

На правах рукописи



Шаляпин Владимир Владимирович

**ПОЧВЕННО-АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ЗАПАДНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ
И ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ**

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Краснодар – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ)

Научный
руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Онищенко Людмила Михайловна

Официальные
оппоненты: **Бирюкова Ольга Александровна,**
доктор сельскохозяйственных наук,
доцент, ФГАОУ ВО «Южный федеральный
университет», кафедра почвоведения и оценки
земельных ресурсов, профессор

Гармаш Нина Юрьевна,
доктор биологических наук,
ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр
«Немчиновка», лаборатория аналитических и
регистрационных испытаний,
главный научный сотрудник

Ведущая
организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Донской государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится «25» февраля 2026 г. в 13⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 35.2.019.09 на базе ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина», по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. имени Калинина, 13, главный учебный корпус, аудитория 106.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайтах: ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» – www.kubsau.ru и ВАК – <http://vak.ed.gov.ru>.

Автореферат разослан «_____» _____ 20__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор сельскохозяйственных наук

Гуторова О. А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Пшеница озимая – продовольственная, кормовая и техническая культура. Ценность этой культуры для населения представляет зерно, из которого получают хлеб, крупы, макаронные и мучные кондитерские изделия. Продукты, получаемые из ее зерна, занимают ключевое место в питании человечества, а от качества рациона питания зависит здоровье нации. Поэтому наращивание производства высококачественного зерна пшеницы является приоритетным направлением для достижения продовольственной безопасности нашей страны.

Пшеница распространена на всем земном шаре. На территории России она высевается на площади более 15 млн га, валовой сбор зерна пшеницы при средней урожайности 2,75 т/га составил более 53 млн т. Согласно официальных источников начиная с 1995 г. по настоящее время средняя урожайность зерна культуры в Краснодарском крае составляет 4,69 ($\pm 1,72$) т/га и отмечена существенная вариация в получаемом урожае от года к году. В 2022-2023 гг. на Кубани сельхозпроизводители посеяли пшеницу озимую на площади более чем 1,6 млн га, урожайность культуры составила 5,59 т/га, а валовый сбор зерна более 9 млн т (Краснодарстат). Однако стабильных и рекордных урожаев зерна не было достигнуто, хотя генетический потенциал урожайности большинства современных сортов отечественной селекции позволяет получать более 10 т/га.

В Краснодарском крае высокоплодородные черноземные почвы занимают около 50 % территории или 4084,7 тыс. га (Онищенко Л. М., 2015; Шеуджен А. Х., Онищенко Л. М., 2018). Однако высокая урожайность сельскохозяйственных культур и несоблюдение научно обоснованной системы применения удобрений в хозяйствах приводит к отрицательному балансу питательных веществ, и к изменению плодородия почвы (Шаляпин В. В. и др., 2019; Онищенко Л. М., Шаляпин В. В., 2023; О состоянии природ..., 2023).

В основе современного экономически обоснованного производства продукции растениеводства лежит применение удобрений. С одной стороны, содержащиеся элементы минерального питания в удобрении являются источником питательных веществ для растений. С другой, удобрения являются химическими соединениями, которые влияют прямо и косвенно на изменение свойств почвы. В связи с чем, возникает необходимость в исследовании действия минеральных удобрений на растения озимой пшеницы и на изменение элементов плодородия чернозема выщелоченного Западного Предкавказья.

Степень разработанности темы. Сегодня выведены устойчивые к неблагоприятным условиям высокоурожайные сорта пшеницы озимой. Современные агротехнологии возделывания пшеницы озимой в условиях Западного Предкавказья позволяют повысить ее урожайность, однако формируется она под воздействием сложного комплекса почвенно-экологических и климатических условий, в которых растения росли и развивались (Малюга Н. Г. и др., 2014; Али А. К. А. и др., 2020). Проблемами совершенствования агротехнологии и земледелия занимались А. Б. Глуховский, А. А. Гортлевкий, Т. С. Дубоносов, З. А. Пакудин, А. И. Носатовский, Н. И. Володарский, Я. В. Губанов, Н. Г. Малюга, А. В. Загорюлько, А. М. Кравцов, Н. Н. Нещадим и многие другие.

Проблемам сохранения и рационального использования почвенного плодородия в Российской Федерации отводится особое место, не только как объекту

производственной деятельности, но и как компоненту биосферы. Первые исследования плодородия почв Западного Предкавказья принадлежат В. В. Докучаеву (1883). Значительный вклад в изучение свойств, факторов почвообразования черноземов Предкавказья, особенностям климата и агропроизводственной ценности почв внесли: Л. И. Прасолов (1916), С. А. Захаров (1927, 1939), Е. С. Блажний (1958), А. И. Симакин (1966), В. А. Ковда (1985), В. Ф. Вальков (1995), В. И. Терпелец (2013, 2016), А. Х. Шеуджен (2018) и многие другие.

Цель исследований – определить влияние минеральной системы удобрения на почвенно-агрохимические свойства чернозема выщелоченного в агроценозе пшеницы озимой мягкой, выращиваемой в Западном Предкавказье.

Для достижения цели определены задачи:

- провести мониторинг физико-химических и химических свойств чернозема выщелоченного при выращивании пшеницы мягкой озимой и дать оценку направленности их изменений;
- проследить влияние минеральных удобрений на динамику содержания минерального азота, подвижного фосфора и калия в черноземе выщелоченном;
- количественно оценить сезонную эмиссию диоксида углерода под действием удобрений в условиях чернозема выщелоченного Западного Предкавказья;
- определить динамику содержания азота, фосфора и калия в растениях и зерне пшеницы мягкой озимой;
- оценить влияние почвенно-агрохимических свойств чернозема выщелоченного на формирование качества зерна пшеницы мягкой озимой путем проведения предпосевной обработки семян;
- показать агрономическую эффективность действия минеральных удобрений в агроценозе пшеницы;
- рассчитать вынос, баланс биогенных элементов питания в черноземе, коэффициенты эффективности использования минеральных удобрений растениями пшеницы мягкой озимой.

Научная новизна. В условиях стационарного опыта 4-ой ротации 11-польного зернотравяно-пропашного севооборота на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья впервые произведены мониторинговые исследования показателей плодородия почвы, а также дана биологическая оценка почвы путем установления сезонных потоков диоксида углерода с поверхности почвы при внесении минеральных удобрений. Показано пролонгированное действие азотного удобрения на урожайность и качество зерна в агроценозе пшеницы мягкой озимой сорта Безостая 100.

Теоретическая и практическая значимость работы. Показана тождественность действия обыкновенного карбамида и ингибированного карбамида ЮТЕК по сравнению с аммонийной селитрой при поверхностном применении удобрений на посевах пшеницы мягкой озимой, выращиваемой на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья после предшественника подсолнечника, позволяющая добиться максимальной реализации потенциала урожайности и качества зерна.

Методология и методы исследований. В основу исследовательской работы положен предварительный анализ имеющихся публикаций отечественных и зарубежных авторов, общепринятые методы и методики исследования в агрохимии: лабораторный, полевой, а также модельный. Полученные данные рассмотрены во взаимосвязи в системе *почва-растение-удобрение* и подвергнуты математической обработке с использованием статистических методов анализа данных в «MS Excel».

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- закономерности изменения почвенно-агрохимических свойств чернозема выщелоченного: содержания почвенного органического вещества, актуальной, обменной и гидролитической кислотности, суммы поглощенных катионов, емкости катионного обмена, степени насыщенности основаниями, минерального азота, подвижного фосфора и калия в условиях агроценоза пшеницы мягкой озимой, выращиваемой в условиях 4-ой ротации зернотравяно-пропашного севооборота Западного Предкавказья;
- особенности реакции пшеницы мягкой озимой сорта Безостая 100 в зависимости от действия видов минеральных удобрений;
- эффективность обыкновенного карбамида и ингибированного карбамида ЮТЕК равноценна аммонийной селитре в агроценозе пшеницы мягкой озимой, выращиваемой в условиях Западного Предкавказья;
- установлены достоверные различия влияния видов минеральных удобрений на сезонную эмиссию диоксида углерода из чернозема выщелоченного Западного Предкавказья.

Степень достоверности результатов подтверждается принятыми научными методами исследований в агрохимии, достаточным количеством наблюдений в опыте, статистической оценкой экспериментальных данных, методиками химического анализа, входящие в действующую базу Российских и межгосударственных стандартов. Сформулированные в тексте диссертации научные положения, выводы и практические рекомендации основаны на полученных данных в полевом опыте, продемонстрированных в приведенных таблицах, рисунках и приложениях. Статистическая оценка полученных результатов проведена с использованием современных методов математической обработки информации в Microsoft Excel и статистического анализа – ANOVA. Основные результаты внедрены в практику.

Апробация работы. Основные материалы научно-квалификационной работы (диссертации) докладывались в 2019-2023 годах и получили одобрение на заседаниях кафедры агрохимии КубГАУ, а также на научных конференциях факультета агрохимии и защиты растений Кубанского государственного аграрного университета им. И. Т. Трубилина, 53-й Международной научной конференции посвящённой 115-летию со дня рождения профессора А. В. Петербургского (г. Москва, 2019), Всероссийской научно-практической конференции посвящённая 100-летию со дня рождения Коренькова Д. А. и Тонконоженко Е. В. (г. Краснодар, 2020), Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых (г. Краснодар, 2022), научном семинаре «Углеродная нейтраль-

ность и экосистемные услуги органического вещества почв: методология и вызовы» (г. Санкт-Петербург, 2023), III Всероссийской научно-практической конференции «Экология и природопользование: устойчивое развитие сельских территорий» (г. Краснодар, 2023), ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР «Точки научного роста: на старте десятилетия науки и технологии» (г. Краснодар, 2023).

Публикации. По результатам проведенных исследований и полученным экспериментальным данным были опубликованы двенадцать печатных работ, пять из которых входят в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Минобрнауки России.

Личный вклад. Соискатель выполнил поиск, анализ литературных источников и разработал методологию исследования. На основании имеющихся научных сведений была сформулирована цель и задачи исследования, подобраны методы и методики химического анализа изучаемых объектов. В соответствии с темой научной работы: выявил сезонную динамику почвенного органического вещества, кислотно-основные свойства почвы, а также свойства почвенного поглощающего комплекса, содержание элементов минерального питания в почве и их содержание в растениях пшеницы мягкой озимой. Заложил и провел опыты. В интерпретации полученных результатов: математически обработал и обобщил экспериментальные данные, сделал логические выводы и подготовил материал к публикации.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 224 страницах машинописного текста и состоит из введения, 5 глав, заключения, предложения производству и перспективы дальнейшей разработки темы, списка литературы и приложений. Работа содержит 8 таблиц, 41 рисунок и 36 приложений. В списке литературы представлено 284 источника, из них 18 – работы иностранных авторов.

Автор выражает искреннюю благодарность и признательность заведующему кафедры агрохимии Кубанского ГАУ, академику РАН, доктору биологических наук, профессору А. Х. Шеуджену, научному руководителю, профессору кафедры агрохимии, доктору сельскохозяйственных наук, профессору Л. М. Онищенко, заведующему Центра искусственного климата, доктору сельскохозяйственных наук, доценту Н. В. Репко, сотрудникам кафедры агрохимии и Центра искусственного климата за кропотливый труд и неоценимую помощь при проведении исследований.

1 АГРОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

В главе отражены свойства и показатели плодородия чернозема, влияние минеральных удобрений на изменение состояние плодородия почвы. Показано действие минеральной системы удобрения культуры пшеницы мягкой озимой на формируемую урожайность зерна культуры и ее качество.

2 ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научные исследования проходили в 2018-2021 гг. на многолетнем стационарном опыте кафедры агрохимии в структурном подразделении КубГАУ учхоза «Кубань» в четвертой ротации зернотравяно-пропашном севооборота в соответствии с планом научно-исследовательской работы кафедры агрохимии

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина» (№ государственной регистрации – АААА-А16-116021110069-8 и 121032300129-6).

Стационарный опыт входит в систему Географической сети опытов с удобрениями Всероссийского научно-исследовательского института удобрений и агропочвоведения им. Д. Н. Прянишникова (Аттестат № 078 от 01.02.2006).

Нами изучались наиболее контрастные варианты: контроль (000), азотные в норме N_{80} (200), фосфорные P_{60} (020) и калийные K_{40} (002) удобрения, а также совместное их применение в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222). Предшественник – подсолнечник. Размещение вариантов рендомизированное. Минеральные удобрения вносили до посева пшеницы мягкой озимой под основную обработку почвы (допосевное внесение): аммонийная селитра, двойной суперфосфат, хлорид калия и аммофос.

Полевой опыт. Инициативные исследования проводились в условиях агроценоза пшеницы мягкой озимой, в эксперименте были использованы азотные удобрения, а также карбамид пролонгированного действия ЮТЕК. Схема опыта содержит 5 вариантов: контроль (000), ФОН (аммофос в дозе $N_{12}P_{50}$), ФОН + N_{aa} (ФОН + аммонийная селитра в дозе N_{80}), ФОН + N_m (ФОН + карбамид в дозе N_{80}) и ФОН + $N_m^{ЮТЕК}$ (ФОН + карбамид ЮТЕК в дозе N_{80}). Минеральные удобрения вносились в два приема: в почву до посева пшеницы мягкой озимой (основное); поверхностно с помощью ручного портативного разбрасывателя с возобновлением весенней вегетации культуры при среднесуточной температуре атмосферного воздуха $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Агротехнология возделывания пшеницы мягкой озимой. Она соответствовала технологии, рекомендуемой для центральной сельскохозяйственной зоны Краснодарского края, разработанной научными учреждениями и Минсельхозом Краснодарского края.

Лабораторный опыт выполнялся в научно-исследовательской лаборатории кафедры агрохимии и Центре искусственного климата Кубанского ГАУ в соответствии с ГОСТ 12038-84 и ГОСТ Р 52325-2005.

Модельный эксперимент. Оценка эмиссии диоксида углерода под влиянием видов минеральных удобрений проводилась в Центре искусственного климата Кубанского ГАУ в соответствии с методом И. Н. Шаркова (2005), используя чернозем выщелоченный стационарного опыта.

Химический анализ проб почвы выполнялся в лаборатории кафедры агрохимии Кубанского ГАУ и аккредитованной агробиохимической лаборатории в двухкратной повторности по двум объектам исследования – растение и почва.

Анализ проб почвы выполнялся по общепризнанным методикам в соответствии с общими требованиями к проведению анализов ГОСТ 29269-91.

Показатели качества полученного зерна культуры оценивали на ИК-анализаторе Perten IM 9500 с установленными калибровками на местные сорта пшеницы в соответствии с действующим ГОСТ Р 57543-2017.

2.1 Агрометеорологические условия

Анализ агрометеорологических условий за годы исследований показал, что в целом они были достаточно благоприятными для прорастания семян, ве-

гетации, закладки колосков и налива зерна. Однако 2018-2019 гг. и 2019-2020 гг. были засушливыми, а 2020-2021 гг. отличался достаточным увлажнением.

2.2 Объекты и предмет исследования

Объекты исследования: почва – чернозем выщелоченный слабогумусный сверхмощный легкоглинистый на лессовидных тяжелых суглинках, растения пшеницы мягкой озимой сорта Безостая 100.

Предмет: минеральные удобрения – азотные, фосфорные, калийные (NPK), а также микроудобрения, содержащие кобальт (Co) и медь (Cu).

3 ПОЧВЕННО-АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВЫ

3.1 Физико-химические свойства

3.1.1 Почвенное органическое вещество

В зависимости от складывающихся агроклиматических условий и применения минеральных удобрений можно наблюдать сезонное варьирование данного показателя за годы исследования. Установлено, что за 2018-2021 гг. в 0-20 см слое черноземе выщелоченном на варианте без внесения удобрений (000) динамика содержания почвенного вещества имеет тенденцию к уменьшению от фазы осеннего кушения (3,24 %) к фазе полной спелости зерна культуры (3,12 % или на 3,70 % (отн.)). Азотные удобрения в норме N_{80} (200) и калийные удобрения K_{40} (002) в фазы осеннего и весеннего кушения снижают показателя на 1,85 % (отн.) и 1,54 % (отн.), 2,47 % (отн.) и 2,16 % (отн.) соответственно. Внесение фосфорных удобрений в норме P_{60} (020) и совместное применение азотных, фосфорных и калийных удобрений в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222) не оказали существенного влияния на содержание почвенного органического вещества в почве (рисунок 1).

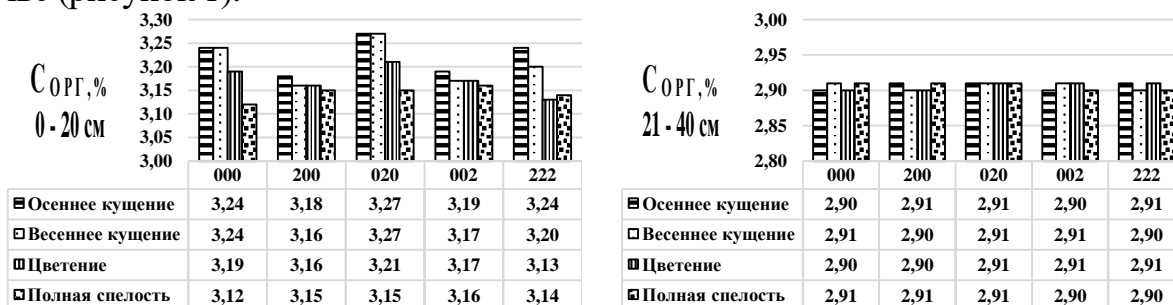


Рисунок 1 – Динамика содержания почвенного органического вещества в почве

Анализ данных по ежегодному содержанию почвенного органического вещества и обобщенных показателей показывает, что существенных изменений в подпахотном слое (21-40 см) не наблюдаем. Он менее подвержен влиянию факторам агротехнической практики и агрометеорологическим условиям и содержание по всем вариантам за годы исследования составляет 2,91 %.

3.1.2 Кислотность

Актуальная кислотность – динамический показатель, который подвержен влиянию многих факторов. Выраженное действие в сторону уменьшения pH_{H_2O} относительно контрольного варианта (000) в 0-20 см слое почвы от фазы осеннего кушения к фазе полной спелости зерна культуры оказывает внесение азотных удобрений в норме N_{80} (200) – 1,22-4,09 % и калийных удобрений в норме K_{40} (002) – 1,83-3,33 %.

Обменную кислотность в 0-20 см слое чернозема выщелоченного за годы исследования (2018-2021 гг.) повышали азотные удобрения в норме N_{80} (200) от фазы осеннего кушения к фазе полной спелости зерна пшеницы мягкой озимой на 7,47 % и 4,68 %, калийные удобрения K_{40} (002) на 5,69 % и 3,06 %, совместное применение азотных, фосфорных и калийных удобрений в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222) на 3,38 % и 4,50 % соответственно (рисунок 2).

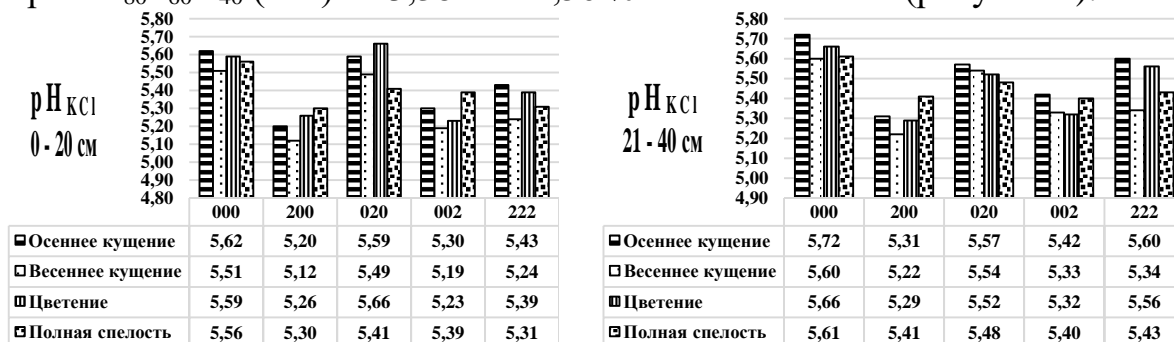


Рисунок 2 – Динамика обменной кислотности в почве

За весь период исследований (2018-2021 гг.) в 21-40 см слое чернозема выщелоченного было установлено существенное уменьшения pH_{KCl} на вариантах, где вносились азотные удобрения в норме N_{80} (200) и калийные удобрения K_{40} (002). На этих вариантах от фазы осеннего кушения к фазе полной спелости зерна пшеницы мягкой озимой значения показателя были следующие: 5,31; 5,22; 5,29; 5,41 единиц pH и 5,42; 5,33; 5,32; 5,40 единиц pH соответственно.

Мониторинг гидролитической кислотности за все годы исследования (2018-2021 гг.) в 0-20 см слое чернозема выщелоченного на контрольном варианте (000) показал, что значение показателя в фазу осеннего кушения было равно 2,07 мг-экв./100 г; весеннего кушения – 2,15; цветения – 2,22 и полной спелости зерна пшеницы мягкой озимой – 2,18 мг-экв./100 г. Азотные удобрения в норме N_{80} (200) достоверно увеличили показатель относительно контрольного варианта (000) во все фазы роста и развития культуры: от фазы осеннего кушения к полной спелости зерна культуры на 12,56 % и 12,39 %. Фосфорные удобрения в норме P_{60} (020) не повлияли на показатель. Калийные удобрения в норме K_{40} (002) оказали более выраженное действие на гидролитическую кислотность в сторону ее увеличения по сравнению с азотными удобрениями. Относительно контрольного варианта увеличение в фазы осеннего и весеннего кушения, цветения и полной спелости зерна пшеницы мягкой озимой составило – 21,74 %; 38,14; 26,13 и 21,10 % соответственно. Значения исследуемого показателя при совместном применении азотных, фосфорных и калийных удобрений в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222) были в фазы осеннего кушения – 2,27 мг-экв./100 г, весеннего кушения – 2,66; цветения – 2,52; и полной спелости зерна культуры – 2,38 мг-экв./100 г.

В 21-40 см слое почвы на контрольном варианте в фазы осеннего и весеннего кушения, цветения и полной спелости зерна культуры значение показателя было равно 2,11 мг-экв./100 г; 2,19; 2,25 и 2,21 мг-экв./100 г. Азотные удобрения в норме N_{80} (200) увеличивали гидролитическую кислотность во все фазы роста

и развития культуры до значений – 2,35 мг-экв./100 г; 2,81; 2,69; 2,49 мг-экв./100 г. Калийные удобрения в норме K_{40} (002) повышали показатель до 2,40 мг-экв./100 г; 2,81; 2,66 и 2,56 мг-экв./100 г соответственно. Применение фосфорных удобрений в норме P_{60} (020) и азотных, фосфорных и калийных удобрений в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222) не проявили достоверного действия на показателя в 21-40 см слое почвы агроценоза пшеницы мягкой озимой (рисунок 3).

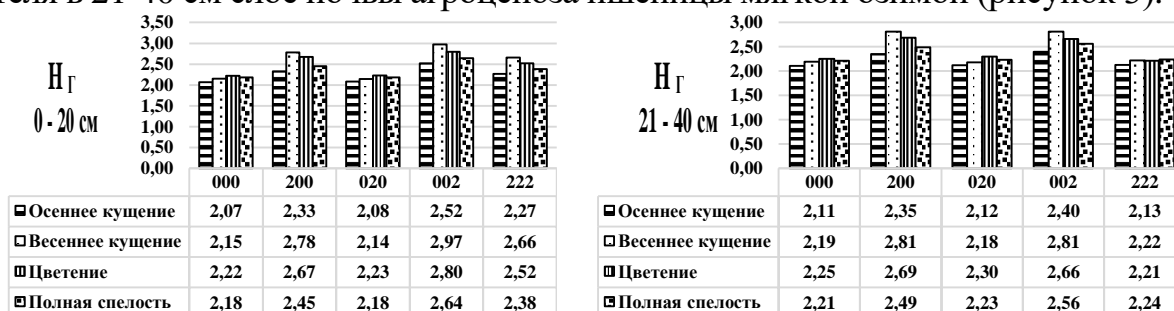


Рисунок 3 – Динамика гидролитической кислотности в почве, мг-экв./100 г

3.2 Ионообменные свойства

Динамика суммы поглощенных катионов в 0-20 см слое почвы за 2018-2021 гг. имела одинаковую тенденцию изменения. На контрольном варианте (000) происходит уменьшение показателя от фазы осеннего кушения – 42,4 мг-экв./100 г к фазе полной спелости зерна пшеницы мягкой озимой – 41,9 мг-экв./100 г. Где вносились азотные удобрения в норме N_{80} (200) отмечено достоверное уменьшение показателя во все фазы роста и развития культуры относительно варианта без применения минеральных удобрений. В фазу осеннего кушения значения суммы поглощенных катионов было равно 39,9 мг-экв./100 г; весеннего кушения – 39,0; цветения – 38,5 и полной спелости зерна – 39,6 мг-экв./100 г. Фосфорные удобрения в норме P_{60} (020) не повлияли на диагностируемый показатель и его значения варьировали от 42,3 мг-экв./100 г в фазу осеннего кушения пшеницы мягкой озимой до 41,6 мг-экв./100 г в фазу цветения культуры. Калийные удобрения в норме K_{40} (002) достоверно уменьшили показатель относительно контрольного варианта во все наблюдаемые фазы роста и развития культуры – 41,2 мг-экв./100 г; 40,1; 39,3 и 40,3 мг-экв./100 г. Совместное внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222) существенно повлияли на исследуемый показатель в сторону уменьшения только в фазы весеннего кушения и цветения пшеницы мягкой озимой – 40,4 и 40,1 мг-экв./100 г соответственно.

Динамика суммы поглощенных катионов в черноземе выщелоченном в 21-40 см слое почвы имела тенденцию уменьшения от фазы осеннего кушения к фазе полной спелости зерна. На контрольном варианте (000) в фазу осеннего кушения значения суммы поглощенных оснований было равно 41,5 мг-экв./100 г, весеннего кушения – 41,4; цветения – 40,9 и полной спелости зерна культуры – 40,5 мг-экв./100 г. Азотные удобрения в норме N_{80} (200) достоверно уменьшили показатель в фазы осеннего кушения на 3,86 %, весеннего кушения – 5,07 %, цветения – 4,40 % и полной спелости зерна пшеницы мягкой озимой –

3,70 % вследствие длительного влияния азотных удобрений проявляющих физиологическую кислотность в процессе минерального питания культуры. Применение фосфорных удобрений в норме P_{60} (020) не влияет на изменение суммы поглощенных катионов в почве. Калийные удобрения в норме K_{40} (002) способствовали существенному уменьшению количества суммы поглощенных катионов от фазы осеннего кушения – 40,0 мг-экв./100 г к фазе полной спелости зерна культуры – 38,8 мг-экв./100 г. На варианте, где применялись совместно азотные, фосфорные и калийные удобрения в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222) существенных изменений по фазам роста и развития культуры выявлено не было (рисунок 4).

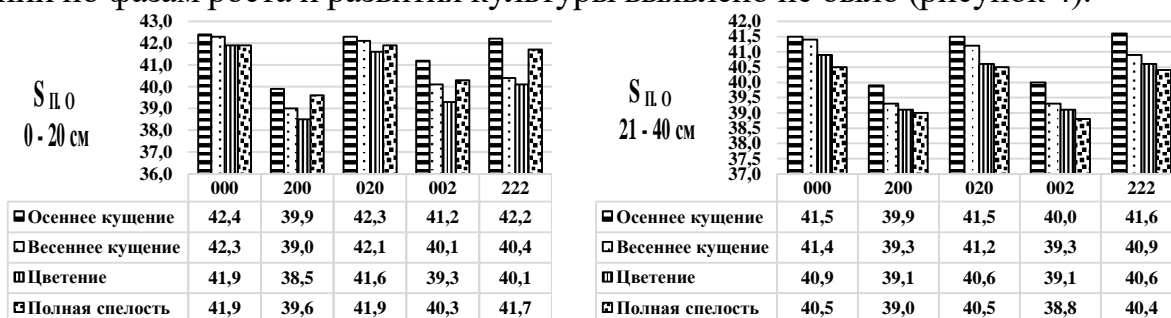


Рисунок 4 – Динамика суммы поглощенных катионов в почве, мг-экв./100 г

За исследуемый период 2018-2021 гг. в 0-20 см слое почвы выявлена тенденция на всех вариантах уменьшения показателя степени насыщенности основаниями от фазы осеннего кушения к фазе цветения пшеницы мягкой озимой. Однако к фазе полной спелости зерна культуры практически возрастает до начальных значений. В 21-40 см слое почвы динамика значений степени насыщенности основаниями была в сторону уменьшения от фазы осеннего кушения к полной спелости зерна культуры.

4 ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ ОЗИМОЙ

4.1 Почвенная диагностика

4.1.1 Минеральный азот

В 2018-2021 гг. в 0-20 см слое почвы стационарного опыта установлено, что азотные удобрения в норме N_{80} (200), фосфорные удобрения P_{60} (020), и совместное внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222) в среднем повышали содержание обменно-поглощенного аммонийного азота в фазу весеннего кушения пшеницы мягкой озимой. Согласно группировки почвы по содержанию аммонийного азота полученные значения указывают на очень высокое содержание азота в почве, и оно было равно 17,1 мг/кг почвы, 17,7 и 19,3 мг/кг почвы соответственно.

На стационарном опыте за годы исследования на контрольном варианте (000) в 21-40 см содержание аммонийного азота было 3,8-12,5 мг/кг почвы. Применение азотных удобрений в норме N_{80} (200), фосфорных удобрений P_{60} (020) и калийных удобрений K_{40} (002) не оказали существенного влияния на показатель, и значения $N-NH_4$ варьировало от 3,9 мг/кг до 13,4 мг/кг почвы. Это соответствует средней и высокой обеспеченности культуры азотом. При совместном

внесении азотных, фосфорных и калийных удобрений в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222) относительно контрольного варианта отмечено увеличение содержания обменно-поглощенного аммонийного азота ($N-NH_4$) на 3,9 мг/кг почвы в фазу весеннего кущения пшеницы мягкой озимой (рисунок 5).

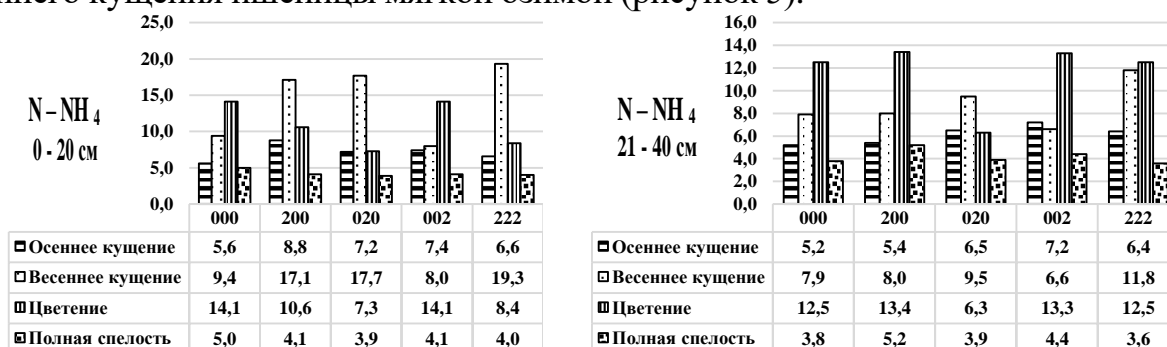


Рисунок 5 – Динамика содержания аммонийного азота в почве, мг/кг

В полевом опыте 2 за 2018-2021 гг. в 0-20 см почвы содержание обменно-поглощенного аммонийного азота на всех исследуемых вариантах варьировало от средней и очень высокой обеспеченности культуры азотом и было равно в фазу осеннего кущения – 8,2-8,8 мг/кг почвы; весеннего кущения – 16,8-19,2; цветения – 10,6-12,8 и полной спелости зерна культуры – 4,1-4,4 мг/кг почвы. Содержание обменно-поглощенного азота в 21-40 см слое почвы было стабильно и за период исследования установлено отсутствие существенных изменений в показателе.

Применение минеральных удобрений в стационарном опыте в агроценозе сопровождается увеличением содержания нитратного азота в начале вегетации – в фазу осеннего кущения культуры. Азотные удобрения в норме N_{80} (200) и совместно применяемые азотные, фосфорные и калийные удобрения в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222) повышали показатель на 3,2 мг/кг и 2,6 мг/кг почвы. Кроме этого, наблюдается увеличение показателя на вариантах в составе которых отсутствует азот, а именно, где вносились фосфорные (P_{60}) и калийные удобрения (K_{40}). Содержание нитратного азота в 21-40 см почвы имеет тенденцию к снижению от фазы осеннего кущения к фазе полной спелости зерна культуры (рисунок 6).

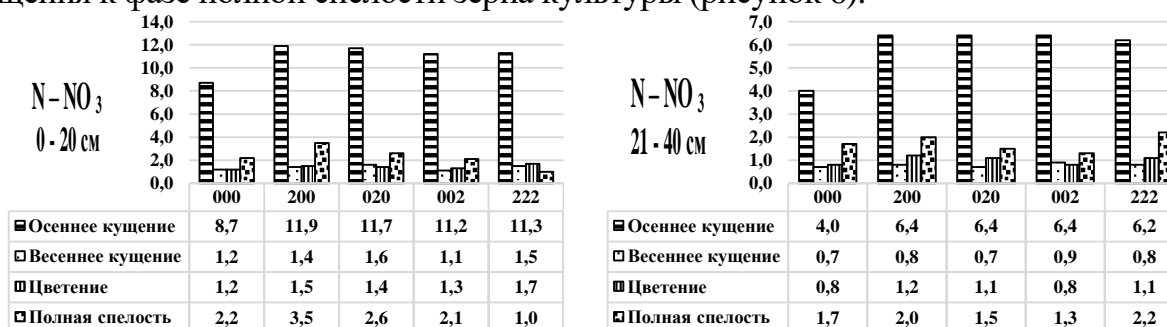


Рисунок 6 – Динамика содержания нитратного азота в почве, мг/кг

Содержание нитратного азота в полевом опыте 2 в 0-20 см слое почвы в 2018-2021 гг. при применении минеральных удобрений сопровождается увеличением показателя только в фазу осеннего кущения культуры на всех исследуемых вариантах, и содержания этой формы варьировало от 11,7 мг/кг до 12,2 мг/кг, что соответствует очень высокой обеспеченности нитратным азотом культуры.

Содержание нитратного азота в черноземе выщелоченном полевого опыта

2 в 21-40 см слое почвы показали уменьшение содержания этой формы азота, что аналогично с изменениями в пахотном слое почвы от фазы осеннего кушения к фазе полной спелости зерна пшеницы мягкой озимой. Показатели на всех вариантах с применением удобрений в фазу осеннего кушения были равны 6,6-7,7 мг/кг, весеннего кушения – 0,7-1,0 мг/кг, цветения и полной спелости зерна культуры – 1,1-1,2 мг/кг и 2,0-2,2 мг/кг соответственно.

4.1.2 Подвижный фосфор

Наблюдения в 2018-2021 гг. за динамикой подвижного фосфора в 0-20 см и 21-40 см слоях чернозема выщелоченного на всех вариантах стационарного опыта показали тенденцию уменьшения его содержания от фазы осеннего кушения к фазе полной спелости зерна культуры и обеспеченность культуры соответствовала среднему уровню обеспеченности элементом (рисунок 7).

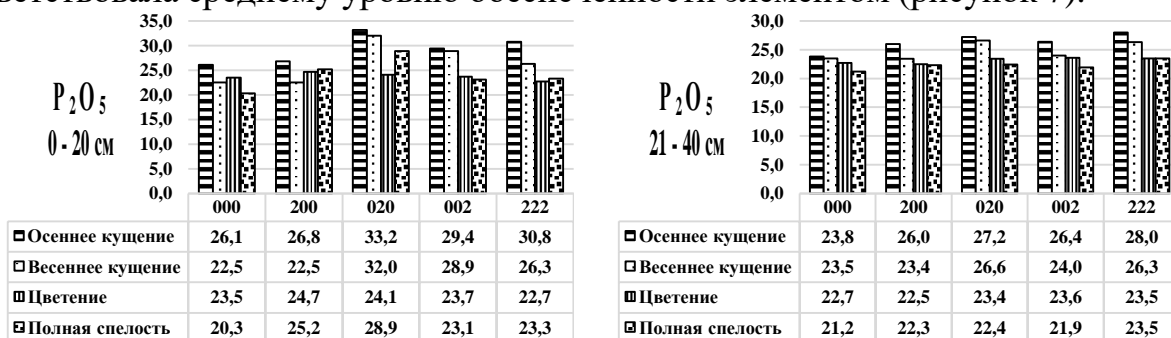


Рисунок 7 – Динамика содержания подвижного фосфора в почве, мг/кг

Применение под основную обработку почвы фосфорных удобрений в норме P_{60} (020) и совместно азотных, фосфорных и калийных удобрений в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222) существенно повышает его содержание в 0-20 см слое почвы в фазы осеннего и весеннего кушения на 7,1 мг/кг; 9,5 и 4,7; 3,8 мг/кг почвы, в 21-40 см слое почвы на 3,4 мг/кг; 3,1 и 4,2; 2,8 мг/кг соответственно.

4.1.3 Подвижный калий

В стационарном опыте содержание подвижного калия за годы исследования (2018-2021 гг.), на вариантах опыта соответствует средней обеспеченности культуры калием (рисунок 8). На варианте, где вносились удобрения в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222) зафиксировано превышение в содержании подвижного калия в фазу полной спелости зерна культуры по сравнению со значениями контрольного варианта на 1,4 % (или 4,1 мг/кг почвы).

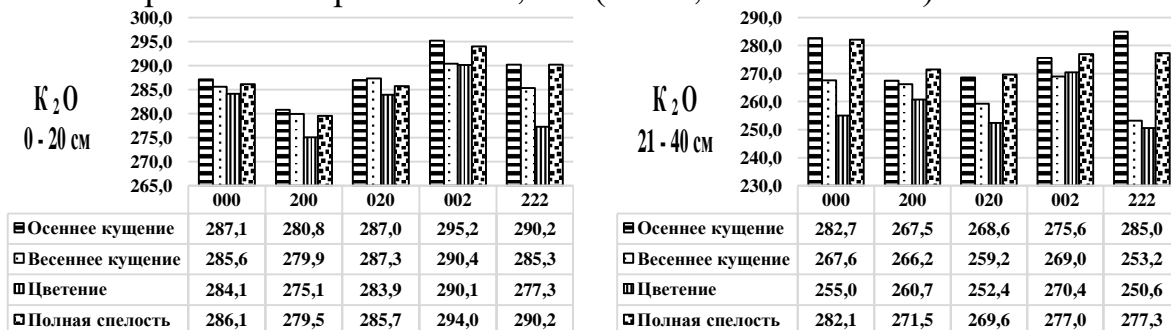


Рисунок 8 – Динамика содержания подвижного калия в почве, мг/кг

4.1.4 Биологическая характеристика почвы

Наблюдения за суточной эмиссией диоксида углерода из чернозема выщелоченного показали, что на контрольном варианте опыта (000) весной составила

76,93 мг $\text{CO}_2/\text{кг}$ почвы. В летний период вследствие высоких температур (дневная/ночная температура атмосферного воздуха 33,1/17,1 °С) и отсутствии осадков (среднегодовая сумма атмосферных осадков 51-70 мм) снижается активность микроорганизмов в почве, поэтому наблюдается уменьшения суточной эмиссии диоксида углерода почвой на 14,72 мг $\text{CO}_2/\text{кг}$ почвы.

Снижение связываем с тем, что температуры атмосферного воздуха наименее благоприятные (11,3-17,6 °С) для биологической активности и недостаток влаги (17,7-60,0 мм), может ослаблять активность микроорганизмов в почве. Азотные удобрения в норме N_{80} (200) достоверно увеличивали суточную эмиссию диоксида из почвы в все периоды наблюдения. Применение фосфорных удобрений в норме P_{60} (020) сопровождается достоверным снижением суточной эмиссии диоксида углерода весной на 10,89 мг $\text{CO}_2/\text{кг}$ почвы, а осенью напротив увеличивают на 7,04 мг $\text{CO}_2/\text{кг}$ почвы. Калийные удобрения в норме K_{40} (002) повлияли в сторону увеличения суточной эмиссии летом и осенью на 14,59 мг $\text{CO}_2/\text{кг}$ почвы и 21,58 мг $\text{CO}_2/\text{кг}$ почвы соответственно. Совместное внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений в норме $\text{N}_{80}\text{P}_{60}\text{K}_{40}$ (222) повышают эмиссию диоксида углерода только осенью до 76,83 мг $\text{CO}_2/\text{кг}$ почвы.

4.2 Растительная диагностика

4.2.1 Азот

В ходе мониторинга за средневзвешенным содержанием общего азота в растениях пшеницы мягкой озимой стационарного опыта во все годы исследования было установлено, что на контрольном варианте (000) в фазы весеннего кущения содержание азота 3,06 %, цветения – 1,49 % и полной спелости зерна и соломы – 1,92 % и 0,60 % соответственно. Азотные удобрения в норме N_{80} (200) достоверно увеличивали содержание азота в растениях средневзвешенного содержания азота в фазы весеннего кущения – 0,35 % (абс.); цветения – 0,39 % (абс.); полной спелости зерна и соломы – 0,20 % (абс.) и 0,07 % (абс.) соответственно. Совместное применение азотных, фосфорных и калийных удобрений в норме $\text{N}_{80}\text{P}_{60}\text{K}_{40}$ (222) относительно контроля существенно повысили содержание азота в растениях и зерне культуры – 3,59 %; 1,93; 2,09 и 0,70 %.

В полевом опыте применение минеральных удобрений в дозе $\text{N}_{12}\text{P}_{50}$ (ФОН) увеличило в растениях содержание общего азота в фазы весеннего кущения до 3,35 %, цветения 1,80 % и полной спелости в соломе до 0,65 %. На этом варианте, в зерне культуры было 2,11 %, что выше варианта без минеральных удобрений на 9,90 % (отн.).

На вариантах ФОН + $\text{N}_{\text{аа}}$, ФОН + $\text{N}_{\text{м}}$ и ФОН + $\text{N}_{\text{м}}^{\text{ЮТЕК}}$ в фазу весеннего кущения средневзвешенное содержание общего азота было на уровне ФОНа и варьировало от 3,33 % до 3,36 %. Однако, на этих вариантах при выполнении приема ранневесенней подкормкой аммонийной селитры, карбамида и ингибированного карбамида способствовало существенному увеличению показателя в растениях и зерне. В фазу цветения было 1,99 %; 1,95 и 2,06 %; в фазу полной спелости в зерне – 2,22 %; 2,22 и 2,31 % и соломе – 0,71 %; 0,71 и 0,72 %.

4.2.2 Фосфор

Содержание средневзвешенного общего фосфора в растениях пшеницы мягкой озимой выращиваемой на стационарном опыте имеет тенденцию к уменьшению от фазы весеннего кущения к фазе полной спелости зерна культуры. На контрольном варианте (000) значения показателя было равно 1,20 % в

фазу весеннего кушения, 0,80 % цветения и фазу полной спелости в зерне и соломе 0,84 % и 0,57 % соответственно. Азотные удобрения в норме N_{80} (200) увеличивали показатель в фазы весеннего кушения и цветения культуры на 0,06 % (абс.) и 0,07 % (абс.) соответственно. Применение фосфорных удобрений в норме P_{60} (020) достоверно увеличили содержание общего фосфора только в фазу цветения – 0,91 %. Калийные удобрения в норме K_{40} (002) не влияют на содержания общего фосфора в растениях и зерне культуры. Применение $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222) за счет сбалансированного питания увеличило содержание фосфора в растениях культуры. В фазы весеннего кушения, цветения и полной спелости (солома и зерно) – 1,33 %; 0,95; 0,70 % и 0,90 % соответственно.

4.2.3 Калий

Средневзвешенное содержание общего калия в растениях пшеницы мягкой озимой стационарного опыта на контроле (000) в фазу весеннего кушения было 3,90 %, цветения – 1,70 % и полной спелости культуры в зерне – 0,50 % и соломе – 1,29 %. Азотные удобрения в норме N_{80} (200) существенно повысили содержание общего калия в растениях культуры только в фазу весеннего кушения, и оно было равно 4,00 %.

Применение фосфорных удобрений в норме P_{60} (020) не влияет на содержание калия в растениях. Калийные удобрения в норме K_{40} (002) способствовали повышению содержания калия не только в фазу весеннего кушения на 0,20 % (абс.), но увеличение показателя отмечено в фазу цветения – 0,09 % (абс.). Совместное применение азотных, фосфорных и калийных удобрений в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222) как в случае с калийными удобрениями повысили содержание калия в растениях на 0,29 % (абс.) и 0,11 % (абс.) в фазы весеннего кушения и цветения культуры.

4.2.4 Предпосевная обработка семян пшеницы мягкой озимой

Без использования меди показатели энергии прорастания, лабораторной всхожести, скорости и дружности прорастания были равны 81,3 %; 93,3 %; 2,3 сут. и 3,5 шт./сут. соответственно.

Существенное увлечение показателей посевных качеств семян определено при их предпосевной обработке водным раствором меди в диапазоне концентраций 0,0001 и 0,00001 %. При этом наблюдалась наибольшая энергия прорастания – 85,3 и 88,0 %, лабораторная всхожесть – 96,0 и 97,3 %, скорость и дружность прорастания – 2,4; 2,2 сут. и 5,6; 5,9 шт./сут. соответственно. Выявлено отрицательное влияние 0,01 % водного раствора меди на лабораторную всхожесть (- 2,9 % отн.). При этом показатели энергии и скорости прорастания были на уровне контроля – 52,0 % и 3,2 сут. Протравленные семена пшеницы мягкой озимой положительно отзывались на предпосевную обработку водным раствором меди в концентрации 0,0001 и 0,00001 %: энергия прорастания – 56,0 %, лабораторная всхожесть – 96,0 %, скорость прорастания – 3,4 сут. и дружность – 3,4 шт./сут.

Результаты проведенного исследования показали, что обработка семян культуры водным раствором $CoSO_4$ содержащим 0,01 и 0,001 % кобальта положительно повлияла на энергию прорастания. По сравнению с контрольным вариантом увеличение на 9,7 и 24,3 % соответственно.

Сравнивая действия различных концентраций микроэлементов, содержащих от 0,01 % до 0,0000001 % Cu и Co, на длину проростков и корешков пшеницы озимой мягкой следует отметить разнонаправленность влияния вышеука-

занных элементов. Кобальт, содержащейся в водных растворах на семенах с протравителем уменьшал среднюю высоту проростков и длину корешков. Так, на вариантах с наибольшей (0,01 %) и наименьшей (0,0000001 %) отмечено снижение высоты проростков на 1,8 и 1,9 см соответственно.

5 АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В АГРОЦЕНОЗЕ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ ОЗИМОЙ

5.1 Урожайность пшеницы мягкой озимой и её структура

За все исследуемые годы удобрения, применяемые в стационарном опыте, улучшая питательный режим чернозема выщелоченного, способствовали повышению урожайности зерна пшеницы мягкой озимой. Установлено, что на контроле (000) получено зерна 5,1 т/га. Под действием азотных удобрений в норме N_{80} (200) урожайность культуры составила 6,3 т/га и прибавка была равна 1,2 т/га. На варианте, где применялись фосфорные удобрения в норме P_{60} (020) – 6,0 т/га с прибавкой 1,0 т/га. Калийные удобрения оказали незначительное действие. Прибавка недостоверная при урожайности культуры 5,2 т/га. При совместном внесении азотных, фосфорных и калийных удобрений в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222) получена максимальная урожайность зерна – 6,8 т/га, что выше контроля на 33,7 %.

Урожайность зерна, где применялись минеральные удобрения в дозе $N_{12}P_{50}$ (ФОН) – 6,3 т/га, прибавка составила 1,2 т/га. Применение аммонийной селитры ФОН + N_{aa} и обыкновенного карбамида ФОН + N_m позволило получить 6,8 т/га. Применение ингибированного карбамида ФОН + $N_m^{ЮТЕК}$ в агроценозе пшеницы мягкой озимой повысило урожайность зерна культуры на 1,8 т/га или 36,3 % по отношению к контрольному варианту (таблица 1).

Таблица 1 – Урожайность зерна пшеницы мягкой озимой

Вариант	Урожайность по годам, т/га			Средняя, т/га	Прибавка	
	2018-2019	2019-2020	2020-2021		т/га	%
Стационарный опыт						
000	4,9	5,1	5,2	5,1	—	—
200	6,1	6,2	6,6	6,3	1,2	24,4
020	5,9	6,0	6,1	6,0	1,0	18,8
002	5,0	5,2	5,4	5,2	0,1	3,0
222	6,7	6,7	6,9	6,8	1,7	33,7
НСР ₀₅	0,7	0,7	0,8	—	—	—
Полевой опыт						
000	4,9	5,1	5,2	5,1	—	—
ФОН	6,1	6,2	6,6	6,3	1,2	24,4
ФОН + N _{аа}	6,7	6,7	7,0	6,8	1,8	34,7
ФОН + N _м	6,7	6,7	7,0	6,8	1,7	34,3
ФОН+N _м ^{ЮТЕК}	6,8	6,8	7,1	6,9	1,8	36,3
НСР ₀₅	0,5	0,8	0,4	—	—	—

В стационарном опыте вносимые удобрения способствовали улучшению качества зерна культуры. Достоверные прибавки средневзвешенного содержания белка отмечены на вариантах с применением азотного удобрения в норме N_{80} (200) и совместного внесения азотного, фосфорного и калийного удобрения в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222) – 12,1 % и 11,9 %. Содержание клейковины и стекловидности на этих вариантах

– 22,5; 23,1 % и 44,6; 45,9 % соответственно. Средневзвешенное значение натуры, где вносились азотных удобрений в норме N_{80} (200) и совместном внесении азотных, фосфорных и калийных удобрений в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222) – 784,7 г/л и 790,0 г/л. Сбор белка 762,3 кг/га и 809,2 кг/га. Внесение фосфорных удобрений в норме P_{60} (020) и калийных удобрений K_{40} (002) не влияло существенно на изменение наблюдаемых показателей.

В полевом опыте на всех вариантах за все годы исследования наблюдается достоверное увеличение содержание белка. Минеральные удобрения в дозе $N_{12}P_{50}$ (ФОН) повысили до 12,1 %, ФОН + N_{aa} и ФОН + N_m – 12,7 %, ФОН + $N_m^{ЮТЕК}$ 13,1 %. Средневзвешенное значение натуры на вариантах ФОН + N_{aa} и ФОН + N_m было 794,3 г/л. Внесение ингибированного карбамида ФОН + $N_m^{ЮТЕК}$ достоверно повысило значение натуры до 799,7 г/л (или на 3,4 %). Средневзвешенное содержание клейковины в зерне на вариантах ФОН + N_{aa} ; ФОН + N_m и ФОН + $N_m^{ЮТЕК}$ было 23,4 %; 23,3 и 24,3 % соответственно. Стекловидность зерна культуры на вариантах ФОН + N_{aa} и ФОН + N_m практически одинаковая 45,0 %, и выше на варианте с внесением карбамида ингибированного ФОН + $N_m^{ЮТЕК}$ – 45,9 % (таблица 2).

Таблица 2 – Качество зерна пшеницы мягкой озимой, 2018-2021 гг.

Вариант	Содержание белка, %	Натура, г/л	Содержание клейковины, %	Стекловидность, %	Сбор белка, кг/га	Окупаемость 1 кг д. в.
Стационарный опыт						
000	10,9	773,7	21,1	43,1	555,9	–
200	12,1	784,7	22,5	44,6	762,3	15,4
020	11,6	781,3	21,9	43,9	696,0	15,8
002	11,1	771,7	21,6	43,2	577,2	3,8
222	11,9	790,0	23,1	45,9	809,2	9,4
НСР ₀₅	0,5-0,9	3,3-4,1	0,4-1,1	1,1-1,7	–	–
Полевой опыт						
000	10,9	773,7	21,1	43,1	555,9	–
ФОН	12,1	784,7	22,5	44,4	762,3	19,8
ФОН+ N_{aa}	12,7	794,3	23,4	45,0	876,3	12,3
ФОН+ N_m	12,7	794,3	23,3	45,1	876,3	12,2
ФОН+ $N_m^{ЮТЕК}$	13,1	799,7	24,3	45,9	917,0	12,7
НСР ₀₅	0,4-0,5	11,6-14,3	1,5-2,2	1,1-1,3	–	–

5.2 Вынос и баланс биогенных элементов

Вынос биогенных элементов и баланс в агроценозе пшеницы мягкой озимой за годы исследования (2018-2021 гг.) на контрольном варианте (000) по азоту составил 97,9 кг/га, фосфору – 42,8 кг/га и калию – 25,5 кг/га, а баланс по азоту, фосфору и калию отрицательный. Внесение азотных удобрений в норме N_{80} (200) сопровождалось увеличением выноса азота на 35,7 кг/га, фосфора – 12,6 и калия – 9,2 кг/га. На варианте с азотными удобрениями баланс оставался отрицательным по азоту, фосфору, калию и интенсивность баланса по азоту составила 59,9 %. Фосфорные удобрения в норме P_{60} (020) способствовали увеличению выноса азота – 122,4 кг/га, фосфора – 53,4 кг/га и калия – 30,0 кг/га. Баланс по азоту и калию на этом варианте отрицательный, по фосфору положительный 6,6 кг/га, а интенсивность баланса по

фосфору – 122,4 %. Калийные удобрения в норме K_{40} (002) увеличили вынос азота, фосфора и калия. На этом варианте баланс по азоту и фосфору отрицательный – 101,4 кг/га и 43,7 кг/га, и по калию положительный – 12,4 кг/га, интенсивность баланса по калию 144,9 %. При совместном внесении азотных, фосфорных и калийных удобрений в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222) наблюдается самый высокий вынос биогенных элементов по азоту, фосфору и калию – 142,1 кг/га, 61,2 и 37,4 кг/га. По азоту и фосфору расчет баланса отрицательный, по калию положительный – 2,6 кг/га. Интенсивность баланса по азоту – 56,3 %, фосфору – 98,0 % и калию – 107,0 %.

Расчет балансового коэффициента выноса на варианте с азотными удобрениями в норме N_{80} (200) для азота составил 167,0 %. Для фосфора, на варианте с фосфорными удобрениями в норме P_{60} (020) – 89,0 %. Применение калийных удобрений в норме K_{40} (002) повлияли на балансовый коэффициент выноса калия, и он был равен 69,0 %. Совместное применение азотных, фосфорных и калийных удобрений в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ повлияло на балансовый коэффициент выноса в сторону его увеличения по азоту, фосфору и калия – 177,6 %, 102,0 % и 93,5 % соответственно.

Коэффициент возмещения на варианте, где вносились азотные удобрения в норме N_{80} (200) – 0,4. Фосфорные удобрения в норме P_{60} (020) и калийные удобрения в норме K_{40} (002) – 0,3 и 0,2 соответственно. Совместное применение азотных, фосфорных и калийных удобрений в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ способствовало более высокому возмещению элементов и было равно 0,7.

5.3 Энергетическая эффективность удобрений

В стационарном опыте энергос затраты на применении азотных удобрений меньше накопленной энергии в прибавке урожая зерна культуры и был равен 1,2. Фосфорные удобрения в норме удобрений в норме P_{60} (020) обеспечили высокий биоэнергетический коэффициент – 2,9. Наиболее энергоемкими оказались варианты, где вносились калийные удобрения в норме K_{40} (002) – 0,4 и совместное применение азотных, фосфорных и калийных удобрений в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222) – 0,8.

В полевом опыте удобрения в дозе $N_{12}P_{50}$ (ФОН) способствовали накоплению энергии в урожае зерна пшеницы мягкой озимой больше практически в два раза, чем энергос затраты на применение удобрений. Применение аммонийной селитры ФОН + N_{aa} , карбамида обыкновенного ФОН + N_m и ингибированный карбамид ФОН + $N_m^{ЮТЕК}$ оказались равноценными и биоэнергетический коэффициент равен 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате исследований 2018-2021 гг. в стационарном опыте чернозема выщелоченного слабогумусного сверхмощного легкого глинистого на лессовидных тяжелых суглинках Западного Предкавказья в агроценозе пшеницы мягкой озимой, выращиваемой после подсолнечника в 4-ой ротации 11-польного зернотравяно-пропашного севооборота установлены сезонные изменения почвенного органического вещества. На контрольном варианте наблюдается уменьшение содержания почвенного органического вещества в 0-20 см слое почвы от фазы осеннего кушения к фазе полной спелости зерна культуры на 3,70 % (отн.) или 3,12 %. Применение под основную обработку почвы азотных и калийных удобрений, проявляющих физиологически кислые свойства, сопровождается

уменьшением содержания почвенного органического вещества к фазе цветения пшеницы озимой мягкой на 0,94 % (отн.) и 0,63 % (отн.) соответственно. За счет оставшихся корневых и пожнивных остатков, на вариантах, где вносились азотные и калийные удобрения наблюдается стабилизация содержания почвенного органического вещества до 3,15 и 3,16 % соответственно. Существенных изменений в содержании почвенного органического вещества в 21-40 см слое почвы отмечено не было, что указывает на стабильность данного показателя и среднее значение по всем вариантам опыта было равно 2,91 %.

2. Актуальная кислотность почвенного раствора чернозема выщелоченного в 0-20 и 21-40 см слоях почвы на контрольном варианте, была близка к нейтральной реакции среды – 6,60 и 6,68 единиц pH. В фазу полной спелости зерна пшеницы мягкой озимой pH_{H2O} показатель равен 6,55 и 6,66 единицы pH соответственно. Наибольшие сезонные изменения актуальной кислотности в 0-20 и 21-40 см слоях чернозема выщелоченного зафиксировано от фазы осеннего кушения к фазе цветения культуры на вариантах, где вносились азотные удобрения – 6,32 единицы pH; 6,34 и калийные – 6,33; 6,44 единицы pH соответственно.

3. Обменная кислотность в 0-20 см и 21-40 см слоях почвы без применения минеральных удобрений от фазы осеннего кушения к фазе полной спелости зерна культуры изменялся незначительно – от 5,51 до 5,72 единиц pH соответственно. Азотные и калийные удобрения от фазы осеннего кушения к фазе полной спелости зерна пшеницы мягкой озимой имели тенденцию к ее увеличению. Обменная кислотность в 0-20 см слое почвы варьировала от 5,12 до 5,39 единиц pH и в 21-40 см слое чернозема от 5,22 до 5,42 единиц pH. Фосфорные удобрения в норме P₆₀ и полная норма N₈₀P₆₀K₄₀ не приводили к существенным сезонным изменениям актуальной и обменной кислотности и полученные значения исследуемых показателей находились в пределах естественного уровня плодородия почвы.

4. Гидролитическая кислотность без внесения удобрений в 0-20 см слое почвы в фазы осеннего кушения и полной спелости зерна было – 2,07 мг-экв./100 г и 2,18 мг-экв./100 г соответственно. Азотные удобрения достоверно увеличили показатель в фазу осеннего кушения на 12,56 % и концу роста и развития культуры на 12,39 %. Калийные удобрения оказали более выраженное действие на показатель и относительно контрольного варианта увеличение составило – 21,74 %; 38,14; 25,13 и 21,10 % соответственно. Совместно применение азотных, фосфорных и калийных удобрений сохраняли тенденцию увеличения гидролитической кислотности и значения показателей в 0-20 см слое почвы были равны 2,27 мг-экв./100 г; 2,66; 2,52 и 2,38 мг-экв./100 г.

5. Сумма поглощенных катионов, емкость катионного обмена и степень насыщенности основаниями на контрольном варианте в 0-20 см и 21-40 см слоях почвы были равны 41,9 мг-экв./100 г и 40,5; 44,03 и 42,68 мг-экв./100 г; 95,1 и 94,9 % соответственно. Азотные и калийные удобрения в фазу полной спелости зерна культуры достоверно влияли на уменьшение показателей в пахотном и подпахотном слоях чернозема на 5,5 % и 3,8; 3,7 и 4,2 % соответственно, что в итоге отразилось на значениях емкости катионного обмена и степени насыщенности основаниями чернозема выщелоченного.

6. В стационарном опыте применение N_{80} и $N_{80}P_{60}K_{40}$ увеличивали содержание обменно-поглощенного аммонийного азота до повышенного содержания. В фазу весеннего кущения в 0-20 см слое чернозема зафиксированные значения показателя были 17,1 мг/кг и 19,3 мг/кг, что выше контрольного варианта на 7,7 и 9,9 мг/кг почвы соответственно. Динамика показателя показала, что рост, развитие и формирование зерна пшеницы мягкой озимой на всех вариантах, где применялись минеральные удобрения проходило в условиях средней и повышенной обеспеченности аммонийным азотом. Мониторинг содержания нитратного азота в пахотном и подпахотном слоях чернозема показал очень низкое содержание этого элемента в почве – 0,7-3,5 мг/кг почвы.

7. Содержание подвижного фосфора и калия в стационарном опыте в пахотном и подпахотном слоях чернозема от фазы осеннего кущения к фазе полной спелости зерна культуры варьировали от 20,3 мг/кг до 33,2 мг/кг и от 250,6 мг/кг до 295,2 мг/кг почвы. Наибольшее увеличение содержания подвижного фосфора и калия было на варианте $N_{80}P_{60}K_{40}$ – 30,8 мг/кг и 290,2 мг/кг почвы.

8. Азотные удобрения в стационарном опыте способствуют большему накоплению средневзвешенного азота в растениях на 0,35 % (абс.) в фазу весеннего кущения и 0,39 % (абс.) в фазу цветения культуры. На этом варианте в зерне и соломе культуры средневзвешенное содержание азота было равно 2,12 % и 0,67 %. Отмечено, что сбалансированное питание биогенными элементами (азотом, фосфором, калием) поспособствовало большему накоплению азота в растениях азота и полученные значения составили 3,59 % и 1,93 %. Фосфорные и калийные удобрения существенно не влияли на содержание в растениях азота, однако, где применялись фосфорные удобрения, наблюдается увеличение показателя до 2,04 %. Средневзвешенное содержание общего фосфора на варианте $N_{80}P_{60}K_{40}$ в фазы весеннего кущения и цветения было равно в зерне – 1,33 % и 0,95 %, и соломе – 0,90 % и 0,70 % соответственно. При совместном применении азотных, фосфорных и калийных удобрений содержание калия увеличивалось и составило 0,29 % и 0,11 % (абс.) соответственно. Применение только азотных и калийных удобрений не существенно повышало средневзвешенное содержание общего фосфора в растениях пшеницы мягкой озимой.

9. Минеральные удобрения, улучшая обеспеченность растений дефицитными элементами питания изменяли продуктивность пшеницы мягкой озимой. В стационарном опыте на контрольном варианте получено зерна 5,1 т/га. Азотные удобрения в норме N_{80} повысили урожайность культуры до 6,3 т/га и прибавка была равна 1,2 т/га. Фосфорные удобрения в норме P_{60} – 6,0 т/га и прибавка равна 1,0 т/га. Удобрений в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ максимально повысили урожайность зерна – 6,8 т/га, что выше контроля на 33,7 %. Увеличение урожайности зерна культуры происходит за счет увеличения всех элементов структуры урожая – количества продуктивных стеблей, числа зерен, массы зерна с одного колоса, массы 1000 семян. Достоверные прибавки средневзвешенного содержания белка отмечены на вариантах с применением азотного удобрения и совместного внесения азотного, фосфорного и калийного удобрения – 12,1 % и 11,9 %. Содержание клейковины и стекловидности на этих вариантах – 22,5; 23,1 % и 44,6; 45,9 % соответственно.

10. Баланс биогенных элементов на всех вариантах отрицательный. Баланс азота и фосфора (-97,9 кг/га и -42,8 кг/га) на контрольном варианте. Азотные удобрения способствуют повышению выноса фосфора и калия и баланс становится более дефицитным для этих элементов -55,4 и -34,7 кг/га. Применение фосфорных и калийных удобрений в агроценозе пшеницы мягкой озимой способствует положительному балансу одноименных элементов 6,6 кг/га и 12,4 кг/га. Совместное применение азотных, фосфорных и калийных удобрений дает положительный баланс 2,6 кг/га только по калию. Наилучший коэффициент возмещения выше 50 % наблюдается только при совместном внесении азотных, фосфорных и калийных удобрений.

11. В полевом опыте применение с осени под основную обработку минеральных удобрений в дозе $N_{12}P_{50}$ (ФОН) повышало содержание обменно-поглощенного аммонийного азота в исследуемых глубинах на 3,2 мг/кг и 0,2 мг/кг почвы. Ранневесенняя азотная подкормка аммонийной селитры в дозе N_{80} , карбамидом обыкновенным и карбамидом ингибированным (ЮТЕК) способствовали лучшей обеспеченности культуры в фазы весеннего кущения и цветения пшеницы мягкой озимой обменно-поглощенным аммонийным азотом в 0-20 см слое почвы на уровне повышенной и высокой. На этих вариантах среднее значение показателя варьировало от 11,8 мг/кг до 19,2 мг/кг. Существенных изменений в содержании обменно-поглощенного азота в 21-40 см слое почвы не отмечено. Изменение и динамика содержания нитратного азота в полевом опыте имела схожий вид с наблюдаемой тенденцией в стационарном опыте.

12. На содержание азота в зерне и соломе пшеницы мягкой озимой в полевом опыте применение аммонийной селитры и карбамида одинаково повлияло, и оно было равно 2,22 % и 0,71 %. Применение карбамида ЮТЕК существенно увеличило содержание азота на 0,39 % (абс.) в зерне за счет пролонгированного действия удобрения, что поспособствовало большему накоплению элемента растениями.

13. В полевом опыте за все исследуемые (2018-2021 гг.) годы наблюдается достоверное увеличение урожайности зерна культуры на всех вариантах опыта. Минеральные удобрения в дозе $N_{12}P_{50}$ (ФОН) способствовали увеличению урожайности зерна до 6,3 т/га, прибавка составила 1,2 т/га. Применение аммонийной селитры ФОН + N_{aa} , обыкновенного карбамида ФОН + N_m и позволило получить 6,8 т/га. Применение ингибированного карбамида ФОН + $N_m^{ЮТЕК}$ в агроценозе пшеницы мягкой озимой повысило урожайность зерна культуры на 1,8 т/га или 36,3 % по отношению к контрольному варианту. Структура урожая в полевом опыте на всех вариантах опыта имеет существенные различия в количестве продуктивных стеблей, длине стебля и колоса, массы зерна в колосе и массы 1000 семян. Количество продуктивных стеблей варьировало от 570 до 592 шт./1 м², длина стебля 89,0-89,6 см и колоса 8,8-9,7 см, масса зерна с колоса 1,34-1,48 г, масса 1000 семян 42,3-43,6 г. Средневзвешенное значение натурности на вариантах ФОН + N_{aa} и ФОН + N_m было 794,3 г/л. Внесение ингибированного карбамида ФОН + $N_m^{ЮТЕК}$ достоверно повысило значение натурности до 799,7 г/л (или на 3,4 %). Средневзвешенное содержание клейковины в зерне на вариантах ФОН + N_{aa} , ФОН + N_m и ФОН + $N_m^{ЮТЕК}$ было

23,4 %; 23,3 и 24,3 % соответственно. Стекловидность зерна культуры на вариантах ФОН + N_{aa} и ФОН + N_м практически одинаковая 45,0 %, и выше на варианте с внесением карбамида ингибированного ФОН + N_м^{ЮТЕК} – 45,9 %.

14. В модельном опыте на эмиссию диоксида углерода с поверхности чернозема выщелоченного Западного Предкавказья влияет не только гидротермический режим почвы, но и виды минеральных удобрений. Наибольшая эмиссия диоксида углерода за экспозицию отмечена осенью на варианте с внесением азотного удобрения в норме N₈₀. Весной и осенью азотные и калийные удобрения повышают эмиссию диоксида углерода до 85,99 мг CO₂/кг почвы; 92,85 и 79,94; 79,01 мг CO₂/кг почвы соответственно. Фосфорные удобрения, напротив, снижают показатель в весенний и летний периоды на 14,16 и 6,49 % соответственно.

15. В условиях лабораторного опыта установлено, что предпосевная обработка семян пшеницы мягкой озимой микроудобрениями, содержащими медь и кобальт оказывают как стимулирующее, так и ингибирующее действия на посевные качества семян культуры. Определено действие меди и кобальта на посевные качества семян пшеницы мягкой озимой. Водные растворы CuSO₄ на непротравленных семенах, обработанных в концентрации 0,0001 и 0,00001 % положительно повлияли на энергию прорастания – 85,3 и 88,0 %, лабораторную всхожесть – 96,0 и 97,3 %, скорость и дружность прорастания – 2,4; 2,2 сут. и 5,6; 5,9 шт./сут. Относительно контроля при этих концентрациях увеличивалась средняя длина проростков 3,2 и 3,4 см (26,0 и 27,6 %), а средняя длина корешков 1,4 и 2,7 см (или 15,4 и 29,7 %). На протравленных семенах пшеницы максимально достоверные значения на их посевные качества обнаружены в концентрации 0,00001 % водного раствора меди: энергия прорастания – 56,0 %, лабораторная всхожесть – 96,0 %, скорость прорастания – 3,4 сут. и дружность – 3,4 шт./сут. Обработка семян пшеницы мягкой озимой водным раствором CoSO₄, содержащим 0,01 и 0,001 % кобальта положительно повлияла на энергию прорастания. Предпосевная обработка семян повысила энергию прорастания, по сравнению с контрольным вариантом на 9,7 и 24,3 % соответственно. Анализ лабораторной всхожести семян озимой пшеницы мягкой с концентрацией водного раствора содержащий 0,01 и 0,001 % кобальта уменьшил показатель всхожести на 1,3 % (абс.) по сравнению с контролем.

16. На черноземе выщелоченном Западного Предкавказья энергетически эффективными удобрениями является азотные и фосфорные удобрения – 1,2 и 2,9 соответственно. Применение в качестве ранневесенних подкормок аммонийной селитрой, карбамида обыкновенного и ингибированного в агроценозе пшеницы мягкой озимой является энергетическим эффективным мероприятием и биоэнергетический коэффициент составляет 1,0.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ И ПЕРСПЕКТИВА ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

На основе полученных результатов для повышения продуктивности пшеницы мягкой озимой сорта Безостая 100, выращиваемой после подсолнечника, на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья и сохранения естественного плодородия производству предлагается:

1. Совместное внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ под основную обработку почвы позволит получать урожайность зерна до 6,8 т/га (прибавка урожая 1,7 т/га) с содержанием белка в зерне 11,9 %.

2. Субъектам малых предприятий (включая микропредприятия) в условиях достаточной обеспеченности пшеницы мягкой озимой подвижным калием альтернативная система удобрения культуры: под основную обработку почвы вносить аммофос в дозе $N_{12}P_{50}$ (ФОН) и ранней весной подкормкой аммонийной селитрой в дозе N_{80} или тождественным по эффективности карбамидом, при условии, если стоимость единицы азота в карбамиде будет близка к стоимости единицы азота в аммонийной селитре. При урожайности зерна культуры 6,8 т/га, прибавка урожая достигает 1,8 т/га с содержанием белка в зерне 12,7 %.

3. Хозяйствам, имеющим материально-техническое обеспечение проводить предпосевную обработку семян, целесообразно обрабатывать не более 10 % от массы семян пшеницы мягкой озимой, планируемых к посеву, водным раствором $CuSO_4$ в концентрациях 0,0001 и 0,00001 %. Это обеспечит энергию прорастания семян – 85,3 и 88,0 %, лабораторную всхожесть – 96,0 и 97,3 %, скорость и дружность прорастания – 2,4; 2,2 сут. и 5,6; 5,9 шт./сут. соответственно.

Перспективным направлением дальнейшей разработки темы является исследования влияния предпосевной обработки семян Cu- и Co-содержащими удобрениями на урожайность и качество зерна пшеницы мягкой озимой в полевом опыте на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, по научной специальности 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)

1. **Шаляпин, В. В.** Действие видов минеральных удобрений на урожайность пшеницы мягкой озимой, выращиваемой на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья / В. В. Шаляпин, Л. М. Онищенко, Л. В. Назаренко // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1 (47). – С. 5–13.

2. Эмиссия CO_2 в зависимости от применения минеральных удобрений на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья / **В. В. Шаляпин**, Л. М. Онищенко, В. К. Голубова, В. А. Разгулин // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2023. – Т. 19. – № 2. – С. 4–10.

3. **Шаляпин, В. В.** Влияние меди и кобальта на посевные качества семян пшеницы мягкой озимой / В. В. Шаляпин, Л. М. Онищенко, Н. В. Репко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 190 (06). – С. 137–147. – DOI 10.21515/1990-4665-190-018.

4. **Шаляпин, В. В.** Удобрение пшеницы озимой на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья / В. В. Шаляпин, Л. М. Онищенко, Ю. А. Денисенко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 109. – С. 241–247.

5. Оценка воздействия медьсодержащего удобрения при предпосевной обработке семян пшеницы озимой / **В. В. Шаляпин**, Л. М. Онищенко, Т. Е. Тарасенко, А. С. Полищук // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2025. – № 206 (02). – С. 328–338. – DOI 10.21515/1990-4665-206-031.

1. **Шаляпин, В. В.** Влияние минеральных удобрений на урожай озимой пшеницы, выращиваемой в условиях чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / В. В. Шаляпин, С. А. Лакиза, В. М. Ерохина // В сб.: Оптимальное питание растений и восстановление плодородия почв в условиях ведения традиционной и органической систем земледелия. Материалы 53-й Международной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов, посвященной 115-летию со дня рождения профессора Александра Васильевича Петербургского. Под редакцией В. Г. Сычёва. – 2019. – С. 180–183.

2. Урожайность пшеницы озимой в зависимости от применения минеральных удобрений и предшественников в аграрных ландшафтах Кубани / А. К. А. Али, Л. М. Онищенко, **В. В. Шаляпин**, С. А. Лакиза // В сб.: Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития. Сб. научных трудов по материалам Международной научной экологической конференции. Составитель Л. С. Новополецва. Под редакцией И. С. Белюченко. – 2020. – С. 32–34.

3. **Шаляпин, В. В.** Теория и практика применения ингибированного карбамида в условиях Западного Предкавказья (обзорная статья) / В. В. Шаляпин, А. К. А. Али // В сб.: Энтузиасты аграрной науки. Сб. статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, посвященная 100-летию со дня рождения ученых агрохимиков Коренькова Дмитрия Александровича и Тонконоженко Евгения Васильевича. Отв. за выпуск А. Х. Шеуджен. – 2020. – С. 262–268.

4. Григулецкий, В. Г. Новая приближенная математическая модель кинетики сорбции и растворения удобрений в почве / В. Г. Григулецкий, А. В. Казакевич, **В. В. Шаляпин** // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2022. – Т. 18. – № 2. – С. 51–68.

5. **Шаляпин, В. В.** Эффективность модифицированного карбамида УТЕС в агроценозе пшеницы мягкой озимой, выращиваемой в условии чернозема выщелоченного Кубани / В. В. Шаляпин, Л. М. Онищенко // В сб.: Вектор современной науки. Сб. тезисов по материалам Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых. – Краснодар. – 2022. – С. 412–413.

6. Онищенко, Л. М. Формирование урожая и качества зерна пшеницы озимой под влиянием видов минеральных удобрений на черноземе выщелоченном / Л. М. Онищенко, **В. В. Шаляпин** // В сб.: Точки научного роста: на старте десятилетия науки и технологии. Материалы ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2022. – г. Краснодар. – 2023. – С. 122–123.

7. Голубова, В. К. Агроэкологическая проблема фосфора в агрохимии / В. К. Голубова, Л. М. Онищенко, **В. В. Шаляпин** // В сб.: Экология и природопользование: устойчивое развитие сельских территорий. Сб. статей по материалам III Всероссийской научно-практической конференции. Отв. за выпуск А. Г. Максименко. – Краснодар. – 2023. – С. 109–112.

Шаляпин Владимир Владимирович

**ПОЧВЕННО-АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ЗАПАДНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ
И ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Подписано в печать _____ 20____. Формат 60×84 ¹/₁₆
Усл. печ. л. – 1,0. Тираж 100. Заказ № _____
Типография Кубанского государственного аграрного университета.
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13