

На правах рукописи

НАЗАРОВА АННА АНАТОЛЬЕВНА

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОУДОБРЕНИЙ
НА ОСНОВЕ НАНОПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ
ЧАСТИ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РФ**

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора сельскохозяйственных наук

Брянск – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ)

Научный консультант: доктор технических наук, профессор,
Шемякин Александр Владимирович

Официальные оппоненты: **Шеуджен Асхад Хазретович**
доктор биологических наук, профессор,
академик РАН, ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ,
кафедра агрономической химии, заведующий

Есаулко Александр Николаевич
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ, факультет
агробиологии и земельных ресурсов, декан

Прудникова Анна Григорьевна
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, кафедра
агрономии, садоводства, селекции,
семеноводства и землеустройства, профессор

Ведущая организация: ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»

Защита состоится «01» марта 2024 г. в 10-00 часов
на заседании диссертационного совета 35.2.006.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный аграрный университет» по адресу: 243365, Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская 2а, корпус 4. E-mail: ds35200601@bgsha.com. Тел, факс: +7(48341) 24-721.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Брянский ГАУ и на сайте организации по адресу <https://www.bgsha.com>, на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации: <https://vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан « ____ » _____ 20__ г.

Просим принять участие в работе совета или прислать свой отзыв в двух экземплярах, заверенных печатью.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
доктор сельскохозяйственных наук,
доцент

Смольский Евгений Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. В последние десятилетия реализуется активная государственная политика в области нанотехнологий для устойчивого и эффективного развития национального хозяйства. Широкомасштабное внедрение нанотехнологических разработок наблюдается во всех сферах жизни человека. Но ключевыми областями применения наноматериалов и нанотехнологий являются медицина, приборостроение, энергетика, материаловедение, информационные технологии и сельское хозяйство. С их помощью решаются актуальные задачи АПК: ресурсосбережение и рост эффективности оборудования, повышение продуктивности животноводства, урожайности и устойчивости сельскохозяйственных культур к неблагоприятным условиям окружающей среды, получение экологически безопасной продукции и снижение потерь при хранении.

Наночастицы обладают комплексом физико-химических свойств и биологическим действием, которые часто радикально отличаются от свойств этого же вещества в форме сплошных фаз: увеличение химического потенциала на межфазной границе, что меняет растворимость, реакционную и каталитическую способность наночастиц; большая удельная поверхность наноматериалов, что увеличивает их адсорбционную емкость; небольшие размеры и разнообразие форм наночастиц (наночастицы могут связываться с нуклеиновыми кислотами, белками, встраиваться в мембраны, проникать в клеточные органеллы и тем самым изменять функции биоструктур). Огромный интерес представляет изучение влияния нанопорошков металлов-микроэлементов на с/х растения в определенных производственных условиях, включая различные агроклиматические и почвенные условия, разные концентрации, формы, состав наноматериалов, способы обработки семян, растений и почвы, различные культуры, сорта и гибриды и др. В то же время остаются важными проблемы изучения основных механизмов взаимодействия НМ с растениями, приоритетом среди которых является выявление потенциальной выгоды от их применения и рисков для самих растений, человека и экосистем.

Поэтому изучение процесса и последствий воздействия НПМ и микроудобрений на их основе на растительные объекты, а также изучение эффективности использования их как микроэлементов и активаторов роста растений является актуальным.

Степень разработанности научной проблемы. Активное изучение биологических свойств ультрадисперсных (нанодисперсных) частиц металлов началось с конца 20 века. Можно выделить работы Глущенко Н.Н. (1988, 2002), Фолманиса Г.Э. (1993, 2000), Коваленко Л.В. (1998, 2006), Байтукалова Т.А. (2006), Дзидзигури Э.Л. (1998, 2017), Зотовой Е.С. (2008). Многие исследования посвящены изучению влияния наноструктурных веществ на те или иные сельскохозяйственные культуры (Горбачев А.А. (2001), Сушилина М.М. (2004), Зорин Е.В. (2004), Райкова А.П. (2004), Амплеева Л.Е. (2006), Паничкин Л.А. (2009)), их продуктивность и качество (Полищук С.Д. (2010), Ольховская И.П. (2019), Нечитайло Г.С. (2018), Зейрук В.Н. (2019), Давыдова Н.В. (2019), Юрина Т.А. (2021)). Также актуальны работы Чурилова Г.И. (2010), Иваннычевой Ю.Н. (2012), Куцкира М.В. (2014), Гусева А.А. (2016), Обидиной И.В. (2021) по изучению экологических последствий применения наночастиц в сельскохозяйственном производстве. Сложность и многофакторность воздействия наноматериалов на живые системы определила то, что к настоящему времени не накоплено систематических данных, позволяющих прогнозировать харак-

тер и результаты взаимодействия наноматериалов в виде металлов-микроэлементов с растительными объектами.

Цель работы – провести агрохимическую оценку влияния микроудобрений на основе различных нанопорошков металлов-микроэлементов на урожайность и качество сельскохозяйственных культур для их широкомасштабного применения в сельскохозяйственном производстве.

Задачи работы:

1. Определить оптимальные концентрации нанопорошков металлов-микроэлементов железа, кобальта и меди в лабораторных условиях на семенах и проростках яровой пшеницы, огурца, редиса.

2. Провести сравнительную оценку фитотоксичности нанопорошков железа, кобальта и меди и микроэлементов в форме сульфата железа, сульфата меди и хлорида кобальта в лабораторных условиях на семенах и проростках озимой пшеницы, подсолнечника, кукурузы.

3. Определить оптимальный способ внесения микроудобрений на основе нанопорошков металлов на кукурузе в полевых условиях (внесение в почву, замачивание семян, опрыскивание по вегетации).

4. Изучить реакцию различных видов сельскохозяйственных культур на микроудобрения, содержащие НППМ, их оксиды и смеси (кукуруза, подсолнечник, яровая пшеница, яровой ячмень, соя, озимая пшеница, овес, картофель, кормовая свекла) на почвах южной части Нечерноземной зоны РФ.

5. Определить влияние микроудобрений на основе НППМ на реализацию потенциальной продуктивности сельскохозяйственных культур и их качественные показатели в динамических условиях внешней среды.

6. Изучить влияние микроудобрений на основе НППМ на агрохимические показатели и плодородие почв южной части Нечерноземной зоны РФ.

7. Изучить явления синергизма и антагонизма микроэлементов в наносостоянии, а также взаимосвязь между макро- и микроэлементами в растениях на различных видах сельскохозяйственных культур.

8. Изучить экономическую эффективность применения микроудобрений на основе нанопорошков металлов-микроэлементов на примере озимой пшеницы, пивоваренного ячменя и картофеля.

Научная новизна исследований. Проведена комплексная оценка действия нанопорошков металлов-микроэлементов, их оксидов и смесей на различные виды сельскохозяйственных культур с учетом их биологических особенностей и целевого назначения. Научно обоснованы оптимальные концентрации для каждого вида металла и для различных с/х культур, показана реакция с/х культур на различные виды НППМ и их смеси.

Определено влияние микроудобрений на основе НППМ на реализацию потенциальной урожайности с/х культур и их качество в различных почвенных условиях южной части Нечерноземной зоны РФ. Впервые показано влияние микроудобрений на основе НППМ на агрохимические показатели и плодородие почв.

Определен оптимальный способ применения нанопорошков металлов-микроэлементов в технологии возделывания с/х культур. Определена и доказана избирательность действия конкретных микроэлементов в наносостоянии на определенные культуры в указанных концентрациях.

Показана экономическая эффективность применения микроудобрений на основе НППМ в производстве озимой пшеницы, пивоваренного ячменя и картофеля.

Теоретическая значимость результатов исследований заключается в разработке научно обоснованной системы применения нанопорошков металлов в технологиях производства сельскохозяйственных культур, эффективности микроэлементов в наносостоянии в активации процессов роста и развития растений, повышения урожайности и качества продукции растениеводства.

Результаты проведенных исследований позволят включить микроудобрения на основе нанопорошков металлов в сельскохозяйственное производство как альтернативу традиционным солям микроэлементов, что обеспечит реализацию генетического и ресурсного потенциала сельскохозяйственных растений.

Практическая значимость результатов исследований. Работа вносит вклад в теоретические и практические аспекты действия микроэлементов на растения, подтверждает возможность замены солей микроэлементов на их нанопорошки, что обеспечит снижение химической нагрузки на почвы и обеспечит получение экологически безопасной продукции растениеводства. Даны практические рекомендации по способу применения нанопорошков металлов-микроэлементов, их оптимальным концентрациям и химическому составу для каждой изучаемой культуры. Показано отсутствие влияния нанопорошков металлов на агрохимические показатели и плодородие почв.

Результаты работы могут быть использованы как практиками в работе на аграрном производстве, так и учеными в качестве дополнительной информации об уникальных свойствах веществ в наносостоянии, в обучающем процессе бакалавров, специалистов, магистров и аспирантов, при подготовке учебников и пособий.

Методология и методы исследований. Методологической основой работы является концепция уникальных свойств ультрадисперсных металлов (ныне нанопорошков металлов) при контакте с живыми системами.

Работа была начата с обзора и анализа российских и зарубежных научных источников по данной тематике, особое внимание было уделено иностранным работам в области нанотехнологий, что связано в значительной степени с большей разработанностью темы.

Методология исследований включала разработку цели и задач, проведение лабораторных исследований, полевых опытов, проведения наблюдений и сбора опытных образцов для исследования и лабораторной диагностики, проведении статистической обработки экспериментальных данных.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Установлены оптимальные концентрации нанопорошков металлов-микроэлементов; доказано, что установленные концентрации активируют процессы роста и развития, повышают урожайность и качественные показатели важнейших сельскохозяйственных культур: кукурузы, подсолнечника, яровой пшеницы, ярового кормового ячменя, сои, ярового пивоваренного ячменя, овса, озимой пшеницы, картофеля, кормовой свеклы.

2. Установлен оптимальный способ применения нанопорошков металлов-микроэлементов в технологии выращивания сельскохозяйственных культур и избирательность действия микроудобрений на основе НПМ в зависимости от культуры.

3. Доказана низкая фитотоксичность нанопорошков металлов-микроэлементов в сравнении с неорганическими солями микроэлементов.

4. Установлено отсутствие влияния микроудобрений на основе НПМ при использовании в предпосевной подготовке на агрохимические показатели и плодородие почв.

5. Доказана экономическая эффективность использования микроудобрений на основе НППМ в технологиях производства с/х культур.

Степень достоверности и апробация результатов работы. Работа по изучению биологической активности нанопорошков металлов-микроэлементов на сельскохозяйственных культурах проведена с применением современных методов при значительном количестве наблюдений, в течение многолетних лабораторных и полевых испытаний с 2008 по 2022 гг. Полученные результаты, сделанные выводы и рекомендации основаны на большом объеме экспериментального материала, представленного в работе, достоверность которого была подтверждена статистическим анализом.

Основные результаты работы были представлены на Всероссийских и Международных конференциях и форумах: «Инновационные фундаментальные и прикладные исследования в области химии сельскохозяйственному производству» (Орел, 2010, 2011); «Интеграция науки с сельскохозяйственным производством» (Рязань, 2011); «Актуальные проблемы развития АПК в научных исследованиях молодых ученых» (Москва, 2011); «Аграрная наука – сельскому хозяйству» (Чебоксары, 2011); «Молодежная наука 2012: технологии, инновации» (Пермь, 2012); «Фундаментальные и прикладные проблемы науки» (Москва, 2012); «Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях» (Москва, 2012); «Новые технологии в промышленности и сельском хозяйстве» (Бийск, 2012); «Нанотехнологии – производству» (Фрязино, 2013); «Химико-экологические аспекты научно-исследовательской работы» (Горки, 2013); «Научные приоритеты в АПК: инновационные достижения, проблемы, перспективы развития» (Рязань, 2013); «Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства» (Рязань, 2014); «Исследования молодых ученых – аграрному производству» (Белгород, 2015); «Аграрная наука как основа продовольственной безопасности региона» (Рязань, 2015); «Инновационные технологии продуктов здорового питания» (Мичуринск, 2015); «Инновационное развитие агропромышленного комплекса России» (Рязань, 2016); «Актуальные вопросы производства, хранения и переработки с/х продукции» (Рязань, 2018); «Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России» (Рязань, 2019); «Актуальные проблемы биологической и химической экологии» (Москва, 2019); «Научно-инновационные аспекты аграрного производства: перспективы развития» (Рязань, 2022); «Инновационные решения для АПК» (Рязань, 2023) и других.

Публикации. Результаты исследований опубликованы в 87 печатных работах, в том числе: 20 - в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 патента РФ; 6 - в международных изданиях, входящих в Scopus и Web of Science.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 320 страницах основного текста, состоит из введения, 8 глав, выводов, практических предложений, списка используемой литературы, содержит 41 таблицу, 92 рисунка. Список литературы содержит 600 источников, в том числе 288 - иностранных.

Личный вклад автора. Соискателем были спланированы цели и задачи исследований, разработана программа исследований, поставлены и проанализированы лабораторные и полевые опыты. Автором был проведен анализ отечественной и зарубежной научной литературы по теме исследований. Автор выражает глубокую благодарность научному консультанту профессору Шемякину А.В. за помощь в работе, ценные советы и замечания, профессору Борычеву С.Н. за помощь в организа-

ционных вопросах, профессору Полищук С.Д. за многолетнее сотрудничество и помощь в проведении исследований, а также директору ООО «Агротехнология» Волкову Н.М. за неоценимую помощь в практической реализации исследований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Проведен тщательный анализ российских и иностранных научных источников для оценки степени изученности вопроса биологической активности и фитотоксичности различных форм микроэлементов. Рассмотрена эффективность их применения в технологиях выращивания основных сельскохозяйственных культур. Отдельно уделено внимание вопросу современного состояния nanoиндустрии и влиянию наноматериалов на растительные объекты. На основе проведенного анализа дана характеристика текущему состоянию изучаемой темы.

2. ОБЪЕКТЫ, МЕТОДЫ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились с 2008 по 2022 гг. в условиях ФГБОУ ВО РГАТУ и его структурных подразделений: Наночентр для АПК, НОЦ «Нано- и биотехнологии», Научный центр лабораторных исследований, опытная агротехнологическая станция (УНИЦ «Агротехнопарк», РГАТУ), а также на демонстрационном полигоне ООО «Агротехнология» (Пронский район, Рязанская область) и в ФГБНУ «Рязанский НИИСХ» (Рязанский район, Рязанская область).

В качестве объектов исследований были использованы следующие с/х культуры: огурец (сорт «Новинка»), редис (сорт «18 дней»), кукуруза (гибриды «Катерина СВ», «РОСС 145 МВ», «Обский 140»), подсолнечник (гибрид «Донской 22»), яровая пшеница (сорт «РИМА»), яровой ячмень (сорты «Яромир», «Саншайн»), соя (сорт «Светлая»), овес (сорт «Скакун»), озимая пшеница (сорт «Московская 56»), картофель (сорт «Латона»), кормовая свекла (сорт «Эккендорфская желтая»).

Изучаемые нанопорошки металлов-микроэлементов (табл.1) были получены химическим осаждением гидроксидов металлов из растворов солей с последующим их низкотемпературным восстановлением водородом в МИСиС, Москва. С помощью рентгенофазового анализа на дифрактометре XRD-7000 (Shimadzu) был определен фазовый состав. Удельную площадь поверхности измеряли методом низкотемпературной адсорбции азота с помощью ВЕТ (анализатор Quantachrome NOVA 1200e). Суспензии наночастиц готовили в дистиллированной воде, диспергируя ультразвуком в течение 10 минут 300 Вт при частоте 23,7 кГц. Полученные суспензии использовали для обработки семян.

Таблица 1. Характеристика нанопорошков металлов-микроэлементов

Показатель	Наночастицы железа	Наночастицы кобальта	Наночастицы меди
Размер частиц, нм	25-55	30-45	24-60
Удельная площадь поверхности, м ² /г	6,5	7,5	8,5
Цвет нанопорошка	черный	темно-серый	темно-бурый
Температура восстановления гидроксидов, °С	400	250	300
Сопутствующие вещества	Оксид железа, адсорбированные газы	Оксид кобальта, адсорбированные газы	Оксид меди, адсорбированные газы

В таблице 2 представлен анализ почв опытных участков, проведенный в условиях испытательной лаборатории ФГБУ «Станция агрохимической службы «Рязанская».

Таблица 2. Агрохимическая характеристика почв опытных участков

Показатель, размерность	Серая лесная	Темно-серая лесная	Чернозем выщелоченный
рНсол., ед.рН	4,6	5,6	5,8
Гумус, %	3,39	4,34	6,31
Фосфор, мг/кг	540	354	585
Калий, мг/кг	141	450	191
Гран. состав	Средний суглинок	Тяжелый суглинок	

За время проведения полевых исследований (2010-2020 гг.) года отличались по тепло- и влагообеспеченности, в целом метеорологические условия были благоприятными для возделывания изучаемых с/х культур.

Программа исследований.

Опыт №1. Определение оптимальных концентраций нанопорошков железа, меди и кобальта на семенах и проростках с/х культур в лабораторных условиях.

Таблица 3. Схема опыта №1.

Культура	Доз НПМ, г/т семян		
	НП Fe	НП Cu	НП Co
Яровая пшеница, сорт «Лада»	0,01; 0,1; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0	0,01; 0,1; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0	0,01; 0,1; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0
Огурец, сорт «Новинка»	1,0; 2,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0	1,0; 2,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0	1,0; 2,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0
Редис, сорт «18 дней»	1,0; 2,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0	1,0; 2,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0	1,0; 2,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0

Опыт однофакторный. Повторность 4-кратная. Изучалось влияние различных концентраций на энергию прорастания, лабораторную всхожесть (ГОСТ 12038-84), длину и массу 7-дневных проростков.

Опыт №2. Изучение токсических свойств нанопорошков металлов.

Фитотоксичность НПМ изучалась в сравнении с неорганическими солями микроэлементов в лабораторных условиях по изменению энергии прорастания, лабораторной всхожести, длины и массы 7-дневных проростков (табл.4).

Таблица 4. Схема опыта №2.

Озимая пшеница		Кукуруза		Подсолнечник	
НП Fe	Fe ₂ (SO ₄) ₃	НП Cu	CuSO ₄	НП Co	CoCl ₂
0,1;	0,1;	0,1;	0,1;	0,1;	0,1;
10,0;	10,0;	20,0;	20,0;	10,0;	10,0;
100,0;	100,0;	100,0;	100,0;	100,0;	100,0;
200,0;	200,0;	500,0;	500,0;	200,0;	200,0;
400,0;	400,0;	2000,0;	2000,0;	400,0;	400,0;
600,0;	600,0;	5000,0;	5000,0;	600,0;	600,0;
800,0;	800,0;			800,0;	800,0;
г на г.н.в. семян					

Опыт №3. Сравнительная оценка различных способов внесения нанопорошков микроэлементов на кукурузе

Изучался наиболее эффективный способ применения НПМ (табл.5), были использованы оптимальные дозы: для НП железа 6,0 г/т семян, для НП меди – 2,0 г/т

семян. Был выбран гибрид кукурузы РОСС 145 МВ (Краснодарский НИИСХ). Это раннеспелый (96-100 дней) зерновой гибрид, ФАО 150. В процессе вегетации были определены полевая всхожесть, площадь листовой поверхности, урожайность и структура урожая кукурузы.

Таблица 5. Схема опыта №3.

Способ внесения НПМ	НП Fe	НП Cu
Предпосевное замачивание семян	6,0 г/т семян	2,0 г/т семян
Внесение в почву перед посевом	5 кг/га	2 кг/га
Опрыскивание растений по вегетации	0,05% раствор	0,03% раствор

Опыт №4. НПМ в технологии возделывания кукурузы и подсолнечника

Опыт был проведен в 2010-2012 гг. в условиях демонстрационного полигона ООО «Агротехнология». Изучалось влияние различных НПМ и их сочетаний (табл.6) на гибридах кукурузы Обский 140 и подсолнечника Донской 22. Опыт закладывался на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом, в трехкратной повторности. Агротехника проводилась в соответствии с областными рекомендациями. Предшественник – озимая пшеница. Посевная площадь делянки – 56 м², уборочная – 30 м². Делянки были расположены систематически.

Таблица 6. Схема опыта №4.

НПМ	Доза	
	Кукуруза	Подсолнечник
Контроль	Семена замачивались в дистиллированной воде	
НП Fe	6,0 г/т семян	6,0 г/т семян
НП Cu	2,0 г/т семян	2,0 г/т семян
НП Co	4,0 г/т семян	4,0 г/т семян
НП Fe+Co	6,0 г/т + 4,0 г/т семян	6,0 г/т + 4,0 г/т семян
НП Fe+Ni	6,0 г/т + 4,0 г/т семян	-

В процессе вегетации были определены полевая всхожесть, высота растений, площадь листовой поверхности, урожайность, структура урожая кукурузы и химический состав зерна, в том числе содержание витаминов.

Опыт №5. НПМ в технологии возделывания ярового кормового ячменя, яровой пшеницы и сои

Полевые исследования проводились на опытном поле отдела селекции и первичного семеноводства ФГБНУ «Рязанского НИИСХ» в 2013-2015 гг. Изучалось влияние различных НПМ (табл.7) на яровом ячмене сорта «Яромир», яровой пшенице сорта «Рима», сое сорта «Светлая».

Таблица 7. Схема опыта №5.

НПМ	Яровой ячмень	Яровая пшеница	Соя
Контроль	Семена замачивались в дистиллированной воде		
НП Fe	6,0 г/т семян		
НП Cu	2,0 г/т семян		
НП Co	4,0 г/т семян		

Закладка опыта осуществлялась на темно-серой лесной тяжелосуглинистой почве. Для яровой пшеницы и ярового ячменя повторность в опыте 4-х кратная,

размещение вариантов систематическое, площадь делянки 12,6 м², уборочная площадь – 11,3 м². Для сои повторность в опыте 4-х кратная, размещение вариантов систематическое, площадь делянки 26,6 м², уборочная площадь – 16,2 м².

Опыт №6. НПМ в технологии возделывания ярового пивоваренного ячменя, озимой пшеницы, овса, картофеля и кормовой свеклы

Полевые испытания проводились на опытной агротехнологической станции (УНИЦ «Агротехнопарк», п.Стенькино, Рязанский р-он). Изучалось влияние различных НПМ, их сочетаний, оксидов (табл.8) на яровом ячмене сорта «Саншайн», озимой пшенице сорта «Московская 56», овсе сорта «Скакун», картофеле сорта «Латона», свекле кормовой «Эккендорфская желтая» в 2015-2020 гг. Опыт был заложен на серой лесной среднесуглинистой почве. Посев осуществляли по технологии, рекомендованной для возделывания данных культур, с учетом погодных условий. Обработка семян зерновых культур перед посевом проводилась одновременно с протравливанием. Повторность 4-х кратная, размещение систематическое, площадь делянки 20 м², уборочная площадь – 15 м².

Таблица 8. Схема опыта №6.

НПМ, г/т	Яровой ячмень	Озимая пшеница	Овес	Картофель	Свекла кормовая
НП Fe	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
НП Cu	2,0	2,0	2,0	2,0	–
НП Co	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
НП Co+Cu	–	–	4,0 + 2,0	–	4,0 + 2,0
НП Fe +Cu	–	–	–	–	6,0 + 2,0
НП CuO	–	–	–	2,0	–
НП CoO	–	–	–	4,0	–

Выделение водорастворимых полисахаридов из растений озимой пшеницы было проведено по авторской методике, защищенной патентом.

Опыт №7. Синергические и антагонистические свойства НПМ

Явления антагонизма и синергизма НПМ с другими микроэлементами были изучены на растениях и семенах кукурузы и подсолнечника (табл.9), являющихся объектами исследований в 2010-2012 гг. в условиях демонстрационного полигона ООО «Агротехнология» (Пронский р-он, Ряз. обл.).

Таблица 9. Схема опыта №7.

НПМ	Кукуруза	Подсолнечник
Контроль	Семена замачивались в дистиллированной воде	
НП Fe	6,0 г/т семян	
НП Cu	2,0 г/т семян	
НП Co	4,0 г/т семян	

Образцы частей вегетирующих растений и их семена были проанализированы на содержание металлов в условиях ФГУ «Рязанский центр стандартизации и метрологии», а также в условиях лабораторий ФГБОУ ВО РГАЗУ, МИСиС.

Содержание металлов в различных органах растений кукурузы и подсолнечника определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии (спектрометр КВАНТ–Z.ЭТА).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Определение оптимальных концентраций нанопорошков железа, меди и кобальта на семенах и проростках с/х культур в лабораторных условиях

Оптимальные концентрации НП железа, кобальта и меди были определены в лабораторных условиях на семенах и проростках яровой пшеницы, огурца и редиса. При изучении различных доз НП железа (от 0,01 до 10 г на тонну семян) эффективным диапазоном доз можно назвать 1,0-8,0 г/т, но лучшие показатели энергии прорастания и лабораторной всхожести наблюдались при варианте 6,0 г/т. Максимальная длина ростка и суммарная длина корней, а также их масса на 1 проросток яровой пшеницы также наблюдалась при концентрации НП железа 6,0 г/т и превысила контроль на 10,1 мм (+20,9%) и на 135,1 мм (+35,1%) соответственно, масса ростка увеличилась на 0,0112 г (+24,8%), а масса корней на 1 растение на 0,0029 г (+11,8%).

При исследовании различных доз НП меди максимальное значение энергии прорастания, лабораторной всхожести, длины и массы корней яровой пшеницы наблюдалось на варианте 2,0 г/т. НП меди увеличил длину ростка на 8,62 мм (+18,3%), суммарную длину корней на 1 растение на 45,81 мм (+27,2%), массу ростка на 0,0065 г (+13,9%), массу корней на 1 растение – на 0,036 г (+15,5%) относительно контрольных значений.

Оптимальной концентрацией для яровой пшеницы в лабораторных условиях оказалась 4,0 г/т НП кобальта – увеличилась энергия прорастания на 3,5%, лабораторная всхожесть на 4,0%, длина ростка на 7,22 мм (+14,6%), суммарная длина корней – на 37,39 мм (+20,6%), масса проростка – на 0,0070 г (+15,4%), масса корней на 1 растение – на 0,0031 г (+12,9%) выше контроля. На остальных вариантах результат был менее значительным.

На втором этапе изучалось воздействие эффективных концентраций НП металлов-микроэлементов на семенах и проростках культур других семейств – это огурец (Тыквенные) и редис (Капустные) – с целью определить оптимальные концентрации НП железа, кобальта и меди независимо от биологических особенностей растений и их возможной индивидуальной реакции на наночастицы.

НП кобальта показал достоверную эффективность в концентрациях от 2 до 6 г/т семян. Максимальный результат был замечен на варианте 4,0 г/т – энергия прорастания превысила контроль на 5,3% для огурца и на 3,0% для редиса, всхожесть была выше на 4,8% для огурца и на 5,5% для редиса относительно контроля. Также максимально увеличилась длина ростка огурца на 8,9 мм (+21,9%), длина ростка редиса на 7,8 мм (+15,7%), длина корня огурца – на 14,9 мм (+30,7%), редиса – на 10,3 мм (+18,6%), похожая динамика наблюдается и при анализе массы.

Нанопорошок меди показал хорошие результаты на всех опытных вариантах, но по совокупности результатов лучшим можно назвать дозу 2,0 г/т. Повысилась энергия прорастания для огурца на 4,8%, редиса – на 5,0%, всхожесть огурца увеличилась на 7,3%, редиса – на 3,0%. Анализ биометрических и весовых показателей ростков и корней огурца и редиса показал: НП меди в дозе 2,0 г/т достоверно увеличил длину ростка огурца на 7,6 мм (+18,8%), корня огурца – на 7,6 мм (+15,5%), длину ростка редиса – на 7,4 мм (+18,9%), корня редиса – на 8,7 мм (+15,8%), массу корня огурца – на 0,0077 г (+19,1%), массу корня редиса – на 0,0033 г (+26,6%) относительно контроля.

В целом, по результатам лабораторных испытаний можно сделать вывод о том, что оптимальными концентрациями для нанопорошка железа является 6,0 г/т, нанопорошка кобальта – 4,0 г/т, для нанопорошка меди – 2,0 г/т семян.

3.2 Изучение фитотоксичности нанопорошков металлов

3.2.1 Сравнительная оценка фитотоксичности нанопорошка железа и сульфата железа при взаимодействии с семенами и проростками озимой пшеницы

На данном этапе исследований были определены токсичные концентрации нанопорошка железа и сульфата железа при обработке семян озимой пшеницы и проведение сравнительной оценки их токсичного воздействия. Опыт был поставлен на озимой пшенице сорта «Московская 56». Для сравнения был выбран сульфат железа - это широко распространённое железосодержащее микроудобрение, традиционно рекомендуется в том числе для предпосевной обработки семян - 100-500 г/гектарную норму высева. Контрольные семена замачивались в дистиллированной воде, а опытные - в растворе препаратов нанопорошка железа (НП Fe) и сульфата железа ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) определенной концентрации на гектарную норму высева семян - г/г.н.в. Результаты показали, что влияние нанопорошка железа и сульфата железа на семена пшеницы различается. Достоверное существенное угнетение прорастания семян пшеницы при использовании нанопорошка железа было выявлено лишь при концентрации наночастиц 400 г/г.н.в., а при использовании сульфата угнетение наблюдается уже при концентрации 100 г/г.н.в., так, длина ростка становится ниже контроля при варианте с НП железа 400 г/г.н.в. - на 1,51 мм (-3%), а с сульфатом железа - при 100 г/г.н.в. на 1,56 мм (-3,1%). Причем токсическое действие сульфата железа на длину проростков с повышением дозы значительно усиливается, и при 800 г/г.н.в. приводит к снижению данного показателя на 21,46 мм (-41,6%). Тогда как НП железа даже при 8-кратном повышении концентрации снизил длину ростка на 1,91 мм (-3,7%) по сравнению с контролем. Похожая тенденция наблюдается и при анализе длины корешков озимой пшеницы.

Анализ данных по энергии прорастания, лабораторной всхожести, длины и массы проростков озимой пшеницы показал, что угнетающее действие нанопорошка железа начинается с концентрации 400 г/г.н.в. Токсическое действие сульфата железа выявлено уже при 100 г/г.н.в.

3.2.2 Сравнительная оценка фитотоксичности нанопорошка меди и сульфата меди при взаимодействии с семенами и проростками кукурузы

На втором этапе был проведен поиск токсической концентрации НП меди и сульфата меди при обработке семян кукурузы на основе витальных и морфобиологических показателей семян и проростков. Снижение энергии прорастания кукурузы при использовании НП меди началось с концентрации 500 г/г.н.в., и с повышением дозы этот показатель существенно уменьшается, достигнув минимального значения при НП Cu 5000 г/г.н.в. - на 46,5% ниже контроля. Всхожесть семян кукурузы при НП меди снизилась относительно контроля только при концентрациях 2000 и 5000 г/г.н.в. - на 15,0% и 24,0% соответственно.

При использовании сульфата меди существенное угнетение энергии прорастания наблюдалось уже при концентрации 100 г/г.н.в. (-4,0%). Стоит отметить, что при дальнейшем увеличении концентрации происходит практически полное угнетение прорастания кукурузы. Так, при концентрации сульфата 5000 г/г.н.в. семена практически не проросли, энергия прорастания была ниже контроля на 79,0%. Похожая тенденция наблюдалась и при влиянии сульфата меди на всхожесть. Длина ростка кукурузы в диапазоне концентраций НП меди 0,1-500 г/г.н.в. была выше контроля, максимально на варианте 0,1 г/г.н.в. (+10,4%). Токсическое действие нанопорошка меди выявлено лишь при концентрациях 2000-5000 г/г.н.в., при которых длина ростка снизилась на 12,7-7,1 мм (-24,6-44,1%).

При использовании сульфата меди угнетение роста ростка наблюдалось уже при концентрации препарата 100 г/г.н.в. на 6,3 мм (-21,9%). При этой же концентрации масса ростков была ниже контроля на 0,0071 г (-12,1%). А при концентрации сульфата 5000 г/г.н.в. накопление массы ростков и корней кукурузы снижено по сравнению с контролем практически в 2 раза – на 0,0223 г (-38,0%) и 0,0427 г (-50,2%) соответственно.

Анализ витальных и морфофизиологических показателей кукурузы показал, что низкие концентрации суспензии НП меди в диапазоне 0,1-20 г/г.н.в. обладают стимулирующим действием на прорастание семян и развитие проростков, токсический эффект НП меди по сумме показателей наблюдался, начиная с 500 г/г.н.в. семян. Токсический эффект для сульфата меди начинается с концентрации 100 г/г.н.в. семян и приводит к более сильному угнетению процессов прорастания по сравнению с теми же концентрациями НП меди.

3.2.3 Сравнительная оценка фитотоксичности нанопорошка кобальта и хлорида кобальта при взаимодействии с семенами и проростками подсолнечника

На следующем этапе исследований была определена токсичная концентрация НП кобальта и хлорида кобальта при обработке семян гибрида подсолнечника «Донской 22» на основе витальных и морфофизиологических показателей семян и проростков. Достоверное угнетение прорастания семян при использовании нанопорошка кобальта было обнаружено при концентрации наночастиц 200 г/г.н.в. При максимальной концентрации нанопорошка – 800 г/г.н.в. – энергия прорастания снизилась на 33,0%, всхожесть – на 35,0%.

Использование хлорида кобальта привело к угнетению прорастания уже при концентрации 100 г/г.н.в. Концентрация хлорида кобальта 800 г/г.н.в. снизила данные показатели на 65% и 67% соответственно.

Затем были определены длина и масса ростков и корней проростков подсолнечника. Результаты показали, что длина ростка начала снижаться при варианте с НП кобальта 200 г/г.н.в. (-3,8%), а длина корня – при 100 г/г.н.в. (на 1,4%). Максимальное снижение наблюдалось при НП Со 800 г/г.н.в. – для ростков на 7,7 мм (-36,2%), для корней - на 3,7 мм (-26,1%) относительно контроля.

При использовании хлорида кобальта снижение длины как ростков, так и корней началось с варианта 100 г/г.н.в. Причем токсическое действие хлорида кобальта на длину проростков с повышением концентрации значительно усиливается, и при 800 г/г.н.в. наблюдается снижение на 12,1 мм (-56,8%) и на 6,9 мм (-48,6%) соответственно. Масса обеих частей проростков при обработке семян НП кобальта начала снижаться по сравнению с контролем при 200 г/г.н.в. У проростков семян, обработанных хлоридом кобальта, наблюдается снижение массы ростков при концентрации 100 г/г.н.в. (на 3,7%), а снижение массы корней – при концентрации 200 г/г.н.в. (на 8,0%). Результаты опыта показали, что угнетающее действие НП кобальта начинается с концентрации 200 г/г.н.в. Токсическое действие хлорида кобальта выявлено при концентрации 100 г/г.н.в.

3.3 Изучение эффективности использования микроудобрений на основе НПМ на сельскохозяйственных культурах на различных почвах южной части Нечерноземной зоны РФ

3.3.1 Определение эффективности различных способов внесения нанопорошков металлов-микроэлементов на кукурузе

Активное внедрение наноматериалов в сельское хозяйство обуславливает необходимость определения наиболее эффективного способа включения микроудобрений на основе железа, кобальта и меди в технологию производства основных

с/х культур. В предпосевной обработке семян кукурузы была использована оптимальная концентрация НПМ. Дозы НПМ для обработки почвы и при опрыскивании по вегетации указаны в таблице 5. Был выбран гибрид РОСС 145 МВ. В процессе вегетации были определены полевая всхожесть, площадь листовой поверхности, урожайность и структура урожая кукурузы (табл. 10).

Таблица 10. Влияние различных способов внесения НПМ на площадь листовой поверхности и урожайность кукурузы

Вариант	Полевая всхожесть, %	Листовая поверхность, м ² /га	Урожайность общая, ц/га	Урожайность зерна, ц/га
Контроль	85	11836,0	241,0	18,3
НП Fe (6,0 г/т)	91	13148,6	289,4	21,2
НП Fe (5 кг/га)	87	12105,8	238,0	19,0
НП Fe (0,05% раствором)	86	11982,3	254,2	17,8
НП Cu (2,0 г/т)	93	14128,5	297,6	22,1
НП Cu (2 кг/га)	85	12299,8	245,5	18,8
НП Cu (0,03% раствором)	88	11931,4	258,3	18,7
НСР ₀₅	–	–	–	1,32

Достоверные изменения полевой всхожести наблюдались только на вариантах с предпосевным замачиванием семян – при НП железа всхожесть увеличилась на 6%, при НП меди – на 8%. Внесение НПМ в почву не оказало влияния на данный показатель. Достоверная разница с контролем в изменении площади листовой поверхности наблюдалась на вариантах с предпосевным замачиванием семян при НП Fe (на 1312,6 м²/га или +11,1%) и при НП Cu (на 2292,5 м²/га или +19,4%). Максимальный достоверный эффект при анализе урожайности наблюдался при использовании НП меди в предпосевной обработке семян – увеличилась урожайность листостебельной массы (на 56,6 ц/га или 23,5%) и зерна (на 3,9 ц/га или 21,4%). Внесение препарата с НП меди в почву не привело к достоверным различиям с контролем, а опрыскивание по вегетации НП меди увеличило урожайность зеленой массы на 17,3 ц/га или на 7,2% относительно контроля.

Предпосевное замачивание семян в НП железа способствовало повышению урожайности зеленой массы с початками на 48,4 ц/га или 20,1%, урожайность зерна увеличилась на 3,0 ц/га или 16,5%, внесение НП железа в почву недостоверно снизило урожайность зеленой массы, а опрыскивание по вегетации увеличило ее на 5,5%, но снизило урожайность зерна на 0,4% по сравнению с контролем.

В целом, по результатам наблюдений из всех изучаемых способов включения НПМ в технологию возделывания кукурузы наибольшую эффективность показал способ предпосевного замачивания семян в растворе нанопорошков.

3.3.2 Эффективность использования микроудобрений на основе НПМ в условиях распространения черноземов выщелоченных

Полевой опыт по изучению микроудобрений на основе НПМ в оптимальной концентрации на кукурузе и подсолнечнике был поставлен и проведен в 2010-2012 гг. на черноземе выщелоченном (табл.2) в условиях демонстрационного полигона ООО «Агротехнология». Опыт намеренно был поставлен в почвенных условиях, не испытывающих недостатка микроэлементов, чтобы показать эффективность микро-

удобрений на основе НПМ, не связанную с восполнением необходимых потребностей растений.

3.3.2.1 НПМ и их сочетаний в технологии производства кукурузы

После определения оптимальных концентраций металлов-микроэлементов и наиболее эффективного способа включения их в производство с/х культур важнейшей задачей стало определение реакции конкретных культур на применение НПМ на показатели роста, урожайности и качества продукции. Поэтому на данном этапе изучалось влияние НПМ и их сочетаний (Fe; Cu; Co; Fe + Co; Fe + Ni) на гибриде кукурузы Обский 140 с целью включения микроудобрений в технологию возделывания культуры. В процессе вегетации были определены полевая всхожесть, высота растений, площадь листовой поверхности, урожайность, структура урожая кукурузы (табл. 11) и химический состав зерна (рис. 1).

Полевая всхожесть была достоверно выше контроля по всем опытным вариантам, кроме НП кобальта, лучший результат наблюдался на варианте с НП меди (+5%) и смеси НП железа и никеля (+6%). Высоту растений определяли в фазу 5-6 листьев, и лучший результат показали варианты с НП железа (+3,9 см или +10,9%) и НП меди (+2,4 см или +6,8%).

Максимальный результат при анализе ассимиляционной поверхности наблюдался на варианте НП Fe+Ni (+3438 м²/га или +28,8%), на остальных вариантах также были получены значимые результаты - на 2304 – 3036 м²/га относительно контроля (+19,3-+25,4%).

Таблица 11. Влияние НПМ на урожайность кукурузы (среднее за 3 года)

Вариант	Урожайность з. м. с початками, ц/га	Урожайность початков, ц/га	Урожайность зерна, ц/га	Масса 10 початков, г
Контроль	241,0	93,91	18,2	1845
НП Fe	293,0	102,30	20,8	1925
НП Cu	297,6	106,05	21,1	1948
НП Co	264,6	102,73	20,4	1898
НП Fe+Co	278,8	96,45	18,7	1890
НП Fe+Ni	265,8	95,35	19,3	1880
НСР ₀₅	7,02	3,35	1,52	48

При анализе урожайности кукурузы можно отметить, что все используемые НПМ показали положительный эффект. Но лучший результат наблюдался при использовании НП меди, при этом урожайность зеленой массы с початками увеличилась на 56,6 ц/га или 23,5%, початков без обертки - на 12,14 ц/га или на 12,9% выше контроля, урожайность зерна – на 2,9 ц/га или 15,9% больше контроля.

После изучения урожайности был проведен анализ зерна кукурузы в лабораторных условиях (рис.1).

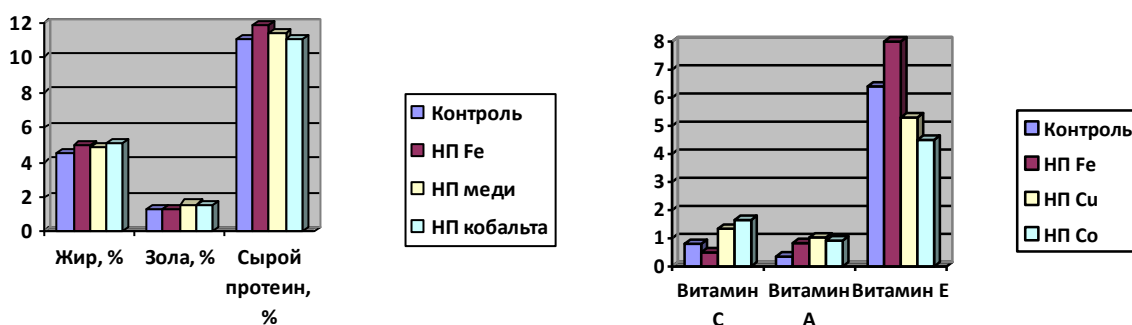


Рисунок 1. Химический состав зерна кукурузы

Содержание жира, золы и сырого протеина было выше контроля по всем опытным вариантам. Также было определено, что уровень жира максимально увеличился при использовании НП Со – на 0,63% относительно контроля, уровень золы был выше при использовании НП меди - на 0,30%, сырой протеин – при использовании НП железа (+0,81%) и НП меди (+0,38%). Значительно изменилось содержание витаминов в зерне кукурузы, так, витамин С в опыте был выше контроля с НП кобальта (+0,85 мг/100 г или на 106,3%) и НП меди (+0,54 мг/100 г или на 67,5%), витамин А был выше контроля по всем опытным вариантам, но максимально – при НП меди на 0,68 мкг/100 г или на 194,3%. Содержание витамина Е, напротив, было ниже контроля по всем вариантам, за исключением НП железа – здесь превышение составило 1,6 мкг/100 г или 25%.

Известно, что в условиях засухи растения генерируют активные формы кислорода, которые вредны для роста растений и повреждают субклеточные компоненты и метаболизм, что приводит к окислительному разрушению клеток. O_2^- может превращаться в перекись водорода, которая токсична и при высоких концентрациях приводит к перекисному окислению липидов и повреждению мембран. Аскорбиновая кислота участвует в нейтрализации продуктов окислительного стресса, таких как синтезируемая в хлоропластах перекись водорода (Sairam R.K., Saxena D.C., 2000). Результаты нашего опыта подтверждают данное предположение, так, высокий уровень аскорбиновой кислоты, в том числе в жару и засуху 2010 года, помимо прочих составляющих нивелировал действие негативных факторов, что отразилось на повышении урожайности кукурузы. И лучший результат по совокупности данных был получен на варианте с НП меди.

3.3.2.2 НПСМ в технологии возделывания подсолнечника

В этот же период проведен опыт по влиянию НПСМ (Fe;Cu;Co;Fe+Co) на рост, урожайность и состав маслосемян подсолнечника гибрида Донской 22. В процессе исследований определялись площадь листовой поверхности, высота растений и диаметр корзинок в фазу молочно-восковой спелости, урожайность семян подсолнечника (табл. 12), химический состав семян и жирнокислотный состав масла.

Таблица 12. Влияние НПСМ на подсолнечник

Вариант	Площадь листьев на 1 раст., м ²	Высота растений, см	Диаметр корзинок, см	Масса 10 корзинок, кг	Урожайность семян, ц/га	Отношение к контролю, ц/га
Контроль	0,1879	149,46	25,43	3,95	23,4	-
НП Cu	0,2170	168,20	27,94	5,12	26,8	+3,4
НП Со	0,2459	165,29	28,59	5,43	28,9	+5,5
НП Fe	0,2256	155,43	28,35	4,45	25,3	+1,9
НП Со+Fe	0,1944	157,48	27,68	4,18	24,5	+1,1
НСР ₀₅	—	—	—	—	0,85	—

Достоверная разница с контролем в изменении площади листовой поверхности наблюдалась во всех вариантах, кроме с НП Со+Fe: с НП Со на 0,0580 м² в расчете на 1 растение (+ 30,1%), с НП Fe - на 0,0377 м² (+ 20,1%), НП Cu – на 0,0291 м² (+15,5%). Высота растений во всех вариантах также достоверно отличалась от контроля на 3,4-12,5%, лучший результат получен с НП меди (+18,74 см). Диаметр корзинок был больше у растений на варианте с НП Со (+ 3,16 см или +12,4%). Досто-

верный результат по изменению массы 10 корзинок перед уборкой получен только по нанопорошкам металлов (на 0,50-1,48 кг или на 12,7-37,5% выше контроля), использование смеси НП не показало разницы. Лучший результат при анализе урожайности отмечен на варианте с НП кобальта – урожайность семян увеличилась на 5,5 ц/га или на 23,5% относительно контроля.

Химический состав семян подсолнечника отражает характер влияния НП металлов-микроэлементов на процессы обмена и накопления биологически активных веществ. Наибольшая зольность наблюдалась в семенах, выращенных при использовании НП железа (+0,18%) и НП меди (+0,12%). Кислотное число характеризует способность масла к окислению и образованию свободных жирных кислот при гидролизе липидов, наименьший его уровень наблюдался в опыте с НП меди (-1,1 мг КОН/г) и с НП кобальта (-0,6 мг КОН/г).

Уровень протеина в семенах подсолнечника был выше во всех опытных вариантах: при применении НП железа - на 6,87%, НП меди – на 5,51%, НП кобальта – на 4,65%. Масличность семян опытных групп также отличалась от контроля, лучший результат наблюдался на варианте с НП меди (+ 4,4 мг/кг или + 12,6%) и с НП кобальта (+3,4 мг/кг или +9,7%). Данный показатель является определяющим среди качественных показателей масличных семян, что существенно повышает стоимость с/х продукции.

В целом опыт показал, что нанопорошки металлов стимулируют физиологические процессы в растениях подсолнечника, направленные на рост продуктивности, способствуя активизации роста, развития и обмена веществ растений. Это, в свою очередь, приводит к повышению урожайности и качества с/х продукции. Лучший результат показал НП кобальта, что позволяет его рекомендовать в качестве микроудобрения и стимулятора роста в технологии возделывания подсолнечника.

3.3.3 Эффективность использования микроудобрений на основе НПМ в условиях распространения темно-серых лесных почв

Опыт в полевых условиях по изучению влияния микроудобрений на основе НПМ на яровой пшенице, яровом кормовом ячмене и сое был проведен на темно-серой лесной почве в условиях опытного поля отдела селекции и первичного семеноводства ФГБНУ «Рязанского НИИСХ» в 2013-2015 гг. (п.Подвязье, Рязанский район). Темно-серые почвы широко используются для выращивания зерновых и зернобобовых, что связано с достаточно высоким содержанием питательных веществ и микроэлементов.

3.3.3.1 НПМ в технологии возделывания яровой пшеницы

В процессе вегетации яровой пшеницы были определены полевая всхожесть, морфометрические показатели растений, урожайность и ее структура, качество зерна. Полевая всхожесть яровой пшеницы достоверно превышала контроль: с НП железа – на 3,2%, с НП меди – на 5,5% и с НП кобальта – на 5,6%. Длина межфазных и вегетационных периодов по годам не зависела от НПМ. Особенности влияния НПМ на линейный рост растений и их массу определяли в начале фазы «выход в трубку». Растения, семена которых были обработаны НП железа, превышали контроль на 5,4 см (+11,3%). На этом же варианте были зафиксированы растения с наибольшей массой корней, превышающей контроль на 0,38 г (+19,5%). Листостебельная масса в среднем на 1 растение была больше контроля на 2,17 г (+30,35%) при использовании НП кобальта, но другие металлы также положительно влияли на данный показатель. На завершающем этапе опыта определили влияние НПМ на урожайность и элементы ее структуры для яровой пшеницы (табл.13). В среднем за 3 года исследо-

ваний в 2013-2015 гг. реакция на предпосевную обработку яровой пшеницы сорта «РИМА» НПМ показала следующие результаты.

Таблица 13. Урожайность яровой пшеницы «РИМА»

Вариант	Число колосков в колосе, шт	Длина колоса, см	Число зерен в колосе, шт	Масса зерен в колосе, г	Масса 1000 зерен, г	Урожайность, ц/га	Отношение к контролю, ц/га
Контроль	14,7	6,0	19,0	0,72	36,7	36,39	–
НП Fe	16,3	6,2	22,7	0,88	38,7	42,41	+16,5
НП Cu	16,2	6,1	21,9	0,85	37,7	41,09	+12,9
НП Co	15,5	6,0	21,9	0,79	36,5	39,65	+8,9
НСР ₀₅	–	–	–	–	–	2,58	–

Так, на число колосков в колосе оказали влияние НП железа (+1,6 шт или +10,9%) и меди (+1,5 шт или +10,2%), длина колоса практически осталась без изменений по вариантам, но изменилось число зерен в колосе: большее значение наблюдалось при использовании НП железа (+3,7 шт или +19,5%), НП меди и кобальта показали одинаковый результат (+2,9 шт или 15,3% выше контроля). Масса зерен в колосе также была максимальной на варианте с НП железа (+0,16 г или +22,2%), как и масса 1000 зерен (2,0 г). Данные изменения повлияли на урожайность яровой пшеницы. Предпосевная обработка данной культуры НП железа привела к повышению урожайности зерна на 6,02 ц/га (+16,5%), НП меди – на 4,7 ц/га (+12,9%), НП кобальта – на 3,26 ц/га (+8,9% выше контроля).

Зольность зерна не зависела от обработки НПМ. Отличия наблюдались при определении сырой клейковины, НП железа превышал контроль – на 1,73%, НП меди – на 3,15%, НП кобальта – на 1,08%. Определение качественного показателя клейковины показало, что пшеница всех вариантов относится ко II группе качества, 3 класс. В целом, изучаемые НПМ показали положительное достоверное влияние на показатели роста, урожайности и качества зерна яровой пшеницы, причем лучший результат наблюдался на варианте с НП железа в оптимальной концентрации.

3.3.3.2 НПМ в технологии возделывания ярового кормового ячменя

На следующем этапе было изучено влияние НПМ на рост, урожайность и качество зерна ярового ячменя кормового назначения сорта «Яромир» в полевых условиях. В процессе опыта увеличилась полевая всхожесть для НП железа - на 3,3%, кобальта – на 2,4%, меди – на 6,1% относительно контроля.

Рост растений, семена которых были обработаны НПМ, опережал контроль. Различие растений по высоте оказалось достоверным по всем вариантам: с НП железа – на 3,3 см или на 7,3%, с НП кобальта - на 5,9 см или на 13,1%, с НП меди – на 5,4 см или на 11,9% выше контроля. Масса корневой части достоверно превышала контроль с НП меди – на 0,36 г или на 21,3%, масса вегетативной части растений была выше контроля при НП железа - на 1,48 г или на 17,9%, с НП кобальта – на 2,62 г или на 31,8%, с НП меди – на 2,10 г или на 25,5%.

Анализ урожайности ячменя «Яромир» (табл.14) показал, что применение НПМ увеличило продуктивные показатели.

Таблица 14. Структура урожая ярового ячменя «Яромир»

Вариант	Число продуктивных стеблей с 1 м ² , шт.	Длина колоса, см	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерен в колосе, г	Масса 1000 зерен, г	Урожайность, ц/га
Контроль	620,5	5,81	14,5	0,58	40,91	47,85
НП Fe	626,5	5,96	15,4	0,64	41,85	50,79
НП Co	622,9	6,48	18,9	0,71	44,45	53,48
НП Cu	634,3	6,32	17,5	0,69	41,64	51,24
НСП ₀₅	–	–	–	–	–	2,40

Масса 1000 зерен была максимальной при использовании НП кобальта и увеличилась на 3,54 г или на 9,6%, как и масса и число зерен в колосе. Также увеличилась урожайность зерна ячменя при использовании НП железа на 2,94 ц/га (+ 6,1%), НП меди – на 3,39 ц/га (+ 7,1%), НП кобальта – на 5,63 ц/га (+11,8%). Зольность зерна достоверно отличалась от контроля только на варианте с НП меди (+0,31%). Содержание белка в зерне не зависело от предпосевной обработки НПМ.

3.3.3.3 НПМ в технологии возделывания сои

В процессе изучения влияния НПМ на рост и развитие сои определяли следующие показатели: полевая всхожесть, площадь листовой поверхности, высота и масса растений по фазам вегетации, структура урожая и урожайность, содержание белка. Полевая всхожесть семян зависела от предпосевной обработки НПМ, обработка НП железа увеличила данный показатель на 3,0%, НП меди – на 3,6%, НП кобальта – на 5,4% относительно контроля.

Линейный рост растений сои был достоверно выше контроля (+3,6 см или +9,7%) только при использовании НП меди, как и листостебельная масса растений сои (+4,5 г или +26,4%). Корневая система более активно развивалась на варианте с НП кобальта, что отразилось на ее массе, прибавка составила 0,5 г выше контроля (+17,7%). Это может быть объяснено тем, что клубеньковая микрофлора бобовых очень требовательна к наличию в почвенной среде кобальта, который стимулирует ее развитие, усиливает процессы азотфиксации, является необходимой частью витамина В₁₂, содержащегося в клубеньках, участвует в защите растений от болезней и в усилении растительного иммунитета (Шеуджен, А.Х., 2017). НП железа и меди не оказали достоверного воздействия на корневую систему сои.

Площадь листовой поверхности увеличилась при использовании НП железа на 721 м²/га (+3,5%), НП кобальта – на 1933 м²/га (+9,4%), НП меди – на 4169 м²/га (+20,3%). Продуктивные показатели сои достоверно отличались по вариантам (табл.15).

Высота растений перед уборкой была максимальной при использовании НП железа (+3,1 см или +7,3%). Но количество бобов на 1 растение было больше при использовании НП меди (на 8,5 шт или на 39,7%) и НП кобальта (на 10,2 шт или на 47,7% больше контроля). НП железа увеличил количество семян на одном растении на 10,8 шт (+ 24,3%), НП меди - на 20,9 шт (+46,9%), НП кобальта - на 22 шт (+49,4% выше контроля). Также НП кобальта максимально увеличил по сравнению с другими металлами массу семян с 1 растения (на 1,4 г или на 23,7%) и массу 1000 семян (на 4,6 г или +3,8%). Анализ данных по влиянию НПМ на урожайность сои

показал, что лучший результат наблюдается при использовании НП кобальта, при этом урожайность превысила контроль на 3,2 ц/га (+20%). Применение НП железа увеличило урожайность на 0,9 ц/га (+5,6%), НП меди – на 1,8 ц/га (+11,3%).

Таблица 15. Урожайность и состав семян сои «Светлая»

Вариант	Высота растений перед уборкой, см	Кол-во бобов/растений, шт.	Кол-во семян/растений, шт.	Масса семян с 1 растения, г	Масса 1000 семян, г	Урожайность, т/га	Зольность зерна, %	Белок (на а.с. в.), %
Контроль	41,9	21,4	44,5	5,9	122,6	16,0	6,53	34,56
НП Fe	45,0	26,9	55,3	6,4	124,4	16,9	6,41	42,24
НП Cu	43,6	29,9	65,4	6,8	123,8	17,8	6,64	43,69
НП Со	41,7	31,6	66,5	7,3	127,2	19,2	6,49	39,51
НСР ₀₅						0,8		

Анализ зерна сои показал, что НП железа увеличил белок в зерне сои на 7,7%, НП меди – на 9,13%, НП кобальта – на 4,95%.

Результаты проведенного полевого опыта в среднем за 3 года показали, что применение различных НПМ в технологии производства достаточно эффективно и перспективно для апробации в производственных опытах, при этом лучший результат зафиксирован при применении НП кобальта в оптимальной концентрации.

3.3.4 Эффективность использования микроудобрений на основе НПМ в условиях распространения серых лесных почв

Изучение влияния микроудобрений на основе НПМ в оптимальных дозах на озимой пшенице, яровом пивоваренном ячмене, овсе, картофеле и кормовой свекле было проведено на серой лесной почве в условиях опытной агротехнологической станции (УНИЦ «Агротехнопарк», п.Стенькино, Рязанский район, Рязанская область) ФГБОУ ВО РГАТУ.

3.3.4.1 НПМ в технологии возделывания пивоваренного ячменя

В 2015-2018 гг. были проведены полевые испытания оптимальных концентраций НПМ на яровом пивоваренном ячмене сорта «Саншайн». Изучались следующие показатели: полевая всхожесть, урожайность и структура урожайности (табл.16), а также качественные показатели зерна ячменя. Предпосевная обработка семян ярового ячменя НПМ способствовала повышению полевой всхожести для НП кобальта – на 5,3%, НП меди – на 6,1%, НП железа – 5,5% относительно контроля.

Таблица 16. Структура урожая и урожайность ярового ячменя «Саншайн»

Вариант	Число продуктивных стеблей с 1 м ² , шт.	Длина колоса, см	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерен в колосе, г	Масса 1000 зерен, г	Урожайность, ц/га
Контроль	510,5	5,81	14,5	0,48	30,91	37,85
НП Fe	524,7	6,19	15,1	0,62	36,24	41,69
НП Cu	548,3	6,32	15,5	0,59	35,64	41,24
НП Со	532,9	6,48	16,9	0,61	37,45	43,48
НСР ₀₅						2,35

Применение НПМ привело к увеличению числа продуктивных стеблей на единице площади на 2,7-7,4% по сравнению с контролем. Также у опытных растений помимо повышения числа зерен в колосе (на 4,1-16,6%), увеличилась масса зерен в колосе с применением НП меди на 0,11 г (+22,9%), с НП кобальта – на 0,13 г (+27,1%), с НП железа – на 0,14 г (+29,2%). Также достоверно увеличилась масса 1000 семян: с НП железа – на 5,33 г (+17,2%), с НП меди – на 4,33 г (+15,3%), с НП кобальта – на 6,54 г (+21,2% выше контроля).

Увеличение продуктивных показателей в итоге привело к повышению урожайности ярового ячменя: при использовании НП железа на 3,84 ц/га (+10,1%), НП меди – на 3,39 ц/га (+8,96%), НП кобальта – на 5,63 ц/га (+14,87%), что является лучшим результатом в опыте. Зольность зерна достоверно отличалась только на варианте с НП меди (+0,33%). Содержание белка в зерне во всех опытных вариантах было достоверно меньше, чем в контроле: с НП железа – на 0,61%, с НП меди – на 0,74%, с НП кобальта – на 0,82%. «Саншайн» - сорт пивоваренного направления и снижение белка повышает содержание безазотистых экстрактивных веществ, и как следствие, пивоваренные качества зерна данной культуры.

3.3.4.2 НПМ и их смесь в технологии возделывания овса

Изучение влияния оптимальных концентраций НП кобальта, меди, их смеси и железа на рост, развитие, продуктивность и химический состав овса сорта «Скакун» проводилось в 2016-2018 гг. В процессе исследований были изучены полевая всхожесть, высота и масса растений овса, урожайность и структура урожайности, а также качественные показатели зерна овса (табл. 17).

Таблица 17. Структура урожая и урожайность овса «Скакун»

Вариант	Кол-во растений с 1 м ² , шт.	Кол-во зерен в метелке, шт.	Масса зерен в метелке, г	Масса 1000 зерен, г	Урожайность, ц/га	Белок на а. с. в., %	Жир, %
Контроль	310	31	0,85	35,22	30,1	9,7	3,1
НП Со	318	34	0,94	36,85	32,6	10,1	3,3
НП Cu	322	33	0,99	35,41	33,8	10,6	3,4
НП Со+Cu	315	35	1,03	36,03	31,5	9,9	3,3
НП Fe	321	35	1,05	37,55	34,9	11,8	3,5
НСР ₀₅	–	–	–	–	1,8	–	–

Обработка семян овса НПМ показала: НП меди увеличил полевую всхожесть на 3,0%, НП Со+Cu - на 3,5%, но лучший результат показал НП железа, увеличив всхожесть на 4,0% относительно контроля. В фазе выхода в трубку определяли высоту растений овса, при этом различие опытных и контрольных растений по высоте оказалось достоверным только для смеси НП меди и кобальта – на 4,5 см (+8,8%) относительно контроля. По массе растений достоверных различий также не наблюдалось.

Применение НПМ и их смеси способствовало повышению следующих показателей: число зерен в метелке оказалось максимальным на вариантах со смесью НП Со+Cu и НП Fe – было больше контроля на 4 шт или на 12,9%, как и масса зерен в метелке: при использовании НП Со+Cu – на 0,18 г (+21,2%), при НП Fe – на 0,20 г (+23,5% выше контроля). Также достоверно отличалась от контроля масса 1000 зерен, лучший результат наблюдался с НП Fe – на 2,33 г (+6,6%).

В результате увеличение продуктивных показателей привело к повышению урожайности овса: при использовании НП кобальта – на 2,5 ц/га (+8,3%), НП меди – на 3,7 ц/га (+12,3%), НП железа – на 4,8 ц/га (+15,9%). Отмечена зависимость содержания белка в зерне от НППМ: во всех опытных вариантах белка содержалось больше, чем в контроле, но лучший результат замечен при варианте НП Fe (+2,1%). В содержании жира достоверной разницы между вариантами не было.

3.3.4.3 НППМ в технологии возделывания озимой пшеницы

На следующем этапе было изучено влияние предпосевной обработки семян озимой пшеницы НППМ на содержание водорастворимых полисахаридов в растениях перед зимним периодом и возможность применения НППМ для увеличения морозостойкости, урожайности и качества зерна озимой пшеницы. Применение НППМ в предпосевном протравливании пшеницы повлияло на изменение морфологических и физиологических показателей растений. Активизировались процессы, влияющие не только на процессы роста, но и на биохимические процессы, способствующие подготовке к зимнему периоду.

Так, по высоте вегетативной части растений не было существенной разницы (+0,8-1,2 см), что является положительным фактором, так как избыток зеленой массы перед зимовкой отрицательно влияет на морозостойкость этой культуры, также недостоверна разница между сырой массой контрольных и опытных растений. Известно, что размер растения пшеницы влияет на выживаемость и способность растений к восстановлению: растения оптимального размера выживают и более урожайны, чем сильно развитые растения или очень мелкие (Ruza A., Bankina B, Strikauska S. 2011). Но по некоторым показателям растения озимой пшеницы, выращенной с использованием НППМ, существенно отличались от контроля. Длина корневой части опытных растений достоверно превышала контроль по всем вариантам, но максимально при НП железа на 2,3 см (+22,8%). Также замечено повышение массы сухого вещества опытной пшеницы, максимально при НП кобальта – на 0,09 г или на 10%. Зимостойкость и выживаемость растений в зимний период являются важными факторами, определяющими урожайность пшеницы. В узле кущения озимой пшеницы сахара накапливаются при воздействии отрицательных температурных значений.

Если влияние уровня моносахаридов (так называемых «сахаров») на зимостойкость озимой пшеницы достаточно известно, то определение уровня водорастворимых полисахаридов и его изменение под действием НППМ не проводилось. В данном опыте было решено определить водорастворимые полисахариды (табл.18) в различных частях озимой пшеницы по методике (Патент РФ №2378288).

Таблица 18. Содержание водорастворимых полисахаридов в растениях озимой пшеницы (среднее за 3 года)

Вариант	Листья, %	Узел кущения, %	Корни, %	Все растение, %
НП Fe	6,7	8,7	3,4	18,8
НП Cu	7,2	8,3	3,2	18,7
НП Co	7,4	6,9	3,1	17,4
Контроль	7,8	4,1	2,7	14,6
НСР ₀₅	0,2	1,3	0,4	1,5

Накопление растворимых сахаров – еще одна тактика борьбы с холодным стрессом. Для стабилизации внутриклеточных структур существенное значение имеет накопление защитных веществ, а также упрочнение связи между белками, липидами и хлорофиллом. Установлена способность сахаров снижать вероятность

внутриклеточного льдообразования, оказывать стабилизирующее действие на клеточные мембраны, защищая их от повреждения. Результаты проведенного опыта показали, что НПМ способствовали накоплению водорастворимых полисахаридов, и если в контроле полисахариды концентрировались по большей части в листьях, то в опытных растениях - в узле кущения, лучший результат наблюдался при использовании НП железа (+4,6% относительно контроля). Такие изменения в биохимическом составе растений способствуют повышению устойчивости к замерзанию в процессе холодной акклиматизации. Растворимые сахара оказывают положительное влияние на защиту растительных клеток от повреждений, вызванных холодовым стрессом, выполняют функцию осмопротекторов, а также взаимодействуют с липидным слоем клеток. Указанные изменения отразились на урожайности озимой пшеницы (табл.19).

Таблица 19. Влияние НПМ на урожайность и структуру урожайности озимой пшеницы (среднее за 3 года)

Вариант	Урожайность, ц/га	Число колосков в колосе, шт.	Число зерен в колоске, шт.	Масса 1000 зерен, г
НП Fe	47,2	15,7	2,15	39,1
НП Cu	45,4	15,5	2,01	37,4
НП Co	45,9	14,8	2,08	38,8
Контроль	41,8	14,2	2,03	35,3
НСР ₀₅	2,8	—	—	—

По результатам опыта наблюдалось повышение урожайности озимой пшеницы по всем вариантам, но лучший результат замечен с НП железа – на 5,4 ц/га (+12,9%), на данном варианте также достоверно увеличилось число колосков в колосе (+1,5 шт или +10,6%) и масса 1000 зерен (+3,8 г или +10,8%), число зерен в колоске по всем вариантам отличалось от контроля недостоверно. Такие изменения связаны как со стимулирующим влиянием НПМ на обмен веществ, так и с большей сохранностью и выживаемостью озимой пшеницы после зимнего периода.

Анализ зерна озимой пшеницы в лабораторных условиях показал, что изменилось содержание клейковины: при использовании НП железа - увеличилось на 2,66%, НП меди – на 3,31%, НП кобальта – на 2,87% относительно контроля. Показатель качества клейковины составлял по вариантам 84,2-85,8 (II группа качества). Лучший результат в опыте показал НП железа, изменение урожайности и качества зерна пшеницы под его влиянием позволит реализовать генетический потенциал хороших сортов.

3.3.4.4 НПМ в технологии возделывания картофеля

На следующем этапе проводилось изучение влияния НПМ на показатели роста, урожайность, структуру урожая (табл.20) и химический состав картофеля, а также апробация НПМ в технологии возделывания данной с/х культуры.

Изучение площади листовой поверхности растений картофеля в фазу цветения показало, что предпосадочная обработка НП способствовала активации процессов метаболизма растений, в том числе и накоплению вегетативной массы. Достоверное повышение площади листовой поверхности наблюдалось только на вариантах с НП оксида меди и кобальта, лучший результат получен при обработке картофеля НП кобальта – на 2,8 тыс. м²/га или на 10,3% выше относительно контроля. Похожие результаты наблюдались и при определении чистой продуктивности фотосинтеза: НП

железа и оксида меди достоверно увеличили данный показатель на 0,5 г/м²*дни (+8,5%), НП кобальта – на 0,8г/м²*дни (+13,6% по сравнению с контролем).

Стимуляция процессов роста и развития в период вегетации под влиянием НПМ и их оксидов способствовала повышению урожайности картофеля (табл. 20).

Таблица 20. Урожайность и структура урожая картофеля

Вариант	Урожайность, ц/га	Количество клубней на 1 куст, шт.	Средняя масса 1 клубня, г
Контроль	304,2	7,5	59,4
НП Fe	326,7	8,6	89,0
НП Со	347,0	9,5	79,5
НП CuO	346,1	9,8	87,1
НП СоО	308,3	7,2	55,3
НСР ₀₅	5,63	–	–

Фактически не наблюдалось достоверного изменения показателя урожайности картофеля на варианте с НП оксида кобальта. Однако включение в технологию возделывания других металлов и оксидов значительно увеличило урожайность картофеля сорта «Латона»: при использовании НП железа – на 22,5 ц/га (+7,4%). НП Со – на 42,2 ц/га (+14,1%), НП CuO – на 41,9 ц/га (+13,8%). Помимо увеличения массы клубней с гектара, повысились качественные показатели урожая. Количество клубней на 1 куст выросло при использовании НП железа – на 1,1 шт (+14,7%), НП кобальта – на 2,0 шт (+26,7%) и НП оксида меди – на 2,3 шт или на 30,7%, а средняя масса 1 клубня достоверно превышала контроль на всех вариантах, кроме НП оксида кобальта. Максимальная масса клубня наблюдалась на варианте с НП Fe и составила 89,0 г, что превысило контроль на 29,6 г (+49,8%). Применение НП металлов и их оксидов привело к достоверному повышению крахмала в клубнях картофеля. НП кобальта повысил крахмалистость на 2,5%. Также после уборки было определено содержание витаминов в клубнях картофеля «Латона». Известно, что витамин С (аскорбиновая кислота) активно участвует в процессе клеточного дыхания, белковым и углеводном обмене. Наибольшее повышение витамина С наблюдалось при использовании НП железа (на 11,5%) и НП кобальта (16,4%), что отразилось на повышении синтеза углеводов, и в частности крахмала. Лучший результат в среднем по годам полевого опыта как по показателям роста, так и по урожайности принадлежит НП кобальта.

3.3.4.5 НПМ в технологии возделывания свеклы кормовой

Семена свеклы туго прорастают, и ускорение данного процесса с помощью микроэлементов может стать важным элементом интенсивной технологии возделывания культуры. Было проведено изучение влияния НП железа, кобальта, меди и их сочетаний на показатели роста и развития растений, урожайность, структуру урожая и химический состав свеклы кормовой.

Предпосевная обработка семян НПМ оптимальной концентрации на вариантах НП Со и НП Со+Cu значительно повысила полевою всхожесть семян - на 10 и 15% соответственно. В фазу начала смыкания рядков была определена площадь листовой поверхности. Достоверная разница с контролем наблюдалась на всех вариантах, кроме НП Fe+Cu. На остальных вариантах разница была значительной, лучший результат замечен при использовании НП кобальта – на 6,1 тыс.м²/га (+19,8%). В конце вегетационного периода (сентябрь) были определены показатели урожайности свеклы кормовой (табл. 21).

Таблица 21. Урожайность и качество свеклы кормовой под влиянием НПМ

Вариант	Площадь листовой поверхности, тыс. м ² /га	Урожайность ботвы, ц/га	Урожайность, т/га	Сумма сахаров от сырого вещества, %	Витамин С, мг/100 г	Провитамин А (каротин), мг/100 г
Контроль	30,8	69,8	85,4	12,2	9,2	0,017
НП Со	36,9	91,9	111,2	14,9	9,9	0,019
НП Fe	32,8	78,8	91,5	14,5	10,6	0,015
НП Fe+Cu	32,0	71,3	87,6	13,4	9,5	0,018
НП Со+Cu	34,2	84,2	109,9	13,8	10,9	0,022
НСР ₀₅	–	4,1	5,3	–	–	–

При расчете продуктивности кормовой свеклы учитывали не только урожайность корнеплодов, но и ботвы, так как ее используют на корм скоту. Предпосевная обработка НПМ семян свеклы увеличила сбор ботвы с единицы площади при варианте с НП Fe на 9,0 ц/га (+12,9%), со смесью НП Со+Cu - на 14,4 ц/га (+20,6%), но лучший результат наблюдался на варианте с НП Со – на 22,1 ц/га (+31,7% по сравнению с контролем). Похожая динамика наблюдалась и при анализе урожайности корнеплодов. В целом, НПМ способствовали ее повышению максимально на 25,8 ц/га (при НП Со) или на 30,2%.

После уборки в корнеплодах свеклы было проанализировано содержание веществ, определяющих ее пищевую и энергетическую ценность. Ценность корнеплодов зависит, прежде всего, от количества сахаров. В кормовой свекле основным сахаром является сахароза (80-90%), также присутствует мальтоза (1-2%), глюкоза и фруктоза. Углеводы являются главным продуктом фотосинтеза и основным дыхательным материалом, поэтому анализ их количества может свидетельствовать о влиянии НПМ на процессы биосинтеза. Использование НПМ во всех вариантах привело к увеличению суммы сахаров от сырого вещества, максимально при НП железа (+2,3%) и НП кобальта (+2,7%).

Содержание витаминов в корнеплодах свеклы также разительно отличалось. Так, содержание витамина С на всех вариантах превышало контроль, причем наиболее ощутимый эффект наблюдался при использовании НП железа (+15,2%) и смеси НП Со+Cu (+18,5%). Содержание каротина в корнеплодах опытных вариантов превышало контроль до 29,4% (НП Со+Cu). Таким образом, предпосевное замачивание семян свеклы кормовой НПМ оказало значительное влияние на метаболические процессы роста и развития растений и корнеплодов, и по сумме показателей наиболее эффективное действие показал НП кобальта.

3.5 Влияние микроудобрений на основе НПМ на агрохимические показатели и плодородие почв южной части Нечерноземной зоны РФ

Агрохимические средства, в том числе различные формы микроудобрений, активно применяются в интенсивном земледелии и обладают значительной способностью менять агрохимические свойства почвы и ее плодородие. Эти изменения, в свою очередь, не могут не отразиться на урожайности сельскохозяйственных культур и их качестве (Минеев В.Г., 2004). Поэтому важной частью данного комплекса исследований стало изучение влияния микроудобрений, содержащих НПМ, на возможные изменения агрохимических показателей изучаемых типов и подтипов почв, а также содержание в них микроэлементов и тяжелых металлов.

Для составления агрохимической оценки влияния микроудобрений на основе НПМ были проанализированы основные агрохимические показатели до посева опытных культур и после их уборки для каждого типа и подтипа почв. Определялись рН, гумус, фосфор, калий, азот, уровень кальция, магния, натрия, анионов сульфатов и хлоридов (табл.22), а также содержание тяжелых металлов и микроэлементов: меди, железа, никеля, кобальта, свинца, кадмия (табл.23).

Таблица 22. Агрохимические показатели почв опытных участков

Показатель, размерность	Серая лесная		Темно-серая лесная		Чернозем выщелоченный	
	до посева	после уборки	до посева	после уборки	до посева	после уборки
рН сол., ед.рН	4,6	4,6	5,6	5,6	5,8	5,8
Гумус, %	3,39	3,37	4,34	4,33	6,31	6,29
Общий азот, %	0,22	0,22	0,27	0,27	0,31	0,31
Фосфор, мг/кг	540	534	354	348	585	580
Калий, мг/кг	141	140	450	447	191	190
Са, ммоль/100 г	60,0	58,0	80,0	79,5	100,0	98,4
Mg, ммоль/100 г	18,40	18,21	17,82	17,80	20,40	20,11
Натрий, мг/кг	0,175	0,174	0,43	0,41	0,27	0,26

Анализ агрохимических показателей почвы показал, что значимых изменений в полученных данных не наблюдалось, как и определенных закономерностей, связанных с применением конкретного типа микроудобрений на основе НПМ. Диагностируемое незначительное понижение основных показателей связано с хозяйственным и биологическим выносом элементов с урожаем.

Не менее важным является диагностика содержания микроэлементов и тяжелых металлов, связанная с интенсивным потреблением агрохимических средств в с/х производстве. В таблице 23 представлены данные по их содержанию в изучаемых типах и подтипах почв до посева и после уборки в связи с применением микроудобрений на основе НПМ. Известно, что зерновые выносят в среднем с 1 га до 2 г кобальта, картофель – до 5 г, свекла кормовая – до 8 г кобальта. С медью наблюдается другая картина – зерновые выносят 7-70 г, картофель – до 160 г, кормовая свекла – до 120 г с 1 га (Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И., 2002; Михайлова, Л.А., 2015). Для железа вынос гораздо больше: зерновые – 1,5-2 кг/га, корнеплоды – до 12 кг с 1 гектара (Шеуджен А.Х., 2017б).

Таблица 23. Содержание микроэлементов и тяжелых металлов в почвах

Показатель, размерность	Серая лесная		Темно-серая лесная		Чернозем выщелоченный	
	до посева	после уборки	до посева	после уборки	до посева	после уборки
Кадмий, мг/кг	0,37	0,36	0,27	0,25	0,37	0,35
Свинец, мг/кг	12,56	12,42	12,63	12,58	13,54	13,52
Кобальт, мг/кг	0,98	0,96	1,24	1,23	1,16	1,14
Медь, мг/кг	15,47	15,43	14,13	14,10	18,56	18,48
Цинк, мг/кг	47,08	47,05	46,39	46,24	61,24	60,89
Никель, мг/кг	20,10	20,05	23,32	23,30	18,59	18,36
Железо, мг/кг	14610	14582	36098	36076	13636	13588

Известно, что долговременное возделывание с/х культур без использования микроудобрений приводит к суммарному выносу микроэлементов из почвы на 8-30%, особенно это характерно для подвижных форм меди и кобальта (Полянская Е.С., 1986). Использование макроудобрений, особенно фосфорных, приводит к повышению уровня тяжелых металлов в почве, и, как следствие, повышает вынос их с урожаем (Войтович Н.В., Костин Я.В., Чумаченко И.Н., Сушеница Б.А., 2002). Анализ содержания микроэлементов и тяжелых металлов в изучаемых почвах до посева и после уборки показал, что использование НПМ в предпосевной обработке семян с/х культур не влияет на накопление данных металлов в почвах, что связано в первую очередь с низкими оптимальными дозами, используемыми в технологии, а также с их высокой химической чистотой и экологической безопасностью.

3.6 Синергические и антагонистические свойства НПМ

Явления синергизма и антагонизма среди химических элементов в процессе роста и развития растений активно изучаются с середины 20 века в научной среде, как в России, так и за рубежом. Основные направления влияния элементов на процессы накопления друг друга уже известны и неоднократно опубликованы в научной литературе (Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989; Ринькис Г.Я., Рамане Х.К., Паэгле Г.В. и др., 1989; Алексеев Ю.В., 1987; Мухоморов В.К., Аникина Л.М., 2011). Явления антагонизма и синергизма НПМ были изучены на растениях и семенах кукурузы и подсолнечника, являющихся объектами исследований в 2010-2012 гг. в условиях демонстрационного полигона ООО «Агротехнология» (Пронский район, Рязанская область).

Среди микроэлементов ионы железа являются антагонистами для меди, кобальта, цинка, кадмия, синергистами для железа. По данным анализа на содержание металлов в различных органах растений кукурузы видно, что НП железа, как и его ионная форма, приводит к уменьшению цинка во всех частях растений и повышению железа (в листьях наблюдалось снижение его уровня). Те же явления можно заметить и при анализе растений и семян подсолнечника. «Наноразмерный эффект» железа проявляется в повышении уровня меди во всех органах растений (за исключением семян подсолнечника), в изменении уровня кадмия - в зерне кукурузы его стало меньше, а в корнях и семенах подсолнечника - больше по сравнению с контролем. Также НП железа привел к повышению уровня кобальта (известный антагонист железа в ионной форме) во всех изучаемых органах обеих культур.

Ионы меди являются антагонистами для железа, цинка, кобальта, кадмия, синергистами для меди. И при анализе данных по кукурузе и подсолнечнику можно наблюдать уменьшение цинка в тканях обеих изучаемых культур, как и повышение меди (за исключением корней подсолнечника). «Наноразмерный эффект» меди проявляется в синергическом действии на железо, уровень которого повышается в вегетативных частях обеих культур, но в зерне кукурузы и подсолнечника нет достоверного различия с контролем по содержанию железа. НП меди неоднозначно влияет на кобальт, в некоторых органах не меняя его содержание, где-то повышая (листья кукурузы) или снижая (корни и семена подсолнечника). Также наблюдается нетипичное действие НП меди на повышение уровня кадмия в корнях и семенах подсолнечника.

Ионы кобальта являются антагонистами для железа, меди, цинка и синергистами для кобальта. НП кобальта привел к снижению уровня кобальта во всех изучаемых тканях культур (за исключением листьев кукурузы), уровень цинка был выше в корнях, и ниже в семенах обеих культур. Уровень меди был ниже контроля в кор-

нях, но выше в зерне кукурузы и листьях кукурузы и подсолнечника. Особенно «наноразмерный эффект» кобальта был замечен в повышении содержания железа во всех органах изучаемых культур.

3.7 Экономическая эффективность применения микроудобрений на основе нанопорошков металлов-микроэлементов

Изучение и разработка новых приемов и элементов технологий возделывания важнейших сельскохозяйственных культур, в том числе включение в технологию новых форм микроэлементов, должно иметь своей главной целью получение экономической выгоды производителями. Рентабельность с/х производства – это основной критерий, позволяющий с/х производителям принимать решение о выборе данного элемента технологии. Поэтому в цикле проведенных исследований важную роль занимало определение экономической эффективности применения микроудобрений на основе НП металлов-микроэлементов в технологиях возделывания на примере озимой пшеницы, пивоваренного ячменя и картофеля.

Для проведения расчетов были определены производственные траты по технологическим картам с учетом конкретных условий производства (УНИЦ «Агротехнопарк», ФГБОУ ВО РГАТУ) и актуальных цен за последние 3 года на семенной материал, горюче-смазочные материалы и топливо, удобрения и СЗМ, машины и оборудование, а также оплату труда. Расчеты показали, что экономическая эффективность производства изучаемых культур зависела от типа применяемого микроудобрения. Так, лучшие результаты для озимой пшеницы были определены на варианте с микроудобрением на основе НП железа: здесь отмечается самая низкая себестоимость 1 тонны зерна озимой пшеницы 4720 руб/т против 5258 руб/т на контрольном варианте, что ниже на 10,2%. Чистый доход также является максимальным при варианте с НП железа (43801 руб/га) и превышает контроль (36541 руб/га) на 19,9% (+7260 руб/га). Расчет рентабельности производства озимой пшеницы с использованием микроудобрений на основе НПМ показал, что данный показатель был выше по всем опытным вариантам, но лучший результат наблюдался также при использовании НП железа – рентабельность производства превышала контроль на 30,3%.

Анализ показателей экономической эффективности производства пивоваренного ячменя с использованием микроудобрений на основе НПМ показал, при использовании НП кобальта отмечена самая низкая себестоимость 1 тонны зерна пивоваренного ячменя – 3969 руб/т, что ниже контроля (4506 руб/т) на 537 руб/т или на 11,9%. Также использование НП кобальта способствовало повышению чистого дохода на 5400 руб/га (+25,96%) и рентабельности относительно контроля на 29,9%.

Анализ стоимостных показателей процесса производства картофеля показал, что применение НП кобальта позволило снизить себестоимость производства 1 тонны картофеля на 9,5%, увеличить чистый доход с 1 га на 39440 руб (+19,7%). И увеличить рентабельность производства картофеля, которая составила 222,1%, что выше контроля на 30,6%.

ВЫВОДЫ:

1. Установлены оптимальные дозы нанопорошков металлов микроэлементов железа, кобальта и меди на семенах яровой пшеницы, огурца и редиса. Наиболее эффективной концентрацией наночастиц кобальта является 4 г/т, для наночастиц меди – 2 г/т семян, для наночастиц железа – 6,0 г/т.

2. Проведена сравнительная оценка фитотоксичности нанопорошков железа, кобальта и меди и микроэлементов в форме сульфата железа, сульфата меди и хло-

рида кобальта в лабораторных условиях на семенах и проростках озимой пшеницы, подсолнечника, кукурузы. Анализ данных по изучению порогового уровня концентрации нанопорошков металлов-микроэлементов показал, что угнетающее действие нанопорошка железа начинается с концентрации 400 г/г.н.в., тогда как фитотоксическое действие сульфата железа выявлено уже при 100 г/г.н.в. Фитотоксический эффект для НП меди зафиксирован при дозе 500 г/г.н.в. семян, а для сульфата меди - при 100 г/г.н.в. семян. Для НП кобальта пороговый уровень - это 200 г/г.н.в., для хлорида кобальта выявлено - 100 г/г.н.в.

3. Установлен оптимальный способ внесения нанопорошков металлов-микроэлементов в технологиях выращивания с/х культур на примере кукурузы. При изучении предпосевного замачивания семян, опрыскивания по вегетации и внесения в почву лучший результат был получен при предпосевном замачивании семян в суспензии оптимальной концентрации нанопорошков металлов-микроэлементов.

4. В условиях распространения черноземов выщелоченных по результатам полевого опыта были определены металлы в наносостоянии, показывающие наиболее эффективное действие в предпосевной обработке, для семян кукурузы – это нанопорошок меди, для подсолнечника – нанопорошок кобальта. Микроудобрение на основе НП меди в оптимальной дозе проявляет свойства биокатализатора, способствует изменению значимых параметров роста: увеличилась полевая всхожесть кукурузы на 5,0%, высота растений, площадь листьев на 1 растение на 0,0384 м² выше контроля. Увеличилась урожайность зеленой массы с початками кукурузы гибрида «Обский 140» на 56,6 ц/га, початков без обертки - на 12,14 ц/га, зерна – на 2,9 ц/га. Масса 10 початков была выше на 103 г больше контроля. Под влиянием НП меди увеличилось содержание в зерне жира на 0,36%, сырого протеина на 0,38%, зольность на 0,30% выше контроля. Значительно изменилось содержание витаминов, так, витамин С в опыте с НП меди выше контроля на 0,54 мг/100 г или на 67,5%, витамин А – на 0,68 мкг/100 г или на 194,3%.

Микроудобрение на основе НП кобальта в оптимальной концентрации в технологии производства подсолнечника гибрида «Донской 22» способствовало повышению площади листовой поверхности в расчете на 1 растение на 0,0580 м², увеличилась высота растений на 15,8 см. Диаметр корзинок был больше у опытных растений на 3,16 см выше контроля. Также увеличилась урожайность семян подсолнечника на 5,5 ц/га или на 23,5% относительно контроля, уровень протеина - на 4,65%, масличность – на 3,4 мг/кг или 9,7%.

5. В условиях распространения темно-серых лесных почв по результатам полевого опыта был определен наиболее эффективный вид микроудобрения на основе НПМ относительно следующих культур: для яровой пшеницы – это НП железа, для ярового кормового ячменя и сои – НП кобальта. На яровой пшенице сорта «РИМА» НП железа увеличил полевую всхожесть на 3,2%, высоту растений в фазе выхода в трубку – на 5,4 см, массу корневой части на 0,38 г или +19,5%, массу вегетативной части - на 1,55 г или +21,68%. Увеличилась урожайность яровой пшеницы в среднем за 3 года исследований на 6,02 ц/га или на 16,5% относительно контроля и массовая доля сырой клейковины зерна на 1,73%.

6. Применение микроудобрения на основе НП кобальта в технологии возделывания ярового ячменя кормового назначения «ЯРОМИР» привело к повышению его продуктивности: увеличилась полевая всхожесть на 2,4%, высота растений в фазу выхода в трубку - на 5,9 см, масса корней - на 0,34 г, масса вегетативной части на

2,62 г; масса 1000 зерен - на 3,29 г, как и масса и число зерен в колосе. Также увеличилась урожайность семян ячменя на 7,43 ц/га или на 16,4% выше контроля.

7. Предпосевная обработка семян сои сорта «Светлая» НП кобальта способствовала повышению полевой всхожести на 5,4%, массы корней на 1 растение в фазу ветвления на 0,5 г, увеличилась площадь листовой поверхности на 1933 м²/га. Также повысилось количество бобов на 1 растение - на 10,2 шт или на 47,7% больше контроля, как и количество семян на 1 растение - на 22 шт или на 49,4%. НП кобальта увеличил массу семян с 1 растения (на 1,4 г или на 23,7%) и массу 1000 семян (на 4,6 г или +3,8%). Такой характер увеличения показателей говорит об усилении процессов роста и развития растений сои. Это подтверждается повышением урожая зерна опытных растений, выращенных с НП кобальта – на 3,2 ц/га или на 20%, содержание белка в зерне сои увеличилось на 4,95%.

8. В условиях распространения серых лесных почв по результатам полевого опыта изучение влияния микроудобрений на основе НПМ на рост, развитие и продуктивность пивоваренного ячменя сорта «Саншайн» показало, что наибольший эффект наблюдался при применении НП кобальта: увеличилась полевая всхожесть 5,3%, число зерен в колосе на 16,6%, масса зерен в колосе – на 0,13 г или на 27,1%. Также достоверно увеличилась масса 1000 семян – на 6,54 г или 21,2%, урожайность зерна ячменя – на 5,63 ц/га или на 14,87% относительно контроля, снизилось количество белка в зерне – на 0,82%, что увеличило его пивоваренные качества.

9. Использование микроудобрений на основе НПМ в технологии возделывания овса сорта «Скакун» способствует повышению роста, развития, продуктивности и качественных показателей зерна. Наиболее эффективный результат показал нанопорошок железа, увеличивший полевую всхожесть на 4,0%, также изменивший структуру урожая: число зерен в метелке было больше контроля на 4 шт или на 12,9%, масса зерен в метелке - на 0,20 г или на 23,5%, масса 1000 зерен – на 2,33 г или на 6,6%. Увеличение продуктивных показателей привело к повышению как урожайности семян овса при использовании НП железа – на 4,8 ц/га или на 15,9%, так и в содержании белка в зерне на 2,1% относительно контрольных значений.

10. Физиологические показатели растений озимой пшеницы в конце осеннего периода вегетации очень важны для будущей зимовки, характеризуют морозостойкость и во многом определяют будущий урожай. Проведенное исследование показало, что НП железа в оптимальной концентрации проявляет свойства биокатализатора, способствует изменению значимых параметров, увеличивая рост корневой массы (2,3 см или на 22,8%) и повышая массу сухого вещества растений (на 0,08 г или на 8,9%) в стадии кущения перед зимовкой, когда накопление питательных веществ играет решающую роль. Анализ водорастворимых полисахаридов в растениях озимой пшеницы показал, что наблюдается не только их накопление, но и перераспределение в органы, наиболее в них нуждающихся. Так, уровень полисахаридов под воздействием НП железа увеличился в узле кущения (+4,6% относительно контроля) и корнях растения (+0,7%), повышая тем самым их морозостойкость. НП железа способствовал повышению урожайности на 5,4 ц/га или на 12,9% выше контроля и некоторых элементов ее структуры (масса 1000 зерен - на 3,8 г или на 10,8%), также изменились показатели качества зерна пшеницы сорта «Московская 56», увеличилась содержание сырой клейковины (2,66%), что в целом подтверждает эффективность применения нанопорошка железа в технологии производства зерна озимой пшеницы.

11. Предпосадочная обработка картофеля сорта «Латона» НП кобальта в оптимальной дозе увеличила площадь листовой поверхности (на 2,8 тыс. м²/га) и чистую продуктивность фотосинтеза (на 0,8г/м²*дни), а также урожайность клубней – на 42,2 ц/га или на 14,1% по сравнению с контролем. Повысились качественные показатели урожая: количество клубней на 1 куст выросло при использовании НП Со на 2,0 шт или на 26,7%, средняя масса 1 клубня достоверно превышала контроль на 20,1 г или на 33,8%. При этом изменился химический состав картофеля: возросла крахмалистость – на 2,5% и увеличилось содержание витамина С в клубнях картофеля – на 3,0 мг/100 г или на 16,4%, что повысило качество растениеводческой продукции.

12. Микроудобрения на основе НПМ достаточно эффективны в предпосевной обработке свеклы кормовой «Эккендорфская желтая». Лучший результат наблюдался на варианте с НП кобальта. Показано, что НП кобальта увеличивает полевую всхожесть семян на 10%, площадь листовой поверхности – на 6,1 тыс. м²/га или на 19,8%, урожайность ботвы свеклы на 22,1 ц/га, урожайность корнеплодов на 25,8 ц/га или на 30,2%. Под влиянием оптимальной концентрации нанопорошка кобальта изменяется качественный состав корнеплодов свеклы кормовой, повышается сумма сахаров от сырого вещества на 2,7%, уровень витамина С (на 7,6%) и каротина (на 11,8%).

13. Анализ агрохимических показателей типов и подтипов почв показал, что значимых изменений в полученных данных не наблюдалось, как и определенных закономерностей, связанных с применением конкретного типа микроудобрений на основе НПМ. Также не наблюдалось изменения в содержании микроэлементов и тяжелых металлов в изучаемых почвах после уборки. Использование НПМ в предпосевной обработке семян с/х культур не влияет на накопление данных металлов в почвах, что связано в первую очередь с низкими оптимальными дозами, используемыми в производстве, а также с их высокой химической чистотой и экологической безопасностью.

14. Установлено, что микроэлементы железо, медь и кобальт в виде нанопорошков металлов обладают определенными синергическими и антагонистическими свойствами, отличающимися от свойств металлов в ионной форме. НП кобальта привел к снижению кобальта во всех изучаемых тканях кукурузы и подсолнечника, цинк был выше в корнях, и ниже в семенах обеих культур. Медь была ниже контроля в корнях, но выше в зерне кукурузы и листьях кукурузы и подсолнечника, содержание железа повысилось во всех органах кукурузы и подсолнечника.

15. Использование микроудобрений на основе НПМ является экономически эффективным элементом технологии производства с/х культур. Анализ и расчеты показали, что в производстве озимой пшеницы наиболее рентабельным является использование НП железа, который увеличивает данный показатель по сравнению с контролем на 30,3% и составляет 196,6%.

В производстве пивоваренного ячменя наиболее рентабелен НП кобальта (151,8%), превышающий контроль (121,9%) на 29,9%. В производстве картофеля наибольшей экономической эффективностью характеризуется микроудобрение на основе НП кобальта, рентабельность которого составляет 222,1%, что выше контроля на 30,6%.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ:

Нанопорошки металлов-микроэлементов железа, кобальта и меди можно применять в предпосевной обработке семян сельскохозяйственных культур в оптимальных дозах: для наночастиц кобальта 2 г/т, для наночастиц меди и ее оксида меди – 4 г/т семян, для наночастиц железа – 6,0 г/т семян.

При включении нанопорошков металлов микроэлементов в технологию возделывания с/х культур необходимо учитывать наиболее эффективный металл: для кукурузы – НП меди, для подсолнечника, ярового ячменя, сои, картофеля, кормовой свеклы – НП кобальта, для яровой, озимой пшеницы, овса – НП железа.

Список публикаций по теме диссертации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Полищук С.Д., Назарова А.А., Куцкир М.В. Урожайность и биохимический состав подсолнечника при обработке семян наночастицами меди // Вестник РГАТУ. - №2 (18). – 2013. – С. 104-106.

2. Полищук С.Д., Назарова А.А., Куцкир М.В., Чурилов Д.Г., Чурилов Г.И., Иванычева Ю.Н. Применение нанопорошков в качестве микроудобрений для масличных культур // Нанотехника. – №3 (35). – 2013. – С. 67-75.

3. Чурилов Г.И., Иванычева Ю.Н., Полищук С.Д., Назарова А.А. Эколого-биологическое влияние нанопорошков меди и оксида меди на фитогормоны вики и пшеницы яровой // Нанотехника. – №4 (36). – 2013. – С. 43-46.

4. Полищук С.Д., Назарова А.А., Азизбемян С.Г., Домаш В.И. Биологическая эффективность нанопорошков и коллоидов // Нанотехника. – №4 (36). – 2013. – С. 69-70.

5. Полищук С.Д., Назарова А.А., Степанова И.А., Куцкир М.В., Чурилов Д.Г. Биологически активные препараты на основе наноразмерных частиц металлов в сельскохозяйственном производстве // Нанотехника. – №1 (37). – 2014. – С. 72-81.

6. Колмыкова О.Ю., Чурилова В.В., Назарова А.А., Полищук С.Д. Определение оптимальных концентраций наночастиц кобальта и меди на семенах и проростках овощных культур // Плодоводство и ягодоводство России. – Том XXXXVII. – 2016. – С. 175-179.

7. Назарова А.А., Полищук С.Д., Чурилов Д.Г., Доронкин Ю.В. Нанобиопрепараты в технологии производства яровой и озимой пшеницы // Сахар. – №12. – 2016. – С. 32-36.

8. Назарова А.А., Полищук С.Д., Чурилова В.В. Физиологические, биохимические и продуктивные показатели пивоваренного ячменя при использовании биологически активных наноматериалов // Сахар. – №1. – 2017. – С. 22-25.

9. Назарова А.А., Полищук С.Д., Чурилова В.В., Доронкин Ю.В. Нанотехнологии работают на урожай // Картофель и овощи. – 2017. – №2. – С. 28-30.

10. Назарова А.А., Полищук С.Д. Особенности роста и развития кукурузы гибрида «Обский 140» при обработке семян препаратами на основе наночастиц железа, кобальта и их сочетания // Плодоводство и ягодоводство России. – Том XXXXVIII. – №1. – 2017. – С. 174-177.

11. Чурилова В.В., Полищук С.Д., Чурилов Д.Г., Назарова А.А. Влияние наночастиц кобальта на штамм *BACILLUS CEREBUS* для применения в овощеводстве // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – №2. – 2017. – С. 130-133.

12. Назарова А.А., Полищук С.Д. Сравнительная оценка токсического действия нанопорошка меди и сульфата меди на семенах и проростках кукурузы // Сахар. – №7. – 2017. – С. 50-52.

13. Назарова А.А., Полищук С.Д., Чурилов Д.Г., Гуреева Е.В., Чурилов Г.И. Нанобиопрепараты в технологии возделывания сои сорта «Светлая» // *Зерновое хозяйство России*. – 2017. – №4 (52). – С. 16-24.

14. Назарова А.А. Сравнительная оценка различных способов внесения нанопорошков микроэлементов на кукурузе «РОСС-145 МВ» // *Научная жизнь*. – 2017. – №8. – С. 52-58.

15. Назарова А.А. Токсический эффект нанопорошка железа и сульфата железа при взаимодействии с семенами и проростками озимой пшеницы // *Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса*. – 2017. – №4 (33). – С.8-11.

16. Назарова А.А. Нанопрепараты на основе железа и кобальта в технологии производства пивоваренного ячменя // *Плодородие*. – 2017. – №6 (99). – С.48-50.

17. Назарова А.А., Полищук С.Д. Нанопорошки металлов-микроэлементов для повышения урожайности и качества свеклы кормовой // *Агрехимический вестник*. – 2018. – №1. – С. 28-30.

18. Назарова А.А. Особенности влияния нанопорошков железа, кобальта и их смеси на физиологические и биохимические показатели подсолнечника «Донской 22» // *Агрофизика*. – 2018. – №1. – С. 18-23.

19. Назарова А.А. Токсическое действие кобальта в наноразмерной и ионной форме на семенах и проростках подсолнечника // *Аграрный вестник Верхневолжья*. – 2018. – №1 (22). – С.10-13.

20. Чурилов Д.Г., Назарова А.А., Чурилова В.В. Влияние физико-химических характеристик наночастиц железа, кобальта, меди на их биологическую активность // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева*. – 2019. – №1 (41). – С. 89-94.

Патенты РФ

1. Патент №2378288 РФ. Способ получения водорастворимых полисахаридов из растений / Г.И. Чурилов, С.Д. Полищук, Л.В. Коваленко, Г.Э. Фолманис, А.А. Назарова // *Бюл. №1*. – Оpubл. 10.01.2010.

2. Патент №2790577 РФ. Способ подготовки семенного картофеля к посадке / С.Н. Бoryчев, А.А. Назарова, Д.В. Колошеин и др. // *Бюл. № 6*. – Оpubл. 27.02.2023.

Публикации в международных изданиях, входящих в Web of Science, Scopus

1. Polishuk S.D., Nazarova A.A., Kutskir M.V., Churilov D.G., Ivanycheva Y.N., Kiryshin V.A., Churilov G.I. Ecologic-Biological Effects of Cobalt, Cuprum, Copper Oxide Nano-Powders and Humic Acids on Wheat Seeds // *Modern Applied Science*. – 2015. – vol.9. – No.6. –pp 354-364.

2. Churilova V.V., Nazarova A.A., Polishchuk S.D. Influence of Biodrugs with Nanoparticles of Ferrum, Cobalt and Cuprum on Growth, Development, Yield and Phytohormone Status of Fodder and Red Beets // *Nano Hybrids and Composites*. – Vol. 13. – 2017. – pp. 149-155. DOI 10.4028/www.scientific.net/NHC.13.149

3. Samoylova M.V., Churilov D.G., Nazarova A.A., Polishchuk S.D., Byshov N.V. Biologically Active Nanomaterials in Potato Growing // *Nano Hybrids and Composites*. – Vol. 13. – 2017. – pp. 91-95. DOI 10.4028/www.scientific.net/ NHC.13.91

4. Polishchuk S.D., Churilov G.I., Borychev S.N., Byshov N.V., Nazarova A.A. Nanopowders of cuprum, cobalt and their oxides used in the intensive technology for growing cucumbers // *International Journal Nanotechnology* – Vol. 15. – No. 4/5. – 2018. – p. 352-369. DOI: 10.1504/IJNT.2018.094792

5. Polischuk S.D., Nazarova A.A., Churilov D.G., Rembalovich G.K., Kostenko M.Yu., Arapov I.S. Scientific Substantiation of the Technology of Finely-Dispersed Metallurgical Sludge Bioconversion // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol 7. – № 4.36. – pp. 222-230. DOI:10.14419/ijet.v7i4.36.23749

6. Churilov G.I., Churilov D.G., Nazarova A.A., Polischuk S.D., Churilova V.V., Borychev S.N., Byshov N.V. Dynamics of accumulating pollutants and essential elements in the process of plant growth and development // International Journal Nanotechnology – Vol. 16. – Nos. 1/2/3. – 2019. – p. 42-59. DOI:10.1504/IJNT.2019.102391

Другие статьи и издания

1. Чурилов Г.И., Амплеева Л.Е., Назарова А.А. Увеличение урожайности вики при обработке семян нанопорошками. // Научное обеспечение конкурентоспособности племенного, спортивного и продуктивного коневодства в России и странах СНГ: сб. науч. тр. Дивово: ВНИИК, 2007. Часть 2. С. 196-199.

2. Дорогов М.Е., Назарова А.А., Кузин А.В., Полищук С.Д. Использование ультрадисперсных порошков железа в растениеводстве. // Сб. науч. тр. Профессорско-преподавательского состава РГАТУ им. П.А. Костычева: Материалы научно-практической конференции 2008 г. Рязань: Изд-во РГАТУ, 2008. С.90-92.

3. Назарова А.А., Жеглова Т.В., Полищук С.Д., Чурилов Г.И. Действие ультрадисперсных порошков металлов на накопление биологически активных соединений в лекарственных растениях. // Разработка, исследование и маркетинг новой фармацевтической продукции: сб. науч. тр./ под ред. М.В. Гаврилина. Пятигорск: Пятигорская ГФА, 2009. Вып. 64. С. 87-88.

4. Амплеева Л.Е., Степанова И.А., Назарова А.А. Влияние нанокристаллических металлов на накопление биологически активных соединений в растениях. // Вестник РГАТУ им. П.А. Костычева. - № 2. – Рязань, 2009. – С. 34-36.

5. Жеглова Т.В., Воронцова С.В., Назарова А.А., Чурилов Г.И. Влияние железа в ультрадисперсном состоянии на химический состав растений и семян кукурузы. // Инновационные фундаментальные и прикладные исследования в области химии сельскохозяйственному производству: (сборник). Материалы III Международной интернет - конференции. Орел: Изд-во Орел ГАУ, 2010. – С. 16-20.

6. Чурилов Г.И., Назарова А.А., Амплеева Л.Е., Полищук С.Д., Черкасов О.В. Биологическое действие наноразмерных металлов на различные группы растений. Рязань, 2010. 148 с.

7. Рекомендации по использованию ультрадисперсных порошков металлов (УДПМ) в сельскохозяйственном производстве. // Чурилов Г.И., Назарова А.А., Полищук С.Д., Сушила М.М. Рязань, 2010. 51 с.

8. Назарова А.А., Полищук С.Д. Влияние ультрадисперсных форм металлов на урожайность и качество кукурузы и подсолнечника в условиях засухи 2010 года. // Материалы научно-практической конференции «Интеграция науки с сельскохозяйственным производством». – Рязань: Изд-во РГАТУ, 2011. – С.57-59.

9. Nazarova A.A., Polishuk S.D., Zheglova T.V. Extraction and study of biological properties of polysaccharides *Potentilla Argentea*. // The main International conference «Renewable Wood and Plant Resources: Chemistry, Technology, Pharmacology, Medicine». – Saint-Petersburg, 2011. – S. 291.

10. Куцкир М.В., Полищук С.Д., Назарова А.А. Влияние нанокристаллического кобальта на показатели роста и развития подсолнечника. // Материалы IV Международной заочной научно-практической Интернет - конференции «Инновацион-

- ные фундаментальные и прикладные исследования в области химии сельскохозяйственному производству». – Орел, 2011. С. 5-8.
11. Назарова А.А., Полищук С.Д. Перспективы использования нанопорошков металлов в растениеводстве. // Труды Всероссийского совета молодых ученых и специалистов аграрных образовательных и научных учреждений «Актуальные проблемы развития АПК в научных исследованиях молодых ученых». – Москва, 2011. С 52-57.
12. Куцкир М.В., Назарова А.А. Изменение морфофизиологических показателей растений кукурузы при взаимодействии с биологически активными наночастицами металлов. // Материалы всероссийской научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскому хозяйству». – Чебоксары: ЧГСХА, 2011. – Ч.1 - с 67-69.
13. Жеглова Т., Воронцова С., Назарова А., Чурилов Г. Влияние железа в ультрадисперсном состоянии на химический состав растений. // Главный агроном. – 2011. - №3. – С.20.
14. Куцкир М.В., Назарова А.А. Физиологические и продуктивные показатели кукурузы при обработке семян наночастицами меди. // Материалы Всероссийской науч.-практической конференции «Молодежная наука 2012: технологии, инновации». – Пермь : Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2012. – С. 219-222.
15. Чурилов Д.Г., Назарова А.А., Полищук С.Д. Новое микроудобрение на основе нанопорошка меди. // Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции «Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях». – Москва : МГСУ, 2012. - С. 371-374.
16. Назарова А.А., Куцкир М.В. Особенности действия наноразмерных частиц меди на физиологические процессы в растительном организме. // Сборник тезисов XXIV конференции «Современная химическая физика». – Туапсе, 2012. – С.93-94.
17. Куцкир М.В., Назарова А.А., Полищук С.Д. Токсический эффект наночастиц меди и сульфата меди при обработке ими семян яровой пшеницы. // Материалы VII Международного симпозиума «Фундаментальные и прикладные проблемы науки». Том 1. – Москва: РАН, 2012. – С. 126-135.
18. Куцкир М.В., Назарова А.А., Полищук С.Д. Влияние различных форм микроудобрений на основе меди на физиологические, биохимические и продуктивные показатели яровой пшеницы. // Экология и природопользование. Том 3. – Избранные труды Международного симпозиума по фундаментальным и прикладным проблемам науки. – М.: РАН, 2012. – С. 135 – 152.
19. Чурилов Д.Г., Назарова А.А., Полищук С.Д. Новое микроудобрение на основе нанопорошка меди. // Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции «Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях». – Москва : МГСУ, 2012. - С. 371-374.
20. Полищук С.Д., Назарова А.А. Токсичное действие наночастиц оксида цинка на семена и проростки зерновых культур. // Материалы Международной конференции «Биология – наука XXI века». – Москва: МАКС Пресс, 2012. - С.726-728.
21. Полищук С.Д., Назарова А.А. Физиологические и продуктивные показатели растений подсолнечника при обработке семян нанопорошками кобальта и смеси кобальта и железа. // Материалы Международной конференции «Биология – наука XXI века». – Москва: МАКС Пресс, 2012. - С.728-729.
22. Чурилов Г.И., Полищук С.Д., Назарова А.А. Особенности минерального обмена растений кукурузы в процессе онтогенеза при взаимодействии с наночасти-

- цами меди. // Материалы Международной конференции «Биология – наука XXI века». – Москва: МАКС Пресс, 2012. - С. 1033-1035.
23. Чурилов Г.И., Полищук С.Д., Назарова А.А. Активность ферментов растений при обработке семян токсичными концентрациями углеродных нанотрубок. // Материалы Международной конференции «Биология – наука XXI века». – Москва: МАКС Пресс, 2012. - С. 1035-1037.
24. Куцкир М.В., Назарова А.А., Полищук С.Д., Кистанова С.А. Стимулятор роста растений на основе нанопорошка кобальта. // Материалы I-ой всероссийской заочной научно-практической конференции «Новые технологии в промышленности и сельском хозяйстве». – Бийск, 2012. – С. 281-284.
25. Полищук С.Д., Назарова А.А., Жеглова Т.В. Разработка стимулятора роста для сельскохозяйственных растений на основе высокодисперсных гуминовых кислот. // Каталог: Нанотехнологические разработки аграрных вузов. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. – С.9 – 12.
26. Полищук С.Д., Назарова А.А. Микроудобрения на основе наночастиц металлов для предпосевной обработки семян. // Каталог: Нанотехнологические разработки аграрных вузов. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. – С. 12-17.
27. Полищук С.Д., Назарова А.А., Азизбеян С.Г., Домаш В.И. Биологическая эффективность нанопорошков и коллоидов. // Тезисы докладов IX научно-практической конференции «Нанотехнологии – производству». – Фрязино: 2013. – С. 22 – 23.
28. Полищук С.Д., Назарова А.А., Куцкир М.В., Чурилов Д.Г. Биологически активные препараты для сельскохозяйственного производства на основе наночастиц биогенных металлов. // Тезисы докладов IX научно-практической конференции «Нанотехнологии – производству». – Фрязино: 2013. – С. 56 - 57.
29. Куцкир М.В., Назарова А.А., Полищук С.Д. Влияние различных форм микроудобрений на основе меди на физиологические, биохимические и продуктивные показатели яровой пшеницы. // Экология и природопользование. Том 3. – Избранные труды Международного симпозиума по фундаментальным и прикладным проблемам науки. – М.: РАН, 2012. – С. 135 – 152.
30. Определение воздействия наноматериалов на растительные объекты пищевого и кормового назначения по витальным и морфофизиологическим показателям. / Н.И. Голубева, Ю.Н. Иваницева, А.А. Назарова, С.Д. Полищук, Г.И. Чурилов. // Методические рекомендации для студентов, аспирантов и научных сотрудников. Рязань: Изд-во РГАТУ, 2013. 54 с.
31. Иваницева Ю.Н., Назарова А.А., Чурилов Г.И., Полищук С.Д. Действие нанопорошков меди и оксида меди на растения в полевых условиях. // Материалы Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов «Химико-экологические аспекты научно-исследовательской работы», проведенной в рамках Международного форума студентов сельскохозяйственного, биологического и экологического профилей «ХИМИЯ В СОТРУЖЕСТВЕ НАУК», Горки, республика Беларусь, 15-17 мая 2013 г. – Горки, БГСХА. - С. 124-132.
32. Куцкир М.В., Назарова А.А., Полищук С.Д. Физиологическое обоснование применения наночастиц различной природы в качестве стимуляторов роста растений подсолнечника. // Материалы Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов «Химико-экологические аспекты научно-исследовательской работы», проведенной в рамках Международного форума студентов сельскохозяйственного, биологического и экологического профилей «ХИ-

МИЯ В СОТРУЖЕСТВЕ НАУК», Горки, республика Беларусь, 15-17 мая 2013 г. – Горки, БГСХА. - С. 135-138.

33. Елисеев М.М., Назарова А.А., Полищук С.Д. Показатели урожайности и биохимический состав кукурузы при обработке семян наночастицами меди. // Материалы Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов «Химико-экологические аспекты научно-исследовательской работы», проведенной в рамках Международного форума студентов сельскохозяйственного, биологического и экологического профилей «ХИМИЯ В СОТРУЖЕСТВЕ НАУК», Горки, республика Беларусь, 15-17 мая 2013 г. – Горки, БГСХА. - С. 107-110.

34. Куцкир М.В., Назарова А.А. Возможность применения комплекса наночастиц различной природы при предпосевной обработке семян подсолнечника. // Сб.: «Научные приоритеты в АПК: инновационные достижения, проблемы, перспективы развития» : материалы Международной научно-практической конференции 15 мая 2013 г. – Рязань: Изд-во Рязанского государственного агротехнологического университета. – С. 351-354.

35. Елисеев М.М., Назарова А.А., Полищук С.Д. Повышение качества продукции растениеводства путем предпосевной обработки семян кукурузы наночастицами меди. // Сб.: «Научные приоритеты в АПК: инновационные достижения, проблемы, перспективы развития» : материалы Международной научно-практической конференции 15 мая 2013 г. – Рязань: Изд-во Рязанского государственного агротехнологического университета. – С. 420-423.

36. Polishchuk S.D., Nazarova A.A., Kutskir M.V., Churilov G.I. Nano-Materials and Composition on the Basis of Cobalt Nano-Particles and Fine Humic Acids as Stimulators of New Generation Growth. // Journal of Materials Science and Engineering. В. №2. 2014. – S. 46-54.

37. Куцкир М.В., Назарова А.А., Полищук С.Д. Влияние биологически активных наноматериалов на физиологические и биохимические показатели растений подсолнечника. // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства : сборник трудов научных чтений / под ред. Н. В. Бышова. – Вып. 11. – Рязань : ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2014. – С. 314-318.

38. Колмыкова О.Ю., Назарова А.А. Использование нанотехнологий и наноматериалов в предпосевной обработке семян овощных культур. // Материалы онлайн-конференции, посвященной Дню российской науки «Исследования молодых ученых – аграрному производству», 4 февраля 2015 года. – Белгород: Издательство Белгородского ГАУ, 2015. – С. 49-53.

39. Колмыкова О.Ю., Назарова А.А., Черкасов О.В. Микроэлементы в виде традиционных удобрений и наноматериалов в жизни растений. // Сб.: Аграрная наука как основа продовольственной безопасности региона : материалы 66 Международной науч.-практ. конф. – РГАТУ, 2015. – С.104-110.

40. Полищук С.Д., Назарова А.А., Чурилов Г.И. Производство сои в условиях центрального региона Российской Федерации с использованием биологически активных наноматериалов. // «Инновационные технологии продуктов здорового питания»: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию со дня рождения И.В. Мичурина. – Мичуринск: Изд-во ФГБОУ ВО Мичуринский НАУ, 2015. – С. 38-44.

41. Назарова А.А., Полищук С.Д., Чурилова В.В., Самойлова М.В. Урожайность и химический состав свеклы столовой при использовании в предпосевной об-

работке семян биопрепарата с наночастицами железа. // Сб. : Инновационное развитие агропромышленного комплекса России : Материалы национ. науч.-практ. конф. – Рязань: Изд. Рязанского государственного агротехнологического университета, 2016. – Часть 1. – С. 152-156.

42. Черкасов О.В., Колмыкова О.Ю., Назарова А.А., Васькина А.О. Влияние предпосевной обработки семян овощных культур биологически активными наноматериалами на качество пищевой продукции. // Современные энерго- и ресурсосберегающие экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства : сборник науч. тр. / под ред. Н. В. Бышова. – Вып. 12. – Рязань : ФГБОУ ВО РГАТУ, 2016. – С. 449-452.

43. Polishchuk S.D., Nazarova A.A., Byshov N.V., Kuznetsov D.V., Churilov D.G., Churilov G.I. Physiological and biochemical grounding of different nanomaterials use when growing corn seeds. // Modern Applied Science. – 2017. - No.1. Т.11. - pp 195-203.

44. Полищук С.Д., Назарова А.А. Нанопрепараты и биоактивность. // Информационный бюллетень Министерства сельского хозяйства РФ. – 2017. - №1. – С. 22-25.

45. Амплеева Л.Е., Черникова О.В., Назарова А.А. Качество пивоваренного солода и биопрепараты нового поколения. // В сборнике: Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве : Материалы 68-ой Международной научно-практической конференции, посвященной году экологии в России – ФГБОУ ВО РГАТУ, 2017. – Часть 1. – С. 11-15.

46. Пряхина Ю.Д., Назарова А.А. Токсическое и физиологическое действие меди в ионной форме на кукурузу «Катерина СВ». // Актуальные вопросы производства, хранения и переработки с/х продукции: Материалы научной студенческой конференции. – Рязань: Изд-во РГАТУ, 2018. – С.78-82.

47. Чурилов Д.Г., Назарова А.А., Чурилова В.В., Полищук С.Д., Чурилов Г.И. Проявление эффекта малых доз при взаимодействии наночастиц кобальта и семян горчицы белой // Сб.: Актуальные проблемы биологической и химической экологии : Материалы VI Международной научно-практической конференции. – Москва: МГОУ, 2019. – С. 75-79.

48. Nazarova A.A. Morpho-physiological and productive indicators of oat under the influence of nanopowders of cobalt and copper trace elements // E3S Web of Conferences 222, 02016 (2020), DAIC 2020.<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022202016>.

49. Nazarova A.A. Effect of iron nanopowder on the physiological resistance of winter wheat to low temperatures. // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1010, (2022) 012037, AEES-2021. doi:10.1088/1755-1315/1010/1/012037

50. Nazarova A.A. The effect of a mixture of iron and nickel nanopowders of various concentration on the growth and yield of corn. // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1045 (2022) 012151, ESDCA-II-2022. doi:10.1088/1755-1315/1045/1/012151

51. Власов Г.С., Назарова А.А., Шемякин А.В. Влияние нанометаллов микроэлементов на химический состав свеклы кормовой // В сб.: Научное сопровождение в АПК, лесном хозяйстве и сфере гостеприимства: современные проблемы и тенденции развития : Материалы Национальной научно-практической конференции 10 ноября 2022 года. – Рязань : Издательство РГАТУ, 2022. – С. 65-68.

52. Власов Г.С., Назарова А.А., Шемякин А.В. Влияние нанопорошков на загрязнение тяжелыми металлами продукции растениеводства // В сб.: Научное сопровождение в АПК, лесном хозяйстве и сфере гостеприимства: современные про-

блемы и тенденции развития : Материалы Национальной научно-практической конференции 10 ноября 2022 года. – Рязань : Издательство РГАТУ, 2022. – С. 69-72.

53. Власов Г.С., Назарова А.А., Шемякин А.В. Нанопорошки металлов и биологически активные соединения в картофеле // В сб.: Научное сопровождение в АПК, лесном хозяйстве и сфере гостеприимства: современные проблемы и тенденции развития : Материалы Национальной научно-практической конференции 10 ноября 2022 года. – Рязань : Издательство РГАТУ, 2022. – С. 72-76.

54. Шемякин А.В., Назарова А.А., Власов Г.С. Влияние нанопорошков на накопление тяжелых металлов в зерновых культурах // В сб.: Научное сопровождение в АПК, лесном хозяйстве и сфере гостеприимства: современные проблемы и тенденции развития : Материалы Национальной научно-практической конференции 10 ноября 2022 года. – Рязань : Издательство РГАТУ, 2022. – С. 261-264.

55. Назарова А. А., Шемякин А.В. Нанотехнологии в овощеводстве // В сб.: Научно-инновационные аспекты аграрного производства: перспективы развития : Материалы II Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти д.т.н., профессора Н.В. Бышова. – Рязань : РГАТУ, 2022. – Часть I. – С. 68-72.

56. Назарова А. А., Шемякин А.В. Физические и биологические методы получения наночастиц // В сб.: Научно-инновационные аспекты аграрного производства: перспективы развития : Материалы II Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти д.т.н., профессора Н.В. Бышова. – Рязань : РГАТУ, 2022. – Часть I. – С. 72-76.

57. Назарова А. А., Шемякин А.В. Влияние нанопорошка кобальта на плодородие темно-серой лесной почвы // В сб.: Научно-инновационные аспекты аграрного производства: перспективы развития : Материалы II Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти д.т.н., профессора Н.В. Бышова. – Рязань : РГАТУ, 2022. – Часть I. – С. 77-80.

58. Назарова А. А., Шемякин А.В. Изучение фитотоксичности наноматериалов // В сб.: Научно-инновационные аспекты аграрного производства: перспективы развития : Материалы II Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти д.т.н., профессора Н.В. Бышова. – Рязань : РГАТУ, 2022. – Часть I. – С. 81-84.

59. Колупаева А.О., Назарова А.А., Черкасов О.В., Шемякин А.В. Современное состояние производства наноматериалов в РФ // В сб.: «Инновационные решения для АПК» : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной Дню Российской науки 16 февраля 2023 года. – Рязань: Издательство РГАТУ, 2023. – С. 133-136.