



Ручкина Анастасия Владимировна

**ВЛИЯНИЕ ПОЧВОУЛУЧШАЮЩЕЙ УДОБРИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ
(СУГЛИНКА, ФОСФОРИТНОЙ И ДОЛОМИТОВОЙ МУКИ) НА
УРОЖАЙНОСТЬ ЯЧМЕНЯ И СВОЙСТВА АГРОСЕРЫ СУГЛИНИСТОЙ
ПОЧВЫ В ЮЖНОМ НЕЧЕРНОЗЕМЬЕ**

4.1.3 Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

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

Научный руководитель: **Ушаков Роман Николаевич** – доктор сельскохозяйственных наук, кафедра агрономии, агрохимии и защиты растений, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», профессор

Официальные оппоненты: **Куликова Алевтина Христофоровна** – доктор сельскохозяйственных наук, кафедра почвоведения, химии, биологии и технологии переработки продукции растениеводства, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», профессор

Дубровина Ольга Алексеевна – кандидат биологических наук, кафедра агротехнологий, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина», доцент

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится «20» июня 2024 года в «12:00» часов на заседании диссертационного совета 35.2.008.03 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1, ауд. 149/ Телефон: +7 (473) 253-86-51, e-mail: murka1979@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» и на сайте www.ds.vsau.ru, с авторефератом на сайте ВАК Министерства образования и науки РФ www.vak.minobrnauki.gov.ru и ВГАУ www.ds.vsau.ru

Автореферат разослан «18» апреля 2024 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные и скрепленные гербовой печатью организации, просим направить ученому секретарю диссертационного совета.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Высоцкая Елена Анатольевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Залогом стабильного развития АПК России является воспроизводство почвенного плодородия (П.А. Чекмарев, 2018; В.Г. Сычев, С.А. Шафран, 2019). Систематический мониторинг плодородия почв указывает в большинстве случаев на его ухудшение (С.В. Лукин, 2016; П.А. Чекмарев, С.В. Обущенко, 2016; В.Н. Кудеяров, 2019; В.Г. Сычев, С.А. Шафран, С.Б. Виноградова, 2020). И здесь важна комплексная его оценка.

Для улучшения почвенных свойств наравне с традиционными минеральными удобрениями можно использовать почвоулучшающие смеси (комплексы) на основе местных удобрительных и мелиорирующих ресурсов малых месторождений. К ним можно отнести глины или суглинки. Они обеспечивают почвоулучшающий эффект за счет того, что тонкие фракции в их составе концентрируют основную массу органического вещества и выступают фактором его аккумуляции и стабилизации (Л.С. Травникова, А.В. Иванов, 2014). Тонкие фракции (0,2 мкм) в наибольшей степени обогащены легкодоступным калием (В.Л. Петрофанов, 2012). К другим доступным компонентам почвоулучшающих комплексов можно отнести фосфоритную муку, произведенную из сыромолотых фосфоритов, доломит и другие. Такие смеси должны оказывать разностороннее влияние на агрохимические, физико-химические и другие почвенные свойства. Учитывая, что в современных условиях агрогенеза на фоне подкисления почвенного раствора велика вероятность усиления процессов выноса тонкодисперсных фракций (Н.П. Чижикова, 2005) и ценность привносимого суглинистого материала повышается. Простое смешивание компонентов малоэффективно. Повысить удобрительный статус смеси можно путем хемоактивации. Данный способ не новый, он используется в отношении фосфоритной муки (С.Н. Андрианов и др., 2007). Для этой цели можно использовать азотную кислоту (З.А. Готто и др., 2014). Производство хемоактивированной почвоулучшающей удобрительной смеси на основе суглинка, фосфоритной и доломитовой муки (технически это возможно реализовать в условиях сельскохозяйственного предприятия) позволит решить следующие задачи: улучшить в агропочвах физико-химические свойства за счет поступления тонких глинистых фракций, фосфатный статус за счет хемоактивации фосфоритной муки, калийный статус за счет хемоактивации суглинка, азотный статус за счет образования нитрата кальция, снизить кислотность. Почвоулучшающие смеси не заменят традиционные удобрения, они могут служить дополнительным элементом в системах удобрений, в первую очередь ориентированных на восстановление плодородия агропочв.

Степень разработанности темы исследований. Вопросам оценки плодородия почвы и использования местных ресурсов в агрохимии для его улучшения посвящены работы отечественных и зарубежных авторов: природных глин (S. Sleutel et al., 2011; Л.С. Державин, А.С. Фрид, 2012; А.В. Козлов, А.Х. Куликова, И.П. Уромова, 2017; Н.П. Чижикова, Н.Б. Хитров, Ю.В. Чевердин, 2017; J.S. Breker et al., 2019; А.В. Козлов, 2022), фосфоритной муки

на основе фосфоритов (Б.А. Сушеница, В.Н. Дышко, 2004), перспективы химической мелиорации почв рассмотрены В.Г Сычевым, Н.И. Акановой (2019), К.Р. Гарафутдиновой и др. (2022), Н.А. Кирпичниковым, С.П. Бижаном (2022) и другими.

Для улучшения почвенного плодородия в настоящее время уделяется мало внимания удобрительным и мелиоративным средствам на основе местных ресурсов и составления на их основе почвоулучшающих удобрительных смесей. Практически не изучено их влияние на плодородие агросерых почв и урожайность сельскохозяйственных культур.

Цель и задачи исследований. Цель исследований – оценка перспективности применения на агросерых почвах южной части Нечерноземной зоны хемоактивированной почвоулучшающей удобрительной смеси на основе суглинка, фосфоритной и доломитовой муки в посевах ярового ячменя.

Основные задачи:

- дать комплексную оценку состояния плодородия агросерой почвы;
- провести лабораторные опыты по установлению некоторых агрохимических параметров компонентов почвоулучшающей удобрительной смеси и ее в целом при хемоактивации азотной кислотой для установления оптимального соотношения между компонентами;
- изучить изменение свойств агросерой почвы, спрогнозировать динамику емкости катионного обмена при применении почвоулучшающей удобрительной смеси;
- провести полевые опыты с внесением в почву почвоулучшающей удобрительной смеси в качестве удобрения, установить ее влияние на урожайность ярового ячменя и определить экономическую эффективность.

Научная новизна диссертационного исследования. Проведена комплексная оценка (минералогический состав, физико-химические и агрохимические свойства) в качестве обоснования использования почвоулучшающей удобрительной смеси на основе суглинка, фосфоритной и доломитовой муки с использованием азотной кислоты как хемоактиватора.

Впервые для южной части Нечерноземной зоны использована хемоактивированная почвоулучшающая удобрительная смесь на основе суглинка, фосфоритной и доломитовой муки при возделывании ячменя. Определены ее основные агрохимические показатели. На их основе по эквивалентным дозам подобраны стандарты сравнения с традиционными минеральными удобрениями. Установлена эффективность почвоулучшающей удобрительной смеси в дозе 800 и 1600 кг/га, что эквивалентно дозе минеральных удобрений $N_{55}P_{30}$ и $N_{110}P_{60}$ кг/га соответственно.

Установлено, что эффективность дозы экспериментальной смеси 800 и 1600 кг/га по влиянию на урожайность ячменя (по сравнению с контролем прибавка урожайности составила 0,8 т/га) была эквивалентна дозе минеральных удобрений $N_{55}P_{30}$ кг/га.

Теоретическая и практическая значимость работы. Впервые в условиях южного Нечерноземья на агросерой суглинистой почве на основании собственных

данных комплексного мониторинга её плодородия, включающего агрохимические, физико-химические, минералогические показатели, установлена практическая целесообразность использования почвоулучшающей удобрительной смеси, состоящей из покровного суглинка, фосфоритной и доломитовой муки, азотной кислоты (хемоактиватор) в соотношении 1 : 0,6 : 1 : 0,8 при применении в качестве удобрения под ячмень. В 1 тонне смеси находится около 70 кг общего азота, 40 кг легкоусвояемого и водорастворимого фосфора. Обменная кислотность составляет 5,8 ед., за счет присутствия суглинистого материала емкость катионного обмена – около 47 мг-экв/100 г. По эффективности влияния на урожайность ячменя с обеспечением достоверной прибавки 0,8 т/га норма экспериментальной смеси 1600 кг/га не уступала дозе минеральных удобрений (аммиачная селитра + двойной суперфосфат) N₅₅P₃₀.

Методология и методы исследований. Методология исследований основана на анализе и обобщении достижения науки и передовой научно-технической информации, на принципах системного подхода к решению изучаемой проблемы. В работе использовали аналитически обобщающие, экспериментальные (полевые опыты и лабораторные исследования почвенных и растительных образцов), статистические (математический анализ полученных результатов исследований) и экономические расчеты.

Степень достоверности результатов подтверждается проведением полевых опытов и лабораторных анализов почвенных и растительных образцов в строгом соответствии с методическими требованиями и ГОСТами, большим количеством экспериментальных, математически обработанных данных и положительными результатами.

Положения, выносимые на защиту:

– в агросерой суглинистой почве происходит достоверное снижение содержания подвижного фосфора и подкисление почвенного раствора. На долю инертных минералов во фракции ила приходится 70-77 %, смектитовых минералов – 23-30 %; в почве – около 17-18 % и 5-7 % соответственно;

– дополнительный удобрительный эффект на агросерую почву обеспечивает хемоактивированная почвоулучшающая удобрительная смесь, состоящая из суглинка (источника ценных глинистых фракций), фосфоритной муки (для улучшения фосфатного статуса почвы), доломитовой муки (для нейтрализации почвенной кислотности) и азотной кислоты (для активации фосфора и образования нитрата кальция – источника азота для растений) в соотношении 1 : 0,6 : 1 : 0,8;

– при норме внесения хемоактивированной почвоулучшающей удобрительной смеси 1600 кг/га с содержанием общего азота 7 %, легкоусвояемых и водорастворимых фосфатов 4 % ее влияние на урожайность ячменя сопоставимо с внесением при посеве аммиачной селитры (доза N 55 кг/га) и двойного суперфосфата (доза P 30 кг/га);

– экономическая эффективность технологии возделывания ярового ячменя при применении почвоулучшающей удобрительной смеси.

Апробация результатов исследования. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались в федеральном

государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» в 2017-2023 гг., на конференциях: «Сельскохозяйственные науки» (Курск, 2017), «Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур» (Горки, 2017), «Почвоведение – мост между науками» (Санкт-Петербург, 2018), «Potencijal tla i zemljišnih resursa: ključne uloge znanosti i učinkovitih politika» (Vukovar, Croatia, 2018), «Аграрная наука – Сельскому хозяйству» (Барнаул, 2019), «Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных агротехнологий» (Рязань, 2019), «Сельскохозяйственные науки» (Курск, 2020), «Сельскохозяйственные науки» (Саратов, 2020), «Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции» (Саранск, 2021), «Научно-инновационные аспекты аграрного производства: перспективы развития» (Рязань, 2022), «Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных агротехнологий» (Рязань, 2023), «Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования» (Воронеж, 2023).

Личный вклад соискателя. Соискателем совместно с научным руководителем разработана программа исследований, лично проведены полевые и лабораторные эксперименты, сделаны анализ и обобщение полученных результатов, а также заключение и рекомендация производству. Вклад соискателя в диссертационную работу составляет не менее 85 %.

Публикация результатов исследований. Результаты диссертации по теме исследований опубликованы в 14 работах, в том числе 7 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 в международной базе Scopus.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 161 странице компьютерного текста, состоит из введения, 7 глав, заключения, предложения производству, перспективы дальнейшей разработки темы, содержит 37 таблиц, 17 приложений, иллюстрирована 14 рисунками. Список литературы включает 139 источников, в том числе 4 зарубежных автора.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю профессору Р.Н. Ушакову за всестороннюю поддержку и помощь при выполнении работы, а также заведующему кафедрой агрономии, агрохимии и защиты растений профессору Д.В. Виноградову, сотруднику Почвенного института (г. Москва), профессору Н.П. Чижиковой.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Использование удобрительных средств на основе местных нетрадиционных и традиционных природных ресурсов (обзор литературных данных)

Проведен аналитический обзор литературных сведений по изучаемой проблеме. В силу обстоятельной научной изученности вопросов фосфоритования и известкования, рассмотрено их влияние на плодородие агропочв. Показана роль нетрадиционных местных ресурсов, в частности глин, для улучшения

поверхностных свойств почв. Приводится обоснование применения покровного суглинка (рассмотрена роль тонкодисперсных фракций, и проблема усиления их выноса в современных условиях агротехногенеза) в качестве альтернативного варианта природным глинам в силу доступности для Рязанской области и относительной дешевизны (вскрышная порода). Отражена проблема ухудшения плодородия агропочв.

Глава 2. Методологические основы, условия, объекты и методы исследований

При разработке оптимальной технологической схемы получения почвоулучшающей удобрительной смеси (ПУУС), состоящей из покровного суглинка (ПС) (вскрышная порода), доломитовой муки (ДМ), фосфоритной муки (ФМ) была предусмотрена серия лабораторных опытов. Изучено:

1. Условия минимизации потери азота при изготовлении ПУУС (температура использованной хемоактивной азотной кислоты, температура в процессе сушки).
2. Изменение гранулометрического состава, некоторых агрохимических свойств суглинка под влиянием азотной кислоты.
3. Содержание нитратного азота в почве после взаимодействия ее с почвой.
4. Содержание массовой доли усвояемых и водорастворимых фосфатов в фосфоритной муке с доломитовой мукой и без нее.

Проведение опытов позволило установить следующее:

1. Использование охлажденной азотной кислоты для хемоактивации почвоулучшающей удобрительной смеси и ее сушка при температуре +40⁰С снижает выделение диоксида азота. Для этого с помощью специального воздухоборника забирали воздух из рабочей зоны и пропускали через воду. Далее определяли нитраты в воде. Их содержание не превышало ПДК.
2. Изменение химического и гранулометрического состава, а также емкости катионного обмена суглинка под влиянием азотной кислоты.
3. Азот почвоулучшающей смеси активно переходит в почвенный раствор.
4. Для более эффективного азотнокислого разложения фосфоритной муки доломитовую муку необходимо добавлять после азотной кислоты.
5. Последовательность добавления компонентов смеси и обработки азотной кислотой. Выбран состав ПУУС в соотношении **ФМ – ДМ – ПС – азотная кислота** 1 : 0,6 : 1 : 0,8. Азотную кислоту необходимо добавлять в недостатке по отношению к стехиометрическому количеству. Азотную кислоту вводить дважды: первый раз 75 % от общего расчетного количества в смесь, состоящую из ФМ и ПС, второй раз – 25 % после добавления к исходной смеси ДМ.

Полевые исследования проведены в условиях юго-западной части Рязанского района Рязанской области в 2017-2022 гг. на агросерой легкосуглинистой почве с содержанием гумуса в слое 0-20 см – 2,3 %, 20-30 см – 1,9 %, со средней обеспеченностью К₂О (по Кирсанову), высоким содержанием подвижного фосфора (по Кирсанову) и со слабокислой реакцией почвенной среды.

Полевые опыты заложены на опытном участке методом рандомизации на ячмене сорта Данута. Общая площадь 15 м², учетная – 10 м². Повторность четырехкратная.

С 2017 по 2019 гг. включительно схема полевого мелкоделяночного опыта 1 включала опытные варианты ПУУС, изготовленного на основе покровного суглинка из расчета дозы внесения азота 50 и 100 кг/га. В качестве стандартного удобрения служила аммиачная селитра в дозе 50 и 100 кг/га.

Схема полевого опыта 1:

1. Без удобрений (контроль); 2. Аммиачная селитра N 50 кг/га; 3. Аммиачная селитра N 100 кг/га; 4. Доза ПУУС 1,9 т/га (эквивалентно N 50 кг/га); 5. Доза ПУУС 3,8 т/га (эквивалентно N 100 кг/га).

С 2020 по 2022 годы в схему полевого опыта 2 добавили варианты с фосфоритной и доломитовой мукой.

Схема полевого опыта 2:

1. Без ПУУС (контроль); 2. N₄₀P₄₀K₄₀ (фон); 3. Стандарт 1 (K₃₀+N₅₅P₃₀); 4. Стандарт 2 (K₃₀+N₁₁₀P₆₀); 5. ПУУС 800 кг/га (ФМ 308 кг/га + ПС 308 кг/га + ДМ 184 кг/га) + хемоактивация азотной кислотой (эквивалентно K₃₀+N₅₅P₃₀); 6. ПУУС 1600 кг/га (ФМ 614 кг/га + ПС 614 кг/га + ДМ 369 кг/га) + хемоактивация азотной кислотой (эквивалентно K₃₀+N₁₁₀P₆₀); 7. N₄₀P₄₀K₄₀+ ПУУС 800 кг/га (N₅₅P₃₀); 8. N₄₀P₄₀K₄₀+ ПУУС 1600 кг/га (N₁₁₀P₆₀).

В опыте был предусмотрен фон N₄₀P₄₀K₄₀, который отражает среднестатистические для Рязанской области дозы элементов питания, а также высоким и повышенным содержанием фосфора и калия соответственно (вариант 2, схема опыта 2). Стандартом для сравнительной оценки ПУУС служила аммиачная селитра, суперфосфат двойной с дозами N55 кг/га, P30 кг/га и N110 кг/га, P60 кг/га соответственно (варианты 3 и 4, схема опыта 2). Были предусмотрены варианты внесения ПУУС с разными нормами на фоне N₄₀P₄₀K₄₀ (варианты 7 и 8).

ПУУС вносили весной при посеве. Техничко-технологическое сопровождение ежегодного весеннего внесения ПУУС позволяет воплотить туковысевающий аппарат АТП-2Г, предназначенный для высева стартовой дозы минеральных удобрений и их смесей в различных видах (в диапазоне от 20 до 1600 кг/га).

При максимальной общей (совокупной) норме ПУУС в 1600 кг/га и при обозначенных выше соотношениях между компонентами общая масса ПС и ФМ (2 доли из 2,6, то есть без учета массовой доли азотной кислоты) составила 1231 кг/га, ДМ (0,6 доля) – 369 кг/га. Это эквивалентно приблизительно 110 кг/га азота (в ПУУС 7 %), 60 кг/га доступного фосфора (4 %) и около 1 кг/га калия (0,08 %).

Содержание калия в ПУУС незначительное (массовая доля 0,08 %), поэтому возмещали его традиционным минеральным удобрением – хлористым калием. В опыте доза составила 30 кг/га (K₃₀). Вносили осенью.

Химические анализы почвы и растений выполняли в лаборатории кафедры агрономии, агрохимии и защиты растений ФГБОУ ВО РГАТУ, в ФГБУ «САС «Рязанская», в ФГБУ САС «Подвязьевская», в испытательном центре факультета почвоведения ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», в испытательной лаборатории ООО «МегаМикс Комбикорма»,

в лаборатории минералогии и микроморфологии почв Почвенного института имени В.В. Докучаева.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Глава 3. Оценка плодородия агросерой почвы

3.1. Общая агрохимическая и физико-химическая характеристика

Общая агрохимическая характеристика почвы представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Агрохимическая характеристика агросерой легкосуглинистой

ПОЧВЫ

Слой, см	Обменный К ₂ O, мг/кг	Общий К, %	Подвижный Р ₂ O ₅ , мг/кг	Общий Р, %	Общий N, %	N-NO ₃ , мг/кг	Гумус, %
0-20	156,7±26	1,0±0,003	211,3±13	0,04±0,001	0,13±0,002	24,7±0,4	2,3±0,08
20-30	114,7±12	0,9±0,003	171,3±3	0,03±0,001	0,14±0,03	20,5±2,3	1,9±0,05

Нормативы оптимального содержания гумуса для агросерой легкосуглинистой почвы Среднерусской провинции установлены в пределах 2,3-3,0 % (Зонально-провинциальные нормативы..., 2010). В опытной почве содержание гумуса соответствовало минимально допустимому уровню. В целом плодородие агросерой почвы можно расценить как неудовлетворительное. В исследуемой почве низкое значение суммы обменных оснований (7-8 ммоль/100 г почвы), что приблизительно в 1,5 раза меньше эталонных значений для агросерых суглинистых почв (таблица 2).

Таблица 2 – Физико-химическая характеристика агросерой легкосуглинистой

ПОЧВЫ

Слой, см	pH _{KCl}	ЕКО, мг-экв/100 г	Сумма поглощенных оснований, ммоль/100 г	<0,01, %
0-20	5,4±0,03	26,0±1,0	8,2±0,5	24,6±0,6
20-30	5,4±0,03	26,0±1,0	7,3±0,2	24,8±1,2

В паре с емкостью катионного обмена это может свидетельствовать об ухудшении поверхностных свойств исследуемой почвы. В этой связи считаем, что наряду с общими агрохимическими свойствами почвы в оценке плодородия почвы необходимо учитывать ее структурно-субстантивные характеристики. Наряду с содержанием гумуса, к ним можно отнести ценные тонкодисперсные и глинистые фракции.

3.2. Оценка тонкодисперсных почвенных фракций

Источниками тонкодисперсных фракций в почве являются почвенные минералы. В таблице 3 представлены данные по минералогическому составу. Известно, что каолиниты, хлориты, гидрослюды имеют невысокую ЕКО. В исследуемой почве их содержание составило во фракции ила в слое 0-30 см 70-

77 %, смектитовых минералов с высокой ЕКО 23-30 %, в почве – около 17 % и 5-7 % соответственно.

В слое почвы 0-30 см содержание кварца, хлоритов, калиевых полевых шпатов и плагиоклаз составляло в мелкой пыли в сумме 60-64 %.

Таблица 3 – Минералогический состав ила и почвы в целом

Слой, См	Каолинит+ хлорит	Гидрослюда	Смектит	Каолинит+ хлорит	Гидрослюда	Смектит
	% во фракции ила			% в почве в целом		
0-20	14,0±0,6	62,6±1,7	23,6±0,8	3,1±0,4	14,3±2,2	5,4±0,8
20-30	12,4±0,4	57,4±4,6	30,4±4,4	3,0±0,5	13,6±1,3	7,2±1,6

3.3. Краткая оценка плодородия агросерой почвы (на примере хозяйства) и обоснование выбора состава почвоулучшающей удобрительной смеси по материалам почвенного мониторинга

За 10 лет использования агросерой почвы pH_{KCl} достоверно (при $p=0,03$) увеличилась на 0,3 ед. (таблица 4). Незначительно повысилась (абс.) доля сильнокислых почв – на 1,6 %, значительно – с 12,4 до 44,4 % среднекислых почв, доля почв со слабокислой и близких к нейтральной реакции среды уменьшилось на 32,1 % (с 71,7 до 39,6 %) и 5,4 % (с 15,5 до 10,1 %) соответственно. Несмотря на увеличение почв с pH_{KCl} 5,6-6,0, в целом можно отметить обострение проблемы подкисления агропочв.

Таблица 4 – Результаты мониторинга обменной кислотности агросерой ПОЧВЫ

Годы обследования	pH_{KCl} <4,5		pH_{KCl} 4,6-5,0		pH_{KCl} 5,1-5,5		pH_{KCl} 5,5-6,0		pH_{KCl} 6,0-7,0		$\bar{X}_{с.в.}$	\bar{X}
	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%		
2005	0	0	511	12,4	2948	71,7	638	15,5	15	0,4	5,4	5,5
2015	66,0	1,6	1826	44,4	1630	39,6	416	10,1	175	4,3	5,2	5,2
Изменение		1,6		32,0		-32,1		-5,4		3,9	-0,2	5,3 $p=0,03$

Примечание: $\bar{X}_{с.в.}$ – средневзвешенное, \bar{X} – среднеарифметическое

Средневзвешенное значение подвижного фосфора и обменного калия в 2005 году соответствовали высокой обеспеченности, через 10 лет содержание элементов достоверно ($p<0,01$) снизилось на 66 и 20 мг/кг (таблица 5). Содержание Ca^{2+} достоверно снизилось: за 10 лет на 3 мг/100 г. Это произошло за счет доли почв с высоким (на 3,9 %) и повышенным содержанием (на 18,5 %).

Таблица 5 – Результаты мониторинга элементов питания агросерой суглинистой почвы

Годы обследования	Очень низкое и низкое		Среднее		Повышенное		Высокое		Очень высокое		$\bar{X}_{с.в.}$	\bar{X}
	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%		
2005	Подвижный фосфор, мг/кг											
	15	0,4	640	1,60	2300	5,0	1671	40,6	2132	51,8	265,2	261

Продолжение таблицы 5

2015	0	0	1110	2,70	6330	15,4	1913	46,5	1456	35,4	199,6	198
Изменение		-0,40		1,10		9,80		5,90		-16,40	-65,6	p<0,01 -63
2005	Обменный калий, мг/кг											
	15	0,4	551	13,4	2777	67,5	691	16,8	78	1,9	151,8	154
2015	297	6,0	1654	40,2	1669	40,6	354	8,6	154	3,7	131,9	135
Изменение		6,5		26,8		-27,0		-8,2		1,8	-19,9	p=0,05 -19,0
2005	Обменный кальций, мг-экв/100 г											
	0	0	72	1,8	3880	94,4	160	3,9	0	0	13	14
2015	0	0	992	24,1	3121	75,9	0	0,0	0	0	11	11
Изменение		0		22,4		-18,5		-3,9		0	-3	p<0,01 -3

Обоснование выбора состава ПУУС по материалам почвенного мониторинга. Комплексный мониторинг должен предусматривать систематический анализ состояния не только агрохимических, физико-химических и других почвенных свойств, но и показателей, которые отражают фундаментальную характеристику почвы. Например, минералогический состав самой почвы и ее фракций. Установлено высокое содержание в агросерой суглинистой почве инертных минералов в почве, в иле и мелкой пыли. Поэтому необходимо контролировать, предотвращать интенсивное разрушение минералов группы смектитов с высокими значениями ЕКО и обогащать ими почвы путем внесения суглинка.

Установлено достоверное увеличение кислотности агросерой почвы, снижение в ней подвижных форм фосфора, азота, калия. Отмеченные изменения за некоторым малым исключением вписываются в общие тенденции, характерные для агропочв регионов России. Для улучшения фосфатного статуса почвы целесообразно наряду с традиционными минеральными удобрениями систематически использовать самое дешевое и технологически простое удобрение – фосфоритную муку. Добавляя к фосфоритной муке доломитовую муку, можно снизить кислотность почвы. Как показывают некоторые публикации, эффективность фосфоритной муки не снижается на периодически известкованных почвах, то есть при более высоких значениях рН (Н.А. Кирпичников, 2018). Отсюда можно предположить, что доломитовая мука не окажет существенного влияния на снижение доступности фосфора фосфоритной муки. Как один из вариантов частичной компенсации выноса азота можно предложить обогащение почвоулучшающей смеси азотом с соблюдением всех необходимых экологических норм. В качестве источника азота может служить азотная кислота.

Глава 4. Некоторые условия минимизации потерь азота при получении почвоулучшающей удобрительной смеси, хемоактивирующая роль азотной кислоты и поведение азота (по материалам лабораторных опытов)

Для снижения химической агрессивности азотной кислоты при производстве ПУУС, мы предположили, что в условиях низких температур активность кислоты снижается. Поэтому обработка ею компонентов ПУУС (смеси ПС и ФМ) не приведет к интенсивному разложению, и кислота успеет физически адсорбироваться, нитратные формы азота закрепиться и удерживаться тонкодисперсными компонентами без выделения оксидов азота. Для подтверждения предположения был заложен лабораторный опыт 1.1. Он показал, что применение охлажденной азотной кислоты замедляет реакцию ее взаимодействия с железом. Это видно по выделению диоксида азота с характерным бурым цветом (рисунок 1). В вариантах 1 и 3 с охлажденной азотной кислотой выделение диоксида азота не обнаружено. По истечению 25-30 минут температура охлажденной азотной кислоты приобрела составила 22 °С, и начался процесс выделения бурого газа – вариант 1 (рисунок 2).

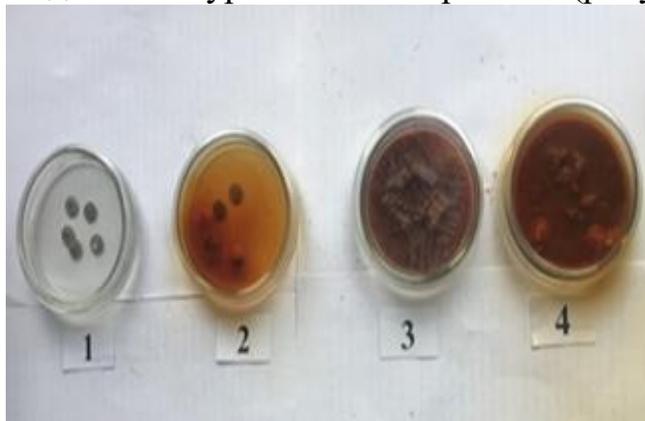


Рисунок 1 – Взаимодействие охлажденной азотной кислоты (варианты 1 и 3) и неохлажденной (варианты 2 и 4) с железом (варианты 3 и 4) и без него варианты (варианты 1 и 2)

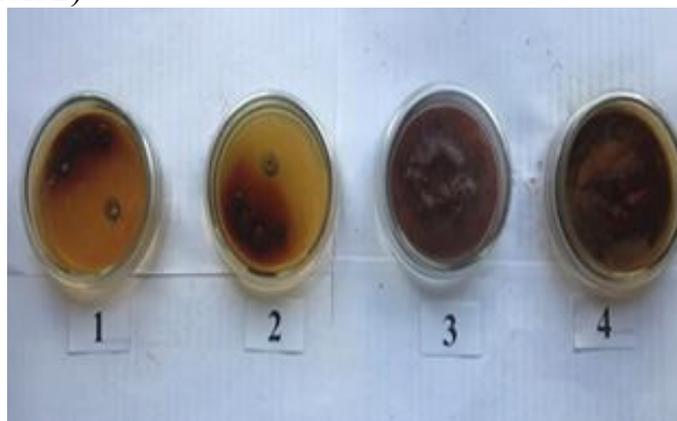


Рисунок 2 – Взаимодействие азотной кислоты с железом после 25-минутной экспозиции (нумерация вариантов аналогична рисунку 1)

На 3 варианте с ПС+ФМ такой эффект отсутствовал и в последствие он не наблюдался. Это дает основание предположить, что глинистые вещества в силу своей способности к физической сорбции поглотили азотную кислоту, предотвращая выделение диоксида азота. Выделение газа началось через 25-30 минут, следовательно, это то время, когда необходимо активно перемешивать кислоту с суглинком и фосфоритной мукой, необходимо проводить её нейтрализацию.

Для получения рассыпчатого и удобного для внесения ПУУС возникает необходимость его сушки после смешивания суглинка и азотной кислоты. Режим с высокой температурой не приемлем, так как возникнут потери азота в результате

улетучивания в форме оксидов азота. Это самое уязвимое место в технологическом процессе. Для изучения данного вопроса заложен лабораторный опыт 1.2. Увеличение температурного воздействия в процессе сушки привело к потерям нитратного азота в ПУУС. При $t > 70^{\circ}\text{C}$ содержание нитратов составило 23188 мг/кг. Это меньше по сравнению с вариантами, при $t < 40^{\circ}\text{C}$ и $t = 70^{\circ}\text{C}$ в 3,0 и 2,4 раза соответственно.

Таким образом, при получении ПУУС режим сушки должен быть щадящим и осуществляться при температуре около 40°C , необходимо исключить воздействие высоких температур.

До обработки ПС азотной кислотой он характеризовался невысокой долей песчаных частиц: в сумме она составила 3,6 %. На долю крупных и мелких пылеватых частиц – 53,6 и 14,5 % соответственно, глинистых частиц – 28,3 %. По В.В. Охотину, Г.П. Мазурову (1951), покровный суглинок классифицировался как суглинок тяжелый пылеватый. После взаимодействия с азотной кислотой содержание глинистых частиц уменьшилось до 17 % (абс.) или на 11,3 % (абс.), пылеватых частиц увеличилось. Таким образом, кислотный гидролиз не привел к полному разрушению глинистого материала в ПС. После обработки ПС азотной кислотой ЕКО составила 47,6 мг-экв/100 г, содержание K_2O увеличилось с 115 до 1250 мг/кг, подвижного фосфора с 20 до 76 мг/кг, нитратного и общего азота с 20 до 70132 мг/кг и с 0,1 до 2,7 % соответственно. Содержание валовой формы меди (8,9 мг/кг) и цинка (9,5 мг/кг) соответствовало ПДК.

Удобрительный эффект (доступность) зависит от мобильности элемента. В нашем случае мобильность азота устанавливали путем определения азота в почве после добавления к ней раствора, полученного в результате взаимодействия ПУУС с водой (лабораторный опыт 3).

Нитратный азот суглинка обладает высокой активностью. После кратковременного взаимодействия с водой мобильно трансформируется и закрепляется почвой. Содержание общего азота при условно-эквивалентной дозе 255 кг/га (отношение ПУУС к почве 5:80) достоверно увеличилось по сравнению с исходным уровнем (0,03 %) в 3 раза.

Для изучения поведения нитратов в системе ПУУС-почва был поставлен лабораторный опыт 4. Исходные данные по нитратам (43 мг/кг) отражает контроль без ПУУС (1-й цикл). После 2-го цикла разбавления содержание нитратов на контроле снизилось на 10 мг/кг (рисунок 3). Данные лабораторного опыта 4 подтверждают результаты опыта 3 в отношении активной трансформации нитратного азота из ПУУС в раствор.

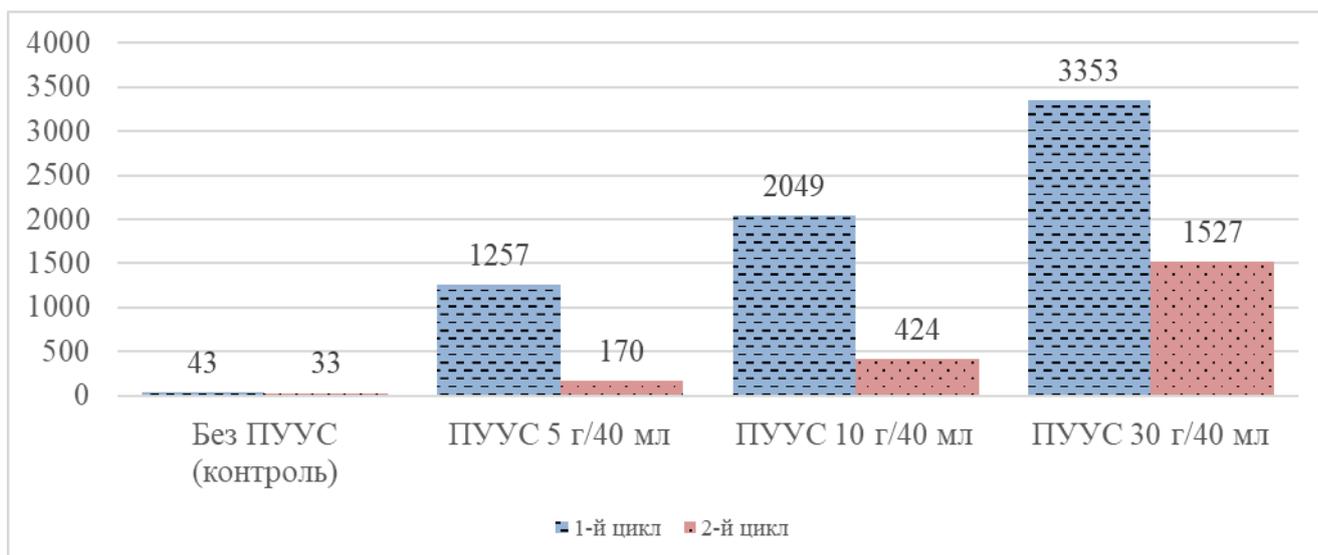


Рисунок 3 – Содержание нитратов в почве, мг/кг

В пределах одной условной дозы ПУУС между циклами различия по содержанию нитратов в почве проявилось следующим образом: в 7,4 раза для дозы 5 г/40 мл; в 4,8 раза для дозы 10 г/40 мл и в 2,2 раза для дозы 30 г/40 мл, то есть с ее увеличением возрастает остаточное количество нитратов. В указанном выше возрастающем ряду (контроль – ПУУС 5 г/мл – ПУУС 10 г/мл – ПУУС 30 г/мл) количество нитратов после 2-го цикла разбавления относительно 1-го цикла составило 14 % (170/1257), 21 % и 46 %.

Условия лабораторного опыта не отражают реальность полевой обстановки. Воспроизвести лабораторным путем реальных соотношений удобрения к почвенному раствору невозможно, тем более что влажность почвы динамичный показатель. Тем не менее, выявленные тенденции, достоверность которых подтверждена статистически, позволяют сделать предположение: нитратный азот ПУУС относительно активен, но в тоже время его вымывание не одномоментное. Следовательно, не следует ожидать быстрого исчерпания нитратов из ПУУС.

В лабораторном опыте 5, чтобы установить хемоактивирующую роль азотной кислоты фосфоритной муки рассматривали как самостоятельный компонент и совместно с доломитом. Установлено, что на вариантах с обработкой модифицирующей азотной кислотой и без нее содержание массовой доли усвояемых (в лимонной кислоте) и водорастворимых фосфатов на варианте с доломитом оказалось одинаковым – менее 3,0 %.

Суммарное содержание азота при однократной обработке ФМ с доломитом составило 2,39 %, на контролях 1 и 2 (без добавления азотной кислоты) около 0,26 %. Дополнительное использование азотной кислоты увеличило содержание общего азота до 6,3 %, массовой доли усвояемых фосфатов до 14 %, водорастворимых фосфатов до 3,5 %.

Положительную роль доломитовой муки можно рассматривать с точки зрения связывания азотной кислоты с образованием легкорастворимого нитрата кальция. Однако кальций доломита связывает фосфаты. Двукратная обработка

азотной кислоты позволяет частично растворить фосфаты. На это указывают данные по усвояемым и водорастворимым фосфатам, содержание которых увеличилось до 5,0 % и 3,0 % соответственно. При однократной обработке содержание указанных форм фосфатов не превышало 3,0 %.

Глава 5. Эффективность почвоулучшающей удобрительной смеси на некоторые агрохимические параметры

По истечении месяца после закладки опыта различия по содержанию нитратов в почве между контролем и фоном, а также стандартом 1 были недостоверными: различия были в пределах 27-30 мг/кг (таблица 6).

Таблица 6 – Агрохимическая характеристика агросерой почвы (слой 0-20 см) через месяц после посева (в среднем за 2020-2022 гг.)

Варианты	N-NO ₃ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	pH _{KCl}	ЕКО, мг-экв/100 г
1. Без ПУУС (контроль)	27±2	149±3	205±3	5,4±0,12	25±1,1
	1 vs 4,5,6,7,8 p<0,05*	1 vs 4,7,8 p<0,05	1 vs 2,3,4,5,6,7,8 p<0,05	1 vs 7,8 p<0,05	p>0,05
2. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (фон)	29±3	153±4	217±3	5,4±0,06	Не опр.
	2 vs 5,6,7,8 p<0,05	2 vs 4 p<0,05	2 vs 1,7,8 p<0,05	2 vs 7,8 p<0,05	
3. Стандарт 1 (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	30±2	153±4	218±5	5,5±0,10	Не опр.
	3 vs 5,6,7,8 p<0,05	3 vs 4 p<0,05	3 vs 1,7,8 p<0,05	p>0,05**	
4. Стандарт 2 (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	35±3	167±1	220±4	5,5±0,12	Не опр.
	4 vs 6,7,8 p<0,05	4 vs 5,6 p<0,05	4 vs 1,7,8 p<0,05	p>0,05	
5. ПУУС 800 кг/га K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀	40±2	154±3	221±3	5,6±0,12	25±1,3
	5 vs 6,8 p<0,05	5 vs 4,6 p<0,05	5 vs 1,7,8 p<0,05	p>0,05	p>0,05
6. ПУУС 1600 кг/га K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀	54±3	156±3	224±3	5,6±0,15	26±1,0
	6 vs 7 p<0,05	6 vs 4 p<0,05	6 vs 1,7,8 p<0,05	p>0,05	p>0,05
7. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 800 кг/га (N ₅₅ P ₃₀)	44±1	160±3	240±4	5,7±0,03	Не опр.
	7 vs 1,2,3,4,6,8 p<0,05	7 vs 1 p<0,05	7 vs 1,2,3,4,5,6 p<0,05	7 vs 1,2 p<0,05	
8. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 1600 кг/га (N ₁₁₀ P ₆₀)	59±4	163±5	243±4	5,7±0,10	Не опр.
	8 vs 1,2,3,4,5,7 p<0,05	8 vs 1 p<0,05	8 vs 1,2,3,4,5,6 p<0,05	8 vs 1,2 p<0,05	

Примечание: *1 vs 4,5,6,7,8 p<0,05 – различия достоверные при сравнении варианта 1 с 4,5,6,7,8; цифры соответствуют порядковым номерам в графе «вариант»; в других ячейках аналогично; ** p>0,05 – достоверные различия отсутствуют между всеми парами вариантов

По-видимому, за это время при дозе минерального азотного удобрения 40-55 кг/га даже при влажности почвы 75 % от ППВ, интенсивное образование нитратов в нашем случае не происходило. С увеличением дозы азота до 110 мг/кг, использования ПУУС как на минеральном фоне, так и без него наблюдалось повышение нитратов в почве. Максимальное их содержание (54-59 кг/га)

зафиксировано на варианте с нормой ПУУС 1600 кг/га. Например, достоверное ($p < 0,05$) различие между 6 и 4 вариантом составило 19 мг/кг, 5 и 3 вариантом – 10 мг/кг, для сравнения между стандартами с эквивалентами по отношению к ПУУС дозами НРК (3 и 4 варианты) – всего 5 мг/кг (таблица 6). Это дает нам основание предположить, что представленный в ПУУС нитратный азот, часть которого находится в адсорбированном состоянии, активнее взаимодействует с почвой.

В самый начальный период развития растений их азотное питание будет обеспечиваться за счет почвоулучшающей удобрительной смеси. Наибольшую достоверную разницу по сравнению с контролем (32 мг/кг) обеспечил вариант ПУУС 1600 на фоне минеральных удобрений, чуть меньше (27 мг/кг) – вариант ПУУС 1600 без фона. Однако, учитывая, что различия между 6 и 8 вариантами оказались недостоверными ($p = 0,353$) можно предположить, что фон не оказал влияние на образовании нитратов через месяц после посева.

На увеличение содержания K_2O в почве ПУУС достоверного влияния не оказала, это было обусловлено минеральными удобрениями. ПУУС в дозах 800 и 1600 кг/га обеспечила достоверное повышение содержания подвижного фосфора на 16 и 19 мг/кг соответственно (таблица 7).

Таблица 7 – Агрохимическая характеристика агросерой почвы (слой 0-20 см) к моменту уборки (в среднем за 2020-2022 гг.)

Вариант	N-NO ₃ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	pH _{KCl}	ЕКО, мг-экв/100 г
1. Без ПУУС (контроль)	18±2	121±4	181±3	5,4±0,06	25±1,5
	1 vs 4,5,6,7,8 $p < 0,05$	1 vs 2-8 $p < 0,05$	1 vs 2-8 $p < 0,05$	1 vs 5,6,7,8 $p < 0,05$	$p > 0,05$
2. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (фон)	22±2	143±3	230±5	5,4±0,11	Не опр.
	2 vs 4,5,6,7,8 $p < 0,05$	2 vs 1 $p < 0,05$	2 vs 1 $p < 0,05$	2 vs 5,6 $p = 0,08$	
3. Стандарт (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	27±4	147±4	233±4	5,5±0,06	Не опр.
	3 vs 7,8 $p < 0,05$	3 vs 1 $p < 0,05$	3 vs 1 $p < 0,05$	3 vs 5,6,8 $p < 0,05$	
4. Стандарт (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	33±2	154±3	243±3	5,4±0,10	Не опр.
	4 vs 1,2,7,8 $p < 0,05$	4 vs 1 $p < 0,05$	4 vs 1,5,6 $p < 0,05$	4 vs 5,6,8 $p < 0,05$	
5. ПУУС 800 кг/га (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	39±3	150±3	227±2	5,7±0,06	26±1,3
	5 vs 1,2,8 $p < 0,05$	5 vs 1 $p < 0,05$	5 vs 1,4,7,8 $p < 0,05$	5 vs 1,2,3,4 $p < 0,05$	$p > 0,05$
6. ПУУС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	41±4	156±5	232±2	5,7±0,06	25±1,3
	6 vs 1,2 $p < 0,05$	6 vs 1 $p < 0,05$	6 vs 1,4 $p < 0,05$	6 vs 1,2,3,4 $p < 0,05$	$p > 0,05$
7. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУУС 800 кг/га (N ₅₅ P ₃₀)	44±3	147±3	240±3	5,6±0,06	Не опр.
	7 vs 1,2,3,4 $p < 0,05$	7 vs 1 $p < 0,05$	7 vs 1,5 $p < 0,05$	7 vs 1 $p < 0,05$	
8. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУУС 1600 кг/га (N ₁₁₀ P ₆₀)	50±3	148±3	243±4	5,7±0,06	Не опр.
	8 vs 1,2,3,4,5 $p < 0,05$	8 vs 1 $p < 0,05$	8 vs 1,5 $p < 0,05$	8 vs 1,3,4 $p < 0,05$	

Сопоставляя величины содержания нитратов на контроле с опытными вариантами с ПУУС, нитратный фон к моменту уборки оставался выше при использовании экспериментального удобрения. В зависимости от фона достоверный эффект, оцениваемый по разнице с контролем, можно оценить в размере 23-32 мг/кг нитратов.

К моменту уборки стали более четко проявляться различия по подвижному фосфору. Это связано с тем, что для высвобождения фосфора из почвоулучшающей смеси требуется определенное время. Так, при сравнении 5 и 6 вариантов, то есть при увеличении нормы внесения ПУУС в два раза содержание подвижного фосфора увеличилось на 5 мг/кг. При сравнении опытных вариантов с ПУУС без фона с соответствующими стандартами (варианты 5 и 3, 6 и 4) установлено, что на стандартных вариантах содержание фосфора оказалось выше на 6 мг/кг. Однако схожие значения (232-233 мг/кг) между вариантами с нормой внесения ПУУС 1600 кг/га и первым стандартом, рассчитанным для нормы 800 кг/га ($K_{30}+N_{55}P_{30}$) указывают на наличие равнозначного эффекта фосфатного питания при условии дозы внесения суперфосфата 30 кг/га.

Использование экспериментальной почвоулучшающей удобрительной смеси не только не привело к повышению обменной кислотности, но даже способствовало ее снижению в сравнении с контролем и вариантами со стандартными минеральными удобрениями сравнения (таблица 8). Как видно, по варианту ПУУС 800 и 1600 кг/га достоверная разница составила 0,2-0,3 ед. рН.

Уловить изменения в гранулометрическом составе в краткосрочной перспективе не представляется возможным. По-видимому, эффект от ПУУС будет аккумулятивным от регулярного его применения. Емкость катионного обмена суглинка составила 47,6 мг-экв/100 г. Ожидать проявление кумулятивного эффекта можно на 10-й год применения ПУУС (через 5 лет достоверные различия не выявлены, так как $p=0,423$). Зависимость ЕКО от временного интервала в 5 лет можно описать прямолинейной зависимостью: $Y=25+0,5X$ ($r=0,9$; $p<0,01$; $S_e=0,07$).

Глава 6. Влияние почвоулучшающей удобрительной смеси на урожайность ячменя и технологические качества зерна

Полевой опыт 1. Все опытные варианты за исключением ПУУС 50 кг/га N обеспечили достоверную прибавку в сравнении с контролем ($p<0,05$). Сравнение урожайных данных между ПУУС с дозами N 50 и 100 кг/га и соответствующими по дозе стандартным удобрением показало близкие эффекты их влияния на урожайность ячменя при дозе 50 кг/га, так как в этом случае отсутствовали достоверные различия между ними ($p>0,05$) при разнице средних значений 0,6 т/га (вариант 2 и 4), аналогичные результаты установлены при сравнении пары вариантов аммиачной селитры и ПУУС с дозой внесения 100 кг/га N (варианты 3 и 5) (таблица 8). Это дает нам основание предположить, что экспериментальная смесь на основе суглинка и азотной кислоты по эффективности не уступает традиционному минеральному удобрению.

Качество зерна ячменя определяли в контрольном варианте (без удобрений), в вариантах с дозой внесения ПУУС 100 кг/га N и с эквивалентной дозой

аммиачной селитры 100 кг/га. На данных вариантах увеличилось содержание (абс.) протеина по сравнению с контролем на 3,0 % (10 %), общего азота на 0,7 % (2,3 %). Одновременно с этим отмечаются изменения и по содержанию аминокислот: лизина – на 0,05 % (0,4 %), метионина – на 0,05 % (0,2 %), треонина – на 0,08 % (0,4 %), валина – на 0,07 % (0,6 %), цистина и цистеина – на 0,06 % (0,27 %), аргинина – на 0,15 % (0,63 %).

Таблица 8 – Урожайность ярового ячменя и проверка на достоверность различий (в среднем за 2017-2019 гг.)

Сравниваемая пара вариантов	X	X ₁ -X ₂	Sx ₁ -Sx ₂	p	Доверительный интервал разности	
					-95 %	+95 %
Контроль	2,0	-0,75	0,48	0,05	-0,01	1,51
ПУУС 50 кг/га N	2,8					
Контроль	2,0	-1,40	0,50	0,01	0,60	2,20
ПУУС 100 кг/га N	3,4					
Контроль	2,0	-1,40	0,50	0,01	0,60	2,20
NH ₄ NO ₃ 50 кг/га N	3,4					
Контроль	2,0	-1,80	0,55	0,007	0,93	2,67
NH ₄ NO ₃ 100 кг/га N	3,8					
ПУУС 50 кг/га N	2,8	-0,45	0,41	0,11	-0,21	1,11
ПУУС 100 кг/га N	3,2					
ПУУС 50 кг/га N	2,8	-0,65	0,26	0,02	0,23	1,07
NH ₄ NO ₃ 50 кг/га N	3,4					
ПУУС 50 кг/га N	2,8	-1,05	0,26	0,004	0,63	1,47
NH ₄ NO ₃ 100 кг/га N	3,8					
ПУУС 100 кг/га N	3,2	-0,20	0,55	0,51	-0,67	1,07
NH ₄ NO ₃ 50 кг/га N	3,4					
ПУУС 100 кг/га N	3,2	-0,60	0,18	0,007	0,31	0,89
NH ₄ NO ₃ 100 кг/га N	3,8					
NH ₄ NO ₃ 50 кг/га N	3,4	-0,40	0,45	0,17	-0,32	1,12
NH ₄ NO ₃ 100 кг/га N	3,8					

Достоверные различия по качеству зерна между вариантами с ПУУС и эквивалентной дозой аммиачной селитры не проявились.

Полевой опыт 2. Во все годы исследований прослеживалась практически одна и та же тенденция. На вариантах с минеральными удобрениями и ПУУС урожайность ячменя оказалась достоверно (при $p < 0,05$) выше контрольного варианта без удобрений (таблица 9).

По сравнению с контролем на варианте с ПУУС 800 и 1600 кг/га прибавка составила 0,8 т/га; при использовании их совместно с минеральными удобрениями в дозе N₄₀P₄₀K₄₀ прибавка составила – около 2,0 т/га.

По влиянию на урожайность ячменя эффективность экспериментальной смеси с нормой 800 кг/га была сопоставима с влиянием эквивалентной дозы стандартного удобрения K₃₀+N₅₅P₃₀, так как достоверные различия между вариантами установлены не были ($p=0,6$).

По-видимому, с увеличением внесения почву элементов питания за счет минеральных удобрений (стандарт 2) происходит то, что они начинают превосходить по эффективности действие ПУУС 1600 кг/га с эквивалентными дозами НРК, так как при сравнении фиксируется достоверная разница по урожайности в размере 0,4 т/га.

Таблица 9 – Урожайность зерна ячменя, т/га

Вариант	Годы			Средняя
	2020 г	2021 г	2022 г	
1. Без ПУУС (контроль)	2,6±0,11 1 vs 2-8 p<0,05	2,4±0,13 1 vs 2-8 p<0,05	2,4±0,09 1 vs 2-8 p<0,05	2,5±0,06
2. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (фон)	3,3±0,11 2 vs 1,4,7,8 p<0,05	2,9±0,16 2 vs 1,4,6,7,8 p<0,05	2,9±0,09 2 vs 1,3,4,6,7,8 p<0,05	3,0±0,09
3. Стандарт 1 (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	3,5±0,21 3 vs 1, 7,8 p<0,05	3,1±0,07 3 vs 1, 4, 7,8 p<0,05	3,1±0,15 3 vs 1, 4, 7,8 p<0,05	3,2±0,10
4. Стандарт 2 (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	4,0±0,13 4 vs 1,2,6,8 p<0,05	3,7±0,15 4 vs 1,2,5, 6,8 p<0,05	3,5±0,12 4 vs 1,6,7,8 p<0,05	3,7±0,09
5. ПУУС 800 кг/га K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀	3,6±0,17 5 vs 1,7,8 p<0,05	3,0±0,13 5 vs 1,7,8 p<0,05	3,3±0,18 5 vs 1,7,8 p<0,05	3,3±0,11
6. ПУУС 1600 кг/га K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀	3,5±0,12 6 vs 1,4,7,8 p<0,05	3,3±0,09 6 vs 1,2,4,7,8 p<0,05	3,1±0,09 6 vs 1,2,4,7,8 p<0,05	3,3±0,07
7. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУУС 800 кг/га (N ₅₅ P ₃₀)	4,4±0,27 7 vs 1,2,3,5,6 p<0,05	4,0±0,14 7 vs 1,2,3,5,6 p<0,05	4,0±0,15 7 vs 1,2,3,4,5,6 p<0,05	4,1±0,12
8. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУУС 1600 кг/га (N ₁₁₀ P ₆₀)	4,7±0,20 8 vs 1,2,3,4,5,6 p<0,05	4,4±0,19 8 vs 1,2,3,4,5,6 p<0,05	4,4±0,18 8 vs 1,2,3,4,5,6 p<0,05	4,5±0,11

Далее был произведен расчет балансов элементов питания (НРК) в агросерой легкосуглинистой почве. Баланс азота на всех вариантах оказался отрицательный. На контроле и фоне значения варьировали от -77,9 до -55,6 соответственно. На варианте ПУУС 800 кг/га баланс азота составил -51,7 кг/га, ПУУС 1600 кг/га -5,3, что сопоставимо с эквивалентными дозами стандартных минеральных удобрений. С незначительными вариациями аналогичные тенденции проявились в отношении калия и фосфора.

Глава 7. Экономическая эффективность

В расчете рентабельности принимали во внимание дополнительные затраты на приобретение покровного суглинка, фосфоритной и доломитовой муки, азотной кислоты. Покровный суглинок является вскрышной породой при добыче природных глин. Себестоимость его доставки к месту изготовления ПУУС в радиусе 30 км составляет 700 рублей в пересчете на 1 га.

В опыте использовали фон и стандартные минеральные удобрения в качестве эталона сравнения – аммиачную селитру (20000 руб./т), хлористый калий (30000 руб/т), суперфосфат двойной (32000 руб./т). Стоимость продукции рассчитывали исходя из цены на зерно – 13000 руб./т. Несколько заниженные значения рентабельности на вариантах с ПУУС – 23 % и 17 % в зависимости от нормы внесения объясняется дополнительными затратами на изготовление

оборудования. Применение экспериментальной смеси на фоне минеральных удобрений повысило рентабельность до 29 % и 26 % (рисунок 4).

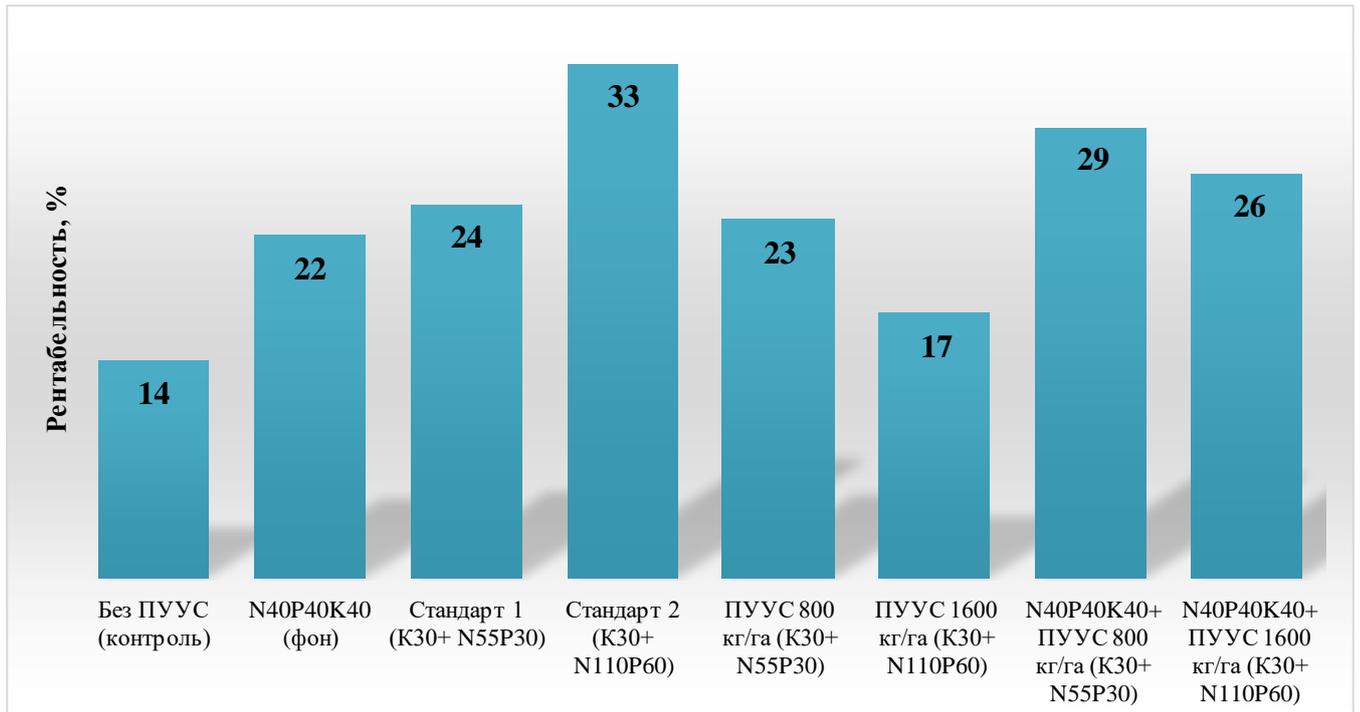


Рисунок 4 – Рентабельность предлагаемых вариантов исследований, %

При внесении под ячмень дозы ПУУС 800 кг/га и эквивалентной дозы минеральных удобрений рентабельность $K_{30}+N_{110}P_{60}$ рентабельность оказалась одинаковой – 23-24 %. При использовании дозы ПУУС 1600 кг/га рентабельность снизилась относительно стандартного варианта 2 на 16 % (абс.) и составила 17 %. Это связано с дополнительными издержками, связанными с хранением компонентов почвоулучшающей смеси (требуется больше площади).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. За 10 лет использования агросерой почвы $pH_{КС}$ достоверно увеличилась на 0,3 ед. Незначительно повысилась доля сильнокислых почв – на 1,6 % (абс.), значительно – с 12,4 до 44,4 % (абс.) среднекислых почв, доля почв со слабокислой и близких к нейтральной реакции среды уменьшилось на 32,1 % (абс.) (с 71,7 до 39,6 %) и 5,4 % (абс.) (с 15,5 до 10,1 %) соответственно. Средневзвешенное содержание подвижного фосфора и обменного калия через 10 лет достоверно снизилось на 66 и 20 мг/кг соответственно.

2. Комплексный мониторинг должен предусматривать систематический анализ состояния не только агрохимических, физико-химических и других почвенных свойств, но и показателей, которые отражают фундаментальную характеристику почвы. Например, минералогический состав самой почвы и ее фракций. В слое 0-30 см исследуемой почвы на текущий момент времени

содержание инертных минералов (каолинит, хлорит, гидрослюда) составило во фракции ила 70-77 %, смектитовых минералов с высокой ЕКО 23-30 %, в почве – около 17-18% и 5-7% соответственно. В мелкой пыли содержание инертных минералов превысило 60 %.

Повышение в агросерой почвы инертных минералов с низкими значениями емкости катионного обмена и удельной поверхностью может свидетельствовать о деградации тонкодисперсных компонентов суглинистой агросерой почвы. Поэтому необходимо восполнять их потери. В противном случае в агросерых среднесуглинистых почвах с низким содержанием гумуса (не более 2,1 %) формируются неудовлетворительные физико-химические свойства – емкость катионного обмена и сумма обменных оснований не будет превышать 24-27 мг-экв/100 г и 7,3-9,2 ммоль/100 г соответственно для слоя 0-20 см и 25-28 мг-экв/100 г и 6,9-7,6 ммоль/100 г для слоя 20-30 см.

3. В качестве альтернативного источника тонкодисперсных фракций и элементов питания может служить хемоактивированная азотной кислотой (56 %) почвоулучшающая смесь, состоящая из компонентов, получаемых из местных ресурсов – суглинка, фосфоритной и доломитовой муки и азотной кислоты с соотношением 1 : 0,6 : 1 с содержанием глинистых частиц 17 %, общего азота 7 %, доступного фосфора 4 %, общего калия 0,08 % при обменной кислотности 5,8 ед.

4. При использовании почвоулучшающей смеси как на минеральном фоне ($N_{40}P_{40}K_{40}$), так и без него наблюдалось повышение содержания нитратов в почве через месяц после внесения под ячмень. Максимальное их содержание (54-59 мг/кг) зафиксировано на варианте с нормой экспериментальной смеси 1600 кг/га (эквивалентно $N_{110}P_{60}$). Это на 27 и 32 мг/кг больше контрольного варианта, а по сравнению со стандартным вариантом с минеральными удобрениями (аммиачная селитра + двойной суперфосфат) содержание при использовании смеси в чистом виде было больше на 19 мг/кг, следовательно, из нее нитратный азот активнее переходит в почвенный раствор.

5. К моменту уборки стали более четко проявляться различия по подвижному фосфору. Схожие значения (232-233 мг/кг P_2O_5) между вариантами с нормой внесения удобрительной смеси 1600 кг/га и стандартным вариантом ($N_{55}P_{30}$) указывают на наличие равнозначного эффекта фосфатного питания при условии дозы внесения суперфосфата 30 кг/га.

6. Модельным путем установлено, что за счет внесения суглинка за 20 лет значение ЕКО может увеличиться на 10 мг-экв/кг.

7. Почвоулучшающая смесь положительно повлияло на урожайность ячменя. По сравнению с контролем на варианте с экспериментальной смесью 800 и 1600 кг/га прибавка составила 0,8 т/га; при использовании их совместно с минеральными удобрениями в дозе $N_{40}P_{40}K_{40}$ прибавка была еще больше – около 2,0 т/га. Экспериментальная смесь с нормой 800 кг/га не уступала своему стандартному варианту, так как достоверные различия установлены не были. Норму экспериментальной смеси 1600 кг/га несмотря на то, что она уступила стандартному аналогу, можно по эффективности на урожайность ячменя приравнять к дозе минеральных удобрений в дозе $N_{55}P_{30}$.

8. При использовании дозы внесения ПУУС 100 кг/га N и эквивалентной дозы аммиачной селитры 100 кг/га установлено увеличение содержания протеина по сравнению с контролем на 3,0 % (абс.), общего азота на 0,7 % (абс.). Одновременно с этим отмечаются изменения и по содержанию аминокислот: лизина – на 0,05 %, метионина – на 0,05 %, треонина – на 0,08 %, валина – на 0,07 %. Цистина и цистеина на варианте с ПУУС было больше по сравнению с контролем на 0,06 %, аргинина – на 0,15 %. По содержанию сырой клетчатки, сырого жира, и сырой золы достоверные различия установлены не были. Содержание крахмала в контрольном варианте больше чем на варианте с внесением ПУУС 100 кг/га N и с эквивалентной дозой аммиачной селитры на 1,5-1,8 %. Достоверные различия по качеству зерна между вариантами с ПУУС и эквивалентной дозой аммиачной селитры не проявились.

9. Использование почвоулучшающей удобрительной смеси экономически выгодно. По сравнению с контролем рентабельность повысилась на 3-9 % и составила 17-23 %. При внесении под ячмень дозы ПУУС 800 кг/га и эквивалентной дозы минеральных удобрений рентабельность $K_{30+N_{110}P_{60}}$ рентабельность оказалась одинаковой – 23-24 %. При использовании дозы ПУУС 1600 кг/га рентабельность снизилась относительно стандартного варианта 2 на 16 % (абс.) и составила 17 %. Это связано с дополнительными издержками, связанными с хранением компонентов почвоулучшающей смеси (требуется больше площади).

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ

С целью повышения урожайности и качества продукции сельхозтоваропроизводителям возможно при производстве зерна ячменя на агросерой суглинистой почве использовать хемоактивированную азотную кислоту (56 %) и почвоулучшающую удобрительную смесь, состоящую из компонентов, получаемых из местных ресурсов – суглинка, фосфоритной и доломитовой муки, а также азотной кислоты с соотношением 1 : 0,6 : 1 : 0,8 с содержанием глинистых частиц 17 %, общего азота 7 %, доступного фосфора 4 %. Смесь можно вносить при посеве ячменя в дозе до 1600 кг/га туковывсевающим аппаратом АТП-2Г.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Настоящая работа не может всецело, исчерпывающим образом ответить на ряд вопросов, связанных с агрохимической оценкой экспериментальной почвоулучшающей удобрительной смеси. Для нее можно выбрать разные соотношения компонентов, включить другие, представить иные варианты по хемоактивации, провести испытания с последствием, в связи с чем необходимы дальнейшие исследования.

Другим перспективным направлением является решение технико-технологической проблемы получения почвоулучшающих удобрительных смесей непосредственно в хозяйстве при соблюдении санитарно-эпидемиологических правил и нормативов, экологических условий производства. В первую очередь это касается химически агрессивной азотной кислоты.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых научных журналах ВАК Министерства образования и науки РФ

1. Ручкина, А.В. Некоторые параметры устойчивости агросерой почвы / Р.Н. Ушаков, В.И. Левин, А.В. Ручкина и др. // *Агрохимия*. – 2019. – № 4. – С. 11-23.
2. Ручкина, А.В. Перспективность разработки и использования в качестве удобрительного средства глино-азотную удобрительную смесь / А.В. Ручкина, Р.Н. Ушаков, Н.А. Головина // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева*. – 2020. – № 3 (47). – С. 36-42.
3. Ручкина, А.В. К вопросу о плодородии серой лесной (агросерой) почвы / Р.Н. Ушаков, Д.В. Виноградов, А.В. Ручкина и др. // *АгроЭкоИнфо*. – 2020. – № 3 (41). – С. 18-22.
4. Ручкина, А.В. Оценка конституционной основы плодородия агросерой почвы / А.В. Ручкина, Р.Н. Ушаков, Н.Н. Новиков и др. // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. – 2021. – № 1. – С. 56-61.
5. Оценка и оптимизация плодородия агросерой почвы методами многомерного статистического анализа / Р.Н. Ушаков, Т.Ю. Ушакова, А.В. Ручкина и др. // *Агрохимия*. – 2022. – № 12. – С. 69-78.
6. Использование множественной регрессии для оценки комплексности плодородия серой лесной почвы / Ушаков Р.Н., Ручкина А.В., Левин В.И. и др. // *Плодородие*. – 2023. – № 6 (135). – С. 64- 68.
7. Ручкина А.В. Перспектива составления почвоулучшающей смеси на основе местных природных ресурсов при хемоактивации их азотной кислотой / А.В. Ручкина, Р.Н. Ушаков // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. – № 1. – 2024. – С. 58-63.

В журналах, входящих в международную базу Scopus

8. Ruchkina, A. Using the principal component analysis to assess some properties of agro-gray soil and bonitet / A. Ruchkina, R. Ushakov, O. Zaharova // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012016.

В других изданиях

9. Ручкина, А.В. Источники доступных для растений форм азота / Р.Н. Ушаков, А.В. Ручкина (под фамилией Кобелева), Е.В. Грошева // В сборнике:

Здоровая окружающая среда – основа безопасности регионов: материалы первого международного экологического форума в Рязани под ред. Е.С. Иванова. – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2017. Том 1. – С. 252-254.

10. Ручкина, А.В. Оценка агросерой почвы / Р.Н. Ушаков, А.В. Ручкина, Н.В. Громова и др. // В сборнике: Научно-инновационные технологии как фактор устойчивого развития отечественного АПК: Материалы Национальной научно-практической конференции (12 декабря 2019 г.). – Рязань: Издательство РГАТУ, 2020. – Часть II. – С. 202-207.

11. Оценка перспективности использования экспериментального мелиоративно-удобрительного средства на основе покровного суглинка и азотной кислоты / А.В. Ручкина, Р.Н. Ушаков, Т.Ю. Ушакова и др. // В сборнике: Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии. Материалы I национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой памяти д.т.н., профессора Н.В. Бышова. – 2021. – С. 108-113.

12. Экспериментальное мелиоративно-удобрительное средство на основе покровного суглинка и азотной кислоты / А.В. Ручкина, Р.Н. Ушаков, Т.Ю. Ушакова, Ф.Ю. Бобраков // В сборнике: Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Материалы XVII международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию образования НИ МГУ им. Н.П. Огарёва и памяти профессора С.А. Лапшина. – Саранск. – 2021. – С. 203-207.

13. Ручкина, А.В. Перспективность разработки и использования в качестве удобрительного средства нетрадиционное минеральное сырье / А.В. Ручкина, Р.Н. Ушаков // В сборнике: Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных агротехнологий. Министерство сельского хозяйства РФ ФГБОУ ВО РГАТУ – 2023. – С. 369-374.

14. Ruchkina, A.V. Agrochemical model of agro-grey forest soil stability / A.V. Ruchkina, R.N. Ushakov // В сборнике: Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования. Материалы IX национальная научно-практическая конференции молодых ученых и специалистов (на иностранных языках). – Воронеж. – 2023. – С. 248-254.