

На правах рукописи

УДК 631.8:633.11

БЕЛОЗЁРОВ

Дмитрий Александрович

**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ И ИЗВЕСТКОВА-
НИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕ-
НИЦЫ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ**

Специальность: 06.01.04 – агрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Москва 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина» и в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова».

Научный руководитель: **Налиухин Алексей Николаевич**,
доктор сельскохозяйственных наук, доцент

**Официальные
оппоненты:** **Окорков Владимир Васильевич**,
доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр», отдел агрохимии и экологии, главный научный сотрудник

Ступаков Алексей Григорьевич,
доктор сельскохозяйственных наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», кафедра земледелия, агрохимии, землеустройства, экологии и ландшафтной архитектуры, профессор кафедры

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия»

Защита диссертации состоится «21» апреля 2022 г. в 16-00 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, д. 31а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке при ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» и на сайте: https://www.vniia-pr.ru/upload/iblock/562/belozarov_diss_01_02_2022.pdf

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять по адресу: 127434, 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. В Северной части Нечернозёмной зоны России основными зерновыми культурами являются ячмень, овёс, яровая пшеница и озимая рожь. В связи с появлением новых сортов озимой пшеницы, обладающих потенциально высокой урожайностью, сочетающейся с зимостойкостью, в последние годы увеличиваются посевные площади и под данной культурой (Ваулина, 2007; Сычев и др., 2014; Сандухадзе и др., 2021; Шафран, 2021).

Так, в Вологодской области в 2021 году посевная площадь озимой пшеницы по данным Росстата составила 1,1 тыс. га, что в 1,8 раза больше, чем в 2020-м году. Урожайность озимой пшеницы в условиях региона – 20-22 ц/га, что выше, чем у озимой ржи – 11-16 ц/га, но значительно ниже, чем в Северо-западном округе. С одной стороны, это связано с низким уровнем плодородия пахотных дерново-подзолистых почв, составляющих основной массив пашни региона, с другой – недостаточным применением удобрений. В 2020 году на 1 га пашни было внесено всего 48 кг/га NPK и 3,8 т/га органических удобрений, что в 3 и 2,4 раза меньше, чем в 1986 году. В результате, вот уже почти 30 лет в земледелии региона складывается отрицательный баланс, что повлекло за собой снижение содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах (Веденеева и др., 2016; Сычев, Шафран, Виноградова, 2020). Так, в 2020 году баланс по азоту составил –26 кг/га, фосфору –9 кг/га, калию –35 кг/га. Низкие темпы известкования приводят к дальнейшему подкислению и без того исходно кислых дерново-подзолистых почв.

В этой связи, для Вологодской области и Севера Нечерноземья в целом, вопрос изучения и применения различных систем удобрения для озимой пшеницы представляет собой сложную и крайне необходимую научно-практическую задачу. При этом очень важно оценить эффективность минеральных, органических и органоминеральных систем удобрения при известковании не только на урожайность зерна озимой пшеницы, но и его качество, возможность получения зерна, пригодного для хлебопечения (Шильников и др., 2012; Сандухадзе, Рыбакова, Осипова, 2013; Афанасьев, Мерзлая, 2021). Решение поставленной проблемы представляет несомненный интерес и является весьма актуальной задачей.

Цель и задачи исследований. Цель настоящей работы – оценка влияния органических, минеральных, органоминеральных систем удобрения на фоне известкования и без него на урожайность, химический состав и хлебопекарные качества зерна озимой пшеницы сорта Московская 56, возделываемой на дерново-среднеподзолистой легкосуглинистой почве, типичной для Нечерноземья.

Для достижения поставленной цели решали следующие задачи:

1. Изучить влияние различных систем удобрения и известкования на урожайность зерна озимой пшеницы сорта Московская 56.

2. Установить влияние различных систем удобрения на химический состав зерна и соломы озимой пшеницы при известковании.

3. Определить влияние изучаемых систем удобрения на вынос азота, фосфора и калия при разных уровнях кислотности.

4. Выявить влияние различных систем удобрения на качественные показатели зерна озимой пшеницы.

5. Изучить энергетическую и экономическую эффективность применения различных систем удобрения и известкования.

Научная новизна исследований. Впервые в Северной части Нечерноземной зоны России на дерново-среднеподзолистой легкосуглинистой почве, в стационарном полевом опыте было изучено влияние различных систем удобрения – органической, минеральной, органоминеральной и биомодифицированного органоминерального удобрения (ОМУб) на двух уровнях рН на урожайность и качество зерна озимой пшеницы сорта Московская 56. Установлено, что наибольшая урожайность зерна была получена на известкованном фоне с pH_{KCl} 5,8-5,9 при органоминеральных системах удобрения – 32,7-75,6 ц/га, на втором месте была минеральная система – 27,8-65,6 ц/га, третьем – органическая (26,1-55,5 ц/га). Выявлено, что применение различных систем удобрения увеличивало вынос НРК в расчёте на 1 т зерна (с учётом соломы), который в среднем составлял: N – 30 кг, P_2O_5 – 11, K_2O – 23 кг, при соотношении азота, фосфора и калия 2,7-2,8:1,0:2,0-2,4 на неизвесткованном фоне и 2,8-3,1:1,0:1,9-2,3 при внесении $CaCO_3$. Определено, что максимальные величины азотного индекса (0,65-0,69), свидетельствующие об эффективности использования азота озимой пшеницей, отмечены на известкованном фоне при применении всех систем удобрения, за исключением ОМУ. Установлено, что при органоминеральной системе удобрения, удельный вынос микроэлементов на не известкованном фоне составил: Cu – 4,8 г/т, Zn – 44,3 г/т, Co – 0,14 г/т и Mn – 49,5 г/т, при известковании он уменьшается на 20-30%, что необходимо учитывать при разработке систем удобрения. Известкование ранее слабокислой почвы до pH_{KCl} 5,8-5,9 способствует повышению содержания белка в зерне озимой пшеницы в среднем на 1% (абс.) до 12,0-15,2%, обеспечивая получение зерна по данному показателю 1-3 класса.

Практическая значимость. На основании проведённых исследований можно рекомендовать систему удобрения, основанную на сочетании внесения навозного компоста КРС в дозе 50 т/га в занятом вико-овсяном пару с применением минеральных удобрений $N_{30}P_{30}K_{60}$ и 50 кг/га азота весной в подкормку. Применение данной системы удобрения на слабокислой дерново-подзолистой почве без известкования способствует получению урожайности зерна 44,9 ц/га при окупаемости затрат 1,23 руб/руб. Известкование до pH_{KCl} 5,8-5,9 позволяет поднять эффективность органоминеральной системы удобрения и получать среднегодовую урожайность озимой пшеницы на уровне 51,3 ц/га при окупаемости 1,29

руб./руб., обеспечивая получение зерна, пригодного для хлебопечения. В качестве альтернативы может выступать система удобрения, построенная на внесении биомодифицированного органоминерального удобрения ОМУ (до посева) в сочетании с ранневесенней подкормкой азотом в дозе 50 кг/га, обеспечивающей получение урожайности зерна озимой пшеницы сорта Московская 56 в зависимости от кислотности почвы 41,3-45,9 ц/га.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Влияние совместного и отдельного применения минеральных и органических удобрений на урожайность зерна озимой пшеницы сорта Московская 56 в зависимости от реакции почвенной среды.

2. Изменение общего и удельного выноса азота, фосфора и калия в зависимости от системы удобрения и известкования.

3. Содержание макроэлементов в зерне и соломе озимой пшеницы и величина азотного индекса при различных системах удобрения и кислотности почвы.

4. Взаимосвязь содержания белка, сырой клейковины и её качества (ИДК), технологических качеств зерна и хлебопекарных – муки при применении систем удобрения и известкования.

5. Энергетическая и экономическая эффективность применения различных систем удобрения и известкования дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при возделывании озимой пшеницы.

Личный вклад автора. Представленная диссертационная работа выполнена соискателем лично. Соискатель провел анализ и обобщение литературных источников, принимал непосредственное участие в проведении полевого опыта, отборе почвенных и растительных образцов, их пробоподготовке и лабораторном анализе. Соискателем лично проведены необходимые расчеты и статистическая обработка экспериментального материала, сделано обобщение полученных данных и сформулированы выводы.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы были представлены на XX Международной научно-практической конференции "Современные технологии сельскохозяйственного производства" (г. Гродно, ГГАУ, 2017 г.); Международной научно-практической конференции "Интеграция науки и сельскохозяйственного производства" (г. Курск, ГСХА, 2017 г.); Международной конференции "Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК" (г. Брянск, БГАУ, 2017 г.); Всероссийской научно-практической конференции «Молодые исследователи – развитию молочнохозяйственной отрасли» (г. Вологда, ВГМХА им. Н.В. Верещагина, 2017 г.); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Экологически устойчивое земледелие: состояние, проблемы и пути их решения» (г. Владимир, ВНИИОУ, 2018 г.); Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные аспекты продовольственной безопасности» (г. Москва, ВНИИФ, 2018 г.);

Всероссийской научной конференции с международным участием «Агрохимия в XXI веке» (г. Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2018 г.); Международном техническом семинаре «Практические аспекты интенсивной технологии возделывания сельскохозяйственных культур при капельном орошении с применением водорастворимых удобрений» (г. Тараз, Казахстан, КазНИИВХ, 2018 г.).

Материалы диссертации были использованы в практической деятельности ООО Агрофирмы «Планета», Буйского района Костромской области, где применяли органоминеральную систему удобрений (навоз+диаммофоска) и органоминеральные удобрения (ОМУ) при возделывании зерновых культур – озимой пшеницы (сорт Московская 39) и озимой тритикале (сорт Немчиновский 56). Урожайность озимой пшеницы при применении ОМУ в дозе 250-300 кг/га в основное внесение в сочетании с подкормкой аммиачной селитрой весной в дозе 100-150 кг/га и внесении подстилочного навоза КРС в дозе 50-70 т/га (1 раз в 5-7 лет) обеспечивали стабильную урожайность 50-60 ц/га при средней по району 18-25 ц/га. Это позволило получить дополнительный доход с гектара в 45-60 тыс. рублей в период 2017-2020 гг. Урожайность озимой тритикале, при такой же системе удобрения, составила 35-45 ц/га при средней по району 16-20 ц/га, что позволило получить дополнительный доход с гектара 30-35 тыс. рублей в период 2017-2020 гг.

Публикации. Материалы диссертационного исследования изложены в 7 печатных работах, в том числе 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 137 страницах компьютерного текста и содержит введение, обзор литературы, экспериментальную часть из 6 разделов, выводы, предложения производству, список использованной литературы и приложение. Диссертация включает 26 таблиц, 4 рисунка, 12 Приложений. Список литературы состоит из 234 источников, в том числе 32 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю доктору сельскохозяйственных наук Налиухину Алексею Николаевичу; заведующей учебно-опытным полем ФГБОУ ВО «Вологодская ГМХА» Прокофьевой Л.Б.; коллективу ФГБУ ГЦАС «Вологодский»; сотрудникам лаборатории технологии и биохимии зерна ФИЦ «Немчиновка»; аспирантам кафедры растениеводства, земледелия и агрохимии ФГБОУ ВО «Вологодская ГМХА» Ерегину А.В. и Рыжаковой А.А.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Объект, условия и методы исследования

Исследования проводили в стационарном полевом опыте, заложенном в 2015-2017 гг. на опытном поле ФГБОУ ВО Вологодской ГМХА им Н.В. Верещагина в 5-ти польном полевом севообороте. Длительный полевой опыт «Эколого-агрохимическая эффективность применения новых видов удобрений в полевом севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве» проводили совместно с ФГБУ ГЦАС «Вологодский».

Почва опытного участка дерново-среднеподзолистая легкосуглинистая на покровном суглинке, среднеокультуренная. Перед закладкой опыта в 2015 году в слое 0-20 см (в среднем по трем полям) имела следующие агрохимические показатели: $p_{H_{KCl}}$ 5,1–5,2, содержание почвенного органического углерода (Сорг) – 1,50–1,86%, подвижного фосфора – 251-296 мг/кг, калия – 116-148 мг/кг почвы (по Кирсанову), гидролитическую кислотность (по Каппену) – 3,40-4,14 ммоль(экв.)/100 г, сумму поглощённых оснований (по Каппену – Гильковицу) – 10,5-12,8 ммоль(экв.)/100 г почвы.

Как следует из приведённых данных, почва опытного участка характеризовалась слабокислой реакцией почвенной среды, средней обеспеченностью органическим веществом, очень высоким содержанием фосфора и повышенным – калия.

Опыт полевой, стационарный, развернут на трех полях, вводимых последовательно в 2015, 2016 и 2017 годах, повторность трехкратная – на 36 делянках площадью 100 м² каждая, размещение вариантов – систематическое. Учётная площадь делянки составляла 5x18 м = 90 м².

Озимую пшеницу сорта Московская 56 (высокопродуктивный, с хорошими технологическими качествами зерна селекции ФИЦ «Немчиновка») выращивали в зернотравяном севообороте второй культурой после викоовсяной смеси, с последующими культурами – ячменем с подсевом клевера лугового, клевером луговым и замыкающей культурой – овсом. В 2015 году после уборки викоовсяной смеси была посеяна озимая пшеница на первом поле, в 2016 году – на втором и 2017 году – на третьем в той же последовательности.

Схема опыта включала два фактора: системы удобрения (фактор В) и известкование (фактор А) (табл. 1).

Схема внесения удобрений под озимую пшеницу в 2016-2018 гг. была следующая: 1 вариант – контроль (без удобрений), 2 вариант – Навоз – 50 т/га, 3 вариант – N30P30K60 + N50 в подкормку, 4 вариант – Навоз – 25 т/га + N15P15K30 + N25 в подкормку, 5 вариант – Навоз – 50т/га + N30P30K60 + N50 в подкормку, 6 вариант – ОМУ₆ (N30P30K34) + N50 в подкормку.

Схема опыта

Варианты	
Без известкования	При известковании по 1,0 Нг
pH _{KCl} 5,1–5,2	pH _{KCl} 5,8–5,9
1. Контроль (без удобрений)	1. Контроль (без удобрений)
2. Навоз* – 50 т/га	2. Навоз* – 50 т/га
3. N80P30K60	3. N80P30K60
4. Навоз – 25 т/га + N40P15K30	4. Навоз – 25 т/га + N40P15K30
5. Навоз – 50 т/га + N80P30K60	5. Навоз – 50 т/га + N80P30K60
6. ОМУ _б (N80P30K34)	6. ОМУ _б (N80P30K34)

* *Примечание:* навоз – 1-й год последействия

Известняковую муку и органическое удобрение вносили один раз под вспашку под парозанимающую культуру (викоовсяную смесь) в 2015 году на поле №1, в 2016 году – на поле №2, в 2017 году – на поле №3. К моменту посева озимой пшеницы под действием известкования в дозе по 1,0 Нг, сформировали кислотность на уровне pH_{KCl} 5,8–5,9, в то время как на неизвесткованном фоне она составляла pH_{KCl} 5,1–5,2 (Налиухин, Белозеров, 2020).

Минеральные удобрения и ОМУ Универсальное с бисолбифитом вносили до посева под культивацию осенью, азотные – весной в подкормку.

Все удобрения заделывали тяжёлой дисковой бороной (Cuoze) в два следа. Посев производили механизировано, сеялкой Клён-1,5 в агрегате с МТЗ-82 при норме высева семян 230 кг/га. Посев озимой пшеницы производили в 2015 году – 25 августа, в 2016 году – 31 августа, в 2017 году – 12-15 сентября.

За полную ротацию севооборота все системы удобрения уравновешены по азоту. Количество азота, фосфора и калия, вносимых с минеральными удобрениями соответствует их поступлению с навозом в дозе 50 т/га (N150). В варианте №5, при совместном внесении органических и минеральных удобрений, общее количество д.в. в сумме за ротацию было в 2 раза выше по сравнению с вариантами №2, 3, 4, 6 и составляло N300P240K450.

При выращивании культур применяли стандартные для условий Вологодской области технологии их возделывания. Из органических удобрений вносили подстилочный навоз с содержанием в 1 т при натуральной влаге N – 2,7 кг, P₂O₅ – 2,4 кг, K₂O – 4,5 кг. Из минеральных удобрений в опыте применяли азофоску (15:15:15+7% S), хлористый калий (60% K₂O), аммиачную селитру (34,6% N). Известняковая мука содержала 96% CaCO₃. Из органоминеральных удобрений вносили модифицированное биоорганоминеральное удобрение на основе ОМУ «Универсальное» (7:8:8 + микроэлементы). Органоминеральное удобрение

«Универсальное» – гранулированное удобрение пролонгированного действия предназначено для основного внесения под зерновые, технические, овощные и другие культуры. Оно содержит в своем составе 40% органического вещества (раскисленный низинный или переходной торф, месторождение – Лоходомово, Костромской области) и питательные вещества – азот, фосфор, калий, магний и микроэлементы в виде минеральных солей, которые вносятся в шихту и равномерно распределены в объеме органической части. Удобрение гранулируется путем термо-механического накатывания. За день до посева на гранулы удобрения наносили биопрепарат «Бисолбифит», состоящий на основе *Bacillus subtilis* Ч-13.

Почву для агрохимического анализа отбирали из слоя 0-20 см с помощью тростьевого бура перед закладкой опыта в 20 точках по двум диагоналям каждой делянки и после уборки урожая. Органическое вещество определяли по методике «Почвы. Методы определения органического вещества» (ГОСТ 26213-91). Кислотность почвы (рН) по методике «Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО» (ГОСТ 26483-85). Подвижные фосфор (P_2O_5) и калий (K_2O) определяли по методике «Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО» (ГОСТ 54650-2001). Гидролитическую кислотность (Нг) – по методике «Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО» (ГОСТ 26212-91).

В растениях содержание общего азота определяли методом мокрого озоления по Кьельдалю (ГОСТ 13496-4-93); фосфор и калий – по методу Гинзбург, с последующим определением P_2O_5 – колориметрически (ГОСТ 26657-97), K_2O – на пламенном фотометре (ГОСТ 30504-97). Учёт урожайности озимой пшеницы проводили сплошным методом в фазу полной спелости с использованием малогабаритного комбайна «Samro Terrior 2010». Урожайность зерна приводили к стандартной, 14%-й влажности, соломы – к 16% влажности. Солому после уборки оставляли в измельчённом виде на делянках для последующей запашки.

Статистическая обработка данных проводится методом дисперсионного анализа (Доспехов, 1985) с использованием компьютерной программы Statistica.

Оценку эффективности использования азота озимой пшеницы, проводили через азотный индекс, – отношение содержания азота в зерне к выносу его с урожаем (зерно + солома) (Климашевский, 1991).

Влияние изучаемых систем удобрения на качество зерна озимой пшеницы проводили в лаборатории технологии и биохимии зерна ФИЦ «Немчиновка». В процессе исследований был проведен анализ технологических показателей зерна, а затем, после помола зерна на лабораторной мельнице MLU 202 с 70% выходом муки, определены ее

хлебопекарные свойства. Также проведена лабораторная выпечка формового и подового хлеба и его оценка.

Исследования качества зерна и муки проводили на основании «Методики Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» и «Справочника по оценке качества зерна» (Федин, 1988). Массу 1000 зерен и натуру зерна в литровой пурке определяли в соответствии с методикой, изложенной в справочнике. Содержание белка, клейковины и крахмала в шроте (цельносмолотом зерне) определяли на ИК-анализаторе SpertraStar 2400. Точность определения белка на этом приборе составляет $\pm 1,0$ %.

Количество клейковины в муке определяли на приборе Глютоматик 2200, а качество клейковины (индекс деформации клейковины) на приборе ИДК 3М фирмы Плаун. Число падения определяли по Хагбергу-Пертену на приборе FallingNumber. Количество сухой клейковины находили на аналитических весах после сушки в печи «Глюторг». Белизна – на приборе СКИБ-М (ед. РЗ-БПЛ).

Седиментацию в уксусной кислоте определяли микрометодом, модифицированным в лаборатории, на основе метода Зелени. Также анализировали: физические свойства теста на альвеографе Шопена (удельная работа деформации теста или «сила» муки, упругость, растяжимость теста и их соотношение).

Физические свойства теста определяли на фаринографе Брабендера (время образования теста и устойчивости к разжижению, степень разжижения, валориметрическая оценка).

В оценку формового хлеба включили – объемный выход хлеба, внешний вид пористости, эластичность и цвет мякиша. Подовой хлеб оценивали по внешнему виду, высоте, диаметру и формоустойчивости.

При подготовке зерна к помолу на первом этапе определяли содержание в нем влаги и доводили до стандартной влажности – 13,5% путем отволаживания. Анализ полученной муки проводили после отлеживания в течение 21 дня (Приезжаева, 1988).

Агроклиматические условия в годы проведения опыта (2016-2018 гг.) отличались по температуре воздуха и количеству осадков.

Метеорологические условия 2016 года оказались наиболее благоприятными для возделывания озимой пшеницы. Так, за вегетационный период выпало 287 мм осадков при среднемноголетнем значении, равном 245 мм, а температура воздуха превышала среднюю многолетнюю на 0,9 градуса. В 2017 и 2018 гг. были более влажными, – за период вегетации май-сентябрь выпадало 414 мм и 331 мм соответственно, что значительно превышало норму на 169 мм и 86 мм соответственно. При этом, температура воздуха в 2017 году была ниже средней многолетней на 2 градуса.

Осадки выпадали неравномерно. Так в 2016 году в период созревания зерна в июле стоял повышенный температурный фон с количеством

осадков ниже нормы. Такие условия благоприятно повлияли на урожайность и качество зерна озимой пшеницы. В 2017 году почти двойное превышение осадков отмечалось в мае-июле при пониженных показателях температуры на 5,8, 3,4 и 2,2 градуса соответственно, что негативно сказалось на урожайности зерна. В 2018 году было отмечено двойное превышение количества осадков в мае, июле и сентябре. В целом, по величине ГТК=1,1-1,2 в 2016 и 2018 гг. агрометеорологические условия для роста и развития пшеницы, эффективности систем удобрения характеризовались как умеренно увлажнённые, в то время как в 2017 году ГТК=2,2, что соответствовало избыточному увлажнению.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Влияние различных систем удобрения на урожайность озимой пшеницы

Урожайность озимой пшеницы – это совокупный показатель реакции сорта на внешние и внутренние факторы, которые формируют реализацию продуктивных качеств растения. В зависимости от почвенно-климатических условий, урожайность озимой пшеницы зависит от выбора системы удобрения (Сычев, 2015; Айсанов, 2016; Налиухин, 2020).

В среднем за 2016-2018 годы исследований наименьшая урожайность была в варианте без применения удобрений, как в случае без проведения известкования, так и с известкованием (табл. 2).

Хотя, необходимо отметить, что в 2016 и 2017 гг. известкование дало существенную и достоверную прибавку в 6,4 и 1,5 ц/га соответственно, относительно контрольного варианта без CaCO_3 .

Применение полной дозы навоза и минеральных удобрений обеспечило в 2016 году получение наибольшей урожайности зерна озимой пшеницы – 64,6 ц/га, что в 2,1 раза выше контроля. Доведение рН до 5,8-5,9 способствовало дальнейшему росту урожайности до 75,6 ц/га, что в 2 раза выше соответствующего контроля.

Сильная вариабельность урожайности зерна озимой пшеницы наблюдалась по годам проведения исследований. В наиболее благоприятный по погодным условиям 2016 год сформировалась наибольшая урожайность зерна при применении удобрений – 44,7-64,6 ц/га без известкования и 55,5-75,6 ц/га с известкованием.

На фоне без известкования, внесение навоза в дозе 50 т/га обеспечило прибавку 46,9 %, минеральных удобрений – 82,2 % к контролю.

Совместное применение половинных доз навоза и NPK в 4-м варианте обеспечило дополнительный прирост урожайности на 34% к варианту с навозом и 8% – к NPK. Наибольшая урожайность была отмечена при внесении полных доз удобрений (навоз + NPK), где прибавка

составила 34,2 ц/га или 112,3 % к контролю. Высокоэффективно действовали новые биомодифицированные органоминеральные удобрения (ОМУб), где урожайность составила 61,8 ц/га. Прибавка от ОМУ, гранулы которого были обработаны биопрепаратом «бисолбифит», была на 12% больше, по сравнению с традиционными минеральными удобрениями.

Таблица 2

Влияние различных систем удобрения на урожайность зерна озимой пшеницы сорта Московская 56 в 2016-2018 гг.

Система удобрения	Урожайность, ц/га				Прибавка к контролю, ц/га
	2016	2017	2018	В среднем за 3 года	
pH _{KCl} 5,1–5,2					
1. Контроль (без удобрений)	30,4	20,5	27,5	26,1	-
2. Навоз – 50 т/га	44,7	23,2	32,5	33,5	7,4
3. N80P30K60	55,4	25,3	33,8	38,2	12,1
4. Навоз – 25 т/га + N40P15K30	60,1	27,8	32,5	40,1	14,0
5. Навоз – 50 т/га + N80P30K60	64,6	32,5	37,6	44,9	18,8
6. ОМУ ₆ (N80P30K34)	61,8	29,8	32,2	41,3	15,2
В среднем по фактору A ₁	52,8	26,5	32,7	37,4	-
pH _{KCl} 5,8–5,9					
1. Контроль (без удобрений)	36,8	22,0	28,7	29,2	-
2. Навоз – 50 т/га	55,5	26,1	34,6	38,7	9,5
3. N80P30K60	65,6	27,8	38,3	43,9	14,7
4. Навоз – 25 т/га + N40P15K30	68,8	30,5	39,4	46,2	17,0
5. Навоз – 50 т/га + N80P30K60	75,6	35,6	42,8	51,3	22,1
6. ОМУ ₆ (N80P30K34)	67,8	32,7	37,1	45,9	16,7
В среднем по фактору A ₂	61,7	29,1	36,8	42,5	-
НСР ₀₅ для фактора А	2,5	1,5	1,3	2,06	-
НСР ₀₅ для фактора В и АВ	4,4	2,5	2,2	3,56	-
НСР ₀₅ частных различий	6,2	3,6	3,1	5,04	-

На известкованном фоне наибольшая урожайность была также получена в 5-м варианте (навоз +NPK), где прибавка составила 38,9 ц/га к известкованному контролю. В целом, нейтрализация почвенной кислотности способствовала дополнительной отдаче от удобрений, обеспечивая дополнительный прирост урожайности 6-11 ц/га.

Наименее благоприятные условия сложились в 2017 году. Повышенное количество осадков (в 2 раза) в мае, июне и июле, и недостаточное количество тепла привели к наименьшей урожайности за 3 года исследований. В среднем по вариантам опыта она колебалась в пределах 23,2-32,5 ц/га без известкования и 26,1-35,6 ц/га с CaCO₃.

На фоне без известкования наибольшая урожайность получена при внесении полных доз навоза и NPK, где прибавка составила 12,0 ц/га или 59 %. Новое модифицированное органоминеральное удобрение (ОМУ₆), действовало эффективно, прибавка получена выше, чем от минеральных удобрений на 4,5 ц/га, навоза КРС – на 6,6 ц/га.

Известкование, в дождливом 2017 году, было менее эффективным, чем в 2016 году. В сравнении с неизвесткованным фоном, дополнительные прибавки от различных систем удобрения составляли всего 2,5-3,1 ц/га.

В 2018 году, более выровненном по температуре относительно среднегодовых значений, но не стабильном по количеству осадков – удвоенные нормы в мае и июле и недостаток осадков в июне, изучаемые системы удобрения обеспечили следующую урожайность зерна – 32,5-37,6 ц/га без известкования и 34,6-42,8 ц/га при внесении CaCO₃.

Без известкования наибольшая урожайность также, как и в предыдущие годы исследований, получена при внесении полной дозы навоза и NPK, где прибавка составила 10,1 ц/га или 37% к контролю. ОМУ₆ действовало эффективно, урожайность при его внесении составила 32,2 ц/га, что выше, чем при внесении навоза на 4,7 ц/га, но меньше, чем от обычной минеральной системы удобрения на 1,6 ц/га (разница статистически недостоверна).

При известковании эффективность изучаемых систем удобрения повышается на 4,5-6,9 ц/га, за исключением органической системы, где получен наименьший эффект – 2,1 ц/га к аналогичному варианту без внесения известняковой муки. Наибольшая урожайность получена при совместном внесении навоза и минеральных удобрений – 42,8 ц/га. Прибавка от ОМУ с бисолбифитом получена на уровне традиционных минеральных удобрений и навоза КРС.

По результатам дисперсионного анализа двухфакторного полевого опыта было выявлено, что в 2016 году действие удобрений на рост урожайности зерна озимой пшеницы составило 81,2%, известкования – 10,7%, взаимодействие этих факторов было недостоверным – 0,6 %. Действие всех видов удобрений в опыте было достоверно и существенно по размеру прибавок. В 2017 году действие удобрений на рост урожайности зерна озимой пшеницы составило 74,4%, известкования – 7%, взаимодействие этих факторов в целом по опыту – 0,3 %. В 2018 году действие удобрений на рост урожайности зерна озимой пшеницы составило 64,6%, известкования – 21%, взаимодействие этих факторов в целом по опыту – 4,5%.

По данным дисперсионного анализа, доля систем удобрений в формировании урожайности составило 64,6-81,2%, а внесение извести дало прирост урожайности от 7 до 21%. В свою очередь стоит отметить, что взаимодействие двух факторов было недостоверным.

В целом, в вариантах с различными системами удобрения, коэффициент вариации урожайности составлял 38-44%. При применении

навоза КРС вариация урожайности по годам была несколько ниже – 32-39%. Внесение навоза совместно с NPK в половинной дозе (вариант 4) не имело преимуществ в сравнении с минеральной системой удобрения (вариант 3) как при внесении извести, так и без нее во все годы исследования. Органическая система удобрения уступала другим вариантам опыта, за исключением неблагоприятного 2017 г., когда урожайность зерна озимой пшеницы при применении навоза была сопоставима с минеральной системой удобрения – 23,2-25,3 и 26,1-27,8 ц/га на фоне без CaCO₃ и с известкованием соответственно. Применение ОМУ, модифицированного биопрепаратом «бисолбифит», в сочетании с ранневесенней подкормкой азотом обеспечило сопоставимую с традиционной органоминеральной системой удобрения урожайность, где внесение навоза в дозе 25 т/га сочеталось с половинной дозой NPK, обеспечивая получение урожайности зерна в среднем за 3 года на уровне 41,3–45,9 ц/га. В целом можно заключить, что наибольшая урожайность зерна озимой пшеницы была получена при совместном внесении навоза и NPK в полной дозе во все годы исследований. Улучшение питания растений макро- и микроэлементами в данном варианте, обеспечило среднюю прибавку урожайности за 3 года 18,8-22,1 ц/га или 72-76% к контролю.

Влияние систем удобрения на содержание азота, фосфора и калия в зерне и соломе озимой пшеницы

Анализируя данные о химическом составе зерна озимой пшеницы в 2016-2018 гг. (табл. 3) можно отметить, что наибольшее влияние на содержание азота оказывала органоминеральная система удобрения (вариант 5) и органоминеральное удобрение ОМУ с бисолбифитом (вариант 6).

Совместное внесение навоза с NPK, а также ОМУ₆ способствовало увеличению накопления азота в зерне до 2,36-2,48%, что на 11-16% больше по сравнению с неудобренным контролем (табл. 3).

Следует отметить, что внесение половинных доз навоза и минеральных удобрений по своему действию на содержание азота в зерне было сопоставимо с внесением навоза в дозе 50 т/га. По-видимому, это обусловлено применением низких доз азота в ранневесеннюю подкормку.

Наибольшее содержание азота в соломе озимой пшеницы – 0,74-0,77% отмечается в вариантах с внесением ОМУ₆ (N30P30K34) + N50 в подкормку) и навоза на фоне известкования, что на 26-27% выше относительно контроля (табл. 3). Стоит также отметить, что в среднем по опыту наибольшее содержание азота в соломе было в 2017 г. – 0,8% сухой массы, а наименьшее – в 2018 году – 0,52%.

В целом, содержание общего азота в зерне больше, чем соломе в 3,1 раза на не известкованном фоне и в 3,5 – при внесении CaCO₃, что говорит о лучшем использовании азота за счёт его перераспределения между

товарной и нетоварной частью урожая при нейтрализации кислотности почвенной среды.

Таблица 3

Влияние различных систем удобрения на содержание азота, фосфора и калия в зерне и соломе озимой пшеницы в среднем за 2016-2018 гг.

Система удобрения	Зерно, %			Солома, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
pH _{KCl} 5,1–5,2						
1. Контроль (без удобрений)	2,13	0,97	0,51	0,77	0,19	1,10
2. Навоз – 50т/га	2,10	0,96	0,53	0,66	0,22	1,23
3. N80P30K60	2,17	0,95	0,51	0,67	0,18	1,02
4. Навоз – 25 т/га + N40P15K30	2,11	0,91	0,52	0,67	0,18	1,07
5. Навоз – 50т/га + N80P30K60	2,37	0,91	0,54	0,69	0,21	1,40
6. ОМУ ₆ (N80P30K34)	2,39	0,92	0,56	0,77	0,20	1,19
pH _{KCl} 5,8–5,9						
1. Контроль (без удобрений)	2,13	0,96	0,54	0,65	0,20	1,08
2. Навоз – 50т/га	2,24	1,00	0,52	0,68	0,18	1,31
3. N80P30K60	2,27	0,95	0,50	0,69	0,19	1,05
4. Навоз – 25 т/га + N40P15K30	2,25	0,90	0,50	0,65	0,18	1,15
5. Навоз – 50 т/га + N80P30K60	2,48	0,93	0,53	0,64	0,18	1,20
6. ОМУ ₆ (N80P30K34)	2,36	0,91	0,51	0,74	0,21	1,13

Наряду с азотом, фосфор и калий являются важнейшими макроэлементами для растений. Анализируя содержание фосфора в зерне озимой пшеницы можно отметить, что наименьшее его содержание – 0,70-0,96% сухого вещества отмечается при высокой урожайности в 2016 году, тогда как при более низкой урожайности содержание P₂O₅ увеличивается до 0,85-1,10%. По всей видимости, это связано с так называемым «эффектом ростового разбавления». Изучаемые системы удобрения и известкование, в целом, не оказывают какого-либо влияния на концентрацию фосфора в зерне. Содержание P₂O₅ в соломе, в среднем, в 4,5 раза ниже, чем в зерне и колеблется по вариантам опыта в пределах 0,18-0,22%.

В 2016 году на не известкованном фоне органическая и органоминеральные системы удобрения способствовали повышению содержания калия в зерне озимой пшеницы на 0,06-0,11% (абс). При известковании, содержание K₂O по вариантам опыта колебалось незначительно – 0,47-0,51% и существенно не зависело от применяемых систем удобрения.

Схожие закономерности наблюдались и при изучении содержания калия в соломе. Отмечается увеличение содержания K₂O при внесении полной дозы навоза и минеральных удобрений в 5 варианте и при

применении ОМУ₆, а при известковании, напротив, содержание К₂О снижалось по сравнению с контролем без удобрений. По-всей видимости проявляется известный антагонизм между Са и К при поступлении их в растения.

В неблагоприятные по погодным условиям 2017-2018 годы на фоне без известки наблюдается тенденция увеличения содержания калия в зерне на 10-36% по сравнению с 2016 годом. В соломе содержание калия увеличилось ещё более значительно – в 1,6-2 раза. Такие сильные различия по годам, по-видимому, связаны со специфической ролью калия в экстремальных погодных условиях.

В среднем, в соломе К₂О накапливается в 2,2 раза больше, чем в зерне, что согласуется с данными других исследований.

Влияние систем удобрения на вынос питательных элементов с зерном и соломой озимой пшеницы

Применение удобрений существенно увеличивало потребление элементов питания для формирования урожая, и, следовательно, хозяйственный вынос азота, фосфора и калия (табл. 4).

Таблица 4

Влияние различных систем удобрения и известкования на хозяйственный и удельный вынос питательных веществ озимой пшеницей (с учётом побочной продукции), в среднем за 2016-2018 гг.

Система удобрения	Вынос NPK, кг/га (зерно+солома)			Вынос NPK на 1 т зерна (с учётом соломы), кг		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
pH _{KCl} 5,1–5,2						
1. Контроль (без удобрений)	81,9	29,7	63,1	31,3	11,4	24,2
2. Навоз – 50 т/га	92,4	37,8	77,8	27,6	11,3	23,2
3. N80P30K60	109,3	40,4	90,5	28,6	10,6	23,7
4. Навоз – 25 т/га + N40P15K30	111,3	40,9	83,8	27,7	10,2	20,9
5. Навоз – 50 т/га + N80P30K60	138,1	49,6	120,0	30,8	11,1	26,7
6. ОМУ ₆ (N80P30K34)	134,0	43,7	92,5	32,5	10,6	22,4
В среднем по фактору А ₁	111,2	40,4	88,0	29,8	10,9	23,5
pH _{KCl} 5,8–5,9						
1. Контроль (без удобрений)	86,8	35,0	68,2	29,8	12,0	23,4
2. Навоз – 50 т/га	109,2	44,5	93,6	28,2	11,5	24,1
3. N80P30K60	131,3	47,0	109,6	29,9	10,7	24,9
4. Навоз – 25 т/га + N40P15K30	127,6	47,4	89,3	27,6	10,3	19,3
5. Навоз – 50 т/га + N80P30K60	159,3	57,2	120,6	31,0	11,1	23,5
6. ОМУ ₆ (N80P30K34)	148,6	48,2	91,7	32,4	10,5	20,0
В среднем по фактору А ₂	127,1	46,6	95,5	29,8	11,0	22,5

Наибольший вынос питательных веществ отмечался при органоминеральной системе удобрения (полная доза) на фоне известкования – 138,1-159,3 кг/га N, 49,6-57,2 P₂O₅ и 120,0-120,6 кг/га K₂O. Рассматриваемая система удобрения наиболее сильно повлияла на увеличение выноса азота и калия (на 70-80% и 75-90% к контролю соответственно). На фоне известкования вынос NPK при применении изучаемых систем увеличивался на 9-15%. Следует отметить, что минеральная, органоминеральная системы удобрения и применение ОМУ способствовали значительному выносу калия, который достигал 90,5-120,6 кг/га как на фоне известкования так и без него.

В этих же вариантах отмечался наибольший вынос азота в расчёте на 1 т зерна (с учётом побочной продукции – соломы), который составлял 28,6-32,5 кг/т (табл. 4). Вынос фосфора на неизвесткованном фоне колебался незначительно (10,2-11,4 кг/т зерна), а при известковании в удобренных вариантах снижался на 5-14% (по сравнению с контролем). Также можно отметить увеличение выноса калия с 1 т зерна при органоминеральной системе удобрения (5-й вариант, полная доза), и снижение – в 4-м варианте с применением половинных доз навоза и NPK (Налиухин, Белозеров, 2020).

В среднем, соотношение азота, фосфора и калия (в расчёте на 1 т зерна с учётом соломы) в удобренных вариантах составляло: 2,7-2,8:1,0:2,0-2,4 на неизвесткованном фоне и 2,8-3,1:1,0:1,9-2,3 при известковании.

По сравнению с региональными данными (Васько, Загробский, Нечипорук, 2004), вынос азота озимой пшеницей сорта Московская 56 близок к нормативному (30 кг/т зерна), а по фосфору и калию был ниже на 2 кг/т и 3 кг/т соответственно.

Значительное снижение выноса K₂O, по всей вероятности, связано с уменьшением доли соломы, в которой к моменту уборки накапливается ≈ 2/3 калия от общего его накопления в урожае. При внесении изучаемых в опыте удобрений наблюдалось сужение соотношения между зерном и соломой до 1:1,6-1,8, против 1:1,9-2,0 в контроле (Налиухин, Белозеров, 2020).

По данным ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» вынос элементов питания современными сортами озимой пшеницы в Центральном Нечерноземье составляет: N – 25-31 кг/т, P₂O₅ – 10-12, K₂O – 25-31 (Васютин и др., 2015), что во многом подтверждается и нашими исследованиями, проведёнными на Севере НЗ.

Для оценки эффективности использования азота озимой пшеницы, был рассчитан азотный индекс – отношение содержания азота в зерне к выносу его с урожаем (зерно + солома) (Чеботарь, Завалин, Ариткин, 2014). На известкованном фоне максимальные величины азотного индекса (0,65-0,69) отмечены в удобренных вариантах, за исключением ОМУ (рис. 1).

Можно предположить, что при применении удобрений, отмечается лучшее использование поглощённого азота озимой пшеницей за счёт

большого его накопления в товарной продукции – зерне. В контрольном варианте азотный индекс составлял всего 0,58-0,61 (Налиухин, Белозеров, 2020). В целом, известкование увеличило перераспределение азота в сторону зерна, что во многом объясняет повышение урожайности и увеличение накопления азота в зерне.

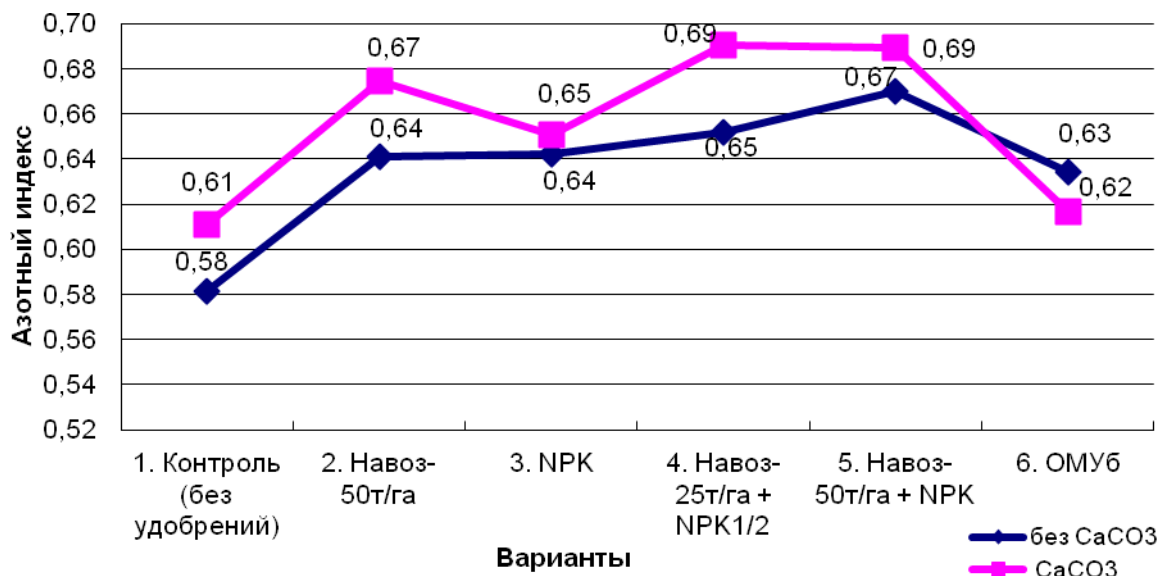


Рис. 1. Влияние систем удобрения и известкования на азотный индекс

Влияние систем удобрения на качественные показатели зерна озимой пшеницы

В 2016-2018 гг. исследований натура зерна озимой пшеницы Московская 56 была высокой и относительно требований ГОСТ 9353-2016 соответствовала 1-му классу для мягкой пшеницы (табл. 5).

Погодные условия и системы удобрения влияли на данный показатель. Так самая высокая натура зерна отмечена в 2016 году при наиболее благоприятных погодных условиях в варианте ОМУ₆ с известью – 815 г/л, причем применение других систем удобрения изменяло всего на 2-12%.

В неблагоприятном по погодным условиям 2017 г. натура зерна составляла в среднем 785 г/л, наиболее низким показатель был отмечен при внесении биомодифицированного органоминерального удобрения на фоне извести – 733 г/л, что соответствует 3-му классу.

Наибольшее влияние систем удобрений проявилось в 2018 году с увеличением натуры на фоне без извести на 6-40 г/л и на фоне с известью от 2,6 до 28,8 г/л.

В зерне озимой пшеницы белка может содержаться от 9,6 до 25%. Согласно классификационных норм Всероссийского центра оценки качества сортов (ВЦОКС), содержание белка в зерне сильной пшеницы

должно быть 14-16%, в ценной пшенице – не менее 13%, в пшенице-филлере – 11-12% и в слабых – не менее 8%.

На фоне без известки наибольшим влиянием на формирование белка оказало внесение навоза совместно с минеральными удобрениями в полных дозах, где в разные годы содержание белка достигало 12,5-14,3%, что соответствовало сильной (2016г.), филлер (2017 г.) и ценной (2018г.) пшенице по качеству. Причем в 2016 году при данной системе удобрения отмечаем наибольшее изменение накопления белка относительно контроля – на 32%. Стоит также отметить и увеличение содержания белка и повышения качества зерна до филлер пшеницы в варианте 6 (ОМУ₆ (N30P30K34) + N50 в подкормку) с содержанием 12,3%, что на 14% выше контроля.

Таблица 5

Влияние систем удобрения и известкования на качественные показатели зерна озимой пшеницы, в среднем за 2016-2018 гг.

Система удобрения	Нату- ра, г/л	Белок, %	Стекло- вид- ность, %	Число паде- ния, с	Клейко- вина сырая из муки, %	ИДК, ед. прибора	Класс зерна
рН _{КС1} 5,1-5,2							
1. Контроль (без удобрений)	792	11,1	23,0	441	23,7	73	4
2. Навоз – 50 т/га	786	12,0	30,0	344	25,6	77	4
3. N80P30K60	804	12,1	38,7	472	27,3	79	4
4. Навоз – 25 т/га + N40P15K30	794	11,6	32,0	469	25,9	77	4
5. Навоз – 50 т/га + N80P30K60	788	13,3	41,7	428	29,5	81	3
6. ОМУ ₆ (N80P30K34)	798	12,6	40,3	378	29,2	85	3
В среднем по А₁	794	12,1	34,3	422	26,9	78,5	4
рН _{КС1} 5,8-5,9							
1. Контроль (без удобрений)	788	12,4	23,7	467	24,9	82	4
2. Навоз – 50 т/га	793	12,8	39,0	447	26,9	79	4
3. N80P30K60	797	13,2	38,3	440	27,9	78	4
4. Навоз – 25 т/га + N40P15K30	798	12,2	35,7	463	27,9	83	4
5. Навоз – 50 т/га + N80P30K60	791	13,7	44,7	460	30,8	88	3
6. ОМУ ₆ (N80P30K34)	770	13,2	45,7	450	30,6	87	3
В среднем по А₂	790	12,9	37,8	455	28,2	82,7	4

В связи с неблагоприятными условиями 2017 года содержание белка в зерне озимой пшеницы было существенно меньше, чем в 2016-м,

наибольшее содержание отмечалось в 5-м варианте – 12,5%, что на 26% выше контроля без удобрений.

Наиболее выровненные значения с незначительным отклонением от контроля по содержанию белка отмечаем на известкованном фоне в 2018 году – 12,6-14,4%, что соответствует высококачественным пшеницам – от филлер до сильной.

Анализируя данные по содержанию белка в зерне озимой пшеницы на известкованном фоне отмечаем, что в среднем по всем вариантам в период 2016-2018 годов получаем пшеницу 1-3 класса с содержанием белка от 12,0 до 15,2%.

По консистенции зерна складывается зрительное восприятие внешнего вида зерна, которое и определяется понятием стекловидность.

В 2016 году отмечаем увеличение стекловидности зерна относительно контроля на 35-64% на фоне без извести и на 57-119% на фоне с известкованием. В 2017 году наибольшее увеличение характеристики на фоне без извести – 127-194% и значительное увеличение на фоне с известью на 65-139%. В 2018 году стекловидность повысилась на 5-105% на фоне без извести и на 40-95% в вариантах с известью.

В вариантах 3-6 при стекловидности 46-56% на фоне без извести и 41-57% на фоне CaCO_3 , зерно озимой пшеницы соответствует 3-му классу. В 2017 году в вариантах 2, 3 и 5 зерно можно также отнести к 3-му классу.

В 2018 году зерно 3-го класса по стекловидности было получено только при внесении OMY_6 на фоне с известью. Остальные варианты показали более низкие результаты.

Число падения характеризует α -амилазную активность зерна, которая возрастает по мере прорастания зерна. Чем больше в зерне гидролизованных и водорастворимых веществ (декстринов, сахаров и т.д.), тем ниже пластические свойства теста и качество хлеба при выпечке.

Полноценным считается зерно пшеницы при числе падения 201 с и выше – это средняя и низкая активность α -амилазы.

В годы исследований (2016-2018 гг.) значение числа падения колебалось от 269 до 599 с – это говорит о низкой вероятности прорастания зерна на корню. За три года исследования самым низким показателем ЧП является вариант 2 (Навоз – 50 т/га) без извести в 2017 году – 269 с и вариант 6 (OMY_6) без извести в 2018 году – 300 с, которые можно отнести к средней степени активности α -амилазы.

В остальных случаях высокие значения числа падения указывает на то, что активность α -амилазы низкая и расщепления крахмала до мальтозы и декстринов будет недостаточно для накопления сахаров и для достаточного подъема теста.

Влияние погодных условий отражается в средних значениях числа падения по всем вариантам, как на фоне без известкования, так и с известкованием. Средний показатель числа падения в 2016 году, наиболее

благоприятном по сумме положительных температур, – 423,5 и 417,2 с, в наименее благоприятном 2017 году – 389,5 и 373,2 с, и в 2018 году – 452,8 и 573,5 с на фоне без извести и с известью соответственно.

Хлебопекарные свойства муки зависят от массовой доли и качества клейковины.

Классность зерна пшеницы мягких сортов от первого до четвертого по ГОСТ 9353-2016 следующая: >32 >28 >23 >18. Зерно с содержанием клейковины от 23 до 28% относится к 3-му классу и считается ценным. Ценность его заключается в том, что оно пригодно для получения качественного хлеба без смешивания с другими классами. Однако оно не может использоваться для улучшения зерна 4-го класса. Для этого используют сильную пшеницу 1 и 2 класса.

Анализируя данные по массовой доле клейковины в муке зерна озимой пшеницы Московская 56 в 2016-2018 гг. отмечаем значительное влияние систем удобрения во все годы исследования. Уменьшение клейковины на 15% относительно контроля в зерне фиксируем только в одном варианте 2 (Навоз – 50 т/га) на фоне без известкования в 2016 году с содержанием клейковины 19,5%. В остальных вариантах увеличение клейковины колеблется от 0,6 до 10,3%.

Наибольшее содержание клейковины и соответствие 1 классу для мягких сортов пшеницы отмечаем в варианте 5 на фоне извести в 2016 году со значением 32,1% и в варианте 6 на разных уровнях рН – 32,5-34,3%.

В контроле и при внесении навоза КРС в 2016 году по содержанию массовой доли клейковины зерно соответствовало 4-му классу, в остальных вариантах – 1-3-му классу.

Отмечено значительное влияние погодных условий на содержание клейковины в зерне. В 2018 году на фоне без известкования во 2-6 вариантах максимальное содержание сырой клейковины – 28,2-32,5% и на фоне с известью – 28,5-34,3% соответствовало показателям, характерным для сильных сортов пшеницы.

Хорошей считается клейковина с ИДК 43-77 ед., что соответствует первой группе. В соответствии с новым ГОСТ 26574-2017, который вступил в действие 01.01.2019 г., для муки всех сортов, за исключением обойной, установлен норматив на ИДК в диапазоне 45-90 ед. Для обойной муки этот показатель находится в диапазоне 45-95 ед. По ранее действующим нормативам (ГОСТ 27839-2013. Мука пшеничная) хорошей считается клейковина с ИДК 53-77 ед. прибора.

Полученные данные показали, что в 2016-2018 гг. качество клейковины варьировало по вариантам опыта. В 2016 году, за исключением варианта 5, на фоне без извести клейковина по качеству соответствовала первой группе, на фоне с известью – только варианты 1 и 2. В 2017 году первой группе по качеству клейковина соответствовала на фоне без извести в вариантах 1, 4 и 5. В остальных вариантах качество клейковины соответствует второй группе. Но согласно требованиям вступившего в

действие нового ГОСТ 26574-2017 почти все варианты соответствуют муке первой группы, за исключением вариантов 5 и 6 на фоне извести в 2016 году и варианта 6 также на фоне извести в 2018 году.

Влияние систем удобрения на хлебопекарные свойства муки и качество хлеба

Для оценки свойств и качества муки исследователями используется около 30 различных показателей. Но предсказать, каким по качеству будет хлеб, практически, очень сложно. Интегрированным показателем, характеризующим качество будущего хлеба, является пробная выпечка в подовом и формовом варианте.

Общая оценка испеченного хлеба показала, что из муки, полученной на разных системах удобрения, без добавления каких-либо улучшителей возможно получить хлеб удовлетворительного и хорошего качества (табл. 6).

Таблица 6

Влияние систем удобрения и известкования на хлебопекарные свойства муки, в среднем за 2016-2018 гг.

Система удобрения	Стандартная выпечка						
	формовой			подовой			
	Объёмный выход хлеба, см ³	Пористость	Цвет	Общ. балл	Высота/диаметр	Высота, мм	Диаметр, мм
мякиша, балл							
pH _{KCl} 5,1-5,2							
1. Контроль (без удобрений)	787	3,5	3,9	3,8	0,57	76	121
2. Навоз – 50 т/га	780	3,1	3,6	3,2	0,53	68	118
3. N80P30K60	867	4,1	3,8	3,9	0,59	79	127
4. Навоз – 25 т/га + N40P15K30	863	3,8	4,3	4,2	0,60	78	127
5. Навоз – 50 т/га + N80P30K60	867	4,4	4,3	4,2	0,60	82	134
6. ОМУ ₆ (N80P30K34)	840	3,4	3,9	4,0	0,58	80	127
В среднем по фактору A ₁	834	3,7	4,0	3,9	0,58	77	125
pH _{KCl} 5,8-5,9							
1. Контроль (без удобрений)	810	3,5	3,8	3,7	0,56	75	126
2. Навоз – 50 т/га	847	3,3	3,9	3,6	0,59	75	123
3. N80P30K60	857	3,6	3,9	3,6	0,56	74	123
4. Навоз – 25 т/га + N40P15K30	833	3,4	4,1	3,7	0,59	75	123
5. Навоз – 50 т/га + N80P30K60	860	3,6	4,1	4,2	0,60	78	127
6. ОМУ ₆ (N80P30K34)	880	3,7	4,1	3,7	0,59	78	125
В среднем по фактору A ₂	848	3,5	4,0	3,7	0,58	76	124

Наименьший объемный выход хлеба 780-787 см³ отмечен в контроле и варианте 2 (Навоз – 50 т/га) на фоне без извести. Применение минеральных и органоминеральных систем удобрения, а так же органоминеральных удобрений позволило увеличить объемный выход хлеба до 840-867 см³.

Полная доза минеральных удобрений (вариант 5) и органоминеральные удобрения (вариант 6) на фоне с известью позволили получить наибольший объемный выход хлеба – 860-880 см³.

Необходимо отметить, что цвет мякиша в основном был белый, иногда с желтоватым оттенком, что специфично для сорта Московская 56. Пористость хлеба была разной – от крупной до мелкой – от 3,1 до 4,4 на фоне без извести и более выровненная на фоне с известью от 3,3 до 3,7.

Идентично проводилась оценка подового хлеба с формовым. По соотношению высоты хлеба к его основанию (расплываемость) была >0,4, что соответствует норме для сильной пшеницы.

Органоминеральная система удобрения (вариант 4 и 5) на фоне без извести и вариант 5 на фоне с известкованием, обеспечила выпечку подового хлеба со средней оценкой 4,2 балла.

Энергетическая и экономическая эффективность возделывания озимой пшеницы

Оценка влияния удобрений и известкования на энергетическую эффективность возделывания озимой пшеницы – важное условие для выбора оптимального варианта системы удобрения. При высоком коэффициенте энергоэффективности, затраты на получение прибавки урожайности возмещаются энергией, накопленной в урожае.

Проведение известкования почвы увеличило общие энергозатраты на 38%, по сравнению с неизвесткованным фоном. При этом увеличение накопления энергии в полученной прибавке урожайности составило всего 18%, по сравнению с фоном без известкования. Именно поэтому, коэффициент энергоэффективности систем удобрения на фоне известкования был ниже, чем на неизвесткованном.

Что же касается систем удобрения, то как на фоне извести, так и без известкования, наибольшую энергоотдачу обеспечило внесение навоза КРС и минеральных удобрений в половинных дозах, где коэффициент энергетической эффективности (Кээ) составил 2,61-3,14. Тогда как внесение полных доз снизило Кээ до 2,0-2,1. Применение ОМУ, модифицированного биопрепаратом «Бисолбифит», по степени энергоэффективности занимало 2-е место. Общие энергозатраты по отношению к накопленной энергии в прибавке урожая в этом варианте составляли 33% на не известкованном фоне и 42% при внесении CaCO₃. В целом, применение всех систем удобрения обеспечило 2-х кратную окупаемость энергетических затрат прибавкой урожайности, что говорит о высокой энергоотдаче.

При выборе сельхозтоваропроизводителем системы удобрения, важным условием является её экономическая эффективность. Экономический эффект проявляется в форме увеличения уровня окупаемости затрат на единицу продукции единицей прибыли, полученной от продукции.

Применение извести, в среднем по опыту способствовало увеличению стоимости прибавки урожая на 18 %, по отношению к известкованному фону. Однако, затраты на применение удобрений и дополнительную обработку урожая, на известкованном фоне увеличились на 21 % (по отношению к фону без известкования). Это привело к уменьшению условно- чистого дохода и, как следствие, снижению окупаемости от систем удобрения на фоне известкования, по сравнению с известкованным фоном.

Наибольший уровень окупаемости среди систем удобрения зафиксировали в варианте с применением органоминеральной системы удобрения, представленной в 4 варианте опыта (навоз – 25 т/га + N15P15K30 + N25 в подкормку). Увеличение окупаемости единицы продукции, по сравнению с минеральной системой удобрения составило 56 %, на известкованном фоне и 46 % на фоне извести.

Данный факт связан с тем, что затраты на применение такой системы удобрения под озимую пшеницу составляли всего 55 % от стоимости прибавки на фоне без внесения извести и 59 % на известкованном фоне. Несмотря на то, что сама прибавка урожайности к варианту без удобрения не была самой высокой по опыту.

ВЫВОДЫ

1. В условиях Северного Нечерноземья на дерново-среднеподзолистой легкосуглинистой почве наибольшая урожайность зерна озимой пшеницы сорта Московская 56 была получена при совместном внесении навоза – 50 т/га и N80P30K60 на фоне известкования – 51,3 ц/га, что составляло 76% к контролю. Внесение половинных доз не имело преимуществ в сравнении с минеральной системой удобрения, как при известковании, так и без него во все годы исследований.

2. Органическая система удобрения уступала другим вариантам опыта, за исключением неблагоприятного 2017 г., когда урожайность зерна озимой пшеницы при внесении навозного компоста была сопоставима с минеральной системой удобрения – 23,2-27,8 ц/га. Применение ОМУ, модифицированного биопрепаратом «бисолбифит», в сочетании с ранневесенней подкормкой азотом, обеспечило сопоставимую урожайность с традиционной органоминеральной системой удобрения, обеспечивая получение урожайности зерна в среднем за 3 года – 41,3-45,9 ц/га.

3. Снижение кислотности путём известкования по 1,0 Нг дерново-среднеподзолистой легкосуглинистой почвы с рН_{KCl} 5,1–5,2 до 5,8–5,9 спо-

способствовало повышению урожайности зерна озимой пшеницы, при применении изучаемых системах удобрения, в среднем на 11–15%.

4. Применение удобрений увеличивало вынос NPK в расчете на 1 т зерна (с учетом соломы), который в среднем составлял: N – 30, P₂O₅ – 11, K₂O – 23 кг, при соотношении азота, фосфора и калия 2,7–2,8:1,0:2,0–2,4 на известкованном фоне и 2,8–3,1 : 1,0 : 1,9–2,3 при внесении CaCO₃. Установлено, что удельный вынос микроэлементов при применении органоминеральных систем удобрения при известковании значительно уменьшался: для Cu и Zn – на 10-15%, Co – 20 и Mn – на 40% по сравнению с не известкованной почвой.

5. Внесение органических и минеральных удобрений при известковании повышало содержание белка в зерне озимой пшеницы на 0,3– 0,6%, а при их совместном внесении в полных дозах – на 0,9%, где получено зерно с наивысшим содержанием белка – 13,7%, и содержанием сырой клейковины – 30,8%, что соответствовало требованиям, предъявляемым ГОСТом для зерна 2-го класса. Качество клейковины (ИДК = 75,5-89,5 ед.) при этом, несколько ухудшалось по сравнению с контролем без внесения удобрений и CaCO₃.

6. Применение органоминеральной системы удобрения (полная доза) и использование ОМУ на фоне известкования способствовали наибольшему объемному выходу формового хлеба – 860–880 см³ и получению подового хлеба хорошего качества, что говорит о возможности выращивания озимой пшеницы сорта Московская 56 на продовольственные цели в условиях Северного Нечерноземья.

7. Наибольшей энергетической эффективностью характеризовалась органо-минеральная система с половинными дозами внесения навоза и минеральных удобрений с коэффициентом 3,14 при окупаемости затрат 1,8 руб/руб и Кээ 2,61 и 1,67 руб/руб на не известкованном фоне и при известковании соответственно.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

Для сельхозпредприятий Севера Нечерноземной зоны России, в т.ч. Вологодской области, рекомендуется применение органоминеральной системы удобрения или органоминеральных удобрений, гранулы которых обработаны биопрепаратами с обязательным периодическим известкованием почв. На легкосуглинистой дерново-подзолистой почве средней окультуренности можно получить урожайность озимой пшеницы – 40,1-51,3 ц/га, кроме того, зерно и муку пригодную для хлебопечения без добавления специальных улучшителей.

Полученные исследования играют важное практическое значение для эффективного применения новых видов органоминеральных удобрений, в сложных почвенно-климатических условиях, а также развития сельскохозяйственного производства с целью получения экономически окупаемой растениеводческой продукции.

Так на севере Костромской области, по почвенно-климатическим условиям близким к Вологодской, в производственном опыте при применении изучавшейся в эксперименте органоминеральной системы удобрения была получена урожайность озимой пшеницы сорта Московская 39 на уровне 50-60 ц/га в период 2017-2020 гг., что позволило получить дополнительную прибыль предприятию в размере 45-60 тыс. руб. с гектара.

Список опубликованных работ по диссертации:

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России

1. Налиухин А.Н., Мёрзлая Г.Е., Максимова А.С., Силуянова О.В., **Белозёров Д.А.**, Ерегин А.В. Эффективность органических и минеральных удобрений при известковании дерново-подзолистой почвы // Плодородие, 2018. №2. С.42-45.
2. Налиухин А.Н., **Белозёров Д.А.**, Ерегин А.В. Изменение агрохимических показателей дерново-среднеподзолистой легкосуглинистой почвы и продуктивности культур севооборота при применении различных систем удобрения // Земледелие, 2018. №8. С. 3-7.
3. Налиухин А.Н., Власова О.А., Ерегин А.В., **Белозёров Д.А.**, Рыжакова А.А., Рябков А.В. Продуктивность полевого севооборота при различных системах удобрения и известковании // Плодородие. 2020. № 4 (115). С. 30-34. DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.09.
4. Налиухин А.Н., **Белозёров Д.А.** Влияние различных систем удобрения и известкования на урожайность, технологические и хлебопекарные качества зерна озимой пшеницы в условиях Северного Нечерноземья // Агрохимия, 2020. №1. С. 33-42.

В других изданиях

5. **Белозёров Д.А.** Влияние различных систем удобрений на урожайность озимой пшеницы в условиях Вологодской области // Аграрная наука и инновации в работах молодых ученых: труды Всероссийского совета молодых ученых и специалистов аграрных образовательных и научных учреждений. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. С. 3-7.
6. Налиухин А.Н., **Белозёров Д.А.** Биомодифицированные органоминеральные удобрения в органическом земледелии // Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: Экологически устойчивое земледелие: состояние, проблемы и пути их решения. – ВНИИОУ – филиал ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ», 22-24 июня 2018 г. / Иваново: ПресСто, 2018. С. 381-385.
7. **Белозёров Д.А.** Влияние различных систем удобрения на урожайность и качество зерна озимой пшеницы при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Агрохимия в XXI веке. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященная памяти академика РАН В.Г. Минеева, МГУ, 2018. С. 62-67.

