

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева»



На правах рукописи

Ручкина Анастасия Владимировна

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

4.1.3 Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Диссертация на соискание
ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор
Ушаков Роман Николаевич

Рязань – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УДОБРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ НЕТРАДИЦИОННЫХ И ТРАДИЦИОННЫХ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ.....	10
1.1. Проблема ухудшения плодородия почв.....	11
1.2. Значение глинистого вещества почвы.....	14
1.3. Альтернативные удобрения.....	19
ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	24
2.1. Почвенные условия.....	24
2.2. Климатические условия.....	25
2.3. Серия лабораторных опытов.....	30
2.4. Полевые опыты.....	35
2.5. Краткое обоснование выбора подхода для реализации задач.....	42
2.6. Методика исследований.....	44
ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ПЛОДОРОДИЯ АГРОСЕРОЙ ПОЧВЫ.....	47
3.1. Общая агрохимическая и физико-химическая характеристика.....	47
3.2. Оценка тонкодисперсных почвенных фракций	50
3.3. Краткая оценка плодородия агросерой почвы (на примере хозяйства) и обоснование выбора состава почвоулучшающей удобрительной смеси по материалам почвенного мониторинга.....	73
ГЛАВА 4. НЕКОТОРЫЕ УСЛОВИЯ МИНИМИЗАЦИИ ПОТЕРЬ АЗОТА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ПОЧВОУЛУЧШАЮЩЕЙ УДОБРИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ, ХЕМОАКТИВИРУЮЩАЯ РОЛЬ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ И ПОВЕДЕНИЕ АЗОТА (ПО МАТЕРИАЛАМ ЛАБОРАТОРНЫХ ОПЫТОВ).....	76

ГЛАВА 5. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОЧВОУЛУЧШАЮЩЕЙ УДОБРИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ НА НЕКОТОРЫЕ АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ.....	87
5.1. Содержание нитратов в почве.....	87
5.2. Прогноз изменения емкости катионного обмена.....	92
ГЛАВА 6. ВЛИЯНИЕ ПОЧВОУЛУЧШАЮЩЕЙ УДОБРИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯЧМЕНЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА ЗЕРНА.....	97
ГЛАВА 7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ.....	110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	113
ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ.....	115
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ.....	116
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	117
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	134

ВВЕДЕНИЕ

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 доступными 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) 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) позволить 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 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 $N_{55}P_{30}$.

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 на агросерую почву обеспечивает хемоактивированная почвоулучшающая удобрительная смесь, состоящая из суглинки (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 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.

ГЛАВА 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УДОБРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ НЕТРАДИЦИОННЫХ И ТРАДИЦИОННЫХ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

В последнее время участились публикации научных работ, рассматривающих вопросы необходимости максимального и эффективного использования местных ресурсов (локального происхождения) природного и антропогенного происхождения, по сути, для частичной компенсации выноса с урожаем элементов питания. К нетрадиционным природным ресурсам местного значения, которые используются на сегодняшний день в земледелии можно отнести природные глины, в частности бентонит, минерал глауконит, цеолиты и другие (бурый уголь). Их эффективность на разных типах почв под сельскохозяйственные растения хорошо освещена во многих публикациях последних лет (П.С. Герасименко, 2008; Е.В. Агафонов, В.П. Горячев, 2011; Е.В. Агафонов и др., 2013; А.А. Васильев, 2014; И.А. Яппаров и др., 2015; А.В. Козлов и др., 2018; Р.Р. Газизов и др., 2020; Ю.Я. Спиридонов и др., 2021; С.И. Воронов и др., 2022; А.В. Козлов, 2022; Г.Ф. Рахманова и др., 2022).

Традиционное природное сырье включает фосфориты и производимая из них фосфоритная мука, известь доломит. Многие вопросы, связанные с особенностями фосфоритов, фосфоритованием и известкованием почв, влиянием данных мероприятий на плодородие, формирование урожая сельскохозяйственных растений обстоятельно изучены. Сведения Н.В. Войтовичем и др. (2004), В.Н. Дышко (2005), а также представлены в научных изданиях В.Г. Сычевым и др. (2019), К.Р. Гарафутдиновой и др., (2022), Н.А. Кирпичниковым, С.П. Бижаном (2022) и другими авторами. Полагаем, что было бы излишним еще раз освещать хорошо известные вопросы. Тем более, что в опытах планировалось использовать фосфоритную муку с добавлением к ней азотной кислоты для хемоактивации и использовать 3-хкомпонентную смесь.

1.1. Проблема ухудшения плодородия почв

Залогом стабильного развития АПК России является воспроизводство почвенного плодородия (П.А. Чекмарев, 2018). С учетом специфической структурной организации почвы, многокомпонентности и процессов, общее состояние плодородия следует оценивать, как минимум по двум группам параметров: динамичным и фундаментальным, конституционным. В большинстве случаев оценивают по первой группе – подвижным формам элементов питания, кислотности и др. Данная составляющая плодородия почвы относительно быстро восстанавливается за счет агротехнических мероприятий. Другое дело конституционная составляющая плодородия. Ее можно определить по прямым показателям – минералогический, гранулометрический и химический состав, групповой и фракционный состав органического вещества, органоминеральный комплекс и косвенным – емкость катионного обмена (ЕКО), сорбционная емкость, различные виды физико-химической буферности, которые указывают на функциональное состояние почвенных компонентов органической и минеральной природы, в целом почвы. Конституционность этих показателей связана с формированием динамичных показателей, со скоростью их восстановления в случае деградации и улучшения для решения вопросов производства продукции. При деградации почвы происходят необратимые процессы, затрагивающие именно конституционные или базисные основы плодородия. Твердофазными носителями и ареной процессов по формированию доступных форм элементов питания являются тонкодисперсные (илистые, глинистые) фракции. Они изначально содержат больше элементов питания. Их состояние, функциональность связана с минеральным комплексом. Если он интенсивно выветривается в силу антропогенных причин, что вероятно опасность потери почвой тонких фракций. В первую очередь это касается текстурно-дифференцированных почв (дерново-подзолистые, серые лесные). Поэтому

возникает необходимость в восполнении потерь указанных фракций, как восполняют потери элементов питания, гумуса.

Генезис текстурно-дифференцированных почв, к которым относят и серые лесные почвы подразумевает естественное устранение смектитовых минералов из элювиальной зоны. Их ценность состоит в том, что они являются материальными источниками реакционно-активных минеральных центров в ППК. Возможно, что современный антропогенез почв, сопряженный, в целом, усилением аккумулятивных процессов пусть даже и на более низком уровне в сравнении с естественными условиями способствует снижению выноса тонких фракций. Это ожидаемо в более тяжелых по гранулометрическому составу почвах, так как например, для инициирования лессиважа или кислотного гидролиза вторичных минералов требуются более низкие значения рН (условие разрушения железоглинистых комплексов), чем те, которые регистрируются на сегодняшний день почвенным мониторингом. И, тем не менее, озабоченность по поводу потерей пахотным слоем тонких фракций присутствует. На это косвенно обращают ряд публикаций. Например, снижение в агропочвах обменных форм кальция и магния (коагуляторов) может указывать на уязвимость минеральных коллоидов к их пептизации, следовательно, утраты относительной статичности. Те же последствия ожидаемы от насыщения ППК одновалентными катионами (диспергируют тонкие минеральные частицы) в результате применения возрастающих доз минеральных удобрений.

Проблема ухудшения плодородия почв общеизвестна и детально представлена в научной литературе на уровне ее отражения на региональных уровнях (С.В. Лукин, 2021; В.Н. Молодкин, А.С. Бусыгин, 2016; др., П.А. Чекмарев, С.В. Обущенко, 2016; И.В. Назарова, В.А. Даммер, 2017; М.И. Степанов, Г.И. Ефимова, С.Ю. Есбатырова, 2017; А.А. Шпедт, Ю.Н. Трубников, Н.Ю. Жаринова, 2017; В.М. Красницкий, А.Г. Шмидт, А.А. Цырк, 2018) и в масштабе РФ (В.М. Семенов, Т.Н. Лебедева, 2015; В.Н. Кудяров, М.С. Соколов, А.П. Глинушкин, 2017; Н.А. Зеленский и др.,

2018; В.Н. Кудеяров, 2019; В.Г. Сычев и др., 2019, 2020) и другие. Одной из причин ухудшения плодородия почвы является вынос тонких фракций в результате деградации минерального комплекса почвы. Однако на это свойство причин обращают недостаточное внимание, акцентируя его на элементах питания.

Публикации некоторых ученых указывают на деградацию минеральной составляющей почвы (В.П. Ивашов, 2003; Г.В. Пироговская, С.Д. Астапова, А.Ф. Санько, 2004; Д.В. Карпова, Т.А. Трифонова, 2006; Н.П. Чижикова, 2005; Н.Н. Шаповалова, Е.А. Менькина, 2018; Л.В. Яковлева, Е.А. Николаева, 2019). Подкисление почвы является существенным процессом изменения минеральной основы почвы: увеличивается содержание пептизированной массы и доли менее прочно связанных агрегированных илов. Происходит усиление выноса пептизированной тонкодисперсной массы из пахотного горизонта (агролессиваж). Проблема усугубляется еще и тем, что отмеченные выше негативные процессы необратимы: синтез силикатов и алюмосиликатов невозможен.

Итак, текстурная дифференциация серых лесных почв обусловлена профильной глинистой дифференциацией, то есть нисходящим перемещением глинистого вещества. В этом участвуют как природные факторы, так и агротехногенез. Данный процесс усиливается на фоне подкисления, к которому серая лесная почва весьма чувствительна. Как результат, имеет место обеднение верхнего слоя серой лесной почвы ценным глинистым веществом. Это ценно выражается в наличии в целом отрицательно заряженной минеральной матрицы за счет присутствия в ней глинистого компонента. Данное свойство объединяет глинистое вещество с органическим веществом. Проблема с почвенным органическим веществом также на сегодняшний день стоит весьма остро, и решать ее становится все сложнее, главным образом, по экономическим соображениям, а также в большинстве случаев специализацией хозяйств на исключительном производстве растениеводческой продукции. Для улучшения состояния твердой фазы

почвы, повышения ее емкости, реакционной способности можно использовать природные материалы с глинистым веществом. Наиболее доступным его источником может являться покровный суглинок, который выступает в качестве вскрышной породы при добыче глины, и поэтому не находит широкого применения в народном хозяйстве, в отличие от глин, например, бентонита.

1.2. Значение глинистого вещества почвы

Разрабатываемые и внедряемые системы удобрений в земледелии в основном базируются на динамичных показателях содержания подвижных форм элементов питания, кислотности без учета поправок на состояние гетерогенного почвенного вещества – субстантивной, фундаментальной основы почвы. Ее фундаментальность обусловлена генерацией сложных разнонаправленных межфазовых потоков в почве за счет органических и минеральных компонентов, продуктов их взаимодействия. Они обеспечивают поддержание относительно стабильной концентрации ионов питания в растворе, их удержание в системе на органических и минеральных матрицах, создание определенного запаса элементов, их мобилизацию и поступление в растение. Многочисленные публикации авторов (Н.П. Чижикова, 2002, 2005; Н.Б. Хитров и др., 2007; Д.В. Карпова, Н.П. Чижикова, 2009; Б.В. Варламов и др., 2012; Н.П. Чижикова, 2013; Н.Н. Шаповалова и др., 2018), посвященные органическому и минеральному веществу почвы, указывают на ухудшение их функционального состояния. Отмечается повсеместное снижение гумуса, увеличение доли свободных ГК и ФК, разрушение и вынос тонких глинистых фракций при сельскохозяйственном использовании почв. Проблема усугубляется необратимостью указанных процессов. В первую очередь это касается тонких почвенных фракций.

Содержание и состав глинистых минералов определяют основные сорбционные свойства минеральных почвенных горизонтов с низким

содержанием органического вещества – различные виды емкости катионного и анионного обмена, способность к фиксации ряда минеральных и органических компонентов и другие сорбционные характеристики (Г. Бремер, К.П. Вендландт, 1981; Т.А. Соколова, Т.Я. Дронова, И.И. Толпешта, 2005; В.Л. Петрофанов, 2012).

Основная часть глинистого материала находится в самой тонкодисперсной – илистой фракции. В минералогическом составе илистой фракции в значительном количестве представлены кварц, гидрослюды, слюда-сметиты и смектиты. Они обладают наибольшей сорбционной емкостью.

Информация о сорбционных свойствах почв необходима для прогноза миграции, трансформации и аккумуляции в почвах тяжелых металлов. Важнейшей характеристикой ППК является емкость катионного обмена (ЕКО) или емкость поглощения. Из почвенных компонентов самыми высокими значениями ЕКО обладают гумусовые вещества, но на их сорбционные свойства большое влияние оказывают условия среды: эта величина возрастает от 40-120 ммоль-экв/100 г при рН 2,5 до 150-170 ммоль-экв/100 г при рН 8 (Д.С. Орлов, М.С. Малинина, Г.В. Мотузова, 1994). В целом ЕКО органических веществ в несколько раз выше, чем минеральных компонентов. Поэтому в почвах, богатых гумусом, именно органическое вещество определяет величину ЕКО (Т.А. Соколова, С.Я. Трофимов, 2009). Заряд ППК обеспечивают функциональные группы. Одним из носителей является тонкодисперсное глинистое вещество. Благодаря хорошо выраженным сорбционным свойствам и имеет важное значение для формирования почвенного плодородия. Во-первых, ил является ареной воспроизводства гумуса почв (Л.С. Травникова, А.В. Иванов, 2014). Во-вторых, от состояния илистого компонента зависит уровень минерального питания, так как он определяет процесс межфазового взаимодействия с процессами сорбции-десорбции ионов элементов питания, а также водорода и алюминия органических компонентов и другие сорбционные характеристики (Т.А. Соколова, Т.Я. Дронова, И.И. Толпешта, 2005). В-третьих, от ила зависит

экологическое состояние почвы, сорбируя основную массу ТМ, предохраняя территории от загрязнения (А.И. Везенцев, 2008). В-четвертых, илестое вещество в органоминеральных комплексах стабилизирует органическое вещество, предохраняя его от минерализации (Н.П. Чижикова, Е.И. Годунова, 2004). В-пятых, с выносом ила связывают деградационные процессы в почве, в целом снижение потенциала ее устойчивости к неблагоприятным факторам (Н.П. Чижикова, Е.И. Годунова, 2004). В-шестых, сорбционная способность илистого вещества и в целом почвы играет важную роль в проявлении почвами, почвенным покровом общепланетарных и биосферных экологических функций (Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин, 1990; Г.В. Добровольский, С.А. Шоба, П.Н. Балабко, 2002; Г.В. Добровольский, 2002, 2005). В-седьмых, емкость катионного обмена глины совместно с органическим веществом влияет на водно-физические свойства почвы и ее структурное состояние. Глинистое вещество является матрицей сосредоточения основной массы органического вещества. На примере лугово-каштановой почвы установлено, что ЕКО почвы формируется в основном за счет именно органического вещества глинистой фракции (Т.А. Соколова, Т.Я. Дронова, И.И. Толпешта, 2005; Т.А. Соколова, 2013). В-восьмых, глины служат катализаторами в реакциях и превращениях большого числа органических веществ (Н.П. Чижикова, Н.Б. Хитров, Ю.И. Чевердин, 2017).

Видов и типов природных глин множество и встречаются они повсеместно, а применение их разностороннее (М.Н. Холмадоров и др., 2011). Из всех природных глин менее востребованными в плане практической целесообразности являются покровные суглинки. Они содержат меньше дисперсного глинистого вещества, чем красноцветные глины, бентониты, в них не так сильно выражены сорбционные свойства. Однако они в большей степени доступны из-за относительно неглубокого залегания и широкого распространения в лесостепной зоне.

В земледелии часто используют бентонитовые глины и красные глины. В результате проведенной экспериментальной работы Л.Ф. Перистой и др.

(2014) установлено положительное влияние сорбционно активной монтмориллонитовой глины месторождения «Поляна» Белгородской области на снижение активности меди в универсальном торфо-грунте. Однако бентонитовые глины в России не представлены так широко, месторождения локализованы на ограниченных территориях. По этой причине, а также широкого применения в различных отраслях экономики их использование для улучшения плодородия агропочв, расположенных даже на некотором удалении от добычи, не совсем экономически оправданно.

Изучение разных форм калия и распределение по гранулометрическим фракциям в задачу настоящих исследований не входило. На сегодняшний день данная тема хорошо изучена и широко представлена в научной литературе (В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин, 2000; В.Н. Якименко, 1995, 2000; О.Н. Козлова и др., 2000; В.Л. Петрофанов, 2012). Наибольшее количество калия содержится в гранулометрических фракциях <10 мкм, при этом наиболее богатыми калием фракции $<0,2$ мкм (В.Л. Петрофанов, 2012). Таким образом, общеизвестно, что ближним резервом калия является калий илистой фракции. Он используется растениями после истощения непосредственного резерва. Потенциальный резерв представлен калием фракций крупнее $0,001$ мм, который находится в почве в прочносвязанном состоянии.

Поэтому природные глины, суглинки можно рассматривать в качестве материального пула элементов питания, то есть внесения их в почву в запас без опасения потерь вследствие вымывания за пределы почвенного профиля.

Как видно, уникальные свойства природных глин и покровных суглинков позволяют использовать их в разных областях сферы деятельности человека, в том числе и в сельском хозяйстве, в частности в земледелии. Поэтому в нашей работе одним из компонентов почвоулучшающей смеси была не глина, а покровный суглинок, поэтому ниже приведена его характеристика.

Покровные суглинки являются одним из характерных поверхностных отложений на территории Рязанской области. Эти четвертичные суглинистые

седименты проблемного генезиса обнаруживаются как в ледниковой, так и в приледниковой зоне (Е.А. Колеватых, 2010). Они являются материнскими породами для серых лесных, дерново-подзолистых и ряда других типов почв, широко эксплуатируемых в сельском и лесном хозяйстве Нечерноземья.

Из 18 выявленных месторождений в Рязанской области запасы утверждены только по Шулеповскому – 3,4 млн м³. В настоящее время ни одно месторождение не эксплуатируется. На территории встречаются также покровные суглинки и глины средне-верхнечетвертичного возраста, область распространения которых составляет 34 % площади Рязанской области, аллювиальные глины и суглинки мончаловского-осташковского горизонтов верхнечетвертичного возраста (месторождения Алеменевское, Енкаевское, Можарское, Пителинское, Тумское), частично глины и суглинки донского горизонта – озерно-ледниковые (Жерновское месторождение) и моренные (месторождение Ново-Деревенское II). Известно 311 прогнозных площадей глин и суглинков. Запасы по 26 разведанным месторождениям составляют 58,6 млн м³. Разрабатываются 7 месторождений с утвержденными запасами 16,7 млн м³.

Резюмируя сжато анализ данного раздела обзора литературы, можно заключить некоторые принципиальные агрохимические, физико-химические особенности свойств тонких фракций – мелкой пыли и ила.

1. Обладают наибольшей реакционной способностью (емкость катионного обмена, межфазные взаимодействия на уровне катионов, определяющие уровень питания растений, высокая удельная поверхность – 50 м²/г у мелкой пыли и 250 м²/г у ила).

2. По сравнению с другими фракциями содержат больше азота, фосфора, микроэлементов.

3. Закрепляют гумусовые вещества, предохраняя их от интенсивной минерализации.

4. Способность к коагуляции и структурообразованию.

Отмеченные выше особенности прямо и опосредованно влияют на питание сельскохозяйственных растений. Поэтому вынос ила в результате кислотного гидролиза минералов можно расценивать как безвозвратную потерю почвой ценных в агрохимическом отношении фракций, ухудшение структурных основ плодородия почвы в целом.

1.3. Альтернативные удобрительные средства

Некоторые авторы рекомендуют использовать сточные воды (С.Г. Дорошкевич, Л.Л. Убугунов, 2002; А.В. Литвинович и др., 2016; А.С. Межевова, Ю.В. Берестнева, К.Р. Бикметова, 2020; Г.Е. Мерзлая, Р.А. Афанасьев, 2020; А.С. Фрид и др., 2022).

Можно использовать органоминеральные удобрительные композиции на основе отходов деревообработки (осиновой коры) и минерального сырья (вермикулита). В опыте О.А. Ульяновой и др. (2007) на черноземе обыкновенном было установлено повышение гумуса в почве, изменение его качественного состава. Не снижается удобрительная эффективность при замене вермикулита на цеолит (О.А. Ульянова, 2009). Цеолитсодержащие породы, активированные различными приемами переработки, позволяют использовать их в земледелии для улучшения физико-химических и биологических свойств почвы, в растениеводстве – в качестве высокоэффективных мелиорантов и удобрений (Л.М.Х. Биккинина и др., 2016). О целесообразности использования цеолита высказываются и другие авторы (В.П. Шабаев, Е.А. Бочарникова, В.Е. Остроумов, 2020; Е.В. Безручко, Л.С. Федотова, 2021; Ю.Я. Спиридонов, Н.Д. Чкаников, А.В. Пастухов, 2021). Можно использовать для повышения эффективности минеральных удобрений гидрогель (Е.И. Годунова, Н.Н. Шаповалова, 2020).

Относительно дешевым фосфорным удобрением является фосфоритная мука. Фосфоритная мука, используемая в опыте. В разные годы на территории Рязанской области выявлено 16 месторождений и проявлений желваковых

фосфоритов с общими запасами и прогнозными ресурсами – 167,9 млн. т. Такие фосфориты как правило не имеют выраженного кристаллического сложения, легче подвергаются разложению и поэтому представляют интерес для непосредственного (без химической обработки) использования в качестве фосфорного удобрения. Глубина залегания фосфоритовых руд от 5 до 50 м. Мощность продуктивного слоя от 0,2 до 1,5 м, в среднем – 0,9 м. Вскрышные породы представлены песчано-глинистыми отложениями (суглинки). Средняя продуктивность полезной толщи – 700 кг/м². Содержание P₂O₅ в исходной руде в среднем до 19-23 % (Г.Н. Фадькин, Я.В. Костин, Н.И. Новобрагин, 2012). Содержание полуторных оксидов достигает 10-12 %, калия до 9,5 % в составе глауконита. Содержание оксидов кальция сопоставимо с содержанием фосфора. Это далеко не весь список представленных выше удобрительных средств и научных публикаций, посвященных использованию в системах агрохимии не классических удобрений или удобрительных средств, почвоулучшителей. После получения надежной информации по ним, возведенной в ранг научного обоснования их использования, их вряд ли следует относить в разряд нетрадиционных материалов.

Схематично почвоулучшающая смесь как минимум должна состоять из компонентов с максимальной долей местных ресурсов (малых месторождений), например, сыромолотых (молотых) фосфоритов или фосфорной муки, извести (доломита). Большинство месторождений фосфоритов России относится к желваковому типу. Такие фосфориты, как правило, не имеют выраженного кристаллического сложения, легче подвергаются разложению и поэтому представляют интерес для непосредственного (без химической обработки) использования в качестве фосфорного удобрения. К ним целесообразно добавить суглинок, который представляет собой вскрышной грунт и, являясь отходом производства, имеет невысокую стоимость. Он может служить материалом для закрепления калия и удержания его от выноса, а также источником реакционно-активных фракций. С экономической точки зрения к смеси лучше добавить

распространенные азотные (аммиачная селитра) и калийные (хлористый калий) удобрения. В.М. Лапушкин, В.В. Кидин (2012) установили, что при биологическом окислении аммонийной селитры азотная кислота оказывает существенное влияние на разложение фосфоритной муки. Схожие результаты были получены В.И. Шатило, А.Ф. Минаковским (2019). Хлористый калий выступает в качестве активатора фосфора (А.А. Пояркова, Е.В. Товстик, 2017). Использование фосфоритной муки в смеси с другими компонентами предотвратит ее пыление при внесении.

Одним из компонентов в смесях может являться азотная кислота. Азотная кислота – сырье для аммиачной, натриевой и калийной селитр, а также для комплексных минеральных удобрений (Ш.С. Намазов и др., 2016). Нитратным удобрениям свойственно оперативное растворение в водной среде и отличное усвоение растениями (Я.В. Костин, 2001). На современном этапе ведется поиск по усовершенствованию элементов в технологических схемах производства (В.И. Левин и др., 2005; С.А. Дриневский и др., 2010; В.С. Спиридонов, М.В. Генкин, 2010).

В настоящее время проводятся научные исследования по разложению фосфоритов. Т.С. Бауатдинов (2019) разработал технологическую схему получения новых видов фосфорных удобрений разложением бедных фосфоритов Каракалпакии неполной нормой серной и азотной кислот, а также в присутствии их аммонийных солей.

В.Г. Артеменко (2015) определил химический состав и оптимальные условия разложения фосфоритов Кинешемского месторождения азотной кислоты – стехиометрия и концентрация азотной кислоты, время разложения, температура.

Азотную кислоту применяют при производстве и нетрадиционных удобрений. А. Свиклас, Р. Шлинкшене (2003) предлагают использовать ее совместно с доломитом и аммиаком А.Т. Дадаходжаев, М.Э. Ахмедов, В.П. Гуро (2019) разработали технологию получения азот-калий-кальций-

магниевого комплексного сложного удобрения, технологический процесс которого состоял из нескольких стадий.

Для упрощения получения азотного удобрения за счет использования доступных источников сырья, а также для повышения экологической безопасности И.Ф. Головацкая и др. (2018) предлагают получать водный раствор азотной и азотистой кислот с концентрацией нитрат-ионов 20-30 мг/л путем воздействия на водно-воздушную смесь СВЧ-разряда.

Азотную кислоту можно использовать для получения азотнокислой вытяжки, полученной в результате разложения апатита с последующим производством сложного водорастворимого азотно-фосфорного удобрения, которое не слеживается, обладает хорошими качествами по содержанию примесей фтора (О.Б. Абрамов и др., 2005).

Итак, азотную кислоту широко используют при производстве азотных удобрений. В промышленных условиях ее применяют с соблюдением всех экологических требований и техники безопасности. Они учитывают ее высокую химическую агрессивность. В то же время азотная кислота находится в открытой продаже. Теоретически ее можно использовать при производстве удобрительных средств непосредственно в хозяйстве с соблюдением всех мер предосторожности и при наличии гарантирующего безопасность оборудования.

Таким образом, сумма указанных обзорных сведений указывает на то, что одним из эффективных вариантов разработки систем агрохимии может считаться схема использования умеренных доз дорогостоящих минеральных удобрений с более дешевыми местными удобрительными ресурсами в объеме малотоннажного производства. Вопросы улучшения усвояемости фосфора из фосфорной муки следует необходимо решать на стадии приготовления почвоулучшающих смесей путем хемоактивации. Учитывая многокомпонентность смесей на уровне элементов с учетом сопутствующих, можно ожидать, что они окажут мультиплицирующий эффект на почву.

Как показано в обзоре литературы, азотная кислота используется в технологических процессах производства удобрений. В научной литературе не встречаются сведения о ее применении совместно с природной глиной и суглинком. Принимая во внимание, что глина насыщается водой и набухает не в результате влияния объемной энергии порового пространства, а в результате всасывания воды заряженными глинистыми частицами, обладающими огромной суммарной поверхностью. В теории это свойство глины можно использовать для взаимодействия ее с азотной кислотой для насыщения нитратным азотом с одновременной хемоактивацией глины или суглинка, а также фосфоритной муки при использовании ее с суглинком. Полученная смесь содержит компоненты необходимые для улучшения некоторых статусных показателей плодородия, а также условий азотного питания сельскохозяйственных растений.

Таким образом, на сегодняшний день проблема улучшения плодородия остается актуальной. Общая тенденция его динамики выражается в ухудшении. Происходит снижение содержания элементов питания, подкисление почвенного раствора, ухудшение состояния поверхностных свойств почвы, вследствие развития необратимых процессов, затрагивающих почвенные компоненты, которые являются материальными носителями почвенных свойств – тонкодисперсные фракции, органическое вещество, минеральный комплекс. Поэтому положение дел в агрохимии заставляет искать альтернативные пути по стабилизации почвенного плодородия. Одним из относительно дешевых вариантов может стать использование в качестве удобрительных средств – это почвоулучшающие смеси на основе местного природного сырья. К нему можно отнести суглинки (источники элементов питания, тонкодисперсных фракций для улучшения физико-химических свойств), сыромолотые фосфориты, доломит. Данные смеси можно интегрировать в системы агрохимии, то есть использовать совместно с традиционными минеральными удобрениями.

ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Почвенные условия

Серые лесные (агросерые почвы по Классификации почв России (2004)) (Полевой определитель почв..., 2008) почвы занимают южную часть Нечерноземной зоны России и в составе пашни их около 38 %. Они обладают рядом характерных свойств, обусловленных их формированием под листовенно-лесной растительностью на лессовидных суглинках. Большая часть серые лесные почвы, как и светло-серые имеют кислую реакцию в верхних горизонтах, характеризуются ненасыщенностью основаниями, невысоким содержанием питательных веществ. Они обладают в целом неблагоприятными физическими свойствами – слабой оструктуренностью и распыленностью пахотного слоя. Это их природные особенности.

Одними из природных эволюционных особенностей серых лесных почв, которые впоследствии трансформировались в пашню, является вынос тонких почвенных фракций (глинистых частиц) за пределы зоны их формирования в результате элювиирования. Это связано с многолетним пребыванием почвы под лесной растительностью. Дальнейшее сельскохозяйственное использование серых лесных (агросерых) почв ускорил процесс выноса тонких фракций. На фоне современной дегумификации это спровоцировало ухудшение почвенного плодородия.

Таким образом, природные условия (не включая литогенную составляющую) предопределили обеднение верхней части профиля тонкими фракциями. Впоследствии антропогенный фактор, по-видимому, только усилил текстурную дифференциацию. Это необходимо учитывать при сельскохозяйственном использовании агросерых почв.

2.2. Климатические условия

Опытный участок расположен в юго-западной части Рязанского района Рязанской области. Климат Рязанской области умеренно-континентальный, характеризуется тёплым летом, умеренно-холодной зимой с устойчивым снежным покровом и хорошо выраженными, но менее длительными переходными сезонами года – весны и осени. Рязанская область относится к зоне неустойчивого увлажнения. Продолжительность периода с температурой выше $+10^{\circ}\text{C}$ составляет 135-140 дней. Средняя продолжительность безморозного периода 130-145 дней. Осадков выпадает 450-600 мм. Две трети осадков выпадает в виде дождя, а одна треть – в виде снега. Снеготаяние на территории Рязанского района начинается в среднем 15-18 марта, а заканчивается 4-10 мая. Средняя продолжительность периода снеготаяния 19-23 дня. При дружной и тёплой весне снеготаяние сокращается до 4-8 дней. В холодные весны этот период увеличивается до 43-53 дней. Переход среднесуточной температуры воздуха выше 0°C наблюдается 1-5 апреля, выше 5°C – 17-18 апреля, выше 10°C – 1-3 мая. Ветровой режим мало меняется по территории области. В холодный период года (октябрь-апрель) преобладают ветры юго-западные, юго-восточные и южные, а в тёплый период года (май-сентябрь) – северо-западные, западные и северные ветры.

Период с температурой выше 10°C начинается 7-9 мая и заканчивается 15-17 сентября. Сумма активных температур составляет $2000-2100^{\circ}\text{C}$. По средним многолетним данным продолжительность периода с температурой воздуха выше 10°C , составляет 130-132 дня. Продолжительность безморозного периода воздуха (от последнего весеннего – 18 мая до первого осеннего – 18 сентября) составляет 124 дня. На поверхности почвы безморозный период несколько короче и составляет 108 дней.

В распределении осадков по территории участка не проявляется закономерность колебания их количества в зависимости от агроклиматического района. Территория опытного поля относится к зоне

неустойчивого увлажнения. Большая часть годового количества осадков выпадает в течение теплого периода года (с апреля по октябрь) и составляет в среднем 384 мм.

В таблице 1 показана подекадная (апрель-август) средняя температура воздуха, в таблице 2 подекадное (апрель-август) количество осадков.

Наблюдения показали, что за апрель-август 2017 года выпало 327 мм осадков, что больше среднемноголетней величины для региона, где проводили исследования на 56 мм. Это повлияло положительно на уровень урожайности ячменя по вариантам опыта. Большее количество осадков было в июле месяце (113 мм) при среднемноголетней величине 79 мм. В апреле месяце недостаточное количество осадков выпало в третьей декаде апреля – 1 мм, хотя в целом за месяц выпало 42 мм, что выше среднемноголетних (34 мм), температура воздуха – 7,8°C, то есть в целом были оптимальные условия для всходов ячменя.

Июнь месяц по сумме осадков (61 мм) и температуре воздуха (14,6°C) практически не отличался от 2016 года, но в третью декаду осадков выпало меньше. В августе выпало 93 мм осадков, что является оптимальным количеством для роста, развития и уборки ячменя. Некоторое снижение температуры воздуха до 20°C в третьей декаде отрицательного влияния на сельскохозяйственную культуру отрицательного влияния не оказало.

По количеству осадков и температуре воздуха 2017 год можно в целом характеризовать как неравномерном в некоторые декады месяцев (апрель-май-июнь). Так, температура воздуха в апреле не превышала 7°C, в мае 11,4°C, в июне 14,6°C.

Апрель 2018 года по среднемесячной температуре в (7°C) был близок к среднемноголетним, а по количеству осадков (56 мм) отличался (на 22 мм) от среднемноголетних значений (34 мм). В мае при повышении температуры до 16,1°C условия увлажнения были не вполне оптимальными, особенно в первую и третью декаду, – осадков выпало 8 и 3 мм соответственно. За июнь месяц выпало 20 мм осадков, что меньше среднемноголетних на 38 мм, тогда

как температура воздуха была одинаковой со среднемноголетними – 17,0°C и 17,1°C, в третью декаду этот показатель достиг 21,5°C. В июле месяце по средней температуре воздуха и сумме осадков различия между фактической их величиной и среднемноголетней не было. В августе количество осадков было меньше на 36 мм среднемноголетних величин, особенно их мало выпало в первую (8 мм) и вторую декаду (3 мм), что определило положительную динамику уборки урожая ячменя.

В апреле 2019 года среднемесячная температура составила 7,8°C. Такая цифра соответствует среднемноголетним для данного региона. По количеству осадков апрель выдался довольно засушливым. Так осадков выпало 26 мм, что меньше среднемноголетних (34 мм) на 8 мм. В мае средняя температура повысилась до 16,4°C, условия увлажнения были вполне оптимальными. За месяц в среднем выпало 45 мм осадков. За июнь месяц выпало 42 мм осадков, что меньше среднемноголетних на 16 мм. Температура воздуха была чуть выше по сравнению с многолетними (17,1°C) и составила 19,4°C. В июле 2019 года температура воздуха составила 17,0°C, а по сумме осадков различия между фактической их величиной и среднемноголетней отсутствовали (42 мм). В августе количество осадков (47 мм) было практически наравне со среднемноголетними величинами (50 мм). Это определило положительную динамику уборки урожая ячменя. Температура воздуха также соответствовала среднемноголетним, и составила 16,3°C. По метеорологическим наблюдениям известно, что за апрель-август 2020 года выпало 326,5 мм осадков. Наибольшее количество осадков выпало в июне и в июле (102 мм и 82 мм соответственно), что на порядок выше при среднемноголетней величине в 79 мм. Апрель 2020 года приблизился к среднемноголетним значениям (34 мм). Среднее количество осадков составило 35,9 мм, температура воздуха – 5,1°C, что ниже апрельской температуры 2019 года на 2,7°C. Тем не менее, условия для всходов ячменя были благоприятные. Июнь месяц по сумме осадков (102 мм) и температуре воздуха (18,8°C) гораздо отличался от этого же периода 2019 года. Так, в июне 2020 года количество осадков было больше на 60 мм, а

температура ниже на $0,5^{\circ}\text{C}$. В августе выпало 46,8 мм осадков, температура составила $17,9^{\circ}\text{C}$, что было существенно ниже аналогичного периода по среднемноголетним данным. Однако отрицательным образом на ячмень это не повлияло.

По количеству осадков и температуре воздуха 2020 год можно в целом характеризовать как неравномерном в некоторые декады месяцев (апрель-май-июнь). Так, температура воздуха в апреле не превышала $5,1^{\circ}\text{C}$, в мае $12,5^{\circ}\text{C}$, в июне $18,8^{\circ}\text{C}$.

В апреле 2021 года по среднемесячной температуре в $7,5^{\circ}\text{C}$ значения были близки к среднемноголетним, а по количеству осадков (41,2 мм) незначительно отличался (на 7,2 мм) от среднемноголетних значений в 34 мм. В мае средняя температура воздуха составила $14,3^{\circ}\text{C}$, осадков выпало 37,8 мм, что на 3,8 мм больше аналогичного периода предыдущего года. За июнь месяц выпало 76 мм осадков, что больше среднемноголетних на 18 мм. Температура также была выше по сравнению со среднемноголетними ($17,1^{\circ}\text{C}$) – $20,4^{\circ}\text{C}$. Июль и август по температуре был практически одинаков – $22,2^{\circ}\text{C}$ и $22,8^{\circ}\text{C}$ соответственно. Однако в июле количество осадков составило 86 мм, в августе 64 мм.

В апреле 2022 года среднемесячная температура составила $10,3^{\circ}\text{C}$. Эта цифра чуть выше среднемноголетним для данного региона. По количеству осадков апрель выдался очень увлажненным – 74 мм. В мае средняя температуры составила $14,6^{\circ}\text{C}$, условия увлажнения были также благоприятными. За месяц в среднем выпало 68 мм осадков. За июнь месяц выпало 41 мм осадков, что меньше июня 2021 года на 38 мм. Температура воздуха была гораздо выше по сравнению с многолетними ($17,1^{\circ}\text{C}$) и составила $23,9^{\circ}\text{C}$.

В июле 2022 года температура воздуха была на $1,7^{\circ}\text{C}$ выше, чем в июне и составила $24,9^{\circ}\text{C}$ (что даже ниже июньской). Осадков выпало 58 мм, что на 28 мм меньше за аналогичный период 2021 года. Август выдался засушливым

– 14 мм. Это в 3,5 раза меньше среднемноголетних значений. Температура воздуха составила 28,1°С.

Таблица 1 – Подекадная (апрель-август) средняя температура воздуха (°С) за годы исследований

месяц	Апрель			Май			Июнь			Июль			Август		
2017 г.															
декады	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
средняя температура	+4,9	+4,4	+9,4	+11,5	+9,5	+13,3	+12,8	+14,8	+16,4	+15,5	+18,7	+19,5	+20,1	+20,0	+16,2
2018 г.															
декады	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
средняя температура	+5,3	+7,2	+8,7	+17,2	+16,1	+15,1	+12,6	+16,9	+21,5	+19,0	+21,8	+21,0	+20,2	+19,4	+18,6
2019 г.															
декады	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
средняя температура	+6,6	+7,9	+8,9	+17,7	+16,2	+15,3	+19,1	+18,5	+20,7	+16,8	+17,1	+17,3	+15,7	+16,4	+16,8
2020 г.															
декады	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
средняя температура	+5,7	+5,1	+4,6	+11,9	+12,7	+12,9	+17,2	+20,1	+19,3	+20,5	+19,8	+18,7	+20,5	+16,7	+16,4
2021 г.															
декады	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
средняя температура	+7,5	+7,4	+7,6	+13,9	+14,1	+14,8	+19,9	+20,5	+20,7	+21,8	+22,6	+22,2	+23,1	+22,8	+22,6
2022 г.															
декады	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
средняя температура	+8,8	+10,1	+11,9	+13,8	+14,4	+15,7	+20,5	+25,1	+24,2	+22,6	+25,1	+27,2	+31,1	+28,4	+25,

Таблица 2 – Подекадное (апрель-август) количество осадков (мм) по за годы исследований

месяц	Апрель			Май			Июнь			Июль			Август		
2017 г.															
декады	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
количество осадков	16	25	1	12	27	21	22	29	10	63	27	23	14	4	33
2018 г.															
декады	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
количество осадков	5	31	18	8	16	3	12	5	3	25	41	14	8	3	12
2019 г.															
декады	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
количество осадков	15	36	27	41	48	46	41	39	47	38	43	45	48	49	45
2020 г.															
декады	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
количество осадков	16	53	39	59	61	60	85	120	101	86	78	82	40	52	59
2021 г.															
декады	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
количество осадков	42	40	41	28	45	42	87	65	76	87	84	88	59	64	68
2022 г.															
декады	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
количество осадков	69	78	75	68	59	77	40	39	44	58	59	57	15	15	12

Таким образом, погодные условия в годы проведения исследований различались между собой.

2.3. Серия лабораторных опытов

При разработке оптимальной технологической схемы получения почвоулучшающей удобрительной смеси, состоящей из покровного суглинка (ПС) (вскрышная порода), доломитовой муки (ДМ), фосфоритной муки (ФМ) (эти три компонента представляют местную региональную сырьевую базу)

была предусмотрена серия лабораторных опытов. Важно на стадии приготовления активизировать между ними химические процессы. Это обеспечит получение функционального, реакционно-способного продукта, с усилением его полезных свойств после внесения в почву. Полагаем, что в этом случае можно ожидать как краткосрочные, так и долгосрочные эффекты от почвоулучшающей смеси.

Под функциональностью почвоулучшающей смеси можно понимать мобилизацию в продукте агрохимических ресурсов, образование отличных от исходных других соединений с хорошо выраженными удобрительными свойствами. В качестве активатора процессов выступила азотная кислота.

Лабораторный опыт 1. Цель – изучить влияние азотной кислоты на **ПС** и смесь **ПС+ДМ**. **ПС** и смесь обрабатывали из расчета 200 мл азотной кислоты на 1000 г материала.

Лабораторный опыт 1.1. Цель – изучить возможности минимизации потерь азота в результате образования диоксида азота. Опыт 1.1. с охлажденной (выдерживали 3-5 часов при температуре -3°C) и неохлажденной азотной кислотой. Для более яркой визуализации выделения диоксида азота в опыте 1.1. были использованы железосодержащие (Fe) кнопки в количестве пяти штук, которые перемешивались со смесью в чашках Петри и использовались отдельно от нее. Выделение диоксида азота определяли визуально по выделению бурого газа.

Лабораторный опыт 1.2. Цель – определить приемлемую температуру сушки. С температурой сушки t менее 40°C , t около 70°C и t более 70°C .

Схема лабораторного опыта 1.1.

1. Fe + HNO₃ (охлажденная)
2. Fe + HNO₃ (неохлажденная)
3. Fe + HNO₃ (охлажденная) + (**ПС+ДМ**)
4. Fe + HNO₃ (неохлажденная) + (**ПС+ДМ**)

Схема лабораторного опыта 1.2.

1. Сушка при $t < 40^{\circ}\text{C}$ (щадящий режим)

2. Сушка при t около 70°C (умеренный режим)
3. Сушка при $t > 70^{\circ}\text{C}$ (интенсивный режим)

Потери азота определяли по содержанию нитратов в ПУУС (ГОСТ 26951-86).

Лабораторный опыт 2. Цель – установить изменение гранулометрического состава, некоторых агрохимических свойств покровного суглинка.

Схема лабораторного опыта 2.

Без обработки HNO_3 (контроль)

С обработкой HNO_3

Для изучения степени мобильности нитратного азота смеси был заложен лабораторный опыт 3. Цель – определить содержание азота после взаимодействия ПУУС с почвой. Для этого ПУУС массой 1 и 5 г, обработанный азотной кислотой, смешивали с 40 мл дистиллированной воды и взбалтывали в течение минуты. Взвешенную суспензию добавляли к 80 г почвы с низким содержанием общего азота (0,03 %).

Схема лабораторного опыта 3.

1. Отношение ПУУС к почве (1:80) – эквивалентно дозе азота 51 кг/га
2. Отношение ПУУС к почве (5:80) – эквивалентно дозе азота 255 кг/га

В почве определяли: рН водной вытяжки (ГОСТ 26423), рН солевой вытяжки (ГОСТ 26483), гидролитическую кислотность (ГОСТ 26484), массовую долю общего азота (ГОСТ 58596-2019), нитраты – ионометрическим методом (ГОСТ 26951-86).

Лабораторный опыт 4. Цель – изучить изменение нитратов в почве в зависимости от дозы ПУУС. ПУУС массой 5 г, 10 и 30 г. разбавили в объеме воды 40 мл (1-й цикл разбавления). Полученные фильтраты внесли в агросерую почву массой 100 г. После сушки определяли нитраты. К оставшейся почве после 1-го цикла разбавления еще раз добавили

дистиллированную воду в объеме 40 мл и повторили процедуру определения нитратов в почве.

Схема лабораторного опыта 4.

1-й цикл разбавления	2-й цикл разбавления
1. 5 г ПУУС / 40 мл воды	1. 5 г ПУУС / 80 мл воды
2. 10 г ПУУС / 40 мл воды	2. 10 г ПУУС / 80 мл воды
3. 30 г ПУУС / 40 мл воды	3. 30 г ПУУС / 80 мл воды

Отмеченные выше дозы условные и выбраны для определения качественных особенностей поведения нитратов в системе ПУУС – почва. Исходные данные по нитратам (43 мг/кг) отражают контроль без ПУУС (1-й цикл).

Лабораторный опыт 5. В заключительной фазе получения ПУУС после добавления к **ФМ** и покровному суглинку **ДМ** было решено обработать смесь азотной кислотой из расчета 0,3 кг на 1 кг ПУУС (25 % от объема добавляемой кислоты). Для того, чтобы изучить эффективность хемоактивации исключительно фосфоритной муки было решено исключить покровный суглинок, так как его рассматривали отдельно. Несмотря на некоторую условность опыта, его результаты могут указывать на потенциальные эффекты от обработки фосфоритной муки азотной кислотой.

Цель – изучить азотнокислородное разложение фосфатов **ФМ** с **ДМ** и без нее.

В задачу входило определение:

- массовой доли азота (ГОСТ 3081.4);
- массовой доли усвояемых фосфатов (ГОСТ 20851.2) и водорастворимых фосфатов (ГОСТ 20851.2);
- фосфора экстрагирующим раствором соляной кислоты молярной концентрацией 0,2 моль/дм³.

Схема опыта 5

ФМ без HNO₃ (контроль 1)

ФМ + **ДМ** без HNO₃ (контроль 2)

ФМ + однократная обработка HNO₃

ФМ + **ДМ** + однократная обработка HNO_3

ФМ + **ДМ** + двукратная обработка HNO_3

В случае двукратной обработки азотную кислоту добавляли сначала к **ФМ**, затем к смеси с **ФМ** и **ДМ**.

Навеска фосфоритной муки составила 100 грамм. Азотную кислоту взяли в меньшем количестве, чем положено по стехиометрической норме (на 50-60 %), и к фосфоритной муке было добавлено 20 мл.

Время взаимодействия составило 30 минут и 60 минут. Установлено, что за это время CaO и P_2O_5 извлекаются практически полностью (В.Ф. Власов, В.Ф. Марченков, 1969). По истечению времени к фосфоритной муке добавляли **ДМ** (соотношение составляло 1 : 0,6). Предполагалось, что частичное азотнокислородное разложение фосфоритной муки (**ФМ**) будет представлять первую фазу подготовки почвоулучшающей смеси.

Оксид железа (II), входящий в состав **ФМ**, при обработке ее азотной кислотой разлагается с выделением диоксида азота. Другим источником является сама техническая азотная кислота. Поэтому для минимизации потерь азота, соблюдения экологичности получения продукта использовали доломитовую муку.

Вариантов выбора соотношений между компонентами в их весовых и долевых пропорциях в почвоулучшающей смеси может быть широким и мог зависеть от многих факторов.

Серия лабораторных опытов позволила изучить:

1. Условия минимизации потери азота при изготовлении ПУУС (температура использованной хемоактивной азотной кислоты, температура в процессе сушки).

2. Изменение гранулометрического состава, некоторых агрохимических свойств суглинки 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 воздухооборника 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**.

2.4. Полевые опыты

С 2017 по 2019 гг. включительно схема полевого мелкоделяночного опыта 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 N50 кг/га
3. Аммиачная селитра N100 кг/га
4. Доза ПУУС 1,9 т/га N50 кг/га
5. Доза ПУУС 3,8 т/га N100 кг/га

Схема полевого опыта 2 составлена исходя из состава ПУУС в соотношении **ФМ – ДМ – ПС – азотная кислота** 1 : 0,6 : 1 : 0,8 (расчетным способом исходя их концентрации 65% и соответствующей плотности). В опыте И.А. Почиталкиной и др. (2015) по кислотному разложению фосфатного сырья и максимального извлечения фосфора избыток кислоты от стехиометрического составлял 20 %. Исследования в лабораторных условиях – это приемлемо. В практической технологии допущение такого избытка нецелесообразно из-за агрессивности азотной кислоты. Поэтому в нашем опыте добавляли кислоту в недостатке по отношению к стехиометрическому количеству. Азотную кислоту вводили дважды: первый раз (75 % от общего количества) в смесь, состоящую из фосфоритной муки и покровного суглинка, второй раз (25 %) после добавления к исходной смеси ДМ из расчета, что около 50-60 % кальция доломитовая мука вступит в химическую реакцию. Это сделано для частичного снижения содержания труднодоступных для растений фосфатов кальция. Кислоту вводили порциями. Это позволит в технологическом процессе создавать более реакционную среду (при низких значениях рН) с пониженным пенообразованием по сравнению с традиционными способами разложения (И.А. Почиталкина и др., 2015). Считаем, что при таком способе возможно снижение выделения диоксида азота.

При выборе варианта внесения ПУУС – ежегодное или запасное (один раз в несколько лет) мы руководствовались следующими соображениями:

– содержанием азота 10 %. При не ежегодном внесении, в силу мобильности азота, следует ожидать, что уже на следующий год после внесения азотный статус экспериментального продукта существенно снизится;

– от содержания физической глины зависит содержание гумуса (Л.С. Травникова, 2002) или гранулометрический потенциал гумусонакопления, (Е.А. Гуркова, Д.А. Соколов, 2022). В состав илистых фракций входит поверхностно-активная коллоидная часть почвы (К.К. Гедройц, 1935), которая способствует накоплению и удержанию в доступных для сельскохозяйственных растений форм анионов и катионов элементов питания, обеспечивая устойчивое питание растений на относительно высоком уровне. Поэтому исследуемая легкосуглинистая агросерая почва нуждается в ежегодном пополнении тонкими фракциями.

Со ссылкой на работу В.Г. Небытова, В.И. Мазалова, В.С. Еремина (2012) мы считаем приемлемым ежегодное внесение ПУУС с точки зрения оценки по фосфоритной муке. Так, автор не отметил существенных различий в продуктивности культур за ротацию севооборота в зависимости от способов внесения фосфорных удобрений. За ротацию севооборота были получены близкие прибавки при ежегодном и запасном внесении суперфосфата и фосфоритной муки.

Технико-технологическое сопровождение ежегодного 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) в рядки при посеве различных сельскохозяйственных культур. Выбор АТП-2Г обусловлен экономической целесообразностью, так как работа туковысевающего аппарата совмещается с посевом культуры.

Определению нормы внесения ПУУС предшествовал его краткий агрохимический анализ (таблица 3). Для того, чтобы выйти на величины норм внесения минеральных удобрений выше среднестатистических (в условиях Рязанской области), то есть, приблизительно в пересчете на д. в. по 50 кг/га азота, фосфора потребовалось бы в общей сложности (с учетом веса всех компонентов смеси исходя из состава ПУУС в соотношении **ФМ – ДМ – ПС – азотная кислота** 1 : 0,6 : 1 : 0,8) внести ПУУС более 2 т/га. Максимальная

норма внесения туковывсевающим аппаратом АТП-2Г 1600 кг/га. От данной величины и исходили. 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 %) (таблица 3). Содержание калия незначительное, поэтому возмещали его традиционным минеральным удобрением – хлористым калием (56 %). В опыте доза составила 30 кг/га.

Таблица 3 – Агрохимическая характеристика ПУУС и ее статистические показатели

Показатель	Статистические показатели				
	\bar{X}	m	Cv	Доверительный интервал	
				-95 %	+95 %
Массовая доля азота, %	7	0,32	8	5,6	8,4
Усвояемый и водорастворимый фосфор, %	4	0,17	7	3,3	4,7
Массовая доля калия, %	0,08	0,02	33	0,0	0,1
pH _{KCl}	5,8	0,19	5	5,0	6,6

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

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+ ПУСС 800 кг/га (N₅₅P₃₀)
8. N₄₀P₄₀K₄₀+ ПУСС 1600 кг/га (N₁₁₀P₆₀)

В опыте был предусмотрен фон $N_{40}P_{40}K_{40}$, 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 N_{55} кг/га, P_{30} кг/га и N_{110} кг/га, P_{60} кг/га соответственно (варианты 3 и 4, схема опыта 2).

Экспериментальная удобрительная смесь является альтернативной. Она не может заменить классические минеральные удобрения. Поэтому в опыте были предусмотрены варианты совместного, но отдельного использования ПУУС и минеральных удобрений весной до и вовремя посева ячменя. Дозы минеральных удобрений были выбраны таким образом, чтобы суммарно они составили $N_{95}P_{70}K_{70}$ (вариант 7, схема опыта 2) и $N_{150}P_{100}K_{100}$ (вариант 8, схема опыта 2). Насколько обоснованным является выбор дозы 120 кг д. в./га можно судить по работе С.А. Шафрана, Н.А. Кирпичникова (2019). Авторы отмечают, что для увеличения в агросерой суглинистой и глинистой почве содержания обменного калия и подвижного фосфора на 10 мг/100 г доза удобрения должна составлять не менее 80-90 кг/га и 90-120 кг/га соответственно. Дозы существенно превосходят среднестатистические величины по Рязанской области. По данным В.Г. Сычева, С.А. Шафрана (2019), внесение в среднем по Нечерноземной зоне 60 кг/га азота позволит получать урожайность зерна 35-36 ц/га. Данная величина урожайности в современных условиях хозяйствования, связанных главным образом с подорожанием энергоресурсов, не может считаться целесообразной. Дозы минеральных удобрений должны быть выше. Этим мы объясняем завышенные дозы азота в опыте. Выбранная доза согласуется с научными выводами ряда авторов (А.А. Завалин, 2018).

В настоящее время производство фосфоритной муки из природных фосфатов в Рязанской области не ведется. Ближайшим к Рязанской области является Егорьевское месторождение (Московская область). Здесь фосфориты

по химическому составу, типу (желваковые) с Рязанскими фосфоритами. Поэтому в опытах использовали Егорьевскую фосфоритную муку.

Экологическую составляющую процесса контролировали воздухозаборником (рисунок 1). Диоксид азота растворим в воде, поэтому возможные потери азота определялись исходя из концентрации нитратов в воде. Выделение диоксида азота при смешивании компонентов с азотной кислотой контролировали с помощью специально изготовленного нами оборудования, представляющего собой воздухозаборник (рисунок 1). Он закачивал воздух из окна зоны перемешивания компонентов (рисунок 2).



Рисунок 1 – Воздухозаборник

Для этого из камеры смешивания (рисунок 2) забирали воздушную смесь и направляли в дистиллированную воду, так как нитраты хорошо растворяются в ней. ПДК нитратов в воде составляет 45,0 мг/л (ГН 2.1.5.789-98). В качестве контроля использовали воздух вне камеры (производственное помещение). После закачки его в дистиллированную воду содержание нитратов составило 22,0 мг/л. Производство ПУУС способствовало незначительному увеличению нитратов в воде – относительно контроля на 7 мг/л (29 мг/л) (рисунок 3).

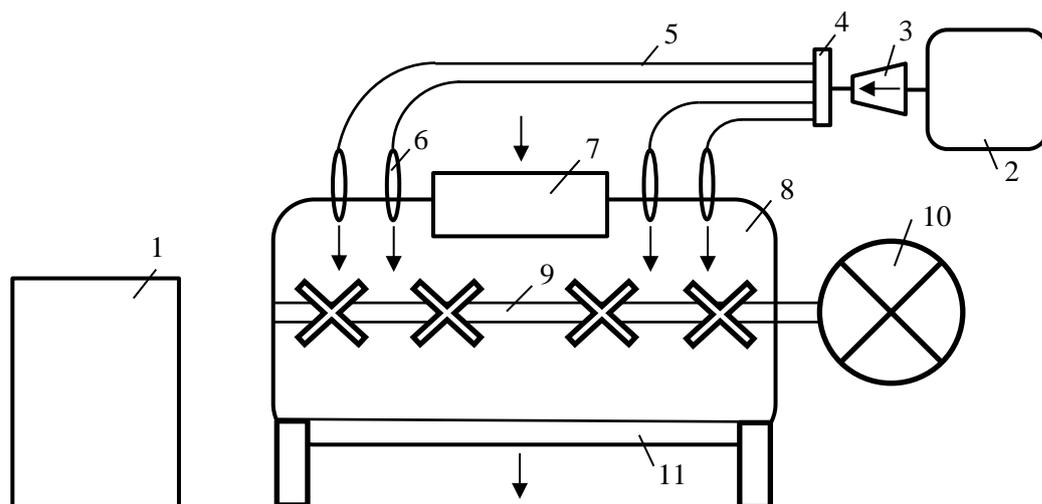


Рисунок 2 – Блок-схема технологического процесса получения ПУУС

Условные обозначения:

- | | |
|----------------------------|--|
| 1 – измельчитель; | 6 – форсунки; |
| 2 – бак с HNO_3 ; | 7 – окно для забора воздуха и загрузки суглинка; |
| 3 – насос; | 8 – модуль смешивания; |
| 4 – делитель потока | 9 – вал с лопастями; |
| HNO_3 ; | |
| 5 – патрубки; | 10 – колесо для вращения вала с лопастями; |
| | 11 – выгрузное отверстие. |

Использовать для активации фосфоритной муки планетарную мельницу, например, АИ2 × 150, АГОЗ не представлялось возможным.

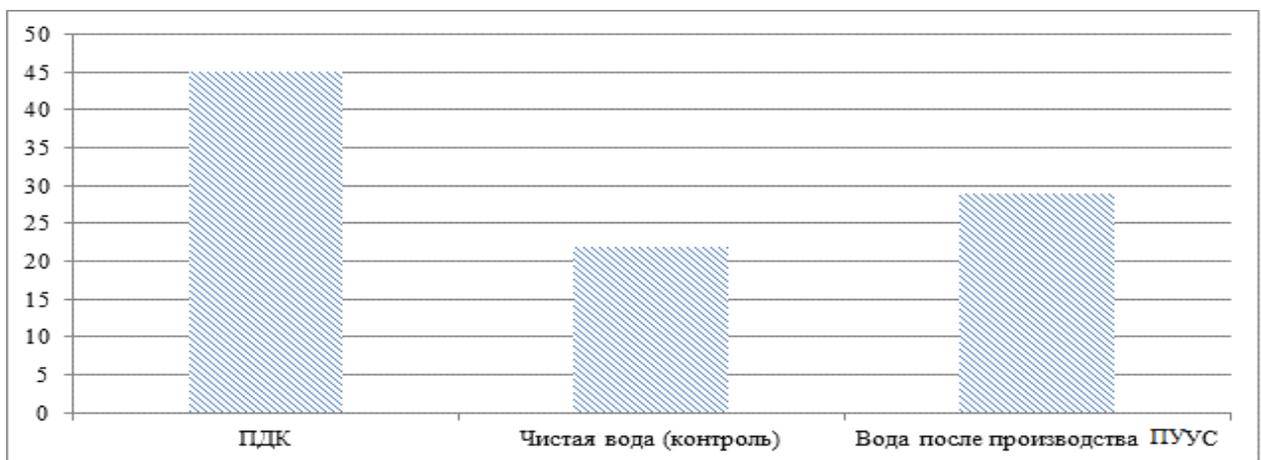


Рисунок 3 – Изменение нитратов в воде при производстве ПУУС

2.5. Краткое обоснование выбора подхода для реализации задач

Настоящая работа нацелена на получение почвоулучшающей удобрительной смеси с ожидаемыми удобрительными и мелиорирующими эффектами на почву. На сегодняшний день все технологические операции (дробление породы, смешивание с одновременным забором воздуха из камеры для контроля выделения диоксида азота, а также сушка и затаривание в мешки), осуществляются отдельно, они не связаны в единую линию. Пока такая необходимость отсутствует, так как работа сконцентрирована на стадии получения и испытания почвоулучшающего удобрительного средства. Методологической основой для этого послужили лабораторные и полевые эксперименты (научное обоснование), которые выполнялись в течение последних шести лет.

Выбор покровного суглинка. Исходя из анализов многочисленных публикаций, природные глины широко представлены в различных методах постановки опытного дела. В отличие от известных и проанализированных в обзоре литературы вариантов, в наших опытах мы предлагаем иной подход. Он направлен на повышение агрохимической эффективности от использования природных глин, в частности, широко распространенных и доступных покровных суглинков. Выбор суглинка обусловлен следующими причинами:

– доступностью. Покровные суглинки, содержащие меньше 30 % глинистых частиц, не используются в качестве основного сырья при производстве керамических изделий, кирпича и т.д.;

– покровные суглинки относятся к вскрышному грунту, поэтому он не сертифицируется, его стоимость невысокая;

– природные глины с повышенным (70 %) содержанием монтмориллонита являются высокопластичными. Покровные суглинки относятся к пластичным грунтам, и представляют собой несвязанные дисперсные глинистые грунты. Как представители осадочных пород они

широко распространены как во внеледниковой, так и ледниковой зоне и в отличие от высокопластичных глин залегают неглубоко с поверхности.

– с точки зрения влияния на физические основы плодородия почвы именно суглинистый состав имеет преимущество перед песчаным и глинистым составом. Значение ЕКО суглинка в опыте составило 47,6 мг-экв/100 г. В опытной почве ЕКО составила в слое 0-20 и 20-30 см 26,0 мг-экв/100 г. Следовательно, регулярное внесение суглинистого вещества будет способствовать улучшению сорбционных свойств ППК.

Обоснование использования азотной кислоты. Одним из способов улучшения использования фосфора могло бы быть воздействие на молотые фосфориты или фосфоритную муку одной из кислот на стадии смешивания компонентов при получении почвоулучшающей смеси. Данная операция не нова. В нашей стране солянокислым разложением фосфорита занимался академик С.И. Вольфкович и др. (1945). Одна из последних публикаций принадлежит С.Н. Андрианову, В.Н. Капранову, Б.А. Сушенице (2007), В.Н. Капранову (2009). Авторы подвергли солянокислотному разложению Егорьевские фосфориты. Хемоактивация молотых фосфоритов повысила их эффективность как на почвах с кислой, так и нейтральной реакцией среды (рН 7,1-7,5).

Соляная кислота является более сильным активатором фосфоритной муки, чем азотная (З.А. Готто и др., 2014). При этом модифицирующие кислоты действуют одновременно на все ее компоненты – железо, кальций, калий. Наш выбор на азотной кислоте обусловлен усилением азотного статуса почвоулучшающей смеси. Это связано с тем, что:

- продукт обогащается дополнительно азотом;
- уменьшается содержание полуторных оксидов в силу их меньшей растворимости в азотной кислоте (М.В. Андреев и др., 1987);
- в ходе азотнокислотного разложения используется химическая энергия (тепловой эффект) кислоты (мобилизация фосфора, кальция зависит от температуры) (И.А. Почиталкина и др., 2016).

2.6. Методика исследований

Полевые опыты были заложены на опытном участке в юго-западной части Рязанского района Рязанской области методом рандомизации на ячмене сорта Данута. Общая площадь 15 м², учетная – 10 м². Повторность четырехкратная. Агротехнология возделывания ячменя была общепринятой для южной части Нечерноземной зоны.

Почва опытного участка – агросерая легкосуглинистая (содержание гумуса в слое 0-20 см 2,3 %, 20-30 см – 1,9 %) с повышенной (0-20 см) средней обеспеченностью К₂О (по Кирсанову) и высоким содержанием подвижного фосфора (по Кирсанову), с слабокислой реакции почвенной среды.

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.

В опытах определяли: подвижные формы фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 54650-2011); общий фосфор (ГОСТ 26717-85); массовую доли усвояемых фосфатов и водорастворимых фосфатов в ПУУС (ГОСТ 20851.2); общий калий в почве (ГОСТ 26261-84); массовую долю калия в ПУУС пламенно-фотометрическим методом (ГОСТ 20851.3-93 пункт 4); общий азот (ГОСТ 26107-84); массовую долю азота в ПУУС методом Деварда (ГОСТ 30181.4-9494); нитраты ионометрическим методом (ГОСТ 26951-86); органическое вещество по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91); рН солевой вытяжки по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85); емкость катионного обмена методом Бобко-Аскинази-Алешина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 17.4.4.01-84 (п. 4.1)); сумму поглощенных оснований по методу Каппена (ГОСТ 27821-88);

гранулометрической (зерновой) состав глины (ГОСТ 12536-2014), гранулометрической состав почвы по Качинскому; подвижные соединения цинка определяли по методу Крупского и Александровой (ГОСТ Р 50686-94); валовую форму – методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (РД 52.18.685-2006); подвижную форму меди определяли по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 50684-94); валовое содержание меди, кадмия, свинца определяли согласно методическим указаниям по определению тяжелых металлов по модификации ЦИНАО (1992). Обменный кальций и магний определяли методами ЦИНАО (ГОСТ 26487-85).

Формы минеральных соединений фосфатов определяли по Чангу-Джексону: рыхлосвязанную – в вытяжке 1 н. NH_4Cl , фосфаты алюминия – в 0,5 н. NH_4F (рН 8,5), фосфаты железа – в 0,1 н. NaOH , фосфаты кальция – 0,5 н. H_2SO_4 .

Выделение фракций ила, тонкой и средней пыли для определения минералогического состава проводилось по методике Н.И. Горбунова (1971). Ориентированные препараты фракций исследованы рентгендифрактометрическим методом. Рентгендифрактометры получены для воздушно-сухих образцов, насыщенных этиленгликолем и прокаленных при температуре 550°C в течение двух часов.

Общее содержание элементов в почве определяли на рентгенофлуоресцентном анализаторе Tefa-6111. Содержание подвижных форм – в вытяжке ацетатно-аммонийного буферного раствора с рН = 4,8 и 1н HCl – с использованием метода атомной адсорбции.

Содержание нитратов в воде определяли фотометрическим методом с использованием салициловокислого натрия (ГОСТ 33045-2014).

Урожайность определяли при стандартной влажности зерна в 4-х кратной повторности. Содержание азота в зерне определяли по ГОСТ 13496.4-2019. Содержание аминокислот, сырого протеина, сырой клетчатки, сырого жира и влаги определяли на ИК-спектрометре TANGO NTI (ГОСТ 32040-2012).

Для статистической обработки экспериментальных данных методами дисперсионного, корреляционного, регрессионного и других видов статистического анализа (Б.А. Доспехов, 1985; А.В. Ивойлов, 2000) с использованием программного комплекса «STATISTICA».

Некоторые условные обозначения:

pH_{KCl} – обменная кислотность	S – стандартное отклонение
$Hг$ – гидролитическая кислотность	m – стандартная ошибка средней
P_2O_5 – подвижный фосфор	Cv – коэффициент вариации
K_2O – обменный калий	p – уровень значимости
N, P, K – массовая доля азота, фосфора и калия соответственно	r – коэффициент корреляции
\bar{X} – среднее арифметическое	$S\bar{X}_1 - \bar{X}_2$ – стандартная ошибка разницы
Se – стандартная ошибка регрессии	t_{05} – критерий Стьюдента

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ПЛОДОРОДИЯ АГРОСЕРОЙ ПОЧВЫ

3.1. Общая агрохимическая и физико-химическая характеристика

Залогом стабильного развития АПК России является воспроизводство почвенного плодородия (П.А. Чекмарев, 2018). С учетом специфической структурной организации почвы, многокомпонентности и процессов, общее состояние плодородия следует оценивать, как минимум по двум группам параметров: динамичным и фундаментальным, конституционным. В большинстве случаев оценивают по первой группе – подвижным формам элементов питания, кислотности и др. Данная составляющая плодородия почвы относительно быстро восстанавливается за счет агротехнических мероприятий. Другое дело конституционная составляющая плодородия. Ее можно определить по прямым показателям – минералогический, гранулометрический и химический состав, групповой и фракционный состав органического вещества, органоминеральный комплекс и косвенным – емкость катионного обмена (ЕКО), сорбционная емкость, различные виды физико-химической буферности, которые указывают на функциональное состояние почвенных компонентов органической и минеральной природы, в целом почвы. Конституционность этих показателей связана с формированием динамичных показателей, со скоростью их восстановления в случае деградации и улучшения для решения вопросов производства продукции. При деградации почвы происходят необратимые процессы, затрагивающие именно конституционные или базисные основы плодородия. Твердофазными носителями и ареной процессов по формированию доступных форм элементов питания являются тонкодисперсные (илистые, глинистые) фракции. Они изначально содержат больше элементов питания. Их состояние, функциональность связана с минеральным комплексом. Если он интенсивно выветривается в силу антропогенных причин, что вероятно опасность потери почвой тонких фракций. В первую очередь это касается текстурно-дифференцированных почв (дерново-подзолистые, серые лесные). Поэтому

возникает необходимость в восполнении потерь указанных фракций, как восполняют потери элементов питания, гумуса.

Общий агрохимический анализ опытного участка представлен в таблице 4 и в приложении 1.

Таблица 4 – Агрохимическая характеристика агросерой легкосуглинистой почвы

Слой, см	K ₂ O, мг/кг	Общий К, %	P ₂ O ₅ , мг/кг	Общий Р, %	Общий N, %	N-NO ₃ , мг/кг	Гумус, %
0–20	156±27	1,0±0,003	211±13	0,04±0,001	0,13±0,002	24,7±0,4	2,3±0,08
20–30	114±12	0,9±0,003	171±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 в слое 0-30 см при незначительной мощности гумусового горизонта 0-11 см, мощном гумусово-элювиальном – до 30 см состояние органического вещества соответствовало скорее минимально допустимому уровню, чем оптимальному. Обеспеченность фосфором и калием высокая. Учитывая динамичность этих показателей, их не следует считать информативными в оценке общего состояния почвы. Здесь необходимо использовать структурно-субстантивные характеристики. Наряду с содержанием гумуса, к ним можно отнести гранулометрический состав.

Исследуемая почва характеризуется невысокими запасами калия – всего около 1 %, хотя для слоя 0-20 см содержание обменного калия повышенное (таблица 4). Такое противоречие можно объяснить, если сослаться на известные работы. М.Ш. Шаймухаметов, Г.Н. Мамадалиев (2003) установили зависимость доли оптимального содержания обменного калия от емкости катионного обмена. Для суглинистых почв она составляет 1,8-3,0 %. При содержании обменного калия в почве 11-16 мг/100 г (слой 0-30 см) и ЕКО 26 мг-экв/100 г в нашем случае – это эквивалентно приблизительно 1,0 %, что близко к нижней границе оптимального диапазона. В тоже время, если

рассчитывать оптимальное содержание обменного калия по формуле, предложенной В.В. Прокошевым, И.П. Дерюгиным (2000), – опт. $K_{обм}$, мг/кг = $100 + 2,5 \text{ ЕКО}$, то оно составит около 16 мг/100 г. Это значение соответствует фактическому значению для слоя 0-20 см (таблица 4). Такое повышенное – около 16 мг/100 г для слоя 0-20 см соразмерно градации содержания калия (по Кирсанову) в отсутствие удобрений можно объяснить трансформациями его известных форм в результате усиления выветривания, как следствие, деформации, разрушения минералов. Это калий алюмосиликатов и необменный, находящийся в кристаллических решетках минералов. Нашему предположению придает уверенность результаты исследований В.Г. Сычева (2000), который считает, что увеличение содержания обменного калия может происходить даже при отрицательном балансе этого элемента в системах удобрения. Этот же автор в соавторстве с Л.В. Никитиной (2017) установили, что в агроценозах без применения удобрений в условиях некомпенсируемого выноса калия формирование урожая обеспечивается за счет мобилизации природного необменного калия под влиянием растений.

Отмеченное выше позволяет сформулировать вывод, что в выбранной нами для исследования почве имеет место интенсивный расход обменного калия. Использование суглинистого материала можно рассматривать не только как мелиорирующее средство, улучшая физико-химические характеристики почвы, но и удобрительное средство, так как с тонкими фракциями в почву будет дополнительно поступать калий.

В таблице 5 представлены результаты исследований по фракционному составу фосфатов в почве. Как видно из таблицы, в пахотном слое наибольшая доля (63,1 %) приходится на фосфаты, связанные с железом при их содержании 70,5 мг/100 г. Доля рыхлосвязанных фосфатов и сумма основных фосфатов (куда входят и активные фосфаты Ca-P_{I+II}), которые играют важную роль в питании растений составила 0,5 % (0,6 мг/100 г) и 24,3 % (27,1 мг/100 г) соответственно.

Таблица 5 – Формы минеральных соединений фосфатов в агросерой почве

Слой	Рыхлосвязанные фосфаты		Al-P		Fe-P		Ca	
	мг/100 г	%	мг/100 г	%	мг/100 г	%	мг/100 г	%
0-20	0,6	0,5	13,4	12,0	70,5	63,1	27,1	24,3

Данные по ЕКО и общему азоту соответствуют диагностической характеристике агросерой почвы (таблица 6, приложение 2).

Таблица 6 – 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±0,001	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 целом плодородие агросерой почвы можно расценить как неудовлетворительное. В первую очередь это обусловлено низким содержанием гумуса. 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. 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

Питание растений представляет не просто процесс непосредственного поступления элементов питания в растительный организм. Плодородие – это понятие, которое охватывает почвенную систему в целом, но, как и любая

система, структурируется и интегрируется множеством элементарных ее составляющих. Например, твердой фазой, в частности ее гранулометрическими фракциями, гумусом, минеральным комплексом и другими показателями. Отмеченные компоненты формируют почвенно-поглощающий комплекс (ППК).

ППК является материальным носителем почвенных свойств, и одновременно он отражает функциональное состояние субстантивной основы почвы органической и минеральной природы. Реакционная способность ППК во многом зависит от содержания тонких (глинистых фракций). Одновременно с этим они выполняют и другие полезные для плодородия функции. Например, илистая фракция концентрирует основную массу органического вещества (55-90 %), и выступает фактором его аккумуляции и стабилизации (Л.С. Травникова, А.В. Иванов, 2014)

Объемы потери физической глины соответствуют темпам потери гумуса, поэтому запасы физической глины представляют собой потенциал гумусонакопления (Л.С. Травникова, А.В. Иванов, 2014). Это необходимо учитывать при восстановлении плодородия почв.

Разрабатываемые и внедряемые системы удобрений в земледелии в основном базируются на динамичных показателях содержания подвижных форм элементов питания, кислотности без учета поправок на состояние гетерогенного почвенного вещества – субстантивной, фундаментальной основы почвы. Ее фундаментальность обусловлена генерацией сложных разнонаправленных межфазовых потоков в почве за счет органических и минеральных компонентов, продуктов их взаимодействия, обеспечивающих поддержание относительно стабильной концентрации ионов питания в растворе, их удержание в системе на органической и минеральной матрицах, создание определенного запаса элементов, их мобилизацию и поступление в растение. Многочисленные публикации авторов (Н.П. Чижикова, 2002, 2005; Н.Б. Хитров и др., 2007; Д.В. Карпова, Н.П. Чижикова, 2009; В.Б. Варламов и др., 2012; Н.П. Чижикова, 2013; Н.Н. Шаповалова, Е.А. Менькина, 2018),

посвященные органическому и минеральному веществу почвы, указывают на ухудшение их функционального состояния. Отмечается повсеместное снижение гумуса, увеличение доли свободных ГК и ФК, разрушение и вынос тонких глинистых фракций при сельскохозяйственном использовании почв. Проблема усугубляется необратимостью указанных процессов, граничащих с деградационными.

Для всей совокупности почвенных типов, подтипов и далее по классификации обнаруживается одно общее сходство – распределение органического вещества по гранулометрическим фракциям. В тонкодисперсных фракциях концентрируется до 50-60 % органического вещества. Поэтому потерям гумуса предшествует разрушение органоминеральных компонентов. Для всей совокупности почвенных типов, подтипов и далее по классификации обнаруживается одно общее сходство – распределение органического вещества по гранулометрическим фракциям. В илистой фракции преобладает тонкодисперсное органическое вещество преимущественно гуматно-фульватного и фульватного типа, во фракциях мелкой и средней пыли – гумус гуматного типа. Сильно обогащены гуминовыми кислотами пылеватые фракции.

Механизмы поступления калия из почв в растения изучали многие исследователи. Выявлены наиболее значимые в питании растений гранулометрические фракции (ил) и входящие в их состав глинистых минералов (В.У. Пчелкин, 1966; В.Л. Петрофанов, 2012; Т.А. Соколова, 2013; Н.Н. Шаповалова, Е.А. Менькина, 2018). Наибольшей способностью к закреплению и высвобождению калия обладают фракции меньше 10 мкм. Наиболее обогащенными легкодоступным калием являются фракции меньше 0,2 мкм (В.Л. Петрофанов, 2012).

При изучении гранулометрического состава серой лесной почвы использовали метод, основанный на сравнительном анализе строения и свойств почвенных профилей на фоновых угодьях с естественной растительностью и на пашне. Подтип серой лесной почвы находился в

одинаковых природно-климатических условиях местности, со схожими условиями рельефа, (за исключением агропочвы в транзитной части склона с крутизной склона около 5 градусов), идентичными материнскими породами (покровный суглинок).

В производственных условиях найти почвы, которые относились бы к единой ландшафтной формации невозможно. Поэтому для изучения гранулометрического состава, поведения тонких фракций в качестве объекта исследования был выбран подтип серой лесной почвы. Разрезы были сделаны в 2000 году на опытном поле по комплексному окультуриванию (Р.Н. Ушаков, 2007).

Были выбраны контрастные варианты, которые отличались по плодородию: без внесения удобрений (контрольная агросерая почва) и окультуренная агросерая почва (рисунок 4). При усилении гумификационных процессов в почве создаются условия для ослабления элювиального процесса. При сравнении с агросерой почвой, характеризующийся низким уровнем плодородия, в почве с высоким уровнем мощность гумусово-элювиального горизонта на 10-12 см становится меньше за счет прибавления в гумусовом горизонте до 30 см. При этом присыпка кремнезема практически исчезает (рисунок 4).

Четвертый вариант агросерой почвы находился на склоне. Сопоставив данные агрохимического анализа с зонально-провинциальными нормативами (Зонально-провинциальные нормативы..., 2010), а также проанализировав результаты агрохимического анализа по горизонтам, было решено назвать вариант почвы как «агросерая почва с признаками деградации» (таблица 7, приложение 3).

Таблица 7 – Агрохимические свойства серой лесной почвы

Вариант почвы	Гумус, %	P ₂ O ₅ ,	K ₂ O,	pH _{KCl}
		мг/100 г		
Под лесной растительностью (фон)	2,9±0,25	16±2,1	13±1,5	4,9±0,21
Без внесения удобрений (контроль)	2,1±0,20	12±1,5	14±1,7	5,7±0,21
Окультуренная	3,0±0,21	32±3,6	24±1,5	5,9±0,18
С признаками деградации	2,0±0,17	16±1,5	13±2,0	5,5±0,26

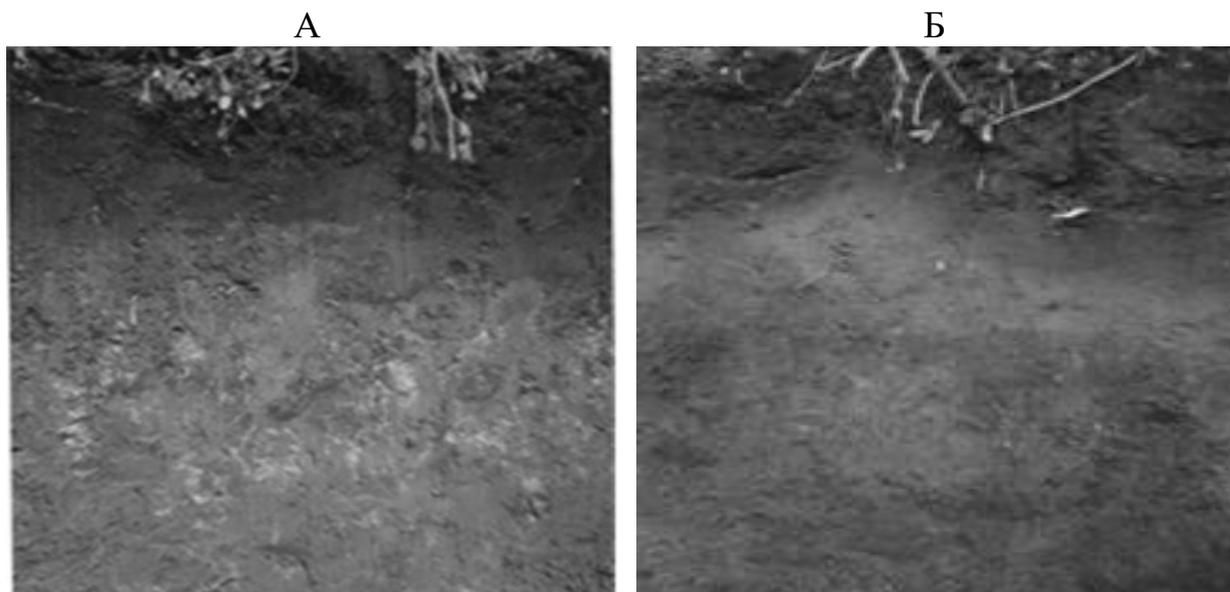


Рисунок 4 – верхняя часть разреза высококультуренной (А) и слабокультуренной (Б) агросерой почвы.

Гранулометрический состав несмотря на то, что детерминирован материнской породой в пространстве опытного или производственного поля варьирует в зависимости рельефа и других факторов. Кроме того, в настоящее время практически не остались природных аналогов современным агропочвам с идентичными геохимическими, метеорологическими условиями, чтобы можно было провести сравнительный анализ и утверждать о надежных тенденциях в изменении гранулометрического состава агропочв. Всё это усложняет интерпретацию результатов и накладывает на них определенные условности. Тем не менее, изучение гранулометрического состава имеет не только научный, но и практический интерес и особенно по части тонкодисперсных фракций, от состояния которых во многом зависит агрохимическая основа плодородия, питание растений, эффективность применения удобрений.

Общий схематичный набор генетических горизонтов серых лесных почв, следующий:

A₀-A₁-A₁A₂-A₂B-B-BC-C

Серые лесные почвы относятся к текстурно-дифференцированным почвам вследствие иллювиирования, например, нисходящего перемещения и аккумуляции ила в нижних горизонтах. Эту особенность почва приобрела в лесную стадию почвообразования. Современный агротехногенез, как указывают научные публикации, сопряжен с аналогичным явлением. Определить скорость, темпы выноса тонкодисперсных фракций в иллювиальный горизонт, по-видимому, невозможно по причине отсутствия высокочастотных хронорядов серой лесной почвы. Поэтому наша работа была нацелена на установление самого факта наличия или отсутствия выноса тонкодисперсных фракций из верхних горизонтов при сельскохозяйственном освоении серой лесной почвы.

В настоящее время серые лесные почвы с минимальным на них влиянием со стороны антропогенного фактора сохранились под естественной растительностью балок, оврагов. Нами изучен гранулометрический состав серой лесной почвы под лесом. Он представлен в разных соотношениях кленом, дубом, ясенем, рябиной с разнотравьем, в котором преобладает сныть. При некотором допущении почву под лесом можно считать фоновой. Мощность гумусового горизонта здесь составляет 15-17 см, гумусового профиля около 40 см. Зона оподзоливания (седоватый налет скелетан) мощностью 15-40 см наложен на гумусовый профиль.

До элювиально-иллювиального горизонта (A_2B) включительно фоновая почва легкосуглинистая. В срединных горизонтах количество физической глины возрастает за счет илистых фракций, и в иллювиальном горизонте (B) гранулометрический состав становится легкоглинистым. Такая общая картина профильного распределения механических элементов характерна и для агропочв, с той лишь разницей, что пахотный горизонт образован путем перемешивания исходных гумусового горизонта (A_1) и частично гумусово-иллювиального (A_1A_2). Отношение содержания фракций в горизонте B и горизонтах A_1 , A_1A_2 и A_2B (коэффициент отношения – KO) может указывать на природные особенности профильного распределения тонкодисперсных

фракций в случае с естественной почвой и инициируемые земледельческой деятельностью – в случае с пахотным аналогом.

На примере нашего конкретного случая при выявленной общей качественной закономерности, свойственной текстурно-дифференцированным почвам, на уровне количественных отношений можно указать, что по совокупности фракций физической глины (ФГ) наименьшее их содержание по сравнению с горизонтом **В** отмечается в A_1A_2 – 31 %, а **КО** составил 1,6 ед. (таблица 8). Достоверные различия между горизонтами A_1 , A_2B и материнской породой (**С**) отсутствовали – количество фракций **ФГ** колебалось в узком пределе 37-39 %. Из таблицы видно, что в наибольшей степени вертикальной дифференциации подвержена илистая фракция, в меньшей степени мелкая пыль: по сравнению с A_1 , A_1A_2 и A_2B в горизонте **В** отмеченных выше фракций оказалось больше на 12-18 % (абс.) и 1-3 % соответственно. Примем отмеченные локальные особенности серой лесной почвы за отправной фон при интерпретации гранулометрического состава агросерой почвы.

Таблица 8 – Гранулометрический состав серой лесной почвы и коэффициент отношения

Гори-зонт	1-0,25 песок крупный и средний	0,25- 0,05 мелкий песок	0,05-0,01 пыль крупная	0,01- 0,005 пыль средняя	0,005- 0,001 пыль мелкая	0,001- 0,0005 ил	<0,01 физическая глина (ФГ)
Фоновая серая лесная почва (под лесом)							
A_1	0,1	0,8	60	10/0,3	12/1,1	27/1,6	49/1,2
A_1A_2	0,3	1,5	68	6/0,5	10/1,3	25/1,7	41/1,6
$2B$	0,1	0,7	62	4/0,7	12/1,1	31/1,4	47/1,3
В	0,1	0,2	51	3	13	43	59
С	0,1	0,2	63	4	14	29	47
Серая лесная почва под пашней контрольная (без удобрений)							
$A_{\text{пах}}$	0,3	0,3	59	15/0,1	10/1,4	25/1,8	50/1,2
A_1A_2	0,6	1,9	64	11/0,2	11/1,5	20/2,2	42/1,5
A_2B	0,2	1,0	64	6/0,3	12/1,2	27/1,7	45/1,4
В	0,2	0,4	48	2	14	45	61
С	0,2	0,3	65	3	12	30	45
Серая лесная почва под пашней окультуренная							
$A_{\text{пах}}$	0,1	0,1	59	15/0,3	12/1,2	24/1,9	51/1,2
A_1A_2	0,2	0,2	58	13/0,3	12/1,2	25/1,8	50/1,3

Продолжение таблицы 8

A ₂ B	0,1	0,1	61	7/0,6	13/1,1	29/1,6	49/1,3
B	0,1	0,1	47	4	14	45	63
C	0,1	0,1	65	6	14	25	45
Серая лесная почва под пашней с признаками деградации							
A _{пах}	0,1	0,1	75	11/0,2	4/1,7	20/2,4	35/1,6
A ₁ A ₂	0,2	0,2	80	9/0,2	3/2,3	18/2,7	29/2,0
A ₂ B	0,1	0,2	77	5/0,4	4/1,7	24/2,0	33/1,7
B	0,1	0,1	53	2	7	48	57
C	0,1	0,1	66	10	11	23	44

В нашем случае исследуемая почва более 50-ти лет находилась в производстве и, начиная с 1970 года, участок приобрёл статус опытного поля. Сведения по интересующему нас вопросу на момент производственной фазы освоения агросерой почвы естественным образом отсутствуют. Поэтому динамику гранулометрического состава выявить не представляется возможным. Это затрудняет интерпретацию данных. Продолжительное земледельческое использование агросерой почвы без применения органоминеральной системы удобрения, разноглубинной обработки, сравнивая с фоновой почвой, не привело к существенному изменению гранулометрического состава. Уверенно интерпретировать, оперируя различиями по механическим элементам интервалом 1-4 % (абс.), рискованно, выводы не могут считаться бесспорными. Результаты можно отнести в пределы соответствия ошибки анализа.

В контрольной почве существенное снижение содержания ила в A₁A₂ на 5 % в сравнении с A₁ при КО более 2 (2,2) скорее обусловлено последствиями обособления и гомогенизации пахотного горизонта (A_{пах}). В отсутствии продолжительного применения удобрений обменная кислотность в агросерой почве стабилизируется на уровне близкой к нейтральной (5,7 ед.). По-видимому, при такой кислотности в аэробных условиях кислотный гидролиз минералов выражен слабо, не происходит активного восстановления железа и его переход в почвенный раствор и соответственно выноса, а это является одним из условий выноса илистого компонента.

При окультуривании агросерой почвы уже через 30 лет практически исчезают признаки оподзоливания в A_1A_2 . По ФГ гранулометрический состав по сравнению с неокультуренной (контрольной) агросерой почвой становится более однородным в пределах горизонтов A_1 и A_1A_2 . Аналогичная ситуация происходит по илу. Значение **КО** в этих горизонтах не превышало 2,0 ед. Можно предположить, что даже тот сектор почвенного профиля, который интенсивно не затрагивался обработкой и непосредственным влиянием удобрений (главным образом органическими), то есть с глубины 40 см, претерпел изменения.

Итак, изменения гранулометрического состава агросерых почв, находящихся в пределах элювиальной части конфигурации поля, по сравнению с природным аналогом оказались пока неясными. Вероятно, за то время, пока агросерые почвы находятся в сельскохозяйственном обороте, не произошло существенное накопление в них количественных изменений (если оно вообще происходит). Но, если почва находится в пределах транзитной части, отклонения в содержании тонких фракций становятся существенными.

Как видно из таблицы 8, по сравнению с фоновой серой лесной почвой приблизительно в 3 раза уменьшается содержание тонкой пыли в $A_{\text{пах}}$, A_1A_2 и A_2B . Изменения коснулись и ила, например, в A_1A_2 и A_2B он уменьшился на 7 % (абс.). На 4-5 % его стало меньше в пахотном горизонте по сравнению с контрольной и окультуренной агросерой почвой. По-видимому, это связано с проявлением водной эрозии, непосредственным выносом тонких фракций. Другая причина – это снижение гумуса, с которым тонкие фракции образуют органоминеральные комплексы. Их разрушение сопровождается разрушением почвенной структуры и, вероятно, усилением вертикального переноса тонких фракций. Уменьшение содержания ила в пахотном слое согласуется с данными работы О.В. Руховича, С.И. Шкуркина (2021), которые отмечали снижение ила в пахотном горизонте агросерой почвы на 4 % в сравнении с целинным аналогом. Поэтому возникает необходимость компенсации потерь.

Отмеченные выше положения, заключения не могут считаться окончательными и бесспорными. Требуется дальнейшее изучение. Интерпретацию результатов мы определяем на уровне тенденций. Более явно последние проявляются в агросерой деградированной почве с явными признаками нисходящего и поверхностного выноса илистых фракций в результате проявления эрозионных процессов.

Понятие «плодородие почвы» охватывает в почву в целом. Поэтому, исследуя отдельные механические элементы гранулометрического состава правильнее употреблять в отношении их понятие «трофность». Само понятие «трофности», как правило, не имеет четкого определения и часто воспринимается как синоним понятий «богатство среды», «общая обеспеченность элементами питания». Понятие трофности широко используется при классификации торфяных почв на основе их ботанического состава (Н.А. Аветов, Е.А. Шишконокова, 2013). Трофность – характеристика местообитания (почвы, водоёма) по его биологической продуктивности, обусловленной содержанием биогенных элементов. Использование понятия «трофность почвы» не упрощая понимания, представления о плодородии, самой его сути, позволит оттенить агрохимическую составляющую плодородия почвы, представить более детально механизмы формирования процессов, связанных с питанием сельскохозяйственных растений. Механические элементы обладают своими индивидуальными особенностями агрохимических свойств. Несмотря на некоторое увеличение обменной кислотности в линейке уменьшения их размерности (таблица 9).

Наши результаты показали, что гумус концентрируется в мелкой пыли (2,8 %) и в иле (6,3 %) при средневзвешенном содержании 1,6 % (таблица 9). Во фракциях мелкой пыли и ила содержание подвижного фосфора и обменного калия по сравнению со средней пылью увеличивается на 5-10 мг/100 г. Аналогичные закономерности проявились по емкости катионного обмена.

Таблица 9 – Агрохимическая характеристика механических элементов

Параметр	1-0,25 песок крупный и средний	0,25- 0,05 мелкий песок	0,05-0,01 пыль крупная	0,01- 0,005 пыль средняя	0,005- 0,001 пыль мелкая	0,001- 0,0005 ил	Средне- взвешен- ное	Среднее арифмети- ческое
pH _{KCL}	6	6	5,7	5,7	5,6	5,8	5,8	5,7
Гумус, %	0	0	0,3	0,8	2,8	4,3	1,6	2,1
P ₂ O ₅ , мг/100 г	0	следы	3,7	4,6	10,0	15,3	7,3	12,3
K ₂ O, мг/100 г	0	следы	3,0	4,1	10,0	16,7	7,2	14,4
ЕКО, мг- экв/100 г	0	0	3,7	10,0	32,5	53,3	20,0	27,0

Представленные в таблице 9 результаты не могут объективно отражать условия, складывающиеся в почве, так как в ней механические элементы находятся в агрегированном состоянии, кроме того, сама процедура получения механических элементов предполагает при их сохранности искажение результатов агрохимического анализа. Из таблицы 9 это видно по несоответствию между значениями средней арифметической и средней взвешенной. Тем не менее, результаты демонстрируют трофическую ценность тонкодисперсных фракций. Кроме того, данные анализа могут иметь прогностическое значение. По ним можно спрогнозировать ухудшение состояния почвенной кислотности, степень снижения элементов питания, уровень падения физико-химического потенциала в случае выноса тонких фракций, в частности ила, и, в первую очередь, из пахотного горизонта.

В некоторых гранулометрических фракциях концентрируется калий. Были установлены парные корреляционные зависимости. Достоверными ($p < 0,05$) они оказались для мелкого песка, крупной и мелкой пыли, ила (рисунок 5, приложение 4.1, 4.2). Количество подвижного калия возрастает при увеличении ила ($r = 0,6$) (приложение 4.3).

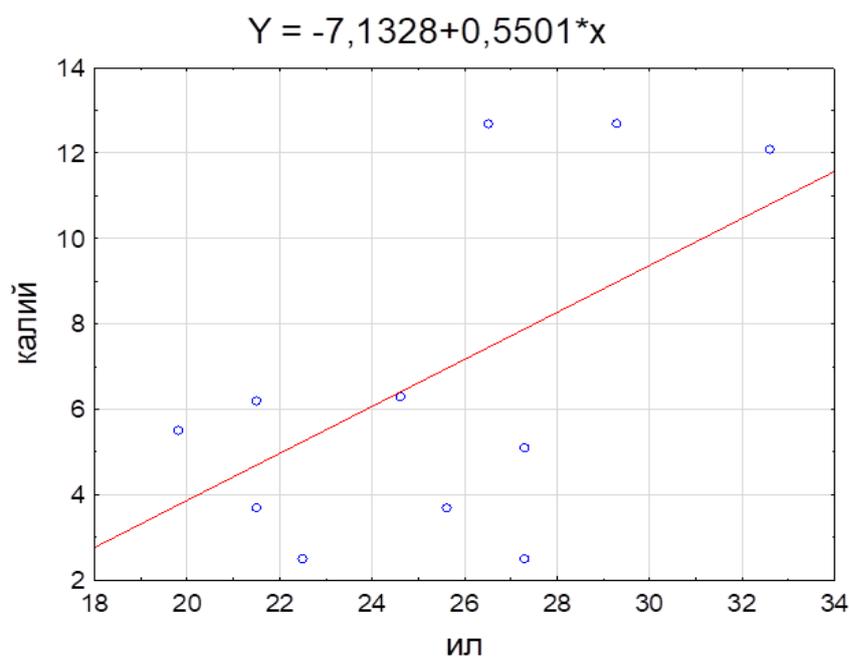
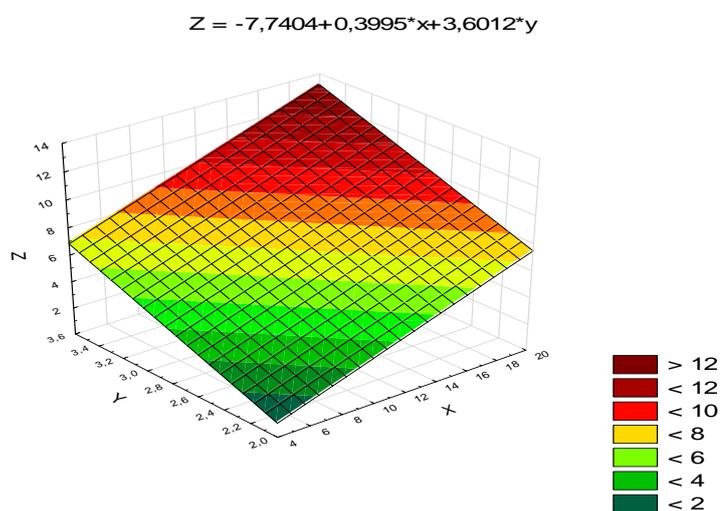


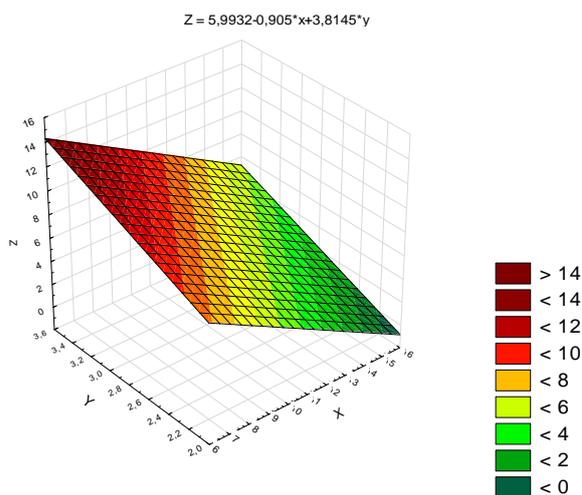
Рисунок 5 – Линейная зависимость содержания обменного калия (мг/100 г) от ила (%)

На рисунке 6, приложении 4.4 показаны результаты множественной регрессии зависимости содержания подвижного калия от гранулометрических фракций.

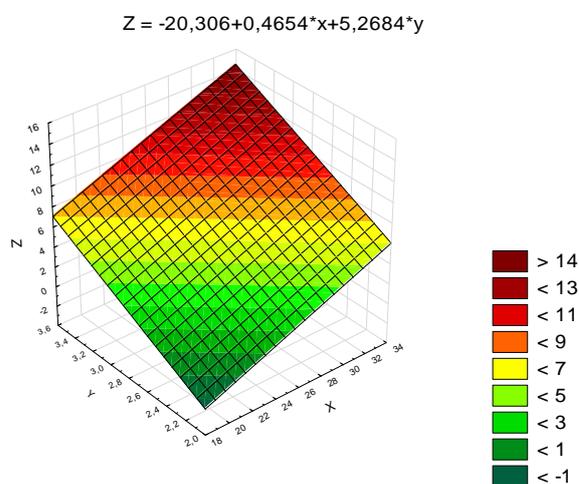


Мелкий песок

Рисунок 6 – Зависимость подвижного калия (ось Z) от гумуса (ось Y, %), мелкого песка, мелкой пыли и ила (ось X, %)



Мелкая пыль



Ил

Продолжение рисунка 6 – Зависимость подвижного калия (ось Z) от гумуса (ось Y, %), мелкого песка, мелкой пыли и ила (ось X, %)

Следует ожидать повышение содержания подвижного калия при увеличении доли мелкого песка ($r=0,5$) (объясняется минералогическим составом, в котором основными компонентами становятся слюды и K-полевые шпаты), а также ила ($r=0,5$), и снижении доли мелкой пыли ($r=-0,6$). Данные приложения 3.2 позволяют заключить об отсутствии мультиколлинеарности между содержанием гранулометрических фракций и гумусом (значения r недостоверные и существенно ниже 0,7 ед.).

Частная корреляция позволяет выявить зависимость между двумя признаками при исключении третьего. В нашем случае установлены частные корреляции первого порядка (зависимый признак – подвижный калий).

Частный коэффициент корреляции между мелким песком и калием при одинаковом содержании гумуса ($r=0,73$) показывает то, что лишь незначительная часть взаимосвязи этих признаков в общей (парной) корреляции ($r=0,8$) обусловлена влиянием гумуса (разница между коэффициентами составила 0,07 ед.). В равной степени это относится к фиксируемой переменной мелкому песку. Если в качестве фиксируемых переменных выступают мелкая пыль и гумус, то они взаимно ослабевают связь калия с данными показателями. Ослабление связи следует считать незначительной, так как дельта значений между парной и частной корреляцией составляет 0,03-0,04 ед. (таблица 10). Направление воздействия фиксируемых переменных пары ил-гумус иное. Без учета влияния гумуса связь калия с илом исчисляется значением парной корреляции, равным 0,57 ед., без учета влияния ила коэффициент парной корреляции для калия и гумуса составляет 0,76 ед. С учетом этих независимых переменных значения частной корреляции возрастают на 0,17 ед. для ила и на 0,09 ед. для гумуса. Это означает, что при установлении зависимости содержания подвижного калия от гумуса необходимо учитывать содержание ила и аналогично в описанных выше форматах связей гумус.

Таблица 10 – Коэффициенты корреляции зависимости подвижного калия от гранулометрических фракций

Параметр	Корреляция		
	множественная	частная	парная
	мелкий песок и гумус		
Мелкий песок	0,55	0,73	0,80
Гумус	0,48	0,68	0,76
	мелкая пыль и гумус		
Мелкая пыль	-0,61	-0,85	-0,82
Гумус	0,51	0,80	0,76
	ил и гумус		
Ил	0,49	0,74	0,57
Гумус	0,70	0,85	0,76

Для определения влияние гранулометрических фракций, гумуса (признаки, переменные) на подвижный калий использован метод дискриминантного анализа (таблица 11, приложение 5). Для этого совокупность значений по калию была разделена на две группы: 0 – содержание калия более 9 мг/100 г и 1 – меньше 9 мг/100 г. Общее значение Лямбды Уилкса с учетом всех задействованных переменных невысокое – 0,14 (таблица 11). Из всех фракций в модель дискриминации вошли мелкая и средняя пыль, ил и гумус.

Таблица 11 – Список информативных переменных (Лямбда Уилкса: 0,14505 $p < 0,0003$)

Параметр	Лямбда Уилкса	Частная Лямбда	F – критерий	Уровень значимости (p)	Толерантность 1-R ²
Мелкая пыль (МП)	0,30	0,48	10,71	0,00839	0,45
Гумус (Г)	0,31	0,46	11,71	0,00652	0,59
Ил (И)	0,22	0,66	5,14	0,04675	0,55
Средняя пыль (СП)	0,17	0,87	1,54	0,24233	0,35

Это значит, что внутригрупповая изменчивость существенно ниже общей, поэтому граница разделяет группы по содержанию калия 9 мг/100 г корректно, качественно. Процент верно классифицированных случаев составил 100 %. Наилучший вклад в разделение групп сделан переменными гумусом и мелкой пылью, так как значение Лямбды Уилкса максимальное – 0,30-0,31. На ценность (с точки зрения дискриминации) этих признаков указывает частная Лямбда: после добавления гумуса и мелкой пыли значение показателя уменьшилось. Исключение указанных выше признаков (F – критерий) приводит к статистически значимому изменению соотношения дисперсий ($p < 0,01$). Минимальное значение толерантности установлено для средней пыли, значит, эта переменная сильно связана с остальными переменными.

Уравнения дискриминантных функций выглядят следующим образом (приложение 5.1): для содержания подвижного калия больше 9 мг/100 г

(группа 0) – $D = -164 + 0,4МП + 33,6Г + 6,3И + 2,7СП$; для калия меньше 9 мг/100 г
 (группа 1) – $D = -125 + 3,9МП + 23,9Г + 5,1И + 1,4СП$.

Чтобы увидеть, как переменные разделяют две совокупности, была вычислена дискриминантная функция. Как видно из приложения 5.2, корень был статистически значим: коэффициент канонической корреляции составил 0,92 при $p < 0,01$. На данную функцию приходится 85 % дисперсии (R^2).

Как известно, стандартизированные коэффициенты позволяют судить об относительном вкладе переменной в дискриминантную функцию. Исходя из данных абсолютных величин коэффициентов, можно заключить, что в межгрупповом различии наибольший вес имеет гумус, так как его значение было максимальным (математический знак не учитывается) – 1,2, далее по значимости идет мелкая пыль (1,0) и ил (0,9) (приложение 5.3). Абсолютная величина структурного коэффициента оказалась максимальной (0,53) для мелкой пыли, следовательно, основная информация о дискриминантной функции заключена в данной переменной. Среднее значение для дискриминантных показателей (центроид) группы 0 составил -3,7, группы 1 – 1,4. Средний групповой центроид составил -1,15. Значения переменных меньше -1,15 (рисунок 7).

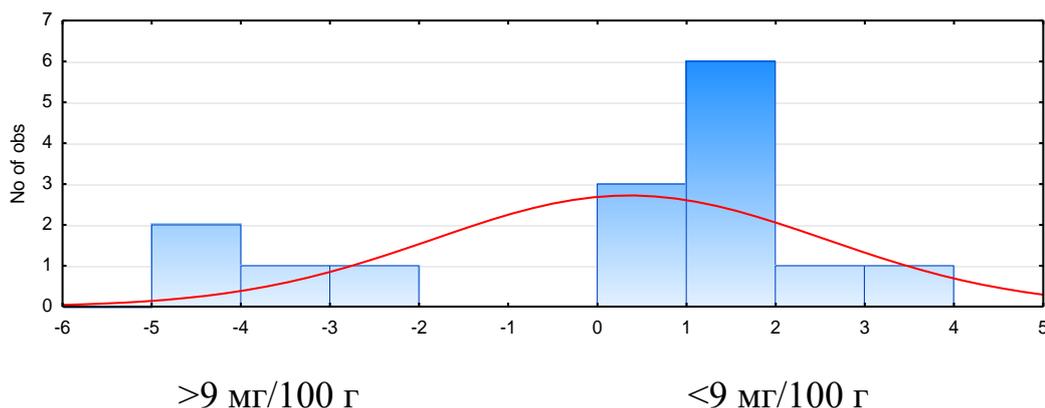


Рисунок 7 – Гистограмма канонических коэффициентов

Таким образом, в разделении подвижного калия на две группы (больше и меньше 9 мг/100 г) участвуют в порядке убывания величины веса: гумус, мелкая пыль, ил и средняя пыль. Данное заключение справедливо для

конкретного случая комбинаций показателей гранулометрического состава, гумуса и подвижного калия, соизмеримо с которыми принят частный случай группировки. При этом влияние гумуса, по-видимому, выражено в большей степени. В любом случае стабилизация гумуса илистой фракцией способствует в конечном итоге улучшению питания сельскохозяйственных растений калием. Потеря почвой илистого компонента будет свидетельствовать об обратном процессе.

Для приближенной оценки (исключительного) влияния органического вещества на распределение элементов по тонким фракциям (в нашем случае в иле и тонкой пыли) был определен валовый состав высокогумусированной агросерой почвы. В качестве контроля взята аналоговая почва с низким содержанием гумуса (таблица 12, приложение 6).

Таблица 12 – Агрохимические свойства агросерой почвы

Вариант	Гумус %	Сгк/Сфк	P ₂ O ₅ мг/кг	K ₂ O мг/кг	pH _{KCl}	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ мг-экв/100 г
НГП	2,0	2,2	110	70	5,5	23,0
ВГП	5,4	2,6	466	407	6,0	46,3

Примечание: * На основе почвенных образцов, отобранных в 2000 году (Р.Н. Ушаков, 2007)

**ВГП – высокогумусированная или высокоплодородная почва;

**НГП – низкогумусированная или низкоплодородная почва

В илистом компоненте содержание инертного в трофическом отношении кварца, судя по оксидным формам кремния, в независимости от уровня плодородия почвы в 1,6 раза меньше по сравнению со значениями для почвы в целом. Соответственно полуторных окислов алюминия и железа больше в 1,7 и 3,0 раза соответственно (таблица 13, приложение 7.1). При этом с увеличением в агросерой почве гумуса снижается содержание в иле оксида железа на 1,0 % (абс.), в почве в целом – на 0,3 % (абс.). Снижение количества железа может быть связано с его вертикальной миграцией в форме комплексного соединения с гумусовыми кислотами, в частности с кислыми фульвокислотами, с которыми железо образует подвижные золи. Благоприятными условиями для вертикальной миграции являются природный фактор – промывной режим и более действенный – антропогенный,

увеличивающий почвенную кислотность, ослабляющий органоминеральные взаимодействия.

Таблица 13 – Влияние плодородия на распределение элементов в слое 0-20 см, %

Вариант	SiO ₂			Al ₂ O ₃			Fe ₂ O ₃			CaO			MgO			P ₂ O ₅			K ₂ O		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
НПП	50,2	81,3	80,7	14,7	9,6	9,5	9,2	2,7	2,5	0,5	1,0	0,8	2,5	1,0	0,8	0,6	0,2	0,1	2,9	2,2	3,1
ВПП	49,8	80,5	74,7	15,1	8,4	8,8	8,2	2,4	2,7	0,6	1,6	1,6	2,3	0,9	1,0	0,8	0,4	0,2	3,1	2,4	3,0

Примечание: 1 – в иле; 2 – в почве в целом; 3 – в тонкой пыли

Характер распределения элементов в тонкой пыли соответствовала в общей характеристике статистической ошибки для почвы в целом. По-видимому, это связано с преобладанием тонкой пыли в гранулометрическом составе агросерой почвы. Исключение по тонкой пыли составляет калий, где его содержание отличалось от почвы в целом на 0,6-0,9 % (абс.). На фоне высоких значений органического вещества в агросерой почве можно ожидать увеличение в ней и во фракциях валовых форм кальция и фосфора, и особенно в тонкой пыли – в два раза.

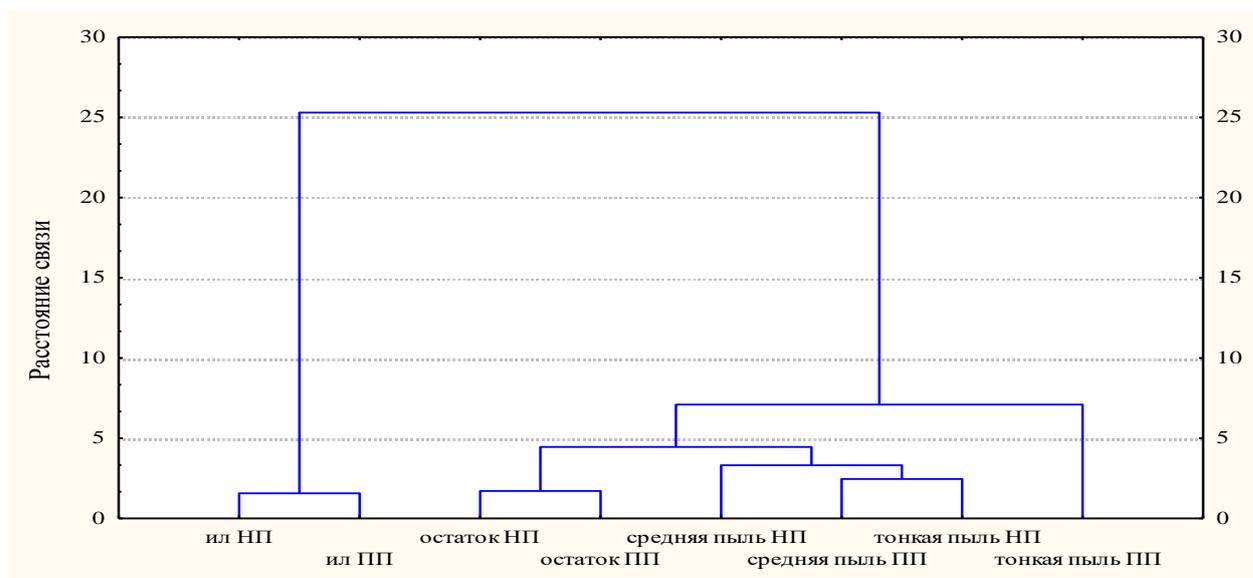


Рисунок 8 – Расстояние связи между фракциями в неплодородной (НП) и плодородной почве (ПП) для слоя 0-20 см

Для определения меры сходства по макроэлементному составу был использован метод статистического анализа определения евклидового расстояния (рисунок 8, таблица 14, приложение 7.2).

Таблица 14 – Евклидовое расстояние по содержанию элементов

	Тонкая пыль ВГП	Тонкая пыль НГП	Средняя пыль ВГП	Средняя пыль НГП	Ил ВГП	Ил НГП	Остаток ВГП	Остаток НГП
Тонкая пыль ВГП	0	–	–	–	–	–	–	–
Тонкая пыль НГП	7,1	0	–	–	–	–	–	–
Средняя пыль ВГП	7,1	2,5	0	–	–	–	–	–
Средняя пыль НГП	10,2	3,5	3,3	0	–	–	–	–
Ил ВГП	25,4	32,0	32,5	35,4	0	–	–	–
Ил НГП	25,3	31,8	32,3	35,2	1,6	0	–	–
ВГП песок (остаток)	15,7	9,5	8,6	6,1	40,9	40,7	0	–
Остаток НГП	14,3	8,0	7,2	4,5	39,6	39,4	1,7	0

Наименьшие расстояния между вариантами высокогумусированной и низкогумусированной почвы фиксируются для пар гранулометрических фракций средняя пыль – тонкая пыль: от 2,5 до 3,5. Для данной пары фракций расстояние увеличивается до 7,1 в пределах плодородной агросерой почвы и тонкой пыли, принадлежащей агросерой почве разного уровня плодородия. При увеличении ила расхождения химического состава усиливаются: евклидовое расстояние повышается до 25 при сравнении с тонкой пылью, до 32 – со средней пылью. Таким образом, мера сходства химического состава гранулометрических фракций, выделенных из высокогумусированной и низкогумусированной агросерой почвы достаточна высокая, она снижается в присутствии ила. Аналогичные закономерности установлены для микроэлементов (приложение 7.3, 7.4).

В агросерых почвах еще до современной фазы их агрогенной эволюции в силу специфических особенностей проявления природных факторов, характерных для лесостепной зоны, сложились почвообразовательные процессы, которые вместились в единое вертикальное почвенное пространство – гумусово-элювиальный горизонт. Сопряженное протекание

гумусо- и подзолообразования под естественной древесной растительностью наложило отпечаток на формирование плодородия. В то время, когда естественные серые лесные почвы переводили в пашню, они характеризовались изначально невысоким содержанием органического вещества. Наличие в агросерой почве элювиального процесса свидетельствует об уязвимости минерального вещества к трансформационным изменениям.

По новой классификации (2004 г.) агросерые почвы относят в отдел текстурно-дифференцированных почв. Для определения степени выраженности дифференциации был определен соответствующий коэффициент по илу, рассчитываемый как отношение содержания ила в горизонте **В** к таковому в горизонте **А**. Он составил 2,2-3,1. Определить вклад антропогенного фактора (агрогенеза) в характере (интенсивность, изменение относительно природного фактора) вертикального распределения глины не представляется возможным в виду отсутствия сведений в хронологическом ряду событий для конкретного пространства местности (почва опытного участка, аналоговая естественная почва). Очевидным является факт, что длительное сельскохозяйственное использование агросерой почвы не устраняет вынос ила из пахотного слоя почвы. Минеральная составляющая пахотного слоя почвы в наибольшей степени подвергается выветриванию. Его продукты – тонкие фракции, они не аккумулируются, а выносятся в нижние горизонты, как показывают наши расчеты коэффициента дифференциации по илу.

Источниками тонкодисперсных фракций в почве являются почвенные минералы. Однако чрезмерное их выветривание является сигналом деградации почвы. Рассмотрим валовый химический состав агросерой почвы и состояние ее минерального комплекса.

Валовый химический состав представлен в таблице 15, приложении 8. Видно, что он однородный в пределах мощности 0-30 см, как в иле, так и почве в целом. В илистом компоненте отношение оксида кремния к полуторным окислам составляет около 2,0; для почвы в целом – 5,7. По сравнению с почвой

илистая фракция обогащена валовым магнием, что объясняется локализацией магнийсодержащих минералов именно в этой фракции. Количество оксида кальция незначительно, что свидетельствует о небольших примесях кальцийсодержащих минералов.

Таблица 15 – Валовый химический состав агросерой почвы, %

Слой, см	SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		CaO		MgO		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0-20	52,5	78,9	16,7	10,4	9,9	3,5	0,7	1,0	2,9	0,9	0,4	0,3	2,9	2,4
20-30	53,3	78,5	17,0	10,5	10,1	3,5	0,7	1,0	2,8	0,9	0,3	0,3	2,9	2,3

Примечание: 1 – в иле; 2 – в почве в целом. Значения m представлены в приложении 8.2.

Оксид калия в иле немного превышает его количество в почве в целом. При сравнении запасных форм химических элементов между илом и почвой различия достоверные, за исключением по фосфору (приложение 8.3). За неимением данных валового химического состава по прошлым годам, делать вывод об педохимическом характере изменения почвы в процессе ее агрогенеза преждевременно, можно только констатировать текущее состояние.

Минералогический состав почвы и ила изменяется с глубиной: каолиниты и хлориты, гидрослюды снижаются, смешаннослойные образования увеличиваются (таблица 16, приложение 9). Как известно, слюды характеризуются низкими значениями ЕКО и удельной поверхностью. Большое влияние на почвенное плодородие оказывают слюдистые минералы. Благодаря присутствию добавочного октаэдрического слоя между трехслойными пакетами невыветрелые минералы группы хлоритов не имеют химически активной внутренней поверхности, поэтому они характеризуются низкими величинами ЕКО. Низкими величинами ЕКО характеризуются также каолиниты, поэтому они поглощают лишь небольшую долю вносимых соединений и обладают пониженной буферной способностью.

Таблица 16 – Минералогический состав ила и почвы в целом

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

Из всех изученных минералов в более тонких фракциях преобладают слюды – 30-34 %. С увеличением размерности фракций увеличивается содержание хлоритов и кварца (таблица 17, приложение 9).

Таблица 17 – Минералогический состав по механическим фракциям

Слой, см	Кварц	Слюда	Каолинит	Хло- риты	К-полев. Шпаты	Плагио клазы
	1-5 мкм					
0-20	32,0	30,3	5,0	1,0	16,7	14,3
20-30	29,7	34,3	5,7	2	16,3	11,7
	5-10 мкм					
0-20	43,0	15,9	3,3	3,8	17,5	16,0
20-30	41,9	14,8	2,4	4,3	18,4	16,4

В структуре минеральной части тонкой почвенной фракции агросерой почвы размером 1-5 мкм в слое 0-20 см содержание функционально инертных минералов (кварца, полевого шпата и плагиоклаза) составляет в сумме 63,0 %, с глубиной их количество снижается до 57,7 %. В тонкой пыли разница между слоями в отношении глинистых минералов составила около 8 % (абс.). По-видимому, такая послонная дифференциация может свидетельствовать об изменении минералогического состава тонкой пыли в ходе агрогенной эволюции, хотя не исключено, что это связано с природными особенностями горизонтального распределения тонкой пыли в процессе генезиса. Научная литература демонстрирует очень скудные и противоречивые сведения на этот счет, чтобы давать надежное заключение. Для нас гораздо важнее понимание, что именно слой 0-20 см является в земледелии наиболее технологически операционным, и что в нем накапливаются инертные минералы, с небольшими значениями ЕКО.

К сожалению, минералогический состав агросерой легкосуглинистой почвы опытного участка в прошлом не определяли. Поэтому возникают трудности интерпретации современных данных, связанные с невозможностью установления характера изменения минералогического состава. Опираясь на данные других авторов, указывающие на ухудшение минералогического состава агропочв можно заключить важность не только сохранения минеральных компонентов с высокой удельной поверхностью и сорбционной активностью, но и повышение их содержания почвы искусственными способами.

Источником глинистых минералов в почве является внутripочвенное выветривание. Вторичные минералы пополняются за счет разрушения первичных минералов. Однако этот процесс даже в условиях сельскохозяйственного использования не быстрый. Поэтому восполнение потерь тонкодисперсных фракций в пахотном слое для улучшения поверхностных свойств агропочв целесообразно производить внесением покровных суглинков.

Агросерые почвы имеют элювиально-иллювиальное перераспределение ила. В процессе их агротехногенеза иллювиирование усиливается. С выносом ила ожидаемо ухудшение поверхностных свойств почвы. Поэтому в комплексной оценке почвенного плодородия, необходимо включать не только динамичные показатели (содержание элементов питания и т. д.), но и субстантивные, в частности минералогический состав и при необходимости постепенно изменять его в пахотном слое почвы путем внесения глинистого или суглинистого природного материала.

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 18). Незначительно повысилась (в абсолютных значениях) 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 18 – 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 и среднее арифметическое значение по фосфору в 2005 году соответствовали очень высокой обеспеченности, через 10 лет значения достоверно снизились ($p < 0,01$) на 66 и 63 мг/кг (таблица 19). 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 %).

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 суглинки.

Таблица 19 – Результаты мониторинга агросерой почвы элементов питания, обменного кальция

Годы обследования	Очень низкое и низкое		Среднее		Повышенное		Высокое		Очень высокое		\bar{X} с. в. среднее	\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
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											
	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

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, С.П. Бижан, 2022). 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)

Лабораторные опыты моделируют условия. В них трудно с высокой точностью воспроизвести полевую обстановку, связанную с физическими (в опытах используют измельченную почву), биологическими (используют подсушенную почву с невысокой биологической активностью) и с другими свойствами. Несмотря на некоторую искусственность в выборе доз удобрений, использования однослойных почвенных сред и т.д., исключения погодных факторов, в нашем случае использование лабораторных опытов во многом связано с многокомпонентностью ПУУС, а, следовательно, отсутствием подходящего ГОСТа для химических анализов.

При проектировании и разработке оборудования для получения ПУУС неизбежно возникнут технические трудности. Самыми уязвимыми местами в технологическом процессе являются этапы смешивания и удаления избыточной влаги. Это связано с химической агрессивностью по отношению металлосодержащим поверхностям, обуславливающей коррозионную активность по отношению к конструкционным материалам, а также химической неустойчивостью азотной кислоты. Поэтому при производстве ПУУС необходимо использовать инертные материалы. Для снижения химической агрессивности азотной кислоты при производстве ПУУС, мы полагались на предположении, 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 9).

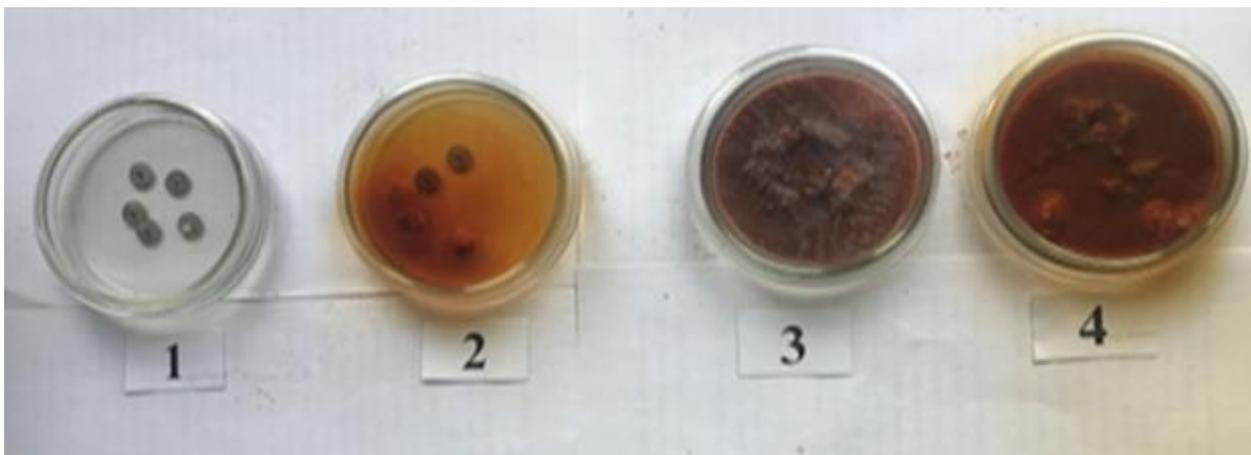


Рисунок 9 – Взаимодействие охлажденной азотной кислоты (варианты 1 и 3) и неохлажденной (варианты 2 и 4) с железом в присутствии **ПС+ФМ** (варианты 3 и 4) и без него варианты (варианты (1 и 2)

В вариантах 1 и 3 с охлажденной азотной кислотой выделение диоксида азота не обнаружено. По истечению 25-30 минут температура охлажденной азотной кислоты приобрела комнатную (22-24 градуса), и начался процесс выделения бурого газа – вариант 1 (рисунок 10).

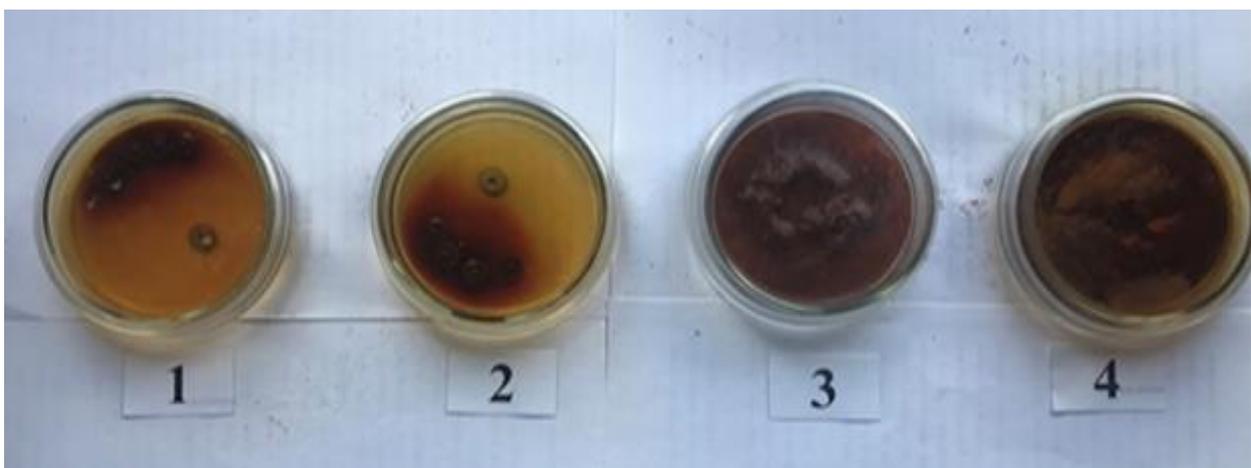


Рисунок 10 – Взаимодействие азотной кислоты с железом после 25-минутной экспозиции (нумерация вариантов аналогична рисунку 1)

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, затем 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.

Изучали три уровня температурного воздействия: щадящий ($t < 40^{\circ}\text{C}$), умеренный (t около 70°C) и интенсивный ($t > 70^{\circ}\text{C}$). Готовность ПУУС определяли по содержанию в нем воды, которое не должно было превышать 10%. При интенсивном режиме продолжительность сушки составляла 1 день, умеренном и щадящем не более 2 дней. Увеличение температурного воздействия в процессе сушки привело к потерям нитратного азота в ПУУС. Как видно из рисунка 11, при $t > 70^{\circ}\text{C}$ содержание нитратов составило 23188 мг/кг. Это меньше по сравнению с вариантами, где $t < 40^{\circ}\text{C}$ и $t = 70^{\circ}\text{C}$ в 3,0 и 2,4 раза соответственно.

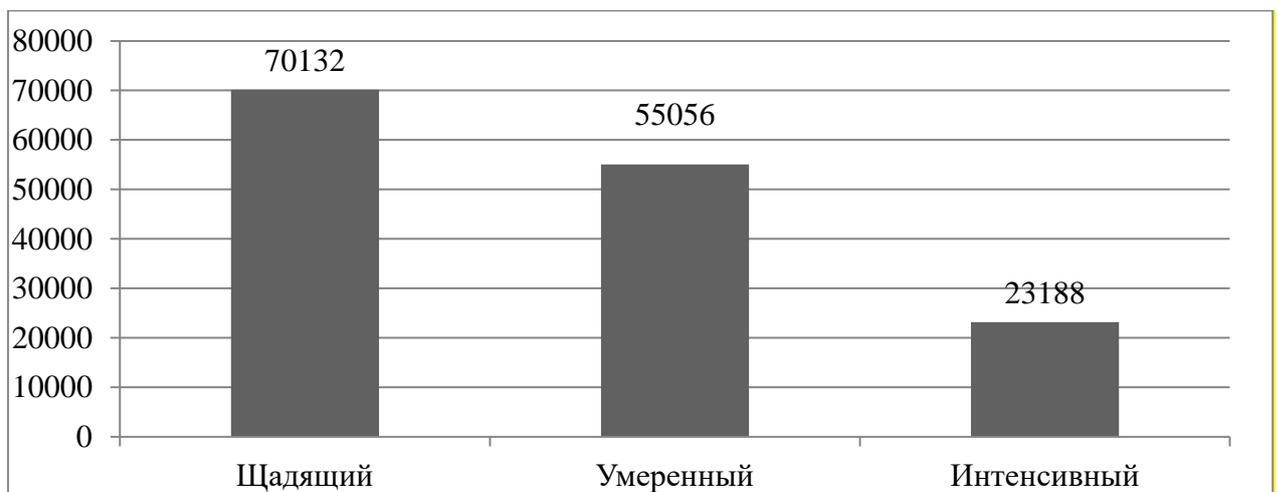


Рисунок 11 – Содержание нитратного азота (мг/кг) в ПУУС в зависимости от температуры сушки

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

В таблице 20, приложении 10.1 показан исходный гранулометрический состав покровного суглинка (лабораторный опыт 1.3), который был использован для получения ПУУС. Суглинок характеризуется невысокой долей песчаных частиц: в сумме она составляет 3,6 %. На долю крупных и тонких пылеватых частиц – 53,6 и 14,5 % соответственно, глинистых частиц – 28,3 %. По В.В. Охотину, Г.П. Мазурову (1951), покровный суглинок классифицируется как суглинок тяжелый пылеватый.

Азотная кислота, взаимодействуя суглинком, по-видимому, частично разрушает глинистый компонент. Этим можно объяснить сравнением содержания глинистых частиц до и после воздействия (таблица 20, приложение 10.2). Их количество уменьшилось на 11,3 % (абс), пылеватых частиц увеличилось. Прямые исследования о переходе некоторой части глинистого компонента в пылеватую фазу при воздействии азотной кислоты отсутствуют. Возможно, что изменение гранулометрического состава было обусловлено кислотным гидролизом минералов. Поэтому по составу он пылевато-глинистый.

Таблица 20 – Гранулометрический состав покровного суглинка

Дресва	Песчаные частицы, %					Пылеватые частицы, %		Глинистые частицы
	грубо-зернистые	крупно-зернистые	средне-зернистые	мелко-зернистые	тонко-зернистые	крупные	тонкие	
до взаимодействия с кислотой								
0	0,1	0,5	0,6	1,0	1,4	53,6	14,5	28,3
после взаимодействия с кислотой								
0	0,1	0,5	0,6	1,0	1,4	55,1	24,3	17,0

В таблице 21 приведена краткая химическая характеристика хемоактивированного покровного суглинка. Установлено, что содержание обменного калия при обработке покровного суглинка азотной кислотой

увеличилось более чем в 10 раз – с 115 до 1250 мг/кг. Если рассматривать покровный суглинок как один из самостоятельных компонентов в почво-улучшающей смеси, то при его значении ЕКО 48-50 мг-экв/100 г, минимальное количество обменного калия, которое может удержать покровный суглинок, составит 23 мг/100 г (расчет проводился по формуле В.В. Прокошева, И.П. Дерюгина, 200). Возможно, что покровный суглинок может удержать калия и больше с учетом мобилизации его из необменных форм. В нашем случае часть обменного калия – около 11 мг/100 г (таблица 21) компенсируется самим покровным суглинком, хотя обработка его азотной кислотой существенно повышает обменный калий за счет извлечения из общего запаса. Косвенно об этом можно судить по уменьшению глинистых частиц – с 28,3 % до 17,0 % (абс) (таблица 20), которые при разрушении высвобождают калий.

Таблица 21 – Химическая характеристика ПУУС

Показатели	До хемоактивации контроль	После хемоактивации	Единицы измерения
Вода	7,3±0,4	9,5±0,5	%
Обменная кислотность	5,7±0,2	5,3±0,4	ед
Актуальная кислотность	Не опр.	7,3±0,7	ед
Нитратный азот	20±0,3	70132±30	мг/кг
Общий азот	0,1±0,01	2,7±0,4	%
Обменный калий	11,5±0,6	1250±13	мг/кг
Общий калий	0,2±0,01	0,20±0,02	%
Подвижный фосфор	20±0,4	76,0±3	мг/кг
Общий фосфор	0,03±0,001	0,45±0,07	%
Кальций	Не опр.	128,68±2	ммоль/100 г
Медь	Не опр.	8,8±0,9	мг/кг
Цинк	Не опр.	9,5±0,9	мг/кг
Емкость катионного обмена (ЕКО)	51±0,7	47,6±7,1	мг-экв/100 г
Обменный кальций	Не опр.	>36,0	ммоль/100 г
Подвижный магний	Не опр.	>12,0	ммоль/100 г

Нами были изучены резервные формы калия покровного суглинка. Как видно из таблицы 22, при воздействии на него азотной кислотой вовлекается весь ближний и непосредственный резерв калия и 33 % калия потенциального резерва, переходя в подвижную форму ($7+715+1607*0,32=1250$ – значение

соответствует содержанию обменного калия, таблица 21). Можно предположить, что около 1000 мг/кг запасного калия остается в суглинке и может являться источником доступного для растения калия с течением времени.

Таблица 22 – Содержание разных форм калия в покровном суглинке после воздействия кислоты

Показатель	Значение, мг/кг
Потенциальный	1607
Ближний	715
Непосредственный	7

В меньшей степени изменения коснулись подвижного фосфора (в 3,8 раза) – с 20 до 76 мг/кг. Содержание общего фосфора увеличилось в 15 раз – с 0,03 до 0,45 %. Существенно повысилось содержание нитратного и общего азота. Содержание валовой формы меди (8,9 мг/кг) и цинка (9,5 мг/кг) соответствовало ПДК (таблица 21).

Проведенные в таблице 21 значения не могут считаться точными, их следует считать приблизительными. По своей сути они отражают лишь ожидаемые тенденции изменения активности элементов с ориентировочными количественными измерениями. Связано это с тем, что суглинок для хемоактивирования использован в качестве самостоятельного компонента. Совместно с другими компонентами хемоактивированный химический состав ожидается другим.

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.

Нитратный азот суглинка обладает высокой активностью. После кратковременного взаимодействия с водой мобильно трансформируется и закрепляется почвой. Как видно из таблицы 23, содержание общего азота при условно-эквивалентной дозе 255 кг/га достоверно увеличилось по сравнению

с исходным уровнем (0,03 %) в 3 раза, нитратного азота – более чем в 100 раз. Следовательно, можно предположить, что сразу после посева культурных растений азот ПУУС будет доступным для культурных растений. Между вариантом с условно-эквивалентной дозой 51 кг/га и исходным содержанием различия были не достоверными. Использование ПУУС не привело к подкислению почвенного раствора агросерой почвы, а, наоборот, даже способствовало нейтрализации кислотности.

Таблица 23 – Содержание азота и кислотность агросерой почвы при использовании ПУУС (модельный подход)

Вариант	Исходный N-NO ₃ в почве, мг/кг	Исходный общий азот в почве, %	Опыт 3			
			Общий азот, %	pH _{H2O}	pH _{KCl}	Нг, мг-экв/100 г
Условно-эквивалентная доза азота 51 кг/га	24,7	0,03	0,050±0,005	5,75±0,1	5,23±0,1	2,15±0,03
Условно-эквивалентная доза азота 255 кг/га	24,7	0,03	0,095±0,005	6,10±0,1	6,10±0,1	1,69±0,015

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 12). Данные лабораторного опыта 4 подтверждают результаты опыта 3 в отношении активной трансформации нитратного азота из ПУУС в раствор с последующим закреплением почвой.

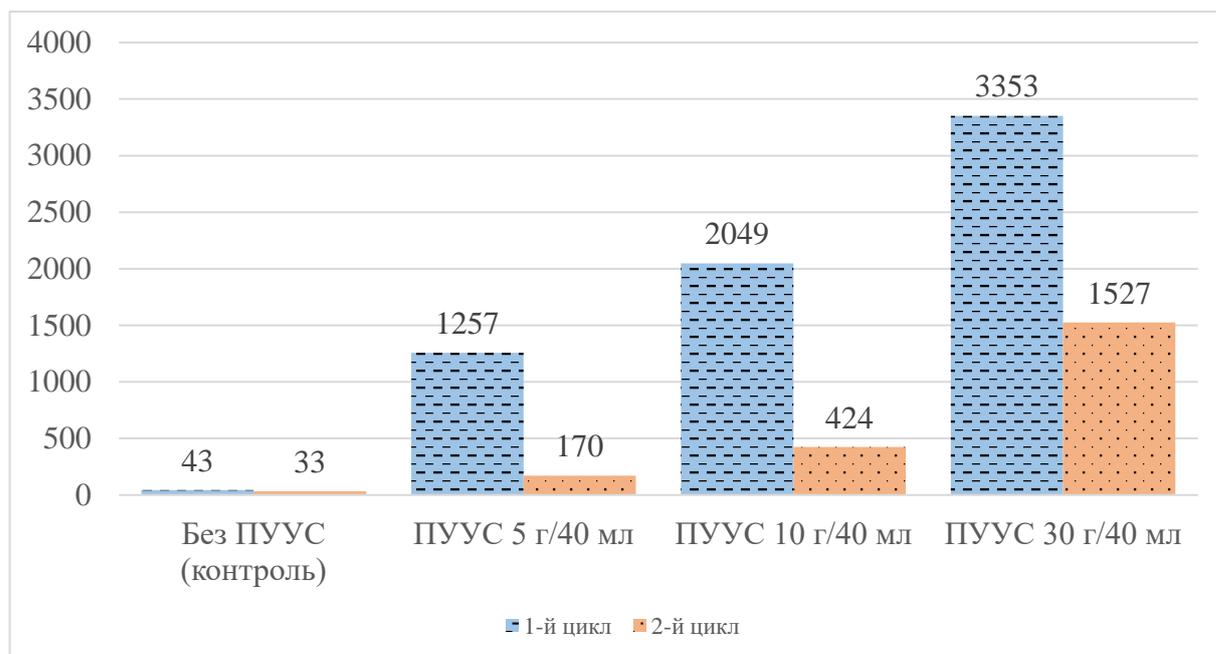


Рисунок 12 – Содержание нитратов в почве, мг/кг

Содержание нитратов в почве находится в прямой зависимости от дозы (условной) удобрения, как после 1-го цикла разбавления, так и 2-го, хотя характеры изменения отличаются. При увеличении условной дозы в 2 раза (с 5 до 10 грамм на 40 мл воды) после 1-го цикла разбавления содержание нитратов в почве увеличилось в 1,6 раза ($2049/1257$), если в 6 раз (с 5 до 30) – в 2,7 раза. При этом достоверная зависимость содержания нитратов от условной дозы описывается логарифмическим уравнением (приложение 11.1). Аналогично после 2-го цикла разбавления изменения были в 2,5 раза и 9,0 раза соответственно, а зависимость проявляется по экспоненциальному и прямолинейному типам уравнения (приложение 11.2, 11.3).

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, определенная часть азота находится в ближайшем запасе. Следовательно, не следует ожидать быстрого истощения нитратов из ПУУС.

Первоначально планировалось азотную кислоту добавлять в 3-х компонентную смесь, состоящую из ФМ, ПС и доломита. 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 % (таблица 24, приложение 12).

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 их содержание не превышало 3,0 %.

Таблица 24 – Содержание азота и разных форм фосфора

Вариант	Общий азот	Усвояемые фосфаты, %	Водорастворимые фосфаты, %	Подвижный фосфор, мг/кг
ФМ без HNO ₃ (контроль 1)	0,24	<3,0	<3,0	10960
ФМ + ДМ без HNO ₃ (контроль 2)	0,26	<3,0	<3,0	8530
ФМ + однократная обработка HNO₃	2,4	14,0	3,5	9880
ФМ + ДМ + однократная обработка HNO ₃	2,4	<3,0	<3,0	8560
ФМ + ДМ + двукратная обработка HNO₃	6,3	5,0	3,0	8240

Суглинок, фосфоритная мука имеют сложную химическую, минеральную композицию. Установить с высокой точностью необходимый объем модифицирующей кислоты достаточно сложно. Даже после определения содержания примесных минералов, в состав которых входит кальций, фосфор – это сделать затруднительно. Некоторые химические процессы контролировать без специального аналитического оборудования невозможно. Все эти направления являются областью изучения других наук. Главное, что необходимо было решать в нашем случае – это получение продукта со связанной в максимальной степени модифицирующей кислоты, пусть даже с неполным переводом фосфора в подвижные формы. При активации происходит аморфизация кристаллической решетки минералов (З.А. Готто и др., 2014). Это дает основание предполагать, что частично хемоактивированный прочносвязанный фосфор минералов, который далее вступит в химическую реакцию с кальцием станет более доступных для растений

При составлении почвоулучшающей смеси, состоящей из суглинка, фосфоритной муки и доломита основная трудность заключается, по-видимому, в расчетах отношений последних двух компонентов с целью частичного перевода фосфора фосфоритной муки в доступные формы. Трудности связаны с присутствием кальция в фосфоритной муке в составе примесных минералов, сорбцией фосфатов алюминием, железом и т.д. Наши

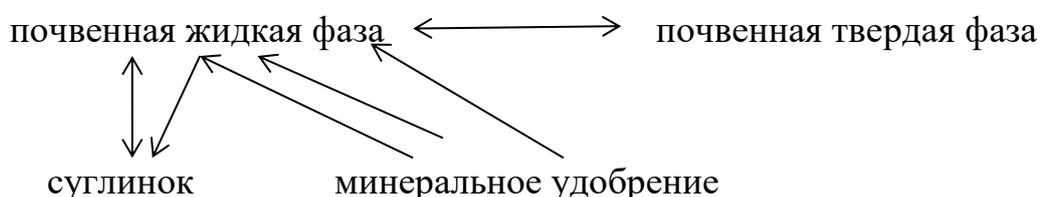
предварительные исследования указывают, что, если на заключительной стадии добавить в смесь азотную кислоту, но в меньшем количестве, чем положено по стехиометрической норме (в противном случае есть вероятность выделения диоксида азота), часть фосфора переходит в усвояемые формы. Приблизительно о необходимом количестве модифицирующей кислоты можно судить по экстрагируемому объему фосфора при использовании соляной кислоты молярной концентрацией, равной 0,2 моль/дм³ (методика заимствована из ГОСТа Р 54650-2011). Следует признать некоторую условность выбранного подхода, так как он распространяется на почву. Тем не менее, при некоторых допущениях он при сравнении вариантов с обработкой азотной кислотой фосфоритной муки с доломитом и без него позволяет по минимальной разнице содержания «подвижного» фосфора приблизительно рассчитать объем кислоты. Часть соляной кислоты нейтрализуется кальцием самой ФМ. Чем больше ее расходуется на растворение карбонатов, тем меньше выход фосфора. На варианте с ФМ без доломита содержание «подвижного» фосфора составило 10960 мг/кг; на вариантах с доломитом оно снизилось незначительно – до 8240-8560 мг/кг. Это дает нам основание заключить о приемлемом выборе соотношения компонентов в ПУУС.

В опытах хемоактивирующий эффект рассматривали на уровне отдельных компонентов. Это связано с отсутствием соответствующего ГОСТа. Поэтому данные по химическому составу имеют приближенные значения, так как исключили влияние компонентов друг на друга, одномоментное влияние на них азотной кислоты.

ГЛАВА 5. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОЧВОУЛУЧШАЮЩЕЙ УДОБРИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ НА НЕКОТОРЫЕ АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

5.1. Содержание нитратов в почве

После поступления смеси во влажную почву ожидаемо инициирование процессов физической и физико-химической адсорбции и десорбции в объеме почвенных фаз по упрощенной схеме:



Кальций и магний доломита имеют маршруты, аналогичные катионам калия удобрения. Наши исследования ограничились определением обменного калия и подвижного фосфора в растворе. По остальным формам элементов (количественные изменения, трансформации) можно делать только гипотетические выводы.

Вопросы миграции фосфора и калия в работе не рассматривались, тем более что надежные и достоверные результаты можно получить в более продолжительном временном разрешении постановки соответствующего эксперимента. На агросерой легкосуглинистой почве миграцию элементов питания изучали С.М. Пакшина, Т. А. Шохова (2011). Максимальные и минимальные дозы НРК составляли 130-90 и 60-30 кг д.в./га. Разница значения в отношении содержания фосфора в слое 20-100 см к запасам в слое 0–100 см между контрастными дозами составила всего 4 кг/га, разница по калию отсутствовала.

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 (таблицы 25, 26,

приложение 13.1-13.7). 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 почвоулучшающей смеси 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 (таблицы 25, 26) 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 НК (3 и 4 варианты) – всего 5 мг/кг. Это дает нам основание предположить, что представленный в ПУУС нитратный азот, часть которого находится в адсорбированном суглинком состоянии, активнее взаимодействует почвой.

Таблица 25 – Агрохимическая характеристика агросерой почвы (слой 0-20 см) через месяц после посева (в среднем за 2020-2022 годы)

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)	27	149	205	5,4	25
2. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (фон)	29	153	217	5,4	Не опр.
3. Стандарт 1 (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	30	153	218	5,5	Не опр.
4. Стандарт 2 (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	35	167	220	5,5	Не опр.
5. ПУУС 800 кг/га K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀	40	154	221	5,6	25
6. ПУУС 1600 кг/га K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀	54	156	224	5,6	26
7. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 800 кг/га (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	44	160	240	5,7	Не опр.
8. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	59	163	243	5,7	Не опр.

Таблица 26 – Различия между вариантами и проверка их достоверности в отношении содержания нитратов в почве через месяц после посева

Пара*	p	Разница, мг/кг	Доверительный интервал разницы		Пара*	p	Разница, мг/кг	Доверительный интервал разницы	
			-95%	95%				-95%	95%
1 vs. 2	0,53	-2	-10,2	6,2	3 vs. 5	0,032	-10	-19	-1
1 vs. 3	0,33	-3	-10,7	4,7	3 vs. 6	0,003	-24	-34	-14
1 vs. 4	0,05	-8	-16,5	0,5	3 vs. 7	0,005	-14	-21	-7
1 vs. 5	<0,01	-13	-20,2	-5,8	3 vs. 8	0,003	-29	-41	-17
1 vs. 6	<0,01	-27	-36,1	-17,9	4 vs. 5	0,212	-5	-14	4
1 vs. 7	<0,01	-17	-22,1	-11,9	4 vs. 6	0,008	-19	-30	-8
1 vs. 8	<0,01	-32	-43,3	-20,7	4 vs. 7	0,033	-9	-17	-1
2 vs. 3	0,78	-1	-10,5	8,5	4 vs. 8	0,007	-24	-37	-11
2 vs. 4	0,17	-6	-16,1	4,1	5 vs. 6	0,017	-14	-24	-4
2 vs. 5	0,02	-11	-20,1	-1,9	5 vs. 7	0,158	-4	-10	2
2 vs. 6	<0,01	-25	-35,6	-14,4	5 vs. 8	0,012	-19	-31	-7
2 vs. 7	<0,01	-15	-22,5	-7,5	6 vs. 7	0,031	10	2	18
2 vs. 8	<0,01	-30	-42,6	-17,4	6 vs. 8	0,353	-5	-18	8
3 vs. 4	0,22	-5	-14,8	4,8	7 vs. 8	0,019	-15	-26	-4

Примечание: * порядковые номера вариантов соответствуют их нумерации по схеме

Далее мы определили долю вклада отдельно фона и ПУУС в формировании нитратов. Для этого нашли разницу между контролем (без удобрений) и вариантом $N_{40}P_{40}K_{40}+$ ПУСС 800 кг/га и между контролем и вариантом ПУСС 800 кг/га. Значения суммировали и рассчитали процент вклада. Для ПУСС 800 кг/га он составил 43 %, фона – 57 %; для варианта ПУСС 1600 кг/га – 46 %. Следовательно, при увеличении нормы внесения ПУУС следует ожидать повышение эффективности азотного питания растений. Рассчитан вклад вариантов с ПУУС при сравнении их с фоном относительно контроля: для нормы 800 кг/га он составил 94-95 и 5-6 % соответственно. Отсюда можно предположить, что в самый начальный период развития растений их азотное питание будет обеспечиваться за счет почвоулучшающей удобрительной смеси.

Ближе к уборке вклад в образование нитратов за счет фонового удобрения (58 %) возрастает относительно ПУУС (42 %) на 16 % при норме

последнего 1600 кг/га и на 10 % – при норме 800 кг/га с вкладами 55 % и 45 % соответственно.

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 этими вариантами оказались недостоверными ($p=0,353$, таблица 26) можно предположить, что фон не оказал влияние на образовании нитратов через месяц после посева.

Сопоставляя величины содержания нитратов на контроле с опытными вариантами с ПУУС с ограничениями по перекрестной проверке на достоверность различий между ними, нитратный фон к моменту уборки останется 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 (таблицы 27, 28).

Таблица 27 – Агрохимическая характеристика агросерой почвы (слой 0-20 см) к моменту уборки (в среднем за 2020-2022 годы)

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	121	181	5,4	25
2. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (фон)	22	143	230	5,4	Не опр.
3. Стандарт 1 (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	27	147	233	5,5	Не опр.
4. Стандарт 2 (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	33	154	243	5,4	Не опр.
5. ПУУС 800 кг/га K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀	39	150	227	5,7	26
6. ПУУС 1600 кг/га K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀	41	156	232	5,7	25
7. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 800 кг/га (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	44	147	240	5,6	Не опр.
8. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	50	148	243	5,7	Не опр.

Таблица 28 – Различия между вариантами и проверка их достоверности в отношении содержания нитратов в почве к моменту уборки

Пара*	Уровень Значимости (p)	Разница, мг/кг	Доверительный интервал разницы		Пара*	Уровень значимости (p)	Разница, мг/кг	Доверительный интервал разницы	
			-95%	95%				-95%	95%
1 vs. 2	0,222	-4	-12	4	3 vs. 5	0,078	-12	-22	-2
1 vs. 3	0,123	-9	-17	-1	3 vs. 6	0,072	-14	-27	-1
1 vs. 4	0,004	-15	-22	-8	3 vs. 7	0,028	-17	-27	-7
1 vs. 5	0,002	-21	-29	-13	3 vs. 8	0,010	-23	-33	-13
1 vs. 6	0,005	-23	-34	-12	4 vs. 5	0,145	-6	-15	3
1 vs. 7	0,001	-26	-34	-18	4 vs. 6	0,135	-8	-20	4
1 vs. 8	0,000	-32	-40	-24	4 vs. 7	0,027	-11	-20	-2
2 vs. 3	0,368	-5	-15	5	4 vs. 8	0,006	-17	-26	-8
2 vs. 4	0,023	-11	-19	-3	5 vs. 6	1,000	-2	-15	11
2 vs. 5	0,008	-17	-27	-7	5 vs. 7	0,243	-5	-15	5
2 vs. 6	0,013	-19	-31	-7	5 vs. 8	0,039	-11	-21	-1
2 vs. 7	0,003	-22	-31	-13	6 vs. 7	0,545	-3	-16	10
2 vs. 8	0,001	-28	-37	-19	6 vs. 8	0,119	-9	-22	4
3 vs. 4	0,279	-6	-15	3	7 vs. 8	0,167	-6	-16	4

Примечание: *порядковые номера вариантов соответствуют их нумерации по схеме

На увеличение содержания обменного калия и подвижного фосфора в почве ПУУС достоверного влияния не оказал. Повышение элементов по сравнению с контролем было обусловлено минеральными удобрениями. Различия отсутствовали и по ЕКО.

Наши исследования ограничились определением нитратов в почве. Изучение более глубоких трансформаций азота (иммобилизация органическим веществом, микроорганизмами, газообразные потери и др.) не входило в задачу наших исследований. Эти и другие процессы представлены в работах И.Н. Кургановой и др. (2007), В.М. Семенова (2020), В.Н. Кудеярова (2021) и других.

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. Известно, что фосфоритная мука, которая является одним из компонентов ПУУС, не активно

отдает фосфор в почвенный раствор. 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 (приложение 13).

Различия в отношении содержания нитратов в почве между ПУУС и соответствующими стандартными удобрениями по завершении вегетации ячменя оказались недостоверными, то есть, как минимум экспериментальная почвоулучшающая удобрительная смесь не уступала по эффективности стандарту.

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 (приложение 13). Как видно, по варианту ПУУС 800 кг/га и ПУУС 1600 кг/га достоверная разница составила 0,2-0,3 ед. рН.

5.2. Прогноз изменения емкости катионного обмена

Емкость катионного обмена зависит от содержания тонких фракций. Например, по данным В.Л. Петрофанова (2012) для дерново-подзолистой супесчаной почвы в ряду увеличения размерности фракций: <0,2 мкм – 0,2-1,0 – 10-50 – >50 мкм значение ЕКО снижалось от 56 до 0,2 ммоль/100 г почвы. Сам по себе гранулометрический состав почвы – консервативная характеристика почвы. Норма внесения ПУУС с суглинистым материалом

38 % недостаточна, чтобы ожидать скорые изменения в изменении доли тонких фракций.

Уловить изменения в гранулометрическом составе в краткосрочной перспективе не представляется возможным. По-видимому, эффект от ПУУС будет аккумулятивным от регулярного его применения.

По сравнению с почвой в покровном суглинке, несмотря на отсутствие органического вещества, более высокие значения ЕКО – 47,6 мг-экв/100 г. При рассмотрении агрохимического аспекта в работе мы исходили из природных и антропогенных условий функционирования агросерых почв – наличие выноса тонких фракций (от них зависит ЕКО) за пределы пахотного горизонта. В научной литературе данных, указывающих на количественную меру этого процесса за разные временные отрезки для этого типа почв, разноплановые, поэтому принять какую-либо заимствованную информацию за основу затруднительно. Принимая во внимание, что элювиирование – это процесс эволюционного порядка, будем считать, что, например, за время полной ротации культур в 5-типольном севообороте количественный вынос глинистого компонента будет незначительный и им можно пренебречь.

В прогнозных оценках изменения ЕКО при использовании ПУУС (глинистых частиц 17 %) учитывали также, что при равновесной плотности агросерой почвы 1,15-1,2 г/см³ в слое 0-20 см на 1 га площади находится 2300 т почвы. Примем в расчетах ежегодную дозу внесения ПУУС 1,6 т/га. Возникает вопрос: за какое минимальное время можно будет наблюдать первый кумулятивный эффект от ежегодного внесения ПУУС, выражающийся в качественном изменении некоторых показателей плодородия? В первую очередь, это относится к ЕКО и калию, затем к фосфору. Для сужения временного интервала проводили смешивание покровного суглинка с почвой, исходя из соответствующего соотношения 1:2300 (0,43 %). На 1 кг почвы приходится 4,3 г ПУУС, а с учетом полной 5-тикротной ротации – 21 грамм; 10-тикротной ротации – 43 грамма, 15-тикротной – 63 грамма и 20-тилетней – 84 грамма. После тщательного перемешивания определяли ЕКО.

По окончании 20 лет содержание внесенного суглинка к почве будет около 8 %, в котором на долю глинистых частиц приходится 28 %. В виду отсутствия соответствующих публикаций, трудно предположить, что будет происходить с глинистым компонентом, в равной степени, как и с грубыми пылеватыми фракциями (54 %). Несмотря на неконсолидированное состояние внесенного глинистого вещества, оно, по-видимому, не будет характеризоваться какой-то активностью, динамичностью. Возможно, оно будет незначительно перемещаться вниз по профилю почвы в пределах верхней части порового пространства. Основная же его часть, вероятно, сосредоточится в пахотном горизонте и будет со временем накапливаться.

Итак, на этапе агрогенной эволюции агросерых почв, когда коренным образом изменился биологический круговорот и на почву специфически не воздействует естественная лесная растительность, под которой в почве создаются условия для подзолообразования, не следует ожидать существенного выноса глинистых частиц. Основываясь на наших опытах, можно предположить, что за 20 лет значение ЕКО увеличится на 10 мг-экв/кг (рисунок 13, приложение 14.1, 14.2).

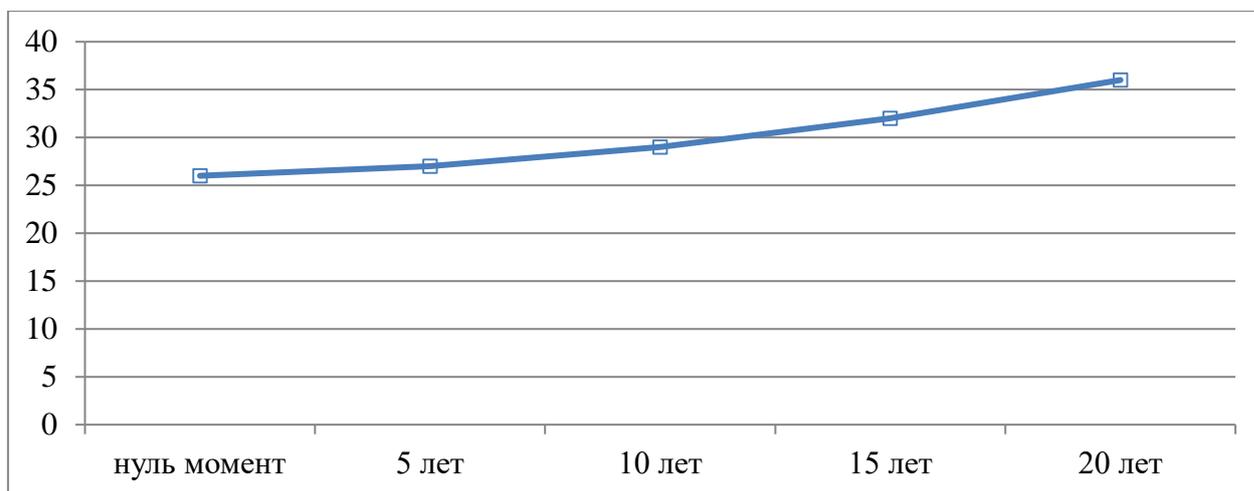


Рисунок 13 – Прогнозируемая динамика ЕКО (мг-экв/кг)

Как видно из приложения 14.3, по ЕКО можно ожидать проявление кумулятивного эффекта на 10 год применения ПУУС (через 5 лет достоверные

различия не выявлены, так как $r=0,423$). При этом следует ожидать, возможно, и его экспоненциальный рост за счет грубых пылеватых частиц. Как известно, они включают в основном полевые шпаты, которые, несмотря на устойчивость, могут разрушаться до аморфного состояния, превращаясь в минералы монтмориллонитовой группы, каолинит, то есть пополняют почву глинистым веществом (хотя это не доказано). По причине относительно высокого содержания в применяемом покровном суглинке пылеватых частиц (54 %) в них преобладают кварц и полевые шпаты. Как известно (Соколова, 2013) кварц и полевые шпаты образуют основную часть в твердой фазе почв и имеют негипергенное происхождение. В почвах они термодинамически неустойчивы и подвергаются воздействию сложнейшего последовательно протекающих процессов растворения и изменения химического состава и строения.

В условиях нейтральной реакции скорость растворения полевых шпатов минимальна, она возрастает с понижением и с повышением рН и с ростом концентрации органических лигандо в растворе. При дегумификации, низком содержании органического вещества (источника органических лиганд) и увеличении кислотности растворение полевых шпатов будет возрастать. Но, если даже предположить, что процесс каолинизации в почве не происходит (П.А. Земятченский, 1933), не следует ожидать и конгруэнтное растворение полевых шпатов (Т.А. Соколова, 2013). По-видимому, из грубых пылеватых частиц ПУУС будут образовываться слюдистые продукты, то есть новые твердофазные продукты с более высокими значениями ЕКО, по сравнению с исходными полевыми шпатами.

Зависимость ЕКО от времени можно описать прямолинейной зависимостью: $Y=25+0,5X$ (приложение 14.2, 14.3). Не исключено, что в более продолжительном временном интервале, более чем 20 лет, зависимость будет иметь другой тип.

Экспериментальная почвоулучшающая удобрительная смесь показало свою агрохимическую эффективность по части восполнения в почве нитратов,

подвижного фосфора. Используемая при хемоактивации фосфоритной муки азотная кислота произвела двойственный эффект – перевела часть фосфора в более доступную для питания растений форму и стала источником нитратного азота, который легко переходит в почвенный раствор. Уже в первый год внесения опытного продукта можно ожидать снижение обменной кислотности. Связано это с использованием доломитовой муки. Она участвовала в нейтрализации азотной кислоты с образованием нитрата кальция, может служить источником кальция для нейтрализации почвенной кислотности, а образующиеся фосфаты кальция в любом случае активнее отдают фосфор в раствор по сравнению с другими соединениями.

ГЛАВА 6. ВЛИЯНИЕ ПОЧВОУЛУЧШАЮЩЕЙ УДОБРИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯЧМЕНЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА ЗЕРНА

Испытание экспериментального ПУУС на основе только покровного суглинка проводили в полевых условиях в 2017, 2018 и 2019 годы. Доза азота составила 50 и 100 кг/га. В качестве стандартного удобрения выступала аммиачная селитра. Удобрительное средство вносили весной одновременно с посевом. В течение последних 2-х лет погодные условия были неблагоприятными. До фазы кущения включительно осадков выпало 20 % от нормы.

Динамика всходов ячменя на варианте без удобрений была более дружной по сравнению с вариантами с внесением ПУУС. Как видно из рисунка 13, приложение 15.1, на контроле все всходы (450 шт/м²) появились на 9-й день после посева, в то время как опытных делянках – к этому времени количество всходов составило 377 шт/м² (ПУУС 50 кг/га N) и 360 шт/м² (ПУУС 100 кг/га N), и фаза полных всходов наступила на 13 день. Некоторое угнетение прорастания семян на фоне ПУУС, по-видимому, высокой концентрацией азота, которая проявляется в результате вымывания нитратного азота из суглинистого компонента. Неравномерное появление всходов сильнее проявлялось в засушливое время сева. Азот в традиционных азотных минеральных удобрениях становится доступным для растения по мере растворения гранул, в нашем удобрительном средстве – в результате вымывания из ПУУС. В нормальные по увлажнению годы времени сева угнетение появления всходов не наблюдалось.

На рисунке 14 показаны средние результаты 3-х летней серии опытов, в которой начальный период двух лет (2018 и 2019 гг.) был засушливым – за период сев – полные всходы содержание воды в слое почвы 0-30 см уменьшилось с 22 до 17 %, всходы появлялись в неблагоприятных условиях. Однако, как показали дальнейшие наблюдения за биометрикой ячменя,

отмеченное выше несколько негативное влияние ПУУС на всходы компенсировалось в целом лучшим развитием культуры.

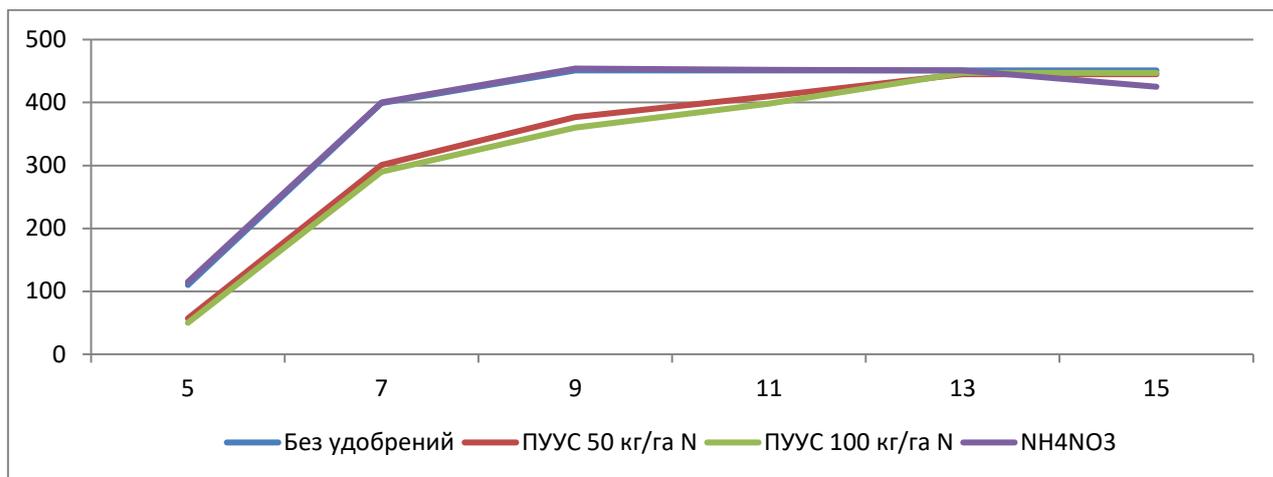


Рисунок 14 – Динамика всходов ячменя

Вероятно, по причине некоторого угнетения ячменя на стадии прорастания семян, сказавшееся на полноте всходов, количество растений к моменту уборки культуры при внесении экспериментального ПУУС было меньше, чем на контроле, хотя различия были не существенными – 6-7 шт/м² (таблица 29, приложение 15).

Таблица 29 – Элементы продуктивности и урожайность ячменя, среднее за 2017-2019 гг.

Вариант	Кол-во растений к уборке, шт./м ²	Высота растений, см	Длина колоса, см	Масса 1000 зерен, г	Урожайность, т/га	Прибавка, т/га
1.Без удобрений (контроль)	463	45	5,5	31	2,0	–
2. ПУУС 50 кг/га N	457	58	6,4	34	2,8	0,8
3.ПУУС 100 кг/га N	458	77	7,3	37	3,2	1,2
4.NH ₄ NO ₃ 50 кг/га N	464	74	7,4	39	3,4	1,4
5.NH ₄ NO ₃ 100 кг/га N	465	79	7,5	39	3,8	1,8

При дозе азота 50 кг/га высота растений составила 58 см, 100 кг/га – 77 см, в то время как на контроле – 45 см. Продуктивность культурных

растений напрямую зависит от массы 1000 семян и длины колоса (числа зерен в колосе). Отмеченные показатели оказались наилучшим – соответственно 37 г и 7,3 см на варианте с дозой внесения 100 кг/га. Это больше контроля на 6 г и 1,8 см. При внесении ПУУС с дозой азота 50 кг/га разница с контролем составила по массе 1000 семян – 3 г, длине колоса – 0,9 см. По этой причине прибавка урожайности ячменя составили в зависимости от дозы азота 0,8-1,2 т/га. При этом содержание азота в зерне достоверно увеличилось по сравнению с контролем на 0,74 % (абс. ед.) и составило 2,35 % при дозе 100 кг/га азота.

В таблице 30 показаны различия между вариантами и проверка их на достоверность. Сравнение урожайных данных между ПУУС с дозами N 50 и 100 кг/га и соответствующими по дозе стандартным удобрением – аммиачной селитрой показало близкие эффекты их влияния на урожайность ячменя при дозе 50 кг/га, так как в этом случае отсутствовали достоверные различия между ними ($p=0,074$) при разнице средних значений 0,58 т/га (таблица 30).

Таблица 30 – Различия между вариантами по урожайным данным

Пара вариантов	Уровень значимости	Разница средних	Доверительный интервал разницы	
			-95%	+95%
Контроль vs. ПУУС 50 кг/га N	0,056	-0,80	-1,63	0,03
Контроль vs. ПУУС 100 кг/га N	0,017	-1,20	-2,09	-0,31
Контроль vs. NH ₄ NO ₃ 50 кг/га N	0,004	-1,38	-2,13	-0,62
Контроль vs. NH ₄ NO ₃ 100 кг/га N	0,001	-1,80	-2,53	-1,07
ПУУС 50 кг/га N vs. ПУУС 100 кг/га N	0,270	-0,40	-1,21	0,41
ПУУС 50 кг/га N vs. NH ₄ NO ₃ 50 кг/га N	0,074	-0,58	-1,23	0,08
ПУУС 50 кг/га N vs. NH ₄ NO ₃ 100 кг/га N	0,007	-1,00	-1,62	-0,38
ПУУС 100 кг/га N vs. NH ₄ NO ₃ 50 кг/га N	0,579	-0,17	-0,90	0,55
ПУУС 100 кг/га N vs. NH ₄ NO ₃ 100 кг/га N	0,081	-0,60	-1,30	0,10
NH ₄ NO ₃ 50 кг/га N vs. NH ₄ NO ₃ 100 кг/га N	0,089	-0,42	-0,94	0,09

Аналогичные результаты установлены при сравнении пары вариантов аммиачной селитры и ПУУС с дозой внесения 100 кг/га N. 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) и в варианте с дозой внесения ПУУС 100 кг/га N (таблица 31). Доза азота 100 кг/га обеспечила увеличение протеина по сравнению с контролем на 2,87 % (абс.), общего азота на 0,74 % (абс.).

По содержанию сырой клетчатки, сырого жира, и сырой золы достоверные различия между вариантами не установлены. Содержание крахмала в контрольном варианте больше чем на варианте с внесением ПУУС 100 кг/га N на 1,8 %. Это вполне логично, так как азотное питание в целом снижает содержание углеводов в растениях.

Одновременно с этим отмечаются существенные отклонения и по содержанию аминокислот.

Как известно, аминокислоты – это органические соединения, в молекуле которых содержатся аминные группы (органический радикал, содержащий один атом азота и два атома водорода). Они на 16 % состоят из азота, и являются структурными элементами белков. Поэтому вполне закономерно увеличение содержания аминокислот на варианте с применением экспериментального продукта, обогащённого азотом. Особенно обращает внимание увеличение незаменимых аминокислот необходимых для человека (в абс. значениях): лизина (формирует кости) – на 0,05 %, метионина (перерабатывает жир) – на 0,05 %, треонина (способствует продукции антител) – на 0,08 %, валина (обеспечивает метаболизм в мышцах) – на 0,07 %. Цистина и цистеина (защищают организм от радиации) на варианте с ПУУС было больше по сравнению с контролем на 0,06 %, аргинина (замедляет рост опухолей) – на 0,15 %.

Таблица 31 – Показатели качества зерна ячменя, среднее за 2017-2019 гг.

(%)

Показатель	Контроль	ПУУС 100 кг/га N	NH ₄ NO ₃ 100 кг/га N	Коэффициент усвояемости (SID) (контроль)	Коэффициент усвояемости (SID) ПУУС 100 кг/га N
Влага	10,1	10,2	10,0	–	–
Общий азот	1,61	2,35	2,34	–	–
Сырой протеин (ГОСТ 13496.4)	10,01	14,68	14,80	–	–
Сырой протеин (ГОСТ 32040)	9,98	12,85	12,91	–	–
Сырой жир	1,82	1,80	1,8	–	–
Сырая клетчатка	4,70	4,70	4,72	–	–
Крахмал	54,20	52,40	53,90	–	–
Сырая зола	2,30	2,40	2,41	–	–
Лизин	0,38	0,43	0,44	–	–
Метионин	0,15	0,20	0,19	–	–
Сумма цистина и цистеина	0,21	0,27	0,28	–	–
Треонин	0,34	0,42	0,43	–	–
Валин	0,50	0,63	0,60	–	–
Аргинин	0,48	0,63	0,65	–	–
SID Лизин (бройлеры)	0,34	0,38	0,41	89	88
SID Метионин (бройлеры)	0,14	0,19	0,20	93	95
SID Сумма цистина и цистеина (бройлеры)	0,18	0,23	0,19	85	85
SID Треонин (бройлеры)	0,28	0,35	0,33	82	83
SID Валин (бройлеры)	0,45	0,56	0,55	90	88
SID Аргинин (бройлеры)	0,45	0,58	0,59	93	92
SID Лизин (свиньи)	0,28	0,32	0,34	73	74
SID Метионин (свиньи)	0,13	0,17	0,17	86	85

SID Сумма цистина и цистеина (свиньи)	0,17	0,21	0,23	80	77
SIDТреонин (свиньи)	0,27	0,33	0,34	79	78
SID Валин (свиньи)	0,43	0,54	0,53	86	85
SID Аргинин (свиньи)	0,42	0,55	0,55	87	87

Ячмень – важная фуражная культура. Ее используют в рационе животных и птиц, поэтому от аминокислотного состава в конечном итоге будет зависеть мясная продуктивность. В отечественной практике кормления рационы свиней чаще всего балансируются по общему содержанию аминокислот. Однако известно, что наиболее корректно проводить составление рецептур комбикормов на основе переваримых (усвояемых) аминокислот. Это является общепринятой практикой в Европе и США. Поэтому при составлении рационов для птиц и свиней должны учитываться все незаменимые лимитирующие аминокислоты. Лимитирующими называют те незаменимые аминокислоты, которые входят в состав белков корма в наименьшем количестве по сравнению с их физиологической потребностью. Питательная ценность корма зависит не только от содержания аминокислот, но и их доступности. Доступность кормовых аминокислот – это их относительная доля, которая имеется в распоряжении организма без ограничений для всех процессов обмена веществ, в которых эта аминокислота нужна. Поэтому для более детальной оценки влияния ПУУС на кормовые достоинства ячменя была определена категория аминокислот SID – стандартизированная доступность аминокислот для бройлеров и свиней, при определении которой учитываются только базальные эндогенные потери (не зависящие от уровня протеина в рационе). Как видно из таблицы 31, содержание усвояемых аминокислот увеличилось под влиянием экспериментального азотсодержащего удобрительного средства.

В 2020, 2021 и 2022 годах почвоулучшающая смесь кроме покровного суглинка включала фосфоритную и доломитовую муку. Как было отмечено выше, это было сделано для того, чтобы изучить возможности ПУУС по влиянию на фосфатный статус агросерой почвы за счет относительно дешевого соответствующего сырья, увеличить содержание азота за счет двукратной обработки азотной кислотой, с одновременным проведением хемоактивации, главным образом направленной на увеличение мобильности фосфора из фосфоритной муки. Изменения коснулись схемы опыта. Были включены стандартные минеральные удобрения, чего требует методика опытного дела в этом случае, а также фоновый вариант $N_{40}P_{40}K_{40}$ для расчета вклада ПУУС в прибавку.

В таблице 32 и приложении 16.1 и 16.2 приведена общая статистика урожайных данных в среднем за три года исследований и по годам. В целом урожайные данные по годам варьировали незначительно. Значения средней и медианы были близкими. Величина коэффициента вариации на всех вариантах не превышала или незначительно превышала 10 %, то есть степень рассеивания данных считалась незначительной.

Таблица 32 – Общая статистика урожайных данных ячменя, т/га (в среднем за три года)

Варианты	\bar{X}	Доверительный интервал		Me	S	C _v
		-95 %	+95 %			
1. Без ПУУС (контроль)	2,47	2,33	2,61	2,50	0,22	9,0
2. $N_{40}P_{40}K_{40}$ (фон)	3,03	2,84	3,22	3,00	0,30	9,8
3. Стандарт 1 ($K_{30}+N_{55}P_{30}$)	3,23	3,02	3,45	3,20	0,34	10,6
4. Стандарт 2 ($K_{30}+N_{110}P_{60}$)	3,73	3,53	3,94	3,70	0,32	8,6
5. ПУУС 800 кг/га ($K_{30}+N_{55}P_{30}$)	3,30	3,05	3,55	3,25	0,39	11,7
6. ПУУС 1600 кг/га ($K_{30}+N_{110}P_{60}$)	3,30	3,14	3,46	3,30	0,25	7,5
7. $N_{40}P_{40}K_{40}+$ ПУСС 800 кг/га ($K_{30}+N_{55}P_{30}$)	4,13	3,88	4,39	3,95	0,40	9,7
8. $N_{40}P_{40}K_{40}+$ ПУСС 1600 кг/га ($K_{30}+N_{110}P_{60}$)	4,50	4,26	4,74	4,55	0,37	8,3

Во все годы исследований прослеживалась практически одна и та же закономерность. На вариантах с минеральными удобрениями и ПУУС

урожайность ячменя ожидаемо оказалась достоверно (при $p < 0,05$) выше контрольного варианта без удобрений. 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 $N_{40}P_{40}K_{40}$ прибавка была еще более контрастная – около 2,0 т/га (таблица 33, приложение 16.3-16.8). Экспериментальная смесь с нормой 800 кг/га не уступала своему стандартному варианту, так как достоверные различия 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 NPK, так как при сравнении фиксируется достоверная разница по урожайности в размере 0,4 т/га.

Далее мы определили вклад ПУУС в прибавку урожайности. Для этого использовали данные по контрольному варианту и фону. Например, в среднем за три года разница между 1 и 2 вариантами составила 0,5 т/га, 1 и 7 – 1,6 т/га, между 1 и 5 – 0,8 т/га. В сумме 2,9 т/га (0,5+1,6+0,8). Вклад определяли отношением частных прибавок к общей помноженное на сто. Вклад фона измеряется 17 %, ПУУС 800 кг/га – 28 %, ПУУС 800+фон – 55 %. Сумма между первыми двумя вариантами равняется 45% (17+28), что меньше вклада 7 варианта. Следовательно, можно предположить, что ПУУС 800 и фон $N_{40}P_{40}K_{40}$ оказывают на урожайность ячменя синергическое влияние, теоретически измеряемое 10 % (55-45). При норме ПУУС 1600 кг/га его вклад несколько снизился – до 24 %, а также фона – до 15 % соответственно их совместный вклад увеличился до 61 %.

Таблица 33 – Урожайность зерна ячменя, т/га (2020-2022 гг.)

Вариант	Годы			\bar{X}
	2020 г	2021 г	2022 г	
1. Без ПУУС (контроль)	2,6	2,4	2,4	2,5
	1 vs 2-8 $p < 0,05$	1 vs 2-8 $p < 0,05$	1 vs 2-8 $p < 0,05$	
2. $N_{40}P_{40}K_{40}$ (фон)	3,3	2,9	2,9	3,0
	2 vs 1,4,7,8 $p < 0,05$	2 vs 1,4,6,7,8 $p < 0,05$	2 vs 1,3,4,6,7,8 $p < 0,05$	
3. Стандарт 1	3,5	3,1	3,1	3,2

(K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	3 vs 1, 7,8 p<0,05	3 vs 1, 4, 7,8 p<0,05	3 vs 1, 4, 7,8 p<0,05	
4. Стандарт 2 (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	4,0 4 vs 1,2,6,8 p<0,05	3,7 4 vs 1,2,5, 6,8 p<0,05	3,5 4 vs 1,6,7,8 p<0,05	3,7
5. ПУУС 800 кг/га K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀	3,6 5 vs 1,7,8 p<0,05	3,0 5 vs 1,7,8 p<0,05	3,3 5 vs 1,7,8 p<0,05	3,3
6. ПУУС 1600 кг/га K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀	3,5 6 vs 1,4,7,8 p<0,05	3,3 6 vs 1,2,4,7,8 p<0,05	3,1 6 vs 1,2,4,7,8 p<0,05	3,3
7. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 800 кг/га (N ₅₅ P ₃₀)	4,4 7 vs 1,2,3,5,6 p<0,05	4,0 7 vs 1,2,3,5,6 p<0,05	4,0 7 vs 1,2,3,4,5,6 p<0,05	4,1
8. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 1600 кг/га (N ₁₁₀ P ₆₀)	4,7 8 vs 1,2,3,4,5,6 p<0,05	4,4 8 vs 1,2,3,4,5,6 p<0,05	4,4 8 vs 1,2,3,4,5,6 p<0,05	4,5

Далее был произведен расчет балансов элементов питания (НРК) в агросерой легкосуглинистой почве (таблицы 34, 35, 36).

Таблица 34 – Баланс азота в почве в зависимости от систем удобрения, кг/га (2020-2022) гг.

Вариант	Приход	Расход	Баланс ±
1. Без ПУУС (контроль)	10,3	88,2	-77,9
2. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (фон)	51,8	107,4	-55,6
3. Стандарт 1 (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	66,1	113,2	-47,1
4. Стандарт 2 (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	118,1	127,7	-9,6
5. ПУУС 800 кг/га (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	64,4	116,1	-51,7
6. ПУУС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	110,8	116,1	-5,3
7. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 800 кг/га (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	65,7	139,3	-73,6
8. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	121,8	150,9	-29,1

Как можно заметить, баланс азота на всех вариантах отрицательный (таблица 34). На вариантах 1 и 2 (контроль и фон) значения варьируют от -77,9 до -55,6 соответственно. Большие различия в балансе у вариантов 3 и 4 (стандарт 1, стандарт 2), а также 5 и 6 (ПУУС 800 кг/га (K₃₀+N₅₅P₃₀) и ПУУС 1600 кг/га (K₃₀+N₁₁₀P₆₀)). Их значения -47,1, -9,6 и -51,7, -5,3 соответственно. При внесении N₄₀P₄₀K₄₀ + ПУСС 800 кг/га (K₃₀+N₅₅P₃₀) и N₄₀P₄₀K₄₀ + ПУСС 1600 кг/га (K₃₀+N₁₁₀P₆₀) баланс также оставался отрицательным.

Таблица 35 – Баланс фосфора в почве в зависимости от систем удобрения, кг/га (2020-2022) гг.

Вариант	Приход	Расход	Баланс ±
1. Без ПУУС (контроль)	5,1	32,5	-27,4
2. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (фон)	45,9	31,3	14,6
3. Стандарт 1 (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	34,6	41,6	-7,0
4. Стандарт 2 (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	35,1	48,1	-13,0
5. ПУУС 800 кг/га (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	36,2	42,9	-6,7
6. ПУУС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	35,9	42,9	-7,0
7. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 800 кг/га (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	34,8	53,3	-18,5
8. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	34,6	58,5	-23,9

Баланс фосфора был также отрицательным везде, кроме варианта 2 (фон). Его значение составило 14,6 (таблица 35). По вариантам без ПУУС (контроль), стандарт 1, стандарт 2, ПУУС 800 кг/га, ПУУС 1600 кг/га, N₄₀P₄₀K₄₀ + ПУСС 800 кг/га, N₄₀P₄₀K₄₀ + ПУСС 1600 кг/га баланс составил - 27,6 кг/га, -7,0 кг/га, -13,0 кг/га, -6,7 кг/га, -7,0 кг/га, -18,5 кг/га, -23,9 кг/га соответственно.

Таблица 36 – Баланс калия в почве в зависимости от систем удобрения, кг/га (2020-2022) гг.

Вариант	Приход	Расход	Баланс ±
1. Без ПУУС (контроль)	16,3	62,5	-46,2
2. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (фон)	47,8	75,0	-27,2
3. Стандарт 1 (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	36,3	80,0	-43,7
4. Стандарт 2 (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	68,8	92,5	-27,3
5. ПУУС 800 кг/га (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	36,3	99,0	-62,7
6. ПУУС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	68,8	99,0	-30,2
7. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 800 кг/га (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	36,4	102,5	-66,1
8. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	36,9	112,5	-75,6

Баланс калия был также отрицательным по всем вариантам (таблица 36). Так, самые большие значения были на вариантах 5 (ПУУС 800 кг/га (K₃₀+N₅₅P₃₀)), 7 (N₄₀P₄₀K₄₀ + ПУСС 800 кг/га (K₃₀+N₅₅P₃₀)) и 8 (N₄₀P₄₀K₄₀ + ПУСС 1600 кг/га (K₃₀+N₁₁₀P₆₀)). Их значения составили соответственно -62,7 кг/га, -66,1 кг/га, -75,6 кг/га. В остальных же вариантах значения были в пределах от -27,2 кг/га до -46,2 кг/га.

Таким образом, экспериментальная почвоулучшающая удобрительная смесь с нормой 800 по влиянию на формирование урожайности ячменя не уступала стандартным минеральным удобрениям. Норму ПУУС 1600 кг/га несмотря на то, что она уступила стандартному аналогу, можно по эффективности на урожайность ячменя, как минимум, приравнять к дозе минеральных удобрений в дозе $N_{55}P_{30}K_{30}$. Однако, учитывая ожидания долгосрочных (продолгованных) эффектов на почву от использования экспериментальной смеси, которые мы не изучали в отрезке времени годовых последствий, можно рекомендовать применение норму его внесения при посеве 1600 кг/га.

Таким образом, одной из причин ухудшения плодородия агропочв является снижение функциональной активности ППК вследствие потерь веществ с высокой сорбционной активностью – высокомолекулярных органических соединений, тонкодисперсных минеральных фракций. Это является предпосылкой для деградации почв. Для ее предотвращения предлагается использование природной глины. На наш взгляд, использование суглинка, фосфоритной муки, доломитовой муки и азотной кислоты для получения в хозяйстве удобрительного средства с одновременным мелиорирующим эффектом может являться перспективным мероприятием. Изначально исходный суглинистый компонент не кислый, он не содержит с превышением ПДК тяжелые металлы, обладает высокой ЕКО. Установлено, что азот экспериментального средства при условии достаточного увлажнения почвы является достаточно мобильным и быстро из раствора трансформируется в почву.

Однако на стадии получения ПУУС возникают трудности, связанные с химическими особенностями азотной кислоты. Для их решения предлагается при обогащении глины азотом использовать охлажденную азотную кислоту, использовать щадящий режим сушки. Для уточнения вопросов влияния суглинистого компонента на ППК почвы, улучшения технологических

свойств ПУУС, его перспективности и определения места в системе удобрений, необходимы дальнейшие исследования.

Вполне реализуемым с практической точки зрения является приготовление более сложных в компонентном отношении почвоулучшающих смесей. Например, является источником тонких минеральных фракций с ценными для плодородия физико-химическими свойствами. В условиях резкого дефицита применения органических удобрений это может служить единственным доступным способом в формировании приемлемого для современных агротехнологий сорбционной емкости, физико-химической буферности, от которых зависят эффективность удобрений, качество питания растений, что подтверждается представленными выше аналитическими данными.

При наличии оборудования может изготавливаться силами хозяйства. Продукт не может заменить минеральные удобрения, он может служить дополнительным элементом в системах удобрений, в первую очередь преследующих восстановление плодородия агропочв, в которых органическое и минеральное вещество имеют признаки деградации.

Экспериментальная почвоулучшающая смесь, состоящая суглинка, фосфоритной, доломитовой муки, и хемоактивированная азотной кислотой позволяет дополнительно обеспечить сельскохозяйственные растения (на примере ячменя) азотом. Его общая массовая доля может достигать до 7 %. Это азот, который адсорбирован твердофазными компонентами и входит в состав кальциевой селитры, образуемая добавлением в смесь доломитовой муки. Отмеченное выше количество азота по эффективности (определили по образованию нитратов) не уступает стандартному аналогу – аммиачной селитре. При содержании в почвоулучшающей смеси легкоусвояемых фосфатов около 4 % и внесении в количестве 1600 кг/га по увеличению в агросерой почве подвижного фосфора эквивалентно применению двойного суперфосфата в дозе 30 кг/га.

В этом отношении экспериментальную смесь, применяемую совместно с минеральными удобрениями, можно рассматривать в качестве дополнительного источника элементов питания в системах удобрений.

От действия экспериментальной смеси на почву, а, следовательно, и растение можно ожидать не только краткосрочные эффекты, но и пролонгированные во времени. В первую очередь это касается фосфора, вследствие медленного его перехода в почвенный раствор в усвояемые для растений формы. Сюда можно отнести и тонкие фракции, их постепенная аккумуляция в почве (в пределах 11 % за 20 лет), с одновременным прогрессирующим улучшением поверхностных свойств почвы (с ориентировочным увеличением ЕКО на 10 мг-экв/кг), ответственных за питание растений, а также накоплением прямых твердофазных носителей (источников) калия.

ГЛАВА 7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Во внедренческой составляющей нашей работы коммерческому элементу отводится второстепенная роль. Первостепенная принадлежит работе о плодородии агропочв, необходимости восстановления ее конституционных основ – физико-химическим явлениям, определяющим питание сельскохозяйственных растений, формирование свойств, ответственных за экологию в масштабе самой почвы и систем более высокого ранга.

К сожалению, вопросам состояния органического и минерального вещества агропочв производители уделяют недостаточное внимание. Завтра это может обернуться негативными последствиями, в том числе и экономическими. Во избежание нарастания напряженности в противоречии почвенного плодородия и экономической выгоды требуются меры с аккумулирующими для почвенного плодородия эффектами. На это и рассчитан наш проект. Это является главным мотивом внедрения проекта, то есть пропаганда производителям о необходимости обогащения агропочв тонкодисперсными фракциями, попутно содержащими азот.

В расчетах затрат на производство ПУУС принимали во внимание то, что для обеспечения ячменя дополнительным азотом, фосфором в эквивалентной минеральным удобрениям дозах $N_{55}P_{30}$ и $N_{110}P_{60}$, что соответствует норме внесения почвоулучшающей смеси 800 и 1600 кг/га, потребуется произвести 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.

Оптовая цена технической азотной кислоты составляет 14 руб./кг, с учетом доставки на 1 га приготовления затраты не превысят 7 тыс. руб. (с учетом потребности азотной кислоты для хемоактивации в количестве 280 кг

на 1 га. Сюда входит стоимость фосфоритной муки 3500 руб./т (данные взяты с сайта <https://www.euhs.ru/tseni/prajs-list-na-mineralnye-udobreniya.html>), доломитовой муки 649 руб/т. (<https://agroservers.ru/b/muka-izvestnyakovaya-dolomitovaya-1251009.htm>).

При соотношении **ФМ – ДМ – ПС – азотная кислота** 1 : 0,6 : 1 : 0,8 в почвоулучшающей смеси 800 кг/га количество покровного суглинка и фосфоритной муки по 308 кг, доломитовой муки 184 кг. Их суммарная стоимость составит 5817 руб./га (1078 + 119 + 700+3920).

Стоимость оборудования (около 70000 руб., при ориентировочной производительности 0,5 тонн ПУУС за 1 час) учитывается не за один расчетный год, а на время его эксплуатации – 20 лет. Поэтому в статью годового расхода отнесем затраты на изготовление оборудования – не более 3500 руб. (это с учетом производства ПУУС на площадь посевов не менее 500 га). С учетом других затрат (ресурсы, эксплуатация и пр.) они в годовом выражении не превысят 5500 руб. в пересчете на 1 га (2000+3500 руб.).

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, хотя по сравнению с контролем она была выше на 3-4 %. Применение экспериментальной смеси на фоне минеральных удобрений повысило рентабельность до 29 % и 26 % (таблица 37).

Таблица 37 – Экономическая эффективность

Вариант	Урожай- ть, т/га (в среднем за 3 года)	Стоимость продукции, тыс.руб.	Затраты, тыс руб./га		При- быль, руб./га	Рента- бельность, %
			Производство и внесение ПУУС (ориенти- ровочное)	Возделы- вание ячменя		
1. Без ПУУС (контроль)	2,5	32	0	28	4	14
2. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (фон)	3,0	39	0	32	7	22
3. Стандарт 1 (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	3,2	42	0	34	8	24
4. Стандарт 2 (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	3,7	48	0	36	12	33
5. ПУУС 800 кг/га (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	3,3	43	6	29	7	23
6. ПУУС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	3,3	43	8	30	5	17
7. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 800 кг/га (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	4,1	53	6	35	12	29
8. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	4,5	58	8	38	12	26

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. За 10 лет использования агросерой почвы pH_{KCl} 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 их 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 содержание 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 туковысевающим 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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аветов, Н.А. Понятие трофности в связи с антропогенной эвтрофикацией верховых болот ханты-мансийского Приобья / Н.А. Аветов, Е.А. Шишконокова // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2013. – № 71. – С. 36-51.
2. Агафонов, Е.В. Применение бентонита на черноземе южном / Е.В. Агафонов, В.П. Горячев // Земледелие. – 2011. – № 8. – С. 20-21.
3. Агрохимическая характеристика выщелоченного чернозема под действием цеолита / Г.Ф. Рахманова, К.Р. Гарафутдинова, Р.Р. Газизов, Р.Р. Маснабиева // Плодородие. – 2022. – № 6 (129). – С. 33-35.
4. Активация фосфоритной муки путем частичного разложения минеральных кислот / З.А. Готто, В.В. Шевчук, Ф.Ф. Можейко, Л.К. Островский // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук. – 2014. – № 3. – С. 110-116.
5. Алиев, Ш.А. Научное обоснование применения местных агроруд в качестве удобрений в земледелии Среднего Поволжья: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04 / Шамиль Арифович Алиев. – Москва, 2001. – 47 с.
6. Андрианов, С.Н. Эффективность и технология производства хемоактивированной фосфоритной муки / С.Н. Андрианов, В.Н. Капранов, Б.А. Сушеница // Плодородие. – 2007. – № 6 (39). – С. 11-12.
7. Апарин, Б.Ф. Эволюционные модели плодородия почв / Б.Ф. Апарин. Санкт-Петербург: Изд-во ёПетербургского университета, 1997. – 292 с.
8. Артеменко, В.Г. Азотнокислородное разложение фосфоритов Кинешемского месторождения / В.Г. Артеменко // Химическая технология. – 2015. – Т. 16. – № 3. – С. 129-131.
9. Бауатдинов, Т.С. Разработка гибкой технологической схемы получения сложных удобрений / Т.С. Бауатдинов // Сельскохозяйственные технологии. – 2019. – Т. 1. – № 2. – С. 19-27.

10. Безручко, Е. В. Доступный для растений кремний – фактор устойчивого производства картофеля / Е. В. Безручко, Л. С. Федотова // *Агрохимия*. – 2021. – № 8. – С. 70-81.
11. Бремер, Г. Введение в гетерогенный катализ / Г. Бремер, К.П. Вендландт. – М.: Мир, 1981. – 160 с.
12. Васильев, А.А. Влияние глауконита на поступление азота, фосфора и калия в растения картофеля / А.А. Васильев // *Агрохимия*. – 2014. – № 8. – С. 40-50.
13. Везенцев, А.И. Сорбционная очистка почв от тяжелых металлов/ А.И. Везенцев// *Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки*. – 2008. – Т. 3. – № 6. – С. 172-175.
14. Взаимосвязи между свойствами почвы и плодородием / В.И. Савич, Д.С. Булгаков, Ю.А. Духанин, А.А. Оглоблина // *Агрохимия*. – 2007. – № 2. – С. 5-13.
15. Вклад различных гранулометрических фракций в обеспеченность супесчаной дерново-подзолистой почвы обменным и необменным калием / О.Н. Козлова, С.М. Лукин, Т.А. Соколова и др. // *Агрохимия*. – 2000. – № 12. – С. 15-23.
16. Власов, В.Ф. Исследование азотнокислотного разложения Кимовского фосфорита / В.Ф. Власов, В.Ф. Марченков. – *Тр. МХТИ им. Д.И. Менделеева*. – М., 1969. – Вып. 60. – С. 29-31.
17. Влияние бурого угля и глауконита на плодородие почвы и урожайность культур / Р.Р. Газизов, И.М. Суханова, Е.А. Прищепенко и др. // *Плодородие*. – 2020. – № 6 (117). – С. 34-36.
18. Влияние природных кремнийсодержащих материалов на продуктивность зернобобового севооборота в условиях дерново-подзолистых почв Нечерноземья / А.В. Козлов, Ю.И. Афонина, А.А. Воронцова и др. // *Успехи современного естествознания*. – 2018. – № 1. – С. 23-28.
19. Влияние температуры на кинетику азотнокислотного разложения высокорективного фосфатного сырья / И.А. Почиталкина, И.А. Филенко,

И.А. Петропавловский, Д.Ф. Кондаков // Химическая промышленность сегодня. – 2016. – № 9. – С. 15-19.

20. Влияние цеолитов на развитие ярового рапса в присутствии остатков метсульфурон-метила в почве / Ю.Я. Спиридонов, Н.Д. Чкаников, А.В. Пастухов // Агрохимия. – 2021. – № 10. – С. 81-88.

21. Вольфович, С.И. Общая химическая технология / С.И. Вольфович и др. – 1945, № 3, с. 1-7.

22. Воронов, С.И. Перспективы расширения ассортимента известковых удобрений / С.И. Воронов, М.А. Кузьмич, Л.С. Кузьмич // Плодородие. – 2022. – № 6 (129). – С. 7-11

23. Газообразные потери и трансформация минерального азота в пахотной буроземной почве в зависимости от влажности / И.Н. Курганова, В.О. Лопес де Гереню, Р. Велл и др. // Агрохимия. – 2007. – № 10. – С. 5-13.

24. Гарафутдинова, К.Р. Влияние фосфоритной муки на агрохимическую характеристику чернозема выщелоченного и урожайность возделываемых культур / К.Р. Гарафутдинова, Г.Ф. Рахманова, Р.Р. Маснабиева // Плодородие. – 2022. – №5. – С. 23-26.

25. Гедройц, К.К. Почвенный поглощающий комплекс Растение и удобрение: Статьи и материалы по опытам на Долгопрудном опытном поле НИУ за 1930-1933 гг. / К.К. Гедройц. – Москва: Ленинград: Сельхозгиз, 1935. – 343 с.

26. Герасименко, П.С. Влияние бентонитовой глины на агрохимические и агрофизические свойства чернозёма южного, урожайность ярового ячменя и кукурузы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04, 06.01.03 / Герасименко Павел Сергеевич. – п. Персиановский, 2008. – 21 с.

27. Годунова, Е.И. Гидрогель и эффективность минеральных удобрений на обыкновенных черноземах Центрального Предкавказья / Е.И. Годунова, Н.Н. Шаповалова // Агрохимический вестник. – 2020. – № 4. – С. 46-50.

28. Гуторова, О.А. Динамика показателей плодородия лугово-черноземной почвы при длительном возделывании риса / О.А. Гуторова, В.А. Романенков, А.Х. Шеуджен // *Агрохимия*. – 2019. – № 10. – С. 25-34.
29. Гуркова, Е.А. Влияние гранулометрического состава на гумусонакопление в почвах сухих степей Тувы / Е.А. Гуркова, Д.А. Соколов // *Почвоведение*. – 2022. – № 1. – С. 106-118.
30. Дадаходжаев, А.Т. Разработка технологии производства сложного азот-калий-кальций-магниевого удобрения / А.Т. Дадаходжаев, М.Э. Ахмедов, В.П. Гуро // *Universum: химия и биология*. – 2019. – № 2 (56). – С. 16-20.
31. Державин, Л.М. О комплексной оценке плодородия пахотных земель / Л.М. Державин, А.С. Фрид // *Агрохимия*. – 2001. – № 9. – С. 5-12.
32. Динамика агрохимических показателей почвы в многолетнем полевым опыте при внесении осадков сточных вод и извести / А.С. Фрид, В.А. Касатиков, Т.И. Борисочкина // *Агрохимия*. – 2022. – № 9. – С. 3-14.
33. Добровольский, Г.В. Деградация и охрана почв / Г.В. Добровольский. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 654 с.
34. Добровольский, Г.В. Деградация и охрана почв: Монография / Г.В. Добровольский, С.А. Шоба, П. Н. Балабко. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. – 651 с.
35. Добровольский, Г.В. Функции почв в биосфере и экосистемах / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. М.: Наука, 1990. – 260 с.
36. Добровольский, Г.В. Функционально-экологическая роль почв в биосфере: избранные труды по почвоведению / Г.В. Добровольский // М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. – Т. 1. – 525 с.
37. Дорошкевич, С. Г. Влияние органо-минеральных удобрительных смесей на основе осадков сточных вод и цеолитов на агрохимические свойства аллювиальной дерновой почвы / С.Г. Дорошкевич, Л.Л. Убугунов // *Агрохимия*. – 2002. – № 4. – С. 5-10.

38. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов // М.: Агропромиздат, 1985. – С. 351.

39. Дышко, В.Н. Формирование оптимального фосфатного режима дерново-подзолистых почв и продуктивности севооборотов при использовании фосфоритов различных месторождений: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04 / Дышко Виталий Николаевич. – Смоленск, 2005. – 284 с.

40. Завалин, А.А. Современное состояние использование азота в мировом земледелии / А.А. Завалин // В сборнике: Динамика показателей плодородия почв и комплекс мер по их регулированию при длительном применении систем удобрения в разных почвенно-климатических зонах. – 2018. – С. 46-54.

41. Земятченский, П.А. Выветривание полевых шпатов в связи с почвообразованием / П.А. Земятченский. – М.: Труды почвенного института В.В. Докучаева, 1933. – 280 с.

42. Зонально-провинциальные нормативы изменений агрохимических, физико-химических и физических показателей основных пахотных почв европейской территории России при антропогенных воздействиях / А.С. Фрид, И.В. Кузнецова, И.Е. Королева и др. – Москва: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. – 174 с.

43. Ивашов, В.П. Ландшафтно-геохимические исследования на базальтовых массивах: Монография / В.П. Ивашов. – Владивосток: Дальнаука, 2003. – 326 с.

44. Ивойлов, А.В. Анализ данных агрономических исследований методами непараметрической статистики: учебное пособие / А.В. Ивойлов. – Саранск: Изд-во Морд. ун-та, 2000. – 64 с.

45. Изменение калийного режима почвы под влиянием комплексного удобрения на основе природного цеолита и стоков животноводческих комплексов / Л.М.Х. Биккинина, Ш.А. Алиев, В.О. Ежков, И.М. Суханова // Агрохимический вестник. – 2016. – № 4. – С. 27-29.

46. Изменение свойств и продуктивности чернозема выщелоченного и серой лесной почвы под влиянием мелиорантов / А.Х. Яппаров, Л.М.Х. Биккинина, И.А. Яппаров и др. // Почвоведение. – 2015. – № 10. – С. 1267-1276.
47. Ильина, Л.В. Комплексное воспроизводство плодородия серых лесных почв и его эффективность / Л. В. Ильина. – Рязань: Узорочье, 1997. – 231 с.
48. Интегральная оценка плодородия почв: Монография / В.И. Савич, Д.С. Булгаков, Н.Г. Вуколов и др. – Москва: РГАУ МСХА имени К.А. Тимирязева, 2010. – 347 с.
49. Интерпретация данных агрегатного состава типичных черноземов разного вида использования методами кластерного анализа и главных компонент / В.А. Холодов, Н.В. Ярославцева, В.И. Лазарев, А.С. Фрид // Почвоведение. – 2016. – № 9. – С. 1093-1100.
50. Использование кластерного и дискриминантного анализов для диагностики литологической неоднородности почвообразующей породы по гранулометрическому составу / К.Г. Гиниятуллин, А.А. Валеева, Е.В. Смирнова // Почвоведение. – 2017. – № 8. – С. 946-953.
51. Капранов, В.Н. Использование природных агрохимических средств в качестве источников минерального питания полевых культур: дис. ... д-ра биол. наук: 06.01.04 / Капранов Владимир Николаевич. – Немчиновка, 2009. – 378 с.
52. Карпова, Д.В. Гумусное состояние серых лесных почв Владимирского Ополя / Д.В. Карпова, Т.А. Трифонова // Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. – 2006. – № 1 (14). – С. 91-98.
53. Карпова, Д.В. Минералогический состав илистой фракции тяжелосуглинистой почвы Владимирского Ополя // Д.В. Карпова, Н.П. Чижикова // Плодородие. – 2009. – № 1 (46). – С. 11-13.

54. Кирпичников, Н.А. Приемы повышения эффективности фосфорных удобрений в зависимости от известкования при возделывании зерновых культур на дерново-подзолистой почве // Н.А. Кирпичников, С.П. Бижан. – Агрохимия. – 2022. – № 7. – С. 33-39.

55. Козлов, А.В. Биологическая активность дерново-подзолистой почвы и продуктивность агрофитоценозов от применения высококремнистых пород в качестве почвенных кондиционеров / А.В. Козлов, А.Х. Куликова, И.П. Уромова // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Естественные науки. – 2017. – №11 (260). – С. 155-166.

56. Козлов, А.В. Влияние высококремнистых пород (диатомита, цеолита и бентонитовой глины) на активность олиготрофного и автохтонного микробного пула дерново-подзолистой почвы / А.В. Козлов, А.Х. Куликова, И.П. Уромова // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2017. – №40. – С. 44-65.

57. Козлов, А.В. Роль кремниевых соединений и пород в функционировании почвенно-поглощающего комплекса и микробно-ферментной системы дерново-подзолистой почвы: специальность 03.02.13 «Почвоведение»: диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Козлов Андрей Владимирович. – Москва, 2022. – 508 с.

58. Колеватых, Е.А. К вопросу о генезисе и геохимии покровных суглинков Вятско-Камского Предуралья / Е.А. Колеватых // Вятский государственный гуманитарный университет. – 2010. – № 6. – С. 55-56.

59. Костин, Я.В. Динамика изменения плодородия и продуктивности серых лесных почв при длительном применении разных форм минеральных удобрений: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04 / Костин Яков Владимирович. – Рязань, 2001. – 48 с.

60. Красницкий, В.М. Баланс питательных веществ в земледелии Омской области / В.М. Красницкий, А.Г. Шмидт, А.А. Цырк // Плодородие. – 2018. – № 2 (101). – С. 4-5.

61. Кудеяров, В.Н. Баланс углерода и азота в современном земледелии Российской Федерации / В.Н. Кудеяров // Фундаментальные проблемы управления циклом азота в современном земледелии. Владимир: ВНИИОУ – филиал Верхневолжского ФАНЦ. – 2019. – С. 3-23.
62. Кудеяров, В.Н. Современное состояние почв агроценозов России, меры по их оздоровлению и рациональному / В.Н. Кудеяров, М.С. Соколов, А.П. Глинушкин // Агрохимия. – 2017. – № 6. – С. 3-11.
63. Кудеяров, В.Н. Эмиссионный фактор закиси азота при применении азотных удобрений в земледелии России / В.Н. Кудеяров // Агрохимия. – 2021. – № 11. – С. 3-15.
64. Лапушкин, В.М. Влияние сроков известкования на эффективность гранулированных смесей фосфоритной муки и аммонийной селитры / В.М. Лапушкин, В.В. Кидин // Плодородие. – 2012. – № 1 (64). – С. 7-8
65. Лукин, С.В. Мониторинг плодородия пахотных почв юго-западной части центрально-черноземного района России // Агрохимия. – 2021. – № 3. – С. 3–14.
66. Межевова, А.С. Апробация органоминерального удобрения на основе осадков сточных вод / А.С. Межевова, Ю.В. Берестнева, К.Р. Бикметова // Агрохимический вестник. – 2020. – № 6. – С. 71-74.
67. Мелиоративные свойства, удобрительная ценность и скорость растворения в почвах различных по размеру фракций отсева доломита, используемого для дорожного строительства / А.В. Литвинович, О.Ю. Павлова, А.В. Лаврищев и др. // Агрохимия. – 2016. – № 2. – С. 31-41.
68. Мерзлая, Г.Е. Агрохимические аспекты использования осадков сточных вод для рекультивации земель различного назначения / Г.Е. Мерзлая, Р.А. Афанасьев // Агрохимия. – 2020. – № 8. – С. 70-77.
69. Минералогический состав тонкодисперсных фракций и резервы калия в черноземе при внесении минеральных удобрений / Н.Н. Шаповалова, Н.П. Чижикова, Е.И. Годунова, И.Г. Сторчак // Плодородие, 2018. – № 3 (102). – С. 25-31.

70. Минералогический состав тонкодисперсных фракций черноземов при их различном сельскохозяйственном использовании / В.Б. Варламов, С.Н. Шкабарда, Н.П. Чижикова, Е.И. Годунова // В сборнике: Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования. Материалы докладов VI Съезда общества почвоведов им В.В. Докучаева. – 2012. – С. 580-581.

71. Молодкин, В.Н. Плодородие пахотных Кировской области почв / В.Н. Молодкин, А.С. Бусыгин // Земледелие. – 2016. – № 8. – С. 16-18.

72. Назарова, И.В. Динамика плодородия пахотных почв Алтайского края / И.В. Назарова, В.А. Даммер // Земледелие. – 2017. – № 8. – С. 11-13.

73. Небытов, В.Г. Влияние ежегодного и запасного внесения суперфосфата и фосфоритной муки в сочетании с навозом и азотно-калийными удобрениями на продуктивность культур и баланс азота, фосфора и калия за ротацию севооборота / В.Г. Небытов, В.И. Мазалов, В.С. Еремина // Аграрная Россия. – 2012. – С.25-29.

74. Никитина, Л.В. Изменение калийного состояния дерново-подзолистой почвы при длительном сельскохозяйственном использовании / Л.В. Никитина // Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия. Сборник докладов международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 233-238.

75. Орлов, Д.С. Химическое загрязнение почв и их охрана / Д.С. Орлов, М.С. Малинина, Г.В. Мотузова. – М.: Агропромиздат, 1994. – 120 с.

76. Охотин, В.В. Покровные отложения на моренах Европейской части Советского Союза / В.В. Охотин, Г.П. Мазуров // Вестник Ленинградского университета. – 1951. – № 4. – С. 66-57.

77. Пакшина, С. М. Миграционные потери калия, аммония, нитратов и фосфатов из пахотного слоя серой лесной легкосуглинистой почвы в длительном полевом опыте / С. М. Пакшина, Т. А. Шохова // Агрохимия. – 2011. – № 9. – С. 14-18.

78. Патент на изобретение № RU 2389712 C2, C05B 11/00. Способ кислотной переработки бедных фосфоритов / В.С. Спиридонов, М.В. Генкин; заявитель и патентообладатель ЗАО «Национальная Газовая Компания». – № 2008104698/15; заявл. 12.02.2008; опубл. 20.05.2010. Бюл. № 14. – 10 с.

79. Патент на изобретение RU 2266273 C1, C05G 1/06, C05B 11/06. Способ получения сложного водорастворимого азотно-фосфорного удобрения / О.Б. Абрамов, Р.М. Гараев, А.С. Дедов, О.М. Захарова и др.; заявитель и патентообладатель ОАО КЧХК. – № 2004129544/15; заявл. 07.10.2004; опубл. 20.12.2005. Бюл. № 35. – 5 с.

80. Патент на изобретение RU 2384547 C1, C05B 11/06. Способ получения сложного удобрения / С.А. Дриневский, П.В. Киселевич, А.А. Наумов, Г.А. Крупин и др.; заявитель и патентообладатель АО «Объединенная химическая компания «УРАЛХИМ». – № 2008137821/15; заявл. 22.09.2008; опубл. 20.03.2010. Бюл. № 8. – 3 с. : ил.

81. Патент на изобретение RU 2650545, C05C 11/00, A01N 59/00, A01N 25/02, B01J 19/08. Азотное удобрение и способ его получения / И.Ф. Головацкая, М.В. Ефимова, Е.В. Бойко, А.Н. Видершпан и др.; заявитель и правообладатель Головацкая Ирина Феоктистовна, Ефимова Марина Васильевна, Смирной Алексей Павлович, Резников Игорь Владимирович, Жерлицын Алексей Григорьевич, Шиян Владимир Петрович. – № 2017115598; заявл. 03.05.2017; опубл. 16.04.2018. Бюл. № 11. – 15 с.

82. Петрофанов, В.Л. Подвижность калия гранулометрических фракций дерново-подзолистых почв и чернозема: автореф. дис...кандидата с.-х. наук: 03.02.13 / Владислав Леонидович Петрофанов – Москва, 2012. – 23 с.

83. Петрофанов, В.Л. Роль гранулометрических фракций почв в сорбции и десорбции калия / В.Л. Петрофанов // Почвоведение. – 2012. – № 6. – С. 668-672.

84. Пироговская, Г.В. Влияние различных систем удобрения на изменение минеральной части дерново-подзолистой супесчаной почвы /

Г.В. Пироговская, С.Д. Астапова, А.Ф. Санько // Почвоведение. – 2004. – № 1. – С. 92-103.

85. Плодородие почвы: настоящее и будущее нашего земледелия / Н.А. Зеленский, Г.М. Зеленская, Г.В. Мокриков, А.Ю. Шуркин // Земледелие. – 2018. – № 5. – С. 4-7.

86. Поверхностные характеристики некоторых природных и обработанных глин Таджикистана / М.Н. Холмадоров, Ф.С. Шарипов, А.М. Салимов и др. // Доклады академии наук Республики Таджикистан. – 2011. – Т. 54. – № 8. – С. 653-656.

87. Полевой определитель почв. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. – 182 с.

88. Получение термостабильной аммиачной селитры на основе ее сплава и бентонитовых глин Узбекистана / Ш.С. Намазов, У.М. Турдиалиев, С.С. Ортикова и др. // Химическая промышленность. – 2016. – Т. 93. – С. 1-14.

89. Пояркова, А.А. Влияние добавок различной природы на активацию фосфоритной муки Верхнекамского месторождения / А.А. Пояркова, Е.В. Товстик // Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Киров, 13–14 апреля 2017 года. Том Книга 1. – Киров: Вятский государственный университет, 2017. – С. 218-221.

90. Применение бентонитовой глины под озимую пшеницу на темно-каштановой почве / Е.В. Агафонов, А.В. Цыганков, В.В. Турчин и др. // Агрохимический вестник. – 2013. – № 3. – С. 022-024.

91. Применение промышленной фосфоритной муки и местных сыромолотых фосфоритов: рекомендации / Н.В. Войтович, Б.А. Сушеница, В.Н. Капранов, В.Н. Дышко. – Немчиновка: НИИСХ ЦРНЗ, 2004. – 23 с.

92. Проблемы деградации, охраны и пути восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения / Н.Б. Хитров, А.Л. Иванов, А.А. Завалин, М.С. Кузнецов // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2007. – № 6 (9). – С. 29-32.

93. Проблемы деградации, охраны и пути восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения / Н.Б. Хитров, А.Л. Иванов, А.А. Завалин и др. // Научные и образовательные аспекты развития АПК, Вестник ОрелГАУ. – 2007. – С. 134-138.

94. Прокошев, В.В. Калий и калийные удобрения / В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин. – М.: Ледум, – 2000. – 185 с.

95. Пчелкин, В.У. Почвенный калий и калийные удобрения / В.У. Пчелкин. – М.: Колос, 1966. – 336 с.

96. Разложение высокорективного фосфатного сырья в условиях дискретной подачи кислоты / И.А. Почиталкина, И.А. Петропавловский, И.А. Филенко, Д.Ф. Кондаков // Химическая технология. – 2015. – Т. 16. – № 3. – С. 136-138.

97. Рухович, О.В. Прогнозные оценки урожайности озимой пшеницы с учетом рельефа, климата и гранулометрического состава почвы / О.В. Рухович, С.И. Шкуркин // Плодородие. – 2021. – № 6 (123). – С. 3-5.

98. Свиклас, А. Жидкие удобрения на основе доломита, азотной кислоты и аммиака / А. Свиклас, Р. Шлинкшене // Журнал прикладной химии. – 2003. – Т. 76. – № 13. – С. 1937-1942.

99. Семенов, В.М. Проблема углерода в устойчивом земледелии: агрохимические аспекты / В.М. Семенов, Т.Н. Лебедева // Агрохимия. – 2015. – № 11. – С. 3-12.

100. Семенов, В.М. Функции углерода в минерализационно-иммобилизационном обороте азота в почве / В.М. Семенов // Агрохимия. – 2020. – № 6. – С. 78-96.

101. Соколова, Т.А. Глинистые минералы в почвах: Учебное пособие / Т.А. Соколова, Т.Я. Дронова, И.И. Толпешта. – Тула: Гриф и К, 2005. – 336 с.

102. Соколова, Т.А. Разрушение глинистых минералов в модельных опытах и в почвах: возможные механизмы, скорость, диагностика (анализ литературы) / Т.А. Соколова // Почвоведение. – 2013. – № 2. – С. 1-16.

103. Соколова, Т.А. Сорбционные свойства почв. Адсорбция. Катионный обмен: учебное пособие по некоторым главам химии почв / Т.А. Соколова, С.Я. Трофимов. – Тула: Гриф и К. – 2009. – 172 с.
104. Степанов, М.И. Мониторинг плодородия пахотных почв Новосибирской области / М.И. Степанов, Г.И. Ефимова, С.Ю. Есбатырова // Земледелие. – 2017. – № 7. – С. 16-20.
105. Сушеница, Б.А. Воздействие фосфоритов на экологическое состояние почв / Б.А. Сушеница, В.Н. Дышко // Плодородие. – 2004. – № 1. – С. 27–28.
106. Сычев, В.Г. Динамика изменения, пути воспроизводства и совершенствование методов оценки плодородия почв Европейской части России: специальность 06.01.02 «Мелиорация, рекультивация и охрана земель»: диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Сычев Виктор Гаврилович. – Москва, 2000. – 328 с.
107. Сычев, В.Г. Плодородие почв и пути его регулирования / В.Г. Сычев, С.А. Шафран, С.Б. Виноградова // Агрохимия. – 2020. – № 8. – С. 3-13.
108. Сычев, В.Г. Прогноз плодородия почв Нечерноземной зоны в зависимости от уровня применения удобрений / В.Г. Сычев, С.А. Шафран // Плодородие. – 2019. – № 7 (107). – С. 22-25.
109. Сычев, В.Г. Современные проблемы и перспективы химической мелиорации кислых почв / В.Г. Сычев, Н.И. Аканова // Плодородие. – 2019. – № 1 (106). – С. 3-7.
110. Технология фосфорных и комплексных удобрений / М.В. Андреев, А.А. Бродский, Ю.А. Забелешинский и др. – М.: Химия. – 1987. – 464 с.
111. Травникова, Л.С. Закономерности гумусонакопления: новые данные и их интерпретация / Л.С. Травникова // Почвоведение. – 2002. – № 7. – С. 832-843.

112. Травникова, Л.С. Особенности состава органического вещества темногумусовых лесных почв северо-востока Костромской области / Л.С. Травникова, А.В. Иванов // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2014. – № 2. – С. 24-28.

113. Ульянова, О.А. Трансформация органического вещества почвы под действием композиций из древесной коры и цеолита / О.А. Ульянова // Плодородие. – 2009. – № 2(47). – С. 23-25

114. Ушаков, Р.Н. Агрохимический фактор устойчивости серой лесной почвы и сельскохозяйственных растений к неблагоприятным воздействиям среды в южной части Нечерноземной зоны России: дис. ... доктора с.-х. наук: 06.01.04 / Ушаков Роман Николаевич. – Рязань, 2007. – 351 с.

115. Фадькин, Г.Н. Разработка и внедрение технологических и агроэкологических основ освоения и использования местных сыромолотых фосфоритов в Рязанской области / Г.Н. Фадькин, Я.В. Костин, Н.И. Новобрагин // Плодородие. – 2012. – № 2 (65). – С. 10-11

116. Федоров, Б.А. Построение многофакторных регрессионных моделей для оценки свойств торфяной залежи и торфа методом главных компонент // Вестник Тверского государственного технического университета. – 2007. – № 12. – С. 148-150.

117. Фрид, А.С. Научно-методические принципы комплексного мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения / А.С. Фрид, Л.М. Державин // Агрохимия. – 2012. – № 2. – С. 3-11.

118. Фрид, А.С. Обоснование методических подходов к анализу данных многолетних полевых опытов // Агрохимия. – 2013. – № 10. – С. 75-96.

119. Фрид, А.С. Оценка плодородия. В книге: Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии / А.С. Фрид, О.Г. Чуян, В.Д. Соловиченко, С.И. Тютюнов. – Москва, 2013. – С. 17-34.

120. Чекмарев, П.А. Воспроизводство плодородия – залог стабильного развития агропромышленного комплекса России / П.А. Чекмарев // Плодородие. – 2018. – № 1 (100). – С. 4-7.

121. Чекмарев, П.А. Мониторинг плодородия почв Самарской области / П.А. Чекмарев, С.В. Обущенко // Земледелие. – 2016. – № 8. – С. 12-15.

122. Чижикова, Н.П. Глинистые минералы в почвах Каменной степи / Н.П. Чижикова, Н.Б. Хитров, Ю.И. Чевердин // Черноземы центральной России: генезис, эволюция и проблемы рационального использования. – 2017. – С. 85-88.

123. Чижикова, Н.П. Деградация минеральной основы почв / Н.П. Чижикова // Научные основы предотвращения деградации почв (Земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. – Москва, 2013. – С. 353-368.

124. Чижикова, Н.П. Изменение минералогического состава тонких фракций почв под влиянием агротехногенеза / Н.П. Чижикова // Почвоведение. – 2002. – № 7. – С. 867-875.

125. Чижикова, Н.П. Проблемы взаимодействия вносимых веществ с почвой / Н.П. Чижикова, Е.И. Годунова // Мат-лы научн. конф. по фундаментальному почвоведению. – М., 2004. – С. 128-139.

126. Чижикова, Н.П. Проблемы плодородия почв с позиции трансформации их минерального состава / Н.П. Чижикова // Российский химический журнал. – 2005. – № 3. – С. 44-48.

127. Шабаев, В.П. Ремедиация загрязненной кадмием почвы при применении стимулирующих рост растений ризобактерий и природного цеолита / В.П. Шабаев, Е.А. Бочарникова, В.Е. Остроумов // Почвоведение. – 2020. – № 6. – С. 738-750.

128. Шаймухаметов, М.Ш. Некоторые параметры калийного состояния и минералогический состав илистых частиц типичного серозема /

М.Ш. Шаймухаметов, Г.Н. Мамадалиев // Почвоведение. – 2003. – № 9. – С. 1114-1123.

129. Шаповалова, Н.Н. Агрохимическое состояние и биологическая активность почвы впоследствии длительного применения минеральных удобрений / Н.Н. Шаповалова, Е.А. Менькина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 5 (73). – С. 43-46.

130. Шатило, В.И. Бескислотная активация Вятско-Камской фосфоритной муки в присутствии азот- и калийсодержащих солей / В.И. Шатило, А.Ф. Минаковский // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук. – 2019. – Т. 55. – № 4. – С. 464-471.

131. Шафран, С.А. Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах / С.А. Шафран, Н.А. Кирпичников // Агрохимия. – 2019. – № 4. – С. 3-10

132. Шпедт, А.А. Агрогенная деградация почв и почвенного покрова Красноярской лесостепи / А.А. Шпедт, Ю.Н. Трубников, Н.Ю. Жаринова // Почвоведение. – 2017. – № 10. – С. 1253-1261.

133. Якименко, В.Н. Баланс, формы и запасы калия в агроценозах на серой лесной почве / В.Н. Якименко // Агрохимия. – 2000. – № 11. – С. 5-9

134. Якименко, В.Н. Фиксация и десорбция калия некоторыми автоморфными почвами / В.Н. Якименко // Агрохимия. – 1995. – № 2. – С. 12-18.

135. Яковлева, Л.В. Изменение минеральной части почвы при сельскохозяйственном использовании / Л.В. Яковлева, Е.А. Николаева // Технология и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2019. – № 2 (99). – С. 126-139.

136. Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis: a multivariate analysis case study / M.M. Sena, R.T.S. Frighetto, P.J. Valarini et al // Soil and tillage research. – 2002. – V. (2). – P. 171–181.

137. Evaluating impact of irrigation water quality on a calcareous clay soil using principal component analysis / U.K. Mandal, D.N. Warrington, A.K. Bhardwaj // *Geoderma*. – 2008. – V. 144. – P. 189-197.

138. Organic Matter in Clay Density Fractions from Sandy Cropland Soils with Differing Land-Use History / S. Sleutel, P. Leinweber, E. Van Ranst et al. // *Soil Science Society of America Journal*. – 2011. – V. 75. – № 2. – P. 521-532.

139. Potassium Requirements for Corn in North Dakota: Influence of Clay Mineralogy / J. S. Breker, T. De Sutter, M.K. Rakkar et al. // *Soil Science Society of America Journal*. – 2019. – V. 83. – № 2. – P. 429-436.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1.1. Агрохимическая характеристика агросерой легкосуглинистой почвы

Слой, см	Показатель	Повторность		
		1	2	3
0-20	K ₂ O, мг/кг	140	209	121
20-30		101	138	105
0-20	Общий К, %	0,8	0,8	1,4
20-30		1,0	0,7	1,0
0-20	P ₂ O ₅ , мг/кг	208	235±47	191
20-30		173	165±33	176
0-20	Общий Р, %	0,037	0,034	0,036
20-30		0,030	0,028	0,029
0-20	Общий N, %	0,1307	0,1241	0,1248
20-30		0,1022	0,196	0,1111
0-20	N-NO ₃ , мг/кг	25,2	25,0	23,9
20-30		15,8	22,9	22,8
0-20	Гумус, %	2,23	2,39	2,12
20-30		1,86	2,03	1,91

1.2. Общая статистика агрохимических показателей

Показатель	\bar{X}		S		m	
	0-20 см	20-30 см	0-20 см	20-30 см	0-20 см	20-30 см
K ₂ O	156,7	114,7	46,3	20,3	26,7	11,7
Общий калий	1,0	0,9	0,006	0,005	0,003	0,003
P ₂ O ₅	211,3	171,3	22,2	5,7	12,8	3,3
Общий фосфор	0,035	0,029	0,002	0,001	0,001	0,001
Общий азот	0,127	0,136	0,004	0,052	0,002	0,029
N-NO ₃	24,700	20,500	0,700	4,071	0,405	2,350
Гумус	2,246	1,933	0,136	0,087	0,078	0,050

2.1. Физико-химическая характеристика агросерой легкосуглинистой почвы

Слой, см	Показатель	Повторность			ГОСТ
		1	2	3	
0-20	рН, ед. рН	5,4	5,4	5,4	ГОСТ 26483-85
20-30		5,4	5,3	5,4	
0-20	ЕКО, мг-экв/100 г	24,0	27,0	27,0	ГОСТ 17.4.4.01-84 (п. 4.1)
20-30		25,0	25,0	28,0	
0-20	Сумма поглощенных оснований, ммоль/100 г	9,2	7,3	8,0	ГОСТ 27821-88
20-30		7,6	7,3	6,9	
0-20	<0,01, %	24,9	23,5	25,4	ГОСТ 12536-2014
20-30		23,3	24,0	27,1	

2.2. Общая статистика физико-химических показателей

Показатель	\bar{X}		S		m	
	0-20 см	20-30 см	0-20 см	20-30 см	0-20 см	20-30 см
рН	5,4	5,3	<0,001	0,05	0,001	0,033
ЕКО	25,0	26,0	1,73	1,73	1,0	1,00
Сумма поглощенных оснований, ммоль/100 г	8,1	7,2	0,9	0,3	0,5	0,2
<0,01, мм, %	24,6	24,8	0,98	2,0	0,6	1,2

3.1. Описательная статистика некоторых агрохимических показателей серой
лесной почвы

Серая лесная почва	\bar{X}	Доверительный интервал		Cv	m
		-95 %	+95 %		
гумус					
Под лесной растительностью (фон)	2,9	1,8	4	15	0,25
Без внесения удобрений (контроль)	2,1	1,2	3	16	0,20
Окультуренная	3,0	2,1	4	12	0,21
С признаками деградации	2,0	1,3	3	15	0,17
подвижный фосфор					
Под лесной растительностью (фон)	16	7	25	23	2,08
Без внесения удобрений (контроль)	12	5	19	22	1,53
Окультуренная	32	16	48	20	3,61
С признаками деградации	16	9	23	17	1,53
обменный калий					
Под лесной растительностью (фон)	13	6	20	20	1,5
Без внесения удобрений (контроль)	14	7	21	21	1,7
Окультуренная	24	17	31	11	1,5
С признаками деградации	13	4	22	27	2,0
обменная кислотность					
Под лесной растительностью (фон)	4,9	4,0	5,8	7,4	0,21
Без внесения удобрений (контроль)	5,7	4,8	6,6	6,3	0,21
Окультуренная	6,0	5,2	6,7	5,1	0,18
С признаками деградации	5,5	4,4	6,6	8,3	0,26

4.1. Гранулометрический состав агросерой почвы и содержание
подвижного калия

кр. песок	мел. песок	кр. пыль	ср. пыль	мел. пыль	ил	гумус, %	калий мг/100 г
0,7	14,5	42	11,6	11,4	19,8	3,2	5,5
0,7	6,9	53,9	7,9	10,8	19,8	2,9	5,5
0,7	10,1	46,3	10,2	11,2	21,5	2,4	3,7
0,4	7,4	42,6	11,7	12,3	25,6	2,3	3,7
0,4	4,8	44,9	12,5	14,9	22,5	2,3	2,5
0,6	4,9	43,4	10,5	13,3	27,3	2,1	2,5
0,5	13,3	42,7	8,6	8,8	26,5	3,4	12,7
0,3	17,6	35,1	9,9	8	29,3	3,4	12,7
0,2	19,1	31,9	9,1	7,2	32,6	3,2	12,1
0,5	7,3	42,6	10,7	13,3	24,6	3,5	6,3
0,5	4,7	45,9	13,5	14,9	21,5	3,3	6,2
0,7	4,7	42,4	9,5	13,3	27,3	2,8	5,1

4.2. Корреляционная решетка и проверка мультиколлинеарности

	кр. песок	мел. песок	кр. пыль	ср. пыль	мел. пыль	ил	гумус	калий
кр. песок	1,0	–	–	–	–	–	–	–
мел. песок	-0,5	1,0	–	–	–	–	–	–
кр. пыль	0,7	-0,7	1,0	–	–	–	–	–
ср. пыль	-0,1	-0,4	0,0	1,0	–	–	–	–
мел. пыль	0,4	-0,9	0,5	0,7	1,0	–	–	–
ил	-0,7	0,5	-0,8	-0,3	-0,5	1,0	–	–
гумус	-0,2	0,5	-0,3	-0,2	-0,4	0,1	1,0	–
калий	-0,5	0,8	-0,6	-0,5	-0,8	0,6	0,8	1,0

Продолжение приложения 4

4.3. Проверка достоверности зависимости содержания обменного калия от гранулометрических фракций и гумуса

Параметр	r	m	r	m	t ₀₅	p
пересечение	–	–	1,0	1,5	0,7	0,528808
мелкий песок	0,8	0,2	0,6	0,1	4,2	0,001975
пересечение	–	–	24,8	7,5	3,3	0,008161
крупная пыль	-0,6	0,3	-0,4	0,2	2,4	0,034920
пересечение	–	–	20,7	3,2	6,5	0,000073
мелкая пыль	-0,8	0,2	-1,2	0,3	4,5	0,001115
пересечение	–	–	-7,1	6,2	1,1	0,279712
ил	0,6	0,3	0,6	0,2	2,2	0,050985
пересечение	–	–	-10,1	4,5	2,2	0,050945
гумус	0,8	0,2	5,7	1,5	3,7	0,004061

4.4. Параметры уравнений зависимости калия от гумуса и гранулометрических фракций

	r	Se	r	Se	t ₀₅	p
гумус	0,5	0,2	3,6	1,3	2,8	0,0222
мел.песок	0,5	0,2	0,4	0,1	3,2	0,0114
мел. пыль	-0,6	0,1	-0,9	0,2	4,8	0,0009
гумус	0,5	0,1	3,8	0,9	4,0	0,0030
ил	0,5	0,1	0,5	0,1	3,3	0,0089
гумус	0,7	0,1	5,3	1,1	4,8	0,0010

5.1. Функции классификации

Параметр	G 1:0	G 2:1
Мелкая пыль (МП)	0,401	3,932
Гумус (Г)	33,558	23,949
Ил (И)	6,316	5,095
Средняя пыль (СП)	2,736	1,399
Постоянная	-164,077	-125,209

5.2. Проверка статистической значимости дискриминантной функции

Параметр	Собственное значение	Канонический коэффициент корреляции	Лямбда Уилкса	Хи-квадрат	p
0	5,89	0,92	0,145	21,238	0,0001

5.3. Дискриминантный анализ вклада гранулометрических фракций и гумуса в обеспеченность подвижным калием (коэффициенты веса)

Параметр	Стандартизированный коэффициент	Факторный анализ канонического корня (структурный коэффициент)
	Корень 1	Корень 1
Мелкая пыль	1,046	0,532099
Гумус	-1,246	-0,191893
Ил	-0,935	-0,259749
Средняя пыль	-0,491	0,077884

6.1. Агрохимические свойства по повторениям

Вариант	Повторность	Гумус, %	P ₂ O ₅ , мг/100г	K ₂ O, мг/100г	pH _{KCl}	Нг, мг-экв/100 г	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ , мг-экв/100 г
НГП (контроль)	1	1,6	21,9	6,9	5,5	3,17	22,4
	2	1,2	18,5	8,1	5,5	3,09	23,7
	3	1,7	22,7	6,0	5,4	3,04	22,9
ВГП	1	5,1	45,5	38,7	5,8	1,36	45,7
	2	4,9	47,5	40,1	6,3	1,24	46,9
	3	6,2	46,8	43,3	5,9	1,3	46,3

6.2. Содержание углерода гуминовых и фульвокислот по повторениям

Вариант	Слой, см	Повторение	Углерод ГК (Сгк)			Углерод ФК (Сфк)			
			1	2	3	1а	1	2	3
НГП	0-20	1	10,9	20,9	10,7	3,2	8,2	2,9	5,4
		2	11,9	21,9	9,1	2,2	6,8	1,9	3,6
	20-30	1	9,5	30,9	9,8	3,4	7,6	0,8	3,5
		2	10,5	32,4	8,2	2,2	9,2	1,4	5,1
ВГП	0-20	1	11,6	13,3	16,6	1,3	6,0	2,1	5,3
		2	10,4	11,5	17,4	2,7	7,2	2,9	4,1
	20-30	1	12,5	15,8	13,8	2,9	7,6	1,6	6,2
		2	13,5	14,6	12,2	1,5	6,2	2,6	5,0

6.3. Влияние удобрений на содержание органического углерода в агросерой почве

Вариант	Слой, см	0,1н NaOH			0,1 н H ₂ SO ₄	0,1н NaOH после декальцирования			0,02 н NaOH			С общ. почвы, %
		Собщ.	Сгк	Сфк		Собщ.	Сгк	Сфк	Собщ.	Сгк	Сфк	
НГП	0-20	<u>0,316</u> 21,64	<u>0,167</u> 11,4	<u>0,149</u> 10,20	<u>0,039</u> 2,67	<u>0,624</u> 42,74	<u>0,479</u> 32,81	<u>0,145</u> 9,93	<u>0,210</u> 14,38	<u>0,144</u> 9,86	<u>0,066</u> 4,52	1,46
	20-30	<u>0,233</u> 21,2	<u>0,110</u> 10,0	<u>0,123</u> 11,18	<u>0,031</u> 2,82	<u>0,563</u> 51,18	<u>0,459</u> 41,73	<u>0,104</u> 9,45	<u>0,146</u> 13,27	<u>0,099</u> 9,00	<u>0,047</u> 4,27	1,10
ВГП	0-20	<u>0,694</u> 19,6	<u>0,385</u> 11,0	<u>0,305</u> 8,61	<u>0,071</u> 2,01	<u>1,148</u> 32,43	<u>0,827</u> 23,36	<u>0,321</u> 9,07	<u>0,769</u> 21,72	<u>0,603</u> 17,03	<u>0,166</u> 4,69	3,54
	20-30	<u>0,456</u> 22,1	<u>0,268</u> 13,01	<u>0,188</u> 9,13	<u>0,045</u> 2,18	<u>0,769</u> 37,33	<u>0,582</u> 28,25	<u>0,187</u> 9,08	<u>0,384</u> 18,64	<u>0,269</u> 13,06	<u>0,115</u> 5,58	2,06

Примечание: в числителе % к почве, в знаменателе - % к общему углероду почвы

7.1. Содержание оксидов элементов по повторениям и
стандартная ошибка средней

Оксид элемента	Повто- рение	Низкогумусированная		Высокогумусированная	
		1	2	1	2
SiO ₂	I	<u>50,7</u>	<u>80,7</u>	<u>50,3</u>	<u>80,9</u>
		52,7	79,6	53,4	81,4
	II	<u>51,0</u>	<u>81,3</u>	<u>49,4</u>	<u>82,0</u>
		53,6	80,5	52,1	82,6
III	<u>48,9</u>	<u>81,9</u>	<u>49,7</u>	<u>78,6</u>	
	53,0	80,8	52,6	81,7	
m		0,6/0,3	0,3/0,4	0,3/0,4	1,0/0,4
Al ₂ O ₃	I	<u>15,4</u>	<u>10,2</u>	<u>14,6</u>	<u>7,8</u>
		17,6	9,0	15,1	7,7
	II	<u>14,6</u>	<u>9,5</u>	<u>15,0</u>	<u>8,6</u>
		16,5	10,1	14,2	8,4
III	<u>14,1</u>	<u>9,1</u>	<u>15,7</u>	<u>8,8</u>	
	16,6	9,4	14,5	9,4	
m		0,4/0,3	0,3/0,3	0,3/0,3	0,3/0,5
Fe ₂ O ₃	I	<u>9,9</u>	<u>3,3</u>	<u>9,0</u>	<u>2,7</u>
		10,6	2,3	7,9	2,0
	II	<u>8,7</u>	<u>2,5</u>	<u>8,3</u>	<u>2,1</u>
		9,7	3,1	8,7	2,8
III	<u>9,0</u>	<u>2,3</u>	<u>7,3</u>	<u>2,4</u>	
	9,7	3,0	8,9	2,4	
m		0,4/0,3	0,3/0,3	0,5/0,3	0,2/0,2
CaO	I	<u>0,4</u>	<u>0,9</u>	<u>0,8</u>	<u>1,4</u>
		0,5	1,1	0,7	1,0
	II	<u>0,7</u>	<u>1,2</u>	<u>0,6</u>	<u>1,7</u>
		0,6	1,0	0,5	1,3
III	<u>0,4</u>	<u>0,9</u>	<u>0,4</u>	<u>1,7</u>	
	0,4	0,9	0,6	1,3	
m		0,1/0,05	0,1/0,05	0,1/0,05	0,1/0,1
MgO	I	<u>2,6</u>	<u>0,9</u>	<u>2,2</u>	<u>0,8</u>
		1,7	0,5	1,6	0,8
	II	<u>2,5</u>	<u>1,2</u>	<u>2,3</u>	<u>1,0</u>
		2,0	0,4	1,3	1,0
III	<u>2,4</u>	<u>0,9</u>	<u>2,4</u>	<u>0,9</u>	
	2,0	0,6	1,3	0,6	
m		0,05/0,1	0,1/0,05	0,05/0,1	0,05/0,1
P ₂ O ₅	I	<u>0,7</u>	<u>0,1</u>	<u>0,9</u>	<u>0,2</u>
		0,1	0,09	0,4	0,3
	II	<u>0,4</u>	<u>0,3</u>	<u>0,6</u>	<u>0,6</u>
		0,4	0,1	0,5	0,5
III	<u>0,7</u>	<u>0,3</u>	<u>0,9</u>	<u>0,4</u>	
	0,4	0,11	0,6	0,4	
m		0,1/0,1	0,07/0,01	0,1/0,05	0,1/0,05
K ₂ O	I	<u>3,0</u>	<u>1,9</u>	<u>2,8</u>	<u>2,6</u>
		3,5	2,1	3,3	2,3
	II	<u>2,7</u>	<u>2,3</u>	<u>3,1</u>	<u>2,2</u>
		3,1	2,4	3,0	2,5
III	<u>3,0</u>	<u>2,4</u>	<u>3,4</u>	<u>2,4</u>	
	3,3	2,4	3,3	2,4	
m		0,1/0,1	0,1/0,1	0,2/0,05	0,1/0,1

Примечание: 1 – в иле; 2 – в почве в целом; в числителе – слой 0-20 см, в знаменателе – 20-30 см

7.2. Содержание элементов во фракциях в слое 0-20 см (%)

Элемент	Тонкая пыль ВГП	Тонкая пыль НГП	Средняя пыль ВГП	Средняя пыль НГП	Ил ВГП	Ил НГП	Остаток ВГП	Остаток НГП
MgO	1,014	0,781	0,598	0,602	2,319	2,476	0,168	0,646
Al ₂ O ₃	8,796	9,540	7,246	8,045	15,075	14,676	4,603	5,827
SiO ₂	73,733	80,721	80,573	83,757	49,798	50,176	88,601	87,541
P ₂ O ₅	0,205	0,076	0,110	0,164	0,783	0,578	0,033	0,039
SO ₃	0,570	0,156	0,359	0,186	0,562	0,430	0,177	0,080
Cl	0,346	0,074	0,139	0,065	1,599	2,634	0,046	0,053
K ₂ O	3,019	3,084	2,525	2,436	3,069	2,950	1,746	1,991
CaO	1,609	0,831	1,181	0,831	0,629	0,515	0,701	0,716
TiO ₂	1,009	1,089	0,937	0,950	1,073	1,019	0,710	0,745
Cr ₂ O ₃	0,006	0,006	0,010	0,004	0,008	0,012	0,002	0,003
MnO	0,270	0,152	0,228	0,142	0,332	0,348	0,033	0,031
Fe ₂ O ₃	2,728	2,488	2,001	1,771	8,206	9,196	1,042	1,189

7.3. Содержание микроэлементов во фракциях в слое 0-20 см (мкг/г)

Эле- мент	Тонкая пыль ВГП	Тонкая пыль НГП	Средняя пыль ВГП	Средняя пыль НГП	Ил ВГП	Ил НГП	Остат ок ВГП	Остат ок НГП	Почва в целом ВГП	Почва в целом НГП
Ni	26	22	21	18	38	24	26	10	17	34
Cu	79	79	63	60	107	109	15	16	12	14
Zn	353	284	356	180	363	377	81	56	49	34
Ga	0	8	0	0	7	22	5	4	10	8
As	0	4	0	0	9	8	0	0	4	0
Br	6	0	0	0	92	251	0	0	0	5
Pb	24	22	23	16	47	54	12	20	13	21
Rb	61	75	51	52	154	184	53	60	70	76
Sr	85	94	84	83	65	69	110	122	122	119
Y	21	22	22	19	34	40	30	34	30	36
Zr	123	168	190	196	151	169	728	752	628	618
Nb	12	12	6	11	13	14	12	19	16	15

7.4. Евклидовое расстояние по микроэлементам

Вариант	Тонкая пыль ВГП	Тонкая пыль НГП	Средняя пыль ВГП	Средняя пыль НГП	Ил ВГП	Ил НГП	Остаток ВГП	Остаток НГП
Тонкая пыль ВГП	0	–	–	–	–	–	–	–
Тонкая пыль НГП	85	0	–	–	–	–	–	–
Средняя пыль ВГП	70	82	0	–	–	–	–	–
Средняя пыль НГП	189	113	176	0	–	–	–	–
Ил ВГП	138	155	155	242	0	–	–	–
Ил НГП	284	294	293	354	165	0	–	–
Остаток ВГП	667	600	607	544	666	702	0	–
Остаток НГП	700	631	640	573	697	731	42	0

8.1. Валовый химический состав почвы по повторениям

Слой	Повтор-ность	SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		CaO		MgO		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0-20	1	53,3	77,6	17,8	11,3	10,4	3,9	0,7	1,0	3,2	1,0	0,3	0,2	2,8	2,4
20-30	1	54,7	76,8	17,0	11,5	10,1	4,0	0,8	1,0	3,2	1,2	0,2	0,2	2,7	2,3
0-20	2	53,6	78,4	16,8	10,7	10,3	3,8	0,5	0,9	3,2	1,0	0,4	0,4	2,9	2,4
20-30	2	52,9	78,1	17,5	11,0	10,3	3,8	0,6	0,9	2,8	1,0	0,4	0,4	2,8	2,4
0-20	3	53,0	78,3	17,3	10,1	9,9	3,4	0,9	1,1	3,0	0,9	0,4	0,4	2,8	2,4
20-30	3	52,3	78,7	16,9	10,1	10,0	3,4	0,8	1,1	3,1	1,0	0,3	0,3	2,7	2,3
0-20	4	50,2	81,3	14,7	9,6	9,2	2,7	0,5	1,0	2,5	1,0	0,6	0,2	2,9	2,2
20-30	4	53,1	80,3	16,9	9,5	10,0	2,8	0,5	1,0	1,9	0,5	0,3	0,1	3,3	2,3

Примечание: 1 – в иле; 2 – в почве в целом

8.2. Общая статистика валового химического состава

Показатель	Ил/ Почва	X		S		m	
		0-20см	20-30 см	0-20см	20-30 см	0-20 см	20-30 см
SiO ₂	ил	52,52	53,250	1,5692	1,0246	0,7846	0,5123
	почва	78,90	78,475	1,6391	1,4522	0,8195	0,7261
Al ₂ O ₃	ил	16,65	17,075	1,3625	0,2872	0,6812	0,1436
	почва	10,42	10,525	0,7365	0,8958	0,3682	0,4479
Fe ₂ O ₃	ил	9,950	10,100	0,5446	0,1414	0,2723	0,0707
	почва	3,450	3,500	0,5446	0,5291	0,2723	0,2645
CaO	ил	0,650	0,675	0,1914	0,1500	0,0957	0,0750
	почва	1,000	1,000	0,0816	0,0816	0,0408	0,0408
MgO	ил	2,975	2,750	0,3304	0,5916	0,1652	0,2958
	почва	0,975	0,925	0,0500	0,2986	0,0250	0,1493
P ₂ O ₅	ил	0,425	0,300	0,1258	0,0816	0,0629	0,0408
	почва	0,300	0,250	0,1154	0,1290	0,0577	0,0645
K ₂ O	ил	2,850	2,875	0,0577	0,2872	0,0288	0,1436
	почва	2,350	2,325	0,1000	0,0500	0,0500	0,0250

8.3. Проверка достоверных различий валового химического состава между почвой и илом

Параметр/ Пара	\bar{X}	S	$S\bar{X}_1 - \bar{X}_2$	t ₀₅	p
SiO ₂ ил и SiO ₂ почва	52,5 78,9	1,6 1,6	3,2	16,6	0,000475
Al ₂ O ₃ ил и Al ₂ O ₃ почва	16,6 10,4	1,4 0,7	0,9	14,2	0,000757
Fe ₂ O ₃ ил и Fe ₂ O ₃ почва	10,0 3,4	0,5 0,5	0	18,0	0,0001
CaO ил и CaO почва	0,7 1,0	0,2 0,1	0,1	5,4	0,012308
MgO ил и MgO почва	3,0 1,0	0,3 0,0	0,3	11,9	0,001282
P ₂ O ₅ ил и P ₂ O ₅ почва	0,4 0,3	0,1 0,1	0,2	1,3	0,278319
K ₂ O ил и K ₂ O почва	2,8 2,4	0,1 0,1	0,1	7,1	0,005816

9.1. Минералогический состав ила и почвы

Слой, см	Повтор- ность	Каолинит+	Гидро-	Смеша-	Каолинит+	Гидро-	Смеша-
		хлорит	слюда	нослойные образования	хлорит	слюда	нослойные образования
		% во фракции ила			% в почве в целом		
0-20	1	14,7	60,4	24,4	3,3	14,7	5,9
20-30	1	12,9	53,0	34,5	3,5	14,2	9,0
0-20	2	13,5	63,8	22,8	3,4	16,3	5,8
20-30	2	12,2	62,2	25,7	2,9	14,6	6,0
0-20	3	13,9	62,6	23,5	2,6	12,0	4,5
20-30	3	12,1	56,9	31,1	2,6	12,1	6,6

9.2. Проверка достоверных различий между почвой и илом

Параметр/ пара	\bar{X}	S	$S\bar{X}1-\bar{X}2$	t_{05}	p
0-20 см					
каолинит+хлорит ил	14,0	0,6	0,7	26,2	0,001456
каолинит+хлорит почва	3,1	0,4			
гидрослюда ил гидрослюда почва	62,3	1,7	2,5	33,5	0,000890
	14,3	2,2			
ССО ил ССО почва	23,6	0,8	3,0	30,2	0,001092
	5,4	0,8			
20-30 см					
каолинит+хлорит ил каолинит+хлорит почва	12,4	0,4	0,10000	162,8	0,000038
	3,0	0,5			
гидрослюда ил гидрослюда почва	57,4	4,6	4,5	16,8	0,003504
	13,6	1,3			
ССО ил ССО почва	30,4	4,4	3,1	13,0	0,005884
	7,2	1,6			

Примечание: ССО – смешанослойные образования

9.3. Минералогический состав по механическим фракциям

Слой, см	Повтор- ность	Кварц	Слюда	Каоли- нит	Хлориты	К-полев. шпаты	Плагиоклазы
1-5 мкм							
0-20	1	32	30	5	3	16	13
20-30		28	35	7	3	15	12
0-20	2	33	27	5	0	17	15
20-30		30	36	5	3	16	9
0-20	3	31	34	5	0	17	15
20-30		31	32	5	0	18	14
5-10 мкм							
0-20	1	44,7	16,8	2,6	4,4	17,1	14
20-30		46,4	15,7	2,1	3,6	16,9	15
0-20	2	44,4	15,5	2,5	3,3	18,8	16
20-30		36,8	17,5	2,6	6,2	18,9	18
0-20	3	40,1	15,6	4,8	3,8	16,5	18
20-30		42,7	11,1	2,6	3,0	19,3	16

9.4. Проверка достоверных различий по содержанию минералов во фракциях

Параметр	\bar{X}	$S\bar{X}1-\bar{X}2$	t_{05}	p
кварц 1-5 & кварц 5-10	32,0	1,8	10,5	0,00892
	43,1			
слюда 1-5& слюда 5-10	30,3	3,6	6,9	0,02023
	16,0			
каолинит 1-5& каолинит 5-10	5,0	1,3	2,3	0,15176
	3,3			
хлориты 1-5& хлориты 5-10	1,0	1,3	3,9	0,06058
	3,8			
калиевые шпаты 1-5&калиевые шпаты 5-10	16,7	1,2	1,2	0,36085
	17,5			
плагиоклазы 1-5& плагиоклазы 5-10	14,3	1,2	2,5	0,12961
	16,0			

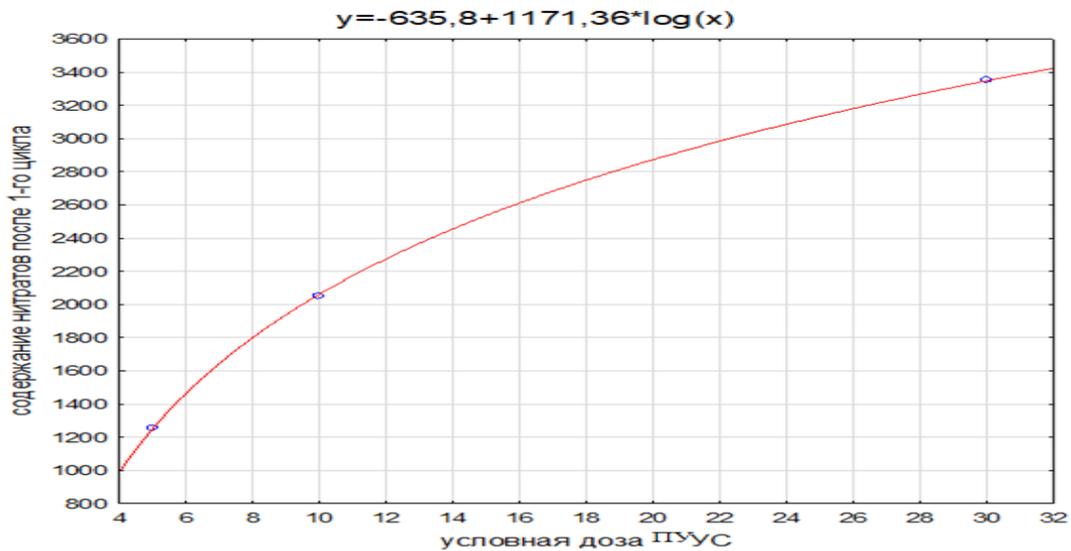
10.1. Описательная статистика гранулометрического состава покровного суглинка до хемоактивации

Фракции	\bar{X}	Доверительный интервал		S	Cv	m
		-95 %	+95 %			
Грубозернистые	0,1	-0,1	0,3	0,1	78	0,05
Крупнозернистые	0,5	-0,2	1,2	0,3	53	0,15
Среднезернистые	0,6	0,1	1,1	0,2	33	0,12
Мелкозернистые	1,0	0,5	1,5	0,2	20	0,12
Тонкозернистые	1,4	1,0	1,8	0,2	12	0,10
Пылеватые крупные	54,0	45,0	63,0	3,6	7	2,08
Пылеватые тонкие	14,7	6,7	22,7	3,2	22	1,86
Глинистые	28,0	12,5	43,5	6,2	22	3,61

10.2. Описательная статистика гранулометрического состава покровного суглинка после хемоактивации

Фракции	\bar{X}	Доверительный интервал		S	Cv	m
		-95 %	+95 %			
Грубозернистые	0,1	0,0	0,2	0,03	26,5	0,02
Крупнозернистые	0,5	0,1	0,9	0,18	36,1	0,10
Среднезернистые	0,6	-0,3	1,5	0,36	60,1	0,21
Мелкозернистые	1,0	-1,1	3,1	0,85	85,4	0,49
Тонкозернистые	1,4	0,1	2,7	0,53	37,8	0,31
Пылеватые крупные	55,0	44,2	65,8	4,36	7,9	2,52
Пылеватые тонкие	24,0	12,6	35,4	4,58	19,1	2,65
Глинистые	17,0	-4,7	38,7	8,72	51,3	5,03

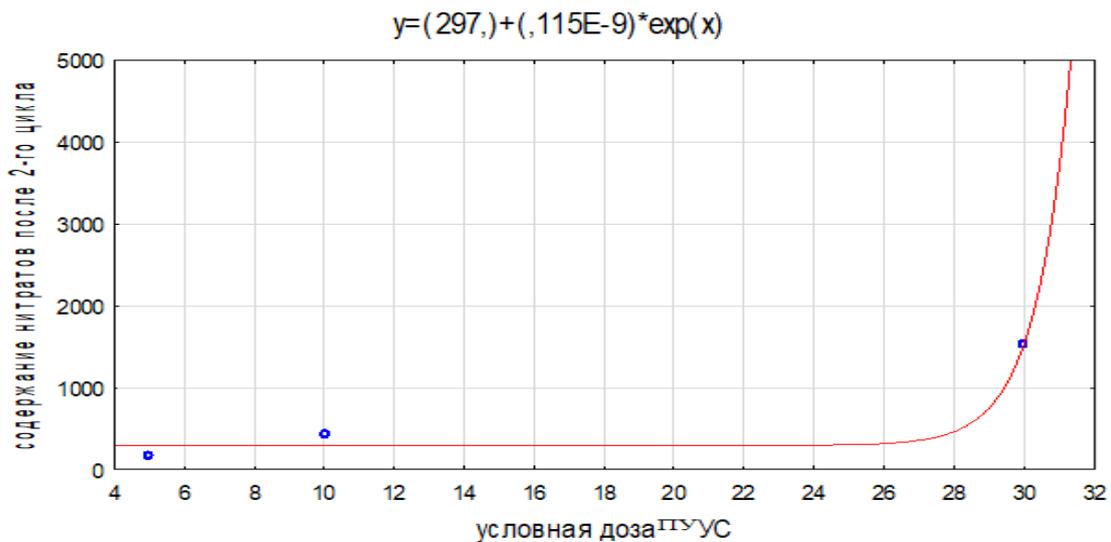
11.1. Логарифмическая зависимость содержания нитратов в почве после 1-го цикла разбавления с проверкой достоверности



Статистика регрессии

Параметр	Оценка	Se	p
Свободный член	-635,80	30,4	0,03042
Коэффициент регрессии	1171,3	11,9	0,00648

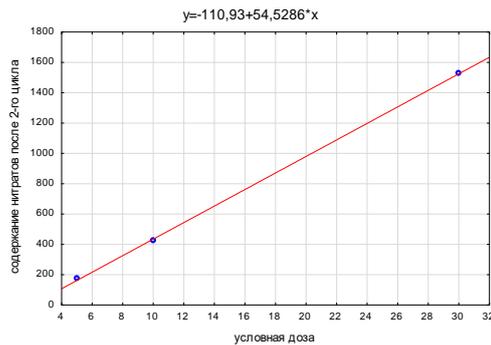
11.2. Экспоненциальная зависимость содержания нитратов в почве после 2-го цикла разбавления с проверкой достоверности



Статистика регрессии

Параметр	Оценка	Se	p
Свободный член	297,0	127,0	<0,01
Коэффициент регрессии	0,00001	0,00001	<0,01

11.3. Прямолинейная зависимость содержания нитратов в почве после 2-го цикла разбавления с проверкой достоверности



Статистика регрессии

Параметр	Оценка	Se	p
Свободный член	-110,92	13,2636	0,075760
Коэффициент регрессии	54,52	0,7175	0,00837

12.1. Описательная статистика содержания элементов
в лабораторном опыте 5

Вариант	Элемент	\bar{X}	Доверительный интервал		Cv	m
			-95 %	+95 %		
ФМ без HNO ₃ (контроль 1)	Общий азот	0,2	0,1	0,4	22	0,03
ФМ + ДМ без HNO ₃ (контроль 2)		0,3	0,1	0,4	20	0,03
ФМ + однократная обработка HNO ₃		2,4	0,8	4,0	27	0,38
ФМ + ДМ + однократная обработка HNO ₃		2,4	1,7	3,1	11	0,15
ФМ + ДМ + двукратная обработка HNO ₃		6,3	5,9	6,7	3	0,10
ФМ без HNO ₃ (контроль 1)	Усвояемые фосфаты	3,0	*	*	0,0	0,00
ФМ + ДМ без HNO ₃ (контроль 2)		3,0	*	*	0,0	0,00
ФМ + однократная обработка HNO ₃		14,7	5,9	23,4	23,9	2,03
ФМ + ДМ + однократная обработка HNO ₃		3,0	*	*	*	*
ФМ + ДМ + двукратная обработка HNO ₃		5,0	-2,5	12,5	60,0	1,73
ФМ без HNO ₃ (контроль 1)	Водорастворимые фосфаты	3,0	*	*	*	*
ФМ + ДМ без HNO ₃ (контроль 2)		3,0	*	*	*	*
ФМ + однократная обработка HNO ₃		3,5	1,6	5,4	22,3	0,45
ФМ + ДМ + однократная обработка HNO ₃		3,0	*	*	*	*
ФМ + ДМ + двукратная обработка HNO ₃		3,0	0,5	5,5	33,3	0,58
ФМ без HNO ₃ (контроль 1)	Подвижный фосфор	10960	10434	11486	1,9	122
ФМ + ДМ без HNO ₃ (контроль 2)		8530	7745	9315	3,7	182
ФМ + однократная обработка HNO ₃		9880	8197	11563	6,9	391
ФМ + ДМ + однократная обработка HNO ₃		8560	7292	9828	6,0	295
ФМ + ДМ + двукратная обработка HNO ₃		8240	7972	8508	1,3	62

Примечание: * статистика описание, так как содержание меньше минимального уровня регистрации прибором

13.1. Краткая описательная статистика показателей через месяц после посева

Параметр	Нитратный азот, мг/кг			Калий, мг/кг			Фосфор			рН		
	\bar{X}	S	m	\bar{X}	S	m	\bar{X}	S	m	\bar{X}	S	m
Через месяц после внесения												
1. Без ПУУС (контроль)	27	3	2	149	6	3	205	4	3	5,40	0,20	0,12
2. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (фон)	29	4	3	153	7	4	217	4	3	5,40	0,10	0,06
3. Стандарт 1 (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	30	4	2	153	7	4	218	8	5	5,50	0,17	0,10
4. Стандарт 2 (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	35	5	3	167	2	1	220	7	4	5,50	0,20	0,12
5. ПУУС 800 кг/га (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	40	4	2	154	6	3	221	6	3	5,60	0,20	0,12
6. ПУУС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	54	5	3	156	5	3	224	5	3	5,60	0,26	0,15
7. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 800 кг/га (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	44	2	1	160	4	3	240	6	4	5,67	0,06	0,03
8. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	59	7	4	163	9	5	243	6	4	5,70	0,17	0,10
Перед уборкой												
1. Без ПУУС (контроль)	18	3	2	121	7	4	181	4	3	5,4	0,1	0,058
2. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (фон)	22	4	2	143	6	3	230	8	5	5,4	0,2	0,115
3. Стандарт 1 (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	27	8	4	147	6	4	233	6	4	5,5	0,1	0,058
4. Стандарт 2 (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	33	3	2	154	5	3	238	4	3	5,4	0,2	0,100
5. ПУУС 800 кг/га (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	39	5	3	150	6	3	227	3	2	5,7	0,1	0,058
6. ПУУС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	41	7	4	156	9	5	232	4	2	5,7	0,1	0,058
7. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 800 кг/га (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	44	4	3	147	5	3	240	4	3	5,6	0,1	0,058
8. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	50	4	3	148	5	3	243	6	4	5,7	0,1	0,058

13.2. Проверка на достоверность различий между вариантами для обменного калия через месяц после посева

Пара	р	Разница, кг/га	Доверительный интервал разницы		Пара	р	Разница, кг/га	Доверительный интервал разницы	
			-95%	95%				-95%	95%
1 vs. 2	0,466	-4	-18	10	1 vs. 2	0,858	-1	-16	14
1 vs. 3	0,489	-4	-19	11	1 vs. 3	0,590	-3	-17	11
1 vs. 4	0,006	-18	-27	-9	1 vs. 4	0,224	-7	-21	7
1 vs. 5	0,333	-5	-18	8	1 vs. 5	0,208	-10	-28	8
1 vs. 6	0,187	-7	-19	5	1 vs. 6	0,019	13	4	22
1 vs. 7	0,054	-11	-22	0	1 vs. 7	0,027	11	2	20
1 vs. 8	0,084	-14	-31	3	1 vs. 8	0,065	7	-1	15
2 vs. 3	1,000	0	-16	16	2 vs. 3	0,494	4	-11	19
2 vs. 4	0,024	-14	-25	-3	2 vs. 4	0,673	-2	-14	10
2 vs. 5	0,850	-1	-15	13	2 vs. 5	0,216	-6	-17	5
2 vs. 6	0,568	-3	-16	10	2 vs. 6	0,215	-9	-26	8
2 vs. 7	0,198	-7	-20	6	2 vs. 7	0,365	-4	-15	7
2 vs. 8	0,195	-10	-28	8	2 vs. 8	0,308	-7	-24	10
3 vs. 4	0,032	-14	-26	-2	3 vs. 4	0,631	-3	-19	13

Примечание: пара вариантов соответствует нумерации приложения 13.1

13.3. Проверка на достоверность различий между вариантами для подвижного фосфора через месяц после посева

Пара	р	Разница, кг/га	Доверительный интервал разницы		Пара	р	Разница, кг/га	Доверительный интервал разницы	
			-95 %	95 %				-95 %	95 %
1 vs. 2	0,028	-12	-22	-2	1 vs. 2	0,620	-3	-19	13
1 vs. 3	0,068	-13	-28	2	1 vs. 3	0,320	-6	-21	9
1 vs. 4	0,034	-15	-28	-2	1 vs. 4	0,020	-22	-38	-6
1 vs. 5	0,017	-16	-27	-5	1 vs. 5	0,013	-25	-41	-9
1 vs. 6	0,007	-19	-29	-9	1 vs. 6	0,856	-1	-15	13
1 vs. 7	0,001	-35	-47	-23	1 vs. 7	0,454	-4	-17	9
1 vs. 8	0,001	-38	-50	-26	1 vs. 8	0,021	-20	-35	-5
2 vs. 3	0,858	-1	-16	14	2 vs. 3	0,013	-23	-38	-8
2 vs. 4	0,563	-3	-16	10	2 vs. 4	0,511	-3	-15	9
2 vs. 5	0,383	-4	-15	7	2 vs. 5	0,017	-19	-32	-6
2 vs. 6	0,128	-7	-17	3	2 vs. 6	0,010	-22	-35	-9
2 vs. 7	0,006	-23	-35	-11	2 vs. 7	0,023	-16	-28	-4
2 vs. 8	0,004	-26	-38	-14	2 vs. 8	0,013	-19	-31	-7
3 vs. 4	0,760	-2	-19	15	3 vs. 4	0,588	-3	-17	11

Примечание: пара вариантов соответствует нумерации приложения 13.1

13.4. Проверка на достоверность различий между вариантами для обменной кислотности через месяц после посева

Пара	р	Разница, кг/га	Доверительный интервал разницы		Пара	р	Разница, кг/га	Доверительный интервал разницы	
			-95 %	95 %				-95 %	95 %
1 vs. 2	1,000	0,00	-0,23	0,23	1 vs. 2	0,548	-0,10	-0,52	0,32
1 vs. 3	0,435	-0,10	-0,42	0,22	1 vs. 3	0,613	-0,10	-0,61	0,41
1 vs. 4	0,482	-0,10	-0,46	0,26	1 vs. 4	0,189	-0,17	-0,46	0,13
1 vs. 5	0,196	-0,20	-0,56	0,16	1 vs. 5	0,230	-0,20	-0,59	0,19
1 vs. 6	0,288	-0,20	-0,65	0,25	1 vs. 6	0,573	-0,10	-0,55	0,35
1 vs. 7	0,016	-0,27	-0,45	-0,08	1 vs. 7	0,629	-0,10	-0,63	0,43
1 vs. 8	0,050	-0,30	-0,62	0,02	1 vs. 8	0,238	-0,17	-0,50	0,17
2 vs. 3	0,435	-0,10	-0,42	0,22	2 vs. 3	0,261	-0,20	-0,62	0,22
2 vs. 4	0,482	-0,10	-0,46	0,26	2 vs. 4	1,000	0,00	-0,53	0,53
2 vs. 5	0,196	-0,20	-0,56	0,16	2 vs. 5	0,609	-0,07	-0,40	0,27
2 vs. 6	0,288	-0,20	-0,65	0,25	2 vs. 6	0,548	-0,10	-0,52	0,32
2 vs. 7	0,016	-0,27	-0,45	-0,08	2 vs. 7	0,692	-0,07	-0,50	0,37
2 vs. 8	0,050	-0,30	-0,62	0,02	2 vs. 8	0,613	-0,10	-0,61	0,41
3 vs. 4	1,000	0,00	-0,42	0,42	3 vs. 4	0,768	-0,03	-0,33	0,26

Примечание: пара вариантов соответствует нумерации приложения 13.1

13.5. Проверка на достоверность различий между вариантами для обменного калия (перед уборкой)

Пара	р	Разница, кг/га	Доверительный интервал разницы		Пара	р	Разница, кг/га	Доверительный интервал разницы	
			-95 %	95 %				-95 %	95 %
1 vs. 2	0,011	-22	-36	-8	1 vs. 2	0,563	-3	-16	10
1 vs. 3	0,007	-26	-40	-12	1 vs. 3	0,221	-9	-26	8
1 vs. 4	0,002	-33	-46	-20	1 vs. 4	1,000	0	-12	12
1 vs. 5	0,004	-29	-43	-15	1 vs. 5	1,000	-1	-14	12
1 vs. 6	0,005	-35	-53	-17	1 vs. 6	0,391	4	-8	16
1 vs. 7	0,005	-26	-39	-13	1 vs. 7	0,746	-2	-18	14
1 vs. 8	0,005	-27	-40	-14	1 vs. 8	0,135	7	-3	17
2 vs. 3	0,448	-4	-17	9	2 vs. 3	0,208	6	-5	17
2 vs. 4	0,057	-11	-23	1	2 vs. 4	0,378	-6	-23	11
2 vs. 5	0,198	-7	-20	6	2 vs. 5	0,511	3	-9	15
2 vs. 6	0,098	-13	-30	4	2 vs. 6	0,673	2	-10	14
2 vs. 7	0,391	-4	-16	8	2 vs. 7	0,194	9	-7	25
2 vs. 8	0,319	-5	-17	7	2 vs. 8	0,250	8	-9	25
3 vs. 4	0,187	-7	-19	5	3 vs. 4	0,815	-1	-12	10

Примечание: пара вариантов соответствует нумерации приложения 13.1

13.6. Проверка на достоверность различий между вариантами для подвижного фосфора (перед уборкой)

Пара	р	Разница, кг/га	Доверительный интервал разницы		Пара	р	Разница, кг/га	Доверительный интервал разницы	
			-95 %	95 %				-95 %	95 %
1 vs. 2	0,001	-49	-64	-34	1 vs. 2	0,200	6	-5	17
1 vs. 3	0,000	-52	-64	-40	1 vs. 3	0,827	1	-11	13
1 vs. 4	0,000	-62	-70	-54	1 vs. 4	0,187	-7	-19	5
1 vs. 5	0,000	-46	-54	-38	1 vs. 5	0,118	-10	-24	4
1 vs. 6	0,000	-51	-60	-42	1 vs. 6	0,002	16	10	22
1 vs. 7	0,000	-59	-69	-49	1 vs. 7	0,019	11	3	19
1 vs. 8	0,000	-62	-74	-50	1 vs. 8	0,382	3	-5	11
2 vs. 3	0,640	-3	-20	14	2 vs. 3	1,000	0	-11	11
2 vs. 4	0,061	-13	-27	1	2 vs. 4	0,145	-5	-13	3
2 vs. 5	0,578	3	-11	17	2 vs. 5	0,012	-13	-21	-5
2 vs. 6	0,723	-2	-17	13	2 vs. 6	0,014	-16	-27	-5
2 vs. 7	0,135	-10	-25	5	2 vs. 7	0,079	-8	-17	1
2 vs. 8	0,092	-13	-29	3	2 vs. 8	0,059	-11	-23	1
3 vs. 4	0,067	-10	-21	1	3 vs. 4	0,526	-3	-15	9

Примечание: пара вариантов соответствует нумерации приложения 13.1

13.7. Проверка на достоверность различий между вариантами для обменной кислотности (перед уборкой)

Пара	р	Разница, кг/га	Доверительный интервал разницы		Пара	р	Разница, кг/га	Доверительный интервал разницы	
			-95 %	95 %				-95 %	95 %
1 vs. 2	1,000	0,000	-0,36	0,36	1 vs. 2	0,070	-0,200	-0,43	0,03
1 vs. 3	0,288	-0,100	-0,33	0,13	1 vs. 3	0,070	-0,200	-0,43	0,03
1 vs. 4	1,000	0,000	-0,32	0,32	1 vs. 4	0,288	-0,100	-0,33	0,13
1 vs. 5	0,021	-0,300	-0,53	-0,07	1 vs. 5	0,070	-0,200	-0,43	0,03
1 vs. 6	0,021	-0,300	-0,53	-0,07	1 vs. 6	0,060	-0,300	-0,62	0,02
1 vs. 7	0,070	-0,200	-0,43	0,03	1 vs. 7	0,060	-0,300	-0,62	0,02
1 vs. 8	0,021	-0,300	-0,53	-0,07	1 vs. 8	0,158	-0,200	-0,52	0,12
2 vs. 3	0,482	-0,100	-0,46	0,26	2 vs. 3	0,060	-0,300	-0,62	0,02
2 vs. 4	1,000	0,000	-0,42	0,42	2 vs. 4	1,000	0,000	-0,23	0,23
2 vs. 5	0,081	-0,300	-0,66	0,06	2 vs. 5	0,288	0,100	-0,13	0,33
2 vs. 6	0,081	-0,300	-0,66	0,06	2 vs. 6	1,000	0,000	-0,23	0,23
2 vs. 7	0,196	-0,200	-0,56	0,16	2 vs. 7	0,288	0,100	-0,13	0,33
2 vs. 8	0,081	-0,300	-0,66	0,06	2 vs. 8	1,000	0,000	-0,23	0,23
3 vs. 4	0,435	0,100	-0,22	0,42	3 vs. 4	0,288	-0,100	-0,33	0,13

Примечание: пара вариантов соответствует нумерации приложения 13.1

14.1. ЕКО по повторениям

Время	Повторения			
	1	2	3	4
Нуль момент	24	27	27	–
5 лет	27	25	28	28
10 лет	29	28	30	29
15 лет	32	34	30	32
20 лет	36	39	33	36

14.2. Статистическая проверка зависимости изменения ЕКО от времени

$r = 0,97$; $F(1,3) = 53,571$ $p < 0,005$; стандартная ошибка оценки 1,08

Параметр	Регрессия	Se	t_{05}	p
Пересечение	25,00	0,84	29,88	0,001
Ротация	0,50	0,07	7,32	0,01

14.3. Проверка достоверных различий ЕКО

Параметр/ вариантов пара	\bar{X}	S	$\bar{X}_1 - \bar{X}_2$	S $\bar{X}_1 - \bar{X}_2$	t_{05}	p
нуль момент	26,00	1,41	1,0000	2,16	0,93	0,423
5 лет	27,00	1,41				
нуль момент	26,00	1,41	3,0000	1,63	3,67	0,035
10 лет	29,00	0,82				
нуль момент	26,00	1,41	6,0000	2,16	5,55	0,012
15 лет	32,00	1,63				
нуль момент	26,00	1,41	10,0000	2,83	7,07	0,006
20 лет	36,00	2,45				
5 лет	27,00	1,41	2,0000	0,82	4,90	0,016
10 лет	29,00	0,82				
5 лет	27,00	1,41	5,0000	2,94	3,40	0,043
15 лет	32,00	1,63				
5 лет	27,00	1,41	9,0000	3,74	4,81	0,017
20 лет	36,00	2,45				
10 лет	29,00	0,82	3,0000	2,45	2,45	0,092
15 лет	32,00	1,63				
10 лет	29,00	0,82	7,0000	3,27	4,29	0,023
20 лет	36,00	2,45				
15 лет	32,00	1,63	4,0000	0,82	9,80	0,002
20 лет	36,00	2,45				

15.1. Значения по повторениям 2017-2019 гг.

Повторения	Варианты				
	Контроль	ПУУС 50 кг/га N	ПУУС 100 кг/га N	NH ₄ NO ₃ 50 кг/га N	NH ₄ NO ₃ 100 кг/га N
	Число растений к уборке (шт/м ²)				
1	459	455	456	476	463
2	454	463	458	463	465
3	476	453	460	465	467
m	6,7	3,1	1,1	4,0	1,2
	Высота				
1	41	48	45	75	83
2	52	51	56	73	78
3	42	75	69	83	76
m	3,5	8,5	6,9	3,1	2,1
	Длина колоса				
1	5,0	5,2	5,3	7,3	7,7
2	6,6	6,7	6,5	7,6	7,3
3	4,9	7,3	10,1	7,3	7,5
m	0,5	0,6	1,4	0,1	0,1
	Масса 1000 зерен				
1	29	35	35	42	39
2	32	31	37	35	42
3	32	36	39	40	36
m	1,0	1,5	1,1	1,0	1,7
	Урожайность				
1	2,0	2,5	3,5	2,9	3,9
2	2,2	2,5	2,9	3,5	3,4
3	1,5	2,9	3,3	3,6	4,0
4	2,3	3,1	3,1	3,6	3,9
m	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1

15.2. Описательная статистика урожайных данных в полевом опыте 1

Вариант	\bar{X}	\bar{X}_{Min}	\bar{X}_{Max}	S	Cv	m
Контроль	2,0	1,5	2,3	0,4	17,8	0,18
ПУУС 50 кг/га N	2,8	2,5	3,1	0,3	10,9	0,15
ПУУС 100 кг/га N	3,2	2,9	3,5	0,3	8,1	0,13
NH ₄ NO ₃ 50 кг/га N	3,4	2,9	3,6	0,3	9,9	0,17
NH ₄ NO ₃ 100 кг/га N	3,8	3,4	4,0	0,3	7,1	0,14

15.3. Проверка на достоверность различий

Вариант	Контроль	ПУУС 50 кг/га N	ПУУС 100 кг/га N	NH ₄ NO ₃ 50 кг/га N	NH ₄ NO ₃ 100 кг/га N
Число растений к уборке, шт./м ²					
Контроль	1,000000	0,584640	0,483373	0,609168	0,765381
ПУУС 50 кг/га N	0,584640	1,000000	0,800000	0,212274	0,147197
ПУУС 100 кг/га N	0,483373	0,800000	1,000000	0,183503	
NH ₄ NO ₃ 50 кг/га N	0,609168	0,212274	0,183503	1,000000	0,609433
NH ₄ NO ₃ 100 кг/га N	0,765381	0,147197		0,609433	1,000000
Высота растений, см					
Контроль	1,000000	0,332821	0,267487	0,031931	0,017959
ПУУС 50 кг/га N	0,332821	1,000000	0,723974	0,079087	0,177366
ПУУС 100 кг/га N	0,267487	0,723974	1,000000	0,053666	0,130017
NH ₄ NO ₃ 50 кг/га N	0,031931	0,079087	0,053666	1,000000	0,705116
NH ₄ NO ₃ 100 кг/га N	0,017959	0,177366	0,130017	0,705116	1,000000
Масса 1000 семян, г					
Контроль	1,000000	0,286254	0,009133	0,043817	0,050191
ПУУС 50 кг/га N	0,286254	1,000000	0,225403	0,013072	0,260105

16.1. Урожайность зерна ячменя, т/га (2020-2022 гг.)

Вариант	Годы			\bar{X}
	2020 г	2021 г	2022 г	
1. Без ПУУС (контроль)	2,6	2,4	2,4	2,5
2. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (фон)	3,3	2,9	2,9	3,0
3. Стандарт 1 (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	3,5	3,1	3,1	3,2
4. Стандарт 2 (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	4,0	3,7	3,5	3,7
5. ПУУС 800 кг/га (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	3,6	3,0	3,3	3,3
6. ПУУС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	3,5	3,3	3,1	3,3
7. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 800 кг/га (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	4,4	4,0	4,0	4,1
8. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	4,7	4,4	4,4	4,5

16.2. Общая описательная статистика урожайных данных ячменя

Вариант	2020 г.			2021 г.			2022 г.		
	\bar{X}	S	m	\bar{X}	S	m	\bar{X}	S	m
1	2,60	0,216	0,108	2,4	0,26	0,13	2,4	0,183	0,091
2	3,30	0,216	0,108	2,9	0,32	0,16	2,9	0,183	0,091
3	3,50	0,424	0,212	3,1	0,14	0,07	3,1	0,294	0,147
4	4,00	0,258	0,129	3,7	0,29	0,15	3,5	0,231	0,115
5	3,60	0,337	0,168	3,0	0,26	0,13	3,3	0,356	0,178
6	3,5	0,23	0,12	3,30	0,18	0,09	3,1	0,18	0,09
7	4,40	0,535	0,268	4,0	0,27	0,14	4,0	0,294	0,147
8	4,70	0,408	0,204	4,4	0,37	0,19	4,4	0,356	0,178

Примечание: пара вариантов соответствует нумерации приложения 16.1

16.3. Урожайность ячменя по повторениям, т/га в 2020 г.

Вариант	Повторение				\bar{X}
	1	2	3	4	
1. Без ПУУС (контроль)	2,3	2,7	2,6	2,8	2,6
2. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (фон)	3,5	3,4	3,0	3,3	3,3
3. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (фон)	3,8	3,9	3,3	3,0	3,5
4. Стандарт 2 (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	3,9	4,1	4,3	3,7	4,0
5. Стандарт 1 (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	3,7	4,0	3,5	3,2	3,6
6. ПУУС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	3,7	3,3	3,7	3,3	3,5
7. Стандарт 2 (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	4,0	4,7	3,9	5,0	4,4
8. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	4,8	4,9	5,0	4,1	4,7

Продолжение приложения 16

16.4. Различия урожайных данных и их проверка на достоверность (2020 г.)

Пара	р	Разница, т/га	Доверительный интервал разницы		Пара	р	Разница, т/га	Доверительный интервал разницы	
			-95%	95%				-95%	+95%
1 vs. 2	0,004	-0,70	-1,07	-0,33	3 vs. 5	0,725	0,725	-0,76	0,56
1 vs. 3	0,009	-0,90	-1,48	-0,32	3 vs. 6	1,000	1,000	-0,59	0,59
1 vs. 4	0,000	-1,40	-1,81	-0,99	3 vs. 7	0,039	0,039	-1,74	-0,06
1 vs. 5	0,002	-1,00	-1,49	-0,51	3 vs. 8	0,007	0,007	-1,92	-0,48
1 vs. 6	0,001	-0,90	-1,29	-0,51	4 vs. 5	0,108	0,108	-0,12	0,92
1 vs. 7	0,001	-1,80	-2,51	-1,09	4 vs. 6	0,028	0,028	0,08	0,92
1 vs. 8	0,000	-2,10	-2,67	-1,53	4 vs. 7	0,227	0,227	-1,13	0,33
2 vs. 3	0,433	-0,20	-0,78	0,38	4 vs. 8	0,027	0,027	-1,29	-0,11
2 vs. 4	0,006	-0,70	-1,11	-0,29	5 vs. 6	0,642	0,642	-0,40	0,60
2 vs. 5	0,184	-0,30	-0,79	0,19	5 vs. 7	0,045	0,045	-1,57	-0,03
2 vs. 6	0,253	-0,20	-0,59	0,19	5 vs. 8	0,006	0,006	-1,75	-0,45
2 vs. 7	0,009	-1,10	-1,81	-0,39	6 vs. 7	0,021	0,021	-1,61	-0,19
2 vs. 8	0,001	-1,40	-1,97	-0,83	6 vs. 8	0,002	0,002	-1,77	-0,63
3 vs. 4	0,091	-0,50	-1,11	0,11	7 vs. 8	0,407	0,407	-1,12	0,52

Примечание: пара вариантов соответствует нумерации приложения 16.1

16.5. Урожайность ячменя, т/га в 2021 г

Вариант	Повторение				\bar{X}
	1	2	3	4	
1. Без ПУУС (контроль)	2,1	2,5	2,3	2,7	2,4
2. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (фон)	3,3	3,0	2,7	2,6	2,9
3. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (фон)	3,0	3,1	3,3	3,0	3,1
4. Стандарт 2 (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	3,9	4,0	3,5	3,4	3,7
5. Стандарт 1 (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	3,3	3,1	2,7	2,9	3,0
6. ПУУС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	3,1	3,4	3,5	3,2	3,3
7. Стандарт 2 (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	3,8	4,4	3,9	3,9	4,0
8. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	4,5	4,8	3,9	4,4	4,4

Продолжение приложения 16

16.6. Различия урожайных данных и их проверка на достоверность (2021 г.)

Пара	р	Разница, т/га	Доверительный интервал разницы		Пара	р	Разница, т/га	Доверительный интервал разницы	
			-95 %	95 %				-95 %	+95 %
1 vs. 2	0,049825	-0,500	-1,00	-0,00	3 vs. 5	0,522236	0,100	-0,26	0,46
1 vs. 3	0,003141	-0,700	-1,06	-0,34	3 vs. 6	0,133975	-0,200	-0,48	0,08
1 vs. 4	0,000563	-1,300	-1,78	-0,82	3 vs. 7	0,001061	-0,900	-1,27	-0,53
1 vs. 5	0,016690	-0,600	-1,05	-0,15	3 vs. 8	0,000631	-1,300	-1,79	-0,81
1 vs. 6	0,001269	-0,900	-1,29	-0,51	4 vs. 5	0,011709	0,700	0,22	1,18
1 vs. 7	0,000140	-1,600	-2,06	-1,14	4 vs. 6	0,060318	0,400	-0,02	0,82
1 vs. 8	0,000120	-2,000	-2,56	-1,44	4 vs. 7	0,184281	-0,300	-0,79	0,19
2 vs. 3	0,292121	-0,200	-0,62	0,22	4 vs. 8	0,025928	-0,700	-1,28	-0,12
2 vs. 4	0,010049	-0,800	-1,33	-0,27	5 vs. 6	0,106558	-0,300	-0,69	0,09
2 vs. 5	0,641602	-0,100	-0,60	0,40	5 vs. 7	0,001753	-1,000	-1,46	-0,54
2 vs. 6	0,070988	-0,400	-0,85	0,05	5 vs. 8	0,000840	-1,400	-1,96	-0,84
2 vs. 7	0,001858	-1,100	-1,61	-0,59	6 vs. 7	0,005168	-0,700	-1,10	-0,30
2 vs. 8	0,000866	-1,500	-2,10	-0,90	6 vs. 8	0,001858	-1,100	-1,61	-0,59
3 vs. 4	0,010402	-0,600	-1,00	-0,20	7 vs. 8	0,133975	-0,400	-0,97	0,17

Примечание: пара вариантов соответствует нумерации приложения 16.1

16.7. Урожайность ячменя, т/га в 2022 г

Вариант	Повторение				\bar{X}
	1	2	3	4	
1. Без ПУУС (контроль)	2,2	2,3	2,5	2,6	2,4
2. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (фон)	2,7	3,0	3,1	2,8	2,9
3. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ (фон)	3,3	2,9	3,4	2,8	3,1
4. Стандарт 2 (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	3,3	3,3	3,7	3,7	3,5
5. Стандарт 1 (K ₃₀ +N ₅₅ P ₃₀)	3,5	3,7	3,0	3,0	3,3
6. ПУУС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	3,0	2,9	3,3	3,2	3,1
7. Стандарт 2 (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	4,3	3,7	3,8	4,2	4,0
8. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + ПУСС 1600 кг/га (K ₃₀ +N ₁₁₀ P ₆₀)	4,7	4,4	3,9	4,6	4,4

16.8. Различия урожайных данных и их проверка на достоверность (2022 г.)

Пара	р	Разница, т/га	Доверительный интервал разницы		Пара	р	Разница, т/га	Доверительный интервал разницы	
			-95 %	95 %				-95 %	+95 %
1 vs. 2	0,007	-0,50	-0,816	-0,184	3 vs. 5	0,420	-0,20	-0,765	0,365
1 vs. 3	0,000	-0,70	-1,124	-0,276	3 vs. 6	1,000	-0,00	-0,424	0,424
1 vs. 4	0,004	-1,10	-1,460	-0,740	3 vs. 7	0,005	-0,90	-1,409	-0,391
1 vs. 5	0,002	-0,90	-1,389	-0,411	3 vs. 8	0,001	-1,30	-1,865	-0,735
1 vs. 6	0,000	-0,70	-1,016	-0,384	4 vs. 5	0,382	0,20	-0,319	0,719
1 vs. 7	0,000	-1,60	-2,024	-1,176	4 vs. 6	0,035	0,40	0,040	0,760
1 vs. 8	0,292	-2,00	-2,489	-1,511	4 vs. 7	0,037	-0,50	-0,958	-0,042
2 vs. 3	0,007	-0,20	-0,624	0,224	4 vs. 8	0,005	-0,90	-1,419	-0,381
2 vs. 4	0,092	-0,60	-0,960	-0,240	5 vs. 6	0,356	0,20	-0,289	0,689
2 vs. 5	0,172	-0,40	-0,889	0,089	5 vs. 7	0,023	-0,70	-1,265	-0,135
2 vs. 6	0,001	-0,20	-0,516	0,116	5 vs. 8	0,005	-1,10	-1,716	-0,484
2 vs. 7	0,000	-1,10	-1,524	-0,676	6 vs. 7	0,002	-0,90	-1,324	-0,476
2 vs. 8	0,076	-1,50	-1,989	-1,011	6 vs. 8	0,001	-1,30	-1,789	-0,811
3 vs. 4	0,007	-0,40	-0,858	0,058	7 vs. 8	0,134	-0,40	-0,965	0,165

Примечание: пара вариантов соответствует нумерации приложения 16.1.

АО «Павловское»
390518, Рязанская область,
Рязанский район, с. Вышетравино

АКТ

внедрения в производство материалов научно-исследовательской работы
соискателем Ручкиной Анастасии Владимировны

Подтверждаем, что в период 2017-2019 гг. в условиях предприятия АО «Павловское» Рязанского района Рязанской области были использованы и внедрены результаты влияния экспериментальной почвоулучшающей удобрительной смеси (ПУУС), состоящей из суглинка, фосфоритной и доломитовой муки, азотной кислоты (хемоактиватор) в дозе внесения 100 кг/га N и эквивалентной дозы аммиачной селитры 100 кг/га на показатели качества зерна ячменя на общей площади в 5 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.

Производственные испытания позволяют констатировать высокую агрономическую эффективность предложенных элементов технологии.

Главный агроном
АО «Павловское»



Чистяков Иван Александрович

ООО «Авангард»
390535, Рязанская область,
Рязанский район, д. Хирино

АКТ

внедрения в производство материалов научно-исследовательской работы
соискателем Ручкиной Анастасии Владимировны

Подтверждаем, что в период 2022-2023 гг. в условиях предприятия ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области были использованы и внедрены результаты влияния экспериментальной почвоулучшающей удобрительной смеси (ПУУС), состоящей из суглинка, фосфоритной и доломитовой муки, азотной кислоты (хемоактиватор) в соотношении 1 : 0,6 : 1 : 0,8 при применении в качестве удобрения ячменя на общей площади 4 га.

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). Внесение экспериментальной смеси 800 кг/га способствует увеличению урожайности ячменя на 0,8 т/га, 1600 кг/га – 1,3 т/га; при внесении ее на фоне N₄₀P₄₀K₄₀ урожайность повышается на 1,6 т/га и 2,5 т/га соответственно норме внесения.

Производственные испытания доказывают высокую агрономическую и экономическую эффективность предложенных элементов технологии.

Главный агроном
ООО «Авангард»



Овсянников Виктор Николаевич