне азотно-калийных удобрений): озимой пшеницы на 62, ярового ячменя - на 41%, с использованием цинка на 75 и 52% соответственно. На известкованной почве, особенно большой дозой (2,5 г.к.) прибавки урожайности снижались и составляли: без внесения цинка 27 и 15%, с внесением – 39 и 27% соответственно. Снижение эффективности фосфорных удобрений на известкованной почве связано с улучшением обеспеченности растений фосфором за счёт самой известки, когда значение pH_{KCl} повысилось до 5,4 ед., степень насыщенности основаниями - до 80%. В связи с этим урожайность повышалась по сравнению с фоном НК: озимой пшеницы в 2,1; ярового ячменя – в 1,6 раза. Максимальная урожайность озимой пшеницы 69,2 ц/га и ярового ячменя 55,3 ц/га формировалась при внесении фосфорных удобрений на известкованной почве по 2,5 г.к. с использованием цинка, что выше фона НК в 2,9 и 2,1 раза.

При сочетании фосфорных и цинковых удобрений на известкованной почве повышалось в зерне озимой пшеницы: содержание сырого белка на 1,6%; клейковины на 3,8%; массы 1000 зерен на 4 г., в зерне ярового ячменя: содержание сырого белка на 1,1%; массы 1000 зерен на 7,5 г.

Коэффициент использования фосфора растениями озимой пшеницы без известкования составил 13,6%, с известкованием по 2,5 г.к. к общему фону НК – 49,7%, а с применением цинка соответственно – 18,8 и 54,2%; растениями ярового ячменя соответственно 26,3 и 56,0; с применением цинка 31,5 и 66,0%.

Окупаемость затрат, связанных с применением фосфорных удобрений, при использовании цинковых достигала в посевах озимой пшеницы на известкованной почве 4,41; на известкованной – 4,78 руб/руб; в посевах ярового ячменя – 3,30 и 2,90 руб/руб.

Коэффициенты энергетической эффективности при возделывании обеих культур на известкованной почве составили 3,73 и 2,47; что выше фона азотно-калийных удобрений в 2,3 и 2,7 раза соответственно.

Практическая значимость работы. Разработанные приёмы применения фосфорных, известковых и цинковых удобрений могут быть использованы в интенсивных технологиях при возделывании озимой пшеницы и ярового ячменя в зерно-травяных севооборотах на дерново-подзолистых суглинистых почвах Центрального Нечерноземья, а также в уточнении нормативов окупаемости удобрений и выноса элементов питания в расчете на 1 т зерна.

Исследования, проводимые в 2016-2019 годах, являются составной частью плана НИР ФГБНУ «ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова» по госзаданию № 0572-2014-0013.

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертационной работы доложены на Ученом Совете ВНИИА, по теме диссертации опубликовано 8 работ, из них 7 работ в изданиях, рекомендованных в перечне ВАК.

Личный вклад автора. Соискатель непосредственно принимал участие в проведении полевого опыта, получении результатов исследования, обработке материалов исследований, их публикации, а также в подготовке работы к защите диссертации.

Объём и структура работы. Диссертация изложена на 122 страницах машинописного текста и состоит из: введения, 7 глав, обзора литературы, условий и методов исследований, результатов исследований, выводов, предложений производству, списка литературы. Экспериментальный материал приведен в 38 таблицах, 14 приложениях. Список литературы включает 192 наименования, из них 30 на иностранных языках.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Эффективность фосфорных удобрений в зависимости от известкования дерново-подзолистой почвы при выращивании озимой пшеницы и ярового ячменя

Эффективность удобрений зависит от многих факторов, таких как предшествующая удобренность, кислотность и другие свойства почвы.

Слабокультуренные дерново-подзолистые почвы обычно отличаются повышенной кислотностью и низким содержанием подвижного фосфора: значение pH_{KCl} около 4,0-4,5; P_2O_5 по Кирсанову менее 100,0 мг/кг. Они имеют также и низкую степень подвижности фосфатов - концентрация P_2O_5 в солевой вытяжке не превышает 0,02-0,03 мг/л. Обменная кислотность сильноокислых слабокультуренных почв, а соответственно, и содержание подвижного алюминия может колебаться в довольно широких пределах (Карпинский, 1972). В настоящее время слабокультуренные почвы составляют около 60% пашни. При существующих темпах известкования и низком уровне применения фосфорных и органических удобрений площади таких почв увеличиваются (Сычев, Шафран, 2012).

Работами (Голубев, 1954, Авдонин, 1957, Кедров – Зихман, 1957, Небольсин, 1977, 2008), установлено, что наличие большого количества подвижного алюминия в почве является одним из основных факторов, определяющих отрицательное влияние кислотности на различные растения. В их вегетационных и лабораторных опытах показаны оптимальные значения pH для растений в зависимости от концентрации алюминия, установлена положительная роль фосфора, а также кальция и органического вещества в ослаблении отрицательного действия кислотности и подвижного алюминия на рост растений.

Снижение вредного действия кислотности на растения под влиянием фосфорных удобрений большинство ученых объясняет образованием слабо-растворимых и нетоксичных фосфатов алюминия в почве, а также антагониз-

мом ионов при поступлении в растения (Небольсин, 2005; Орлов, 2013; Кузмич, Капранов с соавт., 2018).

Исследованиями (Небольсин, Небольсина, 2005) доказано, что и безкальциевые формы фосфорных удобрений (ортофосфорная кислота) обеспечивают довольно высокий эффект, снижая содержание в почве подвижных форм алюминия, марганца, железа и их токсическое действие на растения.

Отрицательное действие алюминия на растения было выявлено также в ряде полевых опытов: в опыте Прянишникова на полевой опытной станции ТСХА (Егоров, Доспехов, 1963), на Агробиологической станции МГУ в Чашниково Московской области в длительном опыте института льна (Гомонова, 1986; Кузьменко, 2018). Повышение содержания подвижного алюминия в почве и его влияние на урожай в этих опытах связано с систематическим применением физиологически кислых азотных и калийных удобрений. Так, в длительном (30 лет) полевом опыте по изучению действия сочетания минеральных удобрений и извести на Агробиологической станции МГУ содержание подвижного алюминия в исходной почве было небольшим (26,0 мг/кг почвы). В результате систематического внесения высоких доз аммиачных форм азотных удобрений и хлористого калия оно возросло до 216,0 мг/кг (вариант НК), ухудшились и другие кислотные свойства почвы. В начале азотные и калийные удобрения резко повышали урожай, но с течением времени их эффективность снижалась, затем они начали действовать отрицательно. Фосфорные удобрения (на фоне НК) снижали негативное влияние алюминия на растения озимой пшеницы, ячменя, вики, кормовых бобов, но полностью его не устраняли. Оно устранялось лишь при известковании, эффективность фосфорных удобрений на фоне извести в данном случае существенно повышалась.

Слабое действие фосфорных удобрений при высокой обменной кислотности 2,42 мг-экв/100г и алюминия около 180 мг/кг отмечалось также и в опытах (Глазунова 1983, Кирпичников, 2016).

В вегетационных опытах (Mendes, Kamprath, 1978) с кислыми тропическими почвами при насыщении их алюминием более 60%, высокие дозы фос-

фора не могли преодолеть отрицательного действия кислотности на растения проса. Нейтрализация подвижного алюминия в почве внесением извести снизила потребность растений в фосфорных удобрениях в два раза. (Foy, 1974) пишет, что удаление растворимого алюминия из кислых почв может повысить коэффициент использования фосфора от 25 до 40%.

Слабая эффективность фосфора при высокой концентрации алюминия в почве была отмечена в вегетационных опытах на кислых почвах Австралии и в других опытах (Amarasiri, Olsen, 1973, White, 1983).

Из приведенных данных видно, что фосфорные удобрения хотя и ослабляют отрицательное влияние алюминия на растения, но без его устранения в почве путём известкования проявляют слабую эффективность. Известь даже в небольших дозах при повышенном содержании алюминия в почве оказывает высокое действие на растения.

Высокое содержание алюминия в почве может быть обусловлено не только систематическим применением физиологически кислых минеральных удобрений, но и природными факторами почвообразования (Орлов, 1985; Палавеев, Тотев, 1983). Так, дерново-подзолистые почвы на покровных суглинках содержат меньше алюминия, чем почвы на моренах, они имеют более высокое содержание гумуса, обменных оснований и более высокую подвижность фосфатов (Карпинский, 1972).

Исследованиями (Небольсин, Небольсина, 2005) установлено влияние факторов, снижающих отрицательное действие кислотности на растения. Так с повышением содержания гумуса, осаждение алюминия в почве увеличивается, между этими показателями существует тесная обратная корреляционная зависимость.

Среди кислых слабокультуренных почв имеется также много почв с невысоким содержанием подвижного алюминия (менее 70-80 мг/кг почвы) и низкой концентрацией его в солевой вытяжке (менее 0,5 мг/л), что может быть связано не только с процессами почвообразования, но с применением органиче-

ских удобрений, а также извести в небольших дозах, или на давно известкованных почвах (Карпинский, 1972).

В многолетних опытах при этом, на слабокультуренных суглинистых почвах основная роль в повышении урожая принадлежит фосфорным удобрениям (Иванова, 1989, Кирпичников, Адрианов, 2007). Содержание подвижного алюминия и степень его подвижности в данных почвах невысокие, так как во всех опытах проведено известкование небольшими дозами, поэтому токсичное действие алюминия на растения не могло проявиться.

Высокая эффективность фосфорных удобрений на кислых суглинистых почвах с низким содержанием подвижного алюминия отмечена в Белоруссии (Кулаковская, 1990).

В вегетационных опытах с кислыми почвами Австралии (Probert, Winter, Jones, 1979) отмечали также равную эффективность фосфорных удобрений как на фоне извести, так и без нее. В корнях растений под влиянием извести в их опытах содержание алюминия не изменялось. Это дало основание авторам сделать заключение, что не алюминий ограничивал урожай, а недостаток фосфора в почве.

Одним из важных приёмов, улучшающих обеспеченность растений фосфором является известкование. При низком уровне известкования, или при его отсутствии в настоящее время, когда почвы с повышенной кислотностью составляют 70%, есть вероятность повышения содержания подвижного алюминия, который становится токсичным для растений, особенно при систематическом внесении физиологически кислых минеральных удобрений. В связи с этим происходит связывание фосфатов почвы и удобрений.

Зависимость фосфатного режима подзолистых почв от известкования была показана в работах (Аскинази, 1941, Соколов, 1950, Кораблева, 1950, Глазунова, Кирпичников, 1985, Небольсин, 2005, Кирпичников 2016, Кузменко, 2018). В их опытах показано, что обеспеченность растений фосфором и фосфатный режим повышаются при известковании высокими дозами (1,0-2,5 гидролитической кислотности).

Так в вегетационных опытах (Кораблева, 1950) с дерново-подзолистой почвой Долгопрудной опытной станции НИУИФ количество фосфора, мобилизованного известью по 2,5 г.к. (18 т/га) на 17-18-е годы её действия, оказалось настолько значительным, что при обеспечении растений азотом и калием, внесение фосфора было неэффективным. Известь в этом опыте повышала содержание подвижных фосфатов в 1,5-2,0 раза (P_2O_5 в 0,5 н CH_3COOH и в 0,2н HCl).

При обобщении результатов исследований (Стребков, 1989; Сычѳв, 2005) был сделан вывод о значении обеспеченности почвы подвижными фосфатами в повышении устойчивости растений к изменениям погоды в вегетационный период. Роль фактора погоды с повышением окультуренности почвы для урожайности зерновых культур снижается с 86 до 52%, доля почвенного плодородия при этом возрастает с 14 до 48%.

На слабоокультуренных дерново-подзолистых почвах, отличающихся низким содержанием подвижных фосфатов и высокой кислотностью (P_2O_5 по Кирсанову менее 5,0 мг/100 г почвы, $pH_{сол}$ – 4,0-4,5) степень подвижности фосфатов низкая и не превышает 0,02-0,03 мг/л в солевой вытяжке, а обменная кислотность и содержание подвижного Al значительно варьируют (Карпинский, 1972).

Слабоокультуренные почвы в настоящее время составляют около 70%, пахотных земель Российской Федерации и есть тенденция к их увеличению в связи с резкой недостаточностью известкования и применения фосфорных удобрений в последние годы (Сычев, Шафран, 2012, Шафран, 2020).

На фосфорное питание растений и эффективность фосфорных удобрений ингибирующее влияние могут оказывать содержащиеся в дерново-подзолистой почве подвижные формы алюминия, а также железа, марганца и др. Наиболее активен алюминий, он связывает подвижный фосфор, переводя его в малодоступные для растений соединения, тем самым препятствуя его усвоению культурными растениями. При его избытке фиксирует фосфор на поверхности корней и клеточных стенок вызывая нарушение метаболизма фосфора (Климашевский, Маркова с соавт., 1979). Негативное влияние повышенного и высокого

содержания подвижного алюминия в почве на рост и развитие культурных растений, являющегося одним из главных факторов отрицательного воздействия почвенной кислотности, выявлено в вегетационных и лабораторных опытах (Небольсин, Небольсина, 2005, Кирпичников, 2016). Определено положительное влияние кальция, подвижного фосфора и органического вещества почвы, ослабляющих токсичное воздействие подвижного алюминия и кислотности на культурные растения, обозначены благоприятные значения рН для нормального развития культур при различных уровнях содержащегося в почве подвижного алюминия. (Голубев, 1954; Авдоница, 1957; Кедров-Зихман, 1957; Виноградова, 2005; Шильников, Сычев с соавт., 2008; Пухальская, Сычев с соавт., 2009). По мнению большинства исследователей причиной нейтрализации негативного влияния кислотности на культурные растения при внесении фосфорных удобрений является образование нетоксичных слаборастворимых фосфатов алюминия в почве и антагонизм ионов при их поступлении в растения. Даже безкальциевые формы фосфорных удобрений, таких как ортофосфорная кислота, эффективно снижают содержание подвижного алюминия, железа и марганца в почве, уменьшая, тем самым, их токсическое воздействие на культуры (Небольсин, 1977, 2005).

Систематическое длительное применение физиологически кислых азотных и калийных удобрений, как показано в длительных полевых опытах, вызывало повышение содержания подвижного алюминия в почве токсичного для растений (Гомонова, Овчинникова, 1986; Кирпичников, 2016).

Большинство ученых считает, что для озимой пшеницы и ячменя оптимальный уровень рН почвы составляет около 5,5-6,0.

Полевыми опытами (Небольсин, Небольсина, 2008) установлено, что применение фосфорных удобрений снижает интервал оптимального значения рН для растений. Объясняется это присутствием помимо фосфора в удобрениях еще и кальция. Оно имело значение для более чувствительных культур к кислотности и алюминию, таких как ячмень, клевер и горчица. Так, оптимальный интервал рН при низком обеспечении фосфором растений в их опыте для ячме-

ня составлял 6-7, а при высокой 5,2-5,6. Содержание подвижного алюминия при этом значительно снижалось. Снижение подвижного алюминия в почве проходило до уровня содержания подвижного фосфора в почве (20 мг/100г), а далее оно увеличивалось.

Одностороннее использование физиологически кислых форм минеральных удобрений в форме азотных и калийных в настоящее время может способствовать существенному увеличению площади почв с высокой концентрацией алюминия, тем более когда известкование не проводилось, фосфорные удобрения не применялись или вносились в небольших дозах.

Многие сильнокислые дерново-подзолистые почвы обладают низким содержанием подвижного алюминия (до 5-7 мг/100 г). Связано это с длительным периодом действия извести на обменную кислотность и содержание подвижного алюминия, а также с применением органических удобрений (Авдонин, 1976, Стрельников, Ерохина, 1985, Федотова 2003, Кирпичников, 2016, Сычёв, Шильников, 2014).

Низкий уровень плодородия этих слабоокультуренных почв объясняется слабой обеспеченностью растений фосфором. Из всех элементов питания наиболее эффективными здесь являются фосфорные удобрения. Об этом свидетельствуют результаты полевых опытов ЦОС ВНИИ агрохимии (Кузнецова, Човжик с соавт., 1984, Кирпичников, 1989; Сычёв, Кирпичников, 2016), а также Раменской агрохимической опытной станции НИУИФ (Безуглая, Кожемячко с соавт., 1984; Янишевский, Дзикович с соавт., 1985). На известкованных почвах, особенно высокими дозами, эффективность фосфорных удобрений в опытах снижалась. Так в длительном полевом опыте СШ – 9 на ЦОС ВНИИ агрохимии урожайность ярового ячменя сорта «Московский 121» на слабоокультуренной почве повышалась по мере увеличения дозы суперфосфата (P_2O_5 - 40, 80, 120 кг/га в среднем за ротацию) с 20,9 до 40,0 ц/га. Окупаемость фосфорных удобрений прибавкой урожайности ячменя на произвесткованной почве по 1,5 г.к. снижалась в 2 раза (с 20 до 9,8 кг зерна в расчёте на 1 кг P_2O_5). Снижение эффективности фосфорных удобрений на известкованных почвах и их окупаемо-

сти также отмечали (Сычѳв, Шафран, 2012) при обобщении опытов в системе Агрoхимслужбы, а также (Адрианов, Воробѳѳв, 2002).

При известковании, особенно высокими дозами (1,5 – 2,5 г.к.), как известно из работ (Кедрова-Зихмана, 1957, Кораблевой, 1950, Глазуновой, 1983, Федотовой 2003, Шильникова, Акановой, 2011, Кирпичникова, 2016), происходит улучшение фосфатного режима почвы и обеспеченности растений фосфором. Потребность в фосфорных удобрениях в данном случае снижается. Такую закономерность отмечают и другие ученые – (Шафран, 2015, Ивойлов, 2015).

На дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Калужской области (Войтович, Сушеница с соавт., 2005) применение фосфорных удобрений без известкования получена высокая урожайность озимой пшеницы (около 4,0 т/га) при содержании фосфора 50 мг/кг, при известковании уровень урожайности повышался до 5,0 т/га. На известкованной почве при повышении реакции почвенной среды по обобщѳнным данным эффективность фосфорных удобрений снижается: (Сычев, Шафран, 2012, Прошкин, 2015).

На окультуренной дерново – подзолистой суглинистой почве Северо – Востока (содержание P_2O_5 около 100 мг/кг) урожайность сортов ярового ячменя на фоне $N_{60}K_{60}$ составляла 34 – 35 ц/га, а дальнейшее повышение фона не приводило к увеличению урожайности. Эффективность фосфорных удобрений на окультуренной почве, а также их окупаемость, были относительно низкими (Пасынков, 2004). Такая закономерность получена на дерново-подзолистой почве Пермской ГСХА (Михайлова, Акманаева, 2008) и в Предуралье (Абитов, Давлятшин, 2011).

В длительном полевом опыте на слабоокультуренной дерново – подзолистой тяжелосуглинистой почве прибавка урожайности ярового ячменя сорта Московский – 121 при внесении ежегодно P_{60} , составила на неизвесткованном фоне 17,2 ц/га, на известкованном - 10,2 ц/га. Окупаемость 1 кг P_2O_5 составила соответственно 29 и 16 кг зерна (Сычѳв, Кирпичников, 2015), такая же закономерность отмечалась и при возделывании озимой пшеницы сорта Мироновская 808.

Таким образом эффективность фосфорных удобрений на слабоокультуренных дерново-подзолистых почвах зависит от её свойств, содержания подвижного алюминия, органического вещества и уровня кислотности. На почвах с низким содержанием подвижного алюминия (менее 7 мг/100 г) действие фосфорных удобрений высокое, на хорошо известкованных почвах эффективность фосфорных удобрений снижается.

Снижение эффективности фосфорных удобрений на фоне известки, особенно больших доз (1,5 - 2,0 г.к.), многие учёные связывают с мобилизацией фосфатов при снижении сорбции почвой (Кораблёва, 1950, Кедров-Зихман, 1957, Глазунова, 1983, Сычёв, Кирпичников, Шильников, 2014).

Снижение сорбции фосфатов при известковании на почвах с высокой кислотностью отмечали Небольсин, Небольсина, 2005), Kamprath, 1970, Иванов, Сычев с соавт., 2012).

При систематическом применении удобрений и периодическом известковании улучшаются агрохимические свойства дерново-подзолистых почв, повышается обеспеченность подвижными фосфатами за счёт остатков удобрений и мобилизация фосфора за счет известки.

Количество остаточных фосфатов связано с уровнем применения фосфорных удобрений при дозах, превышающих вынос P_2O_5 растениями. Остаточные фосфаты удобрений играют большую роль в фосфатном режиме окультуренных почв. По мнению (Сооке, 1984) они играют большую роль в фосфатном питании растений и их устойчивости к неблагоприятным условиям погоды. В известкованных почвах остаточные фосфаты в меньшей степени трансформируются в труднорастворимые и малодоступные формы, что было доказано работами (Аскинази, 1941, Иванов, Столярова, 1973, Хлыстовский, Князева, 1976).

Работами (Соколов 1958) установлено, что внесение фосфорных удобрений приводит к накоплению в почве метастабильных усвояемых форм, которые оказывают значительное последствие. С помощью радиоизотопного метода

он установил способность вносимых удобрений к повышению в почве запаса и подвижности усвояемых фосфатов.

Повышение растворимых форм фосфатов и уменьшение труднорастворимых при известковании дерново-подзолистой почвы по 0,75 и 1,0 г.к. показано работами (Брагин, Вильдфлуш, 1973, Кирпичников, 2016).

Так в длительных полевых опытах на Центральной опытной станции ВНИИ агрохимии (Сычѳв, Кирпичников, 2016) известкование не изменяло содержания подвижного фосфора, однако, степень подвижности фосфатов повышалась при известковании большими дозами (1,5 и 2,0 г.к.).

Выявлена прямая зависимость между степенью подвижности фосфатов в почве и содержанием первых двух фракций (Кулаковская, Детковская с соавт., 1985, Кирпичников и Адрианов, 2007) (по методу Гинзбург-Лебедевой), которые имели положительную корреляцию с урожаем озимой пшеницы и ярового ячменя.

Фосфорные удобрения, как известно, обладают длительным последствием. По данным многих опытов на дерново – подзолистых почвах из фосфорных удобрений в первый год используется растением только 10 – 20 %, а за 2 – 3 года – 40 % (Соколов, Гладкова, 1979, Кулаковская, 1990, Лебедева, 1989).

Наиболее длительным опытом в нашей стране на дерново-подзолистых суглинистых почвах является опыт с различными формами фосфорных удобрений на Долгопрудной агрохимической опытной станции (Хлыстовский, 1992). Положительное влияние фосфорных удобрений в данном опыте отмечено на 58-й год после их внесения в количестве 540 кг/га P_2O_5 . На Ротамстедской опытной станции в Англии в одном из опытов высокая эффективность фосфорных удобрений отмечалась более 50 лет (Warren, Johnston, 1962).

Высокое последствие фосфорных удобрений показано в длительном (28 лет) полевом опыте СШ-9 (Кирпичников, Адрианов, 2007, Сычѳв, Кирпичников, 2015), где представлены факторы свеживнесенных и остаточных фосфатов при различной степени известкования. Ежегодное внесение 40-120 кг/га P_2O_5 на неизвесткованной почве с очень низким содержанием подвижных фос-

фатов (фон P_0) снизило оплату каждого кг удобрения в среднем за 10 лет с 16,5 до 9,4 кг з.е. В варианте со средним содержанием (фон P_{600}) оплата каждого кг удобрения понизилась в 1,7 раза, с повышенным содержанием (фон P_{1200}) – в 2,4 раза. Окупаемость единицы фосфорных удобрений в среднем за 11 лет составила 86-94% от прямого их действия.

В условиях Северо-Востока Нечернозёмной зоны (Суров, 1984) урожайность ярового ячменя при низком содержании подвижного фосфора составила 10,6 ц/га, при среднем 14,6 ц/га. Прибавки урожайности в зависимости от дозы фосфорных удобрений (30, 60, 90 кг/га P_2O_5) составили при низком уровне фосфатов в почве 3,6; 3,8 и 4,0 ц/га, при среднем они снижались до 2,5 ц/га. Окупаемость 1 кг фосфора прибавкой урожая была относительно низкой и составила при низком содержании фосфатов 12; 6,3; 5,5 кг/кг, а при среднем в 2-3 раза ниже.

По данным опытов Агрохимслужбы на дерново-подзолистой почве Тверской области (pH_{KCl} 5,7-5,9 и P_2O_5 4,5 – 6,0 мг/100 г) урожайность ярового ячменя на контроле составила 14,6 ц/га, с прибавкой от $N_{60}P_{60}K_{30}$ 7,8 ц/га. Прибавка урожая от фосфорных удобрений на фоне $N_{60}K_{30}$ в опыте составила 7,8 ц/га при окупаемости 1 кг P_2O_5 – 6,0 кг зерна. В условиях Ярославской области (pH_{KCl} 5,3 – 5,6 и содержании подвижного фосфора в почве 6,5 – 9,5 мг/100г) урожайность ярового ячменя на контроле составила 19,8 ц/га, прибавка урожая от $N_{60}P_{60}K_{90}$ – 18,1 ц/га при окупаемости фосфорных удобрений 18,8 кг/кг.

Применение фосфорных удобрений в многофакторном полевом опыте на дерново – подзолистой легкосуглинистой почве Смоленской области (Иванова, 1989) с повышенным содержанием подвижных фосфатов не приводило к увеличению урожайности зерновых культур в условиях достаточного увлажнения и оказала заметное действие в засушливые годы.

Низкая окупаемость фосфорных удобрений при возделывании зерновых культур (Державин, 1992) была получена в краткосрочных опытах Агрохимслужбы на дерново-подзолистых почвах, которая по обобщённым данным составила от 6,0 до 3,1 кг/кг. При внесении фосфорных удобрений на искусственных

фосфатных фонах в условиях дерново-подзолистой почвы Смоленской области (Дышко, 2002) выявлена различная окупаемость свежевнесённого фосфора в дозе 60 кг/га P_2O_5 на общем фоне $N_{60}K_{120}$. При содержании в почве 7,2 мг/100 г подвижного фосфора окупаемость 1 кг P_2O_5 прибавкой урожая ячменя составила 6,2 кг зерна, 13 мг/100 г – 5,3 кг, при 20 мг/100г – 2,7 кг зерна, урожайность на фонах при этом составляла 14,2; 15,6; 18,5 ц/га соответственно.

На окультуренных дерново-подзолистых почвах Брянской, Московской и Ярославской областей в опытах Агротехимслужбы (Нормативы, 2016) эффективность фосфорных удобрений отмечалась невысокой, при внесении фосфора 60 кг/га окупаемость прибавкой урожаем ячменя составила 1,8 – 7,7 кг зерна.

Высокая эффективность применения фосфорных удобрений установлена в длительном полевом опыте на экспериментальной полевой станции физико-химических проблем почвоведения РАН (Московская область) на слабоокультуренной почве при P_2O_5 по Кирсанову 30-40 мг/кг. Урожайность озимой пшеницы и ярового ячменя повышалась при внесении 80 кг/га P_2O_5 на фоне азотно-калийных удобрений и достигала 5,0 и 3,8 т/га соответственно, за счёт увеличения числа продуктивных стеблей, количества зерен в колосе и массы 1000 зерен. Недостаток фосфора в варианте $N_{120}K_{60}$ оказался фактором, в наибольшей степени ограничивающим поступление азота и калия в растения (Никитишен, 2002).

В длительном полевом опыте на слабоокультуренной дерново-подзолистой почве республики Удмуртия с высоким содержанием подвижного алюминия установлено высокое действие извести и органических удобрений, коэффициент использования фосфора зерновыми культурами достигал 62% (Бортник, 2019). Максимальная окупаемость удобрений отмечалась на зерновых озимых культурах и достигала 14,9 кг/кг, при средней по республике оплате 1 кг NPK удобрений 4,3 кг зерна. Под влиянием удобрений выявлено повышение нормативного выноса элементов питания с урожаем всех культур севооборота, по зерну ячменя вынос составил: N - 25; P_2O_5 - 10,4; K_2O - 22,9 кг/т.

Применение различных форм фосфорных удобрений (Костин, Гусев с соавт., 2012) в длительном полевом опыте на серых лесных почвах Рязанской области, урожайность озимой пшеницы и ярового ячменя на фоне НК при среднем содержании подвижного фосфора изменялась не значительно. В наиболее благоприятные годы лучшие результаты получены от применения двойного суперфосфата и диаммофоса, фосфорные удобрения во всех формах повышали содержание белка в зерне, особенно под влиянием фосфоритной муки.

В условиях среднесуглинистых слабоподзолистых почв Марий – Эл (Алметов, Чернова с соавт., 2012) урожайность ячменя сорта Московский 121 составляла в среднем из 17 полевых опытов на контроле 18,8 ц/га, на фоне $N_{60}K_{60}$ – 26 ц/га, а в варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 28,5 ц/га при повышенном исходном содержании подвижного фосфора в почве (10-13 мг/100г). Окупаемость 1 кг P_2O_5 прибавкой урожая при этом составила 3,4 кг зерна. Наибольшая прибавка урожайности ячменя в этих условиях получена от применения азотных удобрений.

Заметно большая эффективность фосфорных удобрений по сравнению с азотными и калийными отмечалась на дерново-подзолистой почве и в длительном опыте в Смоленской области (Иванова, 1989) при содержании подвижного фосфора около 50,0 мг/кг урожайность озимой пшеницы и ярового ячменя повышалась с увеличением дозы P_2O_5 с 30 до 120 кг/га. Значительный эффект (рост в два раза) получен на высоком фоне азотно-калийного питания $N_{120}K_{80}$, при этом урожайность зерна озимой пшеницы достигала уровня 5,0 т/га.

Применение фосфорных удобрений в зависимости от уровня фосфатного фона в длительном полевом опыте в Смоленской области на дерново-подзолистой почве урожайность озимой пшеницы повышалась на фоне $P_{\phi} 300$ (P_2O_5 в почве 133 мг/кг) в меньшей мере, чем на естественном фоне (68 мг/кг). На фосфатном фоне урожайность достигала 3,3 т/га, на исходном – 2,7 т/га, при уровне на фонах 1,8 и 1,5 т/га при внесении свежего P_2O_5 в дозе 90 кг/га. Содержание сырого белка с повышением фосфатного фона снижалось и составляло 9,2-9,5% (Гаврилова, Конова с соавт., 2010).

В условиях дерново-подзолистых почв Вологодской области вынос азота, фосфора и калия в расчете на 1 т урожая ячменя при внесении удобрений возрастал, но величины его были примерно равными нормативным (Чухина, Глазов с соавт., 2019)

Обобщённые данные опытов по эффективности фосфорных удобрений на дерново-подзолистых почвах Центрального округа (Сычёв, 2019) показали, что наиболее отзывчивой на внесение фосфорных удобрений из зерновых культур оказалась озимая пшеница, затем ячмень, наименьшая прибавка урожайности получена на овсе и озимой ржи. При низком содержании подвижного фосфора в почве ($< 5,0$ мг/100 г) урожайность ярового ячменя повышалась с увеличением дозы фосфорных удобрений (с 30 до 90 кг/га P_2O_5). При среднем содержании (5,1 – 10 мг/100 г) прибавка снижалась в 2-3 раза – оптимальная доза – 60 кг/га P_2O_5 . При повышенном и тем более высоком содержании, прибавок урожая практически не получено. Окупаемость 1 кг P_2O_5 удобрения прибавкой урожая ячменя при внесении P_{60} составили при низкой обеспеченности почвы фосфатами – 9,3 кг, при средней – 3,3 кг зерна.

С повышением значения рН эффективность фосфорных удобрений и их окупаемость снижается. Так на окультуренных дерново-подзолистых почвах Удмуртии (Дзюин, 2012) урожайность ярового ячменя в длительном полевом опыте практически не изменилась при внесении ежегодно 60 кг/га P_2O_5 на фоне $N_{60}K_{40}$, её уровень составил 32,5 – 35 ц/га, окупаемость удобрения зерном в данном случае очень низкая (около 4 кг/кг).

Эффективность фосфорных удобрений во многом зависит от метеорологических условий вегетационного периода. Для зерновых культур, как известно, особенно важное значение имеют осадки при фазах кущение – трубкование – колошение. Так в условиях Смоленской области (Гусейнов, 2000) высокая урожайность ярового ячменя формировалась при сумме осадков за вегетационный период 508 мм, а при сумме 221 мм – в два раза ниже. В первом случае количество зерен в колосе и масса 1000 зерен была выше, чем во втором.

В настоящее время для Нечернозёмной зоны внедрены интенсивные сорта озимой пшеницы, такие как Московская 39 и Московская 56. (Сандухадзе, Мамедов с соавт., 2019) Показали, что озимая пшеница сорта Московская 39 при благоприятных погодных условиях обеспечивала урожайность 5,0-8,03 т/га. Также сотрудниками НИИ сельского хозяйства «Немчиновка» выведены новые сорта ячменя интенсивного типа: Эльф, Нур, Выбор. Выявлено (Смирнов, Садовская с соавт., 2010), что сорт Нур обеспечивал урожайность ячменя ярового 45-50 ц/га при содержании фосфора в почве около 10 мг/100 г. Окупаемость 1 кг P_2O_5 составила 13,8 – 16,8 кг зерна. В засушливом году преимущество по урожайности было на высоком фосфатном фоне.

По обобщенным данным опытов (Сычев, Шафран, 2012) рекомендуется для расчета прибавок урожайности и окупаемости фосфорных удобрений использовать данные содержания подвижного фосфора в почвах, дозы фосфора и показатели реакции почвенной среды – эти факторы в основном определяют эффективность фосфорных удобрений.

С повышением содержания P_2O_5 в почве окупаемость 1 кг фосфорных удобрений снижается до 1,6-4,7 кг зерна озимой пшеницы. Наибольшая окупаемость фосфорных удобрений при внесении P_{30} составляла 19 кг/кг. При снижении окупаемости до уровня менее 6,3 кг/кг применение фосфорных удобрений на озимой пшенице становилось экономически не выгодным. С возрастанием показателя рН эффект от фосфорных удобрений снижался. Наибольшая корреляция прибавок урожая установлена с содержанием подвижного фосфора в почве и дозами фосфора для озимой пшеницы соответственно 0,55 – линейная и 0,88 – криволинейная на дерново-подзолистой почве Центрального округа (Сычёв, 2019).

Таким образом, эффективность фосфорных удобрений на слабоокультуренных дерново – подзолистых суглинистых почвах во многом зависит от известкования и содержания подвижного алюминия. Фосфорные удобрения снижают эффективность на известкованных почвах, особенно высокими дозами, а также при высоком содержании подвижного алюминия. На окультуренных из-

весткованных почвах, обеспеченных подвижными фосфатами, достигается более высокая урожайность зерновых культур при меньшей окупаемости фосфорных удобрений.

1.2 Эффективность цинковых удобрений на дерново-подзолистой почве в зависимости от применения удобрений при выращивании озимой пшеницы и ярового ячменя

Эффективность микроэлементов, в частности цинка, зависит от свойств почвы, удобрений и других факторов.

Проблема микроэлементов нашла отражение в работах (Ягодин, Муравин, 1983, Потатуева, (1983); Потатуева, Хлыстовский с соавт., 1984; Попов 1984, Попов; Ельников, 2000, 2002, Сычев, Аристархов, Сафонов с соавт., 2012). Выявлено участие цинка в важнейших физиологических процессах в растениях: дыхании, регулировании окислительно-восстановительных реакций, притоке метаболитов и энергии для синтеза нуклеиновых кислот, аминокислот, белков, углеводов, ауксинов, витамина С, рибосом и других. Цинк также активирует ряд ферментов, входит в их состав, участвует в регулировании поступления макро и микроэлементов, водного обмена растений, утилизации фосфора и азота, оказывает влияние на устойчивость их к болезням и неблагоприятным факторам внешней среды (Lindsay, 1972; Школьник, 1974; Пейве, 1961, 1975, 1980; Удрис, Нейланд, 1981; Kabata-Pendias, 2001). Недостаточность цинкового питания у культурных растений может проявляться такими внешними признаками как межжилковый хлороз, светло-зеленая окраска, скручивание листьев, мелколистность и др.

Особенно велика роль цинка в утилизации фосфора растениями, при его недостатке процессы фосфорилирования нарушаются, содержание неорганического фосфора возрастает. Происходят также нарушения углеводного и белкового обмена, синтеза ростовых веществ и хлорофилла.

Целым рядом исследований показано, что при недостатке цинка у растений возникают морфологические изменения, нарушается метаболизм углево-

дов, белков и серосодержащих соединений, вызывается также резкое угнетение ростовых процессов. снижение накопления биомассы. (Рудакова с соавт., 1975; Удрис с соавт., 1981; Мамилов с соавт., 1987; Каракис с соавт., 1990; Рошка, 1993; Stoyanova, 1995; Takahashi et al., 1997; Sekimoto et al., 1997).

Внешние симптомы цинкового голодания у растений проявляются по-разному: у злаковых и кукурузы наблюдается побеление верхушки листьев, или хлороз. Все растения, страдающие от недостатка цинка, задерживаются в росте, почти полностью прекращается рост междоузлия (Школьник, 1974).

Суммируя имеющиеся данные о физиологической роли цинка, следует отметить полифункциональность этого элемента. При его недостатке или избытке наблюдается нарушение ряда важнейших физиологических процессов, что вызывает появление специфических признаков заболевания у растений, животных и человека.

Состояние форм и соединений цинка в почве существенно зависит от кислотно – щелочных условий. Между доступностью цинка растениям и pH почвы выявлена обратная связь. С повышением pH поступление элемента в растение снижается за счет образования в почве труднорастворимых и прочно-связанных с твердыми фазами почвы соединений. Поэтому все агротехнические приемы, направленные на увеличение pH кислых почв, в конечном счете, снижают поглощение цинка сельскохозяйственными культурами. Физиологически кислые удобрения увеличивают содержание цинка в культурах, а физически щелочные – снижают (Анспек, 1990; Минеев, Алексеев с соавт., 1984; Аристархов, 2000; Сычев, Аристархов с соавт., 2009). В настоящее время почвы России имеют низкое содержание подвижного цинка и составляют около 97% пашни (Аристархов, 2020).

Недостаток цинка в почве наиболее часто проявляется при pH почвенного раствора 6-8. Цинк, подобно другим амфотерным металлам дает гидроокиси, которые в зависимости от pH среды могут вести себя как слабое основание или слабая кислота. При pH выше 8 растворимость цинка повышается, что связано с образованием цинкатов (Ельников, 2002, Mebride, Blasiak 1979) установили, что

образование микрочастиц гидроксида цинка на поверхности глин может привести к сильной зависимости удержания цинка в почвах от рН. Его адсорбция может ослабляться при низких рН за счет конкуренции со стороны других ионов, что приводит к легкой мобилизации и выщелачиванию цинка из кислых почв. При повышении рН, когда в почвенном растворе явно возрастает концентрация органических веществ, Zn-органические комплексы могут также вносить свой вклад в растворимость этого металла. Изменения свойств почвы влияют на фракционное распределение цинка, что в свою очередь определяет его подвижность в почве и доступность растениям (LiB at al, 2007; Steiner, at al, 2007).

На поступление цинка в растения большое влияние оказывают некоторые макро- и микроэлементы (Аштаб, 1994; Парибок, 1970, Парибок, Алексеева-Попова, 1965, 1975; Olsen, 1972;) Так установлено, что взаимодействие Zn-Mg и Zn-Ca различны в зависимости от вида растений и условий среды. Степанюк, Голенецкий (1991) отмечают, что увеличение дозы цинка, внесенного в почву, до 2000 мг/кг приводит к снижению содержания кальция в зерне овса на 60% по сравнению с контролем.

В основном большинство исследований свидетельствует, что применение фосфорных удобрений снижает поглощение цинка сельскохозяйственными культурами (Палавеев, Паратински с соавт., 1975, Ягодин, Торшин с соавт., 1989, 1992; Тарасова, Журавлева, 1984; Grantetal., 1989) приводит к уменьшению содержания в почвах подвижных форм цинка и затрудняет перемещение цинка в пределах растения. В итоге антагонизм между цинком и фосфором обуславливает падение концентрации цинка в культурах. Снижение содержания цинка в растениях под влиянием высоких доз фосфора приводит к негативным результатам, в частности к появлению или обострению цинкового хлороза. (Лагановский, 1952) в опытах со льном и другими культурами показал необходимость цинковых удобрений при внесении высоких доз фосфора. Растения с симптомами цинкового дефицита имеют в большинстве случаев повышенную концентрацию фосфора в тканях, которая может быть целиком обусловлена

только снижением роста надземной массы. Взаимодействие цинка и фосфора – процесс более сложный, чем простой эффект разбавления, вызванный внесением фосфорных удобрений и увеличением роста растений. Антагонизм между цинком и фосфором, вероятно, основан на химических реакциях в среде, окружающей корни (Olsen, 1972). Предполагается, что взаимодействие фосфатов и цинка в почве приводит к образованию труднорастворимых соединений, мало доступных растениям. Однако антагонизм цинка и фосфора не может быть объяснен только взаимным ограничением миграционной способности, тем более, что имеются и противоположные факты (Sakal, Singh, Singh, 1985). Так при изучении процессов сорбции цинка в чернозёме и лугово-чернозёмной карбонатной почве при внесении различных доз фосфора (Диалло, Кукушкин с соавт., 1990) показали, что фосфаты не приводят к образованию труднорастворимых соединений цинка. Установлено, что взаимодействие между цинком и фосфором определяется главным образом физиологическими процессами, происходящими в растениях. Так, (Stojanovic, 1980) в своих опытах с гибридами кукурузы, выращиваемыми в питательном растворе с меняющимся рН и концентрацией цинка, обнаружил, что количество фосфора в корнях обоих гибридов уменьшалось с возрастанием рН и концентрации цинка, тогда как в надземной части у одного из гибридов отмечалось снижение концентрации фосфора, а у другого она не зависела от вариантов опыта. Это позволило сделать вывод о наличии не только химического механизма взаимодействия цинка и фосфора, но и физиологического. Судя по сведениям, приведенным в обзоре (Парибок, 1970), взаимодействие между цинком и фосфором имеет место в поверхностных клетках корня, а также в клетках корня, осуществляющих транспорт этих элементов к надземным органам. (Safaya, 1976) считает, что избыток фосфора ингибирует поглощение цинка растениями путём снижения его транслокации через эндодермис в клетках ксилемы корней и, главным образом, в результате уменьшения величины поглощения через эпидермальный или поверхностный клеточный слой корня. Возрастание или снижение концентрации и общего поступления цинка в растения при внесении фосфорных удобрений сильно кон-

тролируется ростом надземной массы и размерами абсорбирующей поверхности корней. Результаты опытов автора показали, что фосфор уменьшает величину поглощения цинка корнями и таким образом ограничивает функциональные потребности растений в цинке.

Обычно антагонистическое действие фосфора на концентрацию цинка в растениях более выражено, чем цинка на содержание фосфора. Снижение концентрации фосфора в растении под влиянием цинковых удобрений отмечено и в других работах (Палавеев, Паратински с соавт., 1975, Golmick et al., 1970, Ринькис, Рамане с соавт., 1979).

Исследования (Brownetal., 1970) показали, что цинковый дефицит, индуцированный внесением фосфора, возникал при отсутствии добавок цинка в почву и, наоборот, цинк усиливал фосфорную недостаточность в питании растений на фоне без применения фосфорных удобрений. Авторы отмечают, что в обоих случаях дефицит цинка или фосфора легко устранялся внесением соответствующих удобрений. (Sakal, 1985) подтвердили это наблюдение в экспериментах по исследованию применимости цинканизированного суперфосфата на карбонатных почвах. Данный вид удобрения, имеющий благоприятное соотношение фосфора и цинка в своём составе (2,56 % Zn и 16% P₂O₅), оказался вполне эффективным в устранении дефицита цинка и фосфора и повышении урожаев культур на карбонатных почвах. Направленность взаимодействия между цинком и фосфором зависит от доз вносимых удобрений и фона, на котором они применяются (Orabietal., 1981; Brownetal., 1970). Так в вегетационном опыте на почве с низким содержанием доступного фосфора и низкой концентрацией его в растении внесение фосфорных удобрений повышало содержание цинка в различных частях растений, а применение цинка независимо от обработки фосфором увеличивало концентрацию фосфора в растительных тканях. Этим же авторы объясняют снижение урожая сухой массы растений при обработке цинком. (R. Savithri, 1980) в полевых опытах на цинкодефицитной почве установил, что цинковые удобрения в низкой дозе повышали усвояемость фосфора, а в высокой снижали.

Ряд исследователей полагают, что величина отношения фосфора к цинку в растительных тканях является более надежным показателем цинковой недостаточности, чем содержание цинка в них. В литературе известны попытки найти оптимальную величину соотношения P: Zn в тканях сельскохозяйственных культур. Установлено, что для листьев кукурузы она равна 62 и 65 (Chatietal., 1977). Для пшеницы при оптимальной дозе цинка величина P: Zn при всех уровнях фосфора изменялась от 185 до 206 в зерне и в пределах 57-82 в соломе (Singh, Singh, 1979). Во всех рассмотренных случаях определяющим фактором урожайности культур являются концентрации цинка в тканях растений.

Таким образом, цинк следует отнести к высокоактивной группе микроэлементов, а обеспеченность почв цинком следует рассматривать как один из существенных факторов, влияющих на плодородие почв и экологическое состояние окружающей среды. К экологически опасным следует относить почвы не только с избытком цинка, но и почвы с его недостатком, которые в стране имеют широкое распространение (Аристархов, 2000 Сычев, Аристархов с соавт., 2009). Как показано в обзоре (Аштаб, 1994), при дефиците цинка в среде роста растений возникает опасность увеличения поглощения сельскохозяйственными культурами целого ряда элементов, обладающими сильной фитотоксичностью, таких как Cd, Pb, Ni, а также Se, As, Fe, Mn, Cu.

В целом по стране (мониторинг агрохимслужбы России) пахотные почвы по содержанию цинка характеризуются как крайне неблагополучные (97,5% от обследованных) и лишь 2,5% как хорошо обеспеченные, что является свидетельством острого цинкового дефицита в земледелии России, вызывающего необходимость его преодоления (Аристархов, 2019). При этом цинк по степени дефицитности его содержания в пахотных почвах в ряду других микроэлементов стоит на первом месте. В основных крупных федеральных округах отмечается нуждаемость пахотных почв во внесении цинковых удобрений: так в Центральном – на 98,9% площадей, в Северо-западном на 98,1.

Современная отрицательная динамика содержания микроэлементов в почвах страны наряду с крайне ограниченным использованием микроудобре-

ний обусловлена: резким сокращением применения органических и минеральных удобрений, химических мелиорантов, фосфогипса и других агрохимических средств, содержащих определенное количество и состав микроэлементов. Вынос с урожаями сельскохозяйственных культур, выщелачивание выпадающими осадками, существенно уменьшают содержание подвижных форм микроэлементов в почвах. Изменения в содержании органического вещества, уровня кислотности, фосфатного режима, влияющие на подвижность и поведение в почвенном растворе микроэлементов так же влияют на их убыль (Аристархов, 2011, 2019).

Цинковые микроудобрения во всех зонах изучались, в основном, при внесении в почву. Заметный эффект от этих удобрений был получен на дерново-подзолистых почвах южно-таёжной лесной зоны (Аристархов, 2019). Как показывают данные полевых опытов агрохимической службы (1967-1988 гг.) урожай зерна озимой пшеницы колебался в варианте NPK + микроудобрения (Zn) в пределах 25,0-52,0 ц/га, максимальная прибавка зерна за счет цинкового микроудобрения повышалась (относительно фона) на 2,5-6,7 ц/га. Содержание белка в зерне при использовании цинка увеличивалось на 0,4-2,4% на дерново-подзолистых почвах, а клейковины – на 0,5-4,0%. О положительном его влиянии на качество зерна отмечает (Кудряшов, 1986). В целом установлено, что цинковые удобрения имеют приоритетность относительно борных и молибденовых на всех типах почв. По данным агрохимической службы в Московской области (1981-89 гг.) при применении цинковых микроудобрений прибавка урожайности ярового ячменя составила 3,3 ц/га, по содержанию белка – 0,2%, при урожайности на фоне NPK 33,1 ц/га. Данные опытов на Центральной опытной станции ВНИИ агрохимии подтверждают данные о положительном влиянии цинка: прибавки урожая озимой пшеницы составляли 10-16%, повышалось и содержание сырого белка на 1,2-2,4% (Аристархов с соавт., 2019).

Исследованиями агрохимслужбы выявлено, что пахотные почвы страны (97,5% площадей) имеют недостаточное содержание подвижного цинка и остро нуждаются в применении цинковых удобрений. Ежегодная потребность в

цинковых удобрений составляет порядка 22 тыс. т и в перспективе будет возрастать по мере интенсификации земледелия. В последние годы установлено, что применением цинковых удобрений можно обеспечить получение дополнительного урожая не на 10-15, а на 15-20%, что способствует повышению окупаемости вносимых туков урожаями зерна (Аристархов, 2019).

Так окупаемость цинковых микроудобрений урожаями зерна яровой пшеницы сорта Злата на дерново-подзолистых почвах различной степени окультуренности были на два порядка выше, чем традиционных NPK при основном внесении (в почву), особо важен тот факт (ранее не отмечаемый исследователями), что комплексное применение NPK + Zn повышает их общую эффективность. В условиях опыта агрохимслужбы с яровой пшеницей (средние данные за 2012-2014 г.г.) окупаемость применения 270 кг/га NPK возросла с 6,7 (без цинка) до 9,0-9,8 (с цинком) кг/кг на среднеокультуренных почвах и с 6,5 до 7,3-9,5 кг/кг на слабоокультуренных, а окупаемость от применения цинка прибавками урожая составляла 90-140 кг/кг. Опираясь на материалы исследований с цинковыми удобрениями, можно прогнозировать (Аристархов, 2019), при использовании цинковых микроудобрений при основном внесении в комплексе с минеральными в земледелии Центрального Нечерноземья возможность приблизиться по окупаемости минеральных удобрений прибавками урожая к наиболее развитым в сельскохозяйственном отношении странам. Таким образом имеющиеся сведения из различных источников показывают, что начиная с первых работ по микроэлементам и до настоящего времени их использование в агропроизводстве связано с наиболее распространенными резервами, восполняющими недостаток микроэлементов у растений: это химически чистые или технические соли и побочные продукты промышленности. В последние годы возрастает также значение совместного внесения макро и микроудобрений, как в твердом, так и жидком виде, что позволяет значительно повысить их эффективность (Аристархов, 2019).

Научно обоснованная система использования микроудобрений способствует поддержанию и воспроизводству плодородия почв, получению прибавок

урожая с необходимым качеством и сбалансированностью по элементному составу, повышению окупаемости традиционных удобрений, решению проблем белка, сахара, масла в растениеводстве (Сычев, Аристархов с соавт., 2009). В нашей стране до перестройки применялось не более 10 тыс. т микроудобрений, тогда как в США используется до 200 тыс. т микроудобрений в широком ассортименте с преобладанием цинк и борсодержащих видов (Allred, 1983, Silverberg, Young, Hoffmeister, 1972). Американская компания «TriChem» производит водорастворимое микроудобрение «Maxsul 0021» содержащее 21% цинка 4% серы. Компания «TheBayZinkCo» предлагает цинковое гранулированное безпылевое микроудобрение «Blu-Min» и другие. В Болгарии получают гранулированный двойной суперфосфат с цинком и молибденом, в Великобритании на основе фосфата аммония выпускают удобрения с содержанием 0,07-0,2% цинка и так далее (Аристархов, 2019).

Подтверждением необходимости формирования ассортимента микроудобрений в России является опыт их производства и применения в ряде зарубежных стран, что позволяет им обеспечить бездефицитное питание культур обоснованно и гибко в различных почвенно-климатических условиях на всех этапах их органогенеза.

Перспективный ассортимент микроудобрений в отечественном земледелии как по качественному составу, так и по объёму производства и применения в последние годы формировались в основном специалистами НИУИФ, ЦИ-НАО, ВНИИ агрохимии (Потутаева, 1983, Потутаева, Хлыстовский с соавт., 1984, Федюшкин, 1989, Аристархов, 2019) и другими учреждениями.

1.3 Влияние фосфорных и цинковых удобрений на качество зерна озимой пшеницы и ярового ячменя в зависимости от известкования дерново – подзолистой почвы

Основными показателями качества зерновых культур является содержание белка, клейковины, массы зерна и др., уровень которых зависит от многих

факторов. При внесении удобрений, как правило, повышается урожайность зерновых культур, что зачастую приводит к снижению качества (Сычев, 2005).

Многочисленными исследованиями установлено положительное влияние окультуренности дерново-подзолистых почв на качество продукции, в том числе зерна. При окультуренности почвы, связанной, в основном, с повышением реакции почвенной среды и обеспеченностью подвижными фосфатами в длительных полевых опытах происходит повышение содержания белка у зерновых культур (Авдонин, 1979; Адрианов, 2004; Кирпичников, Шильников, 2011). Так в опытах (Авдонин, 1979) самое низкое содержание белка в зерне ячменя было в варианте НК (9,9%), при внесении фосфорных удобрений оно повысилось до 11,3%, а на известкованной почве до 12%. В полевом стационарном опыте (Кирпичников, 2018) на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве самое низкое содержание сырого белка в зерне озимой пшеницы сорта Московская 39 было в варианте НК (11,4%), при внесении фосфорных удобрений на известкованной почве (по 2,5 г.к.) оно достигало 12,8%, содержание сырой клейковины в зерне повышалось с 24 до 29%.

На окультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве в условиях многолетнего опыта (Сычев, Кирпичников, 2016, Ваулина, 2018), когда применяется полное минеральное удобрение и периодическое известкование в комплексе со средствами защиты растений, урожайность озимой пшеницы сорта Мироновская 808 формирует в среднем за 9 лет урожайность 6,0 т/га, при этом содержание сырого белка и клейковины достигает уровня 2-3 классов (ГОСТ Р 52554 -2006).

В повышении урожайности зерновых культур и качества зерна имеют значение предшественники. Так размещение озимой пшеницы по бобовым культурам повышает её урожайность на 15-20% выше чем по другим предшественникам, при этом содержание белка и клейковины в зерне также повышается (Лошаков, 2012).

При изучении в полевом опыте на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве эффективности окультуренности установлено, что при средней

окультуренности по сравнению со слабоокультуренной почвой повышается не только урожайность ярового ячменя сорта НУР до 60 ц/га при внесении дозы P_2O_5 90 кг/га, но и содержание сырого белка в зерне на 1,8%, при этом повышается масса 1000 зерен на 12%. На окультуренной почве при внесении фосфорных удобрений качественные показатели зерна ячменя повышались в меньшей мере, чем на слабоокультуренной (Тованчев, 2018).

Фосфор, являясь составной частью клетки растений, участвует в синтезе белков, углеводов, в процессах дыхания растений. Поэтому в формировании продукции высокого технологического и питательного качества зерновых культур, в частности озимой пшеницы и ярового ячменя, фосфору принадлежит важная роль.

Данные, опубликованные в научной литературе, о действии фосфорных удобрений на содержание белка противоречивы. Это противоречие не случайно, так как синтез белковых веществ происходит при участии других элементов питания, и прежде всего азота. Резкий недостаток фосфора даже при нормальном азотном питании отрицательно сказывается на синтезе нуклеиновых кислот и через них – на синтезе белка. При одностороннем применении фосфорных удобрений содержание белка в зерне снижается. (Авдонин, 1982, Суров, 1984; Завалин, Сычев с соавт., 2014, Волынкин, 2019) отмечали, что фосфорные удобрения при достаточной обеспеченности растений азотом не снижают содержание белка у зерновых культур. Исследования (Кирпичников, 1989) показали, что при одностороннем фосфорном питании фосфор накапливается в тканях главным образом в минеральной форме и в форме нуклеотидов. В этом случае отношение органического фосфора к неорганическому, а также белкового азота к небелковому и содержание белка в зерне снижаются – тормозится процесс синтеза белка.

Многолетние исследования (Иванова, 1989) на дерново-подзолистой почве Смоленской области показали, что применение возрастающих доз фосфорных удобрений (от 60 до 270 кг/га P_2O_5) на фоне высокого уровня азотно-калийного питания не снижало содержания белка в зерне зерновых

культур при значительном повышении урожайности. Технологические показатели при этом практически не изменились.

Глубокие исследования по влиянию степени окультуренности дерново-подзолистой почвы и отдельных элементов питания на качество продукции проведены (Авдонин, 1979). Систематическое в течение 20 лет внесение физиологически кислых азотных и калийных удобрений приводило не только к снижению урожайности, но и ухудшению качества продукции в результате накопления в почве вредного для растений алюминия – содержание белка в растениях при этом значительно снижалось. Так, в зерне ячменя оно составляло на фоне НК 9,9, а на фоне NPK – 11,3%. Известкование повышало его содержание лишь на фоне НК.

Имеются также и другие данные о положительном влиянии фосфорных удобрений на белковость зерна озимой пшеницы и ячменя, полученные в длительном полевом опыте на слабоокультуренной дерново-подзолистой почве (Адрианов, 2004) применение фосфорных удобрений по 60 кг/га P_2O_5 ежегодно повышало содержание белка в зерне озимой пшеницы и ячменя на фонах внесенных азотных удобрений в дозах 50 и 100 кг/га. Наиболее высокое содержание сырого белка в зерне за годы проведения опыта получено при внесении $N_{150}P_{180}K_{90}$, а самое низкое – на контрольном фоне почвы или при одностороннем внесении на нем фосфорных удобрений. В длительном полевом опыте на ЦОС ВНИИ агрохимии (Кирпичников, Шильников, 2011) внесение фосфорных удобрений также повышало содержание белка в зерне на фоне НК. Увеличение содержания фосфора в зерне также может влиять на энергию прорастания, развитие корневой системы и как следствие на формирование более высокой урожайности и качества зерна (Roberts, 2009, Демоба, 1990).

Положительный результат сбалансированного питания растений азотом и фосфором в получении высокого качества зерна, ячменя и озимой пшеницы на серых лесных почвах была отмечена (Никитишен, 2002). При значительном повышении урожайности содержание белка несколько

повышалось, особенно в засушливый вегетационный период. (Окорков, 2003) отмечает положительную роль сбалансированного питания растений азотом фосфором и другими элементами питания в получении зерна озимой пшеницы и ярового ячменя.

О положительном влиянии фосфорных удобрений на качество зерна на фоне азотных и калийных удобрений свидетельствуют также данные опытов (Пасынков, 2004, 2018), полученные в результате обобщения в условиях Северо-Востока. Им установлена зависимость экстрактивности зерна ячменя от содержания белка, массы 1000 зерен и крахмала. Показано, что в зерне ячменя по мере повышения белковости, как правило, снижается содержание крахмала, а также чем больше крахмала в зерне, тем больше в нем экстрактивных веществ, и выше пивоваренная ценность сырья. Хорошим пивоваренным ячменем принято считать зерно с экстрактивностью не менее 76%, по ГОСТ 5060 – 86 -77.

По сводке (Коданев, 1964) на дерново-подзолистых почвах Центрального Нечерноземья внесение фосфорных удобрений при средних дозах на фоне азотно-калийных повышало экстрактивность зерна с 74,3 до 76,8% при уровне крахмалистости зерна около 76%. На эти показатели как и на содержание белка, пишет автор, сильно влияют погодные условия.

По данным Алтайского НИИ сельского хозяйства (Литвинцева, 2005) применение фосфорных удобрений на фоне N_{45} содержание белка в зерне ячменя не изменялось и составило 11,1%, а содержание крахмала и экстрактивность повышались.

Положительное влияние на содержание сырого белка в зерне разных сортов ярового ячменя от применения фосфорных удобрений получено в полевом опыте при интенсивной технологии в Московском НИИСХ (Пивоварова, 2009).

В полевом опыте на серой лесной почве Иркутской с.-х. академии (Гребенщиков, 2005) содержание крахмала находилось в прямой зависимости

от обеспеченности растений ячменя фосфором и в обратной – от азота, а содержание белка от фосфора не изменялось.

Содержание клейковины в зерне пшеницы, содержание белка и массы 1000 зерен коррелируют между собой, однако эта связь не всегда имеет линейный характер (Пасынков, 2018; Бегеулов, 2002; Алметов, Чернова с соавт., 2012).

По данным (Алметов, Чернова с соавт., 2012, Бугаев, 2013) содержание белка в зерне пшеницы и ячменя выше в засушливые годы, а экстрактивность и содержание крахмала в зерне ячменя ниже. Также эту закономерность выявили в опытах с пшеницей (Акимов, 2003).

Исследованиями (Новиков, Шаталов с соавт., 2015) установлено, что в сухие годы увеличивалась натура зерна пивоваренного ячменя, а содержание крахмала и экстрактивность по годам значительно не менялась.

Негативные свойства кислых почв: излишняя кислотность, подвижные формы алюминия, недостаток питательных веществ – оказывают отрицательное действие не только на величину урожая, но и на его качество. На кислых почвах в растениях нарушается белковый, углеводный и фосфорный обмен. Известкование создаёт благоприятные условия для обмена веществ в растениях, способствуя улучшению качества растительной продукции. Влияние извести на качество продукции может зависеть от свойств почвы, механического её состава, дозы и формы известкового материала и применяемых минеральных удобрений. Действие фосфорных удобрений на качество урожая также зависит от многих факторов: от кислотности почвы, обеспеченности растений азотом и другими питательными веществами. Известкование, улучшая физико-химические свойства почвы, повышает не только урожайность, но и качество продукции (Авдонин, 1976, Серов, 1974, Гомонова, 1986).

В условиях длительного полевого опыта содержание белка в зерне озимой пшеницы и ярового ячменя существенно повышалось при сочетании известковых и фосфорных удобрений (Кирпичников, 1989), причем больший эффект получен при известковании высокой дозой (1,5 г.к.).

На среднесуглинистой дерново-подзолистой почве (Немчиновка) при известковании, когда реакция почвенной среды составляла 5,8 единиц, содержание сырого белка в зерне ярового ячменя интенсивных сортов при дальнейшем повышении pH_{KCl} до 6,75 не повышалось (Кузмич, Капранов с соавт., 2017).

Многолетними исследованиями установлено, что озимая пшеница эффективно реагирует на внесении микроудобрений, важнейшими из них для нее являются марганец, молибден, медь, цинк и бор. Их вносят в почву вместе с основными минеральными удобрениями, а также с внекорневой подкормкой и предпосевной обработкой семян (Сандухадзе, 2012, Lieberman, 1970).

Под влиянием микроэлементов происходит улучшение качества продукции, в том числе мукомольных и хлебопекарных свойств зерна (Исайчев, 2004, Костин, Гусев с соавт., 2012).

Исследования показали (Семашкина, 2019), что под влиянием цинка и марганца, независимо от способов применения, происходило увеличение массовой доли клейковины на 1,4–3,1%. Микроэлементы положительно повлияли на степень гидратации клейковины, независимо от способа применения. Данный показатель увеличивался в среднем с 171,6 до 217,5 %. Обработка семян и вегетирующих растений цинком и молибденом, а также метеоусловия способствовали формированию зерна I и II групп качества. Использование микроэлементов при предпосевной обработке и внекорневом их внесении способствовало увеличению сбора зерна до 4,94 – 5,15 т/га в зависимости от варианта опыта. Максимальные значения по урожайности были получены при совместном использовании $MnSO_4 + ZnSO_4$ и составили 5,15 т/га.

Влияние известкования и длительного применения суперфосфата на урожайность и качество зерна озимой пшеницы и ярового ячменя при применении микроэлементов показано в длительном (52 года) полевым опыте ВНИИ агрохимии в Московской области на дерново-подзолистой почве

(Дильмухаметова, 2019). Улучшение режима питания при оптимизации кислотнo-основных условий и длительном последствии двойного суперфосфата и известкования на фоне систематического внесения азотно-калийных удобрений снижало накопление меди и цинка в зерне культур в отличие от соломы. Урожайность культур положительно коррелировала с содержанием подвижного фосфора ($R = 0,68-0,81$), обменных оснований ($R = 0,78-0,89$), органического углерода ($R = 0,44$) и соединений меди ($R = 0,49-0,86$) и цинка ($R = 0,55-0,77$) в составе ОВ почвы. Была обнаружена положительная корреляционная связь между содержанием органических комплексных соединений меди и цинка в почве и содержанием общего и белкового азота, фосфора, накоплением углеводов и в целом урожайностью растений. Содержание белкового азота варьировало в пределах 1,32-2,30% в зерне озимой пшеницы, 1,27-2,18% в зерне и 0,29-0,65% соломе ячменя. Максимальный урожай и наилучшие показатели урожайности культур (количество зерен в колосе, масса 1000 зерен) формировались при сочетании последствия известкования в дозе по 2,5 г.к. и двойного суперфосфата на фоне внесения азотно-калийных удобрений. Продуктивность зерна озимой пшеницы в этом варианте увеличилась в 3,2 раза до 52,8 ц/га (прибавка продуктивности составила 36,3 ц/га), зерна ячменя – в 2,7 раза до уровня 47,0-47,7 ц/га (прибавка продуктивности - 30,2 ц/га) по сравнению с контролем. На фоне последствия известкования подвижность меди и цинка в почве понижается. Подкисление почвы приводит к повышению содержания подвижных обменных форм цинка и меди в почве и, как следствие, увеличивает усвоение элементов растениями.

При возделывании зерновых культур по интенсивным технологиям, как известно, возрастает роль микроэлементов. Их эффективность зависит от почвенно-агрохимических условий, биологических особенностей растений и видов микроудобрений. Большинство почв Центрального Нечерноземья имеет недостаточное содержание микроэлементов особенно цинка и остро нуждаются в применении цинковых удобрений. Эффективность которых

зависит от многих факторов, имеет значение, при этом, содержание гумуса и подвижного фосфора в почве и другие свойства почвы.

Однако результатов исследований по изучению эффективности удобрений в связи с известкованием и применением цинковых удобрений, а также при возделывании новых сортов зерновых культур в условиях длительного полевого опыта на дерново-подзолистых почвах Нечерноземья крайне недостаточно, тем более в интенсивных технологиях.

Таким образом, из анализа литературных источников следует заключить, что вопросы эффективного применения фосфорных и цинковых удобрений в условиях известкования изучены недостаточно, тем более в длительных полевых опытах, когда под влиянием удобрений и извести происходят существенные изменения агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы, сложные процессы взаимодействия макро- и микроудобрений в условиях различного уровня известкования. Относительно мало проведено исследований по изучению сочетаний указанных приемов в интенсивных технологиях возделывания озимой пшеницы и ярового ячменя высокопродуктивных современных сортов. Недостаточно изучено действие фосфорных удобрений в сочетании с цинковыми микроудобрениями в условиях известкования на качество зерна озимой пшеницы и ярового ячменя интенсивных сортов, а приведенные в литературе результаты противоречивы.

ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в длительном полевом опыте СШ-27, заложенном в 1966 году на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Центральной опытной станции ВНИИ агрохимии (Московская область, Шеданцевский участок).

Исходная почва полевого опыта слабоокультуренная: рН_{KCl} 3,9-4,2; гумус 1,50%; сумма оснований 7,5-8,2; гидролитическая кислотность 4,9-5,2; обменная кислотность 0,55-0,57 ммоль-экв/100г; степень насыщенности основаниями 57-63%. Содержание подвижных форм фосфора и калия в почве 30-70 и 112-115 мг/кг соответственно.

Изучение проводили в севообороте со следующим чередованием культур: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Московская 39, яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.) сорта НУР с подсевом клевера (*Trifolium pratense* L.), клевер двух лет пользования (в последние годы- 11-я и 12-я ротации- один год пользования). Эффективность фосфорных удобрений в зависимости от известкования и применения цинка изучали на фонах извести 1,5 г.к. (по 0,5 г.к. в первых трех ротациях – в сумме 11,5 т/га) и 2,5 г.к. (по 1,0 г.к. в первой и третьей и 0,5 г.к. в восьмой ротациях – в сумме 17 т/га), а также на фоне без извести (НК).

Минеральные удобрения применяли ежегодно в виде аммиачной селитры (N34%), двойного суперфосфата – в 12-й ротации в форме аммофоса (N12%, P52%), хлористого калия (K₂O – 60%). Под озимую пшеницу удобрения вносили в дозах N₁₂₀P₉₀K₉₀: N₃₀ - осенью под культивацию, N₃₀ - весной в почву в начале вегетации растений, N₆₀ - в начале трубокования; под яровой ячмень N₉₀P₆₀K₉₀.

Цинковые удобрения применяли в форме сернокислого цинка в дозе 5,0 кг/га перед посевом озимой пшеницы и ярового ячменя под культивацию. Для чего использовали запасные деланки площадью 100 м², которые делили пополам. Повторность опыта 3-х кратная. Анализы почвы и растений проводили согласно ГОСТам: содержание общего азота в зерне и соломе по Кьельдалю ГОСТ 13996.4-93, фосфора ГОСТ 26657-97, калия ГОСТ 30504-97; содержание белка в зерне определяли по ГОСТ 10846-91; натурную массу зерна по ГОСТ 10840-64; массу 1000 зерен по ГОСТ 10842-89; сумму

поглощенных оснований (по Каппену) по ГОСТ Р 50682-94; обменную кислотность по ГОСТ Р 58594-2019; рН_{КС} по ГОСТ 26423-85; гидролитическую кислотность по методу Каппена в модификации ЦИНАО ГОСТ 26213-91; подвижный цинк по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО ГОСТ Р 50687-94; подвижный фосфор и калий (по Кирсанову) по ГОСТ 54650-2011; подвижный алюминий по ГОСТ 26485-86. В качестве общего фона вносили гербициды, фунгициды и ретарданты нового поколения. Агротехника – принятая в Московской области. Уборку урожая проводили комбайном «Сампо» поделяночно с 28 м². Экономическую эффективность применения удобрений рассчитывали по «Справочнику экономиста сельскохозяйственных организаций» (2012); энергетическую эффективность – по Никифорову, Токареву с соавт., (1995); статистическую обработку данных – по Доспехову, (1989).

Метеорологические условия вегетационного периода значительно различались по годам и месяцам (таблица 1).

Таблица 1

Метеорологические условия в 2016 – 2019 годах (по данным метеопоста ЦОС ВИУА)

Годы	Показатели		Метеоданные (средние по месяцам)											
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2016	Средне - суточная t воздуха, °C	Много- летняя	-10,8	-10,2	-5,4	3,6	13,4	15,4	17,7	16,0	10,3	3,9	-2,7	-7,7
		ЦОС ВИУА	-9,7	-2,6	-0,4	7,8	14,3	17,9	20,7	19,3	11,5	4,3	-4,9	-5,5
	Осадки, мм	Много - летние	35,0	34,0	39,0	35,0	49,0	63,0	78,0	74,0	58,0	55,0	45,0	42
		ЦОС ВИУА	30,5	15,4	24,4	23,5	42,9	90,0	88,9	279,6	173,8	34,7	127,0	17,7
2017	Средне - суточная t воздуха, °C	Много- летняя	-10,8	-10,2	-5,4	3,6	13,4	15,4	17,7	16,0	10,3	3,9	-2,7	-7,7
		ЦОС ВИУА	-8,5	-4,8	2,1	5,7	11,4	15,4	17,8	19,0	13,0	6,8	2,6	+0,2
	Осадки, мм	Много- летние	35,0	34,0	39,0	35,0	49,0	63,0	78,0	74,0	58,0	55,0	45,0	42,0
		ЦОС ВИУА	42,4	34,0	67,1	57,1	92,0	148,1	231,8	125,6	80,6	98,3	35,2	86,3

продолжение таблицы 1

2018	Средне - суточная t воздуха, °С	Много- летняя	-10,8	-10,2	-5,4	3,6	13,4	15,4	17,7	16,0	10,3	3,9	-2,7	-7,7
		ЦОС ВИУА	-4,5	-10,2	-6,1	6,6	15,0	16,3	20,0	18,5	11,8	7,4	-1,1	-6,4
	Осадки, мм	Много - летние	35,0	34,0	39,0	35,0	49,0	63,0	78,0	74,0	58,0	55,0	45,0	42,0
		ЦОС ВИУА	41,5	54,2	24,3	89,3	52,0	51,6	127,6	27,8	81,6	59,0	16,7	40,8
2019	Средне - суточная tвоздуха, °С	Много- летняя	-10,8	-10,2	-5,4	3,6	13,4	15,4	17,7	16,0	10,3	3,9	-2,7	-7,7
		ЦОС ВИУА	-7,4	-2,1	-0,2	6,3	15,3	18,8	15,7	15,3	11,1	8,0	1,2	0,5
	Осадки, мм	Много- летние	35,0	34,0	39,0	35,0	49,0	63,0	78,0	74,0	58,0	55,0	45,0	42,0
		ЦОС ВИУА	49,3	54,3	40,4	45,0	96,4	194,0	223,8	74,0	42,2	75,0	33,0	25,7

Во все годы за осень выпало достаточное количество осадков (больше среднемноголетней нормы в 1,2-1,5 раза), что благоприятно сказалось на росте и развитии растений озимой пшеницы перед уходом в зиму. Недостаточное увлажнение наблюдалось в августе 2018 года, когда осадков выпало 30% от среднемноголетнего количества. Поэтому всходы растений появились с запозданием, коэффициент кущения был невысоким и составлял в конце осени около 2,0 вместо 3,0-3,5 – в благоприятные годы. В весенний период 2017, 2018 гг. сложились относительно благоприятные для роста озимой пшеницы и ячменя, как по температурному режиму, так и по обеспеченности осадками, что сказалось положительно на урожайности зерновых культур. В 2019 году за период май-июль выпало избыточное количество осадков – в 2-3 раза выше многолетнего. Так в июне выпало осадков 194 мм, в июле 223,8 мм при среднемесечной норме 63,0 и 78,0 мм соответственно. За весенне-летний период 2019 года резко изменялась температура воздуха, в конце мая и начале июня t доходила до отметки 30-33 °С, а в июле и августе при обилии осадков t снижалась до 16-18 °С, что сказалось отрицательно не только на урожайности озимой пшеницы и ярового ячменя, но на качестве зерна. Наиболее благоприятным вегетационный период был в 2018 году, когда формировалась наибольшая урожайность и обеспечивались лучшие качественные показатели зерна озимой пшеницы и ярового ячменя.

В результате периодического известкования и систематического внесения минеральных удобрений за годы проведения полевого опыта (с 1966

по 2016 год) изменились агрохимические свойства дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (таблица 2).

Таблица 2

Влияние длительного применения удобрений и известкования на агрохимические показатели дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы, данные 2015 г (11-я ротация)

Вариант	рН _{KCl}	Нг, ммоль- экв/100г	V, %	Содержание подвижных форм, мг/кг			Гумус, %
				P ₂ O ₅	K ₂ O	Al	
без удобрений	4,0	5,32	53	30,1	105,4	45,6	1,25
NK	3,8	6,77	40	28,0	171,0	130,1	1,26
NK+P	4,0	6,42	43	85,2	142,0	102,5	1,39
NK+известь 1,5г.к.	4,7	5,00	60	27,5	135,0	34,6	1,27
NK+известь 1,5г.к.+P	4,8	4,10	67	87,5	128,0	32,0	1,30
NK+известь 2,5г.к.	5,3	3,60	70	40,5	125,0	14,2	1,26
NK+известь 2,5г.к.+P	5,5	3,50	80	93,0	119,2	10,0	1,39
НСР ₀₅	0,3	1,10	6,2	13,1	14,6	19,0	0,50

При систематическом внесении физиологически кислых азотных и калийных удобрений (фон NK) достоверно снижалась степень насыщенности основаниями, несколько уменьшалась реакция почвенной среды. Особенно повысилось (почти в 3 раза) по сравнению с вариантом без удобрений содержание подвижного алюминия в почве и достигло в 11-й ротации 130,1 мг/кг.

Периодическое известкование, особенно высокой дозой (2,5 г.к.), значительно улучшало физико-химические свойства почвы. Так, степень насыщенности основаниями в варианте с внесением извести по 2,5 г.к. достигла почти 80%, почва из группы сильнокислых перешла в группу слабокислых. Существенное влияние оказало известкование на содержание подвижного алюминия в почве, даже небольшая доза извести (по 1,5 г.к.)

снизила этот показатель в 11-й ротации почти в 4 раза по сравнению с фоном НК. Содержание подвижного фосфора в почве значительно (с 30,1 до 93,0 мг/кг) повысилось от применения фосфорных удобрений. В последние годы дозы фосфорных удобрений были увеличены, содержание подвижного фосфора увеличилось до 102 мг/кг. При наличии в севообороте клевера содержание гумуса по вариантам опыта существенно не изменилось и составляло 1,30-1,39%.

ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИНКА ПРИ ИЗВЕСТКОВАНИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

3.1 Урожайность озимой пшеницы

Растения озимой пшеницы, как известно, требовательны к плодородию почвы и минеральному питанию. Оптимальная реакция среды составляет 6,0-6,5 единиц, которая зависит от свойств почвы.

Улучшение агрохимических свойств в нашем опыте положительно сказалось на урожайности озимой пшеницы сорта Московская 39, которая изменялась и по годам в зависимости от метеоусловий и применяемых удобрений (таблица 3).

Таблица 3

Урожайность озимой пшеницы в зависимости от применения фосфорных удобрений и цинка при известковании дерново-подзолистой почвы, ц/га

Вариант	2017 г.	2018 г.	2019 г.
рН _{KCl} 4,0 (без извести)			
Без удобрений	19,5	25,6	20,3
N ₁₂₀ K ₉₀	20,3	26,3	25,4
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	42,5	40,1	34,1
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	46,0	43,6	36,4
рН _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)			
N ₁₂₀ K ₉₀	36,1	34,1	31,2
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	54,7	50,5	40,6
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	58,7	55,6	47,1
рН _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)			
N ₁₂₀ K ₉₀	52,1	49,1	47,9
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	65,6	68,3	55,4
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	70,5	74,5	62,6
НСР ₀₅	3,8	3,2	2,6

В наиболее благоприятном 2018 году получена наибольшая урожайность по сравнению с другими годами, даже в варианте контроля (без

удобрений) формировалась урожайность зерна, равная 25,6 ц/га. Применение одних только азотных и калийных удобрений на известкованной почве не оказало положительного влияния на урожайность озимой пшеницы, что связано с увеличением содержания токсичного для растений подвижного алюминия в почве с 45 до 131 мг/кг, при систематическом применении физиологически кислых минеральных удобрений в форме аммиачной селитры и хлористого калия. Применение фосфорных удобрений оказало существенное влияние на урожайность как на известкованной почве, так и на известкованной. Особенно высокий эффект от систематического внесения фосфорных удобрений получен в 2017 и 2018 годах. Так в 2017 году на известкованном фоне урожайность озимой пшеницы повышалась в два раза, в 2018 году – на 53%. На известкованной почве высокой дозой (2,5 г.к.), эффективность фосфорных удобрений снижалась – прибавки урожая составляли соответственно 26 и 40%. В 2019 году с избыточным количеством осадков в летний период, фосфорные удобрения были менее эффективны, но обеспечивали также достоверные прибавки урожая на всех фонах по извести.

В этих условиях на известкованной почве при реакции почвенной среды 4,0 урожайность озимой пшеницы увеличилась на 34%, на известкованной большой дозой (по 2,5 г.к.) при значении pH_{KCl} 5,4 – 16%. Снижение действия фосфорных удобрений на известкованном фоне связано с улучшением обеспеченности растений фосфором за счет мобилизации почвенных и внесенных фосфатов под влиянием извести, особенно при высокой дозе. Так в 2017 году урожайность озимой пшеницы под влиянием извести на фоне азотно-калийных удобрений увеличилась в 2,5 раза, в 2018 – в 1,9 раз, в 2019 – в 1,8 раза. На фоне полного минерального удобрения действие извести ослаблялось.

Внесение цинковых удобрений обеспечивало дополнительное повышение урожайности озимой пшеницы, в большей степени это отмечалось на известкованной почве по 2,5 г.к., когда прибавки урожая были достоверными и достигали 6,8 и 7,2 ц/га. Максимальная урожайность озимой пшеницы формировалась при внесении полного минерального удобрения $N_{120}P_{90}K_{90}$ с использованием цинка на известкованной почве по 2,5 г.к. (pH_{KCl} 5,4) – в наиболее благоприятном 2018 году она достигала 74,5 ц/га. В среднем

за три года максимальная урожайность при этом составляла 69,2 ц/га, что выше уровня контроля в 3,2 раза (таблица 4.).

Таблица 4

Урожайность озимой пшеницы и окупаемость зерном в зависимости от применения фосфорных удобрений и цинка при известковании дерново-подзолистой почвы (среднее за 2017-2019 годы)

Вариант	Урожайность , ц/га	Прибавка от P ₂ O ₅ , ц/га	Прибавка от Zn, ц/га	Окупаемость 1 кг NPKзерном, кг	
				без Zn	с Zn
pH _{KCl} 4,0 (без извести)					
Безудобрений	21,8	-	-	-	-
N ₁₂₀ K ₉₀	24,0	-	-	-	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	38,9	14,9	-	5,7	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	42,0	-	3,1	-	7,1
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)					
N ₁₂₀ K ₉₀	33,8	-	-	-	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	48,6	14,8	-	8,9	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	53,8	-	5,2	-	10,7
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)					
N ₁₂₀ K ₉₀	49,7	-	-	-	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	63,1	13,4	-	13,8	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	69,2	-	6,1	-	15,8

Фосфорные удобрения оказали значительное влияние на среднюю урожайность озимой пшеницы, прибавки составляли в зависимости от известкования 13,4-14,9 ц/га, но их эффективность по отношению к варианту N₁₂₀K₉₀ без извести (в процентном выражении) на известкованной почве снижалась. Если на неизвесткованной почве урожайность от их применения повышалась на 62%, то на известкованной почве по 2,5 г.к. (pH_{KCl} 5,4) – на 28%. Эффект от известкования большой дозой составил в среднем за 3 года 107%. Применение цинковых удобрений при низком содержании подвижного цинка в почве (0,6-0,9 мг/кг) повышало среднюю урожайность на известкованной почве на 10%, на неизвесткованной – на 7,9%, что

свидетельствует о повышении потребности в цинке для растений при известковании.

Окупаемость минеральных удобрений ($N_{120}P_{90}K_{90}$) зерном при внесении на известкованной почве по 2,5 г.к. повышалась в 2,4 раза по сравнению с их применением на неизвесткованной почве и достигала 13,8 кг/кг, а с применением цинковых микроудобрений – 15,8 кг/кг.

Установлена корреляционная зависимость урожайности озимой пшеницы от агрохимических свойств почвы (таблица 5). Получена тесная прямая корреляция между урожайностью озимой пшеницы и значением pH_{KCl} почвы, она была относительно высокой ($r = 0,90$; $d = 0,81$), а зависимость её от гидролитической кислотности обратной и достаточно тесной ($r = - 0,76$; $d = 0,58$). Высокая корреляция урожайности озимой пшеницы установлена также с содержанием подвижного фосфора в почве.

Таблица 5

Корреляционная зависимость урожайности озимой пшеницы от агрохимических показателей дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы

Показатель	Коэффициент корреляции, r	Коэффициент детерминации, d	F_{Φ}	F_T	Уравнение регрессии
pH_{KCl}	0,90	0,81	20,96	6,61	$y=28,47x - 93,11$
P_2O_5 , мг/100 г (по Кирсанову)	0,80	0,64	8,73	6,61	$y=5,7x + 14,85$
$Hг$, мг-экв/100 г	- 0,76	0,58	6,80	6,61	$y=88 - 9,2x$

Урожайность соломы, как и зерна зависела от погодных условий и применения удобрений (Приложение 1).

В 2017 году она достигала 73,4 ц/га, что выше контроля в 3,4 раза, а в наиболее благоприятном 2018 году – в 2,9 раза. То есть в наиболее благоприятных условиях урожайность зерна формировалась в большей степени, чем урожайность соломы. В среднем за 2017-2019 годы максимальная урожайность соломы (68,5 ц/га) достигалась при внесении фосфорных и цинковых удобрений на известкованной почве по 2,5 г.к., что выше уровня контроля в 2,9 раза. В то время как урожайность зерна озимой пшеницы в этом варианте увеличилась в 3,2 раза, что свидетельствует о

положительном влиянии изучаемых средств на получение репродуктивной части урожая (зерна), в большей мере, чем вегетативной (соломы).

3.2 Структура урожая озимой пшеницы

Урожайность зерна озимой пшеницы зависела от структуры (таблицы 6, 7)

Таблица 6

Влияние фосфорных и цинковых удобрений при известковании на структуру урожая озимой пшеницы

Вариант	Масса 1000 зерен, г			Количество зерен в колосе, шт		
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
pH _{KCl} 4,0 (без извести)						
Безудобрений	42,3	44,4	39,9	19,0	18,5	16,2
N ₁₂₀ K ₉₀	42,3	44,0	40,0	19,1	18,9	16,6
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	43,5	44,6	42,1	24,0	24,9	22,1
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	43,7	44,5	42,6	24,3	25,0	22,8
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)						
N ₁₂₀ K ₉₀	45,5	45,3	42,7	24,4	25,1	22,5
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	45,9	46,0	43,5	25,6	26,0	24,2
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	46,4	46,2	43,9	25,9	26,4	24,7
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)						
N ₁₂₀ K ₉₀	45,8	46,0	43,4	27,1	26,4	25,4
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	46,6	47,1	44,4	28,6	27,8	26,2
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	46,9	47,0	44,6	29,0	28,2	26,6

Влияние фосфорных и цинковых удобрений при известковании на структуру урожая озимой пшеницы (среднее за 2017-2019 годы)

Вариант	Масса 1000 зерен, г	Количество зерен в колосе, шт	$K_{\text{хоз.}}$
рН _{KCl} 4,0 (без извести)			
Без удобрений	42,2	17,9	0,43
N ₁₂₀ K ₉₀	42,0	18,2	0,42
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	43,4	23,7	0,45
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	43,6	24,0	0,46
рН _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)			
N ₁₂₀ K ₉₀	44,5	24,1	0,45
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	45,0	25,3	0,46
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	45,5	25,7	0,46
рН _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)			
N ₁₂₀ K ₉₀	45,3	26,2	0,48
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	46,1	27,5	0,49
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	46,2	27,9	0,49

В более благоприятные 2017, 2018 годы масса 1000 зерен и количество их в колосе были выше, чем в менее благоприятном 2019 году. Так в варианте контроля масса 1000 зерен в первом случае составляла 42,3 и 44,4 г, во втором 39,9 г, количество зерен в колосе соответственно 19,0; 18,5 и 16,2 шт. Во все годы эти показатели максимальных величин достигали при внесении полного минерального удобрения с использованием цинка на известкованной почве, когда значение рН_{KCl} достигало 5,4 (известь по 2,5 г.к.). В среднем за 2017-2019 годы в этом варианте масса 1000 зерен составила 46,2 г, а количество зерен в колосе 27,9 шт., что выше контроля на 10,0 и 55,0% соответственно.

Хозяйственный коэффициент урожая (отношение массы зерна к общей массе – (зерно+солома) составил в среднем 0,43-0,49. Применение удобрений на известкованной почве несколько повышало хозяйственный коэффициент урожая до максимума в 0,49, что свидетельствует о положительном влиянии удобрений на формирование большей мере репродуктивной части урожая, чем вегетативной.

3.3 Содержание и вынос азота, фосфора и калия урожаем озимой пшеницы в зависимости от применения удобрений

Содержание элементов питания и вынос их урожаем зависели также от метеорологических условий года и применяемых средств (таблицы 8-13).

Таблица 8

Содержание и вынос элементов питания зерном озимой пшеницы, 2018 г

Вариант	Содержание, %			Вынос, кг/га		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
рН _{KCl} 4,0 (без извести)						
Без удобрений	2,18	0,61	0,44	55,8	15,6	11,3
N ₁₂₀ K ₉₀	2,30	0,58	0,50	60,2	15,3	13,2
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	2,25	0,65	0,51	90,0	26,0	20,3
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	2,27	0,70	0,50	98,1	30,5	21,8
рН _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)						
N ₁₂₀ K ₉₀	2,32	0,64	0,36	79,1	21,8	12,3
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	2,30	0,67	0,38	116,2	33,8	19,2
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	2,35	0,69	0,36	128,0	38,5	20,0
рН _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)						
N ₁₂₀ K ₉₀	2,38	0,70	0,33	112,9	34,3	16,2
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	2,36	0,74	0,40	160,5	50,5	27,3
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	2,30	0,69	0,39	171,0	51,4	29,1

Таблица 9

Содержание и вынос элементов питания соломы озимой пшеницы, 2018 г

Вариант	Содержание, %			Вынос, кг/га		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
рН _{KCl} 4,0 (без извести)						
Безудобрений	0,43	0,19	1,49	10,3	4,5	36,0
N ₁₂₀ K ₉₀	0,49	0,17	1,50	12,6	4,4	38,5
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	0,45	0,22	1,51	18,5	9,0	51,8
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	0,44	0,23	1,50	19,4	10,1	66,0
рН _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)						
N ₁₂₀ K ₉₀	0,47	0,26	1,52	15,9	8,8	51,2
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	0,50	0,30	1,49	24,9	14,8	73,5
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	0,52	0,30	1,50	26,5	15,7	76,0
рН _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)						
N ₁₂₀ K ₉₀	0,45	0,29	1,45	22,5	14,5	73,8
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	0,40	0,32	1,51	27,6	22,0	103,5
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	0,45	0,34	1,51	31,5	23,8	105,8

Таблица 10

Вынос элементов питания озимой пшеницей (зерно + солома), 2018г

Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
рН _{KCl} 4,0 (без извести)			
Без удобрений	66,1	20,1	47,3
N ₁₂₀ K ₉₀	73,1	19,7	51,7
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	108,5	35,0	82,1
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	117,5	40,6	85,8
рН _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)			
N ₁₂₀ K ₉₀	95,0	30,6	63,5
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	141,0	48,6	92,7
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	154,5	54,2	96,0
рН _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)			
N ₁₂₀ K ₉₀	135,5	48,5	91,2
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	188,0	72,5	130,8
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	202,5	75,2	134,9

Таблица 11

Содержание и вынос элементов питания зерном озимой пшеницы, 2019 г

Вариант	Содержание, %			Вынос, кг/га		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
рН _{KCl} 4,0 (без извести)						
Безудобрений	1,92	0,57	0,48	38,0	10,1	9,7
N ₁₂₀ K ₉₀	2,14	0,56	0,50	50,0	14,2	12,7
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	2,10	0,59	0,50	71,6	20,1	17,3
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	2,12	0,63	0,52	76,4	22,9	19,5
рН _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)						
N ₁₂₀ K ₉₀	2,10	0,60	0,40	62,4	18,6	14,4
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	2,20	0,62	0,50	99,2	25,2	20,8
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	2,20	0,63	0,50	102,0	29,6	23,6
рН _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)						
N ₁₂₀ K ₉₀	2,25	0,65	0,50	105,2	31,1	24,0
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	2,26	0,70	0,52	125,2	38,5	28,3
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	2,26	0,69	0,51	141,2	43,2	31,7

Таблица 12

Содержание и вынос элементов питания соломой озимой пшеницы, 2019 г

Вариант	Содержание, %			Вынос, кг/га		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
рН _{KCl} 4,0 (без извести)						
Безудобрений	0,40	0,24	1,32	10,4	6,0	32,6
N ₁₂₀ K ₉₀	0,42	0,25	1,35	12,2	6,5	39,0
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	0,50	0,24	1,31	20,0	9,6	52,2
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	0,45	0,26	1,30	20,3	10,9	53,4
рН _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)						
N ₁₂₀ K ₉₀	0,51	0,30	1,30	18,4	10,9	47,3
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	0,50	0,34	1,38	22,9	15,6	51,6
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	0,51	0,36	1,38	20,0	15,9	54,0
рН _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)						
N ₁₂₀ K ₉₀	0,46	0,32	1,32	23,9	16,6	68,6
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	0,45	0,29	1,34	28,8	18,8	79,7
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	0,45	0,29	1,34	29,2	19,4	84,0

Вынос элементов питания озимой пшеницей (зерно + солома), 2019г

Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
pH _{KCl} 4,0 (без извести)			
Без удобрений	48,4	16,1	42,3
N ₁₂₀ K ₉₀	62,2	20,7	51,0
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	91,6	29,7	69,6
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	97,7	33,8	72,9
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)			
N ₁₂₀ K ₉₀	80,8	29,5	61,6
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	123,0	40,8	72,5
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	128,1	45,5	71,6
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)			
N ₁₂₀ K ₉₀	129,1	47,7	92,6
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	154,0	57,3	108,0
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	165,0	62,7	115,8

В 2018 году содержание азота и фосфора в растениях озимой пшеницы было выше, чем в 2019 году. На известкованной почве их концентрация в зерне урожая 2018 и 2019 годов несколько повышалась, но в соломе практически не изменялась. В соломе содержание азота и калия практически не изменялось, а содержание фосфора увеличивалось незначительно.

Вынос основных элементов питания зависел в основном от урожайности озимой пшеницы. В 2018 году максимальный вынос составил: азота – 202,5 кг/га, фосфора – 75,2 кг/га, калия – 134,9 кг/га при уровнях в контроле 66,1; 20,1 и 47,3 кг/га соответственно. В 2019 году эти величины были ниже чем в 2018 году и при внесении удобрений достигали: азота – 165,0 кг/га, фосфора – 62,7 кг/га, калия – 115,8 кг/га. Повышение выноса отмечалось в большей мере от применения фосфорных удобрений и известкования, в меньшей степени от применения цинковых микроудобрений. Вынос фосфора в расчете на 1 т урожая составил в среднем в варианте контроля 9,0 кг, в варианте с внесением фосфорных и цинковых удобрений на известкованной почве – 9,6 кг.

Растения озимой пшеницы использовали из удобрений различное количество фосфора в зависимости от варианта опыта (таблица 14).

Таблица 14

Использование фосфора растениями озимой пшеницы, среднее за 2018, 2019
годы

Вариант	Внесено P ₂ O ₅ , кг/га	Вынос P ₂ O ₅ , кг/га	КИФ, %
pH _{KCl} 4,0 (без извести)			
Без удобрений	-	18,1	-
N ₁₂₀ K ₉₀	-	20,2	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	90	32,4	13,6
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	90	37,2	18,8
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)			
N ₁₂₀ K ₉₀	-	30,1	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	90	44,7	25,2
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	90	49,9	33,0
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)			
N ₁₂₀ K ₉₀	-	48,1	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	90	64,9	49,7
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	90	69,0	54,2

Примечание: КИФ – коэффициент использования фосфора.

Данные таблицы 14 показывают, что фосфорное питание растений зависит не только от внесения фосфорных удобрений, но и от известкования и применения цинковых микроудобрений. На известкованной почве в дозе 1,5 г.к. увеличивается вынос фосфора на 49%, в дозе 2,5 г.к. в 2,4 раза. При внесении фосфорных удобрений действие извести ослабляется, так как потребление растениями фосфора во многом обеспечивается за счет фосфорных удобрений. Использование фосфора растениями по отношению к общему фону НК при известковании значительно повышается. Если на неизвесткованной почве коэффициент использования фосфора составил 13,6%, то на известкованной по 2,5 г.к. – 49,7%. Применение цинковых микроудобрений приводит к дальнейшему повышению КИФ до 54,2%.

Таким образом, при сочетании фосфорных и цинковых удобрений при известковании, когда значительно улучшаются агрохимические свойства дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы, достигается урожайность озимой пшеницы около 7,0-7,5 т/га, повышается коэффициент использования фосфора до 54%.

ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ ФОСФОРНЫХ И ИЗВЕСТКОВЫХ УДОБРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИНКА ПРИ ИЗВЕСТКОВАНИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

4.1 Урожайность ярового ячменя

Культура ярового ячменя по своим биологическим особенностям в силу слаборазвитой корневой системы отличается высокой требовательностью к плодородию почвы и минеральному питанию. Яровой ячмень в условиях Центрального Нечерноземья хорошо отзывается на известкование, когда близка к нейтральной реакция почвенной среды (pH_{KCl} 5,5-6,0). Отличается яровой ячмень (как показано в обзоре литературы) и высокой требовательностью к фосфорному питанию.

Однако эффективность комплексного применения фосфорных и цинковых удобрений в связи с известкованием на новых интенсивных сортах ярового ячменя в зоне Центрального Нечерноземья изучена недостаточно.

Результаты исследований в длительном полевом опыте показали, что внесение одних азотных и калийных удобрений достоверно не повышало урожайность ярового ячменя по сравнению с контролем (без удобрений), что связано с высокой кислотностью дерново-подзолистой почвы (pH_{KCl} 4,0), где содержание подвижного алюминия при систематическом применении аммиачной селитры и хлористого калия повысилось по сравнению с контрольным вариантом в 3 раза и достигло 130 мг/кг почвы (таблицы 15,16). Причем преимущества варианта $N_{90}K_{90}$ над контролем не отмечалось даже в более благоприятном 2018 году, когда формировалась самая высокая урожайность зерна по сравнению с другими годами. В данном году наблюдалась значительно большая эффективность фосфорных удобрений – прибавка урожайности ярового ячменя на неизвесткованной почве составила 45%. Тогда как в менее благоприятном для ярового ячменя 2019 году прибавка была хотя и достоверной, но значительно меньшей и составила 22%.

На известкованной почве эффективность фосфорных удобрений во все годы рассматриваемого периода была значимо ниже. Так прибавки урожая от фосфора на известкованной почве по 2,5 г.к. в 2018, 2019 годах составили около 12%, а в среднем за 2016, 2018 и 2019 годы – 15%. Улучшение обеспеченности растений фосфором за счет известкования проявилось во все годы. Эффективность извести была наиболее высокой в менее благоприятные годы. Так в 2016 году известкованная почва по 2,5 г.к. обеспечила повышение урожайности почти в два раза, в 2019 году – в 1,6 раза, в то время как в 2018 году в 1,5 раза. На фоне полного минерального удобрения (NPK) эффективность известкования снижалась.

Потребность растений в цинке на известкованной почве возрастала, прибавки урожайности в данном случае достигали 4,4-5,7 ц/га; в то время как на неизвесткованной почве они составляли 2,5-3,1 ц/га и были не достоверными. Максимальная урожайность ярового ячменя в опыте формировалась при внесении фосфорных и цинковых удобрений на известкованной почве по 2,5 г.к. и достигала в среднем 55,3 ц/га, что превышало вариант контроля в 2,2 раза.

Известкование и применение цинковых микроудобрений значительно повышали окупаемость минеральных удобрений. Так при возделывании ярового ячменя на известкованной почве по 1,5 г.к. окупаемость полного удобрения (N₉₀P₆₀K₉₀) составила 7,3 кг/кг, в то время как на неизвесткованной – 5,2 кг/кг. На почве, известкованной по 2,5 г.к. она достигала 9,8 кг/кг, то есть окупаемость удобрений на фоне большей дозы извести повышалась почти в два раза.

Применение цинковых микроудобрений приводило к дальнейшему повышению окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерна, в большей мере это наблюдалось на известкованной почве большой дозой, когда она достигала 12,6 кг/га.

Таблица 15

Влияние фосфорных и цинковых удобрений в зависимости от известкования дерново-подзолистой почвы на урожайность ярового ячменя, ц/га

Вариант	2016 г.	2018 г.	2019 г.
pH _{KCl} 4,0 (без извести)			
Без удобрений	17,5	33,6	23,9
N ₉₀ K ₉₀	18,6	37,0	23,2
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	30,2	53,9	28,4
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	32,7	56,7	31,5
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)			
N ₉₀ K ₉₀	30,1	43,6	32,5
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	35,3	59,3	39,8
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	38,9	63,6	45,1
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)			
N ₉₀ K ₉₀	36,1	55,8	38,6
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	45,1	62,5	43,2
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	49,5	67,5	48,9
HCP ₀₅	3,1	4,0	3,7

Таблица 16

Влияние фосфорных и цинковых удобрений в зависимости от известкования дерново-подзолистой почвы на урожайность и окупаемость зерном ярового ячменя (среднее за 2016, 2018 и 2019 годы)

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка от P ₂ O ₅ ,	Прибавка от Zn,	Окупаемость NPK прибавко	
				без Zn	с Zn
pH _{KCl} 4,0 (без извести)					
Без	25,0	-	-	-	-
N ₉₀ K ₉₀	26,6	-	-	-	-
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	37,5	10,9	-	5,2	-
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	40,3	-	2,8	-	6,4
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)					
N ₉₀ K ₉₀	35,4	-	-	-	-
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	44,8	9,4	-	7,3	-
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	49,2	-	4,4	-	10,1

pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)					
N ₉₀ K ₉₀	43,5	-	-	-	-
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	50,1	6,6	-	9,3	-
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	55,3	-	5,2	-	12,6

Установлена корреляционная зависимость урожайности ярового ячменя от агрохимических свойств почвы (таблица 17). Наблюдалась наиболее тесная прямая корреляционная зависимость между урожайностью ярового ячменя, как и озимой пшеницы, и значением pH_{KCl} почвы, она была высокой ($r = 0,89$; $d = 0,80$), а зависимость её от гидролитической кислотности обратной и тесной ($r = - 0,76$; $d = 0,58$). Существенная корреляция урожайности ярового ячменя установлена также с содержанием подвижного фосфора в почве.

Таблица 17

Корреляционная зависимость урожайности ярового ячменя от агрохимических показателей дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы

Показатель	Коэффициент корреляции, r	Коэффициент детерминации, d	F _ф	F _T	Уравнение регрессии
pH _{KCl}	0,89	0,80	20,62	6,61	$Y = 21,23x - 66,91$
P ₂ O ₅ , мг/100 г (по Кирсанову)	0,80	0,64	8,49	6,61	$Y = 4,3x + 13,5$
Hг, мг-экв/100 г	- 0,76	0,58	6,79	6,61	$Y = 68 - 6,9x$

Урожайность соломы ярового ячменя изменялась также как и зерна в зависимости от погодных условий вегетационного периода и от изучаемых факторов (Приложение 2.).

Максимальная урожайность соломы ярового ячменя достигалась при сочетании фосфорных и цинковых удобрений на известкованной почве большой дозой (2,5 г.к.) – средняя урожайность составила 48,1 ц/га, в 2018 благоприятном году – 53,4 ц/га при уровне в контроле соответственно 22,1 и 26,0 ц/га. Следует отметить и тот факт, что цинковые удобрения на урожайность соломы не оказали существенного влияния. Если средняя

прибавка урожайности зерна от их применения достигала свыше 5,0 ц/га, то урожайности соломы - в два раза меньше.

4.2 Структура урожая ярового ячменя

Урожайность ярового ячменя находилась в прямой зависимости от массы 1000 зерен и количества зерен в колосе (таблицы.18,19). Наибольшие их величины отмечались в 2018 году, когда масса 1000 зерен достигала 55,8 г при уровне в контроле 48,2 г, а количество зерен в колосе 24,0 и 14,6 шт. соответственно.

Таблица 18

Влияние фосфорных и цинковых удобрений при известковании на структуру урожая ярового ячменя

Вариант	Масса 1000 зерен, г			Количество зерен в колосе, шт		
	2016 г.	2018 г.	2019 г.	2016 г.	2018 г.	2019 г.
рН _{KCl} 4,0 (без извести)						
Безудобрений	45,0	48,2	42,6	11,3	14,6	12,9
N ₉₀ K ₉₀	47,2	49,1	42,0	10,9	16,0	12,9
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	50,8	51,6	43,6	17,0	20,2	18,7
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	51,3	51,9	44,6	19,1	20,6	18,9
рН _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)						
N ₉₀ K ₉₀	48,8	50,9	45,5	19,8	21,4	19,0
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	50,4	54,2	46,9	21,9	22,6	22,5
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	50,9	54,7	47,2	22,1	23,0	22,4
рН _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)						
N ₉₀ K ₉₀	51,2	53,6	48,7	20,4	22,0	22,1
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	52,6	55,1	49,5	22,0	23,2	23,2
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	53,2	55,8	50,3	22,7	24,0	23,4

Влияние фосфорных и цинковых удобрений при известковании на структуру урожая ярового ячменя (среднее за 2016, 2018 и 2019 годы)

Вариант	Масса 1000 зерен, г	Количество зерен в колосе, шт	$K_{хоз.}$
рН _{KCl} 4,0 (без извести)			
Без удобрений	45,3	12,9	0,49
N ₉₀ K ₉₀	46,1	13,2	0,48
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	48,8	19,3	0,50
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	49,3	19,5	0,50
рН _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)			
N ₉₀ K ₉₀	48,4	20,4	0,51
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	50,5	22,3	0,54
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	51,2	22,5	0,55
рН _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)			
N ₉₀ K ₉₀	51,0	21,5	0,53
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	52,4	23,1	0,54
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	53,1	23,4	0,54

Применение фосфорных удобрений повышало массу 1000 зерен в среднем: на неизвесткованной почве на 2,1 г, на известкованной по 2,5 г.к. – на 1,4 г. Количество зерен повышалось соответственно на 6,1 и 1,6 шт. Значительное влияние на структуру урожая оказало известкование. Небольшая доза извести (1,5 г.к.) повышала массу 1000 зерен на 2,3 г, большая доза (2,5 г.к.) – на 4,9 г. Количество зерен в колосе изменялось в сторону увеличения на 7,2 и 8,3 шт. соответственно. Применение фосфорных и цинковых удобрений на известкованной почве повышало по сравнению с контролем массу 1000 зерен на 16,4 %, а количество зерен в колосе почти в два раза.

4.3 Содержание и вынос азота, фосфора и калия урожаем ярового ячменя в зависимости от применения удобрений

Изучаемые факторы оказали определенное влияние на содержание основных элементов питания и вынос урожаем ярового ячменя (таблицы 20-25).

Так содержание фосфора в зерне ярового ячменя в 2018 году повышалось с 0,81% в контроле до 0,94% при внесении фосфорных и цинковых удобрений на известкованной почве, в 2019 году с 0,85 до 1,00% соответственно. Концентрация азота в растениях в 2019 году увеличивалась с 1,75 до 1,85%.

Вынос азота фосфора и калия растениями ячменя находился в прямой зависимости от урожайности. Так, в благоприятном 2018 году вынос азота в зависимости от варианта достигал наибольших величин и составлял 79,0 – 174,6 кг/га; фосфора 32,4 – 76,9 кг/га; калия 72,3 – 152,8 кг/га. В тоже время как в 2019 году эти величины были значительно меньше и составили соответственно 57,6 - 120,0 кг/га; 25,8 - 59,7 кг/га и 55,7 - 113,9 кг/га.

Наибольшее действие на вынос элементов питания оказало известкование по 2,5 г.к., когда значение pH_{KCl} составляло 5,4 ед. В среднем за два года вынос повысился: азота на 57%, фосфора – в два раза, калия – на 69%. Применение цинковых удобрений оказало наибольшее положительное влияние на известкованной почве большой дозой, вынос при этом повысился соответственно: на 6,0; 9,9; 5,9%.

В расчете на 1 т урожая ярового ячменя вынос от удобрений также увеличивался и составил в 2018 году: азота 23,5-25,9 кг; фосфора 9,6-11,3 кг; калия 21,5-22,6 кг. В 2019 году соответственно: 24,1-24,6; 10,8-12,2; 23,2-23,3 кг при плановом выносе фосфора 11,0 кг на 1 т.

Таблица 20

Содержание и вынос элементов питания зерном ярового ячменя, 2018г

Вариант	Содержание, %			Вынос, кг/га		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
pH _{KCl} 4,0 (без извести)						
Безудобрений	1,81	0,81	0,60	60,8	27,2	20,1
N ₉₀ K ₉₀	1,89	0,76	0,65	71,6	28,8	24,6
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	1,85	0,87	0,65	99,7	46,8	35,0
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	1,85	0,87	0,63	104,8	49,3	35,7
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)						
N ₉₀ K ₉₀	1,86	0,85	0,57	81,1	37,0	24,8
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	1,84	0,90	0,59	109,1	53,5	34,9
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	1,86	0,91	0,59	118,0	57,8	37,5
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)						
N ₉₀ K ₉₀	1,90	0,91	0,63	106,0	50,7	35,1
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	1,92	0,94	0,60	120,0	58,7	37,5
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	1,94	0,94	0,60	130,9	63,4	40,5

Таблица 21

Содержание и вынос элементов питания соломой ярового ячменя, 2018г

Вариант	Содержание, %			Вынос, кг/га		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
pH _{KCl} 4,0 (без извести)						
Безудобрений	0,74	0,20	2,05	19,2	5,2	52,2
N ₉₀ K ₉₀	0,79	0,17	2,10	23,2	5,0	58,4
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	0,78	0,23	2,12	32,4	9,6	83,0
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	0,78	0,23	2,12	33,8	9,9	90,0
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)						
N ₉₀ K ₉₀	0,79	0,26	2,20	26,4	8,7	73,7
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	0,82	0,28	2,26	38,5	13,4	108,0
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	0,82	0,28	2,28	40,9	14,3	114,7
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)						
N ₉₀ K ₉₀	0,84	0,26	2,10	37,1	11,5	92,8
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	0,84	0,27	2,15	41,0	13,6	108,9
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	0,82	0,25	2,10	43,7	13,5	112,3

Таблица 22

Вынос элементов питания яровым ячменем (зерно + солома), 2018 г

Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
рН _{KCl} 4,0 (без извести)			
Без удобрений	79,0	32,4	72,3
N ₉₀ K ₉₀	94,0	33,8	73,0
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	132,1	56,6	118,0
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	138,6	59,2	125,7
рН _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)			
N ₉₀ K ₉₀	107,5	45,7	98,5
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	155,5	66,9	142,9
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	158,0	71,1	148,0
рН _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)			
N ₉₀ K ₉₀	143,0	62,2	128,0
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	161,0	71,3	145,9
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	174,6	76,9	152,8

Таблица 23

Содержание и вынос элементов питания зерном ярового ячменя, 2019г

Вариант	Содержание, %			Вынос, кг/га		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
рН _{KCl} 4,0 (без извести)						
Безудобрений	1,75	0,85	0,56	39,8	20,0	13,4
N ₉₀ K ₉₀	1,80	0,80	0,61	42,0	18,9	14,2
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	1,80	0,90	0,60	52,0	25,5	17,9
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	1,81	0,90	0,61	57,2	28,3	19,2
рН _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)						
N ₉₀ K ₉₀	1,80	0,91	0,60	58,5	32,5	19,5
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	1,81	0,94	0,58	71,7	37,4	23,1
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	1,83	0,94	0,60	102,3	42,3	27,0
рН _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)						
N ₉₀ K ₉₀	1,82	0,98	0,56	83,7	37,6	21,5
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	1,84	1,02	0,60	98,5	43,4	25,9
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	1,85	1,00	0,60	112,0	48,9	29,3

Таблица 24

Содержание и вынос элементов питания соломой ярового ячменя, 2019г

Вариант	Содержание, %			Вынос, кг/га		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
pH _{KCl} 4,0 (без извести)						
Безудобрений	0,86	0,24	2,00	17,3	5,8	42,5
N ₉₀ K ₉₀	0,90	0,20	2,05	19,1	4,8	44,2
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	0,94	0,26	2,10	22,0	6,9	52,6
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	0,96	0,26	2,10	23,6	7,7	55,3
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)						
N ₉₀ K ₉₀	0,90	0,20	2,10	27,0	7,2	60,4
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	0,99	0,20	2,10	32,5	9,9	72,9
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	0,99	0,21	2,10	35,1	9,8	78,0
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)						
N ₉₀ K ₉₀	0,92	0,22	2,10	31,3	7,7	70,8
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	0,99	0,25	2,00	36,6	10,0	80,5
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	1,02	0,25	2,00	39,5	10,8	86,6

Таблица 25

Вынос элементов питания яровым ячменем (зерно + солома), 2019 г

Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
pH _{KCl} 4,0 (без извести)			
Без удобрений	57,6	25,8	55,7
N ₉₀ K ₉₀	61,1	23,7	58,3
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	74,6	32,4	70,3
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	80,6	36,0	74,2
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)			
N ₉₀ K ₉₀	85,5	39,7	79,8
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	104,2	47,3	96,0
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	117,6	52,1	105,0
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)			
N ₉₀ K ₉₀	100,6	45,3	92,3
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	116,0	53,4	106,4
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	120,0	59,7	113,9

Известкование и применение цинковых удобрений оказали значительное влияние на использование фосфора растениями ярового ячменя (таблица 26).

При значительном увеличении потребления (выноса) фосфора растениями ярового ячменя под влиянием фосфорных и известковых удобрений отмечалось существенное повышение коэффициента его использования.

Таблица 26

Использование фосфора растениями ячменя в зависимости от известкования и применения цинка (среднее за 2018, 2019 гг.)

Вариант	Внесено P ₂ O ₅ , кг/га	Вынос P ₂ O ₅ , кг/га	КИФ, %
pH _{KCl} 4,0 (без извести)			
Без удобрений	-	29,1	-
N ₉₀ K ₉₀	-	28,4	-
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	60	44,5	26,3
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	60	47,6	31,5
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)			
N ₉₀ K ₉₀	-	42,7	-
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	60	52,7	39,0
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	60	61,6	50,8
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)			
N ₉₀ K ₉₀	-	53,8	-
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	60	62,3	56,0
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	60	68,3	66,0

Если на неизвесткованной почве коэффициент использования фосфора (КИФ) составил 26,3%, то на известкованной в два раза выше (56,0%). Максимальное использование фосфора растениями ярового ячменя достигало на известкованной почве по 2,5 г.к. с применением цинка и составило 66,0%, что выше в 2,5 раза чем в варианте без их применения.

ГЛАВА 5. КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ И ЦИНКА ПРИ ИЗВЕСТКОВАНИИ

Качество зерна озимой пшеницы и ярового ячменя зависит от минерального питания растений, свойств почвы, современных интенсивных сортов. При сбалансированном питании растений макро- и микроэлементами, как показали многочисленные исследования, повышается не только урожайность, но и некоторые качественные показатели зерна: содержание белка, клейковины и др. (Минеев, Павлов, 1979, Монсарова, Коршунов с соавт., 2018, Есаулко, Ожередова с соавт., 2018; Цховребов, Умаров с соавт., 2018).

Фосфор участвует в таких жизненно важных для растений процессах как фотосинтез, образование ядер и деление клеток, накопление сахара и крахмала, жиров и белков, специализация клеток и передача наследственности, являясь незаменимым в формировании плодородия почв, питании растений и получении качественного урожая культур. Важнейшей реакцией фосфора в живых организмах, является образование энергоемких соединений: аденозинтрифосфорной и аденозиндифосфорной кислот – носителей энергии в клетках животных и растений. Он входит в состав органических соединений: нуклеиновых кислот, фосфатидов, фитина, сахарофосфатов и др., которые имеют важное значение в жизни растений. Недостаток фосфора, даже при нормальном азотном питании растений, отрицательно сказывается на синтезе нуклеиновых кислот и через них на содержании белка (Коданёв, 1976, Минеев, Павлов, 1979, Соколов, 2018).

Фосфорные удобрения при достаточной обеспеченности растений азотом могут повышать содержание белка в зерне (Никитишен, 2002, Адрианов, 2004, Сычев, Аристархов с соавт., 2011, Соколов, 2018, Волынкина, 2019). Имеет значение при этом и кислотность почвы. На кислых дерново-подзолистых почвах формируется не только низкая урожайность зерновых культур, но качество зерна (Авдонин, 1979, 1982; Небольсин, Небольсина,

2005, Окорков, 2013). Цинковые удобрения по обобщенным данным Аристархова (2019) при определенных условиях могут улучшать качество зерна.

Наши исследования в длительном полевом опыте показали, что при значительном повышении урожайности озимой пшеницы и ярового ячменя под влиянием удобрений качественные показатели зерна не только не ухудшились, но и улучшились. Так при внесении фосфорных удобрений и известковании содержание белка в зерне озимой пшеницы повышалось: в 2017 году с 12,0 до 13,4%; в 2018 году с 13,1 до 13,7%; в 2019 с 12,2 до 13,0% (таблицы 27-30).

Таблица 27

Влияние фосфорных и цинковых удобрений при известковании на качество зерна озимой пшеницы, 2017 г

Вариант	Сырой белок, %	Клейковина, %	Натура, г/л	Содержание P_2O_5 , %
рН _{KCl} 4,0 (без извести)				
Без удобрений	11,9	27,9	740	0,50
N ₁₂₀ K ₉₀	12,0	28,2	746	0,54
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	12,7	28,0	756	0,52
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	12,9	29,0	760	0,53
рН _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)				
N ₉₀ K ₉₀	12,7	29,0	754	0,55
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	13,0	29,6	760	0,57
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	13,1	29,7	769	0,57
рН _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)				
N ₁₂₀ K ₉₀	12,9	29,9	768	0,60
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	13,4	30,6	772	0,62
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	13,6	31,9	775	0,63
НСР ₀₅	1,8	2,2	13,0	0,24

Таблица 28

Влияние фосфорных и цинковых удобрений при известковании на качество зерна озимой пшеницы, 2018 г

Вариант	Сырой белок, %	Клейковина, %	Натура, г/л	Содержание P ₂ O ₅ , %
pH _{KCl} 4,0 (без извести)				
Без удобрений	12,5	28,1	746	0,61
N ₁₂₀ K ₉₀	13,1	29,3	752	0,58
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	12,8	30,2	760	0,65
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	12,9	30,4	769	0,70
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)				
N ₁₂₀ K ₉₀	13,2	29,4	760	0,64
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	13,2	30,0	769	0,67
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	13,5	30,2	774	0,69
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)				
N ₁₂₀ K ₉₀	13,6	30,2	772	0,70
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	13,7	30,8	774	0,74
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	13,9	31,7	778	0,69
HCP ₀₅	1,5	2,6	14,6	0,25

Таблица 29

Влияние фосфорных и цинковых удобрений при известковании на качество зерна озимой пшеницы, 2019 г

Вариант	Сырой белок, %	Натура, г/л	Содержание P ₂ O ₅ , %
pH _{KCl} 4,0 (без извести)			
Без удобрений	11,6	734	0,57
N ₁₂₀ K ₉₀	12,2	743	0,56
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	12,0	752	0,59
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	12,1	751	0,63
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)			
N ₁₂₀ K ₉₀	12,3	753	0,60
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	12,5	761	0,62
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	12,5	764	0,63

продолжение таблицы 29

pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)			
N ₁₂₀ K ₉₀	12,8	743	0,65
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	13,0	755	0,70
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	13,3	760	0,69
HCP ₀₅	1,7	14,4	0,21

Таблица 30

Влияние фосфорных и цинковых удобрений при известковании на качество зерна озимой пшеницы, в среднем за 2017 - 2019 г

Вариант	Сырой белок, %	Клейковина, %	Натура, г/л	Содержание P ₂ O ₅ , %
pH _{KCl} 4,0 (без извести)				
Без удобрений	12,0	28,0	740	0,56
N ₁₂₀ K ₉₀	12,4	28,8	747	0,56
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	12,5	29,1	756	0,59
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	12,6	29,7	760	0,62
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)				
N ₁₂₀ K ₉₀	12,7	29,2	756	0,60
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	12,9	29,8	763	0,62
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	13,0	30,0	769	0,63
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)				
N ₁₂₀ K ₉₀	13,1	30,1	761	0,65
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	13,4	30,7	767	0,69
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	13,6	30,8	771	0,67
HCP ₀₅	1,7	2,4	14,0	0,23

Примечание: клейковина в среднем за 2017 и 2018 годы.

Внесение удобрений на известкованной почве повышало содержание сырого белка по сравнению с контролем в среднем на 1,8%. Достоверно повышалось также содержание клейковины в зерне и достигало на известкованной почве в среднем за 2017, 2018 годы 31,8% при уровне в контроле 28%.

При внесении цинковых удобрений отмечалось заметное действие на содержание клейковины при возделывании озимой пшеницы на фоне большой дозы извести: в 2017 году оно увеличилось на 1,3%; в 2018 – на 0,9%, содержание сырого белка повышалось незначительно.

Натурная масса зерна озимой пшеницы максимальной величины достигала также при сочетании фосфорных и цинковых удобрений на известкованной почве и составляла в среднем 776 г/л при уровне в контроле 743 г/л.

Содержание фосфора в зерне озимой пшеницы в наиболее благоприятном 2018 году было наибольшим и составляло в зависимости от варианта 0,61-0,74%, в среднем – 0,56-0,68%. Отмечалось некоторое повышение содержания фосфора в зерне при внесении фосфорных удобрений, а также от известкования.

Качество зерна ярового ячменя, как и озимой пшеницы зависело от метеорологических условий, а также от применяемых удобрений (табл.31-34). В 2018 году содержание сырого белка в зерне ячменя было наибольшим и составляло 10,3% в контроле и 11,1% в вариантах с применением удобрений, в 2016 году оно было наименьшим и составляло: 8,6 и 10,0%. Содержание крахмала находилось в обратной зависимости от содержания белка и составляло соответственно 44,6 - 45,9% и 46,0 - 47,1%. Применение фосфорных удобрений на известкованной почве способствовало повышению содержания сырого белка в засушливом 2016 году, в остальные годы фосфорные удобрения не оказывали влияния на этот показатель качества. Что касается крахмала, то его содержание имело лишь тенденцию к снижению под влиянием удобрений и известкования большой дозой, а применение фосфорных удобрений обеспечивало достоверное повышение содержание белка по сравнению с общим фоном (вариант N₉₀K₉₀) в 2016 году, в остальные годы такой закономерности не отмечалось. Содержание белка в среднем составляло в контроле 8,4%, а в вариантах с применением удобрений повышалось до 9,51%. Наблюдалось повышение содержания белка относительно контроля при комплексном применении удобрений и известкования. Фосфорные и цинковые удобрения не приводили к существенному изменению содержания сырого белка как на известкованной почве, так и на неизвесткованной. Содержание крахмала в среднем составило

в контроле 47,20%, а при использовании изучаемых средств снизилось до 45,42%, но эти изменения были недостоверными. При величине массы 1000 зерен в контроле 45,6 г внесение удобрений повышало этот показатель до 49,3 г на известкованной почве и до 53,1 г на известкованной большой дозой, которая на фоне азотно-калийных удобрений достоверно повышала массу 1000 зерен с 46,1 до 51,0 г.

Таким образом, применяемые в опыте макро- и микроудобрения на известкованной почве улучшают качественные показатели зерна озимой пшеницы и ярового ячменя. Качество зерна озимой пшеницы (содержание сырого белка (13,9%), клейковины (31,7%), натурной массы (778 г/л) достигает максимальных показателей при их совместном применении на известкованной почве и соответствовало II классу качества ГОСТ Р 52554-2006. Использование цинковых микроудобрений при низкой обеспеченности подвижным цинком (0,6-0,9 мг/кг почвы) в сочетании с фосфорным удобрением на известкованной почве повышало по сравнению с контролем в зерне ярового ячменя содержание сырого белка на 1,11%, фосфора на 0,26%, массу 1000 зерен на 16% .

При содержании крахмала 46,0-47,2% выращенное в опыте зерно ярового ячменя по ГОСТу относится к зернофуражному.

Таблица 31

Влияние фосфорных и цинковых удобрений при известковании на качество зерна ярового ячменя, 2016 г

Вариант	Сырой белок, %	Крахмал, %	Масса 1000 зерен, г
pH _{KCl} 4,0 (без извести)			
Без удобрений	8,6	47,1	45,0
N ₉₀ K ₉₀	9,1	46,2	47,2
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	9,1	46,2	50,8
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	9,2	45,9	51,3

продолжение таблицы 31

pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)			
N ₉₀ K ₉₀	8,4	46,3	48,8
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	9,7	46,3	50,4
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	9,7	46,1	50,9
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)			
N ₉₀ K ₉₀	9,2	46,1	51,2
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	9,9	46,0	52,6
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	10,0	45,8	53,2
НСР ₀₅	0,7	2,2	4,1

Таблица 32

Влияние фосфорных и цинковых удобрений при известковании на качество зерна ярового ячменя, 2018 г

Вариант	Сырой белок, %	Крахмал, %	Масса 1000 зерен, г	Содержание P ₂ O ₅ , %
pH _{KCl} 4,0 (без извести)				
Без удобрений	10,3	45,9	49,2	0,81
N ₉₀ K ₉₀	10,8	45,4	49,1	0,76
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	10,5	45,2	51,6	0,87
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	10,5	45,2	51,9	0,87
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)				
N ₉₀ K ₉₀	10,6	45,1	50,9	0,85
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	10,5	44,8	54,2	0,90
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	10,6	44,7	54,7	0,91
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)				
N ₉₀ K ₉₀	10,8	45,2	53,6	0,91
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	10,9	44,7	55,1	0,94
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	11,1	44,6	55,8	0,94
НСР ₀₅	1,10	1,9	4,3	0,24

Таблица 33

Влияние фосфорных и цинковых удобрений при известковании на качество зерна ярового ячменя, 2019 г

Вариант	Сырой белок, %	Крахмал, %	Масса 1000 зерен, шт.	Содержание P ₂ O ₅ , %
pH _{KCl} 4,0 (без извести)				
Без удобрений	9,9	48,6	42,6	0,75
N ₉₀ K ₉₀	10,2	46,7	42,0	0,70
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	10,2	46,5	43,6	0,81
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	10,3	46,5	44,6	0,80
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)				
N ₉₀ K ₉₀	10,2	47,5	45,5	0,80
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	10,2	47,9	46,9	0,84
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	10,3	47,3	47,2	0,86
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)				
N ₉₀ K ₉₀	10,4	46,9	48,7	0,88
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	10,5	46,3	49,5	0,92
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	10,5	46,1	50,3	0,90
НСР ₀₅	0,82	2,3	3,9	0,22

Таблица 34

Влияние фосфорных и цинковых удобрений при известковании на качество зерна ярового ячменя сорта НУР (в среднем за 2016, 2018, 2019 годы)

Вариант	Сырой белок, %	Крахмал, %	P ₂ O ₅ , %	Масса 1000 зерен, г
pH _{KCl} 4,0 (без извести)				
Без удобрений	8,40	47,20	0,91	45,6
N ₉₀ K ₉₀	9,52	46,12	0,86	46,1
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	9,30	46,00	0,95	48,8
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	9,36	45,90	0,94	49,3
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)				
N ₉₀ K ₉₀	8,52	46,30	0,99	48,4
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	9,38	46,28	1,10	50,5
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	9,50	46,00	1,12	51,2

продолжение таблицы 34

рН _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)				
N ₉₀ K ₉₀	8,60	46,00	1,12	51,0
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	9,46	45,50	1,14	52,4
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	9,51	45,42	1,17	53,1
НСП ₀₅	1,10	2,20	0,26	4,1

Примечание: 2016г – 11-я ротация, 2018-2019г.г. - 12-я ротация.

ГЛАВА 6. БАЛАНС ФОСФОРА И ФОСФАТНЫЙ РЕЖИМ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОРНЫХ И ИЗВЕСТКОВЫХ УДОБРЕНИЙ

Фосфатное состояние дерново-подзолистых почв, как известно, зависит от уровня применения фосфорных удобрений, Улучшение фосфатного режима почвы происходит, как правило, при положительном балансе фосфора, когда количество внесенного фосфора с удобрениями превышает его вынос растениями.

В настоящее время при резком отрицательном балансе фосфора количество слабо обеспеченных почв подвижными фосфатами возрастает (Шафран, 2000). В этих условиях важное значение приобретают приёмы, способствующие улучшению обеспеченности растений фосфором. Одним из таких приёмов является известкование, особенно высокими дозами (по 1,5 – 2,5 г.к.). В этих условиях по данным работ (Глазунова, 1983, Кирпичников, 2016, Федотова, 2003) содержание подвижного фосфора в почве (фактор ёмкости) может не увеличиваться, но степень подвижности (фактор интенсивности) при определённых условиях (доза извести, время действия и др.) повышается.

Таблица 35

Баланс фосфора и фосфатный режим дерново-подзолистой
тяжелосуглинистой почвы в зависимости от применения фосфорных и
известковых удобрений

Вариант	Внесено P ₂ O ₅ , кг/г а	Вынос P ₂ O ₅ , кг/г а	Баланс + -	P ₂ O ₅ в почве	
				мг/кг (по Кирсанову)	мг/л (по Скофилду)
Без удобрений	-	29,1	-29,1	34,7	0,030
НК	-	27,4	-27,4	29,8	0,026
НК+P	50	44,6	+5,4	99,8	0,16
НК+известь 1,5 г.к.	-	43,2	-43,2	31,6	0,036
НК+известь 1,5 г.к.+P	50	53,8	-3,8	98,2	0,18
НК+известь 2,5 г.к.	-	56,4	-56,4	32,0	0,044
НК+известь 2,5 г.к.+P	50	63,1	-13,1	102,4	0,21

В нашем опыте известкование проводили периодически, что составляло в сумме за весь период 1,5-2,5 г.к., которое значительно (за весь период проведения опыта) повышало урожайность сельскохозяйственных культур и вынос фосфора растениями. Особенно при внесении высокой дозы (2,5 г.к.), что показывают результаты наших исследований в последние годы. Однако не смотря на повышение выноса фосфора в вариантах с внесением извести содержание подвижного фосфора в почве не снижалось (таблица 35). Так в варианте НК оно составляло 29,8 мг/га, а в варианте с применением большой дозы извести (2,5 г.к.), когда вынос фосфора увеличивался в два раза - 32 мг/кг. При внесении фосфорных удобрений на известкованной почве сложился слабо отрицательный баланс фосфора, однако содержание подвижного фосфора (фактор ёмкости) в почве осталось примерно на таком же уровне, как и в варианте без внесения извести. Следует отметить и тот факт, что показатель степени подвижности фосфатов почвы (фактор интенсивности), определяемый по Скофилду, при известковании был значительно выше, чем в варианте без внесения извести. Так в варианте НК, P_2O_5 по Скофилду составлял 0,026 мг/л, в варианте НК+известь 2,5 г.к. – 0,44 мг/л. В вариантах с применением фосфорных удобрений (NPK) этот показатель увеличился соответственно с 0,16 до 0,21 мг/л. Такая закономерность в действии извести на фосфатный режим дерново-подзолистой почвы отмечалась в других работах (Адрианов, 2004, Кирпичников, 2016, Кириллова, Копылов, 2017, Федотова, 2003).

Таким образом действие извести, особенно высокой дозой (2,5 г.к.) при периодическом внесении оказывает значительное влияние на улучшение обеспеченности (выноса) растениями, при этом не снижается содержание подвижного фосфора в почве, а несколько повышается степень его подвижности.

ГЛАВА 7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИНКА ПРИ ИЗВЕСТКОВАНИИ

В современных интенсивных технологиях возделывания зерновых культур роль минеральных удобрений высокая и может достигать 60-75%, удобрения служат главным резервом экономии при их рациональном использовании (Мерзликин, 2009).

Экономическая и энергетическая оценка эффективности сельскохозяйственного производства позволяет сравнить различные технологии, определить структуру потоков энергии и вещества в агроценозах и выявить главные резервы экономии ресурсов в земледелии. При возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых слабокультуренных почвах, ряд факторов лимитирует достижение высокой эффективности производства, среди них – повышенная кислотность почвы, недостаток питательных веществ, особенно фосфора, неудовлетворительное фитосанитарное состояние посевов.

Известно, что при повышении уровня применения удобрений затраты минеральных удобрений на формирование 1 т зерна увеличиваются, а окупаемость, напротив – снижается (Сычев, Шафран, 2012).

На дерново-подзолистых почвах эффективность применения минеральных удобрений, особенно фосфорных, зависит от их окультуренности и прежде всего обеспеченности фосфатами и уровня кислотности. Поэтому особая роль в увеличении окупаемости удобрений и повышения их экономической эффективности в условиях кислых дерново-подзолистых почв отводится правильному сочетанию основных элементов питания с известкованием почвы. Однако влияние фосфорных удобрений при их длительном внесении на экономическую и энергетическую эффективность при выращивании озимой пшеницы и ярового ячменя новых

сортов в зависимости от известкования дерново-подзолистой почвы и применения микроэлементов изучена недостаточно.

Исследования в длительном полевом опыте показали высокую экономическую эффективность применяемых средств.

Так применение фосфорных и цинковых удобрений на фоне азотных и калийных повышало урожайность озимой пшеницы сорта Московская 39 в 1,3-2 раза и в зависимости от условий вегетационного периода окупаемость затрат (руб/руб), связанных с их использованием также увеличивались и различалась по годам.

В 2017 году, относительно благоприятном для вегетации озимой пшеницы, окупаемость фосфорных удобрений была наибольшей в варианте без извести достигая 6,14 руб/руб, а с известью по 1,5 г.к. составляла 5,15 руб/руб, на фоне более высокой дозы извести (по 2,5 г.к.) окупаемость фосфорных удобрений уменьшалась до 3,74 руб/руб, то есть эффективность действия фосфорных удобрений снижалась на фонах извести по мере роста показателя $pH_{КС1}$ почвы (приложение 3). Окупаемость цинковых микроудобрений в 2017 году, напротив, росла с 7,53 до 10,54 руб/руб с повышением $pH_{КС1}$ почвы, превышая окупаемость фосфорных удобрений в 2,8 раза в варианте с известью по 2,5 г.к.

В 2018 году окупаемость фосфорных удобрений составляла от 3,82 до 5,31 руб/руб, возрастая с ростом $pH_{КС1}$ почвы, что вероятно связано со значительно более благоприятными погодными условиями (приложение 4). Особенно высокая эффективность цинковых микроудобрений по окупаемости затрат на его применение отмечалась на известкованных почвах, достигая 13,3 руб/руб, что выше чем в 2017 году.

2019 год оказался неблагоприятным по климатическим условиям для вегетации растений озимой пшеницы. Высокая температура воздуха в начальных фазах и избыточное увлажнение и понижение температуры в конечных привело к снижению урожайности зерна озимой пшеницы по сравнению с 2018 годом на 16%, что отрицательно сказалось на окупаемости

затрат на применение фосфорных удобрений. По сравнению с предыдущим 2018 годом она была меньше в 2,6 раза в варианте с высокой дозой извести и составляла 2,08 руб/руб (приложение 5).

В тоже время цинковые микроудобрения в 2019 году обеспечили наибольшую окупаемость затрат на их применение по сравнению с другими годами. При этом рост составил от 4,95 руб/руб в варианте без извести до 15,48 руб/руб в варианте с высокой дозой извести (2,5 г.к.). В неблагоприятных погодных условиях цинковые микроудобрения, очевидно, способствовали значимому росту урожайности озимой пшеницы, за счет увеличения стрессоустойчивости по отношению к засухе и избыточному увлажнению (Аристархов, 2000). Если же рассматривать экономическую эффективность применения фосфорных удобрений в среднем за три года исследований, то окупаемость их по вариантам отличалась незначительно и составила около 4,0 руб/руб с некоторым снижением в варианте опыта с применением высокой дозы извести (приложение 6). А эффективность применения фосфорных удобрений при использовании цинковых микроудобрений на известкованной почве несколько повышалась по сравнению с неизвесткованной (с 4,41 до 4,78 руб/руб) (таблица 36).

Таблица 36

Экономическая эффективность фосфорных удобрений в зависимости от кислотности дерново-подзолистой почвы и применения цинка при возделывании озимой пшеницы сорта Московская 39 (среднее за 2017-2019 годы)

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка от P ₂ O ₅ , т/га		Стоимость прибавки от P ₂ O ₅ , руб/га		Затраты от применения P ₂ O ₅ на получение прибавки, руб/га		Условный чистый доход от P ₂ O ₅ , тыс. руб/га		Окупаемость P ₂ O ₅ , руб/руб	
		без Zn	+ Zn	без Zn	+ Zn	без Zn	+ Zn	без Zn	+ Zn	без Zn	+ Zn
pH_{KCl} 4,0 (без извести)											
Без удобрений	2,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N ₉₀ K ₉₀	2,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	3,89	1,49	-	12814	-	3108	-	9,70	-	4,12	-
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	4,20	-	0,31	-	15480	-	3508	-	11,97	-	4,41

pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)											
N ₉₀ K ₉₀	3,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	4,86	1,48	-	12728	-	3108	-	9,62	-	4,10	-
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	5,38	-	0,52	-	17200	-	3508	-	13,69	-	4,90
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)											
N ₉₀ K ₉₀	4,97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	6,31	1,34	-	11524	-	3108	-	8,40	-	3,71	-
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	6,92	-	0,61	-	16770	-	3508	-	16,41	-	4,78
НСР ₀₅	0,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Напротив, окупаемость цинковых микроудобрений повышалась от 6,67 руб/руб в варианте без извести до 13,12 руб/руб в варианте с применением высокой дозы (2,5 г.к.) извести, то есть в 2 раза (приложение 3-6).

Окупаемость фосфорных удобрений при возделывании ярового ячменя сорта НУР также сильно варьировала по годам исследования и вариантам опыта (от 1,27 до 4,68 руб/руб) и в целом была значимо меньшей, чем при возделывании озимой пшеницы (приложение 7-10).

В менее благоприятном для ярового ячменя 2016 году окупаемость фосфорных удобрений составила в зависимости от варианта 2,49-3,23 руб/руб и по мере повышения реакции почвенной среды снижалась. Тенденция снижения окупаемости затрат на применение фосфорных удобрений по мере повышения значений pH_{KCl} отмечалась и в 2018, 2019 годах. Так в 2018 году на фоне известкования она уменьшалась с 4,34 до 1,85 руб/руб, а в 2019 – с 2,02 до 1,27 руб/руб (приложение 8,9). При этом экономический эффект от применения цинковых микроудобрений закономерно повышался во все годы исследований почти в два раза.

В среднем за 3 года исследований (2016, 2018, 2019 г.г.) с ростом значения pH_{KCl} почвы эффективность фосфорных удобрений заметно снижалась (таблица 37).

Окупаемость фосфора наибольшей была в варианте без извести – 3,02 руб/руб, несколько уменьшаясь в варианте 1,5 г.к. до 2,60 руб/руб,

Определенную закономерность в действии удобрений показали также результаты полученные по энергетической эффективности (таблица 38, Приложения 11-14), которая зависела как от урожайности, так и от метеорологических условий года.

Таблица 38

Энергетическая эффективность применения удобрений при возделывании озимой пшеницы (среднее за 2017-2019 г.г.)

Вариант	Накопление энергии в зерне, Гдж/га	Энергоёмкость производства зерна, Мдж/га	Энергозатраты, Гдж/га	Коэффициент энергетической эффективности ($K_{э}$), единиц
Без удобрений (ХСЗР)	36,7	594	12,8	2,86
$N_{120}K_{90}$ +(ХСЗР) - Фон	38,6	1063	23,5	1,63
Фон + P_{90}	69,7	624	26,1	2,66
Фон+известь 2,5 г.к.	79,2	551	25,7	3,07
Фон+известь 2,5 г.к.+ P_{90}	106,0	448	28,3	3,73
$НСР_{05}$	7,5	152	0,4	0,24

Примечание: Последствие извести = 0 Мдж/га; энергоёмкость производства зерна с учетом дополнительной продукции.

Накопление энергии в зерне озимой пшеницы на единицу площади обладало той же закономерностью, что и урожайность в зависимости от вариантов опыта. Минимальное накопление энергии в зерне получено в варианте контроля (36,7 Гдж/га), когда применялись только химические средства защиты растений (ХСЗР). Внесение только азотных и калийных удобрений ($N_{120}K_{90}$) в качестве фона не приводило к повышению этого показателя. Внесение фосфорных удобрений (P_{90}) практически удваивало накопление энергии и составило 69,7 Гдж/га. В большей мере чем фосфорные удобрения накопление энергии обеспечивала известь, внесенная в дозе 2,5 г.к. (79,2 Гдж/га). Максимальный уровень (106,0 Гдж/га) в накоплении энергии в зерне озимой пшеницы был получен при сочетании фосфорных и известковых удобрений.

Энергоёмкость производства зерна находилась в обратной зависимости от показателей накопления энергии. Максимальная её величина (1063 Мдж/ц) была в варианте с применением азотно-калийных удобрений в связи с высокой их энергоёмкостью в технологии возделывания озимой пшеницы. Внесение фосфорных и известковых удобрений снижало этот показатель до 624 и 551 Мдж/ц соответственно. Минимальные значения (448 Мдж/ц) достигнуты при внесении фосфорных удобрений на известкованной почве, что даже ниже уровня контроля, когда применяются одни только химические средства защиты растений. Показатели энергозатрат, связанных с применением фосфорных и известковых удобрений мало отличались от фоновых показателей ($N_{120}K_{90}$) – наблюдалась лишь некоторая тенденция к их повышению (Приложения 11-12).

При возделывании ярового ячменя энергозатраты на производство зерна варьировали в зависимости от года и вариантов опыта от 11,1 до 26,1 Гдж/га, в 2018 году в зависимости от удобрений с 12,0 до 26,1 Гдж/га (приложение 13-14). Самым низким этот показатель был в неблагоприятном 2019 году и составлял 11,1 – 24,6 Гдж/га в зависимости от удобрений. Внесение фосфорных и известковых удобрений повышали энергозатраты более чем в два раза.

Важным интегрирующим показателем применения удобрений служит коэффициент энергетической эффективности по зерну $K_{эз}$. В условиях опыта он существенно отличался по вариантам. В контроле (ХСЗР) он был высоким, при внесении удобрений (НК) снижался, затем при добавлении фосфорных удобрений в связи с ростом урожайности возрастал почти до уровня контроля – больше при возделывании озимой пшеницы, меньше при возделывании ярового ячменя. Известь значительно повышала $K_{эз}$, даже превышая суммарное влияние НРК. Влияние фосфорных удобрений как в абсолютном выражении, так и в относительном сказалось более сильно на фоне без известки, чем на известкованном. Следует отметить также высокую энергетическую эффективность известки. Если в варианте с применением

азотно-калийных удобрений на озимой пшенице коэффициент энергетической эффективности в среднем составил 1,63; то в варианте с применением извести на этом фоне – 3,07; или выше на 88%.

На ячмене коэффициент энергетической эффективности при этом повышался с 0,90 до 2,05; или в 2,3 раза. Наибольший коэффициент энергетической эффективности (3,73 и 2,47) был достигнут при сочетании фосфорных и известковых удобрений, что выше чем на фоне азотно-калийных удобрений в 2,3 и 2,7 раза соответственно.

Таким образом, экономическая и энергетическая эффективность применения фосфорных удобрений с внесением цинковых микроудобрений при возделывании озимой пшеницы была достаточно высокой и зависела от известкования. Окупаемость затрат изменялась от 4,41 руб/руб в варианте без извести до 4,78 руб/руб в вариантах с известкованием (табл. 36).

Окупаемость цинковых микроудобрений зависела от кислотности почвы, возрастая по мере её уменьшения и была выше чем окупаемость фосфорных удобрений в 3,6 раза, достигая значения 13,12 руб/руб. (приложение 3-б).

На яровом ячмене экономическая эффективность применения фосфорных совместно с цинковыми удобрений также зависела от реакции почвенной среды, уменьшаясь по мере её повышения от 3,36 до 2,89 руб/руб и была невысокой по сравнению с озимой пшеницей (табл. 37). Экономическая эффективность цинковых микроудобрений на яровом ячмене, также как и на озимой пшенице возрастала с уменьшением кислотности почвы и в варианте с высокой дозой извести (2,5 г.к.) окупаемость составила 11,18 руб/руб, что близко к их эффективности на озимой пшенице.

Максимальное значение коэффициента энергетической эффективности (3,73) достигалось при внесении фосфорных удобрений на известкованной почве, что выше фона азотно-калийных удобрений в 2,3 раза.

Выводы

1. В длительном полевом опыте, заложенном в 1966 году на слабоокультуренной дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве (pH_{KCl} 4,0; содержание подвижного фосфора 30-70 мг/кг), установлена эффективность сочетания фосфорных удобрений и цинка в зависимости от известкования при возделывании озимой пшеницы и ярового ячменя сортов интенсивного типа.
2. При систематическом применении азотно-калийных удобрений в форме аммиачной селитры и хлористого калия, когда повышалось содержание подвижного алюминия в почве с 45 до 130 мг/кг, формировалась практически такая же минимальная урожайность как варианте контроля без удобрений и составляла в среднем за 2016-2019 годы: озимой пшеницы сорта Московская 39 - 24,0 ц/га; ярового ячменя сорта НУР – 26,6 ц/га.
3. Многолетнее внесение фосфорных удобрений, повышая содержание подвижного фосфора в почве с 30 до 100 мг/кг, обеспечивало увеличение урожайности озимой пшеницы и ярового ячменя: на фоне азотно-калийных удобрений на 62 и 41%; на известкованной почве по 1,5 г.к. – на 44 и 27%; на известкованной по 2,5 г.к. – на 27 и 15% соответственно. Снижение эффективности фосфорных удобрений на известкованной почве связано с улучшением обеспеченности растений фосфором за счет самой извести, особенно большой дозы (2,5 г.к.), когда значение pH_{KCl} составляло 5,4; степень насыщенности основаниями – 80%, при этом повышалась урожайность озимой пшеницы в 2,1 раза, ярового ячменя в 1,6 раза.
4. Применение цинковых микроудобрений в дозе 5 кг/га при полном минеральном удобрении (NPK) обеспечивало более высокие и достоверные прибавки урожайности на известкованной почве большой дозой и составили: озимой пшеницы 6,1 ц/га, ярового ячменя – 5,2 ц/га, что выше уровня NPK на 10 и 12% соответственно.

5. Максимальная средняя урожайность озимой пшеницы 69,2 ц/га и ярового ячменя 55,3 ц/га достигалась при внесении полного минерального удобрения на известкованной почве по 2,5 г.к. с использованием цинковых микроудобрений, что выше фона НК в 2,9 и 2,1 раза соответственно. Окупаемость минеральных удобрений (НРК) зерном при этом составила: озимой пшеницы 15,8 кг/кг, ярового ячменя – 12,6 кг/кг.

6. Известкование и внесение цинковых удобрений повышало использование фосфора растениями. Коэффициент использования фосфора растениями озимой пшеницы составил на неизвесткованной почве без применения цинка 13,6% с применением цинка – 18,8%, а при известковании по 2,5 г.к. соответственно 49,7 и 54,2%. Для растений ярового ячменя он составил соответственно: 26,3 и 31,5; и 56 и 66%.

7. При сочетании фосфорных и цинковых удобрений с известкованием улучшались качественные показатели зерна. Содержание сырого белка в зерне озимой пшеницы повышалось по сравнению с контролем в среднем на 1,6%, клейковины – на 3,8%; сырого белка в зерне ячменя – на 1,1%, масса 1000 зерен на 7,5 г.

8. Окупаемость затрат, связанных с применением фосфорных удобрений несколько повышалась при сочетании их с цинковыми и составляла в зависимости от известкования при возделывании озимой пшеницы: 4,41- 4,78 руб/руб, а ярового ячменя - 3,30 - 2,90 руб/руб. Известкование увеличивало коэффициент энергетической эффективности по сравнению с фоном НК в посевах озимой пшеницы в 2,3 раза, ярового ячменя в 2,7 раза.

Рекомендации производству

С целью улучшения плодородия слабокультуренной дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы и обеспечения урожайности интенсивных сортов озимой пшеницы около 65-70 ц/га и ярового ячменя около 50-55 ц/га рекомендуется повышение содержания подвижного фосфора до 100 мг/кг с доведением реакции почвенной среды до 5,3-5,5 и при внесении минеральных удобрений в посевах озимой пшеницы в дозах $N_{120}P_{90}K_{90}$ и $N_{90}P_{60}K_{90}$ в посевах ярового ячменя соответственно, а также цинковых микроудобрений в дозе 5 кг/га. Окупаемость минеральных удобрений зерном при этом достигает: озимой пшеницы 15,8 кг/кг, ярового ячменя – 12,6 кг/кг.

Список литературы

1. Абитов Р.Н., Давлятшин И.Д. Особенности корреляционной связи между свойствами дерново-подзолистых почв Западного Закамья Предуральской провинции // Плодородие. – 2011. - №1. – С. 17-19.
2. Авдонин Н.С. Алюминий в дерново-подзолистых почвах // Агрохимия.- 1971.- №7. - С. 94-103.
3. Авдонин Н.С. Вопросы земледелия на кислых почвах. - М.: Сельхозиздат, 1957. – С. 111-173.
4. Авдонин Н.С. Известкование кислых почв. - М.: Колос, 1976. – 220 с.
5. Авдонин Н.С. Почвы, удобрения и качество растениеводческой продукции. - М.: Колос, 1979. - 132 с.
6. Авдонин Н.С., Графская Г.А. Влияние степени окультуренности дерново-подзолистых почв и длительного применения удобрений на качество ярового ячменя // В кн.: Влияние свойств почв на качество растений. – М.: МГУ, 1982. - С. 15-26.
7. Адрианов С.Н. Формирование фосфатного режима дерново-подзолистых почв в разных системах удобрений. – М.: ВНИИА, - 2004. – 296 с.
8. Адрианов С.Н., Воробьёв Г.Т. Закономерности действия удобрений на урожай и качество ячменя. - М.: МГУ, - 2002. - С. 288 – 296.
9. Акимова А.В. Влияние предшественников и минеральных удобрений на качество яровой пшеницы на серой оподзоленной почве // Бюлл. ВНИИА. – 2003. – С. 92-94.
10. Алметов Н.С., Чернова Л.С., Завалин А.А. Продуктивность ячменя при использовании минеральных удобрений на дерново – слабоподзолистых почвах // Плодородие. – 2012. - №3, - С. 2 – 4.
11. Анспок П.И. Микроудобрения. - М.: Агропромиздат, 1990. - 272 с.
12. Анспок П.И. Совершенствование способов применения микроэлементов в растениеводстве // В сб. Микроэлементы в биол. и их использование в медицине. /Тез. докл. Сам. ГУ.– 1990. - С. 115-116.

13. Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах. - М.: ЦИНАО, 2000. – 524с.
14. Аристархов А.Н. Эколого – агрохимическое обоснование оптимизации питания растений и комплексного применения макро – и микроудобрений в агроэкосистемах. Автореф. дисс. ... д-ра. биол. наук. М, 2000. - 45 с.
15. Аристархов А.Н., Бушуев Н.Н., Сафонова К.Г. Приоритеты применения различных видов, способов и доз микроудобрений под озимые и яровые сорта пшеницы в основных природно-сельскохозяйственных зонах России // Агрохимия. - 2012. - №9. - С. 26-40.
16. Аристархов А.Н., Сафонова К.Г., Волков А.В. Рекомендации по применению микроудобрений под озимую и яровую пшеницу в различных природно-сельскохозяйственных зонах России. - М.: ВНИИА, 2012. - 24 с.
17. Аристархов А.Н. Модели определения потребности земледелия в микроудобрениях // Плодородие. – 2011. - №3.- С. 47-50.
18. Аристархов А.Н. Оптимизация полиэлементного состава в агроэкосистемах России. Эколого – агрохимическая оценка состояния дефицита, резервов, способов и средств его устранения. - М.: ВНИИА. - 2019. – 832 с.
19. Аристархов А.Н., Кирпичников Н.А., Виноградов В.В. Эффективность применения цинковых удобрений под озимую пшеницу. // Плодородие. – 2019. - №2. – С. 7-11.
20. Асаров Х.К. Эффективность фосфорных удобрений в условиях известкования // Доклады ТСХА. – 1974. – Вып. 243. – С. 14-20.
21. Аскинази Д.Л. О формах поглощения P_2O_5 в почвах в связи с ее доступностью растениям // Химизация соц. земледелия. – 1941. – № 1. – С. 38-46.
22. Аштаб И.В. Взаимодействие цинка с другими элементами как показатель его экологической активности // Агрохимия. – 1994. - № 11.- С. 114-120.
23. Бегеулов М.Ш. Статистический анализ технологических показателей качества зерна // Агрохимия. – 2002. - № 10. – С. 68-73.

24. Безуглая Ю.М., Кожемячко З.В., Рябизина Г.Е. Эффективность форм фосфорных удобрений в многолетнем опыте // *Агрохимия*. – 1984. - № 1. – С. 17-23.
25. Бортник Т.Ю. Агрохимические основы воспроизводства плодородия дерново-подзолистых почв и повышения продуктивности агроценозов в Вятско-Камской земледельческой провинции. Автореф. дисс. ... д-ра. с.-х. наук. - М., 2019. - 42 с.
26. Брагин А.М., Вильдфлуш И.Р. Влияние известкования на формы фосфатов в дерново-подзолистой почве и превращение фосфорных удобрений // *Агрохимия*. – 1973. – № 12. – С. 37-42.
27. Бугаев П.Д., Ламмас М.Е. Продуктивность и качество пивоваренного ячменя при применении циркона в условиях Центрального района Нечерноземной зоны // *Плодородие*. – 2013. - № 4. - С. 50-52.
28. Ваулина Г.И. Эффективность комплексного применения средств химизации на озимой пшенице в Центральном Нечерноземье // В кн. *Научные основы производства высококачественного зерна пшеницы*. - М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – С. 145-156.
29. Виноградова Я.Г. Влияние алюминиевой токсичности на проницаемость мембран у трёх сортов ячменя. Материалы международной научной конференции. - М.: ВНИИА, 2005. - С. 91 – 93.
30. Войтович Н.В., Сушеница Б.А., Копранов В.Н. Фосфориты России и ближнего Зарубежья. - М.: ВНИИА. - 2005. - 448 с.
31. Волынкина О.В. Фосфорное удобрение усиливает действие азота на урожай и качество пшеницы // *Проблемы агрохимии и экологии*. – 2019 - № 1. - С. 21-25.
32. Гаврилова А.Ю., Конова А.М., Мёрзлая Г.Е., Самойлов Л.Н. Эффективность использования органических и минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах Смоленской области // *Плодородие*. – 2010. - № 2. – С. 13-15.

33. Голубев Б.А. Кислые почвы и их улучшение. - М.: Сельхозиздат. – 1954. – С. 30-92.
34. Глазунова Н.М. Действие фосфора и извести на фосфатный режим сильноокислых дерново-подзолистых почв и урожай растений // Агрохимия. – 1983. – № 10. – С. 70-78.
35. Глазунова Н.М. Действие извести на фосфатный режим дерново-подзолистых почв // Сб. Известкование и применение минеральных удобрений. Горки. - 1985. – С. 55-58.
36. Гомонова Н.Ф., Овчинникова М.Ф. Влияние длительного применения минеральных удобрений и известкования на химические свойства, групповой и фракционный состав гумуса дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. – 1986. – № 1. – С. 85-90.
37. Гусейнов Б.Х. Сортвые особенности питания калием ячменя в Центральном Нечерноземье. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – М., 2000. - 24 с.
38. Гребенщиков В.Ю. Зависимость качественных показателей зерна ячменя от обеспеченности элементов минерального питания по фазам развития. Материалы Международной научной конференции. - М.: ВНИИА. – 2005. - С. 93-97.
39. Давлятшин И.Д., Лукманов А.Н., Маметов И.М. Источники фосфора и оценка их вклада в подвижный фонд этого элемента в пахотных почвах лесостепной зоны // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. - № 4. – С. 21-25.
40. Державин Л.М. Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии. - М.: Колос. – 1992. - 272 с.
41. Диалло А., Кукушкин В.К., Наумов В.Д. и др. // Изв. ТСХА. - 1990. - №3. - С. 84-90.
42. Дильмухаметова И.К. Состояние и динамика биогенных микроэлементов в агроценозе в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой

почве при длительном применении минеральных удобрений и известковании. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. - М.: МГУ, 2019. – 27 с.

43. Дзюин Г.П., Дзюин А.Г. Влияние систем удобрения на урожайность культур и качество урожая в длительном опыте. Сб. Результаты длительных исследований в системе геосети опытов с удобрениями РФ. - М.: ВНИИА. – 2012. - Вып. 2. - С. 125 – 136.

44. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки исследований). - М.: Агропромиздат. – 1985. – 351с.

45. Дышко В.Н. Эффективность фосфорных удобрений на ячмене в зависимости от обеспеченности почвы подвижными фосфатами. Материалы международной научной конференции «Агрохимические аспекты повышения продуктивности с-х культур.» - М.: Бюлл. ВИУА. – 2002. - № 116. – С. 225-227.

46. Завалин А.Н., Сычев В.Г., Алиев А.М. Использование минеральных удобрений и биологического азота в севооборотах Нечернозёмной зоны России. - М.: ВНИИА. – 2014. – 84 с.

47. Егоров В.Е., Доспехов Б.А. Известкование длительно удобрявшихся почв в севообороте и при монокультуре // Изв. ТСХА. – 1963. - № 6. – С. 125-137.

48. Ельников И.И. Сбалансированность питания растений на различных типах почв. В кн.: «Почвы московской области и их использование. –М., 2002. – Т.І.М. - С. 430-481.

49. Ельников И.И. Совершенствование методов комплексной диагностики питания растений // Современные проблемы почвоведения. Науч. Тр. Почвенного института им. В.В. Докучаева. - М., 2000 - С. 317-326.

50. Есаулко А.И., Ожередова А.Ю., Громова Н.В. Оптимизация питания сортов озимой пшеницы путем внесения расчетных доз минеральных удобрений на планируемый уровень урожайности // Агрохимический вестник. – 2018. – № 4. – С. 3-7.

51. Ивайлов А.В. Эффективность удобрения и известкования выщелоченных чернозёмов (Изд-во Саранского университета). – Саранск, 2015. – 264 с.
52. Иванов С.Н., Столярова Т.Ф. Физико-химический режим фосфатов в дерново-подзолистых почвах различных по окультуренности и плодородию // Почвоведение. – 1973. – № 2. – С. 39-45.
53. Иванова Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей. - М.В.О. Агропромиздат, 1989. - С. 42-205.
54. Иванов А.Л., Сычев В.Г., Державин Л.М., Адрианов С.Н., Карпова Д.В., Кирпичников Н.А. Агробιοгеохимический цикл фосфора. – М., 2012. – 511 с.
55. Исайчев, В.А. Оптимизация продукционного процесса сельскохозяйственных культур под воздействием микроэлементов и росторегуляторов в условиях лесостепи Поволжья / В.А. Исайчев // Автореф. дисс. ... д - ра с.-х. наук. - Ульяновск, 2004. - 46 с.
56. Каракис К.Д., Сидоркин Т.Н., Ермак М.М. Активность биосинтеза ИУК в зависимости от условий обеспечения цинком и обработки гетероауксином растений кукурузы // В кн. Физиолого-биохимическая роль микроэлементов в управлении адаптивными реакциями и продуктивностью растений. – Кишинев, 1990. - С. 113-117.
57. Карпинский Н.П. Об эффективности удобрений на дерново – подзолистых почвах Центральной части Нечерноземной зоны / Кн. Агрохимическая характеристика почв СССР. - М., 1972. - С. 120 – 144.
58. Кедров – Зихман О.К. Известкование почв и применение микроэлементов. - М., 1957. – С. 3-155.
59. Кириллова Е.В., Копылов А.Н. Влияние различных систем удобрения на изменение агрохимических свойств почвы // Аграрный вестник Урала. – 2017. - № 4. – С. 31-36.

60. Кирпичников Н.А. Оптимизация фосфатного режима дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы при сочетании фосфорных и известковых удобрений. Автореф. дисс. ... д-ра с-х наук. - М., 1989. – 47 с.
61. Кирпичников Н.А., Адрианов С.Н. Действие и последствие фосфорных удобрений на дерново-подзолистой почве при различной степени известкования // *Агрохимия*. – 2007. - № 10. – С. 1-11.
62. Кирпичников Н.А., Шильников И.А. Эффективность фосфоритной муки при периодическом известковании дерново- подзолистой почвы. Сб. Результаты длительных исследований в системе географической сети опытов с удобрениями Российской Федерации. – М.: ВНИИА, 2011.- С. 34-46.
63. Кирпичников Н.А. Влияние извести на фосфатный режим слабокультуренной дерново – подзолистой почвы при длительном применении удобрений // *Агрохимия*. – 2016. - № 12. – С. 3 – 9.
64. Кирпичников Н.А. Эффективность известкования и фосфорных удобрений при различных агрохимических свойствах дерново-подзолистых почв // В кн. Научные основы производства высококачественного зерна пшеницы. - М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – С. 145-156.
65. Кораблева Л.И. Влияние длительного последствия извести на фосфатный режим дерново-подзолистых почв // Сб. Памяти Д.Н. Прянишникова. - М.: АН СССР, 1950. – С. 401-418.
66. Коданев И.М. Ячмень. - М.: Колос, 1964. – 239 с.
67. Костин Я.В., Гусев В.И., Старцева А.А., Федькин Г.Н. Агроэкологическая эффективность разных форм минеральных удобрений на серых лесных почвах / Сб. результ. длит. исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями Российской Федерации. - М.: ВНИИА, 2012. – Вып. 2. - С. 164-178.
68. Климашевский Э.Л., Маркова Ю.А., Лебедева И.К. Взаимодействие алюминия и фосфора на поверхности корней и в клеточных стенках // Докл. ВАСХНИЛ. – 1979. - № 3. - С. 6-8.

69. Коданёв И.М. Влияние удобрений на качество зерна озимой пшеницы // VIII Международный конгресс по минеральным удобрениям. - М., 1976. – Ч. 2. – С. 12-22.
70. Костин, В.И. Влияние микроэлементов-синергистов на хлебопекарные свойства зерна озимой пшеницы / В.И. Костин, Ф.А. Мударисов, А.И. Кривова // Вестник РАН. - Наука. – 2014/6. – Том 14. – С. 54 – 57.
71. Красницкий В.М., Шмидт А.Г., Шилова К.М. Влияние интенсивности баланса фосфора на фосфатный режим почв Омской области // Плодородие. – 2013. - № 4. – С. 33-36.
72. Кудряшов В.С. Яровая и озимая пшеница: микроудобрения и качество // Зерновое хозяйство. – 1986. - № 10. – С. 34-37.
73. Кузменко Н.Е. Эффективность длительного применения удобрений в льняном севообороте на дерново-подзолистой почве / Материалы Всероссийского совещания научных учреждений – участников Географической сети опытов с удобрениями. - М.: ВНИИА, 2018. – С. 133-142.
74. Кузьмич М.А., Капранов В.Н., Орлова Т.Г. Влияние удобрений и реакции почвенной среды на урожай и качество зерна ярового ячменя селекции Московского НИИСХ (Немчиновка) // Плодородие. – 2017. - № 3. – С. 1-3.
75. Кузнецова З.А., Човжик А.Д., Фетисова Н.Ф. Влияние минеральных удобрений, навоза, извести при длительном применении на урожай культур севооборота, качество продукции и плодородие дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. – 1984. - № 10. – С. 32-41.
76. Кулаковская Т.Н., Детковская Л.П., Поздняк Т.В. Влияние известкования на фосфатный и калийный режимы дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Тезисы докладов, посвященные 100-летию со дня рождения О.К. Кедрова – Зихмана // Сб. Известкование и применение минеральных удобрений в интенсивных системах. Горки, 1985. – С. 62-65.
77. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. - М.: Агропромиздат, 1990. - 219 с.

78. Лагановский ЯМ. Применение марганца, цинка и меди для удобрений в условиях Латв. ССР. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Рига, 1952. - 21 с.
79. Лебедева Л.А. Система применения удобрений в Нечернозёмной зоне РСФСР. - М.: МГУ, 1989. - 94 с.
80. Литвинцева Т.А. Качество зерна и продуктивность пивоваренного ячменя в зависимости от обеспеченности азотным и фосфорным питанием. Материалы Международной научной конференции - М.: ВНИИА. – 2005. - С. 198-200.
81. Лошаков В.Г. Севооборот и плодородие почвы. - М.: ВНИИА, 2012. – 512 с.
82. Мамилов Ш.З., Саданов А.К., Гелялетдинов А.Н. Цинк в почвах и питание растений цинком // Агрохимия. - 1987. - № 4. - С. 107-116.
83. Мерзликин А.С. Проблемы рационального использования удобрений и средств химической защиты растений в сельском хозяйстве России. НИИСХ Центральных р-нов Нечерноземной зоны (Немчиновка). Автореф. дисс. ... докт. с.-х. наук. - М., 2009. – 120 с.
84. Минеев В.Г., Павлов А.Н. Значение основных минеральных элементов для накопления белков в зерне злаковых растений. // Агрохимия. - 1979. - № 8. - С. 117-130.
85. Минеев В.Г., Алексеев А.А., Тришина Т.А. Цинк в окружающей среде // Агрохимия. - 1984.- № 3. - С. 94-104.
86. Монсарова И.П., Коршунов А.А, Вознесенская Т.Ю. Влияние полифункциональных удобрений с включением гуминовых веществ, аминокислот, макро – и микроэлементов на урожайность и качество яровой и озимой пшеницы // Агрохимический вестник. – 2018. - № 6. – С. 39-43.
87. Мур Дж. В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния. Пер. с англ. - М.: Мир, 1987. - 285 с.
88. Небольсин А.Н. токсичность алюминия, марганца и железа при различных уровнях фосфорного питания растений и реакции среды // Сб.

трудов Северо-Западного НИИ сельского хозяйства. – Санкт Петербург: ЛНИИСХ, 1977. – С. 3-14.

89. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Теоретические основы известкования почв. Санкт-Петербург: ЛНИИСХ, 2005. – С. 90-118.

90. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Оптимальные интервалы реакции почв для сельскохозяйственных культур по данным длительных полевых опытов // Плодородие. – 2008. - № 4.- С. 2-4.

91. Никитишен В.И. Плодородие почвы и устойчивость функционирования агроэкосистемы. - М.: Наука, 2002. - 237 с.

92. Никифоров Н.Н., Токарев В.Н., Борзенков В.А. Методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве. - М.: ВИМ, 1995. – 95 с.

93. Новиков Н.Н., Шаталова Т.И., Романова Е.В. Влияние фиторегуляторов на формирование пивоваренных свойств зерна ячменя в условиях Центрально – Черноземного района // Плодородие. - 2015. - № 4. - С. 24-26.

94. Нормативы «Эффективность отдельных видов минеральных удобрений в зависимости от условий влагообеспеченности и обеспеченности почвы фосфором. Материалы «75 лет Географической сети опытов с удобрениями». - М.: ВНИИА, 2016. - С. 336 – 340.

95. Орлов Д.С. Химия почв. – М.: МГУ, 1985. – 110 с.

96. Орлов П.В. Связь между содержанием в почве обменного алюминия и легкоподвижного фосфора // Плодородие. - 2013. - № 4. - С. 13-15.

97. Палавеев Т., Паратински А., Икономова Е. и др. // Почвоведение и агрохимия. - 1975. - Т. 10. - № 2 - С. 64-73.

98. Палавеев Г., Тотев Т. Кислотность почвы и методы ее устранения М.: Колос, 1983. – С. 30-52.

99. Парибок Т.А. Взаимодействие цинка и фосфата в минеральном питании растений // Агрохимия. - 1970. - № 2. - С. 153-159.

100. Парибок Т.А., Алексеева-Попова Н.В. Влияние цинка на поглощение и использование фосфата растениями // Физиология растений. - 1965.- Т. 12.- № 4.- С. 591-596.
101. Парибок Т.А., Деменко СВ. Влияние недостатка цинка на активность глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы у растений // В кн. Биологическая роль и практическое применение микроэлементов. Тез. докл. VII Всесоюзн. Совещ. Рига. - 1975. - Т. 1. - С. 55-56.
102. Пасынков А.В. Агрохимические закономерности формирования продуктивности и качества зерновых культур. Автореф. дисс. ...д-ра биол. наук. – М., 2004. - 39 с.
103. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Особенности использования уровней множественной регрессии для прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы // Агрохимический вестник. - 2018. - № 3. - С. 69-74.
104. Пейве Я.В. Агрохимия и биохимия микроэлементов. - М.: Наука, 1980. - 430 с.
105. Пейве Я.В. Металлы-микроэлементы и роль их в ферментативных процессах // Агрохимия. - 1975. - № 8. - С. 148-156.
106. Пейве Я.В. Микроэлементы и их значение в сельском хозяйстве. - М.: Сельхозгиз, 1961. - 61 с.
107. Пивоварова Л.Е. Совершенствование основных элементов технологий возделывания ярового ячменя в условиях Центрального Нечерноземья. Автореф. диссертации канд. с-х наук (Немчиновка). – М., 2009. - 147 с.
108. Попов Г.Н. Агрохимия микроэлементов в степном Поволжье. (Изд-во Саратов. ун-тета). – Саратов, 1984. - 182 с.
109. Попов Г.Н., Егоров В.В. Микроудобрения на орошаемых землях. - М.: Россельхозиздат. - 1987.- С. 16-25.
110. Потатуева Ю.А. Эффективность микроэлементов в растениеводстве по регионам страны // Сб. Биологическая роль микроэлементов. - М., 1983. - С. 167-170.

111. Потатуева Ю.А., Хлыстовский А.Д., Янчук И.А. и др. Микроэлементы в растениях и почвах при систематическом применении минеральных удобрений, навоза и извести // *Агрохимия*. - 1984. - № 6. - С. 82-91.
112. Похлебкина Л.П. Влияние реакции почвенной среды на подвижность фосфатов в известкованной почве в условиях полевого опыта // *Бюлл. ВИУА*. - 1983. - № 63. - С. 62-65.
113. Прошкин В.А. Эффективность применения фосфорных удобрений под пшеницу в зависимости от агрохимических свойств почв // *Агрохимия*. - 2015. - № 3 - С. 34-42.
114. Пухальская Н.В., Сычёв В.Г., Собачкин А.А. Особенности калийного питания с-х. растений в оптимальных и неблагоприятных условиях - М.: ВНИИА, 2009. -92 с.
115. Ринькис Г.Я., Рамане Х.К., Паэгле Г.В. Основы оптимизации минерального питания растений // *Макро- и микроэлементы в минеральном питании растений*. Рига: Зинатне, 1979. - С. 29-32.
116. Рошка А.И. Активность нитратредуктазы в проростках озимой пшеницы, обработанных микроэлементами и антистрессовыми химическими препаратами // *Тез. докл. Кишинев*. - 1993. - С. 184-185.
117. Рудакова Э.В., Каркис К.Д., Скочилова О.А. и др. Значение цинка в регуляции ростовых процессов у кукурузы // В кн. *Биологическая роль и практическое применение микроэлементов*. Тез. докл. VII Всесоюзн. Совещ. Рига. - 1975. - Т. 1. - С. 62-63.
118. Сандухадзе Б.И. Азотная подкормка современных интенсивных сортов озимой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья / Б.И. Сандухадзе, Е.В. Журавлева // *Питание растений*. - 2012. - № 2. - С. 2-6.
119. Сандухадзе Б.И., Мамедов Р.З., Бугрова В.В., Рыбакова М.И. Селекция озимой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья России. Кн. *Немчиновка вчера и сегодня*. М., 2019. - С. 38-50.

120. Семашкина А. И. Формирование урожайности и качества озимой пшеницы в зависимости от микроэлементов цинка и марганца в лесостепи среднего Поволжья. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – Пенза, 2019. - 135 с.
121. Серегина И.И. Продуктивность и адаптационная способность сельскохозяйственных культур при использовании микроэлементов и регуляторов роста. Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. – М., 2008. - 40 с.
122. Смирнов А.П., Садовская Э.Н., Стокозов И.П. Изучение условий питания новых сортов ячменя // *Агрохимический вестник*. - 2010. - № 3. – С. 19 – 22.
123. Соколов А.В. Агрохимия фосфора. М.: Наука, 1950. – 164 с.
124. Соколов А.В. Запасы в почвах усвояемых фосфатов и их накопление при внесении фосфорных удобрений // *Почвоведение*. – 1958. - № 2. – С. 2-8.
125. Соколов А.В., Гладкова К.Ф. Накопление в почве остаточных фосфатов удобрений // *Агрохимия*. – 1979. - № 9. – С. 18-24.
126. Соколов О.А. Роль азота в питании растений и формировании качества озимой пшеницы. Кн. Научные основы производства высококачественного зерна пшеницы. – М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2018. – С. 107-122.
127. Справочник экономиста сельскохозяйственных организаций. - М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2012. – 270 с.
128. Степанок В.В., Голенецкий С.П. Влияние различных соединений цинка на урожай культур и его поступление в растение // *Агрохимия*. - 1990.- № 3. - С. 85-91.
129. Стребков И.М. Основные закономерности взаимодействия векторов почвенного плодородия, удобрений и погоды в условиях дерново – подзолистых почв Центрального района Нечернозёмной зоны РСФСР // *Агрохимия*. – 1989. - № 2. - С. 36 – 41.
130. Стрельников В.Н., Ерохина Е.Н. Эффективность известкования в длительном полевом опыте // *Сб. известкование и применение удобрений в интенсивных системах земледелия*. Горки. - 1985. – С. 32 – 36.

131. Суров Н.Г. Действие доз и соотношений минеральных удобрений на урожай и качество пшеницы и ячменя в условиях Кировской области. Тр. ВИУА Влияние удобрений на качество урожая основных с-х культур. - М., 1984. - С. 83-93.
132. Сушеница Б.Н. Фосфорный уровень почв и его регулирование. - М.: Колос, 2007. - С. 197-210.
133. Сычёв В.Г. Применение удобрений в адаптивно – ландшафтном земледелии Нечерноземной зоны России. М.: ВНИИА, 2005. - 160 с.
134. Сычев В.Г., Аристархов А.Н., Харитонов А.Ф. и др. Интенсификация продукционного процесса растений микроэлементами. Приемы управления. - М., 2009. - 520 с.
135. Сычев В.Г., Шафран С.А. Влияние агрохимических свойств почв на эффективность минеральных удобрений. М.: - ВНИИА, 2012. – 200 с.
136. Сычёв В.Г. и др. Эффективность фосфорных удобрений на почвах России и основные направления исследований Геосети по агрохимии фосфора // Бюлл. ВНИИА. - М., 2010. - Вып. 10.- с. 25 -32.
137. Сычёв В.Г., Аристархов В.Н., Яковлева Т.А. Цинк в агроэкосистемах России. - М.: ВНИИА, 2011. – 203 с.
138. Сычёв В.Г., Шафран С.А., Ваулина Г.И., Алиев А.М., Кирпичников Н.А. Рациональное использование минеральных удобрений под озимую пшеницу. Рекомендации. - М.: ВНИИА, 2015. – 32 с.
139. Сычёв В.Г., Кирпичников Н.А. Эффективность известкования в связи с агрохимическими свойствами дерново – подзолистых суглинистых почв Центрального Нечерноземья. - М.: ВНИИА, 2016. – 104 с.
140. Сычёв В.Г., Кирпичников Н.А., Шильников И.А. Фосфатный режим при известковании дерново-подзолистых суглинистых почв. - М.: ВНИИА, 2014. – 152с.
141. Сычев В.Г., Кирпичников Н.А., Шильников И.А. Эффективность фосфоритной муки при известковании дерново-подзолистых почв. - М.: ВНИИА, 2015. - 138 с.

142. Сычев В.Г., Шафран С.А. Влияние агрохимических свойств почв на эффективность минеральных удобрений. - М.: ВНИИА, 2012. - 200 с.
143. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. - М.: РАН, 2019. - 325 с.
144. Тарасова В.М., Журавлева А.Н. Микроэлементы в обмене веществ и продуктивности растений. - Киев: Наукова думка, 1984. - С. 72.
145. Тованчев И.В. Влияние фосфорных удобрений при различной окультуренности дерново-подзолистой почвы на урожайность и качество ярового ячменя // Материалы 52-й Международной научной конференции. - М.: ВНИИА, 2018. – С. 196-198.
146. Удрис Г.А., Нейланд Я.А. Биологическая роль цинка. - Рига: Зинатне, 1981. – 180 с.
147. Федотова Л.С. Влияние известкования на агрохимические показатели генетических горизонтов почвы // Плодородие. – 2003. - № 3. – С. 36-38.
148. Федюшкин Б.Ф. Минеральные удобрения с микроэлементами. - Л.: Химия, 1989. - 272 с.
149. Хлыстовский А.Д., Князева К.Н. Превращение разных форм фосфорных удобрений и их эффективность на дерново – подзолистой почве // Агрохимия. - 1976. - № 11. – С. 24 – 36.
150. Хлыстовский А.Д. Плодородие почвы при длительном применении удобрений и известии. - М.: Наука, 1992. – 192 с.
151. Цховребов В.С., Умаров А.Б. и др. Влияние фосфогипса и серосодержащих удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на черноземе // Агрохимический вестник. – 2018. – № 4. – С. 21-23.
152. Чухина О.В., Глазов Р.А., Смирнов Д.Е., Куликова Е.И. Влияние удобрений на продуктивность культур севооборота и вынос элементов питания в Вологодской области // Плодородие - 2019. - № 1. – С. 22-25.
153. Шафран С.А. Влияние типа почв и содержания в них подвижных фосфатов на эффективность фосфорных удобрений // Агрохимия. –2015. - № 3. – С. 26-33.

154. Шафран С.А. Ассортимент минеральных удобрений и экономическая эффективность их применения. – М.: Листерра, 2020. – 229 с.
155. Шильников И.А., Сычев В.Г., Зеленов Н.А., Аканова Н.И., Федотова Л.С. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия. - М.: ВНИИА, 2008. – 340 с.
156. Шильников И.А., Аканова Н.И. Вопросы известкования почв в современных условиях // Плодородие. – 2011. - № 3. – С. 22-24.
157. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений. - Л.: Наука, 1974. - 324 с.
158. Школьник М.Я., Парибок Т.А., Давыдова В.Н. Физиологическая роль цинка у растений // Агрохимия. - 1967. - № 5. - С. 133-139.
159. Ягодин Б.А., Муравин Э.А. //Биологическая роль микроэлементов. - М., 1983. - С. 154-160.
160. Ягодин Б.А., Торшин СП., Кокурин Н.Л. и др. Вариабельность микроэлементного состава зерна основных злаковых культур и факторы ее определяющие // Агрохимия. - 1989.- № 3.- С. 125-135.
161. Ягодин Б.А., Торшин СП., Удельнова Т.М., Кокурин Н.Л. и др. Вариабельность микроэлементного состава семян основных масличных культур // Агрохимия. - 1992. - № 3. – С. 85-93.
162. Янишевский Ф.В., Дзикович К.А., Безуглая Ю.М. Влияние известкования на эффективность минеральных удобрений в многолетних полевых опытах // Химия в сельском хозяйстве. – 1985. - № 11. – С. 14 – 17.
163. Amarasiri S.L., Olsen S.R. Liming as related to solubility of P and plant growth in an acid tropical soil. Soil. Sci. Soc. Am. Proc., - 1973.- V.37.- № 5.- P. 716-721.
164. Brown A.L., Krantz B.A., Eddings I.L. // Soil Sci. - 1970.- V. 110. - P. 415-420.
165. Chati S. et al. // Agric. Res. Rev. - 1977. - V. 55. - № 5. - P. 131 - 208.
166. Cooke G.W., Phosphorus and Potassium Problems in Plant Production and How to solve them. The IX Congress on Fertilizers, Budapest, 1984. - P. 1-39.

167. Foy C.D. Effects of aluminium on plant growth In. «The plant root and its environment». Virginia, 1974. - P. 601
168. Golmick F. et al. // Fortschrittsber fur die Landwirte. - 1970. - Bd. 8. - V. 4 - P. 5 - 83.
169. Grant C.A., Barley L.D. // Canad. J. Soil Sci. - 1989. - V. 69. - P. 461-472.
170. Kabata-Pendias, A., Pendias, H. Trace Elements in Soil and Plants/ 3rd Edn., CRC Press. - Florida, USA - Boca Raton. - 2001. - 413 p.
171. Kamprath E.J. Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. – Soil Sci. Soc. Am. Proc. - 1970. - V. 34. - № 2.- P. 252 – 254.
172. Li B. Y., Zhou D. M., Zhang H. L., Fan X. H., Qin S. W. Soil micronutrient availability to crops as affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications // Soil Tillage Res. - 2007.- № 96. - P. 166-173.
173. Lieberman, M. Plant Growth substances II Berlin Heidelberg / M. Lieberman, A.T Kunishi // Springer-Verl. - 1970. - P. 549.
174. Mebride M.B., Blasiak J.J. Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil // Soil Sci. Soc. Am. J. - 1979. - V. 43. - P. 200-230.
175. Mendes Jose, Kamprath E.J. Liming of latosols and the Effect on phosphorus response. – Soil Sci, Soc. Am. J. - 1978. - V. 42. - № 1.- P. 86-88.
176. Olsen S.R. Micronutrient in Agriculture // Soil Sci. Soc. America. Madison. Wis. - 1972. - P. 243.
177. Orabi A.A. et al. // Plant and Soil. – 1981 - V. 59. - № 1. - P. 51-59.
178. Probert M. E., Winter W. H., Jones R. K. Effects of liming and placement on responses to applied phosphorus. – Aust. J. Exp. Agric Anim, Husb. - 1979. - V. 19. -P. 583 – 589
179. Safaya N.M. // Soil Sci. Soc. America J. - 1976. - V. 40. - № 5. - P. 719-728.
180. Sakal R., Singh A.P., Singh B.P. // J. Ind. Soc. Soil Sci. - 1985. - V. 33. - № 2. P. 443-446.
181. Savithri R. // J. Ind. Soc. Soil Sci. - 1980. - V. 28. - № 3. - P. 371-374.

182. Sekimoto H., Hoshi M., Namura T., Yolota T. Zinc deficiency affects the levels of endogenous gibberellins in *Zea mays* (L.) // *Plant and Cell Physiol.* - 1997.-V. 38.- № 9. - P. 1087-1090.
183. Silverberg J., Young R.D., Hoffmeister G. // *Micronutrients in agriculture. USA. Wisconsin; Meddisson* - 1972. - P. 431-458.
184. Singh M., Singh KM J. *Indian Soc. Soil Sci.* - 1979. - V. 27. - № 3. - P. 314.
185. Singh V., Iripathi B.R. // *Ind. Soc. Soil Sci.* - 1985. - V. 33. - № 2. - P. 333-338.
186. Stojovic D. et al. // *Zemljiste Biljka.* - 1980. - V. 29. - № 3. - P. 279-286.
187. Steiner C., Teixeira W.G., Lehmann J., Nehls T., Vasconcelos de Macedo J.L., Blum W.E.H., Zech W. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil // *Plant Soil.* - 2007. - № 291.- P. 275-290.
188. Stoyanova L. Change of Zn, Mn, Cu and Fe content in different leaves of young maize plant cultivated by Zn deficiency.//*Докл. БЪЛГ. А.Н.* - 1995. - V. 48.- № 3. - P. 73-76.
189. Takahashi H., Kamata A. Влияние дефицита цинка на устья листьев и содержание эндогенных гибберелловой и абсцизовой кислот в растениях томата // *J. Agr. Sci.* - 1997. - V. 42. - № 1. - P. 12-19.
190. Wallace A. // *Soil Sci.*, 1982. - V. 133. - № 5. - P. 319-323.
191. Warren R.G., Yonston A.E., Report of the Rothamsted exper. Sta.for. - 1962. - P. 227-247.
192. White R.E. The cnigma of PH-P solubility relationships in Soil. *Jn. Proc.* // *Intern. Congr. On. Phosphorous Compounds, Brussel, 1983.* - P. 2-26.

Приложение

Урожайность соломы озимой пшеницы в зависимости от применения фосфорных удобрений и цинка при различной кислотности дерново-подзолистой почвы, ц/га

Вариант	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Среднее за 2017-2019 гг.
рН _{KCl} 4,0 (без извести)				
Без удобрений	21,6	24,0	25,1	23,7
N ₁₂₀ K ₉₀	23,0	25,7	29,0	25,9
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	43,5	41,2	40,2	41,6
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	43,7	44,0	41,6	43,1
рН _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)				
N ₁₂₀ K ₉₀	40,1	33,4	36,4	36,6
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	56,0	49,4	45,9	50,4
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	57,2	50,9	51,0	
рН _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)				
N ₁₂₀ K ₉₀	55,2	50,0	52,0	52,4
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	72,9	68,9	60,7	67,5
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	73,4	70,0	62,0	68,5

Влияние фосфорных и цинковых удобрений в зависимости от известкования дерново-подзолистой почвы на урожайность соломы ярового ячменя, ц/га

Вариант	2016 г.	2018 г.	2019 г.	Среднее за 2016, 2018, 2019 г.
рН _{KCl} 4,0 (без извести)				
Без удобрений	18,6	26,0	21,6	22,1
N ₉₀ K ₉₀	19,1	29,4	22,0	23,5
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	28,4	41,6	26,2	32,1
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	30,0	43,4	27,4	33,6
рН _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)				
N ₉₀ K ₉₀	31,6	33,5	30,0	31,7
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	39,2	48,0	36,6	41,3
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	39,8	51,4	39,0	43,3
рН _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)				
N ₉₀ K ₉₀	39,3	44,2	35,2	39,6
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	46,2	50,2	39,8	46,4
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	47,9	53,4	43,0	48,1

Приложение 11

Энергоемкость производства зерна и накопление энергии в зерне озимой пшеницы в зависимости от применения удобрений

Вариант	Накопление энергии в зерне, Гдж/га			Энергоемкость производства зерна, Мдж/ц		
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Без удобрений (ХСЗР)	38,8	44,2	27,1	745	494	744
N ₁₂₀ K ₉₀ +(ХСЗР) - Фон	40,0	48,5	27,4	975	823	1390
Фон + P ₉₀	71,6	75,7	61,8	603	582	687
Фон+известь 2,5 г.к.	81,6	94,4	61,7	521	468	663
Фон+известь 2,5 г.к.+ P ₉₀	112,1	119,0	86,8	419	406	518
НСР ₀₅	3,3	5,6	5,9	36	36	80

Энергетическая эффективность применения удобрений при возделывании
озимой пшеницы

Вариант	Энергозатраты, Гдж/га			К _{ээ} , единиц		
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Без удобрений (ХСЗР)	12,8	13,3	12,3	3,02	3,33	2,21
N ₁₂₀ K ₉₀ +(ХСЗР) - Фон	23,6	24,0	23,0	1,70	2,02	1,19
Фон + P ₉₀	26,1	26,5	25,7	2,74	2,85	2,40
Фон+известь 2,5 г.к.	25,8	26,7	24,8	3,17	3,54	2,49
Фон+известь 2,5 г.к.+ P ₉₀	28,4	29,2	27,3	3,94	4,07	3,18
НСР ₀₅	0,1	0,3	0,2	0,12	0,22	0,21

Примечание: последствие извести = 0 Мдж/га.

**Энергоемкость производства зерна и накопление энергии в зерне ярового
ячменя в зависимости от применения удобрений**

Вариант	Накопление энергии в зерне, Гдж/га			Энергоёмкость производства зерна, Мдж/ц		
	2016 г.	2018 г.	2019 г.	2016 г.	2018 г.	2019 г.
Без удобрений (ХСЗР)	31,8	47,9	28,3	379	297	462
N ₁₂₀ K ₉₀ +(ХСЗР) - Фон	35,0	50,1	29,1	636	493	522
Фон + P ₉₀	54,6	66,8	46,9	406	358	467
Фон+известь 2,5 г.к.	66,2	76,9	62,7	398	290	447
Фон+известь 2,5 г.к.+ P ₉₀	78,5	108,2	68,2	310	252	339
НСР ₀₅	3,3	5,4	5,3	26	25	65

Энергетическая эффективность применения удобрений при возделывании ярового ячменя

Вариант	Энергозатраты, Гдж/га			K _э , единиц		
	2016 г.	2018 г.	2019 г.	2016 г.	2018 г.	2019 г.
Без удобрений (ХСЗР)	11,3	12,0	11,1	1,81	2,99	1,55
N ₁₂₀ K ₉₀ +(ХСЗР) - Фон	21,2	21,6	20,8	0,65	1,32	0,40
Фон + P ₉₀	23,6	23,9	22,6	1,31	1,80	1,02
Фон+известь 2,5 г.к.	22,6	24,0	22,3	1,93	2,20	1,81
Фон+известь 2,5 г.к.+ P ₉₀	25,1	26,1	24,6	2,13	3,11	1,77
НСР ₀₅	0,1	0,2	0,2	0,11	0,18	0,19