

На правах рукописи

УДК 631:631.445.24:631.821.1:631.85

БИЖАН

Сергей Петрович

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

Специальность 06.01.04 – Агрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата сельскохозяйственных наук

Москва – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

Научный руководитель: **Кирпичников Николай Алексеевич** – доктор сельскохозяйственных наук.

Официальные оппоненты: **Конончук Вадим Витальевич**, доктор сельскохозяйственных наук, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», лаборатория разработки сортовых технологий возделывания зернобобовых культур, и.о. зав. лабораторией
Чухина Ольга Васильевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», факультет агрономии и лесного хозяйства, декан

Ведущее учреждение: ФГБНУ «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр»

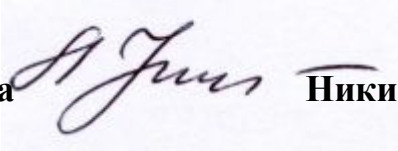
Защита диссертации состоится «17» июня 2021 г. в 14.00 час. на заседании диссертационного совета Д 006.029.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова». Адрес: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке при ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» и на сайте: https://vniia-pr.ru/upload/iblock/0f2/bizhan_diss_02_04_2021.pdf

Автореферат разослан «___» _____ 2021 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а, ученому секретарю диссертационного совета.

E-mail: dissovet_vniia@mail.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета  **Никитина Любовь Васильевна**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. Повышение производства зерна в нашей стране во многом зависит от плодородия почв. В большей мере это относится к зоне Центрального Нечерноземья, где слабоокультуренные почвы с повышенной кислотностью и слабой обеспеченностью подвижными фосфатами составляют около 70%, что является одной из причин низкой (около 20-22 ц/га) урожайности зерновых культур (Сычев, 2019).

Для повышения плодородия слабоокультуренных дерново-подзолистых почв и производства зерна необходимо, прежде всего, периодическое известкование, рациональное с учетом потребности растений внесение удобрений.

Особенно это важно в современных интенсивных технологиях возделывания основных для зоны зерновых культур таких как озимая пшеница и яровой ячмень. Для формирования высокой урожайности зерновых культур интенсивных сортов растения нуждаются в большой мере не только в макроэлементах, но и в микроэлементах, содержание которых в почвах Центрального Нечерноземья в основном низкое, в особенности подвижного цинка (Аристархов, 2019).

При комплексном применении средств химизации, как показывают некоторые исследования, возможно получение достаточно высокой урожайности озимой пшеницы и ярового ячменя.

Однако исследований по изучению эффективности сочетания фосфорных и цинковых удобрений при различных уровнях известкования недостаточно, особенно в интенсивных технологиях возделывания озимой пшеницы и ярового ячменя на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах в условиях длительного полевого опыта.

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 Московская 39 и ярового ячменя НУР.

В задачи исследований входило:

– изучить влияние фосфорных удобрений в сочетании с цинковыми на урожайность озимой пшеницы, и ярового ячменя 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 и энергетическую 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 г. 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 повышается содержание подвижного алюминия в почве с 45 до 130 мг/кг, формируется такая же минимальная урожайность, как в варианте контроля без удобрений и составила в среднем за 2016-2019 г.: 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 многолетнего 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 извести, при которой 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%; масса 1000 зерен на 4 г., в зерне ярового ячменя: содержание сырого белка на 1,1%; масса 1000 зерен на 7,5 г.

Коэффициент использования фосфора растениями озимой пшеницы без известкования составил 13,6%, с известкованием по 2,5 г.к. – 49,7%, а с приме-

нением цинка – 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 известковании повышались 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.

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.

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.

Объём и структура работы. Диссертация изложена на 124 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 193 наименования, из них 31 на иностранных языках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Объекты, условия и методы проведения исследований

Исследования проводили в длительном полевом опыте СШ-27, заложенном в 1966 г. на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Центральной опытной станции ВНИИА (Московская область, Шибанцевский 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/100 г; 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.), яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.) с подсевом клевера (*Trifolium pretense* L.), клевер двух лет пользования (в последние годы – 11-я и 12-я ротации- один год пользования). Эффективность фосфорных и 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 трубоквания; 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 делянки 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_{KCl} 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 и др., (1995); статистическую обработку данных – по Доспехову, (1985).

В результате периодического известкования и систематического внесения минеральных удобрений за годы проведения полевого опыта (с 1966 по 2015 год) изменились агрохимические свойства дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (табл. 1)

1. 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/100 г	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 НК) 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 повысилось (с 30,1 до 93,0 мг/кг) от применения фосфорных удобрений. При наличии в севообороте клевера содержание гумуса по вариантам опыта существенно не изменилось и составляло 1,30-1,39%. Содержание подвижного цинка в почве низкое (0,6-0,9 мг/кг).

Метеоусловия различались по годам (рис. 1).

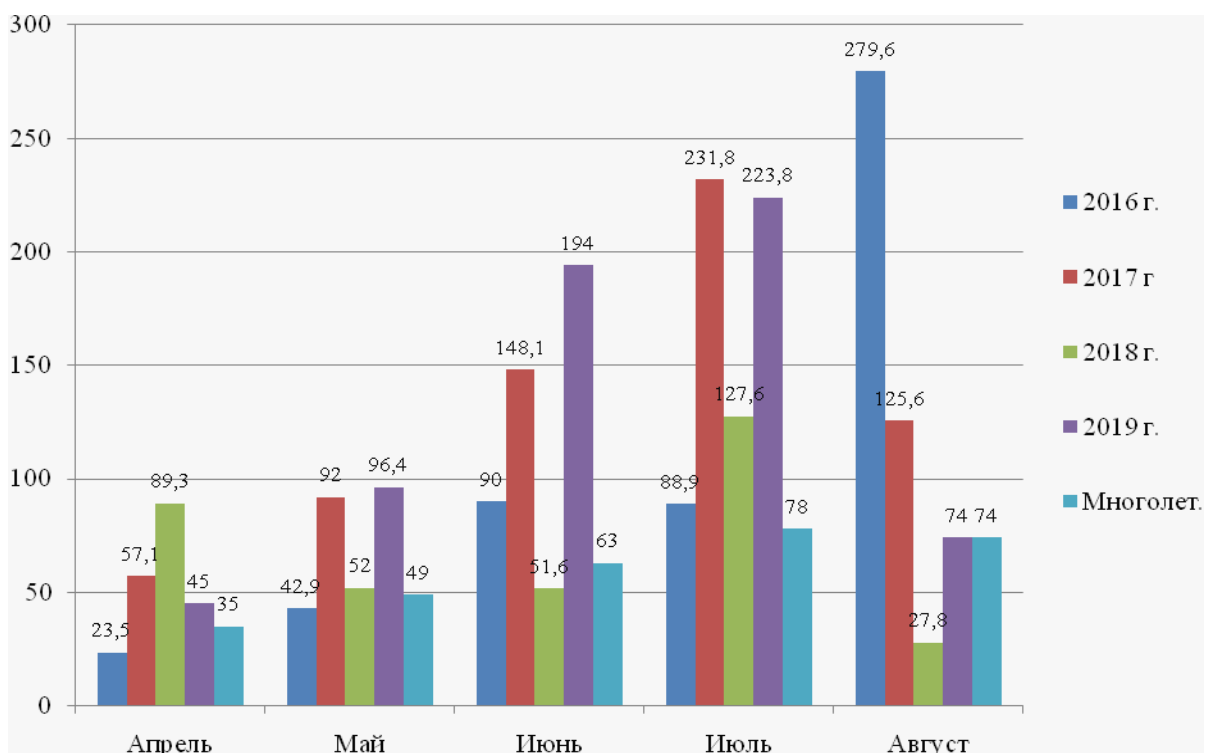


Рис. 1. Метеорологические показатели вегетационного периода (осадки, мм) за 2016-2019 г. по данным метеопоста ЦОС ВИУА.

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. В весенний период 2017, 2018 гг. сложились относительно благоприятные условия для роста и развития озимой пшеницы и ячменя, как по температурному режиму, так и по обеспеченности осадками, что сказалось положительно на урожайности зерновых культур. В 2019 г. 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 среднемесячной 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 на урожайности и качестве зерна.

2. Влияние фосфорных удобрений с использованием цинка при известковании на формирование урожайности озимой пшеницы

Улучшение агрохимических свойств положительно сказалось на урожайности озимой пшеницы сорта Московская 39, которая изменялась и по годам в зависимости от метеоусловий и применяемых удобрений (табл. 2).

2. 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.
pH _{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
pH _{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
pH _{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 благоприятном 2018 г. получена наибольшая урожайность по сравнению с другими годами и достигала 74,5 ц/га.

Применение одних только азотных и калийных удобрений на неизвесткованной почве в 2017 и 2018 годах 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 неизвесткованной особенно в 2017 г. Так на неизвесткованной почве при реакции почвенной среды 4,0 средняя урожайность озимой пшеницы увеличилась на 62%, а в 2017 г. – в 2 раза (табл. 3). На известкованной почве, особенно большой дозой (по 2,5 г.к.) при значении pH_{KCl} 5,4 эффективность фосфорных удобрений снижалась, средняя прибавка урожая составляла 27%. Снижение действия фосфорных удобрений на известкованной почве связано с улучшением обеспеченности растений фосфором за счет самой извести, особенно высокой дозы, которая повышала среднюю урожайность более чем в два раза по сравнению с фоном азотно-калийных удобрений.

Внесение цинковых удобрений обеспечивало дополнительное повышение урожайности озимой пшеницы, в большей степени это отмечалось на известкованной почве по 2,5 г.к. – прибавка зерна 6,1 ц/га. Максимальная средняя уро-

жайность (69,2 ц/га) формировалась при внесении фосфорных и цинковых удобрений на известкованной почве по 2,5 г.к., что выше фона НКв 2,9 раза.

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

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка от P ₂ O ₅ , ц/га	Прибавка от Zn, ц/га	Окупаемость 1 кг NPK зерном, 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

Окупаемость минеральных удобрений (N₁₂₀P₉₀K₉₀) 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 высокая прямая корреляция между урожайностью озимой пшеницы и значением pH_{KCl} почвы, ($r = 0,90$; $d = 0,81$), а также с содержанием подвижных фосфатов в почве ($r = 0,80$; $d = 0,64$). Зависимость её от гидролитической кислотности обратная и достаточно тесная ($r = -0,76$; $d = 0,58$).

Урожайность зерна озимой пшеницы зависела от структуры. В более благоприятные 2017, 2018 г. масса 1000 зерен и количество их в колосе были выше, чем в менее благоприятном 2019 г. Так, в варианте без удобрений 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 по 2,5 г.к. В среднем за 2017-2019 г. в этом варианте масса 1000 зерен составила 46,2 г, а коли-

чество зерен в колосе 27,9 шт., что выше фона азотно-калийных удобрений на 10,0 и 55,0% соответственно.

Применение фосфорных удобрений и цинка на известкованной почве несколько повышало (с 0,43 до 0,49) хозяйственный коэффициент урожая, что свидетельствует о положительном их влиянии на формирование репродуктивной части урожая в большей мере, чем вегетативной.

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. В 2018 г. содержание азота, фосфора и калия в растениях озимой пшеницы было выше, чем в 2019 г.. Их концентрация в контрольном варианте была ниже, чем в вариантах с применением фосфорных удобрений на известкованной почве, в 2018 г. она изменялась: азота с 2,18 до 2,35%, фосфора с 0,61 до 0,74%, калия с 0,35 до 0,51%.

Содержание азота и калия в соломе озимой пшеницы практически не изменялось и составляло 0,40-0,47% и 1,45-1,50% соответственно, а содержание фосфора несколько повышалось (с 0,19 до 0,34%) при внесении фосфорных удобрений при известковании почвы.

Вынос основных элементов питания растениями зависел в основном от урожайности (табл. 4).

4. Вынос элементов питания растениями озимой пшеницы (зерно + солома) в среднем за 2018, 2019 г.

Вариант	Вынос, кг/га		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
pH _{KCl} 4,0 (без извести)			
Без удобрений	57,3	18,1	44,8
N ₁₂₀ K ₉₀	67,7	20,2	51,4
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀	100,1	32,4	75,9
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	107,6	37,2	79,4
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)			
N ₁₂₀ K ₉₀	87,9	30,1	62,6
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀	132,0	44,7	82,6
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	141,2	49,9	83,8
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)			
N ₁₂₀ K ₉₀	132,3	48,1	91,9
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀	171,0	64,9	119,1
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	183,8	69,0	125,4

В 2018 г. растения потребляли азота 66,1-202,5 кг/га; фосфора – 20,1-75,2 кг/га; калия – 47,3-134,9 кг/га. В 2019 г. – соответственно: 48,4-165,0; 16,1-62,7 и 42,3-115,8 кг/га.

Повышение выноса отмечалось в большей мере от применения фосфорных удобрений и известкования, в меньшей степени от применения цинковых микроудобрений. Максимальные величины выноса отмечались в вариантах с применением фосфорных удобрений в сочетании с цинком на известкованной почве большой дозой, что превышает вариант контроля в 3-3,4 раза. 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. Изучаемые средства (известь и цинк) повышали использование фосфора из удобрений с 13,6 до 54,2%, то есть в 4 раза (табл. 5).

5. Использование фосфора растениями озимой пшеницы, среднее за 2018, 2019 г.

Вариант	Внесено P ₂ O ₅ , кг/га	Вынос P ₂ O ₅ , кг/га	КИФ, %
рН _{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
рН _{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
рН _{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, расчет от общего фона НК.

4. Влияние фосфорных и известковых удобрений с использованием цинка при известковании на формирование урожайности ярового ячменя

Метеорологические условия особенно сказались на формировании урожайности ярового ячменя.

Наибольшая урожайность ярового ячменя сорта НУР формировалась в благоприятном 2018 г. и достигала 67,5 ц/га (табл. 6), даже в вариантах контро-

ля она составляла 33,6 ц/га. В 2016 и 2019 годах её максимум составил около 49 ц/га при уровне в контроле 17,5 и 23,9 ц/га соответственно.

Эффективность удобрений по годам также различалась, в 2016 неблагоприятном году наблюдался наиболее высокий эффект от применения фосфорных удобрений – прибавка урожая на известкованной почве достигала 62%. На известкованной почве по 2,5 г.к. прибавки урожая от фосфора значительно снижались и составляли в 2016 г. 25%, а в среднем – 15% (табл. 7). Значительное действие на урожайность оказало известкование, особенно высокой дозой, прибавки достигали в менее благоприятном 2016 г. 96%, а в среднем – 63%. Азотно-калийные удобрения во все годы были не эффективны в основном из-за высокого содержания подвижного алюминия в почве.

На известкованной почве потребность растений в цинковых удобрениях возрастала, прибавки урожайности в данном случае были достоверными и достигали 4,4-5,7 ц/га, в то время как на известкованной они составляли – 2,5-3,1 ц/га. Максимальная урожайность ярового ячменя 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 фон НКв 2,1 раза.

6. 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

Известкование и применение цинковых микроудобрений значительно повышали окупаемость минеральных удобрений прибавкой урожая зерна. Так при известковании по 2,5 г.к. она достигала 9,3 кг, что превышало уровень окупае-

мости удобрений на известкованной почве почти в два раза. Максимальная (12,6 кг/кг) окупаемость удобрений прибавкой урожая достигалась при внесении цинковых микроудобрений на известкованной почве большой дозой.

7. 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 г.)

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка от P ₂ O ₅ , ц/га	Прибавка от Zn, ц/га	Окупаемость NPK прибавкой зерна, кг/кг	
				без Zn	с Zn
pH _{KCl} 4,0 (без извести)					
Безудобрений	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

Отмечалась высокая прямая корреляция урожайности с реакцией почвенной среды ($r = 0.89$) и содержанием подвижного фосфора в почве ($r = 0.80$) и отрицательная с гидролитической кислотностью ($r = -0,76$).

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

Применение фосфорных удобрений повышало массу 1000 зерен в среднем: на известкованной почве на 2,1 г, на известкованной по 2,5 г.к. – на 1,4 г., количество зерен в колосе увеличивалось соответственно на 6,1 и 1,6 шт. Значительное влияние на структуру урожая оказало известкование по 2,5 г.к., масса 1000 зерен увеличилась на 4,9 г., количество зерен в колосе на 8,3 шт. Применение фосфорных удобрений в сочетании с цинком на известкованной

почве по 2,5 г.к. повышало по сравнению с фоном НК массу 1000 зерен на 16,4 %, а количество зерен в колосе в 1,8 раза.

5. Содержание и вынос азота, фосфора и калия урожаем ярового ячменя

Метеорологические условия и изучаемые факторы оказали определенное влияние на содержание основных элементов питания и вынос урожаем ярового ячменя (табл. 8).

8. Вынос элементов питания растениями ярового ячменя (зерно + солома) в среднем за 2018, 2019 г.

Вариант	Вынос, кг/га		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
рН _{KCl} 4,0 (без извести)			
Без удобрений	68,3	29,1	64,0
N ₉₀ K ₉₀	77,6	28,8	65,7
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	103,4	44,5	94,2
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	109,6	47,6	100,0
рН _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)			
N ₉₀ K ₉₀	96,5	42,7	89,2
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	129,9	57,1	119,5
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	137,8	61,6	126,5
рН _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)			
N ₉₀ K ₉₀	121,8	53,8	110,2
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	138,5	62,4	126,2
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	147,3	68,3	133,4

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

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

Наибольшее действие на вынос элементов питания оказало известкование по 2,5 г.к., в среднем за два года он повысился: азота на 57%, фосфора –

почти в два раза, калия – на 68%. Максимальные величины выноса элементов питания отмечалась при сочетании фосфорных и цинковых удобрений на известкованной почве 2,5 г.к., которая превышала уровень фона НК соответственно: в 1,9; 2,4 и 2,0 раза.

В расчете на 1 т урожая ярового ячменя вынос фосфора от применения удобрений в этом варианте достигал 11,8 кг, а в варианте НК – 10,2 кг при плановом его выносе 11,0 кг.

Известкование и применение цинковых удобрений оказали значительное влияние на использование фосфора растениями ярового ячменя (табл. 9).

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

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 применения цинка на неизвесткованной почве.

6. Качество зерна озимой пшеницы и ярового ячменя в зависимости от применения фосфорных удобрений и цинка при известковании

Исследования в длительном полевом опыте показали, что при значительном повышении урожайности озимой пшеницы и ярового ячменя под влиянием удобрений улучшались качественные показатели зерна. Так, при внесении фос-

форных удобрений и известковании содержание белка в зерне озимой пшеницы увеличивалось: в 2017 г. с 12,0 до 13,4%; в 2018 г. с 13,1 до 13,7%; а в среднем с 12,6 до 13,5%. Среднее содержание клейковины повышалось с 28,8 до 30,7% (табл. 10).

10. Влияние фосфорных и цинковых удобрений при известковании на качество зерна озимой пшеницы в среднем за 2017, 2018 г.

Вариант	Сырой белок, %	Клейковина, %	Натура, г/л	Содержание P ₂ O ₅ , %
pH _{KCl} 4,0 (без извести)				
Без удобрений	12,2	28,0	743	0,56
N ₁₂₀ K ₉₀	12,6	28,8	749	0,56
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	12,8	28,1	758	0,59
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	12,9	25,7	765	0,62
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)				
N ₁₂₀ K ₉₀	13,0	29,2	757	0,60
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	13,1	29,8	765	0,62
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	13,3	30,0	772	0,63
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)				
N ₁₂₀ K ₉₀	13,3	30,1	770	0,65
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	13,5	30,7	773	0,68
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	13,5	30,8	776	0,66
НСР ₀₅	1,7	2,4	13,8	0,25

При сочетании фосфорных и цинковых удобрений на известкованной почве существенно (на 10%) увеличивалась натурная масса зерна и достигала в среднем 776 г/л.

Содержание фосфора в зерне озимой пшеницы в наиболее благоприятном 2018 г. 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 и 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. Содержание сырого белка в 2018 г. было наибольшим и достигало 11,1%, а в среднем составляло в контроле 8,4%, в вариантах с комплексным применением удобрений оно достоверно повышалось до 9,51% (табл. 11). По содержанию крахмала наблюдалась обратная зависимость при максимальной величине (47,2%) в варианте контроля. При совместном внесении фосфорных и цинковых удобрений на

известкованной большой дозой почве достоверно повышалась масса 1000 зерен и составила 53,1 г., что выше фона азотно-калийных удобрений на 11%.

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

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
pH _{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
HCP ₀₅	1,10	2,20	0,26	4,1

7. Экономическая и энергетическая эффективность применения фосфорных удобрений с использованием цинка при известковании

В результате проведенных исследований в длительном полевом опыте установлена относительно высокая экономическая и энергетическая эффективность применения фосфорных удобрений, особенно в благоприятные годы. При внесении фосфорных удобрений на известкованной почве, когда прибавки урожая снижались по сравнению с применением их на неизвесткованной почве, окупаемость затрат несколько уменьшались: при возделывании озимой пшеницы с 4,12 до 3,71 руб/руб; ярового ячменя – с 3,02 до 1,83 руб/руб. При использовании цинковых удобрений окупаемость затрат, связанных с применением фосфорных удобрений, несколько повышалась и изменялась соответственно: с 4,41 до 4,78 руб/руб и с 3,30 до 2,90 руб/руб.

Важным интегрирующим показателем применения удобрений служит коэффициент энергетической эффективности по зерну (K_{ээ}). Максимальный (K_{ээ}) был достигнут при внесении фосфорных удобрений на известкованной почве по 2,5 г.к. и составил при возделывании озимой пшеницы 3,73; ярового ячменя – 2,47; что выше фона азотно-калийных удобрений в 2,3 и 2,7 раза соответственно.

Выводы

1. В длительном полевом опыте, заложенном в 1966 г. 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 г.: 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%. Урожайность при этом повышалась: озимой пшеницы в 2,1 раза, ярового ячменя в 1,6 раза по сравнению с фоном НК.
4. Применение цинковых микроудобрений в дозе 5 кг/га на фоне полного минерального удобрения (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, или на 10 и 12% выше соответственно.
5. Максимальная средняя урожайность озимой пшеницы 69,2 ц/га и ярового ячменя 55,3 ц/га достигалась при внесении фосфорных удобрений на известкованной почве по 2,5 г.к. с использованием цинка, что выше фона НКв 2,9 и 2,1 раза соответственно. Известкование и применение цинка повышало окупаемость минеральных удобрений (NPK) зерном: озимой пшеницы с 5,7 до 15,8 кг/кг, ярового ячменя – с 5,2 до 12,6 кг/кг.
6. Известкование и внесение цинковых удобрений значительно 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. 49,7 и 54,2%, растениями ярового ячменя он составил в первом случае: 26,3 и 31,5; и во втором – 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 и ярового ячменя в 2,7 раза.

Предложения производству

С целью улучшения плодородия слабоокультуренной 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, повышается также качество зерна.

Список опубликованных работ по теме диссертации:

1. *Киртичников Н.А., Бижан С.П.* «Энергетическая эффективность фосфорных удобрений и средств химической мелиорации при возделывании ярового ячменя в полевом севообороте» // Проблемы агрохимии и экологии. – 2018. – №3. – С. 22-25.
2. *Киртичников Н.А., Бижан С.П., Тованчев И.В.* «Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы на агроэкономическую эффективность фосфорных удобрений при возделывании ярового ячменя в севообороте». // Агрохимический вестник. – 2019. – №2. – С. 10-13.
3. *Киртичников Н.А., Бижан С.П.* «Фосфатный режим при известковании дерново-подзолистой почвы и эффективность фосфорных и цинковых удобрений»

ний». // Плодородие почв России: состояние и возможности. Под редакцией В.Г. Сычева. М.: ВНИИА. – 2019. – 240 с.

4. *Киртичников Н.А., Бижан С.П., Морачевская Е.В.* «Влияние фосфорных удобрений на качество зерна озимой пшеницы (*Triticum Aestivum* L.) при известковании дерново-подзолистой почвы». // Проблемы агрохимии и экологии. – 2019. – №3. – С. 31-33.

5. *Бижан С.П., Киртичников Н.А.* «Затраты фосфора на увеличение содержания подвижных фосфатов в дерново-подзолистой почве в зависимости от применения фосфорных и известковых удобрений и времени их действия». // Проблемы агрохимии и экологии. – 2019. – №3. – С. 27-30.

6. *Байбеков Р.Ф., Киртичников Н.А., Бижан С.П., Абрамов А.А.* «Агроэкономическая эффективность фосфорных удобрений при возделывании культур полевого севооборота в зависимости от фосфатного уровня и кислотности дерново-подзолистой почвы». // Земледелие. – 2019. – №6. – С. 9-11.

7. *Киртичников Н.А., Бижан С.П.* «Влияние фосфорных и цинковых удобрений в зависимости от известкования дерново-подзолистой почвы на урожай и качество зерна озимой пшеницы» // Агрохимический вестник. – 2020. – №3. – С. 41-45.

8. *Киртичников Н.А., Бижан С.П.* «Влияние фосфорных и цинковых удобрений в зависимости от известкования дерново-подзолистой почвы на урожай и качество зерна ярового ячменя». // Плодородие. – 2020. – №5. – С. 23-27.