

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Матюгин Владислав Александрович

ВЛИЯНИЕ ГУМИНОВОГО ПРЕПАРАТА ЭКОСС
НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ И РЕЖИМ ЭЛЕМЕНТОВ
ПИТАНИЯ В ЧЕРНОЗЕМЕ ОБЫКНОВЕННОМ КАРБОНАТНОМ
ПОД ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЕЙ

1.5.19. Почвоведение (биологические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук, профессор Безуглова Ольга Степановна

Ростов-на-Дону – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	13
1.1 Органическое вещество почвы. Система «почва-растение».....	13
1.2 Органическое вещество в черноземах.....	15
1.3 Проблема деградации показателей почвенного плодородия в сельском хозяйстве и пути ее решения	16
1.4 Ферментативная активность как показатель биологического потенциала почв	19
1.5 Гуминовые препараты. Классификация, происхождение, проблема сертификации и оценки качества	24
1.6 Адаптогенное и стресс-протекторное действие гуминовых препаратов	30
1.7 Биологическое действие гуминовых препаратов	33
1.8 Состояние почвы в динамике	37
1.8.1 Влияние применения гуминовых препаратов на состояние почвы после уборки.....	37
1.8.2 Структурное состояние почвы после применения гуминовых препаратов	38
1.9 Связь качества и количества в системе	40
почва-растение / почва-урожай	40
1.10 Урожай как показатель эффективности применения гуминовых препаратов	43
2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	47
2.1 Схема опыта.....	47
2.2 Характеристика почв.....	49
2.3 Характеристика гуминовых препаратов	50
2.4 Характеристика сорта.....	51
2.5 Методы проведения исследований	51
3 ВЛИЯНИЕ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО И ОЗИМУЮ ПШЕНИЦУ	55

3.1	Динамика уреазной активности, подвижного азота и реакции среды	55
3.2	Динамика фосфатазной активности и подвижного фосфора	68
3.3	Динамика гумуса	76
3.4	Динамика каталазы	81
3.5	Динамика инвертазы	87
3.6	Динамика подвижного калия	94
3.7	Урожайность и качество зерна озимой пшеницы	96
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ		103
Приложение 1		126
Приложение 2		163

ВВЕДЕНИЕ

Человек на протяжении всего своего существования использует почву, причем цели, к которым он стремится, сильно дифференцируются. Необходимость изучать то, с чем происходит непосредственное соприкосновение, является естественным и логичным, так что с древнейших времен по настоящее время почве уделяется пристальное внимание. Самое главное, что она дает человечеству – это доступ к «кладовой необходимых элементов и питательных веществ» для полноценной жизни.

Плодородие почв – главный показатель не только экономической безопасности страны, но также это показатель здоровья, который проходит красной линией от почвы через растения и животных к человеку, обеспечивая его качественными продуктами питания. Так что плодородие уже не только биологический показатель, но и социальный. В связи с этим увеличивается необходимость в совершенствовании диалектического мышления по отношению к экологическим и технологическим факторам при сельскохозяйственном и социально-экономическом использовании почвы. Рациональное использование земельных ресурсов, где обязательно учитывается состояние и качество почвы, залог успеха человека не только в получении прибавки урожая, но и более глубинном понимании процессов, протекающих в определенном поле, в котором происходят трансформации как самой почвы, так и агроприемов, направленных на грамотное использование почвенного потенциала, объективизацию приемов сельского хозяйства и пополнение базы знаний. Все перечисленное должно стоять на верхушке сельскохозяйственной пирамиды потребностей. Без этого говорить о продовольственной безопасности невозможно.

В период активной интенсификации мирового земледелия игнорирование землепользователями необходимости профилактических мер для поддержания биоты стало причиной реальной деградации почв. Это вызвало необходимость поиска альтернативных систем земледелия, так появились земледелие экологическое, органическое, биологическое,

биодинамическое, органиобиологическое, природное, натуральное и т.п. В мире на законодательной основе более 40 лет развивается альтернативная система земледелия, направленная на экологизацию, биологизацию сельского хозяйства, бережное отношение к плодородию почвы, производство «функционально здоровой» продукции (Щегорец, 2019). В России в этом направлении ведется законодательная работа, принят Федеральный закон № 280-ФЗ, регламентирующий производство органической продукции и постепенный переход сельского хозяйства на новые формы производства (ФЗ № 280 от 03.08.2018), введены в обращение ГОСТы по контролю и сертификации продукции органического производства.

Актуальность темы. Для обеспечения рационализации сельскохозяйственного производства необходимо иметь научно-обоснованные данные о состоянии угодий, на которых выращиваются разнообразные культуры. При этом не стоит забывать, что существует две стороны: теоретическая и прикладная. Зачастую, прикладной стороне уделяется большее внимание. Но почва, как и живые экосистемы, имеет свойство изменяться и трансформироваться. Применение одних и тех же устоявшихся «классических» агроприемов, к которым привыкли фермеры, порой губительны для почвы, поэтому анализ ее состояния обязательное условие добросовестного и ответственного отношения землевладельца к здоровью и качеству почвы (Буланова и др., 2005).

Чтобы оценивать почвы необходимы показатели, которые дают объективную эвальвацию земельного участка. Эти задачи ставит перед собой бонитировка почв. С развитием науки и практики в сельском хозяйстве меняются приоритеты и цели, которые преследует данная область исследования. Прекрасно прослеживаются изменения в ее задачах и содержании при изменении социально-экономических условий страны.

В.В. Докучаева полагал, что качественная бонитировка почв возможна, когда за основу берутся конкретно почвы и их природные качества. Использовать бонитировку целесообразно при разработке мер по

повышению плодородия. Важная роль исследований состоит в том, чтобы грамотно поставить задачи в зависимости от целей. Ведь основные критерии и генетико-производственные показатели, которые будут служить основным принципом и главным инструментом при бонитировке почв и земельных угодий, для разработки рабочей шкалы и определения бонитета почв сообразно с местными почвенно-климатическими условиями, могут существенно изменяться (Мерзлая, Шевцова, 2006).

При оценке используются разнообразные показатели: запасы органического вещества, содержание гумуса, влагообеспеченность и прочие. Когда мы говорим о влагообеспеченности, то используем показатели годовых осадков. Количество влаги сильно варьируется в зависимости от периода года, и не всегда можно сказать, что осадки в определенный период были необходимы системе почва-растение. Во многих районах при насыщении почвы влагой в осенний период до уровня наименьшей полевой влагоемкости, мы наблюдаем весной примерно такое же ее количество. В таких условиях зимние осадки — это потеря влаги (Бондаренко, 2017).

Крайне важно оценивать биологические свойства почвы, их изменчивость, потенциал и ресурсы. Эти свойства можно определить напрямую, через изучение количества и видового состава микробиологических сообществ, и косвенно, через оценку ферментативной активности почвы и растения.

Сегодня почвенная энзимология стала отдельным направлением в изучении биологического потенциала почв. В ней поднимается широкий круг вопросов почвоведения, связанных с биокаталитической способностью почв, динамикой состояния, состава и активностью ферментов, и их влияния на систему почва-растение, плодородие (и связанных с ним вопросов и задач). Пользуясь методами почвенной энзимологии вместе с другими почвенными методами исследования, можно изучить почву на новых уровнях не только понимания, но и восприятия (Хазиев, 2005).

Потенциал почв часто оценивают только по урожайности, что очень необъективно, ведь крайне важны показатели, явно коррелирующие с урожайностью, такие как агротехника, сроки сева, качества семян. Взаимосвязи показателей с урожайностью должны быть корректно подобраны, при этом не забывая, что в сравнительной характеристике должен учитываться одинаковый уровень интенсификации (Олейников и др., 2017).

Для рационализации природо- и почвопользования важно не только получать, но и компенсировать затраченные и выбранные из среды ресурсы. В этом и состоят принципы «зеленой экономики», это и ставится в приоритет при современном грамотном хозяйствовании. К сожалению, восполнение – процесс гораздо более энергоемкий и продолжительный, человечество не обладает такими продолжительными временными запасами, чтобы снизить и повернуть вспять деградиционные процессы. Поэтому в современные сельскохозяйственные технологические приемы пытаются включать средства и препараты, максимально приближенные или содержащие естественные природные компоненты, которые, при условии правильного использования, несут минимальные экологические риски и являются безопасным, но весьма полезным инструментом регуляции агрохимических, агрофизических, биологических и иных процессов в системе «почва-растение». Применение подобных препаратов должно стать важнейшей составляющей современных адаптивных сельскохозяйственных технологий.

Использование жидких удобрительных составов обеспечивает мощный рост, обуславливающий микроклимат в посевах и устойчивость растений, скорость роста и прохождение фаз, прямое токсическое воздействие на патогены. Эффективность воздействия жидких удобрительных составов связана с их малой токсичностью, пролонгированностью действия, меньшим адсорбированием их почвой по сравнению с неорганическими солями, в результате чего они длительное время способны поглощаться растениями (Перетятко, 2014).

Группой таких средств являются гуминовые препараты на основе экстрактов из различного органосодержащего сырья, с добавлением микробных компонентов, обогащенных микроэлементами или без таковых добавок.

В данной работе рассматриваются эффекты действия двух гуминовых препаратов, различных по происхождению, способу производства и химическому составу.

Если один из них – ВЮ-Дон – уже запатентован на применение в качестве адаптогена и стресс-протектора, то другой – ЭКОСС – только выходит на рынок, имеет довольно мало примеров фактического применения. Поэтому применение этого препарата на базе полигона в реальных климатических условиях с обработкой важнейшей сельскохозяйственной культуры нашего региона – озимой пшеницы – делает исследование весьма актуальным и востребованным.

Цель и задачи. В работе рассматривается применение одно- и двукратной фолиарной обработки озимой пшеницы в пиковые для культуры фазы: фазу кущения и фазу колошения. Для лучшего понимания и достоверности исследований применяются гуминовые препараты в рекомендованных дозировках на фоне среднего уровня минерального питания с применением принятых для этой культуры в данном регионе технологий обработки почв и приемов возделывания.

Целью данного исследования является выявление зависимости динамики ферментативных и химических свойств почвы, урожайности, качества зерна озимой пшеницы от кратности внесения ГП различного состава и генезиса, выяснение эффективности их применения в рекомендованных дозировках именно в сочетании заданных условий «почва – удобрение – климат – культура».

Задачи:

- определить показатели почвенного плодородия в динамике (содержание элементов питания, гумуса) под посевами озимой пшеницы при

одно- и двукратной обработке вегетирующих растений гуминовыми препаратами ВЮ-Дон и ЭКОСС при сравнении с контрольными образцами без обработки препаратами;

- определить динамику ферментативной активности на примере каталазы, инвертазы, уреазы и фосфатазы по вариантам опыта при сравнении с контрольными образцами без обработки препаратом;

- определить влияние различных вариантов применения, а также варьирования обработок гуминовыми препаратами ВЮ-Дон и ЭКОСС на урожайность, структуру урожая озимой пшеницы;

- провести статистическую обработку полученных данных и выявить максимально эффективное сочетание препарата и кратности внесения.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Обработка посевов озимой пшеницы гуминовыми препаратами в составе баковой смеси со средствами химической защиты корректирует негативные тенденции в динамике ферментативной активности и доступных форм элементов питания в черноземе обыкновенном карбонатном, обусловленные погодными условиями года.

2. Однократное применение разных гуминовых препаратов на посевах озимой пшеницы оказывает примерно одинаковое влияние на динамику изучаемых характеристик. Двукратная фолиарная обработка дает возможность оценить эффективность каждого препарата, при этом биогумат ЭКОСС оказывает более выраженное воздействие на активность фосфатазы и динамику подвижных фосфатов, активность уреазы и динамику доступных форм азота, что в итоге выражается в существенном росте урожайности. Это позволяет рекомендовать двукратную обработку посевов озимой пшеницы гуминовым препаратом ЭКОСС.

Соответствие паспорту специальности. Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 1.5.19. Почвоведение (биологические науки), так как изучение влияния гуминовых препаратов на

биологическую активность чернозема обыкновенного отвечает пп. 8 и 9 паспорта, в которых перечислены такие разделы науки как биология и биохимия почв, а также «оценка плодородия почв и мониторинг его состояния; агрохимические и экологические основы управления почвенным плодородием и оптимизация его параметров».

Научная новизна. В работе впервые дана оценка влияния на посевы озимой пшеницы кратностей обработок нового ГП ЭКОСС в сравнении с уже запатентованным препаратом. Критериями оценки служат изменения в показателях почвенного плодородия и ферментативной активности в течение вегетационного периода, их динамический профиль. Впервые показано, что биогумат ЭКОСС в стрессовой ситуации, обусловленной погодными условиями (засуха), при двукратной обработке посевов озимой пшеницы в составе баковой смеси с пестицидами оказывает протекторное влияние на активность фосфатазы и динамику подвижных фосфатов, активность уреазы и динамику доступных форм азота, что в итоге выражается в существенном росте урожайности.

Теоретическая и практическая значимость. Исследования позволяют дать теоретическое обоснование действия гуминовых препаратов на плодородие почв и продуктивность сельскохозяйственных культур (на примере озимой пшеницы). Подтвержден и уточнен механизм влияния ГП на почвенное плодородие путем оптимизации фосфорного и азотного питания растений, что установлено сопряженным анализом динамики элементов питания, активности ферментов и урожайности культуры. Полученные данные могут быть применены в реальных производственных условиях и включены в технологическую схему возделывания сельхозкультур как экономически привлекательные ввиду того, что внесение гуминовых препаратов в баковой смеси с пестицидами при фоллиарных обработках растений не несет существенных материальных и технологических затрат.

Личный вклад автора. Диссертационная работа основана на материале, полученном лично автором на всех этапах работы в период с 2020

по 2022 гг. Разработка программы исследования, формулирование целей и задач, подбор методов и объектов проведены автором лично, при согласовании с научным руководителем. Заложение опыта, обработка растений ГП, отбор проб, лабораторные анализы, сбор аналитического материала, анализ и обобщение полученных данных выполнены автором.

Степень достоверности и апробация результатов. Диссертационная работа основана на материале, полученном лично автором на всех этапах работы в период с 2020 по 2022 гг. Разработка программы исследования, формулирование целей и задач, подбор методов и объектов проведены автором лично, при согласовании с научным руководителем. Заложение опыта, обработка растений гуминовыми препаратами, отбор проб, лабораторные анализы, сбор аналитического материала, анализ и обобщение полученных данных выполнены автором.

Достоверность полученных результатов обусловлена соблюдением методологии закладки полевых экспериментов (рандомизированность, количество полевых и лабораторных повторностей), а также повторением исследований в течение нескольких лет в разных погодных условиях, использованием принятых в почвоведении, агрохимии и земледелии методов почвенных и растительных анализов, применением методов статистической обработки полученных экспериментальных данных.

Работа является результатом 2-летних исследований. Основные положения были представлены на Международной молодежной научной конференции V Вильямсовские чтения (Москва, 2020), Международном молодежном научном форуме «ЛОМОНОСОВ-2021» (Москва, 2021), IV и V Всероссийской конференции молодых ученых АПК (пос. Рассвет, 2022 и 2023). По теме диссертации опубликовано 10 научных статей, 5 из них в журналах из списка ВАК.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных статей, 5 из них – в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ЮФУ и ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, выводов, списка литературы и двух приложений, включающих 37 таблиц. Работа изложена на 168 страницах, содержит 9 таблиц, 32 рисунка. Список литературы включает 173 источника, из них 7 на иностранных языках.

Финансовая поддержка работы. Исследования проводились при финансовой поддержке ФБГНУ ФРАНЦ.

Благодарности. Соискатель выражает глубокую благодарность своему научному руководителю доктору биологических наук профессору О.С. Безугловой, преподавателям и сотрудникам кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Южного федерального университета. Отдельная благодарность за помощь и советы старшему научному сотруднику М.Н. Дубининой, ведущему научному сотруднику, заведующему Лабораторией биологического земледелия В.А. Лыхману и всем сотрудникам лабораторий агрохимических исследований и биологического земледелия ФБГНУ ФРАНЦ.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Органическое вещество почвы. Система «почва-растение»

Органическое вещество почв — это многокомпонентный гетерогенный и полифункциональный континуум отдельных частиц и ансамблей биомолекул частично или полностью трансформированных остатков биоты. По времени оборачиваемости углерода в органическом веществе почв выделяются активный (лабильный) пул (со временем оборачиваемости в почве до 10 лет), медленный (промежуточный) пул (10–100 лет) и пассивный (стабильный) пул (более 100 лет) (Бардашов и др., 2021; Кудеяров и др., 2007; Семенов и др., 2009).

Органический мир тесно связан с почвообразовательными процессами. Его влияние на верхний слой земной коры проявляется в виде образования почвы, и на этом дело не останавливается. Уже в самой почве органическое вещество проявляет себя как главенствующий, ведущий и направляющий фактор эволюции почвы (Муравин, 2003).

Поступающие в почву органические вещества имеют разное происхождение. Потенциально это все компоненты системы почва-растение: растения и их остатки, ризосферные выделения, а также животные, почвенные микроорганизмы и продукты метаболизма. Органическое вещество трансформируется, подвергается процессам минерализации, суть его движения в почвенном биоценозе всегда направлена на преобразование, чтобы стать частью системы другого уровня — термодинамически более устойчивого (Драгунов, 1962). Это движение играет роль не только в формировании почвенного покрова, но и в воздействии на биосферу и ноосферу. Как писал В. И. Вернадский: «Живые организмы являются функцией биосферы и теснейшим образом материально и энергетически связаны с ней, являются огромной геологической силой, ее определяющей» (Вернадский, 1926).

Изучение органического вещества продолжается, но имеет сегодня более прикладное значение, и полученные знания используются в почвоведении и сельском хозяйстве.

Основным источником органического вещества в пахотных почвах являются пожнивные остатки сельскохозяйственных культур. Их поступление в таких почвах зависит от деятельности человека вследствие применения агротехнических приемов. Если полевая деятельность оптимизирована должным образом, то наблюдается увеличение послеуборочных остатков. Не стоит забывать и об органических удобрениях, внесение которых восполняет органическое вещество в почве напрямую (Александрова, 1980).

Поступление в почву органического вещества может быть как естественным, то есть замкнутым, как в целинных землях, где происходит свойственный им замкнутый круговорот элементов, так и антропогенным, где уже человек регулирует поступление органического вещества. Его содержание в почве всегда неоднородно, и чем больше человек воздействует на почву, тем гетерогеннее она становится.

В составе органического вещества выделяют три группы: свежее органическое вещество, продукты разложения и гумусовые вещества. Почвенные микроорганизмы запускают процессы разложения органического вещества с выделением газообразных продуктов распада, минеральных солей и кислот. Также процессу разложения подвергается и гумус, скорость его разложения, конечно, зависит от работы микроорганизмов, но по средним данным, составляет 1–2% в год. Под действием микробных ферментов и химических реакций гумусовые вещества постоянно трансформируются, что приводит к их частичной минерализации или дальнейшей полимеризации. Поскольку образование гумусовых веществ происходит в результате ферментативной активации компонентов природных полимеров и спонтанных химических реакций с участием радикалов, структура образующихся гумусовых соединений весьма непредсказуема. Даже в одной

и той же почве сложно идентифицировать одинаковые молекулы гумусовых веществ (Кидин, 2012).

1.2 Органическое вещество в черноземах

Черноземы славятся своим высоким и устойчивым плодородием, поэтому изучение органического вещества и гумусообразование в нем всегда вызывало интерес, в том числе и в черноземах Ростовской области и Предкавказья (Гаврилюк, 1953; Орлов и др., 1975; Безуглова, 1984, 2001; Новиков, 1999, 2001, 2017; Bezuglova, Yudina, 2006; Tishchenko, Bezuglova, 2012; Bezuglova, 2019; Чернова и др., 2020). Уникальность проявляется в первую очередь в составе, структуре и количестве органического вещества. В черноземе созданы особые благоприятные условия (низкое содержание аренов, насыщенность азотными соединениями и углеводами), из-за которых происходит более быстрая и глубокая трансформация растительных остатков и органическое вещество подвергается более интенсивному разложению микроорганизмами. Такая высокая биологическая активность позволяет использовать легкогидролизуемые органические компоненты не только в растительных остатках, но и в гумусовых кислотах. Напочвенные остатки растительности, которые остаются после трансформации беспозвоночными, минерализуются до конечных продуктов. При этом водорастворимые компоненты подвержены миграции по профилю почвы обычно во время дождей в осенний период или во время таяния снега (Белоусов, Белоусова, 2017).

Помимо органического вещества черноземы способны накапливать в себе макро- и микроэлементы питания, поэтому этот тип почв крайне благоприятен для возделывания различных сельхозкультур при условии компенсации необходимых доз минеральных удобрений (Безуглова, Хырхырова, 2008).

1.3 Проблема деградации показателей почвенного плодородия в сельском хозяйстве и пути ее решения

Из компонентов растительных тканей, продуктов метаболизма микроорганизмов и всего органического вещества, присутствующего в почве и на ее поверхности, формируются гуминовые кислоты. М. М. Кононова (1963) выделяет две стадии гумификации: распад органических остатков до мономеров и затем их дальнейшая конденсация и полимеризация.

Минеральная часть почвы взаимодействует с новообразовавшимися гумусовыми кислотами, создавая органоминеральные комплексы. Благодаря этому гумус приобретает стабильность, происходит накопление макро- и микроэлементов минерального питания растений и агрегатообразование. В этом процессе активно участвуют катионы аммония, щелочных и щелочноземельных металлов, глинистые минералы (Александрова, 1980).

Запасы лабильного органического вещества (ЛОВ) определяют эффективное плодородие почвы, так как обладают повышенной способностью к трансформации. Основная приходная статья в пополнении запасов ЛОВ в агроценозах – это биомасса, состоящая из наземных остатков, корней, корневых выделений культурных растений, сорной растительности и микробной биомассы (Воронкова и др., 2021).

Влияние гумуса на свойства почвы значительно. Чем его больше, тем лучше пищевой режим, повышается буферная способность почвы, улучшаются водно-воздушные свойства, производительная способность почвы возрастает. У высокогумусных почв в условиях недостатка органического вещества есть преимущество в виде запаса гумуса, влияние которого на почву проявляется особенно сильно в неблагоприятные по погодным условиям годы. Косвенное же воздействие наблюдается в улучшении условий произрастания и изменения коэффициента использования питательных веществ удобрений в большую сторону (Шевцова и др., 1987).

Изменения, происходящие в почве, имеют разные начала и причины. Это могут быть как неизбежные, так и регулируемые, и все они так или иначе имеют последствия. И как это обычно бывает в сельском хозяйстве – негативные. Борьба за количество урожая порождает интенсивное использование почвы. Уменьшается поступление биомассы, процесс минерализации настолько начинает преобладать, что потеря органического вещества неизбежна. Любая система стремится к равновесию, и система «почва-растение» не является исключением (Гречишкина, 2019).

Хозяйственная деятельность человека должна быть нацелена не только на рекордные урожаи, но и на разработку и внедрение почвоохранных приемов и агротехнических мероприятий. Ведь многие факторы, такие как эрозия, дефляция, орошение, вполне успешно регулируются человеком (Борисов, Ганжара, 2015).

Органическое вещество разнообразно по своему происхождению, оно может уже содержаться в системе почва-растение (например, заплата соломы является не только хорошим источником пополнения органического вещества, но и методом борьбы с эрозией), но и привносится извне в форме навоза. Интересно, что внесение соломы вместе с азотными удобрениями по своей эффективности приравнивается к внесению навоза. Это отличный метод, когда в регионе нет развитого животноводства. Также использование зеленого удобрения – способ, при котором растительная масса легко подвергается процессам трансформации (Московкин, Русакова, 2013; Дабахова, Пятина, 2017).

Внесение на поля органических удобрений в оптимальных дозах и в установленные агротехнические сроки показывает высокую агрономическую эффективность. Повышается не только урожайность сельскохозяйственных культур, но и улучшаются их качественные показатели (Кокунова и др., 2022).

Применительно к Ростовской области, имеющей площадь пашни более 5867 тыс. га, дозы внесения органических удобрений составили в 2014 г. 0,2–

0,4 т/га вместо требуемых 10–15 т/га. Недополучение растениеводческой отраслью требуемого количества органических удобрений является одной из важнейших причин снижения почвенного плодородия (Бондаренко, Качанова, 2016).

На этом фоне встает вопрос о возобновлении использования отходов животноводства, так как навоз и помет после обработки компостированием необходимо использовать в качестве органического удобрения. Они не только повышают содержание гумуса в почве, но и существенно улучшают ее физико-механические свойства, увеличивает запас питательных веществ, снижает кислотность, обогащают почву микрофлорой, усиливают биологическую активность, т. е. создает все предпосылки для получения высоких урожаев (Капустин, Брусенков, 2020; Трухачев и др., 2015). Однако процесс переработки требует довольно серьезных территориальных и временных затрат, в то же время постепенно набирает популярность применение гуминовых препаратов для ускорения ферментации и компостирования. Вследствие этого основными направлениями переработки органических отходов животноводства являются получение:

- удобрений для сельскохозяйственных угодий с максимальным содержанием питательных веществ (различные компосты на основе навозного навоза (помёта);
- навозных стоков для орошения сельскохозяйственных угодий на ограниченных (прифермерских) площадях или для удовлетворения технологических потребностей предприятия;
- продуктов инновационных технологий переработки навоза и помёта (органоминеральные, микробиологические удобрения, жидкофазные биологически активные средства, биогаз и других биопрепараты (Ковалев, 2013; Сидоренко, 2012).

Еще одна проблема, с которой могут столкнуться производители при выращивании сельхозкультур – дефицит минерального питания при несбалансированном и несвоевременном внесении минеральных подкормок.

При недостатке доступных форм азота, фосфора и калия наблюдается изменение физиологических процессов в организме растений, замедляется прорастание семян, укоренение саженцев, формирование вегетативной массы растения, ухудшение процессов дыхания и фотосинтеза. В итоге можно наблюдать деформацию растения, что приводит к ухудшению товарных качеств его продуктивной части, снижению урожайности и, как следствие, недополучению экономической выгоды (Рахманкулова, Усманов, 2003). Применение гуминовых препаратов позволяет переводить труднодоступные связанные в гуминовые комплексы элементы минерального питания в доступные водорастворимые формы, что дает возможность растению формироваться в относительно комфортных условиях питания (Щербаков и др., 2012; Гринько, Кулыгин, 2018; ИONOва, Смашевский, 2019; Канаш и др., 2017).

1.4 Ферментативная активность как показатель биологического потенциала почв

«Ферментами (от лат. fermentum – закваска) называют синтезируемые клеткой белки, катализирующие протекающие в ней химические реакции, обеспечивающие в совокупности обмен веществ. Регуляция обмена на уровне организма осуществляется путём регуляции скорости синтеза, концентрации и каталитической активности ферментов, выполняемой при участии генов» (Черникевич, 2008).

«Коферменты и простетические группы выполняют следующие функции:

- 1) участие в катализе,
- 2) обеспечение связи между белком фермента и реагентом,
- 3) стабилизация аминокислотной белковой части двухкомпонентного фермента (апофермента)» (Черникевич, 2008).

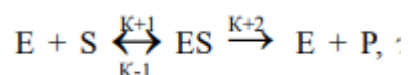
В свою очередь, апофермент, активизирует катализ небелковой части и обуславливает специфичность действия фермента. Ферменты проявляют

каталитическую активность в водных растворах в оптимальном диапазоне температуры. Превышение температуры выше оптимальной сопровождается снижением активности фермента, что обусловлено тепловой денатурацией белка, происходит это при 50–60 °С, иногда и при 40 °С (Черникевич, 2008). Причем ферменты обладают различной термостабильностью. Так, сравнительное исследование ферментативной активности почв Юга России показало более высокую термоустойчивость каталазы, по сравнению с инвертазой и дегидрогеназой (Даденко, 2004).

Влияет на активность ферментов и pH. Считается, что «понижение активности при pH, отличающихся от оптимального значения, объясняется изменением степени ионизации фермента и, как следствие, изменением характера ион-ионных и других взаимодействий, обеспечивающих стабильность его третичной структуры» (Черникевич, 2008). Оптимум pH для большинства ферментов лежит в пределах 7,3–7,4. Однако есть ферменты, для нормального функционирования которых нужна сильноокислая либо щелочная среда.

Почва является не только источником элементом питания и энергии, но и аккумулирующей материей, в которой происходят процессы трансформации органического и минерального вещества. В этих трансформациях участвует множество экзо- и эндоферментов как почвенных микроорганизмов, так растений и фауны. Ферменты в почве иммобилизируются, стабилизируются и способны сохранять свою активность на протяжении долгого периода. Они участвуют в таких важных почвенных процессах как трансформация гумуса (его синтез и распад), гидролиз органических соединений различной природы, перевод в доступное состояние элементов питания для растений, окислительно-восстановительные и многие другие процессы по отношению к основным звеньям почвообразовательного процесса.

Ферментативная каталитическая реакция по мнению Яковлева и Березина (Яковлев, 1964; Березин, 1979) протекает по примерной схеме:



- где S субстрат обратимо реагирует с ферментом E с образованием фермент-субстратного комплекса ES. Константы скорости реакции образования комплекса и обратного его распада соответственно равны K+1 и K-1.

Активность ферментов при своей устойчивости и чувствительности к различным явлениям дает представление о биологическом состоянии почв. При этом ее активность контролируется гидротермическими условиями, химическими и физико-химическими свойствами почв.

По мнению многих ученых основным источником ферментов в почве являются микроорганизмы (Маштаков и др., 1954; Киш, Балинт, 1959; Петерсон, 1961; Козлов, 1964; 1966; Козлов, Нючева, 1965; Хазиев, 1972; Берестецкий, Зубец, 1981). Но есть и другие данные. Ряд авторитетных исследователей в своих работах показали преимущество происхождения почвенной ферментативной активности корневыми системами растений (Красильников, 1952; Купревич, 1949; 1958; 1974; Купревич, Щербакова, 1966). Вероятно, в почве возможны оба пути формирования ферментативного пула.

Одним из главных процессов почвенного метаболизма являются трансформации азота и его соединений, которые подвергаются сложным биохимическим превращениям, чтобы перейти в доступные для растительного организма формы. Катализирует этот процесс уреазы. Путем гидролиза она превращает мочевины в доступные формы азота, конечными продуктами которой является аммиак (источник азотного питания растений) и углекислый газ. Также отмечается, что при высоких показателях активности уреазы использование в качестве источника азотного питания мочевины нерационально, так как высокая скорость её гидролиза уреазой приводит к аккумуляции ионов аммония и локальному повышению реакции среды до щелочных значений (Мамасалиева, 2010; Абдуллаева, 2018). В

зависимости от типа почв наблюдается разная ферментативная активность, которая определяется способностью почвенных коллоидов проявлять протекторные функции (Кацнельсон, Ершов, 1958). Так в светло-каштановой почве и солончаке типичном активность уреазы низкая, но в каштановой почве ее активность 1,8 раза выше.

Следующий необходимый элемент питания для растений – фосфор. За его мобилизацию в доступные формы отвечают фосфогидролазы. Среди них хорошо изучена фосфатаза, которая катализирует гидролиз моноэфиров ортофосфорной кислоты с отщеплением остатков ортофосфорной кислоты (Инишева и др., 2002). Для фосфатазы особенно важную роль играет кислотность. Почвы, имеющие кислую реакцию среды, содержат в основном кислые фосфатазы, а в почвах со слабощелочной реакцией – щелочные фосфатазы (Щербакова, 1983).

Прослеживается связь энзимологической активности с содержанием гумуса (Ахмедова и др., 2014). Наиболее ферментативно активным слоем является гумусовый горизонт, в слое 0–20 см (Зинченко и др., 2015; Зинченко, Зинченко, 2015), и связано это с ризосферой растений и высоким содержанием гумуса, а вот распределение по профилю зависит от генетических особенностей почвы (Гончарова и др., 1990).

Черноземы обладают наиболее высокой активностью фосфатазы. При этом в дерново-подзолистых и серых лесных почвах активность небольшая, что связано с сильной адсорбцией фосфатаз почвенными минералами, из-за малого содержания органического вещества (Абдуллаева, 2018). Исследования Щербаковой (Щербакова и др., 1981; Щербакова, 1983) показали, что в почве ферменты образуют комплекс «глинистый минерал – органическое вещество – фермент», в которых на долю органического вещества приходится около 80%.

При этом в органическом веществе 80–90% составляют углеводы, доступные действию гидролаз – инвертазы, амилазы, целлюлазы и ксиланазы. Из этой группы ферментов лучше других изучена инвертаза. Она

расщепляет сахара или близкие к нему углеводы на более простые молекулы глюкозы и фруктозы. Затем эти простые сахара в виде вторичных метаболитов могут участвовать в биосинтезе гумусовых соединений (Тув, 1989).

Инвертазная активность уменьшается вниз по профилю, коррелируя с содержанием гумуса. Но такая взаимосвязь может и отсутствовать при наличии в почве большого количества натрия, железа и алюминия. Связь инвертазы с количеством почвенных микроорганизмов неоднозначна и не всегда подтверждается, и так как активность этого фермента является устойчивым показателем, она может быть и не связана с изменением численности микроорганизмов (Галстян, 1962).

Связь с функциональной активностью почвенной микрофлоры лучше всего отражает фермент каталазы из класса оксидоредуктаз, входящий в состав дыхательных ферментов. Благодаря ему происходит расщепление перекиси водорода на воду и кислород, а также окисление первичных спиртов (Инишева и др., 2002).

Распределение каталазы в почве может и отличаться от других ферментов. Обычно активность с увеличением глубины уменьшается, но в случае с каталазой это происходит до глубины 50 см (в карбонатных почвах), затем происходит возрастание абсолютных показателей, связанных с воздействием перекиси водорода на углекислый кальций (Зубкова, Карпачевский, 1979; Зинченко, Зинченко, 2017).

Активность инвертазы, уреазы и каталазы может зависеть не только от распределения гумуса, но и азота, так как азот входит в состав гумуса как в виде белковых фракций и продуктов их гидролиза – аминокислот, так и азотсодержащих органических соединений нуклеиновых кислот (Засорина, Пигорев, 2005; Кононова, 1961).

1.5 Гуминовые препараты. Классификация, происхождение, проблема сертификации и оценки качества

Органическое земледелие формирует спрос на производство органических удобрений, отсюда возникает потребность в соответствующих технологиях, оборудовании для экологически малозатратной переработки сельскохозяйственных отходов в удобрения. Одним из интенсивно развивающихся рынков в мире является рынок органических продуктов. За последние 20 лет он вырос более чем в пять раз. По данным аналитиков данная тенденция продолжится в среднем по 10–12% в год. Число потребителей, постоянно приобретающих органические продукты, во всем мире также выросло за последние 15 лет в пять раз (Агапкин, Махотина, 2021).

Всё большее внимание уделяется негативным последствиям интенсификации земледелия, возрастает потребность в экологически безопасных формах ведения сельского хозяйства, что обусловлено увеличением спроса на экологически чистые продукты питания. Гуминовые препараты, полученные из природного сырья различного происхождения и генезиса, обладающие отличным сродством к почве и ее биоте, отвечают всем требованиям современных технологий земледелия. Активизируя биоэнергетические процессы в почвах и растениях, гуматы повышают адаптацию растений к неблагоприятным условиям среды, оказывают стимулирующее влияние на их рост и развитие, способствуют усилению процессов мобилизации питательных веществ в усвояемой для растений форме, предоставляя возможность направленной регуляции процессов в системе «почва – растение» (Наими, Поволоцкая, 2019).

Основное влияние на физиологическую активность гуминового препарата оказывают следующие параметры его получения и применения. Как отмечают Р. Н. Гартвик, А. В. Гартвик (2008): «На стадии подготовки сырья это – сам вид сырья и средний размер получаемых частиц. На стадии выделения гуминовых веществ – длительность, давление и температура

экстракции, а также сам реагент, его концентрация и способ перемешивания в нем сырья. На стадии подготовки препарата к применению – время, прошедшее с момента экстракции, температура хранения в течение этого времени, концентрация раствора. На стадии получения результата – выбранная сельскохозяйственная культура, состав и состояние почвы и далее (в зависимости от способа обработки растений): при предпосевной обработке семян – длительность и способ замачивания, освещенность, а также параметры просушки семян перед посадкой (длительность, температура, освещенность и т. д.), при внесении препарата в почву или опрыскивании по листу – температура и влажность среды (почвы и воздуха, соответственно), доза внесения и освещенность препарата» (Гартвик, Гартвик, 2008, с. 34).

В последнее время интерес к полученным на основе природных полимеров гуминовым препаратам постоянно растет, поскольку их использование не наносит ущерба окружающей среде, что соответствует экологической парадигме современного развития общества. Несмотря на положительный рост рынка гуминовых препаратов, имеются причины, препятствующие его развитию. Прежде всего, это имеющиеся примеры несоответствия качества гуминовых препаратов, выпускаемых под различными торговыми марками и реализуемых на нерегулируемом рынке без каких-либо требований к стандартизации этих коммерческих продуктов. Вопросы необходимости стандартизации рынка гуминовых препаратов остаются актуальными для многих стран. Для России остается открытым вопрос стандартизации методов исследования гуминовых препаратов, идентификации и унификации требований к товарной продукции (Григорьева, 2020; Гармаш, Гармаш, 2012; Чуков и др., 2010).

Исследователями этой проблемы предлагается ряд классификаций. Так, Б. В. Левинский (Левинский, 2000) предлагает классифицировать препараты по возрастанию качества гуматов:

«1. Ископаемые бурые и окисленные каменные угли. Их предлагают применять без какой-либо обработки.

2. Гуматы, которые получают в результате обработки бурых углей концентрированными щелочами.

3. Гуматы, получаемые экстракцией угля или торфа разбавленными щелочами. Эти две группы предлагается использовать в виде 6–12% водных растворов, так как применение неразбавленных экстрактов гуминовых кислот может вызвать ожоги растений и семенного материала из-за использованных экстрагентов и привести к негативным последствиям.

4. Гуматы, добываемые из высококачественных тестированных углей, содержащих не менее 75% гуминовых кислот.

5. Сложные составы. Данные составы содержат гуматы, природные органические продукты, получаемые из водорослей и рыб, сахара, витамины, специальные виды микроорганизмов или продукты их метаболизма» (цит. по Поволоцкая, 2019, с.37).

О. С. Якименко (Якименко, Терехова, 2011) разделила «все гуминовые препараты на 4 группы в зависимости от источника первичного сырья:

1. Препараты из углефицированных материалов: бурого угля, леонардита, лигнита («Гумат 80», «Гумат 7+», «Энерген-экстра», «Энергум», «Гуми», «Сахалинский» и др.).

2. Препараты из торфа и донных отложений: торфа+сапропеля, торфа, сапропеля («Плодородие», «Бигус», «Эдагум», «Скарабей», «Эко-органика», «Гумостим», «Росток» и др.).

3. Препараты из органических отходов: лигносульфоната, вермикомпоста («Лигногумат», «Лигногумат А», «Лигногумат АМ», «Гумистар», ВЮ-Дон и др.).

4. Препараты из неизвестного источника.

Все препараты из этих 4 групп представляют собой жидкие или порошковые гуматы натрия или калия с различными добавками: микроэлементами, минеральными удобрениями, кремниевой кислотой. Также встречаются препараты фульвокислот» (цит. по Поволоцкая, 2019, с. 38)

Вот краткая характеристика наиболее распространенных из них:

«Гуми» – природный регулятор роста и развития растений, производимый НВП «БашИнком», получают ультразвуковым способом из молодых бурых углей Кумертаусского месторождения с содержанием до 60% соединений гумусовой природы.

Широкое применение нашли удобрения «Гумостим», «ЭКОРОСТ», Флексом, получаемые из природного гумусового каустобиолита – торфа. Также из торфа получают «Росток» – жидкий гуминовый препарат, разработанный кафедрой общей химии ГАУ Северного Зауралья (Тюмень). «АгроБальзам» – жидкое гуминовое удобрение, также получают из торфа, но способ получения не связан с использованием химреактивов, применяется резонаторная установка, генерирующая гидроудар – физическо-механическое воздействие. Из торфа получают и «Оксигумат» – комплексный препарат, разработанный белорусскими учеными, но способ экстракции иной. Если все предыдущие препараты, кроме «АгроБальзама», основаны на щелочном экстрагировании гуминовых веществ из торфа, то Оксигумат получают путем глубокой окислительной переработки.

Гуминовый препарат «Плодородие» производится из озерного сапропеля и торфа, а Лигногумат, препарат, разработанный Санкт-Петербургской фирмой ООО НПО «РЭТ», интересен тем, что его получают ускоренной гумификацией отходов деревообрабатывающей промышленности в ферментерах.

Реасил – гуминовый препарат, получаемый из леонардита – особого вида бурого угля с очень высоким содержанием гуминовых кислот в составе (до 85%). Из бурого угля производят и «Биогумат» – концентрат гуминовых веществ и фульвокислот.

Целый ряд гуминовых препаратов получают на основе компостов. К ним относится Агрофон КУ-8 – органоминеральное комплексное удобрение, получают на основе куриного помёта. К этой же серии относятся концентрированный гуминовый биопрепарат «БиоЭкоГум», ВЮ-Дон,

AgroVerm и др. Их получают из вермикомпоста, переработанного компостными червями в специальных питомниках из различного органического сырья (прежде всего навоз КРС, конский навоз и т.д.) щелочной экстракцией.

Многие препараты, основным действующим веществом которых являются гуминовые вещества, обогащают микроэлементами (например, «Гумат+7» - производитель «Иркутские гуматы»). Есть средства, обогащенные макроэлементами (например, Carb-N-Humik – на основе мочевины и гуминовых кислот). Такие препараты по своим свойствам корректнее называть удобрениями.

Еще одна группа препаратов отличается тем, что в них добавляют другие физиологически активные вещества. Например, удобрение «Гумимакс» хелатировано натуральными органическими гуминовыми кислотами, фульвокислотами, аминокислотами и глюконовой кислотой.

Однако общим для всех перечисленных препаратов является наличие гуминовых кислот, и именно они являются основным действующим веществом. Они активизируют обмен веществ в растениях, улучшает дыхание, ускоряет синтетические процессы и усвоение минеральных солей из внешней среды, повышая урожайность и сокращая сроки созревания всех видов сельскохозяйственных культур.

При отсутствии достаточно четких представлений о механизме биологической активности гуминовых веществ к проблеме подходят с разных сторон и проводят эксперименты, рассматривая эффекты различных воздействий на биологическую активность гуминовых веществ и объясняя тем или иным способом ее изменение: проведение модельных экспериментов, расшифровка и сравнение химического состава препаратов, апробация различных дозировок и способов применения на различных культурах (Степанов и др., 2018; Федотов и др., 2018; Pukalchik et al., 2020; Поздняков и др., 2020).

Таким образом, гуминовые удобрения и препараты весьма разнообразны, как по источникам, так и по методам их получения. Многообразен и спектр их использования, причем даже в сельскохозяйственном аспекте. Они применяются практически на всех сельскохозяйственных и декоративных культурах. И если на первых порах исследователи указывали, что есть более отзывчивые и менее отзывчивые на гуминовые удобрения виды растений (Христева, 1953), то позже было установлено, что эффективность гуминовых препаратов обусловлена не столько особенностями растений, сколько спецификой внешних условий. Оказалось, что наибольший эффект от использования гуминовых препаратов наблюдается в условиях далеких от оптимальных. И наоборот при создании оптимальной для растения среды положительное действие от применения гуматов стремиться к нулю (Flaig, 1965; Христева, 1973; 1977).

Однако до настоящего времени исследователи, занимающиеся разработкой гуминовых препаратов, уделяют самое пристальное внимание вопросам оптимальной концентрации гуминовых веществ для обработки вегетативной части растений и семенного материала.

Следует также отметить, что работа с гуминовыми препаратами в растениеводстве осложнена зависимостью результатов от внешних условий, это мешает получению четких закономерностей, не способствует воспроизводимости экспериментов и большое разнообразие источников получения, условий производства и, как следствие, различного содержания действующих веществ в препаратах. Сказываются и такие специфические особенности гуминовых веществ, как нестехиометричность состава, нерегулярность строения, гетерогенность структурных элементов и полидисперсность (Гармаш и др., 2022).

1.6 Адаптогенное и стресс-протекторное действие гуминовых препаратов

Гуминовые вещества являются группой элементов природного происхождения, которые влияют на адаптогенную и стресс-протекторную активность, придавая устойчивость растениям к неблагоприятным условиям окружающей среды. Также оказывают стимулирующий эффект, проявляющийся в улучшении проницаемости клеточных мембран, мобилизации элементов питания в усвояемой форме, ускорении процессов дыхания, фотосинтеза, белкового и фосфорного обмена. Все это влияет на рост и развитие растения, в системе «почва-растение» появляется возможность направленной регуляции процессов, у клеток растений появляется возможность быстро восстанавливаться, противостоять ингибирующим факторам среды. При этом, чем сильнее воздействие неблагоприятных факторов, тем лучше и более выражено проявляется действие гуматов (Безуглова и др., 2018).

Известно стимулирующее действие низких и очень низких концентраций гуминовых веществ на развитие растений, в частности обусловленное использованием ими на ранних стадиях вегетации азота минеральных удобрений. Дозы гуматов выше 0,1% угнетают развитие растений. В целом следует резюмировать, что использовании гуматов в растениеводстве вызывает следующие процессы: повышается всхожесть семян и их прорастание; улучшается обмен веществ у растений, повышается поглощение минеральных веществ, усиливается корнеобразование. Как следствие, увеличивается урожайность зерновых, кормовых и овощных культур в среднем на 10–30% (Безуглова, 2008; Жеребцов и др., 2018).

При выращивании сельскохозяйственных культур используются разные агроприемы и химические средства обработок. При этом система почва-растение подвержена разным заболеваниям и вредителям, во избежание чего подвергается воздействиям пестицидов иногда в чрезмерных дозах, погодно-климатическим условиям, и важная роль гуминовых

препаратов — это снизить стрессовые воздействия, которые испытывает растение. Отмечено, что препараты гуминовой природы стимулируют прорастание семян с пониженной всхожестью, ускоряют рост и развитие растений, повышают устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды и сопротивляемость болезням (Вербицкая и др., 2014; Менликиев и др., 2006).

Гуминовые препараты ослабляют отрицательный эффект, получаемый при физических повреждениях семян. Предпосевная обработка гуматами повышает энергию прорастания, стимулирует рост и развитие проростков, степень поражения семян различного происхождения снижается, корневая система развивается лучше. При обработке вегетирующих растений элементы питания усваиваются лучше, количество и качество урожая возрастает (Сейтбогомбетов и др., 2018; Гармаш и др., 2022).

Что касается почвы, то в ней при внесении гуминовых удобрений и препаратов ускоряются процессы деятельности микроорганизмов, так что разложение органических и использование минеральных субстратов проходит интенсивнее, и положительной стороной в этом ускорении является больший объем органических веществ, подвергающийся минерализации.

Необходимо заметить, что на разных почвах эффективность гуминовых удобрений несколько разнится. Отмечено, что лучше всего гуминовые удобрения проявляют себя на дерново-подзолистых почвах, ослабевает их действие на черноземах. Дальнейшее продвижение на юг характеризуется усилением эффективности их действия, что определяется, с одной стороны, особенностями качественного состава гумуса — более высоким участием фульвокислот в составе (Безуглова, 1982), а с другой стороны, более низким природным плодородием этих почв. Эффективнее внесение удобрений на слабогумусированных низкоплодородных почвах, а также на выпаханных и обесструктуренных длительным орошением, так как они способствуют оптимизации свойств почвы (Жолобова, Пономарева, 2015).

Особенно широко проводится изучение действия гуминовых препаратов на зерновые культуры как стимуляторов роста на фоне минеральных удобрений, адаптогенов в условиях дефицита минерального питания, так и стресс-протекторов при пестицидной нагрузке.

Так, применение торфогуминового регулятора роста Гумимакс совместно с гербицидами на основе 2,4-Д и дикамбы в среднем за 5 лет испытаний обеспечило невысокие, но математически достоверные прибавки урожая яровой пшеницы в сравнении с применением указанных гербицидов в чистом виде (Филиппов, Немченко, 2017).

Также было установлено, что применение Биогумата способствует замедлению скорости водоотдачи листьями озимой пшеницы. Положительное влияние гуминовых удобрений на формирование биомассы растений проявилось уже в фазу весеннего кущения: обработка семян гуматом обеспечила в этот срок определения превышение над показателем контрольного варианта 16–17% (Фирсов и др., 2017).

Результаты полевых испытаний биоудобрения «АгроВерм», проведенных с пшеницей «Московская 39» свидетельствуют о том, что биоудобрение ускоряет прорастание и всхожесть семян тест-культуры; стимулирует рост и развитие растений на всех стадиях вегетации; увеличивает урожайность зерна (до 69,4%) высокого качества и общей биомассы растений по сравнению с вариантами при применении полного минерального удобрения (Степанов и др., 2018).

При использовании Гумата калия при обработке посевов озимой пшеницы совместно с препаратом Планриз осенью в фазу кущения и весной в момент возобновления вегетации посевы сформировывали и дольше сохраняли в активном состоянии максимальную ассимиляционную поверхность листьев (Каргин, 2017).

По результатам трех лет исследований сочетание средств химической защиты и биологически активного препарата ВЮ-Дон обеспечивало

формирование более высоких урожаев зерна озимой пшеницы, по сравнению с фоном, на 0,40–1,30 т/га (Безуглова и др., 2018).

1.7 Биологическое действие гуминовых препаратов

Биологическая активность почвы имеет важное значение при ведении любых работ с почвой, будь то земледелие, окультуривание или ремедиация. Такие важные показатели, как дыхание почвы, ферментативная, микробиологическая активность, структура и состав микроценозов, скорость и направление химических процессов в почве, дают важную информацию об экологической характеристике данных почв, о возможности ее использования и мероприятиях по корректированию ее свойств. Ферментативная активность является фактором индикации почвенной реакции на антропогенное воздействие, а гуминовые препараты в некоторой степени служат блокатором его негативного влияния (Щукин, Труфанов, 2012).

Отличие гуминовых препаратов от минеральных удобрений заключается в том, что они воздействуют на почвенную биоту, катализируя почвенные биохимические процессы. Пролонгированное действие гуминовых препаратов выражается в усилении микробиологической активности и общей численности микроорганизмов и на протяжении следующего года после использования, оказывая сильное действие на группы азотфиксаторов, аммонификаторов и нитрификаторов.

От состава и происхождения гуматов наблюдается разнообразный отклик микроорганизмов, то есть гуминовый препарат проявляет специфическую биологическую активность в отношении определённых бактерий.

Хорошие результаты показывает внесение препаратов в почву с двукратной обработкой посевов. На это влияют содержащиеся в гуминовом препарате гуминовые кислоты, но так как препараты имеют биологическое

происхождение, то в их составе часто присутствуют агрономические ценные микроорганизмы.

Как уже было доказано, влияние гербицидов показывает негативное воздействие на растения, но сочетание гербицидов с гуминовым препаратом в значительной степени нивелирует негативные аспекты, которые возможны при применении гербицидов. Соответственно наблюдается прибавка урожайности, численность почвенных микроорганизмов увеличивается.

Также гуминовые препараты воздействует на почву через её биологическую активность. Почвенные микроорганизмы, как аэробные, так и анаэробные, способны к разложению гумуса. Вероятнее всего, из-за этого в процессе минерализации гумуса азотистая часть подвержена более интенсивным изменениям, а уровень биологической активности почвы, состав и строение гумусовых веществ напрямую влияют на скорость аммонификации.

Так, исследования, проведенные Е. И. Симонович, А. А. Казадаевым (2009), показали, что внесение биологических активизаторов почвенного плодородия в чернозем обыкновенный карбонатный агроценоза различных культур, в том числе и многолетних трав, способствует улучшению условий питания растений (увеличивается количество нитратного азота, подвижного фосфора и калия) и повышению активности каталазы, уреазы, инвертазы. Причем эффект сохраняется даже через 1 год после внесения исследуемых препаратов. Это обусловлено сложным комплексом явлений преобразования минеральных и органических компонентов почв.

К примеру, биологические препараты на основе микрогуматов в комплексе с ассоциативными микроорганизмами на основе псевдомонад нормализуют уровень полезных микроорганизмов в зоне корня и улучшают обмен веществ в растении. А препараты на основе молочнокислых бактерий и сахаромикетов применяются для создания более благоприятных условий для роста растений, повышения общего иммунитета, снижения роста патогенной микрофлоры, полива почвы или любых органических остатков

для ускорения разложения очистков, кожуры, зеленой скошенной травы и сена, мелких веток, соломы, древесной коры, ботвы. В результате питательные вещества в почве становятся более доступны для растений (Сидоренко, 2012; Патент 2299539).

Внесение препаратов Carb-N-Humik и Альбит в разных сочетаниях сопровождается существенными изменениями ферментативного фона черноземов южных, балансируется минеральное питание растений озимой пшеницы, что приводит к накоплению макроэлементов в продуктивной части (Ильясова и др., 2012; Щукин и др., 2022).

При воздействии гуминовыми препаратами ВЮ-Дон и ВЮ-Дон, обогащенный микроорганизмами, на пшеницу мягкую увеличивается активность инвертазы (Полиенко, 2016). Сочетание воздействия гуминового препарата ВЮ-Дон на чернозем обыкновенный карбонатный и на растения пшеницы мягкой в фазе кущения и выхода в трубку обеспечивает максимальную стимуляцию численности почвенной микрофлоры, достигающую у некоторых групп микроорганизмов (например, грибов и целлюлозоразрушающих актиномицетов) более чем 150% прибавки в численности (Полиенко, 2016).

Регуляторы роста гуминовой природы оказывают положительное влияние на рост и развитие растений риса, что проявляется в их более интенсивном росте в высоту, особенно в начале онтогенеза. Окси-, гидро- и лигногумат влияют на потребление растениями азота, фосфора и калия. Лучшие условия для роста растений и биосинтеза сухого вещества складываются при использовании оксигумата (Шеуджен и др., 2015).

Активность фосфатазы имеет выраженную сезонную динамику, снижается в летний период и возрастает осенью. Обработка химическими средствами защиты растений вызывает стимуляцию фосфатазной активности. Обработка гуминовым препаратом совместно со средствами защиты растений практически полностью снимает стимулирующий эффект, что может быть связано с повышенным потреблением фосфора корнями

растений под воздействием гуматов. В пахотном слое между содержанием подвижного фосфора и фосфатазной активностью почвы существует отрицательная корреляционная связь средней степени (Полиенко и др., 2020).

С биологически активным препаратом «ЭКОСС» был проведен полевой эксперимент при одно- и двукратном фолиарном использовании на посевах озимой пшеницы, по результатам которого можно сделать вывод об эффективности его применения, что подтверждается исследованиями динамики ферментативной активности почвы и элементов питания, а также количественной прибавкой к урожайности 23–26% (Матюгин и др., 2021).

Под влиянием гуминовых препаратов у растений появляется солеустойчивость. В работе К. А. Кыдралиевой (Кыдралиева и др., 2017) показано положительное действие гуминовых веществ при сильной засоленности почв. При систематическом внесении препаратов возможно регулировать водный обмен растений, особенно это актуально в условиях атмосферной засухи.

Влияние гуминовых препаратов при использовании их для опрыскивания вегетирующих растений проявляется непосредственно через листовую аппарат. При этом, как показали исследования с препаратами, меченными по углероду, через листовые пластины проникают низкомолекулярные гуминовые соединения (Furh, Sauerbeck, 1967). Поступление высокомолекулярных веществ через клеточные мембраны в силу крупности молекул этих соединений проблематично, но некоторые исследования позволяют предполагать, что крупные молекулы могут распадаться на фрагменты и постепенно проникать в цитоплазму клетки (Visser, 1972). Экспериментально было показано, что в «присутствии гуминовых веществ проницаемость клеточных мембран выше, что способствует увеличению поступления в неё азота, фосфора, калия, железа, и устойчивости растений к широкому спектру неблагоприятных факторов (пестициды, заморозки, засухи, повышенное содержание солей в почве). Также доказано, что гуминовые вещества повышают интенсивность

фотосинтеза и дыхания, усиливают белковый и фосфорный обмен в растениях» (Безуглова, 2016).

1.8 Состояние почвы в динамике

1.8.1 Влияние применения гуминовых препаратов на состояние почвы после уборки

После уборки урожая на пашнях скапливается большое количество растительных пожнивных остатков, которые, с одной стороны, являются мощным потенциальным запасом органического вещества, с другой, становятся большой помехой при производстве технологических манипуляций перед последующими почвенными обработками (Лукин и др., 2019).

Количество пожнивных остатков (стерня, ботва, листья и стебли возделываемых растений и сорняков) определяется, главным образом, состоянием посева и способом уборки. В целом же количество растительных остатков зависит от вида полевых культур, предшественников, технологии выращивания и уборки, характера хозяйственного использования и погодных условий. Количество органического вещества, которое запахивается в почву, зависит от набора культур в севообороте и их продуктивности. Рост поступающей в почву растительной массы с корневыми и надземными остатками культур происходит при увеличении в севообороте присутствия многолетних трав, а также культур, выращиваемых для получения зерна, а её снижение – при уменьшении доли пропашных (Дудкина, 2019; Пигорев, Ишков, 2017).

Процесс перехода органического вещества растительных остатков в доступные для потребления микробиотой и для гумификации формы очень медленный из-за того, что органическое вещество представлено в основном целлюлозой, процесс разложения которой в естественных условиях довольно энергетически затратный. Поэтому встает проблема ускорения этого

процесса с применением различных препаратов и приемов (Московкин, Русакова, 2013; Патент 2299539).

В полевом и лабораторном экспериментах была изучена динамика процессов трансформации органического вещества соломы озимой пшеницы в черноземе обыкновенном и влияние на них обработки гуминовым препаратом ВЮ-Дон и внесения азотного удобрения. Установлено стимулирующее влияние компенсирующей дозы минерального азота и гуминового препарата на скорость разложения соломы как в полевом, так и в лабораторном опыте. Через 5 месяцев компостирования соломы с почвой процессы гумификации достигают максимума, после чего начинают преобладать процессы минерализации, в связи с чем основное накопление гумуса происходит на начальных этапах компостирования соломы с почвой (Шимко и др., 2015; Наими, 2018; Наими, 2019; Патент 2612210).

Таким образом, результаты исследования позволяют сделать вывод, что применение гуминовых препаратов ВЮ-Дон и ВЮ-Дон-15 ускоряет процессы минерализации соломы, что сказывается на увеличении накопления доступного фосфора в черноземе обыкновенном (Наими, Куцерубова, 2018).

1.8.2 Структурное состояние почвы после применения гуминовых препаратов

Гуминовые препараты, как справедливо указывает С.И. Жеребцов с соавторами (2018) «обладают в ряду прочих регуляторной функцией, к которой, прежде всего, относится формирование почвенной структуры и водно-физических свойств и, как следствие, теплового режима почвы. Обработка гуматами повышает влагонасыщение почвы. Это имеет особо важное значение для песчаных грунтов, влагоудерживающая способность которых под действием гуматов увеличивается более чем в 10 раз. На этих же принципах основано применение гуминовых препаратов в качестве мелиорантов. Гуматы калия, натрия и аммония оказывают существенное

положительное влияние на водно-физические и физико-химические свойства почвы: повышают влагоёмкость легких почв (в среднем на 30%), способствуя образованию агрономически ценной комковато-зернистой структуры; улучшают порозность и водопроницаемость тяжелых почв, препятствуя образованию трещин, корок; регулируют реакции ионного обмена между почвой и водными растворами; влияют на буферную емкость почв, тем самым способствуя поддержанию естественного уровня pH даже при избыточном поступлении кислых или щелочных агентов. Важнейшей задачей сегодняшнего дня является восстановление плодородия почв, предотвращение опустынивания» (Жеребцов и др., 2018, с. 53-54).

Структурно-агрегатное сложение почвы создает множество физических барьеров для успешной утилизации микроорганизмами органических кластеров. Соотношение мега-, макро- и микроагрегатов может быть одним из факторов, влияющих на разложение и включение растительных остатков в состав почвенного органического вещества. Можно предположить, что влияние размера почвенных частиц на разложение растительных остатков проявляется за счет увеличения доступности микроорганизмам-деструкторам почвенного азота, недостаток которого особенно ощущается при освоении субстратов с широким C : N отношением (Семенов и др., 2020).

В разных по размеру агрегатных фракциях почвы минерализация органического вещества проходит с разной скоростью, чем мельче агрегат, тем больше органического вещества в нем гидролизует. Особенно это касается агрономически ценных агрегатов, массовая доля которых увеличивается при активизации микробиологических сообществ, которая происходит, в свою очередь, при применении гуминовых препаратов (Семенов, 2010).

Применение гуминового препарата ВЮ-Дон на чернозёме обыкновенном карбонатном в виде двукратной фоллиарной обработки яровой пшеницы показало, что этот приём благоприятно влияет на структурное состояние почвы, способствуя его оптимизации за счёт роста количества

агрономически ценных агрегатов и увеличения их водопрочности (Лыхман, 2017).

В эксперименте на посевах озимой пшеницы структурные характеристики почвы проявили наибольшую отзывчивость к обработкам Лигногуматом и Байкалом-ЭМ, внесение их в почву привело к увеличению коэффициента структурности до 2,75 по сравнению с 1,6–1,7 в контрольном варианте и при внесении Лигногумата по листу. Содержание водопрочных агрегатов в контрольном варианте и при фоллиарной обработке на протяжении всего эксперимента находилось в диапазоне 70–75%, в то время как обработка почвы препаратами привела к увеличению водопрочности структуры до 90% (Дубинина и др., 2022).

Результаты полевых испытаний биоудобрения «АгроВерм», проведенных с пшеницей «Московская 39» свидетельствуют о том, что Биоудобрение «АгроВерм» оказывает положительное комплексное воздействие на физические свойства почвы и ее структуру. Под действием препарата за время наблюдений произошло увеличение общей и межагрегатной пористости почвы; снижение плотности сложения почвы; ускорение скорости движения почвенной влаги (коэффициент фильтрации увеличился на 22,3%), количество водопрочных и агрономически ценных агрегатов в почве увеличилось на 4% (Степанов и др., 2018).

В условиях минимальной обработки структурные агрегаты чернозема выщелоченного в целом демонстрируют высокое биологическое качество органического вещества изученных слоев почвы по данным оперативной диагностики (Белоусов, 2022).

1.9 Связь качества и количества в системе почва-растение / почва-урожай

Гуминовые препараты усиливают процессы мобилизации фосфора: достоверное увеличение содержания подвижных форм фосфора в почве наблюдалось во многих экспериментах независимо от подтипа чернозема.

Как считают Е. А. Полиенко с соавторами (2011); «Повышенная мобилизация фосфора обусловлена усилением биологической активности почвы, в том числе и под влиянием корневых выделений растений, обработанных гуминовым препаратом» (Полиенко и др., 2011). Обработка посевов гуматами в различных дозировках увеличивает активность фосфатазы и поступление фосфора из почвы в растения, тем самым нивелируя неблагоприятные погодные условия. М. Н. Дубинина, О. С. Безуглова, изучив динамику группового состава соединений фосфора, установили, что «обработка посевов озимой пшеницы гуминовым препаратом способствует снижению в почве всех форм минеральных фосфатов, особенно фосфатов первой группы, наиболее доступных растениям. Однако и другие группы, в том числе труднодоступные фосфаты алюминия и железа, оказываются вовлеченными в этот процесс. Причина – повышенная потребность растений, получивших стимулирующие обработки гуминовым препаратом, в фосфорном питании. Растения озимой пшеницы регулируют высвобождение связанных форм фосфатов включением в процесс фосфатазы» (Дубинина, Безуглова, 2022, с. 38).

Усиление режима минерального питания приводит к улучшению товарных характеристик продукции, количеству и массе зерен в колосе и, соответственно, увеличению урожайности. К примеру, в условиях Оренбургского Предуралья опрыскивание посевов яровой пшеницы препаратами Carb-N-Humik и Альбит привело к увеличению урожайности на 3,6–4 ц/га при контрольных 18–19 ц/га.

Позитивное влияние гуматов проявляется и на посевах озимой пшеницы даже при условии более длительного и стрессогенного периода вегетации. Так, внекорневая обработка гуминовым препаратом Росток и регулятором роста Рибав-Экстра при выходе в трубку озимой пшеницы позволяет добиться прибавки к урожайности в 16–17% по сравнению с контрольным вариантом без препаратов (Щукин и др., 2022; Ильясова и др., 2012).

Воздействие гуминового препарата ВЮ-Дон на пшеницу мягкую в условиях Ростовской области на черноземах обыкновенных способствовало получению более высокой продуктивности, по сравнению с контрольным (фоновым) вариантом (Полиенко, 2016).

Использование средств биотехнологии почвы – препаратов Энергия М и ЗСС посредством предпосевной обработки семян в сочетании с минеральными удобрениями в дозе N30P30 способствовало восполнению выноса азота и фосфора из почвы с урожаем в процессе производства ярового ячменя на светло-каштановых почвах Юга России и существенному росту урожайности (Сорокин, Цевденкова, 2016).

В это же время влияние гуматов на рост, развитие и фотосинтетическую деятельность растений, а также потребление ими азота, фосфора и калия проявляется в увеличении урожайности зерна риса (Шеуджен и др., 2015).

Обработка растений редиса сорта Корунд обогащенным биогуматом Экосс способствовала более высокому содержанию фотосинтетических пигментов (хлорофилла а, хлорофилла b и каротиноидов) в листовой пластине редиса (Борисенко, Жолобова, 2015), а также нарастанию вегетативной массы растения и увеличению массы корнеплодов по сравнению с контролем (Борисенко, Хусид, 2015).

Высокими показателями продуктивной кустистости отмечены варианты с применением Экстрасол-1, биогумата «Экосс», Агрофон Ку8-1. Увеличивалась озерненность колоса по данным вариантам с применением Экстрасола – 35, Агрофон Ку8-39, Биогумат «Экосс» – 41 зерен на колосе (Петенко, 2017).

Стабильно высокую массу зерна на уровне стандарта овес сорта Креол формировал при использовании гумата аммония на варианте обработка семян – 356,5 г/м² (Чуманова, Шерер, 2017).

Необходимо заметить, что испытуемый препарат «Экорост» активизировал фотосинтетическую деятельность не только культурных растений, но и сорной растительности (Замятин и др., 2017).

1.10 Урожай как показатель эффективности применения гуминовых препаратов

Самым действенным и экономически привлекательным показателем воздействия гуминовых препаратов на сельскохозяйственные культуры является оценка урожайности и товарных показателей продукции. При этом методы применения препаратов на культуры могут быть самыми разными: предпосевная обработка семян, припосевное внесение препарата в почву, обработка вегетирующих растений.

У сортов картофеля Каменский, Сафо и Лина величина прибавки урожайности (16–54%) зависела от способа обработки препаратом Росток. Сорта лука репчатого (Стурон, Кармен, Стардаст) при замачивании севка перед посадкой и двукратном поливе растений препаратом Росток повышали урожайность на 33–45%. Корневая обработка препаратом Тюменский марка Б посадок чеснока озимого сортов Тянь-Шанский, Шадейка и Назус увеличила урожайность на 14–33% (Грехова и др., 2022).

Так, в зависимости от вида гуматов урожайность риса повышается на 5,0–6,4 ц/га. Рост урожая зерна происходит, главным образом, вследствие их воздействия на посевные качества семян и полевой всхожести. Наибольшая прибавка получена при посеве семенами, обработанными 0,01% водным раствором оксигумата (Шеуджен и др., 2015).

Установлена высокая эффективность применения биоудобрения «БиоЭкоГум» для обработки семенного материала и внекорневой обработки растений на светло-каштановых почвах. Биоудобрение, содержащее гуминовые кислоты, макро и микроэлементы, стимуляторы роста повышают всхожесть семян и стрессоустойчивость, стимулирует рост растений, увеличивает урожай зерна озимой пшеницы от 20 до 40%, позволяет

получать экологически чистую продукцию и уменьшает затраты на производство (Сулейменов и др., 2019).

Для повышения продуктивности посевов озимой пшеницы сорта Пионерская 32 при возделывании её на чернозёме южном Оренбургского Предуралья рекомендуется использовать некорневое внесение в фазу колошения смеси препаратов Эмистим, 1 мл/га, + Гуми 30, 0,2 кг/га. Этот вариант обеспечил повышение урожайности в среднем за годы исследования на 4,7 ц с 1 га (Сейтбогомбетов и др., 2018). Для повышения продуктивности посевов озимой пшеницы Оренбургская 105 при возделывании её на чернозёме южном Оренбургского Предуралья рекомендуется использовать некорневое внесение в фазу выхода в трубку смеси удобрения на основе гуминовых кислот Росток (200 мл на 1 га) с препаратом Рибав-Экстра (1 мл на 1 га). Данный вариант обеспечил прибавку урожайности в среднем за годы исследования в 0,28 т с 1 га, или в 17,5% (Ильясов и др., 2012).

Наибольшая биологическая урожайность озимой пшеницы была отмечена на вариантах с применением препаратов Carb-N-Humik, Carb-N-Humik + Альбит и Carb-N-Humik + Альбит + Amino Zn, где она соответственно составляла 23,4; 23,3 и 23,0 ц/га, что на 3,6–4,0 ц/га больше, чем на контрольном варианте (Щукин и др., 2022).

При обработке семян озимой пшеницы баковой смесью Дивиденд Экстрим (0,5 л/т) и Лигногумат (100 г/т) и вегетирующих растений препаратом БиоГумат «ЭКОСС-20» (0,5 л/га) в предгорной зоне Республики Адыгея выявлено увеличение продуктивной кустистости растений. Количество продуктивных стеблей увеличилось на 1,3–2,9%. При этом наибольшее их число было отмечено при обработке семян баковой смесью Дивиденд Экстрим (0,5 л/т) и Лигногумат (100 г/т) и вегетирующих растений препаратом БиоГумат «ЭКОСС-20» (0,5 л/га) – 381 шт/м² при их числе на контроле 370 шт/м². Кроме того, гуминовые препараты способствовали увеличению массы 1000 семян по сравнению с контролем на 1,0–3,0 г. Анализ структуры генеративных органов растений озимой пшеницы

показывает, что самое продуктивное растение было получено на варианте с применением препарата БиоГумат «ЭКОСС-20» (0,5 л/га) (Хатков, Дагужиева, 2016).

Применение гуминового препарата ВЮ-Дон на черноземе обыкновенном карбонатном под озимую пшеницу способствовали получению более высоких урожаев зерна: прибавки по сравнению с фоном в разные годы в зависимости от способа использования препарата составили от 4,4 до 12,8 ц/га. Наиболее эффективно сочетание предпосевного внесения гуминового препарата в почву с двукратной обработкой им посевов (Полиенко, 2011; Полиенко и др., 2015; Лыхман и др., 2018).

Некорневая обработка вегетирующих растений яровой пшеницы жидким гуминовым удобрением «Экорост» в количестве 0,5 л/га достоверно повысила содержание общего азота в их зеленой массе на 12,1%, фосфора на 4,8%, калия на 8,4% сахаров на 6,0%, золы на 1,4% по отношению к контролю (Замятин и др., 2017).

Применение двукратной внекорневой подкормки яровой пшеницы такими препаратами, как Агрика, Микроэл, Страда N, Реасил и Биокомплекс, заметно повышало урожайность яровой пшеницы в неблагоприятных условиях возделывания при проявлении комплексной стрессовой ситуации. Урожайность от применения препаратов, способных оказывать антистрессовый эффект, повышалась на 17,9–37,7% (Денисов и др., 2018).

В посевах 2015 года урожайность яровой пшеницы на вариантах с обработкой препаратом Силиплант, но с разными механическими обработками, составила 1,56-1,73 т/га прибавки относительно контроля, урожайность которого составляла 1,17-1,30 т/га, в 2016 году урожайность яровой пшеницы на контроле достигала от 2,30 до 2,80 т/га, применение биопрепарата «ЭКОСС-20» обеспечило прибавки на различных механических вариантах от 0,20 до 0,30 т/га (Чурзин, Кубраков, 2016).

Обработка препаратом «АгроБальзам» зерен ячменя и полбы перед посевом и растений в фазе «выхода в трубку» на серых лесных почвах

способствовало увеличению массы 1000 семян у ячменя – на 13,0% и полбы на 13,2% по сравнению с контролем. Вследствие чего и урожайность зерновых культур опытных вариантов повысилась на 22,1% у ячменя и на 12,4% у полбы по сравнению с контрольными вариантами, 25 и 20,5 ц/га, соответственно (Сергеева, Гасимова, 2015).

2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Схема опыта

Для достижения поставленной цели и решения намеченных задач были заложен полевой опыт по следующей схеме (табл.1, рис. 1):

Таблица 1. Схема опыта 1.

№	Вариант	Гуминовый препарат / доза	Фаза внесения	
			Кущение	Колошение
К	Контроль (фон)	-	-	-
Б 1	ВЮ-Дон-1	ВЮ-Дон 0,002	+	-
Б 2	ВЮ-Дон-2	ВЮ-Дон 2×0,002	+	+
Э 1	ЭКОСС-1	ЭКОСС 0,002	+	-
Э 2	ЭКОСС-2	ЭКОСС 2×0,002	+	+

Фоном для всех вариантов является внесение удобрений: N40P40K40 100 кг/га предпосевное внесение, аммиачная селитра 180 кг/га подкормка после возобновления весенней вегетации.

Согласно схеме, гуминовые препараты вносятся одно- (в фазу кущения) и двукратно (в фазы кущения и колошения) по вегетирующим растениям в баковой смеси с гербицидами, что делает их применение эргономичным и экономически малозатратным.

Обработки гуминовыми препаратами производили в надлежащую фазу вегетации. Отборы образцов почвы проводили в следующие сроки:

- 1) После возобновления весенней вегетации;
- 2) Через 2 недели после обработки гуминовыми препаратами в фазу кущения;
- 3) Через 2 недели после обработки гуминовыми препаратами в фазу колошения;
- 4) После уборки урожая.

Образцы озимой пшеницы для проведения снопового анализа и определения биологической урожайности отбирали перед уборкой по достижении зерна пшеницы уборочной влажности.

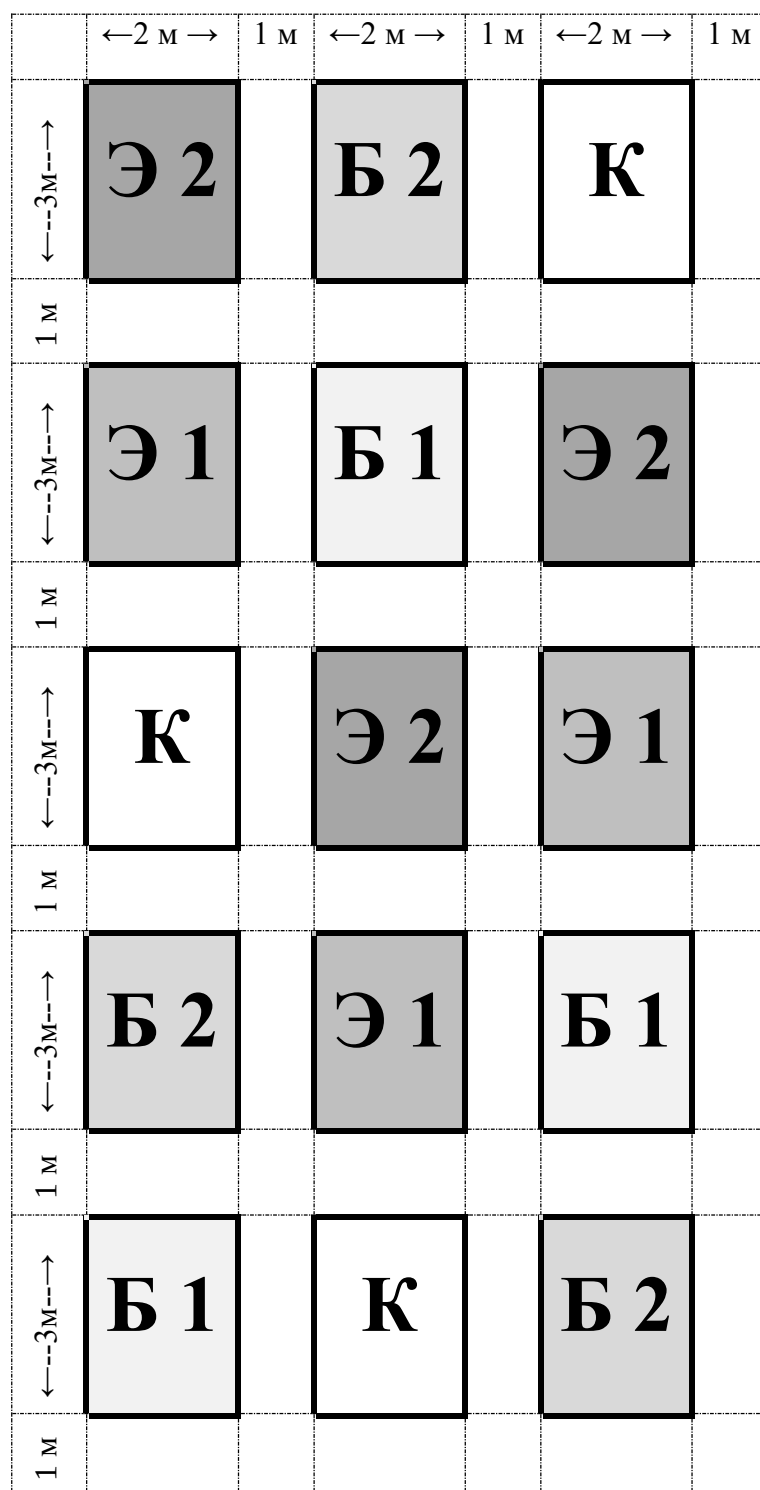


Рисунок 1. Пространственная схема опыта 1

Площадь делянки 6 м², делянки расположены рандомизированно, в 3-кратной повторности.

2.2 Характеристика почв

Почва исследуемого стационара представлена черноземом обыкновенным карбонатным, по классификации 2004 года (Шишов и др., 2004) – агрочерноземом миграционно-сегрегационным.

Нативные черноземы обыкновенные являются лучшими среди зональных почв Ростовской области по уровню своего плодородия. Содержание гумуса в пахотном слое составляет 4,4–4,7%. Валовое количество азота 0,20–0,25%, фосфора – 0,11–0,16%, калия – 2,3%. Содержание подвижных соединений фосфора низкое и очень низкое, подвижного калия – повышенное, обеспеченность легкогидролизуемым азотом непостоянна: при неблагоприятных для микробиологических процессов гидротермических условиях количество усвояемых форм азота недостаточно для нормального развития сельскохозяйственных культур. Реакция почвенной среды в верхней части профиля слабощелочная (рН 8,0), в нижней – среднещелочная (рН 8,0–8,5) (Безуглова, Хырхырова, 2008).

Физические свойства почв характеризуются высокими значениями водо- и воздухопроницаемости. Для этого подтипа черноземов характерно благоприятное сложение, большая полевая влагоемкость и довольно значительные запасы продуктивной влаги – 21–23% (Кирюшин, 2005).

Почвы сельхозугодий из-за постоянного антропогенного вмешательства претерпевают по своему агрофизическому, агрохимическому и биологическому профилю весьма значительные изменения. Так, содержание гумуса в пределах 3,5–4,2%, содержание подвижного фосфора в зависимости от периода вегетации и возделываемой культуры колеблется от среднего до очень низкого, подвижного азота может снижаться практически до нуля, подвижного калия от высокого до среднего, рН 6,5–8,2. Физические свойства меняются в зависимости от технологических приемов, внесения удобрений и препаратов, приемов механической обработки, севооборота.

2.3 Характеристика гуминовых препаратов

Гуминовый препарат ВЮ-Дон производят путем щелочной обработки вермикомпоста, полученного в ходе переработки навоза крупного рогатого скота калифорнийским червем. Действующим веществом препарата являются соли гуминовых кислот и фульвокислот, продукты жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и вермикультуры, пептиды, аминокислоты и витамины (Полиенко и др., 2016). Такой состав обеспечивает высокую физиологическую активность препарата (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты химического анализа гуминового препарата ВЮ-Дон (по: Полиенко, 2016)

N-NO ₃	N-NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	Сорг.	Сгк	Сфк	Сгк + Сфк
мг/л				%	г/л		
70–85	190–220	500–550	350–400	0,20–0,25	1,70–1,86	0,4–0,5	2,1–2,3

В низких концентрациях гуминовый препарат ВЮ-Дон оказывает положительное влияние на процессы роста и развития в начальный период прорастания семян всех изученных культур (Полиенко, 2016).

Биогумат ЭКОСС произведен на основе переработки навоза крупного рогатого скота и растительных остатков полеводства, прошедших две стадии ускоренной природной гумификации. После стадии ускоренного компостирования в биодинамических ферментерах проводится экстракция (табл. 3).

Таблица 3 – Результаты химического анализа биогумата ЭКОСС (Петенко и др., 2017).

Содерж. сухого в-ва,	С орг сух. в-ва	СГК	СФК	N	P	K
%		г/л		%		мг/л
> 6	> 45	> 15	> 5	0,04	0,23	25,0±3,5

2.4 Характеристика сорта

Возделываемая культура – озимая пшеница сорта «Золушка», оригинатор сорта – ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр». Сорт полукарликовый, интенсивного типа, относится к группе среднеспелых сортов. Высокоадаптивен к различным стрессорам. Жаро-засухоустойчивость выше стандарта. Зимо-морозостойкость высокая. Обладает высокой устойчивостью к желтой и бурой ржавчинам. Устойчив к поражению снежной плесенью и корневыми гнилями, вирусной желтой карликовостью ячменя. Качество зерна хорошее, соответствует «ценной», реже «сильной» пшенице. Включен в Госреестр 2012 г. по 6 и 8 регионам (Каталог, 2022).

2.5 Методы проведения исследований

1. Проведение отбора почвенных проб из слоя 0–20 см по вариантам опыта ГОСТ 17.4.4.02-2017;
2. Определение подвижных форм азота, ГОСТ 26489-85, 26951-86;
3. Определение подвижных форм фосфора и калия – по методу Мачигина, ГОСТ 26205-91;
4. Определение содержания гумуса в почве, ГОСТ 26213-91;
5. Определение pH водной почвенной вытяжки, ГОСТ 26423-85;
6. Определение ферментативной активности почв по активности уреазы (accepted name: urease, EC 3.5.1.5), фосфатазы (EC 3.1.3: Phosphoric Monoester Hydrolases), инвертазы (accepted name: β -fructofuranosidase, EC 3.2.1.26) и каталазы (accepted name: catalase, EC 1.11.1.6). Каталаза определялась по Галстяну (Галстян, 1978); уреазы по Галстяну и Наими (Галстян, 1978; Наими, 2019); фосфатаза по Галстяну и Арутюнян (Галстян, 1978); инвертаза по Галстяну (Хазиев, 2005);
7. Определение биологической урожайности и анализ структуры урожая озимой пшеницы методом снопового анализа (Вавилов, 1981);

8. Определение качества зерна озимой пшеницы: белок – ГОСТ 10846-91; клейковина – ГОСТ Р 54478-2011; азот – ГОСТ 13496.4-2019; фосфор – ГОСТ 26657-97; калий – ГОСТ 30504-97.

Математическая обработка и анализ экспериментального материала проведены с помощью статистических функций пакетов программ Microsoft Excel, Statistica 13,3. Применялся пакет программ, состоящий из расчета коэффициента корреляции Пирсона, включая графическое изображение формы связи, что позволяет оценить степень линейной зависимости (корреляцию) двух случайных выборок, в нашем случае активности ферментов и доступности элементов плодородия. Рассчитывали также коэффициент детерминации: квадрат коэффициента корреляции, называемый коэффициентом детерминации, показывает долю вариации результативного признака, объясненную вариацией факторного признака. А также проводили проверку статистической значимости коэффициента детерминации с помощью критерия Фишера.

2.6 Погодно-климатические условия

Обзор литературы показал, что проявление стимулирующих рост и развитие растений свойств гуминовых удобрений и препаратов и их адаптационные качества в значительной степени зависят от погодных условий вегетационного периода (рис. 2).



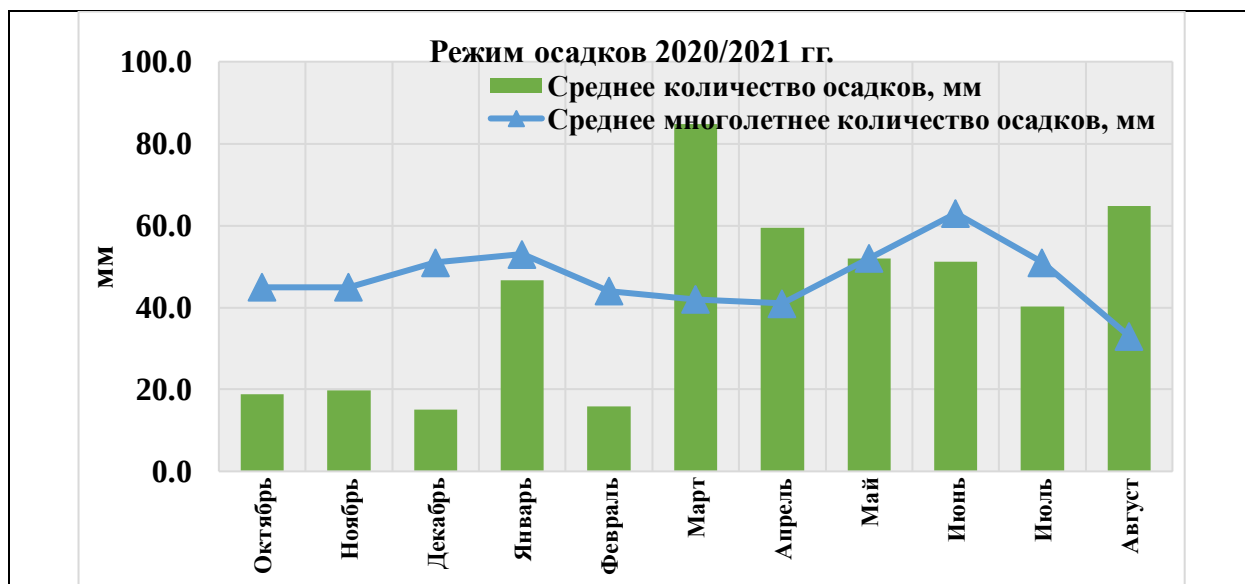


Рисунок 2. Температурно-влажностный режим вегетационного периода 2020–2021 гг.

По термическому режиму 2020–2021 год исследования примерно вписывается в рамки многолетних погодных наблюдений (Клименко и др., 2022). Но по количеству осадков и, следовательно, накоплению почвенной влаги начало осенней вегетации выдалось более сухим, возобновление же весенней вегетации ознаменовалось максимальным за год количеством осадков, с одной стороны, минеральные удобрения весенней подкормки перешли в почвенный раствор, с другой, вымылись в подпахотные слои. В целом, весенне-летний период был благоприятен для развития посевов и формирования урожая.

По температурному режиму 2021–2022 год исследования выдался более теплым по сравнению со средними многолетними данными, хотя отрицательные температуры также отмечались только в декабре (рис. 3). На этот же период приходится и максимальное количество осадков, однако начало прорастания семян и формирования корневой системы пришлось на теплый, но очень сухой октябрь, что привело к существенному стрессу для посевов. Возобновление весенней вегетации пришлось на конец февраля, температура и влажность были оптимальными, но мартовское похолодание и недостаток почвенной влаги снова неблагоприятно сказались на посевах из-за низкой усвояемости растениями минеральных подкормок.

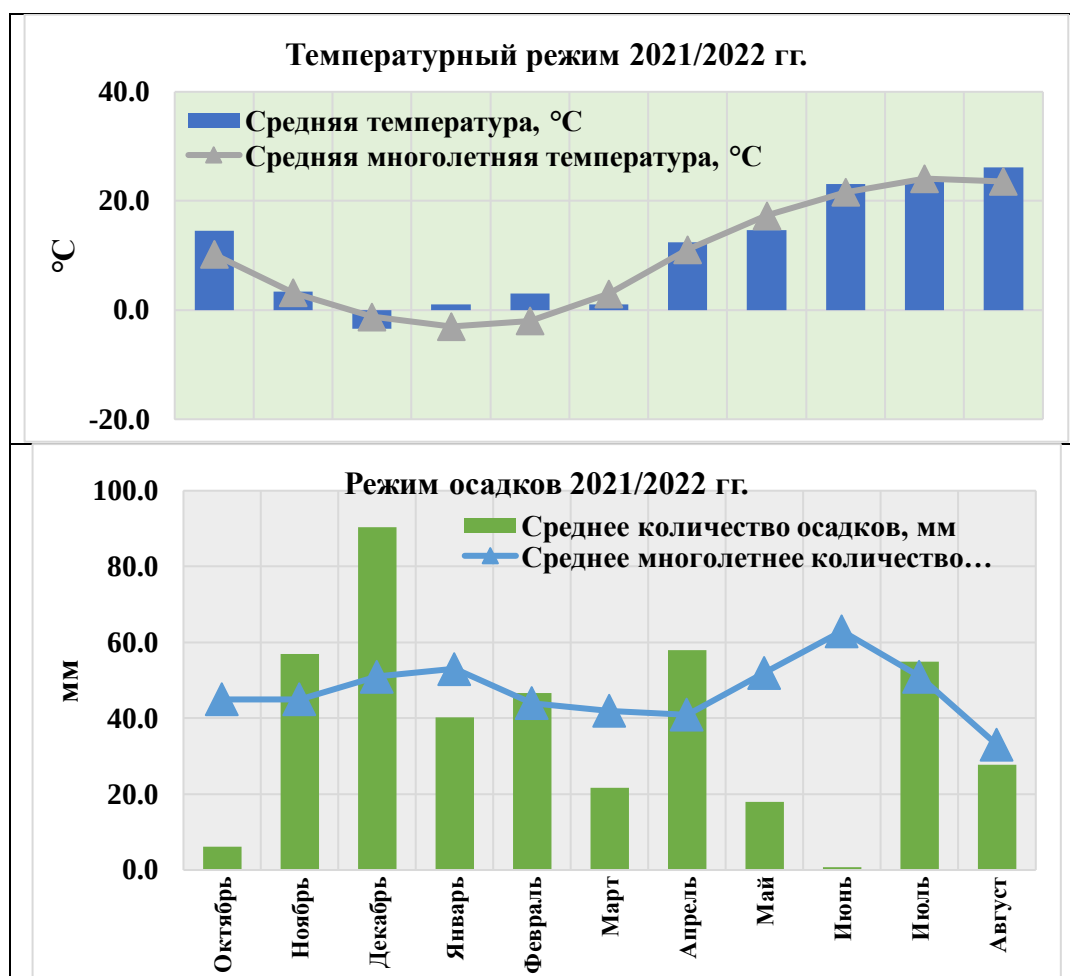


Рисунок 3. Температурно-влажностный режим вегетационного периода 2021–2022 гг.

Таким образом в исследуемые годы погода вегетационного периода заметно различалась, что с точки зрения объективности полученных результатов предпочтительнее. Более благоприятный по своим характеристикам вегетационный период 2020–2021 гг. мог не позволить в полной мере проявить адаптационные свойства гуминовых препаратов. Экстремальные условия 2021–2022 гг. в этом отношении представляют больший интерес.

3 ВЛИЯНИЕ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО И ОЗИМУЮ ПШЕНИЦУ

3.1 Динамика уреазной активности, подвижного азота и реакции среды

По уровню уреазной активности чернозем участка оценивается как бедный (Звягинцев, 1978). Активность уреазы коррелирует с содержанием в почве аммонийного и нитратного азота. Так как эти формы азота в результате микробной деятельности переходят одна в другую, мы оцениваем суммарное содержание аммония и нитратов.

Рассмотрим динамику уреазной активности в вегетационном периоде 2020–2021 гг. (рис. 4, табл. 9 Прил. 1).

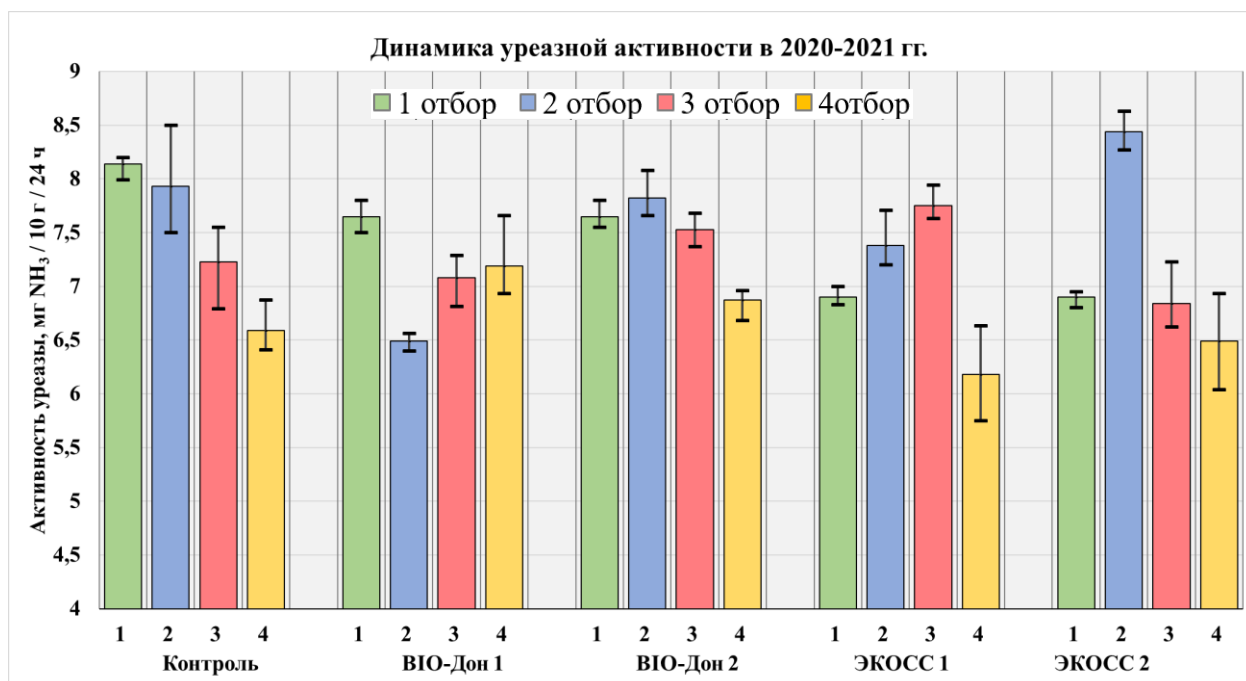


Рисунок 4. Динамика уреазной активности по вариантам опыта в вегетационном периоде 2020–2021 гг.

В течение периода наблюдения было произведено 4 отбора образцов в соответствии со схемой опыта и в надлежащие сроки. Первое, на что стоит обратить внимание, – это разница между вторым и первым отборами по всем вариантам. Так как второй отбор происходил непосредственно перед второй обработкой, а, значит, все варианты опыта, кроме контроля, были обработаны к этому времени всего один раз, поэтому разница в полученных результатах весьма важна. Казалось бы, должны быть схожие тенденции в

вариантах с одинаковым гуминовым препаратом. Для этого показательнее разница между первым и вторым отборами по вариантам (табл. 4).

Таблица 4. Разница активности уреазы между отборами после однократной обработки гуминовыми препаратами по вариантам опыта

2021	Контроль	ВЮ-Дон-1	ВЮ-Дон-2	ЭКОСС-1	ЭКОСС-2
1 отбор	8,14	7,65	7,65	6,90	6,90
2 отбор	7,93	6,49	7,82	7,38	8,44
Δ 2 и 1	-0,21	-1,16	0,17	0,48	1,54

Из таблицы мы видим, что значения на контроле практически не снизились. В варианте с ВЮ-Дон-1 наблюдается снижение активности уреазы, в ВЮ-Дон-2 практически нет прибавки, то есть остается на том же уровне, значит, от применения данного препарата наблюдается тенденция к снижению. На вариантах с обработкой растений ЭКОСС активность фермента увеличивается.

Теперь рассмотрим дальнейшее изменение активности фермента после второго отбора с последующей обработкой и в вариантах, где она больше не применялась. Вариант ВЮ-Дон с однократной обработкой увеличивает активность уреазы к третьему отбору, а затем ее значение можно считать не увеличивающимся. Аналогичный вариант с гуминовым препаратом ЭКОСС увеличивает активность уреазы к третьему отбору, а затем происходит ее снижение к четвертому. В вариантах с двухкратной обработкой ВЮ-Дон и ЭКОСС наблюдается снижение активности уреазы во всех оставшихся отборах, однако с препаратом ВЮ-Дон оно равномерное, а на вариантах с ЭКОСС резкое между вторым и третьим отбором. Общие тенденции вариантов:

- На контроле и варианте ВЮ-Дон-2 – уменьшение активности уреазы;
- На вариантах с ЭКОСС-1 и ЭКОСС-2 – повышение и уменьшение, но пик активности наблюдается в разные отборы;
- ВЮ-Дон-1 характеризуется снижением ко второму отбору и дальнейшее увеличение активности уреазы.

Теперь рассмотрим разницы между отборами среди вариантов опыта (табл. 5). Среднее значение между 1–4 отборами на контроле сходно с вариантом ВЮ-Дон-2, однако, разброс значений на контроле гораздо больше, то есть, активность уреазы в варианте ВЮ-Дон-2 находится примерно на одном уровне, несмотря на то, что есть незначительные увеличения и уменьшения значений. Среднее значение между 1–4 отборами остальных вариантов меньше по сравнению с контролем.

Таблица 5. Разница активности уреазы между началом и окончанием периода вегетации 2020–2021 гг. по вариантам опыта

2021	Контроль	Вю-Дон 1	Вю-Дон 2	ЭКОСС 1	ЭКОСС 2
Среднее значение между отборами (1-4)	7,47	7,10	7,47	7,05	7,17
Разброс, min-max значения	6,59-8,14	6,49-7,65	6,87-7,82	6,18-7,75	6,49-8,44
Разница разброса, Δ	1,55	1,17	0,96	1,58	1,96

Рассматривая разброс значений, сходными представляются варианты контроля и ЭКОСС-1. Оба варианта с ВЮ-Дон меньше этих значений, однако вариант с однократной обработкой отличается более высокой разницей в значениях. Разница значений в варианте ЭКОСС-2 самая большая.

Контроль показывает, как изменяется активность уреазы на протяжении вегетационного периода без какого-либо воздействия в рамках полевого опыта. Фактором изменения активности фермента является применение гуминовых препаратов. Рассматривая значения таблицы, можно увидеть разницу между препаратами по его воздействию на активность фермента уреазы. ВЮ-Дон не показывает такой заметной динамики значений, как варианты с ЭКОСС. При этом в ЭКОСС-1 сохраняется естественная (относительно изучаемого участка) динамика разброса, как у контроля, а в ЭКОСС-2 наблюдаются значительные изменения.

Количество доступного азота в течение вегетационного периода снижается во всех вариантах опыта (рис. 5, табл. 1 Прил. 1). Причем если на момент возобновления вегетации и в фазу кущения после первой обработки гуматами обеспеченность азотом была высокой на всех вариантах, то к 3 и 4 отбору она уменьшилась до градации «очень низкая» (оценка по: Гамзиков, 2018).

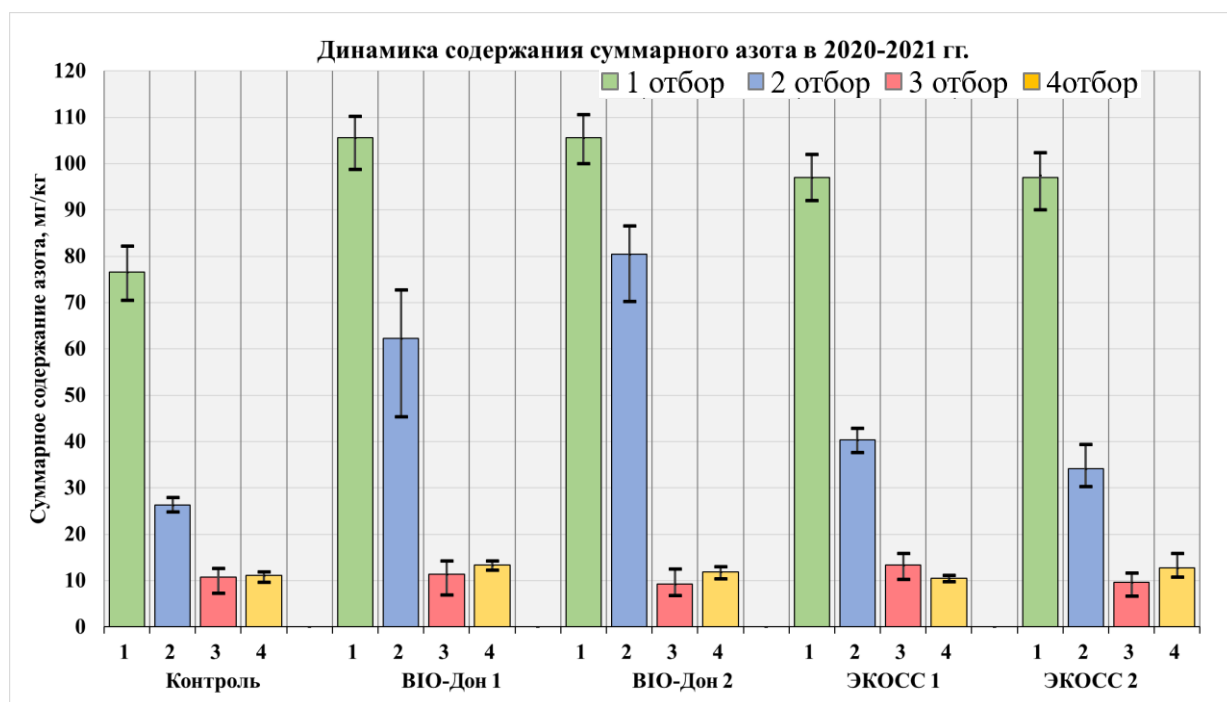


Рисунок 5. Динамика подвижных соединений азота по вариантам опыта в вегетационном периоде 2020–2021 гг.

Однако в большинстве вариантов опыта наблюдается незначительная прибавка на 4 отборе, исключением является вариант ЭКОСС-1, в нем продолжается снижение, такое же незначительное, как и прибавка в других вариантах. Одинаковое проявление тенденции к снижению содержания доступных форм азота говорит об интенсивном поглощении его растениями. Разница между вариантами заключается в интенсивности на различных стадиях его развития.

Рассмотрим каждый вариант снижения их значений.

- На контроле наблюдается уменьшение содержания доступных форм азота ко второму отбору на 65,7%, к третьему отбору тенденция сохранилась и произошло снижение еще на 20,2%;

- В варианте ВЮ-Дон-1 отмечаются аналогичные процессы – и суммарное понижение составило сопоставимую с контролем величину: на 41% в фазу кущения и 48,2% в фазу колошения;
- В варианте ВЮ-Дон-2 картина иная: соответственно по фазам снижение содержания доступных форм азота составило 23,7 и 67,5%;
- На вариантах с препаратом ЭКОСС интенсивность уменьшения содержания подвижного азота примерно похожая: при однократной обработке (ЭКОСС-1) – 58,3 и 27,9%; при двукратной (ЭКОСС-2) – 64,8 и 25,1%.

В целом на первом месте по уменьшению доступного азота в период наблюдений стоит вариант ВЮ-Дон-2 (снижается на 91,2%), затем ЭКОСС-2 (89,9%) и ВЮ-Дон-1 (89,2), а наименьшее снижение наблюдается у ЭКОСС-1 (86,2) и на контроле (85,9%).

Хоть шаг между этими тремя позициями составляет 2–4%, все равно наблюдается зависимость от кратности применения гуминовых препаратов – при двукратной обработке проявляется более интенсивное снижение количества азота. В этом снижении интересен факт, что оно привело к примерно одинаковым значениям в 4 отборе – 10,57–13,40 мг. То есть существует критический уровень, ниже которого количество подвижного азота в данном эксперименте не опускается.

Абсолютное значение снижения показывает, что больше всего азота вынесли растения, обработанные ВЮ-Дон (94,16 и 96,33 мг), немного меньшее его количество вынесли растения на вариантах с ЭКОСС (83,67 и 87,28), а меньше всего – на контроле – 65,79 мг. Такая разница объясняется изначальным количеством азота, как доступным для растений, так и потенциально доступным. В начале вегетационного периода больше всего доступного азота было в вариантах с ВЮ-Дон, а меньше всего на контроле. То есть, чем больше было бы доступного азота, тем больше было бы поглощено растением, тем потенциально выше урожайность.

Между ВЮ-Дон и ЭКОСС есть разница в интенсивности снижения доступного азота. Оба варианта с ВЮ-Дон характеризуются меньшим снижением ко второму отбору и большим к третьему (в варианте с ВЮ-Дон-1 – это 41, 48 и 23%, а ВЮ-Дон-2 – 23,7 и 67,5%). В вариантах с ЭКОСС идет значительное снижение ко второму и небольшое к третьему отбору (ЭКОСС-1 – 58,3 и 27,9%; ЭКОСС-2 – 64,8 и 25,1%). При этом на вариантах с ЭКОСС отмечена идентичная с контролем динамика.

На количество азота влияет активность уреазы. Так в вариантах с контролем наблюдается постоянное снижение активности фермента. В начале вегетационного периода более высокие значения уреазы позволили поглотить больше азота, чем в его конце, когда активность снизилась. В вариантах с ЭКОСС, как уже было упомянуто, наблюдается повышение активности фермента ко второму отбору. Причем двукратная обработка в большей степени повышает активность уреазы, чем однократная, соответственно наблюдается и большее снижение азота в варианте с двукратной обработкой.

У варианта с однократной обработкой ЭКОСС повышение активности уреазы происходит до третьего отбора, однако поглощение азота снижается. Скорей всего это связано с тем, что чем меньше доступного элемента в почве, тем растениям его труднее поглотить. Так что контрольный вариант уменьшает поглощение не только из-за снижения ферментативной активности.

Обработка посевов препаратом ВЮ-Дон способствует снижению активности уреазы ко второму отбору на варианте с однократной обработкой и почти не изменяет ее значения на варианте с двукратной обработкой, при этом колебания активности уреазы во всех отборах маленькие. На варианте с однократной обработкой наблюдается практически одинаковое снижение азота между первым и вторым, и между вторым и третьим отборами, а в варианте с двукратной обработкой – больше азота поглощается между 2 и 3 отборами.

В 2021–2022 году активность уреазы показала одинаковое увеличение на протяжении всего вегетационного периода во всех вариантах опыта (рис. 6, табл. 10 Прил. 1).

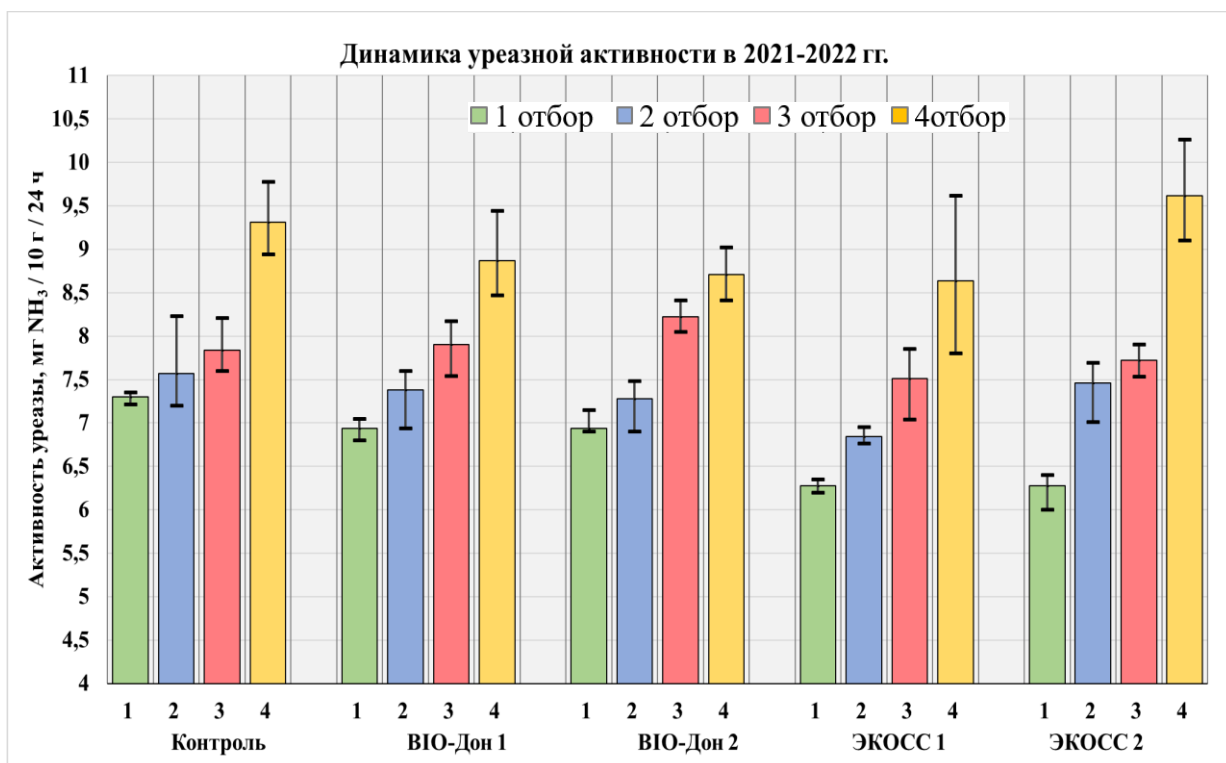


Рисунок 6. Динамика уреазной активности по вариантам опыта в вегетационном периоде 2021–2022 гг.

Поэтому рассматривать разницу между первым и вторым отбором не имеет смысла, но вот разобраться в том, насколько сильно повлияли гуминовые препараты, можно (табл. 6). Самое большое увеличение активности фермента при сравнении результатов 1 и 4 отбора в варианте ЭКОСС-2. Однако мы видим, что активность уреазы в образцах почвы 4 отбора на вариантах ЭКОСС-2 и контроле близки друг другу, но начальные значения различны, и на контроле активность фермента немного выше на начало вегетационного периода. Также активность уреазы на контроле выше, чем во всех остальных вариантах, и ни на одном из них, кроме варианта ЭКОСС-2, активность уреазы не достигла значений контроля по 4 отбору.

Таблица 6. Разница активности уреазы между началом и окончанием периода наблюдения по вариантам опыта

2022 год	Контроль	БИО-Дон-1	БИО-Дон-2	ЭКОСС-1	ЭКОСС-2
Среднее значение по 4 отборам	8,00	7,77	7,79	7,32	7,77
1 отбор	7,30	6,94	6,94	6,28	6,28
4 отбор	9,31	8,87	8,71	8,64	9,62
Δ 4 и 1	2,02	1,94	1,78	2,36	3,34

Самую высокую прибавку активности уреазы дает гуминовый препарат ЭКОСС при двукратной обработке растений. Однократная обработка данным препаратом лишь немного отличается от контроля, в то время как БИО-Дон показал себя как сдерживающий фактор роста активности фермента.

Сравнивая два года опыта, можно заметить, что активность уреазы снизилась к началу второго года исследования по сравнению с началом первого. На контроле это уменьшение составило 10,4%, а во всех остальных вариантах 9,2%. А вот значения уреазы в ее пик активности увеличились: на контроле и в варианте ЭКОСС-2 на 12,4%, в варианте с БИО-Дон-2 и ЭКОСС-1 на 10,2%, а на БИО-Дон-1 на 13,8%. Что касается минимальных значений, то на контроле и БИО-Дон-1 они выросли на 9,7 и 6,4% соответственно. БИО-Дон-2 и ЭКОСС-1 не изменились, а минимальное значение у варианта ЭКОСС-2 немного уменьшилось, на 3,4%.

Засушливый 2022 год характеризуется (по шкале Гамзикова, 2018) низкой обеспеченностью азотом (исключение второй отбор на контроле – средняя обеспеченность) и нелинейным изменением количества доступного азота во всех вариантах опыта. Так, в контрольном варианте наблюдается пик по количеству доступного элемента во втором отборе. Его содержание стремится увеличиться, однако происходит это между первым и вторым отбором, затем резкий спад к третьему и снова накопление к 4 отбору (рис. 7, табл. 2 Прил. 1). При этом уреазная активность первые три отбора слегка повышается, но ее состояние лучше описать как плато, а затем идет резкое увеличение к 4 отбору.

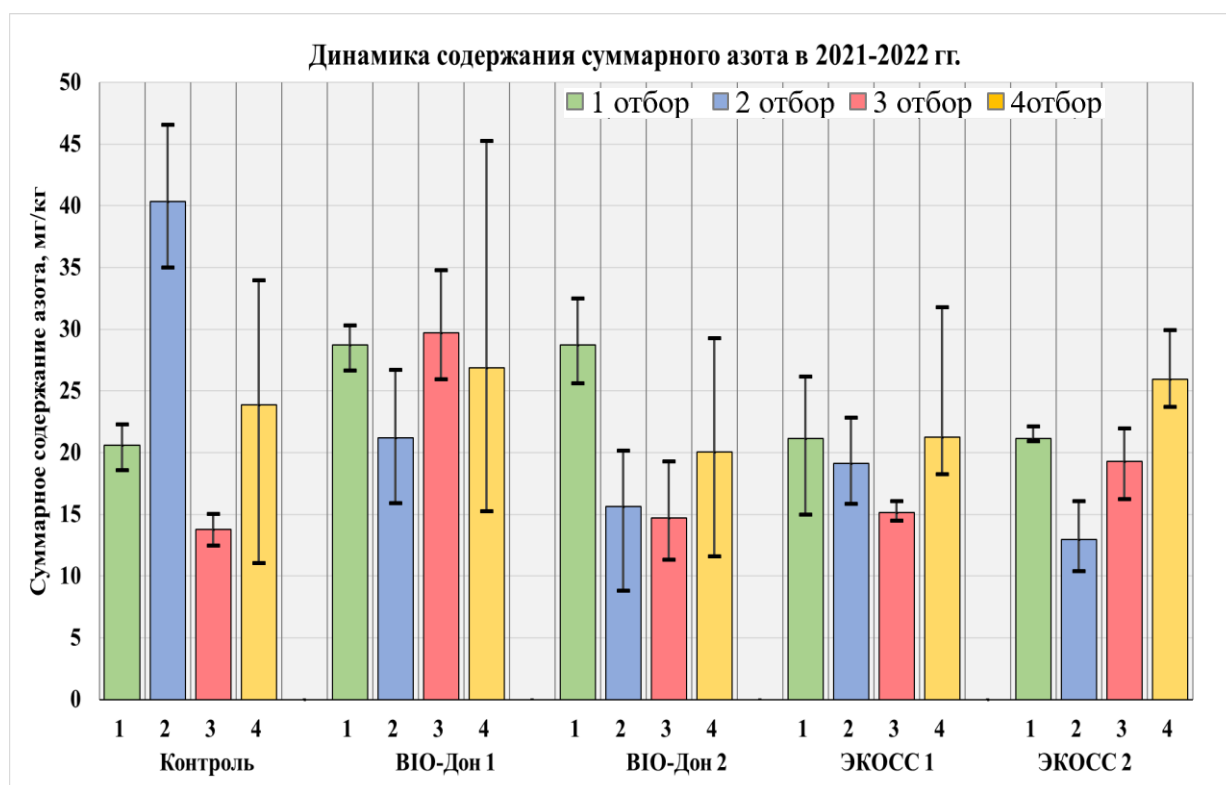


Рисунок 7. Динамика подвижных соединений азота по вариантам опыта в вегетационном периоде 2021–2022 гг.

Сказать, что изменение ее активности повлияло на содержание азота, нельзя, но стоит учитывать и тот факт, что изначальные запасы азота равнялись в 2021 г. 76,58 на контроле, а в 2022 – 20,62 мг/кг. Учитывая, что растениям трудно поглощать азот при его малом содержании, наблюдается прибавка во втором отборе, которая может быть объяснена преобладанием скорости трансформации азота в доступные формы над его поглощением растениями. Для понимания процессов увеличения скорости трансформации стоит рассмотреть изменение показателя рН, с учетом, что оптимальным для уреазы является диапазон 6,5–7 (табл. 7).

Таблица 7. Динамика рН в течение вегетационного периода 2021–2022 гг.

рН	Контроль	БИО-Дон-1	БИО-Дон-2	ЭКОСС-1	ЭКОСС-2
1 отбор	7,42	7,15	7,15	7,29	7,29
2 отбор	6,98	7,26	7,06	7,18	7,32
3 отбор	7,25	6,85	6,85	7,19	7,23
4 отбор	7,10	7,03	7,02	6,82	7,18

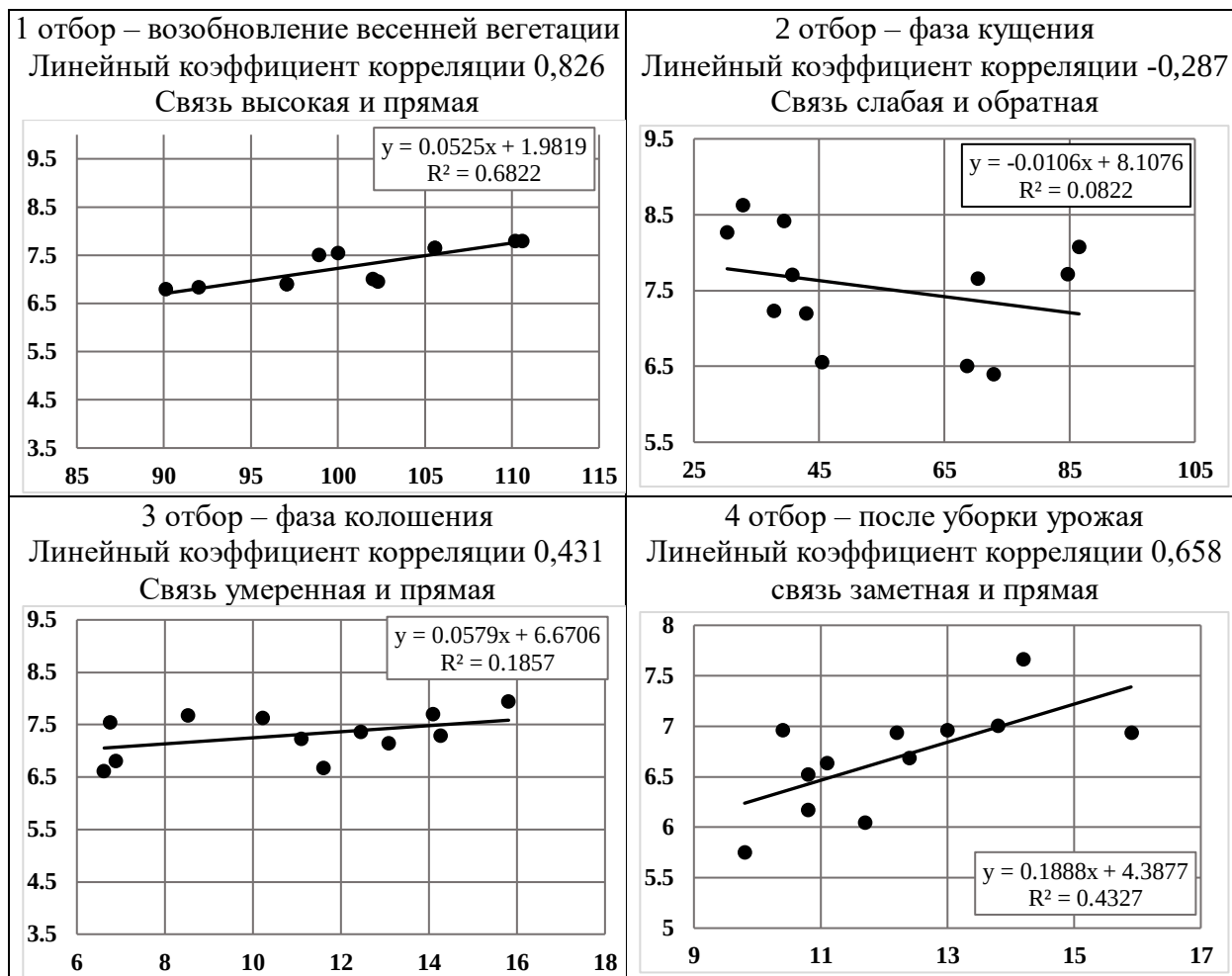
Из таблицы видно, что в варианте с ВЮ-Дон-1 самое высокое значение рН было во второй отбор, что сказалось на количестве азота, его было меньше всего в этом отборе. Затем наблюдалось увеличение его к третьему, где рН был оптимальным.

ВЮ-Дон-2 характеризуется близкими значениями к оптимуму, кроме первого отбора, активность уреазы возрастает на протяжении всего вегетационного периода. Исходя из этих данных можно заранее предположить, что ко второму отбору количество доступного азота станет меньше. Это связано с тем, что почвенные условия по состоянию активности водородных ионов (рН) улучшаются, и активность уреазы увеличивается, а значит и поглощение азота происходит интенсивнее, как и видно на графике. Второй и третий отборы по количеству азота не сильно отличаются, значение рН почвы во втором отборе близко к оптимальному, в третьем отборе – оптимальное, соответственно активность уреазы растет, и наблюдается увеличение содержания доступного азота к четвертому отбору.

Самое большое увеличение активности фермента уреазы в 2022 году наблюдалось в вариантах с ЭКОСС (табл. 7). Эти варианты характеризуются сначала уменьшением количества доступного азота, а затем его увеличением. Разница в числе обработок повлияла на то, в какой период начался рост доступности азота: на вариантах с однократной обработкой листового аппарата растений наблюдается увеличение в образцах третьего отбора, а на вариантах с двукратной обработкой – в образцах второго отбора. На такое распределение оказывает сильное влияние рН. В варианте с ЭКОСС-1 неоптимальные значения рН были в период с первого по третий отбор, влияние этого мы видим в характере уменьшения азота, описанного выше. На вариантах с ЭКОСС-2 в почве были неоптимальные значения рН только в образцах первого и второго отбора. Самыми оптимальными значениями рН почва в вариантах с ЭКОСС характеризовалась в период после уборки (четвертый отбор), в это же время наблюдаются самые высокие величины ферментативной активности, и благодаря сумме этих факторов

увеличивается количество доступного азота. Однако данный факт может быть обусловлен и тем, что потребность растений в этом элементе питания к моменту уборки стремится к минимуму.

В целом прослеживается закономерность: уреазная активность имеет тенденцию к изменению в соответствии с фазами роста растения (рис. 8).



(по оси абсцисс – содержание подвижных соединений азота, мг/кг почвы; по оси ординат – активность уреазы, мг $\text{NH}_3/10 \text{ г}/24 \text{ ч.}$)

Рисунок 8. Корреляция между содержанием подвижных соединений азота и активностью уреазы в разные фазы вегетации озимой пшеницы в течение вегетационного периода 2020–2021 гг.

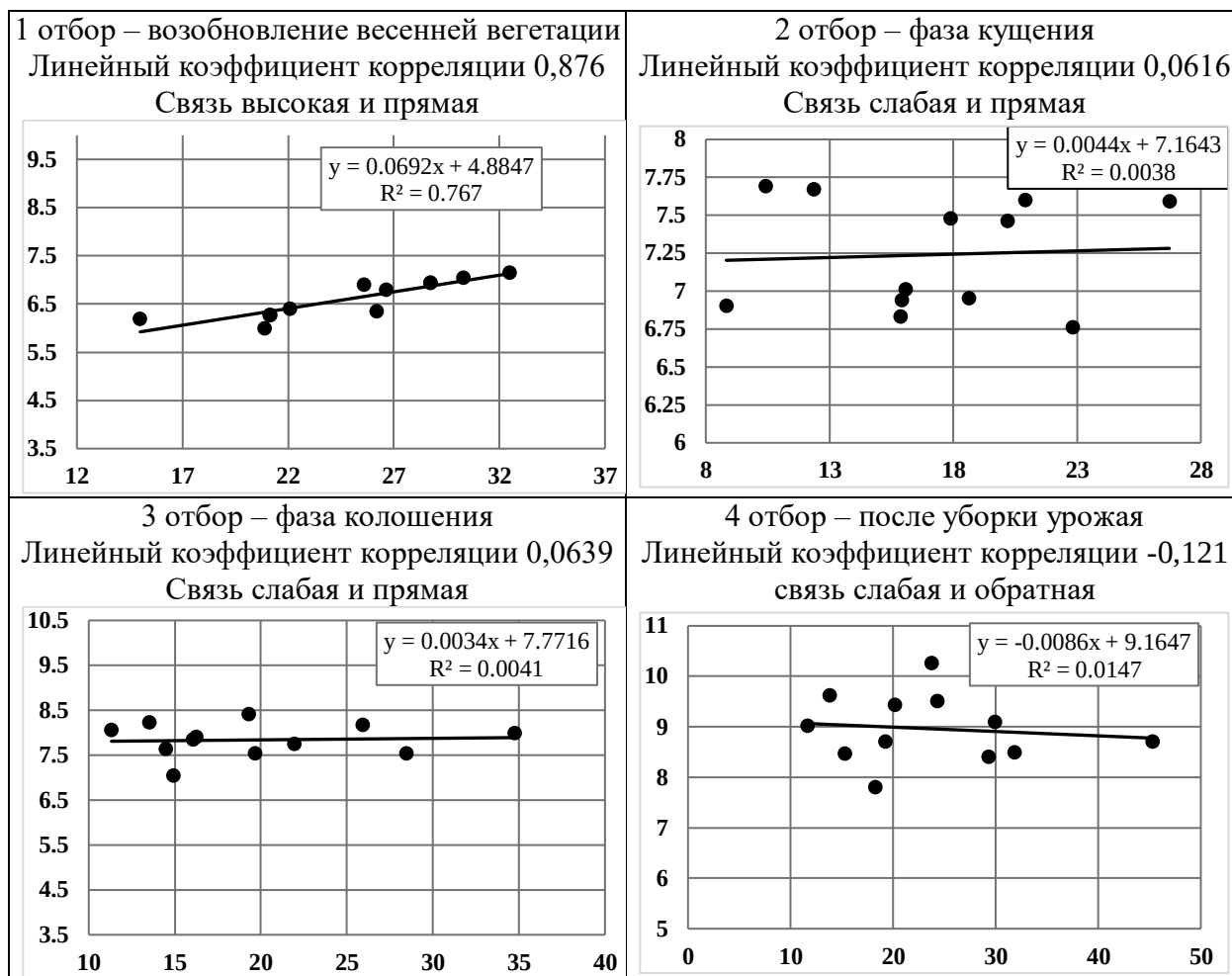
Эту тенденцию можно проследить, обработав результаты с помощью статистических критериев, позволяющих оценить корреляцию между двумя выборками и значимость различий их дисперсий, подчиняющихся нормальному закону распределения (табл. 24–27 Прил. 1), в данном случае активности уреазы и содержания подвижного азота.

Рассматривая 2020–2021 гг. вегетационный период, видно, что в фазу возобновления весенней вегетации связь активности уреазы и подвижных форм азота высокая и прямая: коэффициент корреляции равен 0,826. Уравнение парной линейной регрессии $y = 0.0525 \cdot x + 1.982$ свидетельствует, в исследуемой ситуации 68.22% общей вариабельности Y объясняется изменением X . Статистическая значимость уравнения проверена с помощью коэффициента детерминации и F -критерия Фишера. Установлено, что фактическое значение $F(21,46) > F_{\text{табл}}(4,96)$, следовательно коэффициент детерминации статистически значим, а корреляция достоверна.

После обработки растений гуминовыми препаратами связь становится слабой обратной (в фазу кущения) и умеренной прямой (в фазу колошения), что обусловлено повышенной потребностью растений, обработанных стимуляторами роста и адаптогенами, каковыми являются гуминовые препараты. Отсюда рост ферментативной активности и снижение в корнеобитаемой толще почвы подвижного азота, активно потребляемого растениями, набирающими вегетативную массу в фазу кущения. Статистически данная связь не подтверждается. После уборки урожая корреляция повышается и становится заметной и прямой, так как влияние растений уже не сказывается на характере связи. Величина коэффициента детерминации свидетельствует, что в исследуемой ситуации только 43.27% общей вариабельности Y объясняется изменением X . Проверка с помощью критерия Фишера показала, что фактическое значение $F(7,63) > F_{\text{табл}}(4,96)$, следовательно коэффициент детерминации статистически значим, т.е. найденная оценка уравнения регрессии статистически надежна.

В вегетационный период 2021–2022 гг. корреляционный коэффициент снижается с первого отбора до четвертого (рис. 9). Весной на момент возобновления вегетации связь между изучаемыми параметрами характеризуется как высокая и прямая ($R=0,876$) при ее высокой надежности. Об последнем свидетельствует как коэффициент детерминации, подтвердивший, что в исследуемой ситуации 76.7% общей вариабельности Y

объясняется изменением X , так и фактическое значение критерия Фишера – 32,92. Во все последующие отборы связь характеризовалась как слабая. Как было рассмотрено выше, погодные условия в фазы кущения и колошения были заметно менее благоприятными, чем в предыдущие годы.



(по оси абсцисс – содержание подвижных соединений азота, мг/кг почвы; по оси ординат – активность уреазы, мг $NH_3/10$ г/24 ч.)

Рисунок 9. Корреляция между содержанием подвижных соединений азота и активностью уреазы в разные фазы вегетации озимой пшеницы в течение вегетационного периода 2021–2022 гг.

Недостаток влаги не позволил сформировать такой высокий урожай как в 2021 году, соответственно и потребление элементов питания было более низким, что очень хорошо прослеживается на корреляционных графиках. При благоприятном увлажнении связь между активностью уреазы и содержанием подвижного азота прослеживается четко, а вот далее, после первой обработки гуматами, она осталась прямой, но стала заметно слабее ($R=0,0616$), причем надежность связи не подтверждается статистически.

После второй обработки ситуация практически не изменилась, так как если в мае количество осадков было более чем в два раза ниже среднееголетнего уровня, то в июне их не было совсем. Естественно, что потребление азота (как и других элементов) резко снизилось. Отсюда и отмеченные закономерности.

3.2 Динамика фосфатазной активности и подвижного фосфора

По активности фосфатазы почва среднеобогатенная. Активность фосфатазы находится в обратной зависимости от содержания подвижных фосфатов, в благоприятных температурно-влажностных условиях при дефиците доступного фосфора начинаются процессы иммобилизации его из органических соединений.

Активность фосфатазы в 2021 году увеличивается в черноземе обыкновенном карбонатном под озимой пшеницей во всех вариантах опыта между первым и третьим отборами почвы (возобновление вегетации весной – колошение) (рис. 10, табл. 11 Прил. 1). После уборки урожая ее активность уменьшается на контроле и с в вариантах, где применялись обработки препаратами ЭКОСС и ВЮ-Дон. Возрастание активности фермента в первых трех отборах говорит об увеличенной потребности растений в фосфоре, что связано с активным формированием урожая и снижением количества доступного фосфора в почве.

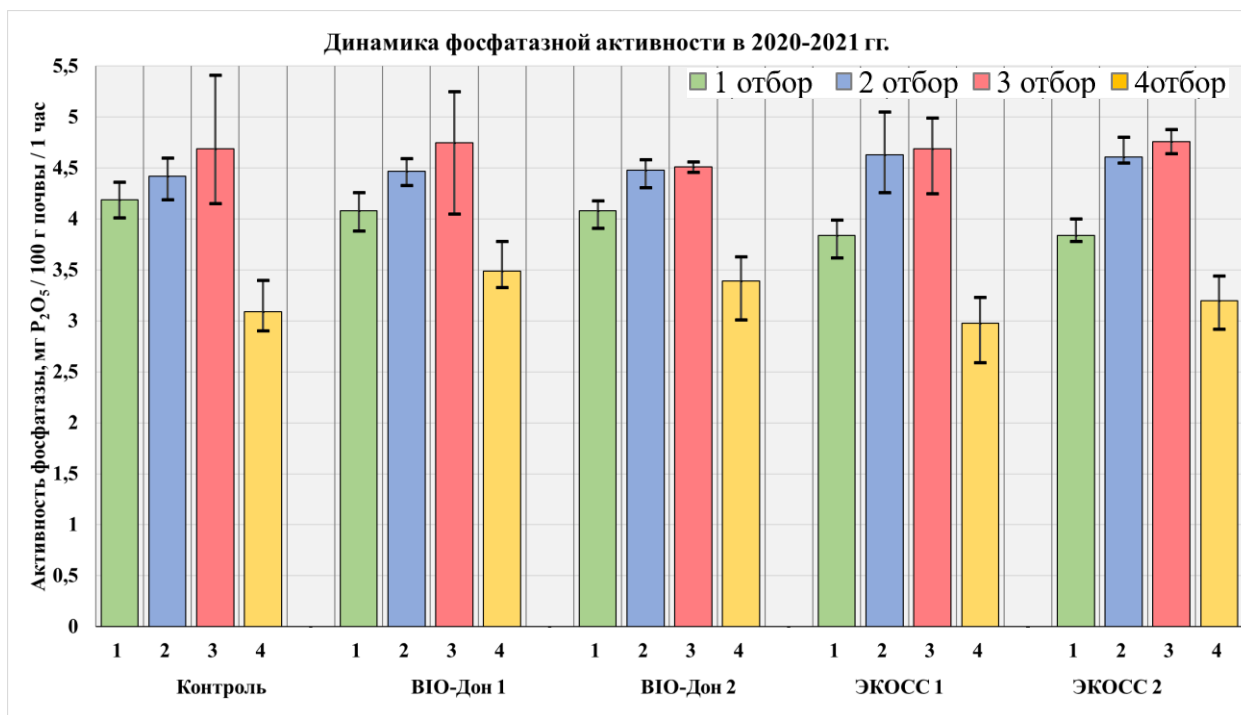


Рисунок 10. Динамика фосфатазной активности по вариантам опыта в вегетационном периоде 2020–2021 гг.

Распределение подвижного фосфора не имеет, на первый взгляд, взаимосвязи с активностью фермента, так как как высокое содержание фосфора на всех вариантах отмечено только в образцах 2 отбора, а пик активности фосфатазы наблюдается в 3 отборе, когда содержание фосфора снижается до повышенного на вариантах с ЭКОСС и среднего на вариантах с БИО-Дон (рис. 11, табл. 3 Прил. 1). Однако этот факт можно связать со сложившимися погодными условиями. Наблюдались сильные дожди: дважды после второго отбора и столько же после третьего – это и повлияло на вымывание фосфора в подпахотный горизонт. При этом в промежуток между первым и вторым отбором осадков выпало 18,4 мм, большая часть которых пришлась на один день, все остальные дни были засушливыми, так что накопление доступного фосфора в пахотном горизонте объяснимо, но поглощение его растениями снижено из-за невозможности перевода его в почвенный раствор. После того, как прошли осадки, часть фосфора перешла в почвенный раствор и поглотилась растениями, вследствие чего образовался дефицит доступных фосфатов, из-за чего фосфатазная активность не

уменьшилась, а в некоторых вариантах даже увеличилась на статистически значимую величину.

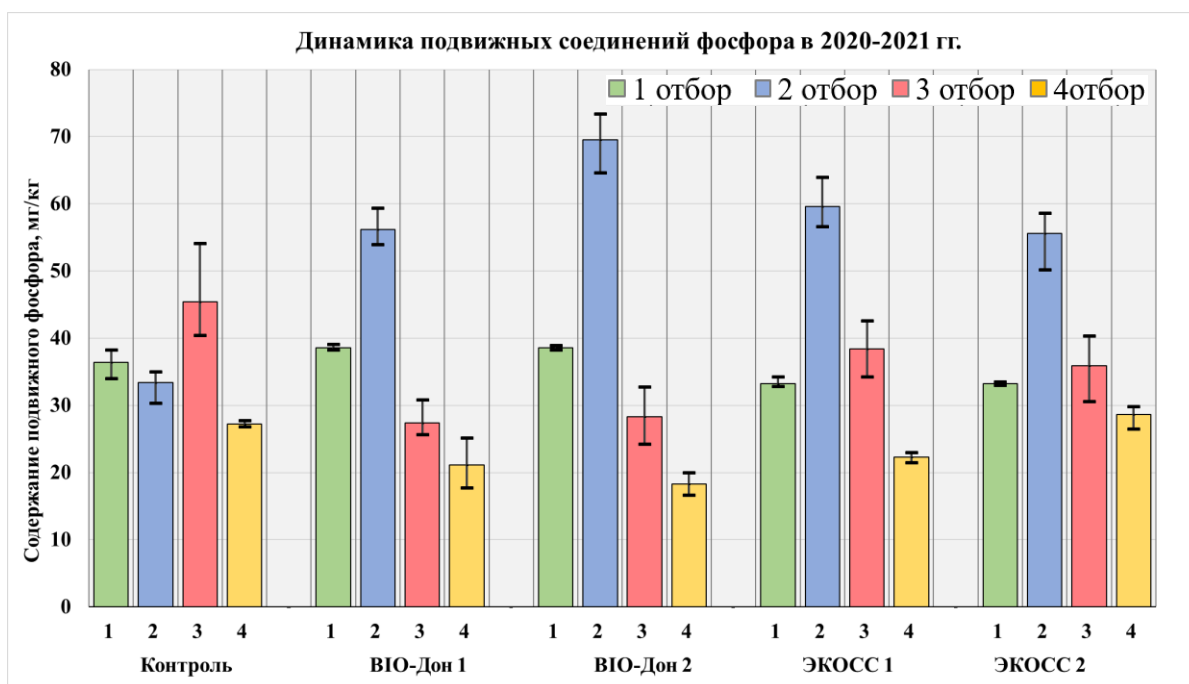


Рисунок 11. Динамика подвижных соединений фосфора по вариантам опыта в вегетационном периоде 2020–2021 гг.

Что касается различий во влиянии гуминовых препаратов на активность фосфатазы, то она отчетливо видна. На контроле активность на протяжении всего исследуемого периода увеличилась на 5,59%, в вариантах с БИО-Дон-1 и БИО-Дон-2 на 9,82 и 9,59% соответственно, а с применением ЭКОСС-1 и ЭКОСС-2 – на 20,64 и 20,23%.

Количество обработок также повлияло на фосфатазу. Во всех вариантах с однократной обработкой активность фермента между кущением и колошением (вторым и третьим отборами) не изменилась, а вот после второй обработки на варианте с препаратом БИО-Дон активность фосфатазы увеличилась на 6%, а на варианте с препаратом ЭКОСС – на 3,1%.

В четвертом отборе, сразу после уборки урожая, когда активность фермента снижается, в вариантах с препаратом ЭКОСС и на контроле наблюдается снижение активности фосфатазы на 32,9–36,4%, в то время как в вариантах с препаратом БИО-Дон уменьшение находится в диапазоне 24,8–26,5%.

Также стоит обратить внимание на общую картину после применения лишь одной обработки (когда все варианты с гуминовыми препаратами были в одинаковых условиях). Активность фосфатазы увеличилась на 8,9% на вариантах с ВЮ-Дон, и на 17% – на вариантах с ЭКОСС.

Активность фосфатазы в 2022 году отличается, прежде всего, тем, что максимальные значения она показывает в фазу кущения (второй отбор) во всех вариантах опыта, а затем наблюдается снижение ее активности до средних значений (по шкале Звягинцева, 1978) и выход на плато (рис. 12, табл. 12 Прил. 1).

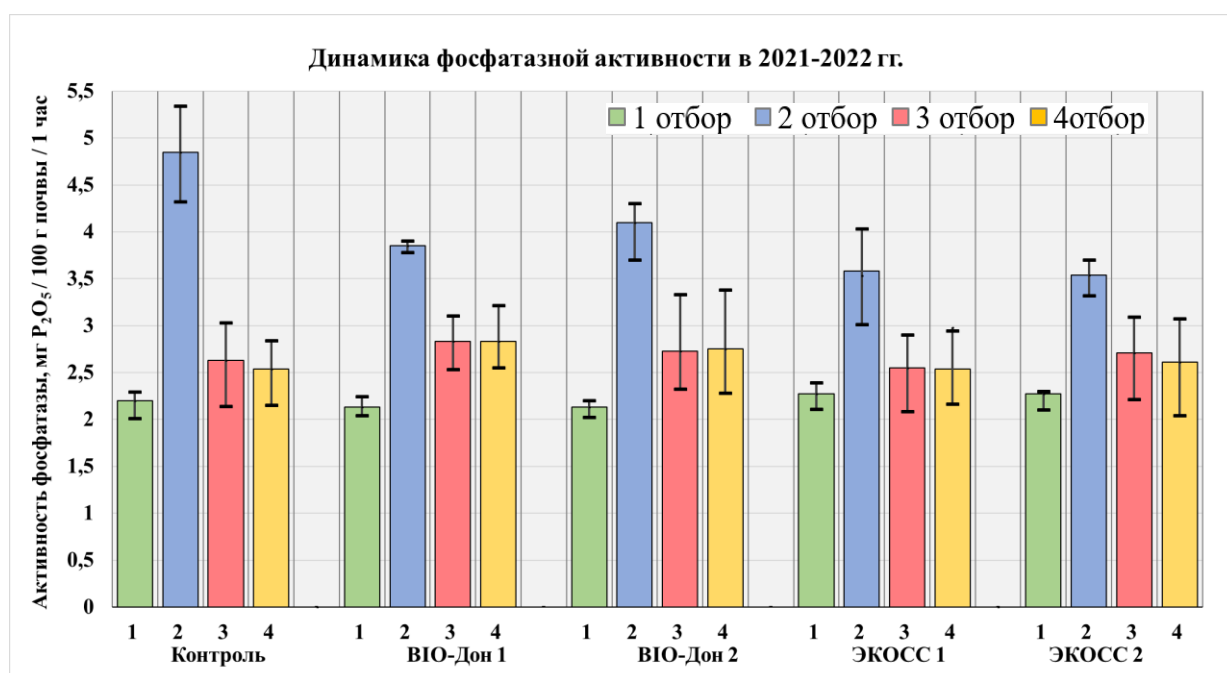


Рисунок 12. Динамика фосфатазной активности по вариантам опыта в вегетационном периоде 2021–2022 гг.

Увеличение активности фосфатазы повлияло на скорость поглощения фосфора растениями (рис. 13, табл. 4 Прил. 1). Во втором отборе она значительно увеличилась, сопряженно уменьшилось количество доступного фосфора, что обусловлено как растущими потребностями растений, так и его усиленным потреблением растениями, получившими стимулирующую поддержку гуматами – на вариантах с гуматами уменьшение выражено сильнее. К третьему отбору наблюдается как снижение фосфатазной активности, так и продолжение уменьшения количества подвижного фосфора, что связано с отсутствием осадков в этот период. После уборки, к

четвертому отбору, содержание фосфора несколько увеличилось, но осталось в той же градации.

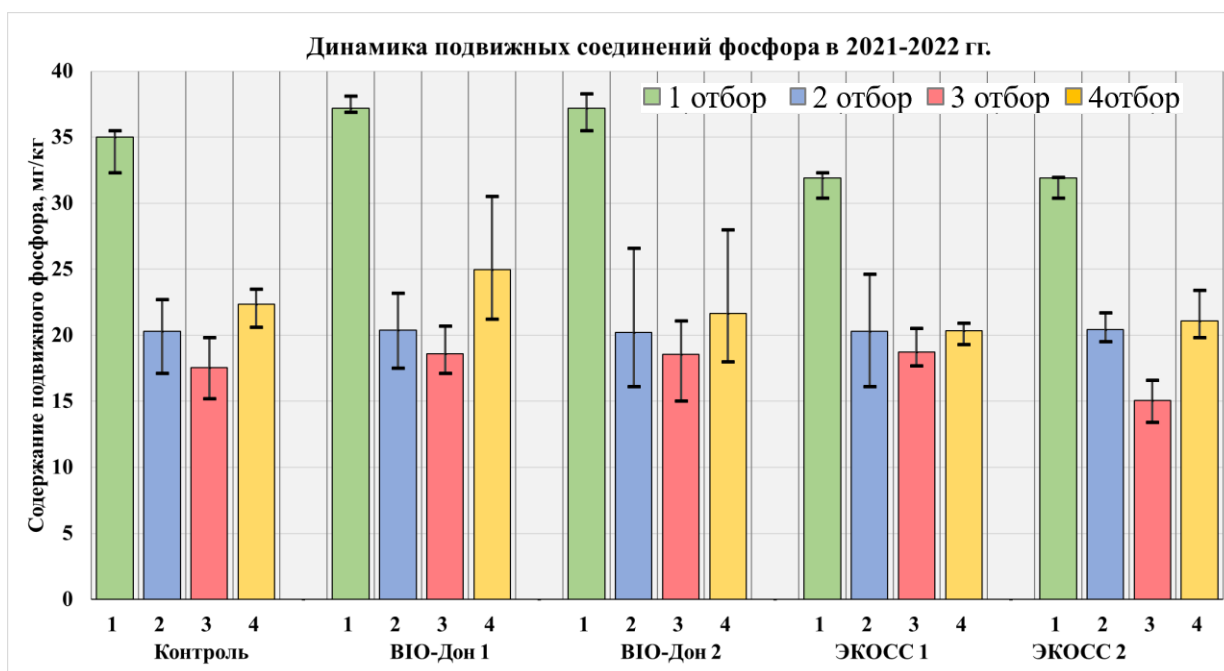
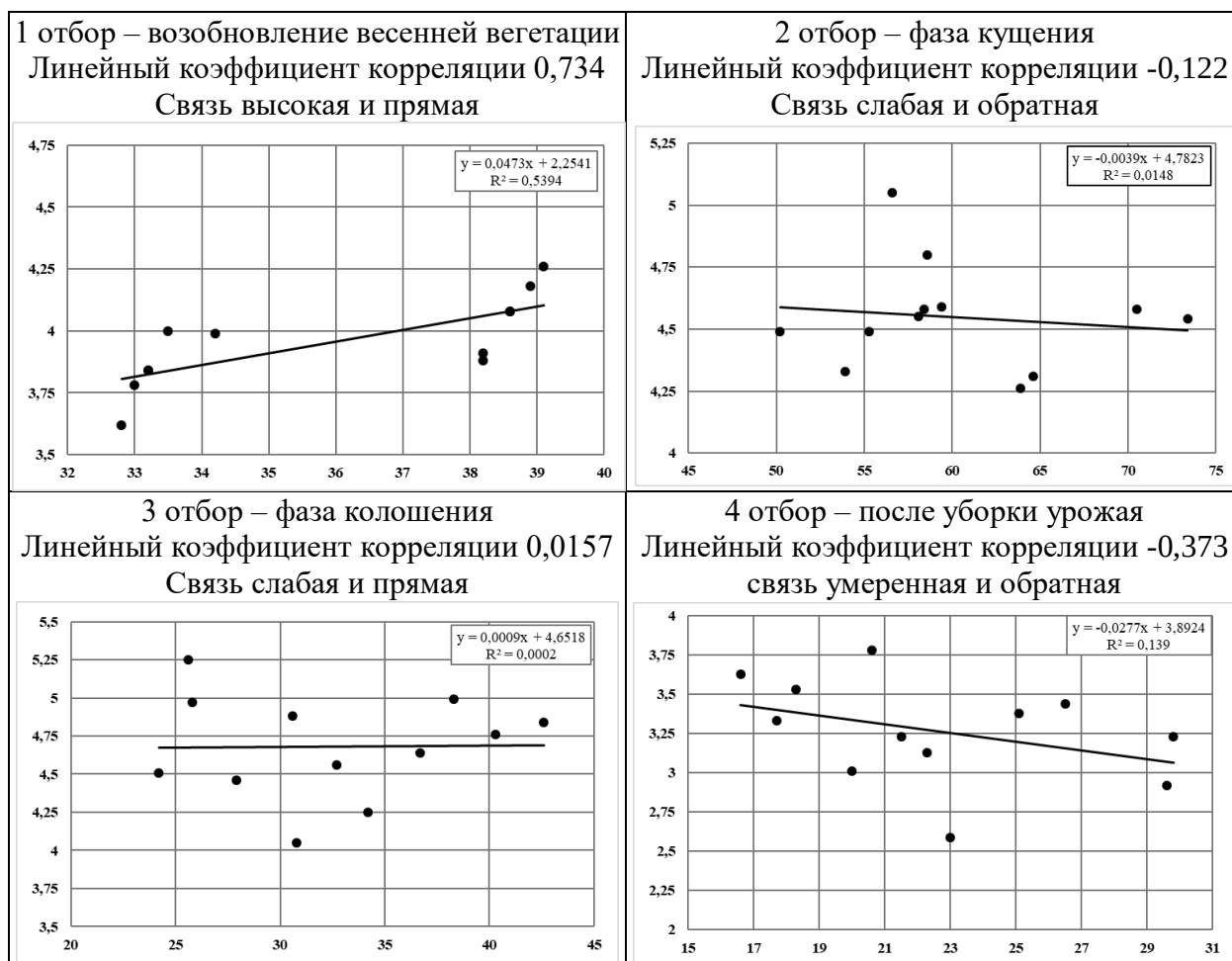


Рисунок 13. Динамика подвижных соединений фосфора по вариантам опыта в вегетационном периоде 2021–2022 гг.

В апреле 2022 года осадков выпало больше среднего многолетнего количества, из-за этого потребность в фосфоре активно развивающихся растений возросла, и его количество в пахотном слое снизилось. С этим связано усиление активности фосфатазы на 120% на контроле. В вариантах с гуматами происходит не такое большое увеличение активности этого фермента: у БИО-Дон-1 и БИО-Дон-2 на 80 и 92%, а ЭКОСС-1 и ЭКОСС-2 – на 57,8 и 56%. Количественные значения фосфора находятся в критическом минимуме, так как растения, простимулированные гуминовыми препаратами, активно поглощают элементы питания, и трансформация прочносвязанных соединений фосфора не успевает за возросшим потреблением этого элемента питания.

Обработка данных, подчиняющихся нормальному закону распределения (табл. 28-31 Прил. 1), с применением статистических критериев, также показала, что характер и значимость связи между фосфатазой и количеством подвижного фосфора в корнеобитаемом слое в

значительной степени определяется фазой растения (рис. 14, 15), а также зависит от погодных условий года.



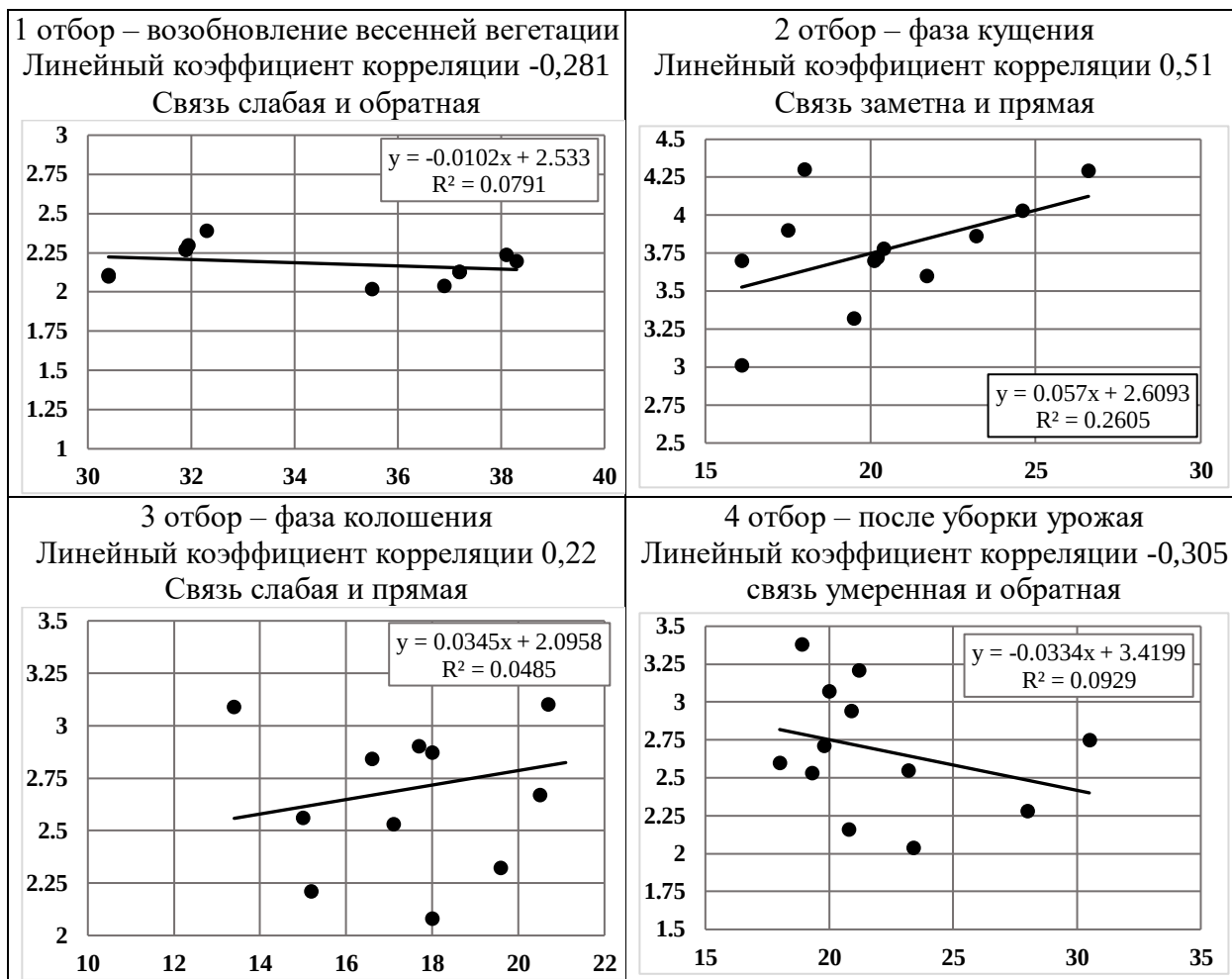
(по оси абсцисс – содержание подвижных соединений фосфора, мг/кг почвы; по оси ординат – активность фосфатазы, мг P_2O_5 / 100 г почвы за 1 час)

Рисунок 14. Корреляция между содержанием подвижных соединений фосфора и активностью фосфатазы в разные фазы вегетации озимой пшеницы в течение вегетационного периода 2020–2021 гг.

В 2021 году, как и в случае с парой «уреза – подвижный азот», на момент возобновления весенней вегетации отмечается наличие высокой прямой связи между активностью фосфатазы и количеством доступного фосфора ($R=0,734$). Линейное уравнение регрессии имеет вид $y = 0.0473 \cdot x + 2.254$, коэффициент детерминации равен 0,5394, иными словами, в 53,94% случаев изменения x приводят к изменению y . Фактическое значение критерия Фишера равно 11,71, что значительно выше табличной величины, следовательно, коэффициент детерминации статистически значим (найденная оценка уравнения регрессии статистически надежна).

Однако после первой же обработки растений гуминовыми препаратами связь приобретает обратный характер и становится слабой. Причина та же: простимулированные растения озимой пшеницы начинают более активно поглощать элементы питания, в том числе и фосфор. И хотя фосфатазная активность также растет, но поглощение фосфора опережает его мобилизацию. В фазу колошения (после второй обработки гуматами) связь становится снова прямой, но остается слабой, так как хотя активность фосфатазы выросла, но и потребность в фосфоре в этот период также растет, как следствие его содержание в почве снижается. После уборки картина повторяется: влияние растений на характер взаимосвязи фермента и элементом питания устранено, и сила связи возрастает ($R=-0,373$ – умеренная обратная связь), но статистическая надежность ее низкая.

В 2022 году в условиях гораздо менее благоприятных для развития растений влияние гуминовых препаратов на развитие растений и характер взаимосвязи между фосфором и активностью фосфатазы проявился более ярко (рис. 15). В период активной вегетации растений озимой пшеницы коэффициент корреляции растет, связь прямая от слабой до заметной, причем чем выше потребность в фосфоре (фаза колошения), тем выше коэффициент корреляции ($R=0,51$). Уравнение регрессии в этот период имело вид $y = 0.05696 x + 2.6093$, коэффициент детерминации равнялся 0,26, а расчетное значение критерия Фишера оказалось ниже табличного значения, следовательно, коэффициент детерминации статистически не значим, оценка уравнения регрессии статистически не надежна.



(по оси абсцисс – содержание подвижных соединений фосфора, мг/кг почвы; по оси ординат – активность фосфатазы, мг P_2O_5 / 100 г почвы за 1 час)

Рисунок 15. Корреляция между содержанием подвижных соединений фосфора и активностью фосфатазы в разные фазы вегетации озимой пшеницы в течение вегетационного периода 2021–2022 гг.

Недостаток доступного фосфора в исследуемых черноземах обыкновенных – известное явление, обусловленное наличием карбонатов в почве. Неблагоприятные погодные условия (недостаток влаги) усугубляют эту ситуацию, так как гидрокарбонат кальция, обычно вымытый на глубину 45–50 см, в сухую погоду поднимается по капиллярам вверх, и почва начинает вскипать с поверхности. При этом доступность фосфорных соединений снижается. Поэтому даже при оптимальном содержании подвижного фосфора в почве недостаток влаги вызывает повышение активности почвенной фосфатазы, находящейся в обратной зависимости от уровня обеспеченности растений фосфором, что мы наблюдали в 2021 году.

В 2022 году, когда обеспеченность влагой была гораздо хуже, этот процесс проявился более наглядно. Обработка растений гуминовыми препаратами увеличивает активность фосфатазы и поступление фосфора в растения. Исследования М. Н. Дубининой (2022) показали, что после обработки растений гуминовыми препаратами наблюдается снижение в почве содержания всех форм минеральных фосфатов, и прежде всего фосфатов, связанных со щелочными металлами и аммонием, гидрофосфатов и частично фосфатов кальция и магния. Более того, уменьшается даже содержание фосфатов, представленных разноосновными соединениями с алюминием и железом, представляющих собой запасы минерального фосфора. Эти данные свидетельствуют, что потребность растений в фосфоре активно восполняется за счет его труднодоступных соединений. И сопряженный рост активности фосфатазы вскрывает механизм этого процесса и свидетельствует и возможности регулировать высвобождение фосфора путем обработки растений физиологически активными гуминовыми препаратами.

3.3 Динамика гумуса

Количество гумуса – интегральный показатель плодородия почв, поэтому его содержание подлежит обязательному контролю, особенно в неблагоприятные по погодным условиям годы, каким был 2022. Хотя и 2021 год тоже не полностью соответствовал средним многолетним показателям, но все же обеспеченность влагой была лучше, поэтому рассмотрим сначала динамику содержания гумуса именно в этот вегетационный год, как более типичный для условий Северного Приазовья (рис. 16, табл. 5 Прил. 1). Из рисунка видно, как общая закономерность свидетельствует о снижении содержания гумуса в почве к фазе наиболее активного поглощения элементов питания – колошения. Практически на всех вариантах содержание гумуса к третьему отбору – минимальное. Повлияли на динамику гумуса и гуминовые препараты. На контроле происходит достоверное уменьшение (табл. 5 Прил.

1) значений его содержания вплоть до третьего отбора – на 4 относительных процента.

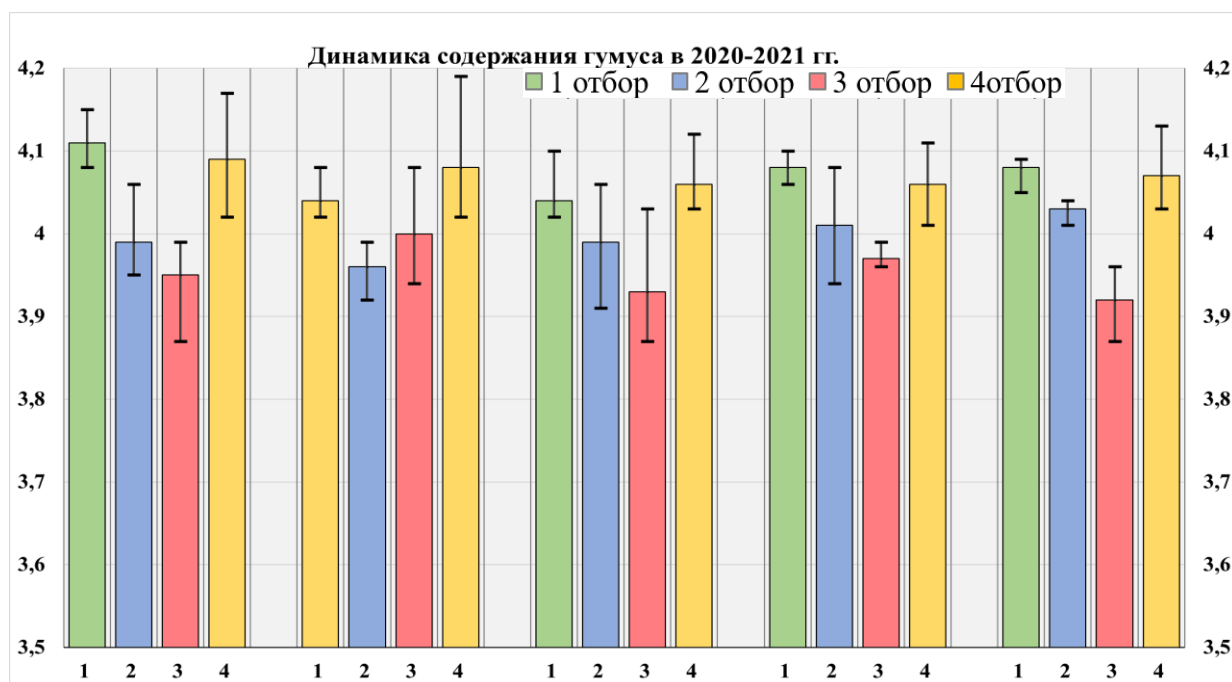


Рисунок 16. Динамика гумуса по вариантам опыта в вегетационном периоде 2020–2021 гг.

Такое же уменьшение наблюдается в вариантах с ВЮ-Дон-2, ЭКОСС-1 и ЭКОСС-2: на 3,1, 2,7 и 4% соответственно. Вариант с применением ВЮ-Дон с однократной обработкой достоверно снижает гумус до второго отбора на 1,9%. Таким образом мы видим, что гуминовый препарат ВЮ-Дон сдерживает снижение гумуса, особенно сильно это проявляется в варианте с ВЮ-Дон-1. С препаратом ЭКОСС тоже есть разница между обработками, с однократной снижение меньше, чем с двукратной. Еще одной особенностью между количеством обработок это то, что независимо от гуминового препарата, снижение с однократной обработкой происходит до 3,97, а двукратной до 3,92%.

К уборке урожая (четвертый отбор) происходит прибавка количества гумуса во всех вариантах. На контрольном варианте прибавка составила 2,7%, схожие значения показывают варианты с двукратными обработками: ВЮ-Дон на 2,9%, ЭКОСС на 3,0% – при этом однократная обработка увеличила количество гумуса всего на 1,9 и 1,3% соответственно.

Происходит это увеличение, вероятнее всего, за счет корневых выделений. Как было показано Ю. В. Хомяковым (2009), интенсивность корневых выделений и их состав в значительной степени определяются не только видовой и сортовой спецификой растений, но и фазой развития, а также внешними воздействиями на растения, к каковым можно смело относить и обработку посевов гуминовыми препаратами.

В 2022 году неблагоприятные погодные условия способствовали проявлению гуминовыми препаратами своих адаптогенных и стресс-протекторных свойств.

Сравнивая данные на контрольных вариантах за два года (рис. 17, табл. 5, 6 Прил. 1), можно обнаружить, что к 2022 году произошло накопление гумуса к первому отбору, по значениям немного большего чем в прошлом году на 1,7%. Также высокие значения сохраняются на протяжении первых двух отборов. Общее уменьшение гумуса в этом году за весь вегетационный период составило 4,94%, что выше, чем в 2021 к третьему отбору (после чего было его увеличение, но в 2022 году такого не происходит).

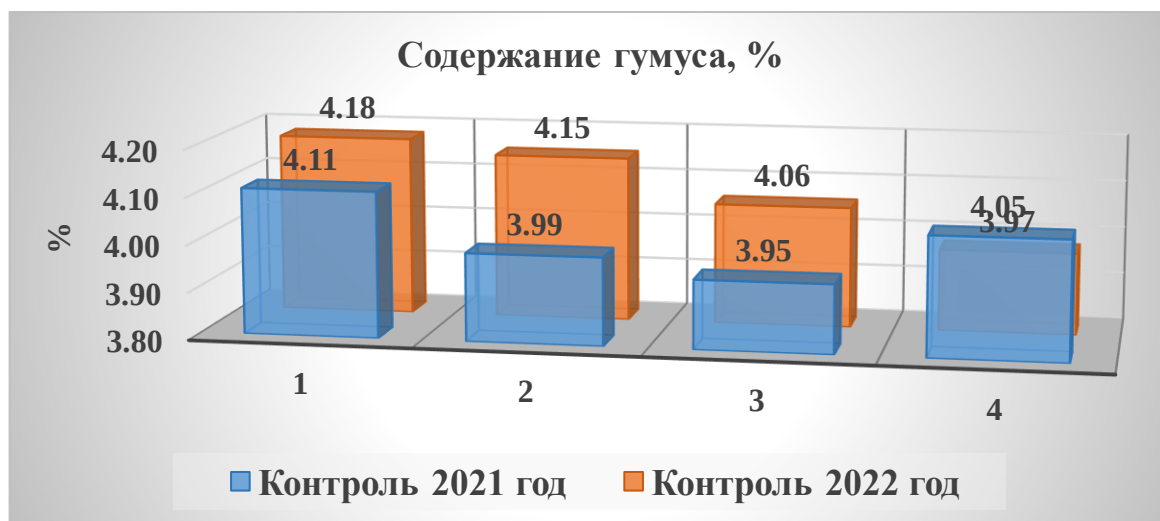


Рисунок 17. Динамика гумуса в черноземе обыкновенном карбонатном на контрольном варианте в вегетационных периодах 2020–2021 и 2021–2022 гг.

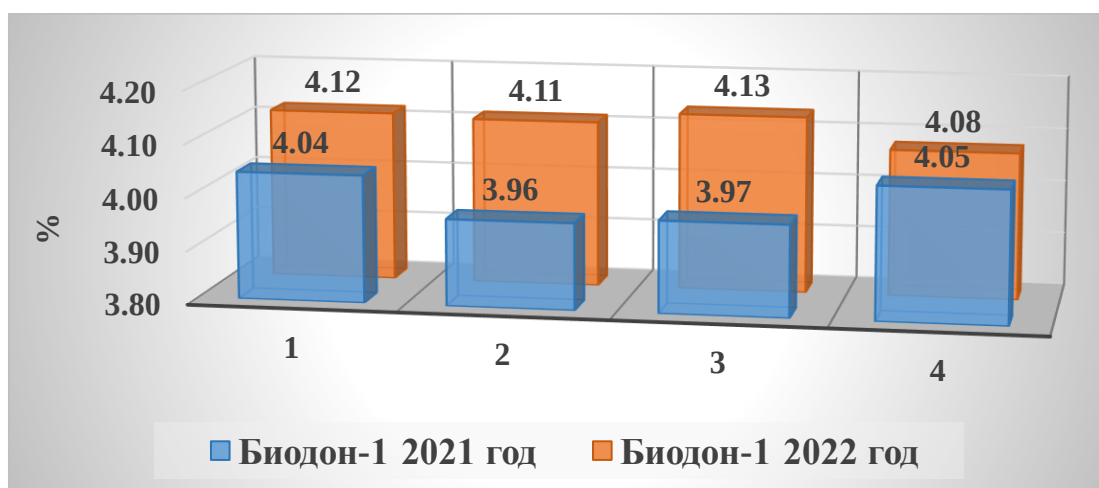
Можно заметить, как динамика гумуса изменялась на контроле, учитывая полученные результаты по фосфатазе и подвижному фосфору.

- Фосфатаза 2021 года описывалась, как увеличивающая свои значения к третьему отбору, а затем их снижает;

- Фосфатаза 2022 года – это снижение активности фермента практически в два раза, особенно в первом отборе, и она характеризуется пиковым значением сходным с 2021 годом лишь на втором отборе;

- Доступного фосфора в 2021 году было достаточно в сравнении с 2022 годом, где наблюдалась острая нехватка, начиная со второго отбора.

Таким образом, содержание гумуса в 2021 году уменьшается из-за поглощения растениями не только доступного фосфора в почвенном растворе, но и фосфора из гумуса (однако после уборки содержание гумуса возвращается к прежнему уровню). Ситуация с гумусом в 2022 году складывается неудачно из-за недостатка осадков в течение вегетационного периода, и наблюдается постоянное уменьшение его количества. Высокие значения гумуса в первых двух отборах говорят, что фосфора в почве было достаточно и он не потреблялся из гумуса, собственно, во втором отборе и наблюдается пик фосфатазной активности после чего она уменьшается, доступного фосфора в почве не хватает, и начинается его поглощение из гумуса (рис. 18, табл. 5, 6 Прил. 1). Сравним влияние гуминового препарата ВЮ-Дон на динамику гумуса. Применение данного препарата, полученного щелочной экстракцией и имеющего целлюлозоразрушающие свойства, предотвращает снижение уровня гумусированности почвы.



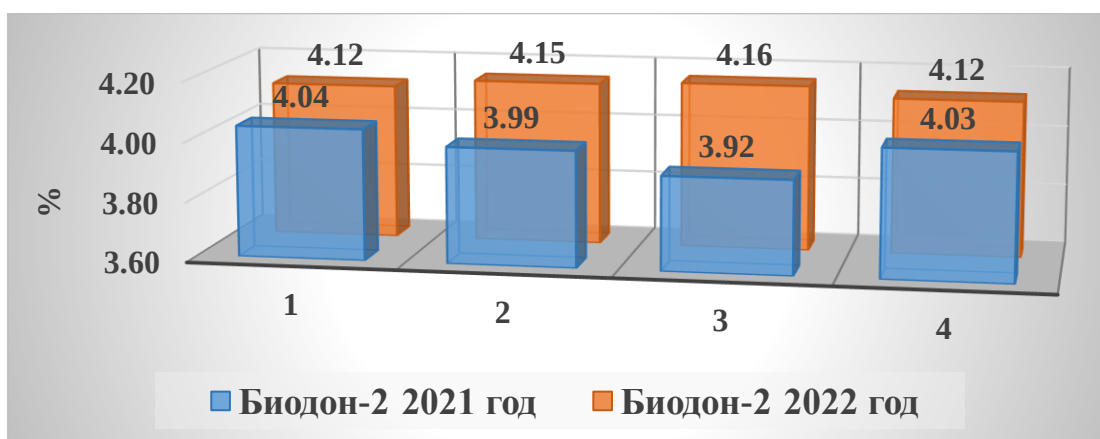
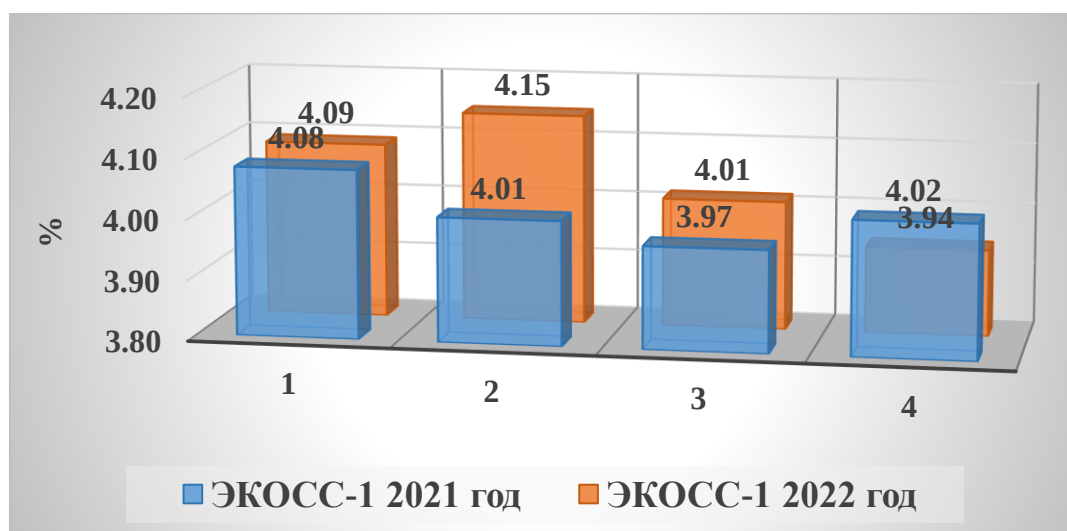


Рисунок 18. Динамика гумуса по вариантам ВЮ-Дон-1 и -2 в вегетационных периодах 2020–2021 и 2021–2022 гг.

При двукратной обработке наблюдается также и небольшое увеличение к третьему отбору. Гуминовый препарат ЭКОСС в 2022 году проявляет сходные защитные функции по отношению к гумусу, однако последствия не такие устойчивые и пролонгированные (рис. 19, табл. 5, 6 Прил. 1). При однократной обработке данным препаратом наблюдается увеличение количества гумуса ко второму отбору, но дальше количество гумуса снижается, как и на контроле, без повышения к четвертому отбору, как это было в 2021 г. Двукратная обработка помогла поддержать гумусное состояние на одном уровне до третьего отбора, а затем произошло довольно заметное снижение на 3,6 относительных процента к четвертому сроку отбора (уборка).



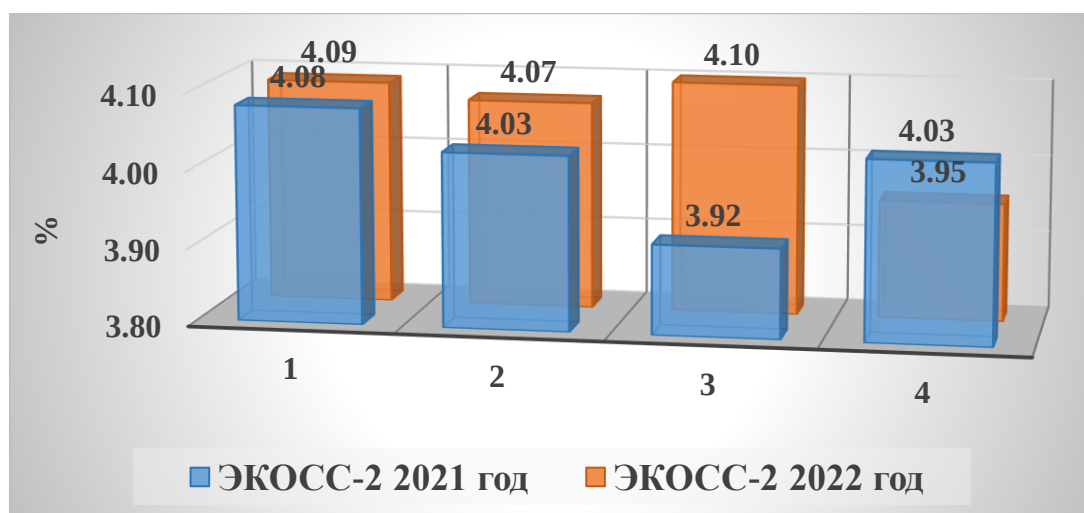


Рисунок 19. Динамика гумуса по вариантам ЭКОСС-1 и -2 в вегетационных периодах 2020–2021 и 2021–2022 гг.

3.4 Динамика каталазы

В ходе исследования не отмечено прямого влияния гуминовых препаратов на каталазу, но они на нее влияют опосредованно, например, через гумус, с содержанием которого активность каталазы коррелирует. Сравним контрольные варианты гумуса и каталазы в 2021 и 2022 годах (рис. 20, табл. 13, 14 Прил. 1). В 2021 году каталаза в течение всего вегетационного периода увеличивает свою активность, оставаясь в пределах градации «богатая» (Звягинцев, 1978). Во-первых, это происходит из-за разложения гумуса. На рисунке 20 видно, что с ростом активности каталазы (увеличивается на 8,87%) наблюдается достаточно заметное снижение гумуса ко второму отбору (фаза кущения).

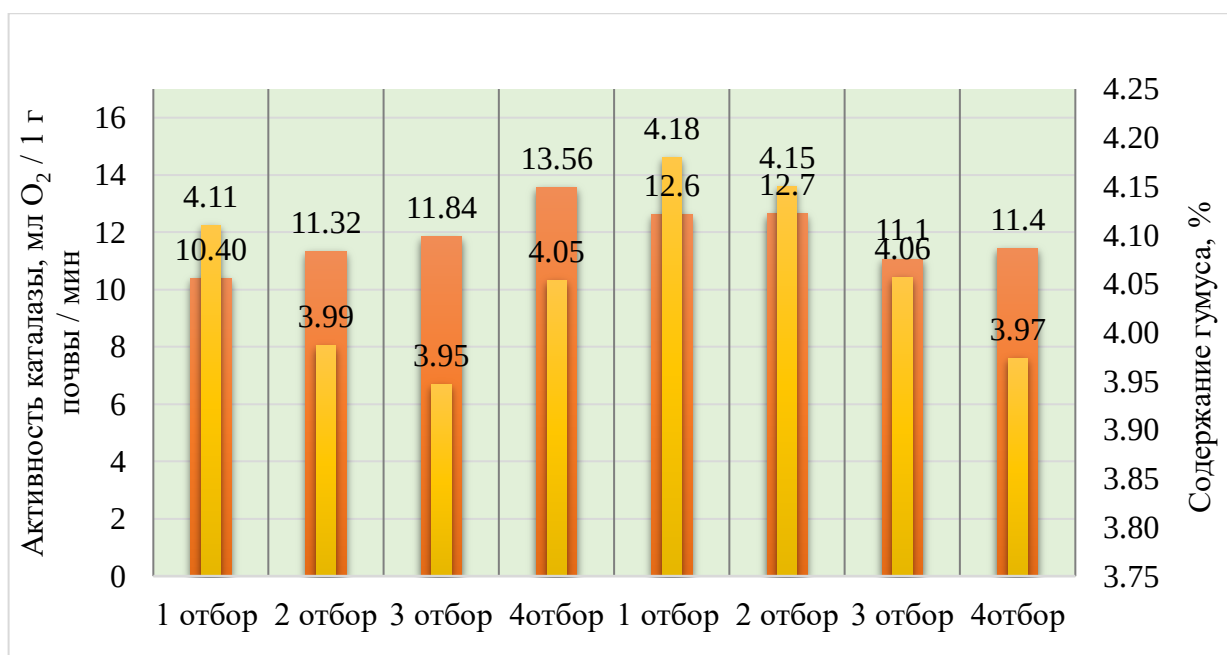


Рисунок 20. Динамика активности каталазы и гумуса в вегетационных периодах 2020–2021 и 2021–2022 гг. на контрольном варианте

Дальнейшее снижение гумуса уже не такое заметное, но активность каталазы возросла еще на 4,6%, а к четвертому отбору еще на 14,45% несмотря на то, что уровень гумусированности начал стремиться к первоначальным значениям. Это объясняется тем, что между третьим и четвертым отборами, выпало достаточное количество осадков, что позволило каталазе увеличить свою активность.

В следующий год активность каталазы в фазу кущения (между первым и вторым отбором) незначительно увеличивается, а затем идет резкий спад ее активности на 12,5%. При этом количество гумуса постоянно уменьшается. Что же касается третьего отбора, то в период колошения отсутствовали осадки, поэтому активность каталазы уменьшилась. Такая тенденция продолжалось бы и дальше, если бы не выпало достаточное количество осадков к четвертому отбору, где мы видим небольшое усиление активности фермента.

Влияние гуминовых препаратов оказало определенное действие на содержание гумуса, как рассматривалось выше. На активности каталазы это тоже сказалось (рис. 21, табл. 13 Прил. 1).

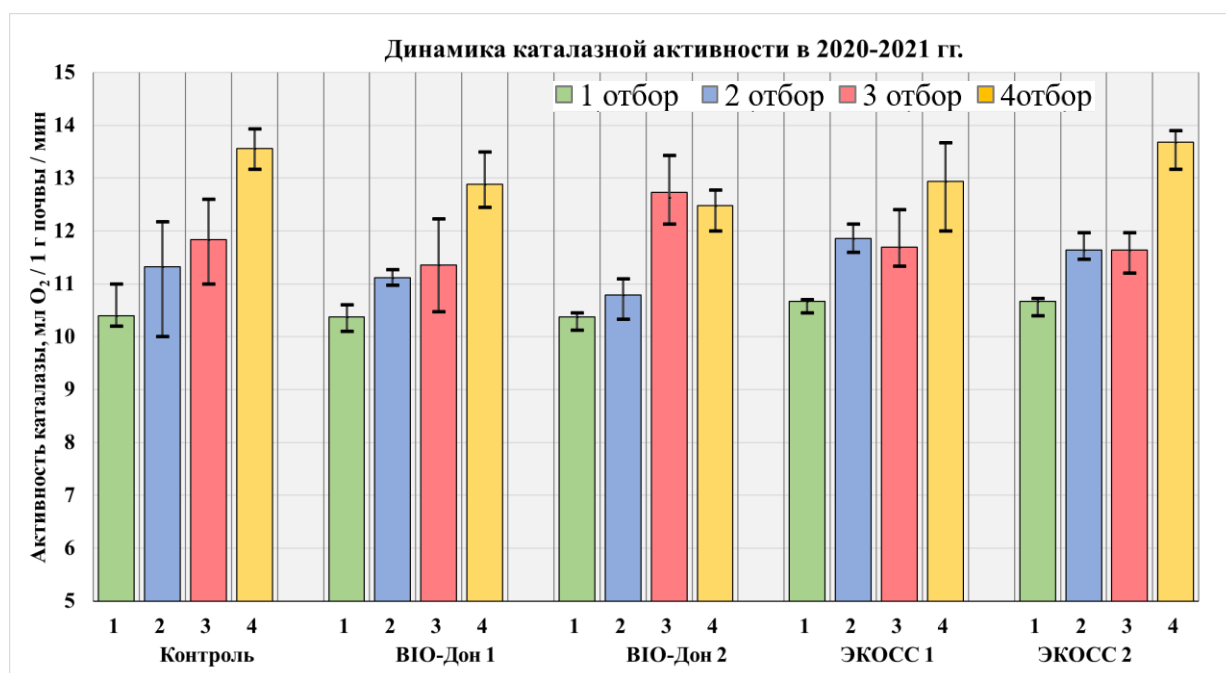


Рисунок 21. Динамика каталазы на вариантах с гуминовыми препаратами в вегетационном периоде 2020–2021 гг.

В отличие от контроля, в пахотном слое почвы которого наблюдался рост активности каталазы между первым и последним отборами на 30,3%, на вариантах БИО-Дон-1 и БИО-Дон-2 увеличение происходит на 24,3 и 22,8%, а на вариантах с ЭКОСС-1 и ЭКОСС-2 – на 21,4 и 28,2%.

Есть также отличия в увеличении при разных количествах обработок. Так, в вариантах с БИО-Дон после первой обработки листового аппарата отмечается увеличение на 4–7%, а в третьем отборе без дальнейших обработок увеличение произошло на 2%, а к четвертому еще на 13,5%. Вариант с двукратной обработкой показал, что к третьему отбору увеличение происходит на 15,65%, а вот дальше только на 2%. На вариантах с препаратом ЭКОСС при однократной обработке активность каталазы увеличилась на 9–11%, двукратная не дала никакой прибавки к третьему отбору, но к четвертому увеличилась на 17,5%. В варианте ЭКОСС-1 к третьему отбору увеличение было небольшим – на 1,4%, а затем на 7,7%.

Гуминовые препараты способствовали сохранению количества гумуса, по сравнению с контролем. Лучшие результаты тогда показал препарат БИО-Дон, и из рисунка видно, что активность каталазы удерживается на одном уровне, чего нет на вариантах с ЭКОСС (рис. 22, табл. 14 Прил. 1).

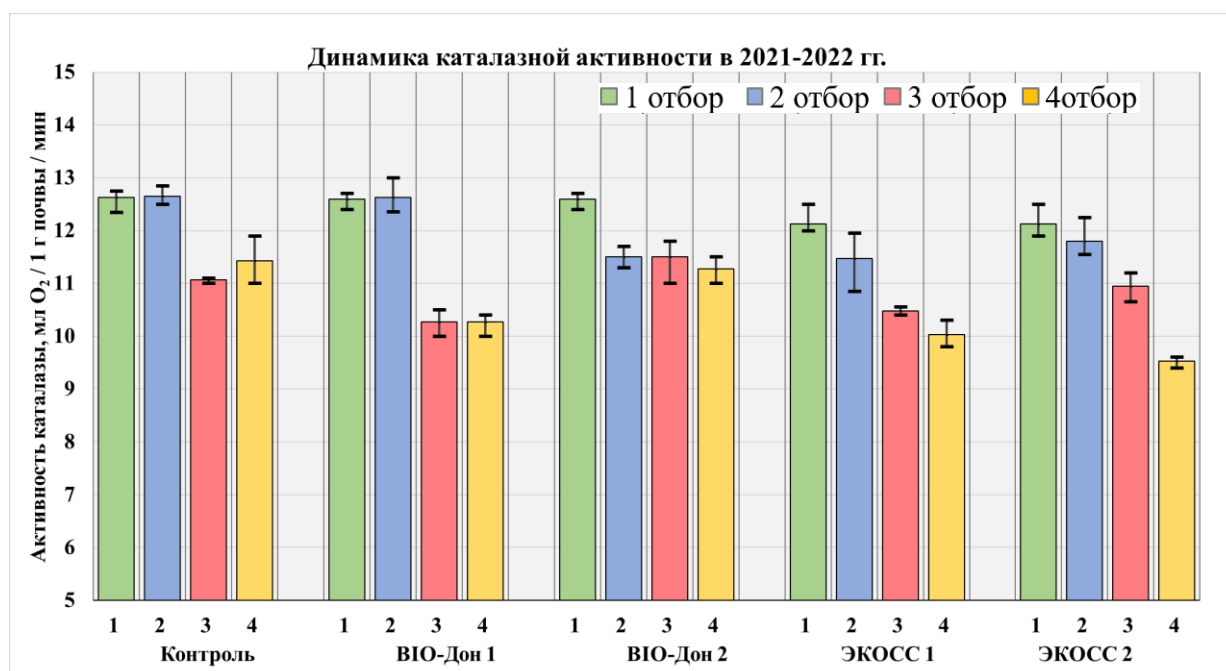
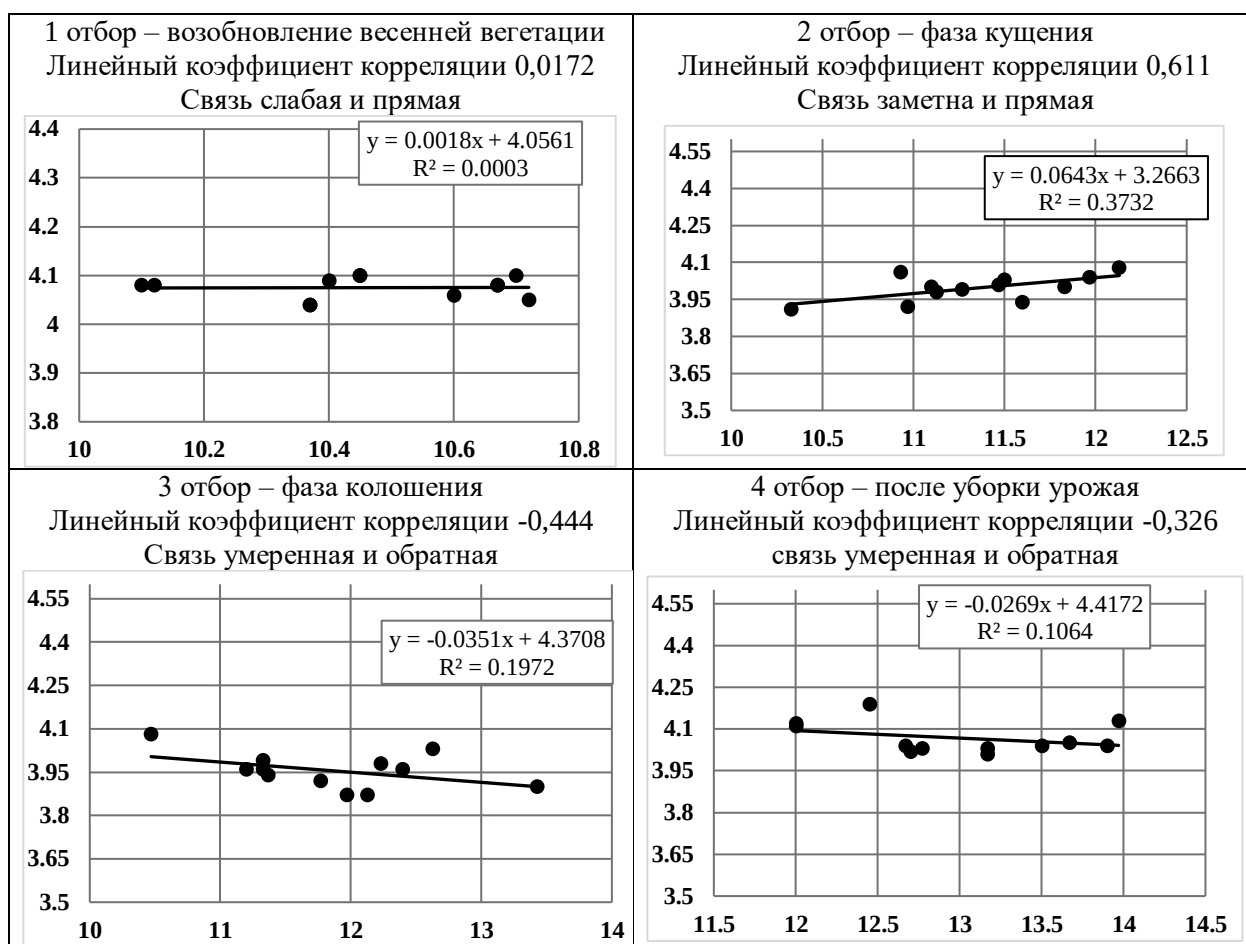


Рисунок 22. Динамика каталазы на вариантах с гуминовыми препаратами в вегетационном периоде 2021–2022 гг.

На вариантах с обработкой посевов препаратом ЭКОСС происходит небольшое увеличение ко второму отбору, что возможно обусловлено стимулирующим влиянием обработки гуматами на фоне выпавших осадков, а затем, когда наступила засуха, активность каталазы снизилась, далее в варианте с двукратной обработкой ЭКОСС снижение активности каталазы продолжилось, а на варианте с однократной обработкой ЭКОСС активность фермента снова возросла. Неблагоприятные условия 2022 года изменили ферментативную активность каталазы, однако если в 2021 году наблюдалась зависимость ее активности от осадков, то в 2022 году с применением гуминовых препаратов такого не было замечено. Более того, активность каталазы стремилась к постоянному уровню на протяжении всего вегетационного периода. Коэффициент корреляции, несмотря на его небольшую величину, и преимущественно слабую или умеренную связь при ее ненадежности, все-таки помог в осмыслении взаимосвязи между активностью каталазы и содержанием гумуса (рис. 23, 24; табл. 32–35 Прил. 1).



(по оси абсцисс – активность каталазы $\text{см}^3 \text{O}_2 / 1 \text{ г почвы} / 1 \text{ мин.}$; по оси ординат – содержание гумуса, %)

Рисунок 23. Корреляция между содержанием гумуса и активностью каталазы в разные фазы вегетации озимой пшеницы в течение вегетационного периода 2020–2021 гг.

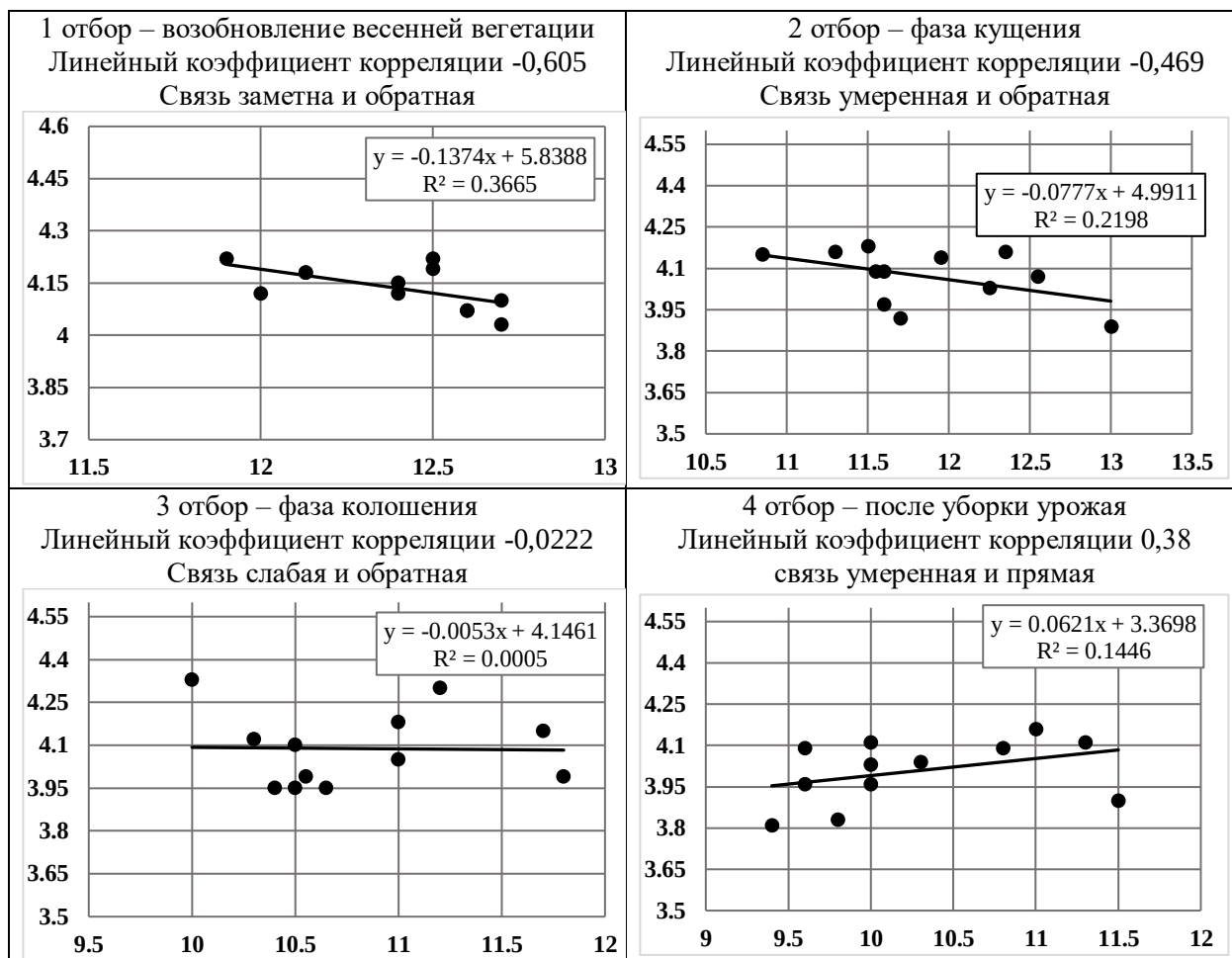
Причем погодные условия года также влияют и на характер связи, и на ее силу. Так, в более оптимальном по условиям увлажнения 2021 году связь в фазу кущения прямая, но если на момент возобновления вегетации она слабая ($R=0,0172$), то на пике кущения она гораздо выше ($R=0,611$) и оценивается как заметная. Уравнение регрессии имеет вид $y = 0.06433 x + 3.2663$, коэффициент детерминации равен 0,373, а фактическое значения критерия Фишера равно 5,95, что выше табличной величины. И, следовательно, коэффициент детерминации статистически значим, а оценка уравнения регрессии статистически надежна.

Позже связь приобретает обратный характер, однако надежность связи низкая. Тем не менее она свидетельствует о тенденции к росту активности каталазы и сопряженному уменьшению содержания гумуса, так как

потребность в азоте возрастает, и частичное разложение гумусовых соединений восполняет его недостаток.

После уборки тенденция остается прежней, возможно за счет того, что начинаются процессы минерализации корневого опада, это вызывает рост активности каталазы, а параллельно идущий процесс гумификации сопровождается увеличением содержания гумуса.

В засушливом 2022 году картина меняется (рис. 24).



(по оси абсцисс – активность каталазы, $\text{см}^3 \text{O}_2 / 1 \text{ г почвы} / 1 \text{ мин.}$; по оси ординат – содержание гумуса, %)

Рисунок 24. Корреляция между содержанием гумуса и активностью каталазы в разные фазы вегетации озимой пшеницы в течение вегетационного периода 2021–2022 гг.

Связь между активностью каталазы и содержанием гумуса с самого начала весенней вегетации носит обратный характер, причем сила ее снижается от заметной на момент возобновления вегетации ($R = -0,605$) через умеренную ($R = -0,469$) в середине кущения, до слабой в фазу колошения ($R = -0,0222$) по мере нарастания сухости. Весной уравнение регрессии имело вид

$y = -0.137 \cdot x + 5.839$, а величина коэффициента детерминации была хотя и не очень высокой ($R^2 = 0,3665$), и, следовательно, только 36,65% общей вариабельности степени гумусированности (y) объясняется изменением активности каталазы (x). Однако фактическая величина (5,78) критерия Фишера оказалось выше табличного значения (4,96), что позволило сделать вывод о статистической значимости коэффициента детерминации и надежности оценки уравнения регрессии.

После уборки связь становится прямой и умеренной, что обусловлено как удалением растений из сферы взаимодействия, так и улучшением влагообеспеченности.

3.5 Динамика инвертазы

По активности инвертазы чернозем на участке полевого опыта характеризуется как среднеобогатченный. На протяжении всего вегетационного периода 2020–2021 года наблюдалось повышение активности инвертазы в пределах этой градации (рис. 25, табл. 15 Прил. 1). Во всех вариантах наибольшее увеличение активности инвертазы приходится на третий отбор, причем двукратная обработка усиливает эту тенденцию. Так, при однократной обработке препаратом ВЮ-Дон это увеличение равняется 13,4%, тогда как при двукратной – 19,3%. На варианте с ЭКОСС однократная обработка сопровождается увеличением активности инвертазы на 14,78%, а двукратное опрыскивание – на 25,5%. На контрольном варианте рост активности инвертазы составил 15%.

Сравнивая то, насколько увеличилась активность фермента за весь период, можно выделить варианты с двукратной обработкой, особенно вариант ЭКОСС-2, где значение инвертазы увеличилось на 49,7%.

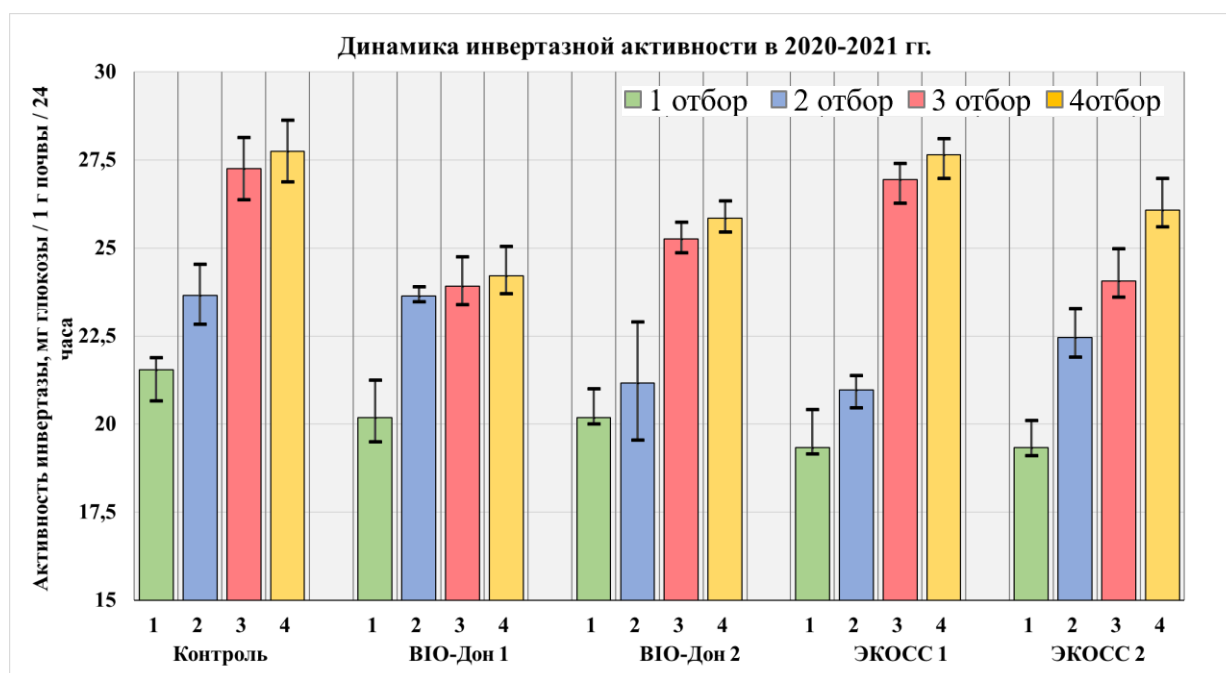


Рисунок 25. Динамика активности инвертазы по вариантам опыта в вегетационном периоде 2020–2021 гг.

Увеличению активности инвертазы в образцах почвы последних двух отборов предшествовали дожди, которые приближали влажность почвы к оптимальной. Максимальное увеличение между третьим и четвертым отбором приурочено к варианту ЭКОСС-2 – 7,4%.

В общем плане для первого и второго отбора характерны близкие значения активности инвертазы во всех вариантах независимо от того, какой применялся гуминовых препарат. Для гумуса характерна такая же ситуация: содержание гумуса в почве на вариантах с гуминовыми препаратами находится в диапазоне 3,98–4,02%. Известно, что почвенные углеводы входят в состав гумуса, хотя какая-то, очень небольшая их часть находится и в свободном виде (Орлов, Садовникова, 1975). Именно поэтому наблюдается связь в динамике гумуса с активностью инвертазы, причем углеводы являются наиболее динамичной частью гумуса и при небольших изменениях в количестве гумуса они происходят прежде всего за счет его углеводных соединений.

В третьем отборе варианты с однократной обработкой БИО-Дон и ЭКОСС по количеству гумуса сходны и равны 3,97%, с двукратной то же самое, и гумус составляет 3,92%. Причем, повышение активности инвертазы

сопровождается снижением содержания гумуса. А при увеличении гумуса до прежних значений, активность инвертазы не уменьшается, так как по мере созревания урожая происходит отток с корневыми выделениями, в которых содержатся и углеводы.

Характеризуя динамику активности инвертазы в 2022 году, можно отметить, что засуха, пришедшаяся на фазу колошения, привела к снижению активности инвертазы во всех вариантах опыта. Разница в снижении зависит от вида гуминового препарата и количества обработок, которые повлияли на содержание гумуса (рис. 26, табл. 16 Прил. 1).

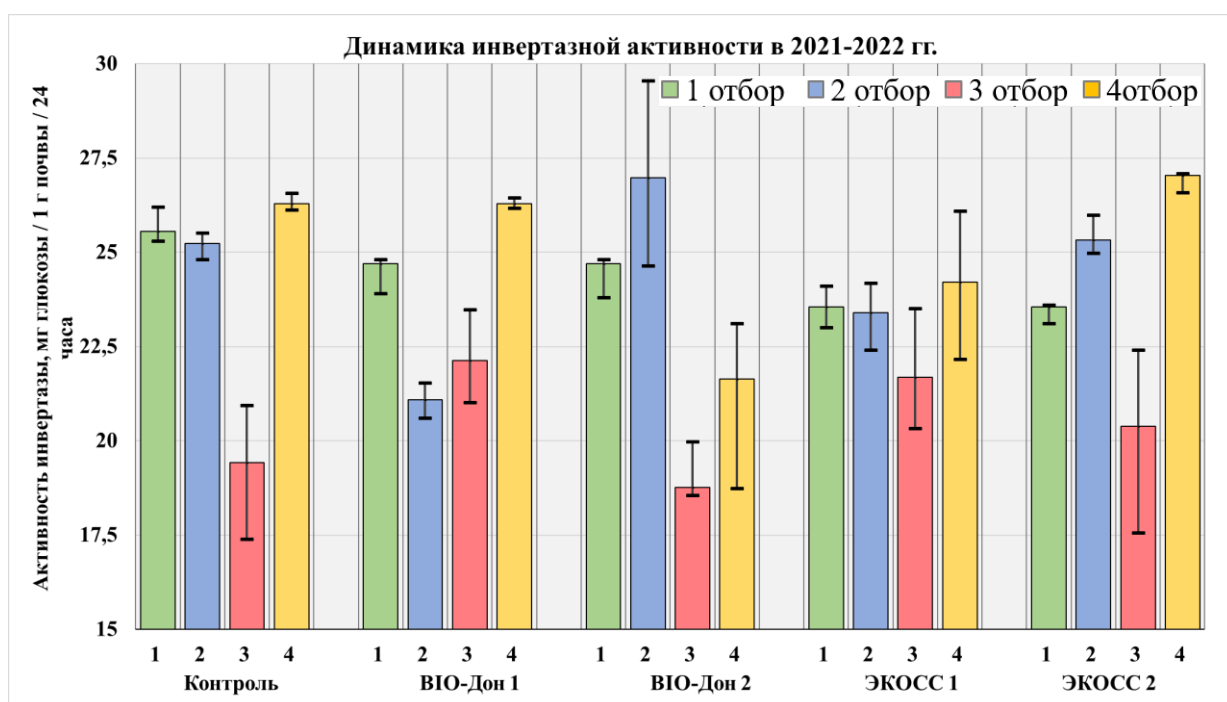


Рисунок 26. Динамика активности инвертазы по вариантам опыта в вегетационный период 2021–2022 гг.

Поэтому следует рассмотреть разницу между вторым и третьими отборами в каждом варианте. На контрольном варианте активность инвертазы снизилась на 23%, при этом содержание гумуса уменьшилось на 2,3 относительных процента. При нормальных условиях, где там, где количество гумуса уменьшается, должен быть рост активности инвертазы, но здесь этого не происходит из-за засухи, так что оба показателя снижаются.

На вариантах с БИО-Дон содержание гумуса не снижается, можно было бы подумать, что это из-за увеличения активности инвертазы, но такой

зависимости нет, ее активность снижается, при однократной обработке на 10,6%, а при двукратной – на 26,8% (что больше чем на контроле). Конечно, можно было бы предположить, что активность снизилась из-за увеличения содержания гумуса, но этот рост составил всего 0,2–0,5 относительных процента и статистически был недостоверен.

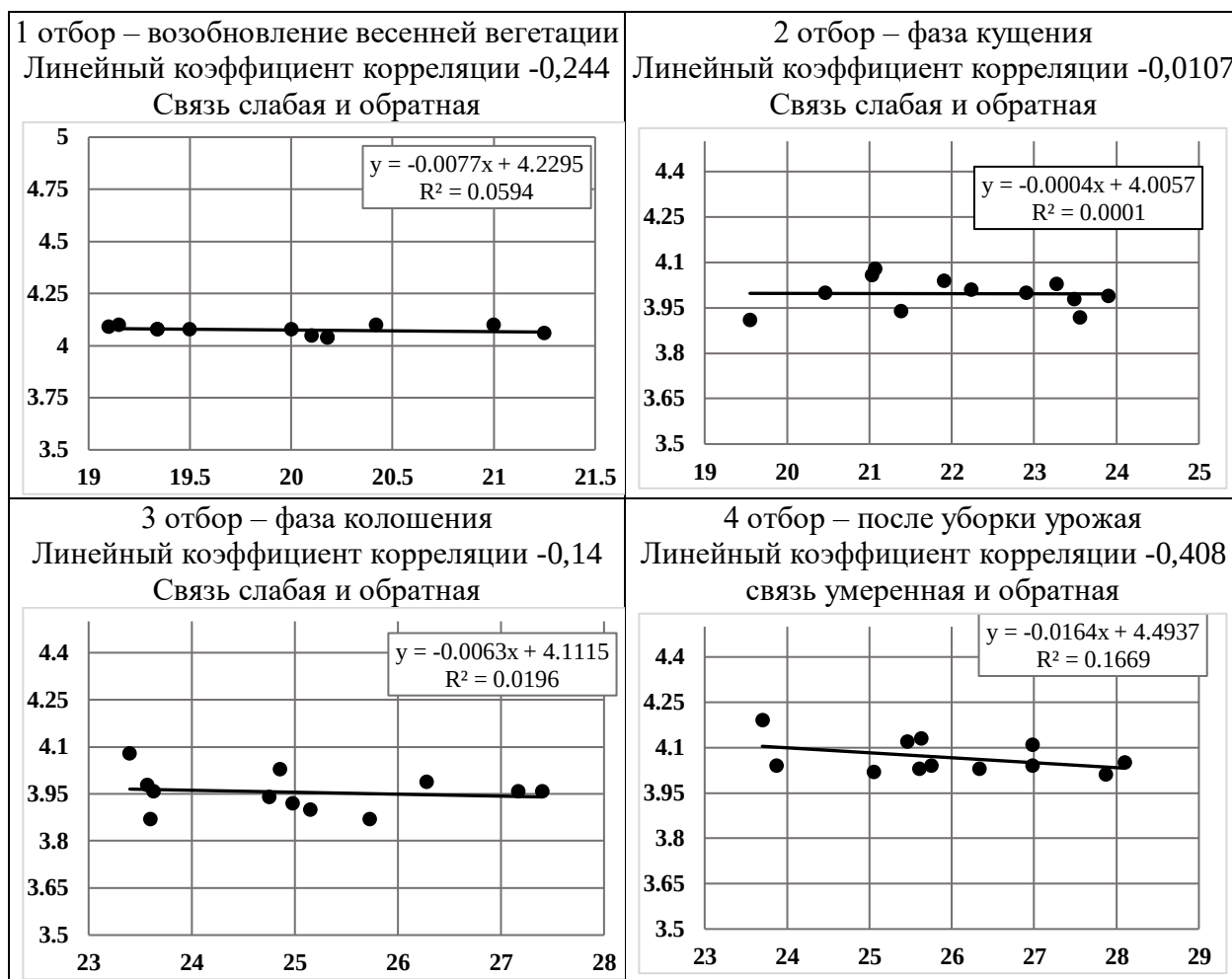
В варианте с ЭКОСС-1 идет снижение и гумусированности, и активности инвертазы на 3,2 и 7,3% соответственно. Снижение в содержании гумуса есть, а активность инвертазы падает меньше, чем на варианте с однократной обработкой препаратом ВЮ-Дон. На варианте с двукратной обработкой препаратом ЭКОСС есть незначительная прибавка содержания гумуса и снижение активности фермента на 19,5%.

Самое большое снижение гумуса на контроле и на варианте с однократной обработкой ЭКОСС-1, но гуминовый препарат действует так, что не позволяет активности фермента сильно снижаться в условиях засухи. А вот с остальными вариантами, где количество гумуса не изменилось, наблюдается различное уменьшение активности инвертазы, хотя варианты с двукратной обработкой показали значительные понижения активности.

К четвертому отбору в почве запасы влаги немного пополнились и ферментативные процессы нормализовались. Содержание гумуса к уборке стало ниже на всех вариантах. Самые высокие снижения на контроле и на варианте с двукратной обработкой ЭКОСС (на 2,05 и 3,58%), но на этих же вариантах и самые высокие повышения активности инвертазы: на 35,34% на контроле и 32,58% на ЭКОСС-2. На варианте с препаратом ВЮ-Дон при однократной обработке снизилось содержание гумуса на 1,4%, а с двукратной обработкой – на 0,8%, реакция инвертазы закономерная: усиление активности стало сильнее там, где количество гумуса уменьшилось больше.

Обработка результатов определения активности инвертазы и гумуса с помощью статистических критериев (рис. 27, 28; табл. 32, 33, 36, 37 Прил. 1)

показала, что динамика этих двух показателей очень схожа с динамикой корреляций между каталазой и гумусом.



(по оси абсцисс – активность инвертазы, мг глюкозы/1 г/24 ч; по оси ординат – содержание гумуса, %)

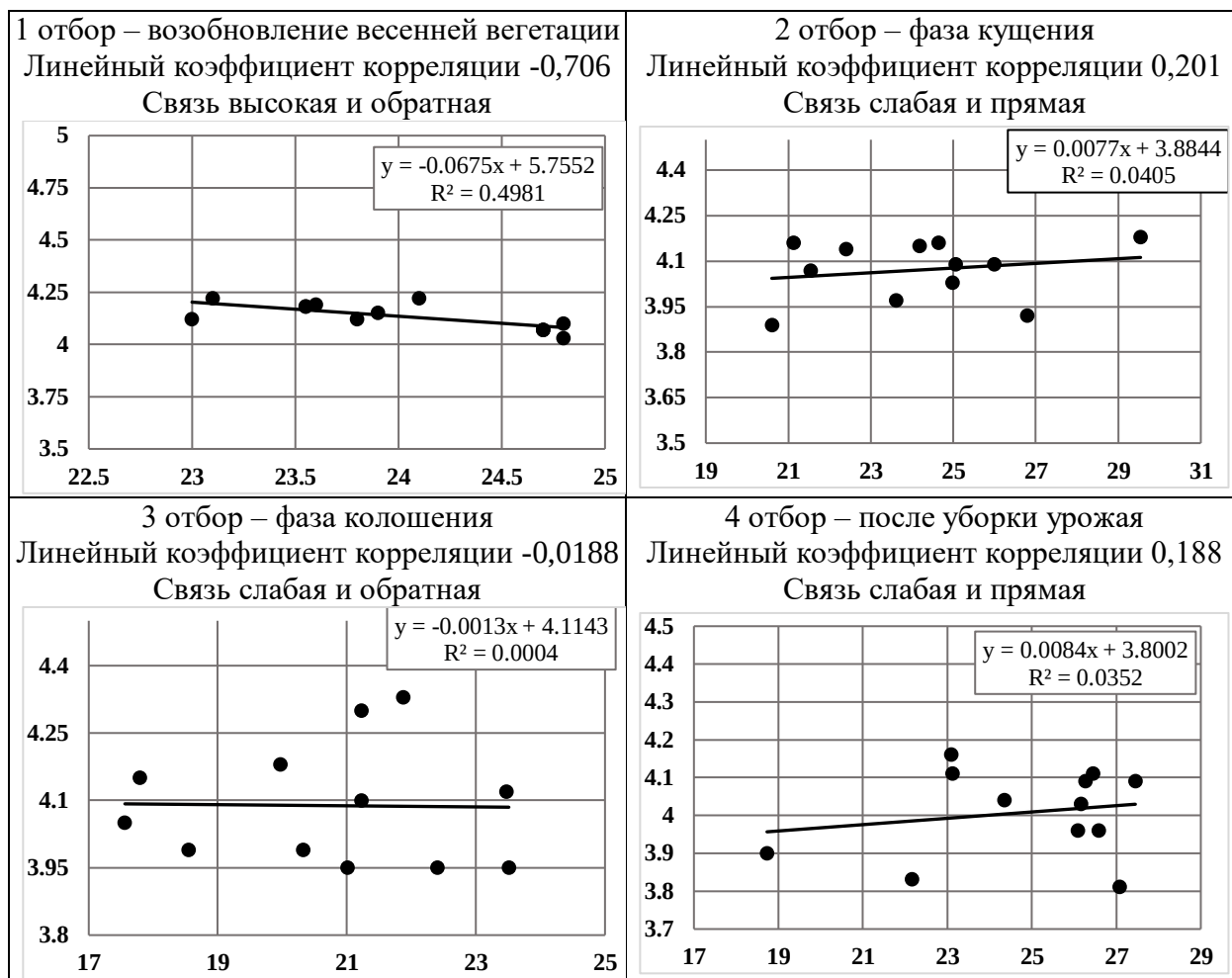
Рисунок 27. Корреляция между содержанием гумуса и активностью инвертазы в разные фазы вегетации озимой пшеницы в течение вегетационного периода 2020–2021 гг.

Дело в том, что эти два фермента катализируют распад разных составных частей гумуса. Поэтому графики, демонстрирующие связь между каталазой и гумусом, а также между инвертазой и гумусом в чем-то похожи, но и заметно различаются. Так, в год с благоприятными гидротермическими условиями (рис. 21 и рис. 25) связь на начало вегетации характеризуется как слабая для обоих ферментов, но если с каталазой она обратная, то с инвертазой – прямая. В фазу середины кущения связь гумуса с каталазой становится прямой и заметной, а с инвертазой остается слабой обратной. А вот в фазу кущения связь с гумусом у обоих ферментов обратная, но с

каталазой она умеренная, а с инвертазой слабая. И только после уборки озимой пшеницы динамика показателей сближается, активность обоих ферментов с гумусом находится в противофазе при умеренной силе связи.

В 2022 г. связь между этими тремя показателями более наглядна. Весной, на стадии возобновления вегетации, связь каталазы с гумусом – заметная и обратная ($R = -0,605$), а инвертазы с гумусом – высокая и обратная ($R = -0,706$). Уравнение регрессии имеет вид $y = -0.0675x + 5.7552$, а величина коэффициента детерминации $R^2 = -0.7062 = 0.4981$, т.е. в 49,81% случаев изменения активности инвертазы (x) приводят к изменению содержания гумуса (y). Поскольку фактическое значение критерия Фише равно 9,92 и это выше табличной величины (4,96) делаем вывод о статистической значимости коэффициент детерминации и надежности оценки уравнения регрессии.

В кущение связь с гумусом у ферментов слабая, но у инвертазы она прямая, а у каталазы – обратная. В фазу колошения у обоих ферментов связь с гумусом слабая и обратная, а вот после уборки пшеницы она становится прямой, в отношении инвертазы – слабой, каталазы – умеренной. Такая разница в активности ферментов по отношению к гумусу обусловлена, вероятно, тем, что каталаза – фермент, работающий с более широким спектром почвенных компонентов. Она катализирует не только разложение пероксида водорода, но и окисление низших спиртов, да и помимо гумуса в почве для каталазы значительно больше подходящих субстратов, чем для инвертазы. Она активно участвует в разложении корневого опада и пожнивных остатков. Именно поэтому сходство между динамикой связи этих двух ферментов с гумусом имеется, но и различия также видны.



(по оси абсцисс – активность инвертазы, мг глюкозы/1 г/24 ч; по оси ординат – содержание гумуса, %)

Рисунок 28. Корреляция между содержанием гумуса и активностью инвертазы в разные фазы вегетации озимой пшеницы в течение вегетационного периода в течение вегетационного периода 2021–2022 гг.

В целом, завершая обзор результатов эксперимента по влиянию гуминовых препаратов на ферментативную активность почвы и доступность элементов питания, можно констатировать, что активность всех изученных ферментов меняется при обработке растений гуминовыми препаратами, причем направленность этих изменений во многом зависит от гидротермических условий года. Однако, как в относительно благоприятных условиях, так и в засушливых, влияние гуминовых препаратов на доступность растениям азота и фосфора положительное.

3.6 Динамика подвижного калия

Перед тем как перейти к описанию урожайности, необходимо рассмотреть изменение количества подвижного калия в почве на протяжении изучаемого периода.

На рис. 29 (табл. 7 Прил. 1) видно, что 2021 году во всех вариантах происходит небольшое увеличение содержания подвижного калия ко второму отбору.

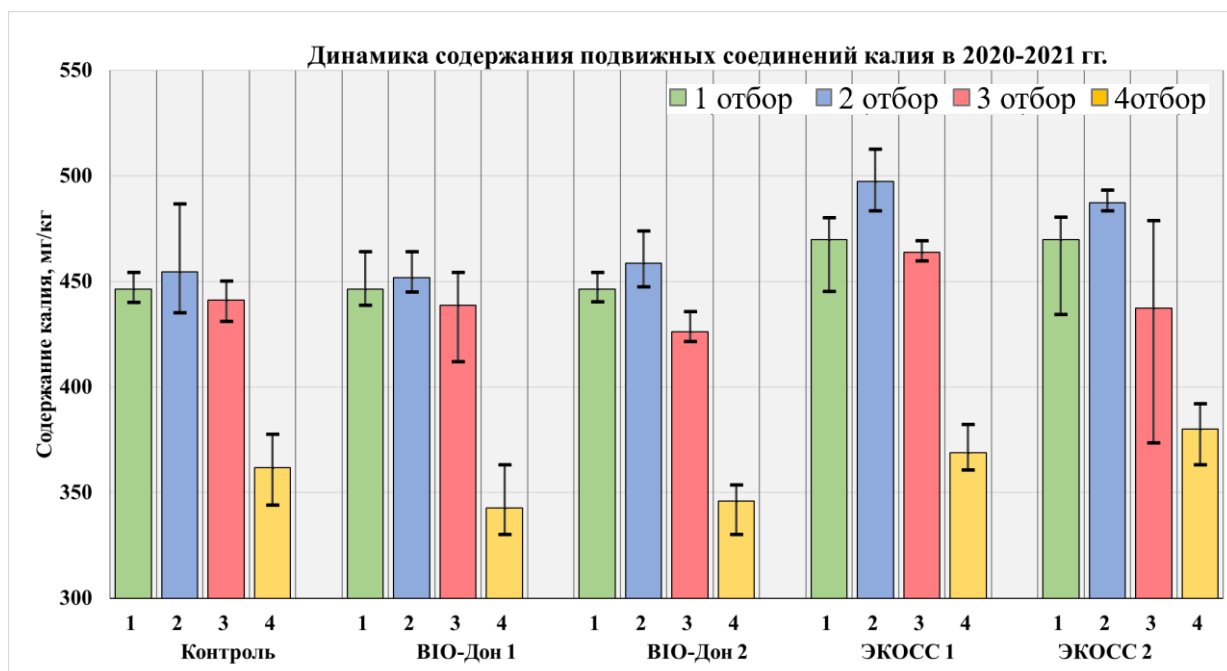


Рисунок 29. Динамика подвижных соединений калия по вариантам опыта в течение вегетационного периода 2020–2021 гг.

Самая большая прибавка на вариантах с гуминовым препаратом ЭКОСС. Также во всех вариантах наблюдается уменьшение количества подвижного калия в период со второго отбора по четвертый, т.е. в фазы активного набора зеленой массы и формирования репродуктивных органов. Обеспеченность подвижным калием оценивается как высокая, однако сразу после уборки (4 отбор) в 2021 году снижается до оценки «повышенная». На вариантах с препаратом БИО-Дон нет разницы между количеством обработок: при однократной обработке количество подвижного калия снижается на 24,16%, а при двукратной – на 24,59%.

В вариантах с биогуматом ЭКОСС разница есть. При однократной обработке снижение составило 25,58%, а при двукратной 21,98%.

Также общее уменьшение можно было объяснить осадками, выпавшими к третьему и четвертому отбору, однако на контроле уменьшение составило 20,42%. Поэтому можно сказать, что это именно гуминовые препараты повлияли на количество усиленное поглощение растениями калия.

В засушливый 2022 год количество подвижного калия на контроле по срокам отбора меняется незначительно (рис. 30, табл. 8 Прил. 1).

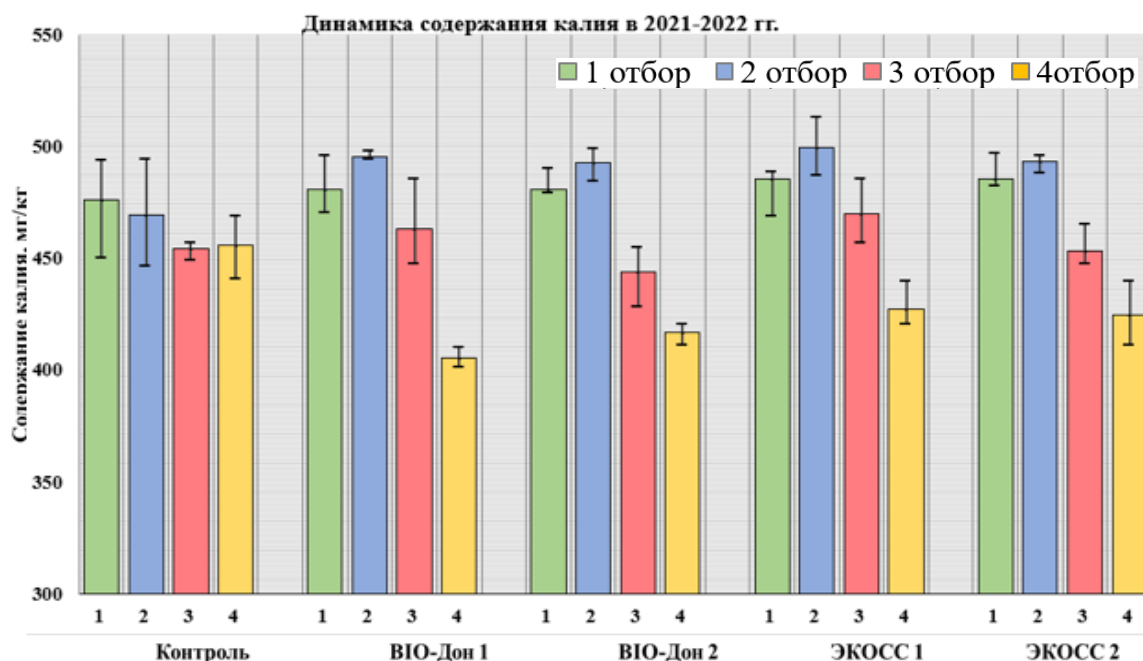


Рисунок 30. Динамика подвижных соединений калия по вариантам опыта в течение вегетационного периода 2021–2022 гг.

В то же время на всех вариантах с гуминовыми препаратами наблюдается сначала увеличение содержания подвижного калия после первой обработки, а затем снижение. Наименьшее содержание отмечено после уборки урожая, однако обеспеченность подвижным калием остается высокой. Иными словами, на контроле явно сниженная интенсивность поглощения калия. Это можно объяснить недостатком влаги, обусловленным засушливой погодой, что не позволяет переходить калию в почвенный раствор.

На вариантах с применением гуминовых препаратов можно проследить снижение содержания калия, обусловленное его потреблением растениями, не такое интенсивное в сравнении с прошлым годом, но оно есть, и связано со стимуляцией растений гуминовыми препаратами. При этом на вариантах с однократной обработкой ВЮ-Дон оно несколько выше.

3.7 Урожайность и качество зерна озимой пшеницы

Использование ЭКОСС в 2021 году (рис. 31, табл. 17 Прил. 1) при обработке вегетирующих растений оказало большее влияние на рост урожайности. Однократная обработка увеличила урожайности на 23%, а двукратная на 26,3%.

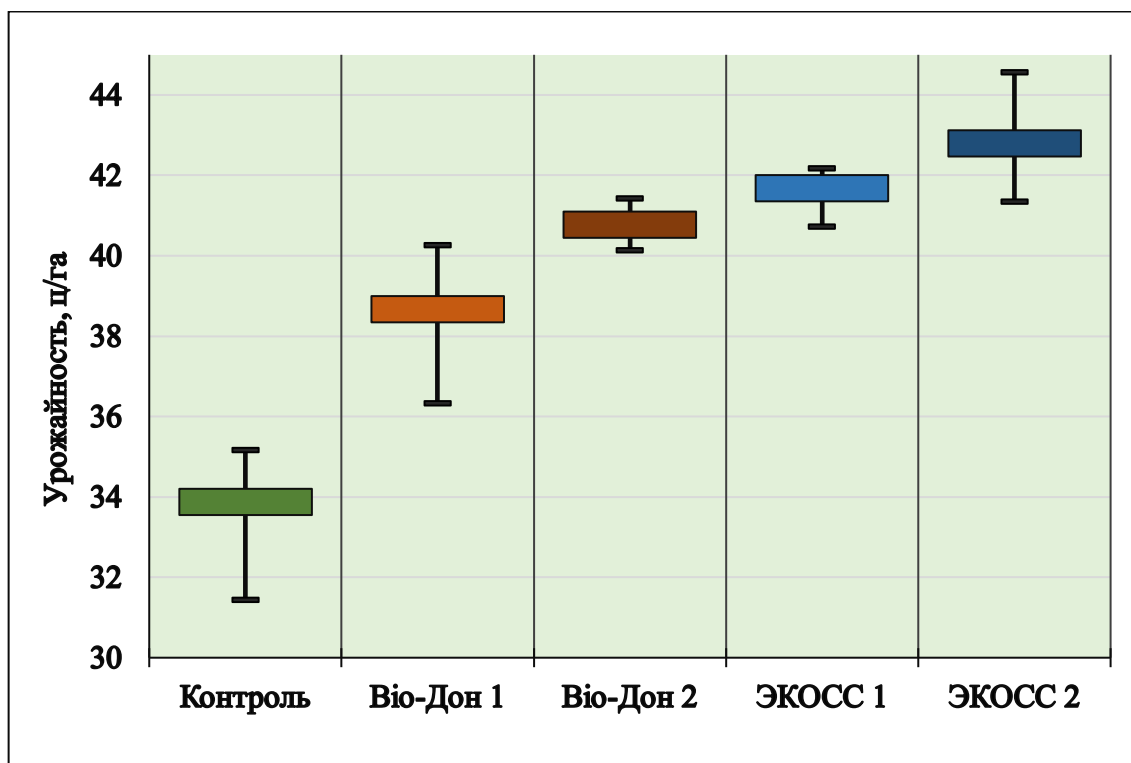


Рисунок 31. Урожайность озимой пшеницы за 2020–2021 гг.

В 2022 году, когда засуха стала стрессовым фактором для растений, гуминовый препарат ЭКОСС выступил в роли адаптогена, в то время как ВЮ-Дон не оказал такого же действия (рис. 32, табл. 17 Прил. 1). В вариантах с применением ВЮ-Дон нет статистически значимых изменений в сравнении с контролем, также, как и в варианте ЭКОСС-1. Использование двукратной обработки с ЭКОСС дало прибавку урожайности 32,9%.

Таким образом, лучшим за два года исследований при разных погодных условиях оказался вариант с двукратной обработкой гуминовым препаратом ЭКОСС, который в первый год с благоприятными условиями дал прибавку урожайности на 8,92 ц/га, а в засушливый 2022 год – на 10,86 ц/га.

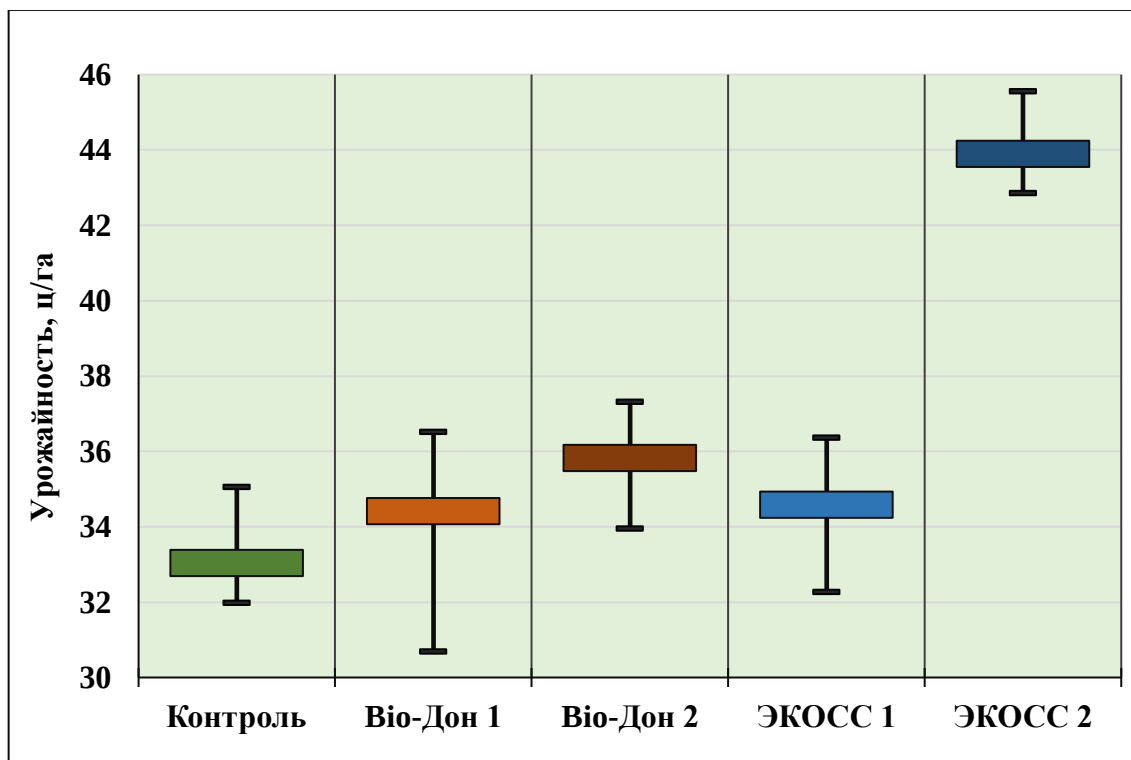


Рисунок 32. Урожайность озимой пшеницы за 2021–2022 гг.

Гуминовые препараты БИО-Дон и ЭКОСС увеличивают не только урожайность, но и оказывают влияние на качество зерна озимой пшеницы.

Таблица 8. Качество озимой пшеницы при использовании БИО-Дон и ЭКОСС 2020–2021 гг.

Вариант	N, %		P ₂ O ₅ , %		K, %		Масса 1000 зерен, г		Клейковина, %		Белок, %	
	ср.	Δ	ср.	Δ	ср.	Δ	ср.	Δ	ср.	Δ	ср.	Δ
Контроль	2,18	-	0,86	-	0,44	-	35,64	-	30,44	-	12,45	-
БИО-Дон-1	2,19	0,01	0,85	-0,01	0,46	0,02	36,32	0,68	30,53	0,09	12,48	0,04
БИО-Дон-2	2,23	0,05	0,89	0,03	0,48	0,04	38,86	3,22	31,71	1,27	12,73	0,29
ЭКОСС-1	2,30	0,12	0,86	-0,01	0,44	0,00	37,65	2,01	30,76	0,32	13,11	0,66
ЭКОСС-2	2,37	0,19	0,90	0,04	0,47	0,04	38,94	3,31	32,29	1,85	13,49	1,05
НСР	0,093		0,053		0,030		1,574		1,714		0,444	

Из таблицы 8 видно, что по количеству азота в зерне при применении гуминового препарата ЭКОСС есть статически значимая разница с

контролем (табл. 18 Прил. 1). Количества белка в зерне по сравнению с контрольным вариантом больше на 5,3% при однократной обработке и на 8,4% при двукратной (табл. 23 Прил. 1). По этому показателю качество зерна в вариантах контроль и ВЮ-Дон 1 относятся к третьему классу, варианты ВЮ-Дон-2 и ЭКОСС-1 - ко второму классу, а вариант ЭКОСС-2 приближается к первому.

Обработка гуматами не повлияла на содержание фосфора в зерне (табл. 19 Прил. 1), однако двукратное применение этого приема привело к увеличению содержания калия (табл. 20 Прил. 1) как в вариантах с ВЮ-Дон, так и с ЭКОСС на 9,2 и 8,4%, соответственно.

Также зафиксирована достоверная разница и в массе зерна (табл. 21 Прил. 1). Так, масса 1000 зерен в варианте ВЮ-Дон-2 больше на 9%, а в вариантах ЭКОСС-1 и ЭКОСС-2 на 5,6 и 9,3% соответственно.

Таблица 9. Качество озимой пшеницы при использовании ВЮ-Дон и ЭКОСС 2021–2022 гг.

№ Варианта	N, %		P ₂ O ₅ , %		K, %		Масса 1000 зерен, г		Клейковина, %		Белок, %	
	ср.	Δ	ср.	Δ	ср.	Δ	ср.	Δ	ср.	Δ	ср.	Δ
Контроль	1,58	-	0,65	-	0,38	-	39,99	-	23,07	-	9,01	-
ВЮ-Дон-1	1,63	0,05	0,63	-0,02	0,38	0,00	40,70	0,71	23,33	0,27	9,27	0,27
ВЮ-Дон-2	1,72	0,14	0,68	0,03	0,38	0,01	41,02	1,03	24,13	1,07	9,80	0,80
ЭКОСС-1	1,68	0,10	0,63	-0,02	0,37	0,00	40,26	0,27	21,40	-1,67	9,58	0,57
ЭКОСС-2	1,82	0,24	0,65	0,01	0,38	0,01	42,24	2,25	24,40	1,33	10,39	1,39
НСР05	0,059		0,068		0,025		1,354		1,239		0,337	

В 2022 году гуминовые препараты оказали большее влияние на содержание азота в зерне (табл. 18 Прил. 1). В вариантах с двукратной обработкой ВЮ-Дон и одно- и двукратной обработкой ЭКОСС содержание белка увеличилось на 8,9, 6,3 и 15,4% соответственно (табл. 9, табл. 23 Прил. 1). Влияния на содержания фосфора и калия гуминовые препараты не оказали (табл. 19, 20 Прил. 1). Масса 1000 зерен статистически достоверно увеличивается только в варианте с ЭКОСС-2 на 5,6% (табл. 21 Прил. 1).

Качество зерна в 2022 году снизилось по сравнению с предыдущим годом. Все варианты по количеству белка относятся к пятому классу за исключением ЭКОСС-2 (четвертый класс).

ВЫВОДЫ

1. Динамика подвижных соединений азота в черноземе обыкновенном карбонатном определяется погодными условиями вегетационного сезона, особенностями гуминового препарата и количеством обработок. В более благоприятный по гидротермическим условиям год содержание азота снижается по мере созревания озимой пшеницы, соответственно уреазная активность возрастает, что обусловлено растущими потребностями растений. В засушливый 2022 год активность уреазы была высокой начиная с момента возобновления вегетации и до уборки, что обусловлено недостатком в почве влаги и пониженной подвижностью азота. Двукратная обработка посевов озимой пшеницы гуминовыми препаратами пролонгирует повышенное потребление азота, что сопряжено и с большей активностью фермента. Гуминовый препарат ЭКОСС отличается более выраженным воздействием на азотный режим по сравнению с ВЮ-Дон.

2. Активность фосфатазы в благоприятном по гидротермическим условиям 2021 году увеличивается в черноземе обыкновенном карбонатном под озимой пшеницей во всех вариантах опыта, начиная с возобновления вегетации весной и до фазы колошения. Это свидетельствовало об увеличенной потребности растений в фосфоре, что связано с активным формированием урожая и снижением количества доступного фосфора в почве. Обработка посевов гуминовыми препаратами способствовала увеличению подвижного фосфора в почве, особенно в фазе кущения. В засушливом 2022 году максимальная активность фосфатазы была отмечена в фазу кущения во всех вариантах опыта. Наступление жаркой и сухой погоды сопровождалось снижением активности фосфатазы и дефицитом подвижных фосфатов на всех вариантах.

3. По активности инвертазы почва оценивается как среднеобогатенная. Во всех вариантах в 2021 году наибольшее увеличение активности инвертазы приходится на фазу колошения, причем двукратная обработка озимой пшеницы гуминовыми препаратами усиливает эту

тенденцию. Так, при однократной обработке препаратом ВЮ-Дон это увеличение равняется 13,4%, тогда как при двукратной – 19,3%. На вариантах с ЭКОСС однократная обработка сопровождается увеличением активности инвертазы на 14,8%, а двукратное опрыскивание – на 25,5%. На контрольном варианте рост активности инвертазы составил 15%. В засушливом 2022 году однократная обработка обоими гуминовыми препаратами позволила поддержать активность фермента на уровне средней обогащенности, в то время как в остальных вариантах опыта снижение было более существенным, хотя и не достигло оценки бедная.

4. Динамика содержания гумуса в почве коррелирует с активностью каталазы и инвертазы. В 2021 году снижение содержания гумуса в почве происходит к фазе наиболее активного поглощения элементов питания – колошения. На этот же период приходится рост активности инвертазы. Практически на всех вариантах содержание гумуса в этот период минимальное. К уборке наблюдается повышение содержания гумуса почти до начального уровня. Повлияли на динамику гумуса и количество обработок гуминовыми препаратами. При двукратной обработке содержание гумуса снизилось больше, чем при однократной. В засушливый год отмечен более высокий уровень содержания гумуса на всех вариантах опыта, причем разница между вариантами по этому показателю была минимальной и статистически недостоверной.

5. На всех вариантах с гуминовыми препаратами наблюдается увеличение содержания подвижного калия после первой обработки в фазу кущения. Затем содержание калия уменьшается, и минимальное содержание наблюдалось после уборки урожая. На вариантах с применением гуминового препарата ЭКОСС в 2021 году обеспеченность калием была более высокой. В неблагоприятный по погодным условиям 2022 год разница между вариантами с применением гуминовых препаратов незначительна.

6. В благоприятных условиях 2020–2021 гг. применение гуминовых препаратов оказало положительное влияние на динамику подвижных форм

азота и, соответственно, на формирование урожая озимой пшеницы. Все варианты с применением гуматов демонстрируют увеличение урожайности по сравнению с контролем. Однако наибольшую эффективность показали варианты с двукратной обработкой препаратами, при этом действие препарата ЭКОСС более эффективно. В условиях 2021–2022 гг. максимально эффективным оказалось применение двукратных обработок растений гуминовым препаратом ЭКОСС, что подтверждается увеличением количества урожая – 43,9 ц/га при 33 ц/га на контроле. Остальные варианты не демонстрировали статистически значимой разницы урожайности по отношению к контролю. Зерно, убранное в данный период, по качеству относится к пятому классу, но по количеству белка пшеница с двукратной обработкой препарата ЭКОСС может быть отнесена к четвертому классу.

7. Влияние на вынос азота растениями обработок гуминовыми препаратами подтверждается содержанием белка в зерне. В ряду ВЮ-Дон-1 < ЭКОСС-1 < ВЮ-Дон-2 < ЭКОСС-2 отмечено увеличение его количества и повышение классности зерна от 3 ко 2, при этом вариант ЭКОСС-2 приближается по этому показателю к 1 классу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллаева, Р. З. Ферментативная активность как один из факторов биологического потенциала почвы / Р. З. Абдуллаева // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2018. – № 2–1(28). – С. 65–71.
2. Агапкин, А. М. Переработка сельскохозяйственных отходов: рынок органических удобрений и производство органических пищевых продуктов / А. М. Агапкин, И. А. Махотина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2021. – № 3. – С. 212–225.
3. Александрова, Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л. Н. Александрова // М.: Наука, 1980. 288 с.
4. Ахмедова, З. Н. Фосфатазная и уреазная активность почв горных и равнинных ландшафтов Дагестана / З. Н. Ахмедова, Н. И. Рамазанова, Г. Н. Гасанов // Вестник Дагестанского научного центра РАН. – 2014. – № 52. – С. 36–39.
5. Бардашов, Д. Р. Органическое вещество почв горных ландшафтов Алтая (на примере Тигирекского заповедника) / Д. Р. Бардашов, П. П. Кречетов, М. А. Смирнова // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2021. – № 6. – С. 40–50.
6. Безуглова, О.С. Влияние качественного состава гумуса на урожай / О. С. Безуглова // Почвоведение, 1982. №2. – С. 134–137.
7. Безуглова, О. С. Качественный состав гумуса черноземов Предкавказья / О. С. Безуглова // Известия СКНЦВШ. Естеств. науки. 1984. №3. – С. 70–75.
8. Безуглова, О. С. Гумусное состояние почв Юга России /О. С. Безуглова. Ростов-на-Дону: Издательство СКНЦ ВШ, 2001. 228 с.
9. Безуглова, О. С. Адаптогенное действие гуминового препарата при возделывании озимой пшеницы / О. С. Безуглова, В. А. Лыхман, А. В. Горовцов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32, № 11. – С. 53–56.

10. Безуглова, О. С. Гуминовые препараты как стимуляторы роста растений и микроорганизмов / О. С. Безуглова, Е. А. Полиенко, А. В. Горовцов // АгроСнабФорум. – 2016. – № 8(148). – С. 84–86.

11. Безуглова, О. С. Почвы Ростовской области : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности и направлению высшего профессионального образования 020701 и 020700 "Почвоведение" / О. С. Безуглова, М. М. Хырхырова ; Федеральное агентство по образованию Российской Федерации, Федеральное гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Южный федеральный ун-т", Биолого-почвенный фак.. – Ростов-на-Дону : Изд-во Южного федерального ун-та, 2008. – 350 с.

12. Белоусов, А. А. Оценка биологического качества органического вещества в структурных агрегатах чернозема выщелоченного в условиях минимизации обработки / А. А. Белоусов // Вестник КрасГАУ. – 2022. – № 4(181). – С. 37–43.

13. Белоусов, А. А. Сезонная динамика водорастворимого органического вещества чернозема выщелоченного в условиях почвозащитных технологий / А. А. Белоусов, Е. Н. Белоусова // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 9(132). – С. 134–139.

14. Березин, И. В. Биокинетика / И. В. Березин // М.: Наука, 1979. 311 с.

15. Берестецкий, О. А. Влияние сельскохозяйственных культур на численность микрофлоры и биологическую активность дерново-подзолистых почв / О. А. Берестецкий, Т. П. Зубец // Почвоведение. 1981. N 1. С. 91–101.

16. Бондаренко, А. М. Перспективные технологии переработки навоза в концентрированные органические удобрения / А. М. Бондаренко, Л. С. Качанова // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2016. – № 1(71). – С. 20–28.

17. Бондаренко, М. В. Рациональное использование земельных ресурсов сельскохозяйственного назначения / М. В. Бондаренко, Ю. И. Гречишкина // Актуальные вопросы экологии и природопользования : Сборник научных трудов по материалам V международной научно-практической конференции, Ставрополь, 11–12 октября 2017 года. – Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью "СЕКВОЙЯ", 2017. – С. 64–67.

18. Борисенко, В. В. Изучение влияния обогащенного биогумата "ЭКОСС" на работу фотосинтетического комплекса растений редиса / В. В. Борисенко, И. С. Жолобова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 107. – С. 77–85.

19. Борисенко, В. В. Изучение влияния обогащенного биогумата "ЭКОСС" на продуктивность овощных культур / В. В. Борисенко, С. Б. Хусид // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 107. – С. 86-93.

20. Борисов, Б. А. Органическое вещество почв (генетическая и агрономическая оценка) / Б. А. Борисов, Н. Ф. Ганжара. – Москва : Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2015. – 214 с.

21. Буланова, М. В. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий / М. В. Буланова, И. В. Слива, Ю. П. Жуков [и др.] ; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное агентство по сельскому хозяйству, Российская академия сельскохозяйственных наук. – Москва : Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2005. – 784 с.

22. Вавилов, П. П. Растениеводство / П. П. Вавилов // М.: Колос, 1981 – 432 с.
23. Вербицкая, Н. В. Использование препарата гуминовой природы для предпосевной обработки семян пшеницы / Н. В. Вербицкая, Е. П. Кондратенко, О. М. Соболева // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 3(103). – С. 128–132.
24. Вернадский, В. И. Биосфера / В. И. Вернадский // Л.: Науч. Хим.–техн. Изд-во, 1926. – 146 с.
25. Воронкова, Н. А. Содержание органического вещества в лугово-черноземной почве при различных системах обработки / Н. А. Воронкова, Н. Ф. Балабанова, Л. В. Юшкевич // Плодородие. – 2021. – № 6(123). – С. 13–16.
26. Гаврилюк, Ф. Я. О закономерностях гумусообразования в черноземах Западного Предкавказья / Ф. Я. Гаврилюк // Ученые зап. Т. XIX. Тр. биол.- почв. ф-та Ростов. гос. университета. Ростов-Дон, 1953. Вып.3. С. 227–231.
27. Галстян, А. Ш. К методике определения активности дегидраз в почве / А. Ш. Галстян // Докл. АН АрмССР. - 1962. - Т. 35. - № 4. С 181–134.
28. Галстян, А. Ш. Унификация методов определения активности ферментов почв / А. Ш. Галстян // Почвоведение. 1978. № 2. С. 107–113.
29. Гамзиков, Г. П. Почвенная диагностика азотного питания растений и применения азотных удобрений в севооборотах / Г. П. Гамзиков // Плодородие. 2018. № 1. С. 8–14.
30. Гармаш, Н. Ю. Биологическая эффективность гуминовых препаратов на проростках пшеницы / Н. Ю. Гармаш, Л. А. Марченкова, Г. А. Гармаш [и др.] // Биосфера. – 2022. – Т. 14, № 4. – С. 289–292.
31. Гармаш, Н. Ю. Методические подходы к оценке качества гуминовых препаратов / Н. Ю. Гармаш, Г. А. Гармаш // Агрохимический вестник. – 2012. – № 4. – С. 17–19.

32. Гартвик, Р. Н. Варьирование параметров получения и применения гуминового препарата / Р. Н. Гартвик, А. В. Гартвик // Агрохимический вестник. – 2008. – № 5. – С. 33–36.
33. Гончарова, Л. Ю. Сезонная динамика содержания гумуса и ферментативной активности чернозема обыкновенного карбонатного / Л. Ю. Гончарова, О. С. Безуглова, В. Ф. Вальков // Почвоведение, 1990. №10. – С.86-93.
34. ГОСТ 10846-91 Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка / Москва: Стандартинформ. – 2009. – 8 с.
35. ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина / Москва: Стандартинформ. – 2019. – 18 с.
36. ГОСТ 17.4.4.02-2017 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа / Москва: Стандартинформ. – 2018. – 10 с.
37. ГОСТ 26205-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО / Москва: Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов. – 1993. – 9 с.
38. ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества / Москва: Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов. – 1991. – 6 с.
39. ГОСТ 26423-85 Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки / Москва: Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов. – 1985. – 7 с.
40. ГОСТ 26489-85 Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО / Москва: Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов. – 1986. – 5 с.
41. ГОСТ 26657-97 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания фосфора / Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – 1999. – 10 с.

42. ГОСТ 26951-86 Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом / Москва: Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов. – 1986. – 8 с.

43. ГОСТ 30504-97 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Пламенно-фотометрический метод определения содержания калия / Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – 1999. – 8 с.

44. ГОСТ Р 54478-2011 Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице / Москва: Стандартинформ. – 2012. – 20 с.

45. Грехова, И. В. Сортовая реакция культур на применение гуминового препарата / И. В. Грехова, Н. В. Литвиненко, А. В. Куртова, В. Ю. Грехова // Селекция и технологии производства экологически безопасной продукции растениеводства в условиях меняющегося климата : Сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием посвящённая 80-летию со дня рождения заслуженного агронома РФ профессора, доктора сельскохозяйственных наук Ю.П. Логинова, Тюмень, 12 апреля 2022 года. – Тюмень: Научно-исследовательский отдел ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, 2022. – С. 296–305.

46. Гречишкина, Ю. И. Динамика органического вещества в черноземных почвах Ставрополя / Ю. И. Гречишкина // Вестник АПК Ставрополя. – 2019. – № 3(35). – С. 34–37.

47. Григорьева, Е. О гуминовых препаратах / Е. Григорьева // International Agricultural Journal. – 2020. – Т. 63, № 5. – С. 4.

48. Гринько, А. В. Некоторые элементы технологии возделывания яровой пшеницы в условиях обыкновенных черноземов / А. В. Гринько, В. А. Кулыгин // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2018. – № 3. – С. 128–132.

49. Дабахова, Е. В. Агроэкологические проблемы использования органических удобрений в сельском хозяйстве / Е. В. Дабахова, И. А. Питина // Агрохимический вестник. – 2017. – № 2. – С. 10–14.

50. Даденко, Е. В. Методические аспекты применения показателей ферментативной активности в биодиагностике и биомониторинге почв / Е. В. Даденко: автореф. дисс. ... к.б.н. Ростов-на-Дону, 2004. – 28 с.

51. Денисов, Е. П. Изменение стрессовой ситуации растений пшеницы при внекорневой подкормке удобрениями и биопрепаратами / Е. П. Денисов, И. С. Полетаев, Г. И. Шестеркин [и др.] // Перспективы ресурсосберегающих технологий в условиях Поволжья : сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвящённой памяти заслуженного деятеля науки и техники, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Денисова Евгения Петровича, Саратов, 14–17 августа 2018 года / Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2018. – С. 10–15.

52. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки) – 5-е изд., доп. и перераб. / Б. А. Доспехов // М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

53. Драгунов, С. С. Химическая природа гуминовых кислот / Сборник научных трудов «Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения». Т. 2. / С. С. Драгунов // Днепропетровский сельскохозяйственный институт, 1962. – С. 11–22.

54. Дубинина, М. Н. Влияние гуминового препарата на фракционно-групповой состав фосфатов в черноземе обыкновенном карбонатном / М. Н. Дубинина, О. С. Безуглова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2022. – № 1(213). – С. 38–48.

55. Дубинина, М. Н. Динамика структурного состояния и ферментативной активности чернозема обыкновенного карбонатного при

применении биологически активных препаратов / М. Н. Дубинина, В. А. Лыхман, О. С. Безуглова [и др.] // Мелиорация и гидротехника. – 2022. – Т. 12, № 1. – С. 177–194.

56. Дудкина, Т. А. Поступление в почву органического вещества в севооборотах с разным соотношением групп культур / Т. А. Дудкина // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 8. – С. 38–41.

57. Жеребцов, С. И. Гуминовые препараты: связь структурно-группового состава и биологической активности / С. И. Жеребцов, Н. В. Малышенко, К. С. Вотолин [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018. – № 5(129). – С. 52–61.

58. Жолобова, И. С. Влияние биогуматов на почвенную биоту / И. С. Жолобова, Л. О. Пономарева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 114. – С. 975–984.

59. Замятин, С. А. Влияние жидкого гуминового удобрения "Экорост" на урожай зерна яровой пшеницы и его качество / С. А. Замятин, В. М. Измestьев, В. Р. Габдуллин // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2017. – Т. 3, № 3(11). – С. 23–28.

60. Засорина, Э. В. Регуляторы роста на картофеле в Центральном Черноземье / Э. В. Засорина, И. Я. Пигорев // Аграрная наука. – 2005. – № 7. – С. 20–22.

61. Звягинцев, Д. Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей / Д. Г. Звягинцев // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48–54

62. Зинченко, М. К. Влияние приемов обработки и доз удобрений на ферментативную активность серой лесной почвы / М. К. Зинченко, С. И. Зинченко // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 8. – С. 3–5.

63. Зинченко, М. К. Ферментативная активность агроландшафтов Владимирского ополья / М. К. Зинченко, С. И. Зинченко, И. М. Щукин // Инновационные технологии адаптивно-ландшафтного земледелия: Коллективная монография, 29–30 июня 2015 года / ФГБНУ «Владимирский НИИСХ». Том Книга 2. – Суздаль: ПресСто, 2015. – С. 89–100.
64. Зинченко, М. К. Ферментативный потенциал агроландшафтов серой лесной почвы Владимирского Ополя / М. К. Зинченко, С. И. Зинченко // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1–8. – С. 1319–1323.
65. Зубкова, Т. А. Каталитическая активность почв / Т. А. Зубкова, Л. О. Карпачевский // Почвоведение, 1979. № 6. – С. 115–121.
66. Ильясова, Н. В. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы при совершенствовании элементов адаптивной технологии ее возделывания на черноземах южных Оренбургского Предуралья / Н. В. Ильясова, Т. А. Сорока, В. Б. Щукин // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы : VIII Международная научно-практическая конференция, Пенза, 01 января – 31 2012 года. – Пенза: Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2012. – С. 58–61.
67. Инишева, Л. И. Руководство по определению ферментативной активности торфяных почв и торфов / Л. И. Инишева, С. Н. Ивлева, Т. А. Щербакова. – Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2003. – 119 с.
68. Ионова, Л. П. Влияние минерального питания на водный обмен, фотосинтез и урожайность томата в засушливой зоне Астраханской области / Л. П. Ионова, Н. Д. Смашевский // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 4(174). – С. 5–11.
69. Канаш, Е. В. Пролонгированное влияние дефицита основных макроэлементов на качество семенного материала и урожайность растений следующего поколения / Е. В. Канаш, Л. П. Гусакова, М. В. Архипов, А. К. Виличко // Агрофизика. – 2017. – № 1. – С. 36–43.

70. Капустин, В. П. Органические удобрения и урожайность сельскохозяйственных культур / В. П. Капустин, А. В. Брусенков // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 2(38). – С. 86–89.

71. Каргин, В. И. Продуктивность озимой пшеницы от применения гуминовых и биологических препаратов / В. И. Каргин, В. Е. Камалихин, А. Ю. Осичкин // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 2(2). – С. 25–29.

72. Кацнельсон, Р. С. Исследование микрофлоры целинных и окультуренных почв Карельской АССР. Биологическая активность почвы Карельской АССР / Р. С. Кацнельсон, В. В. Ершов // Микробиология. - 1958. - Т. 27. - С. 82–88.

73. Кидин, В. В. Органические удобрения: Учебное пособие / В. В. Кидин // М.: Издательство РГАУ-МСХА. - 2012. - 166 с.

74. Кирюшин, В. И. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий / В. И. Кирюшин // Москва: ФГНУ «Росинформагротех». – 2005. – 784 с.

75. Киш, И. Данные к изучению накопления энзимов в почве / И. Киш, И. Балинт // Известия АН СССР. Серия биол. 1959. № 2. С. 215–220.

76. Клименко, А. И. Мониторинг метеоданных ФГБНУ ФРАНЦ / А. И. Клименко, А. В. Парамонов, А. В. Гринько, О. А. Целуйко, Г. А. Бахматова, Р. А. Гуленок // ФГБНУ ФРАНЦ. – п. Рассвет: Издательство «АзовПринт», 2022. – 44 с.

77. Ковалев, Н. Г. Современные проблемы производства и использования органических удобрений / Н. Г. Ковалев // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2013. – № 2(10). – С. 82–101.

78. Козлов, К. А. Биологическая активность почвы / К. А. Козлов // Известия АН СССР. Сер. биол. наук. 1966. № 5. С. 719–733.

79. Козлов, К. А. К вопросу о возможных источниках обогащения почвы ферментами / К. А. Козлов, Е. М. Нючева // Известия АН СССР. Сиб. отделение. Серия биол.-мед. наук. 1965. № 12, вып. 3. С. 131–134.
80. Козлов, К. А. Ферментативная активность почв как показатель биологической активности / К. А. Козлов // Докл. сиб. почвоведов VIII Междунар. почвенному конгрессу. Новосибирск, 1964. С. 96–106.
81. Кокунова, И. В. Эффективность органических удобрений в зависимости от способа их производства / И. В. Кокунова, Н. Н. Кулакова, С. В. Истомин // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 3. – С. 48–54.
82. Кононова, М. М. Органическое вещество почвы / М. М. Кононова // М.: Изд-во АН СССР, 1963. 315 с.
83. Кононова, М. М. Проблемы почвенного гумуса и современные задачи его изучения / М. М. Кононова // М.: Изд-во АН СССР, 1961.
84. Красильников, Н. А. Выделение ферментов корнями растений / Н. А. Красильников // Доклады АН СССР. 1952. Т. 87. № 2.
85. Кудеяров, В. Н. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / В. Н. Кудеяров, Г. А. Заварзин, С. А. Благодатский [и др.]. – Москва : ФГУП "Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр "Наука", 2007. – 315 с.
86. Купревич, В. Ф. Внеклеточные ферменты корней высших автотрофных растений / В. Ф. Купревич // ДАН СССР. 1949. Т. LXXVIII, № 5. С. 953–956
87. Купревич, В. Ф. Вопросы почвенной энзимологии / В. Ф. Купревич // Вестник АН СССР. 1958. № 4. С. 52–57.
88. Купревич, В. Ф. Почвенная энзимология / В. Ф. Купревич // Научные труды: В 4 т. Минск: Наука и техника, 1974. Т. 4. 404 с
89. Купревич, В. Ф. Почвенная энзимология / В. Ф. Купревич, Т. А. Щербакова // Минск: Наука и техника, 1966. 275 с.

90. Кыдралиева, К. А. Исследование адаптогенных свойств гуминовых препаратов по отношению к растительному покрову засоленных почв / К. А. Кыдралиева, В. А. Терехова, Ю. А. Нишкевич [и др.] // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : Материалы XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Киров, 04–06 декабря 2017 года / Ответственный редактор Т. Я. Ашихмина; Вятский государственный университет, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Том Книга 2. – Киров: Вятский государственный университет, 2017. – С. 172–173.

91. Левинский, Б. В. Всё о гуматах / Б. В. Левинский // Иркутск: Корф-Полиграф, 2000. – 75 с.

92. Лукин, С. В. Мониторинг содержания органического вещества в почвах ЦЧО / С. В. Лукин, Е. А. Заздравных, Е. А. Празина // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 3. – С. 15–18.

93. Лыхман, В. А. Влияние гуминового препарата на продуктивность озимой пшеницы при возделывании на чернозёме обыкновенном / В. А. Лыхман, Е. А. Полиенко, М. Н. Дубинина [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 5(73). – С. 60–63.

94. Лыхман, В. А. Влияние гуминового препарата на свойства чернозёма обыкновенного при выращивании яровой пшеницы / В. А. Лыхман, Е. А. Полиенко, О. С. Безуглова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3(65). – С. 222–225.

95. Мамасалиева, Л. Э. Микробное сообщество и ферментативная активность типичного серозема при внесении новых фосфорсодержащих удобрений / Л. Э. Мамасалиева: дисс. ... к.б.н. Ташкент, 2010. – 125 с.

96. Матюгин, В. А. Применение гуминовых препаратов на посевах озимой пшеницы в условиях полевого опыта на чернозёме обыкновенном карбонатном / В. А. Матюгин, А. Е. Попов, О. С. Безуглова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2021. – № 4(212). – С. 53–60.

97. Маштаков, С. М. Активность ферментов и интенсивность дыхания как показатель биологической активности почвы / С. М. Маштаков, Т. Н. Кулаковская, С. М. Гольдина // Доклады АН СССР. 1954. № 1. С. 141–144.
98. Менликиев, М. Я. Биологизация защиты растений от вредных организмов в Республике Башкортостан / М. Я. Менликиев, И. Т. Шаяхметов, А. А. Сахибгареев // Аграрная Россия. – 2006. – № 2. – С. 33–35.
99. Мерзлая, Г. Е. Гумус и органические удобрения как основа плодородия / Г. Е. Мерзлая, Л. К. Шевцова // Плодородие. – 2006. – № 5(32). – С. 27–29.
100. Московкин, В. В. Влияние микробиологических препаратов на динамику эмиссии CO₂ при применении соломы зерновых культур в качестве удобрения на дерново-подзолистой супесчаной почве в лабораторных условиях / В. В. Московкин, И. В. Русакова // Перспективы применения средств химизации в ресурсосберегающих агротехнологиях : Материалы 47-й Международной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов, г. Москва, 25–26 апреля 2013 года. – г. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2013. – С. 132–134.
101. Муравин, Э. А. Агрохимия / Э. А. Муравин // М.: КолосС, 2003. – 384 с.
102. Наими, О. И. Биологическое земледелие и экологические аспекты применения гуминовых препаратов / О. И. Наими, Ю. С. Поволоцкая // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2019. – № 3–1. – С. 121–123.
103. Наими, О. И. Динамика подвижного фосфора в черноземе обыкновенном карбонатном при запашке соломы / О. И. Наими, О. Ю. Куцерубова // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2018. – № 3–1(29). – С. 69–75.

104. Наими, О. И. О методе определения активности уреазы в почве / О. И. Наими // Высокие технологии и инновации в науке : Сборник избранных статей Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 27 ноября 2019 года. – Санкт-Петербург: Частное научно-образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦРАЗВИТИЕ», 2019. – С. 17-20.

105. Наими, О. И. Применение гуминового препарата ВЮ-Дон для ускорения разложения соломы в почве / О. И. Наими // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России: Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 22 ноября 2018 года. Том Часть 2. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2019. – С. 502–506.

106. Наими, О. И. Солома как фактор повышения плодородия почв / О. И. Наими // Международный научный сельскохозяйственный журнал. – 2019. – № 3. – С. 28–32.

107. Новиков, А. А. Органическое вещество и его значение в почвенном плодородии / А. А. Новиков. Новочеркасск, 1999. – 89 с.

108. Новиков, А. А. Экологическое состояние гумуса и азота в черноземах Северного Кавказа /А. А. Новиков. Новочеркасск, 2001. – 180 с.

109. Новиков, А. А. Гумус черноземов обыкновенных при внесении удобрений и эффективность возделываемых сельскохозяйственных культур / А. А. Новиков // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017. № 2(26). – С. 131–143.

110. Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 03.08.2018 N 280-ФЗ [Электронный ресурс]. www.consultant.ru/

111. Олейников, А. Ю. Краткая характеристика состояния земельного фонда в Ставропольском крае / А. Ю. Олейников, А. В. Бурлай, Ю. И.

Гречишкина // Эволюция и деградация почвенного покрова : Сборник научных статей по материалам V Международной научной конференции, Ставрополь, 19–22 сентября 2017 года. – Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью "СЕКВОЙЯ", 2017. – С. 381–384.

112. Орлов, Д. С. Влияние орошения на содержание гумусовых веществ и углеводов в южных и предкавказских черноземах/ Д. С. Орлов, Е. М. Аниканова, Л. К. Садовникова // Агрохимия. 1975. №12. С. 51–58.

113. Орлов, Д. С. Содержание и распределение углеводов в важнейших почвах СССР / Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова // Почвоведение. – 1975. – № 8. – С. 81–90.

114. Патент № 2612210 С Российская Федерация, МПК C05F 11/02, C05C 11/00. Способ получения жидкого гуминового препарата: № 2016104553 : заявл. 10.02.2016 : опубл. 03.03.2017 / О. С. Безуглова, Е. А. Полиенко, А. В. Горовцов, В. А. Лыхман ; заявитель ФГБНУ «Донской зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства», ООО «БИО-ДОН».

115. Патент RU2299539 C1 Российская Федерация, МПК A01B 79/02, A01G 1/00. Способ выращивания растений в теплицах : № 2005131565/12 : заявл. 11.10.2005 : опубл. 27.05.2007 / М. Ю. Карпухин, А. В. Юрина, Ю. А. Кирсанов [и др.] ; заявитель ФГОУ ВПО Уральская государственная сельскохозяйственная академия.

116. Перетятко, Ю. А. Ресурсосберегающая технология возделывания озимой пшеницы с элементами биологизации / Ю. А. Перетятко // Международный технико-экономический журнал. – 2014. – № 1. – С. 81–87.

117. Петенко, А. И. Влияние Биогумата "Экосс" и регуляторов роста на урожайность и качество зерна озимой пшеницы сорта Юка / А. И. Петенко, В. В. Борисенко, И. С. Жолобова, А. Н. Гнеуш // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4–1(26). – С. 81–88.

118. Петерсон, Н. В. Источники обогащения почвы ферментами / Н. В. Петерсон // Мікробіол. журнал. 1961. Т. 23, вып. 6. С. 5–11.

119. Пигорев, И. Я. Улучшение агроэкологического состояния почв как способ повышения продуктивности полевых культур / И. Я. Пигорев, И. В. Ишков // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей: в 3 книгах, Барнаул, 07–08 февраля 2017 года / Алтайский государственный аграрный университет. Том Книга 2. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2017. – С. 236–238.

120. Поволоцкая, Ю. С. Адаптогенные свойства гуминовых препаратов (обзор) / Ю. С. Поволоцкая // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2019. – № 3–1. – С. 128–130.

121. Поздняков, Л. А. Влияние лигногумата на биологическую активность почвы о. Бали, Индонезия / Л. А. Поздняков, А. Л. Степанов, М. Э. Гасанов, М. В. Семенов, О. С. Якименко, А. К. Суада, А. Н. Рай, Н. М. Щеголькова // Почвоведение. 2020. № 5. – С. 601–609.

122. Полиенко, Е. А. Влияние гуминовых веществ на динамику элементов питания при сочетании с системами защиты нута / Е. А. Полиенко, О. С. Безуглова, Е. С. Патрикеев [и др.] // Агрохимический вестник. – 2020. – № 5. – С. 52–57.

123. Полиенко, Е. А. Влияние гуминовых удобрений различной природы на биологическую активность и плодородие чернозема обыкновенного карбонатного / Е. А. Полиенко // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2011. – № 4(164). – С. 73–76.

124. Полиенко, Е. А. Экологическая оценка влияния гуминовых препаратов на состояние почв и растений: специальность 03.02.08 "Экология (по отраслям)": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Полиенко Е. А. – Ростов-на-Дону, 2016. – 22 с.

125. Рахманкулова, З. Ф. Особенности распределения биомассы у растений в норме и при дефиците элементов минерального питания / З. Ф.

Рахманкулова, И. Ю. Усманов // Ботанический журнал. – 2003. – Т. 88, № 3. – С. 80.

126. Сейтбогомбетов, Е. С. Эффективность некорневого внесения регуляторов роста и удобрения на основе гуминовых кислот в поздние фазы роста и развития озимой пшеницы / Е. С. Сейтбогомбетов, Н. В. Ильясова, В. Б. Щукин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 2(70). – С. 50–53.

127. Семенов, В. М. Взаимосвязь размера агрегатов, содержания дисперсного органического вещества и разложения растительных остатков в почве / В. М. Семенов, Т. Н. Лебедева, Н. Б. Паутова [и др.] // Почвоведение. – 2020. – № 4. – С. 430–443.

128. Семенов, В. М. Минерализация органического вещества в разных по размеру агрегатных фракциях почвы / В. М. Семенов, Л. А. Иванникова, Н. А. Семенова [и др.] // Почвоведение. – 2010. – № 2. – С. 157–165.

129. Семенов, В. М. Стабилизация органического вещества в почве / В. М. Семенов, Л. А. Иванникова, А. С. Тулина // Агрохимия. – 2009. – № 10. – С. 77–96.

130. Сергеева, А. А. Влияние препарата "Агробальзам" на урожайность яровой пшеницы / А. А. Сергеева, Г. А. Гасимова // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2015. – Т. 223, № 3. – С. 174–177.

131. Сидоренко, О. Д. Перспективы использования биологических препаратов на основе микроорганизмов / О. Д. Сидоренко // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 6. – С. 70–79.

132. Симонович, Е. И. Биологические активизаторы почвенного плодородия в растениеводстве / Е. И. Симонович, А. А. Казадаев. – Ростов-на-Дону : НМЦ "Логос", 2009. – 296 с.

133. Сорокин, А. И. Применение регуляторов роста под яровой ячмень на светло-каштановых почвах / А. И. Сорокин, А. С. Цевденева // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 1. – С. 35–38.

134. Сорта полевых культур: каталог / Федеральный Ростовский аграрный научный центр. – Ростов-на-Дону: Издательство «Юг», 2022. – 196 с.

135. Степанов, А. А. Эффективность биоудобрения "АгроВерм" как стимулятора роста и мелиоранта в полевом микроделяночном опыте с пшеницей / А. А. Степанов, Д. Д. Госсе, М. А. Панина // Бюллетень науки и практики. – 2018. – Т. 4, № 1. – С. 55–63.

136. Степанов, А. А. Эффективность гуминового удобрения «Эдагум®СМ» как стимулятора роста и мелиоранта в полевых и вегетационных опытах с пшеницей / А. А. Степанов, О. С. Якименко, Д. Д. Госсе, М. Е. Смирнова // Агрохимия. 2018. № 6. – С. 36–43.

137. Сулейменов, Б. У. Влияние гуминового препарата на продуктивность озимой пшеницы в условиях "Агропарк Онтустик" / Б. У. Сулейменов, А. С. Сапаров, Л. И. Колесникова [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 3. – С. 71–79.

138. Трухачев, В. И. Производство и использование органических удобрений / В. И. Трухачев, Н. З. Злыднев, Р. М. Злыднева // Вестник АПК Ставрополя. – 2015. – № S2. – С. 120–131.

139. Туев, Н. А. Микробиологические процессы гумусообразования / Н. А. Туев М.: Агропромиздат, 1989. 239 с.

140. Федотов, Г. Н. Уточнение представлений о механизме биологической активности гуминовых препаратов / Г. Н. Федотов, М. Ф. Федотова, В. С. Шалаев [и др.] // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2018. – Т. 22, № 1. – С. 36–42.

141. Филиппов, А. С. Антидотная эффективность препарата гумимакс при совместном применении с разными гербицидами на посевах яровой пшеницы / А. С. Филиппов, В. В. Немченко // Аграрный вестник Урала. – 2017. – № 10(164). – С. 10.

142. Фирсов, С. С. Эффективность гуминовых удобрений в интенсификации продукционных процессов озимой пшеницы / С. С. Фирсов,

Ю. В. Жигарева, Н. В. Сухова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2017. – № 5–6(39–40). – С. 42–49.

143. Хазиев, Ф. Х. Методы почвенной энзимологии / Ф. Х. Хазиев // Российская академия наук, Уфимский научный центр, Институт биологии. – Москва: Наука, 2005. – 256 с.

144. Хазиев, Ф. Х. Почвенные ферменты/ Ф. Х. Хазиев // М.: Знание, 1972. 32 с.

145. Хатков, К. Х. Влияние новых гуминовых препаратов на продуктивность озимой пшеницы в предгорной зоне Республики Адыгея / К. Х. Хатков, З. Ш. Дагужиева // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2016. – № 4(191). – С. 122–126.

146. Хомяков, Ю. В. Роль корневых выделений растений в формировании биохимических свойств корнеобитаемой среды / Ю. В. Хомяков: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Санкт-Петербург, 2009. – 22 с.

147. Христева, Л. А. Об участии гуминовых кислот и других органических веществ в питании высших растений / Л. А. Христева// Почвоведение, 1953. №10. – С.24-29.

148. Христева, Л. А. Действие физиологически активных гуминовых кислот на растения при неблагоприятных внешних условиях/ Л. А. Христева // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Днепропетровск, 1973. Т.4. – С.5-23.

149. Христева, Л. А. К природе действия гумусовых веществ на растения в экстремальных условиях / Л. А. Христева // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Днепропетровск, 1977. Т. 6. – С.29 -38.

150. Черникевич, И. П. Ферментативный катализ (лекция по общей химии) / И. П. Черникевич // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. – 2008. – № 1(21). – С. 21–27.

151. Чернова, О. В. Современное состояние гумусированности пахотных черноземов настоящих степей (на примере Ростовской области) / О. В. Чернова, И. О. Алябина, О.С. Безуглова, Ю. А. Литвинов // Юг России: экология, развитие (South of Russia: Ecology, Development). 2020. Т. 15, № 4. С.1–17.

152. Чуков, С. Н. Проблемы сертификации гуминовых препаратов / С. Н. Чуков, В. А. Терехова, О. С. Якименко // Экологическое нормирование, сертификация и паспортизация почв как научная основа рационального землепользования : Материалы докладов, Москва, 30 сентября – 01 октября 2010 года / Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Факультет почвоведения; Министерство образования и науки Российской Федерации; Составители: Кулачкова С. А., Макаров О. А.. – Москва: ООО "МАКС Пресс", 2010. – С. 41–42.

153. Чуманова, Н. Н. Влияние гуминовых препаратов на урожайность и качественные характеристики зерна овса в Кемеровской области / Н. Н. Чуманова, Д. В. Шерер // Вестник Курганской ГСХА. – 2017. – № 1(21). – С. 65–68.

154. Чурзин, В. Н. Оценка применения препаратов силиплант и биогумата "ЭКОСС-20" при возделывании озимых культур и яровой пшеницы в зоне каштановых почв Волго-Донского междуречья / В. Н. Чурзин, Е. В. Кубраков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 4(44). – С. 90–97.

155. Шевцова Л. К. К вопросу исследования гумуса в длительных опытах с удобрениями / Л. К. Шевцова, С. И. Сидорина, П. Д. Столба, И. В. Володарская // Тр. ин-та Почвоведения и агрохимии Уз.ССР, 1987. №31. – С.127-133.

156. Шеуджен, А. Х. Агрохимия регуляторов роста гуминовой природы в рисоводстве / А. Х. Шеуджен, Т. Н. Бондарева, Р. В. Штуц, С. В. Есипенко

// Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 106. – С. 550–567.

157. Шимко, А. Е. Влияние гуминового препарата ВЮ-Дон на целлюлозную активность и гумусное состояние чернозема обыкновенного карбонатного при внесении соломы / А. Е. Шимко, О. С. Безуглова, Е. А. Полиенко, О. Ю. Куцерубова // Научное обеспечение агропромышленного комплекса на современном этапе: материалы Международной научно-практической конференции, п. Рассвет, 25 сентября 2015 года. – п. Рассвет: Южный федеральный университет, 2015. – С. 195–200.

158. Шишов, Л. Л. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова // Смоленск : Ойкумена, 2004. – 341 с.

159. Щегорец, О. В. Становление, проблемы и перспективы биологизации земледелия России и Дальнего Востока / О. В. Щегорец // Аграрный вестник Приморья. – 2019. – № 4(16). – С. 5–8.

160. Щербаков, А. В. Влияние дефицита отдельных элементов минерального питания на накопление флавоноидов бобовыми растениями на примере фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.) / А. В. Щербаков, С. М. Фаизова, С. П. Иванов, И. Ю. Усманов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 5. – С. 223.

161. Щербакова, Т. А. Выделение из почвы органоминеральных комплексов, обладающих ферментативной активностью / Т. А. Щербакова, А. А. Масько, Н. А. Галушко // Почвоведение. 1981. № 4. С. 71–78.

162. Щербакова, Т. А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества / Т. А. Щербакова // Минск: Наука и техника, 1983, 122 с.

163. Щукин, В. Б. Влияние регуляторов роста на формирование урожая яровой пшеницы в условиях Оренбургского Предуралья / В. Б. Щукин, А. О. Мишустин, Н. В. Ильясова // Совершенствование инженерно-технического обеспечения производственных процессов и технологических систем:

Материалы национальной научно-практической конференции с международным участием, Оренбург, 04 февраля 2022 года / Оренбургский государственный аграрный университет. – Оренбург: ООО "Агентство "Пресса", 2022. – С. 490–494.

164. Щукин, С. В. Экологизация сельского хозяйства : перевод традиционного сельского хозяйства в органическое / С. В. Щукин, А. М. Труфанов // Москва : КТ "Буки-Веди", 2012. – 196 с.

165. Якименко, О. С. Гуминовые препараты и оценка их биологической активности для целей сертификации / О. С. Якименко, В. А. Терехова // Почвоведение. – 2011. – № 11. – С. 1334–1343.

166. Яковлев, В. А. Ферментативная кинетика / В. А. Яковлев // Ферменты. М.: Наука, 1964. 311 с.

167. Bezuglova, Olga. Molecular structure of humus acids in soils / Olga Bezuglova // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 2019. V. 182, Is. 2. – P. 676–682.

168. Bezuglova, O. S. Interrelationship between the physical properties and the humus content of chernozems in the south of European Russia / O. S. Bezuglova, N. V. Yudina // Eurasian Soil Science. 2006. V. 39, № 2. – P. 187–194.

169. Flaig, W. Effect of lignin degradation products on plant growth / W. Flaig // Isotopes and radiation in soil plant nutrition studies. Intern. atomic energy agency. Vienna, 1965. – P. 3–19.

170. Furh, F. The uptake of colloidal organic substances by experiments with C labelled Humus compounds / F. Furh, D. Sauerbeck // Isotopes in plant nutrition and physiology. Proceedings of a Simposium. Vienna, 1967. - P. 317–328.

171. Pukalchik, M. Effect of organic substances on wheat (*Triticum* spp.) productivity and soil enzyme functional stability under drought stress conditions / M. Pukalchik, K. Kydralieva, O. Yakimenko, V. Terekhova // Research on Crops. 2020. V. 21, №2. – P. 210–214.

172. Tishchenko, S. A. The Humus State of the Soils of Locally Hydromorphic Landscapes in the Lower Reaches of the Don River / S. A. Tishchenko, O. S. Bezuglova // Eurasian Soil Science. 2012. Vol. 45, No. 2. – P. 132–140.

173. Visser, S. A. Physiological action of humic acids on living cells / S. A. Visser // The Proc.4th Int. Peat Congr. – Finland: Ctaniemy, 1972. – P. 186—192.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1. Динамика содержания суммарного подвижного азота по вариантам опыта в течение вегетационного периода 2020–2021 гг., мг/кг

Вариант опыта	Повторность	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	изменения к концу опыта
		Отбор 1				Отбор 2				Отбор 3				Отбор 4			
Контроль	1	76,58	76,58	-	24,80	26,27	-	-50,31	12,57	10,79	-	-15,48	9,70	11,10	-	0,31	-65,48
	2	82,20			26,10				12,51				11,90				
	3	70,50			27,90				7,29				11,70				
ВЮ-Дон-1	1	105,57	105,57	28,99	72,80	62,27	36,00	-43,30	13,08	11,41	0,62	-50,86	14,20	13,40	2,30	1,99	-92,17
	2	110,20			68,60				14,27				13,80				
	3	98,90			45,40				6,88				12,20				
ВЮ-Дон-2	1	105,57	105,57	28,99	86,50	80,50	54,23	-25,07	12,45	9,24	-1,55	-71,26	10,40	11,93	0,83	2,69	-93,64
	2	110,58			70,30				6,75				13,00				
	3	100,00			84,70				8,52				12,40				
ЭКОСС-1	1	97,05	97,05	20,47	42,90	40,43	14,17	-56,62	10,22	13,38	2,59	-27,06	10,80	10,57	-0,53	-2,81	-86,48
	2	102,00			40,70				14,10				11,10				
	3	92,00			37,70				15,81				9,80				
ЭКОСС-2	1	97,05	97,05	20,47	30,30	34,17	7,90	-62,88	11,10	9,77	-1,02	-24,39	15,90	12,80	1,70	3,03	-84,25
	2	102,30			39,40				11,60				10,80				
	3	90,10			32,80				6,62				11,70				
НСР ₀₅		по фактору А 2,65 по фактору В 2,96 по фактору АВ 2,96															
Фактор А - разница между отборами, фактор В - разница между вариантами, фактор АВ – сочетание факторов																	

Таблица 2. Динамика содержания суммарного подвижного азота по вариантам опыта в течение вегетационного периода 2021–2022 гг., мг/кг

Вариант опыта	Повторность	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	изменения к концу опыта
		Отбор 1			Отбор 2				Отбор 3				Отбор 4				
Контроль	1	20,62	20,62	-	46,59	40,37	-	19,75	13,78	13,77	-	-26,59	11,03	23,88	-	10,11	3,27
	2	22,30			39,49				15,05				33,96				
	3	13,60			35,02				12,49				26,65				
ВЮ-Дон-1	1	28,73	28,73	8,12	15,92	21,18	-19,19	-7,55	28,45	29,71	15,94	8,53	15,28	26,90	3,02	-2,82	-1,83
	2	30,30			20,89				25,92				45,26				
	3	26,63			26,73				34,77				20,15				
ВЮ-Дон-2	1	28,73	28,73	8,12	8,83	15,63	-24,74	-13,10	13,53	14,71	0,94	-0,91	11,60	20,04	-3,84	5,33	-8,69
	2	32,50			20,18				11,32				29,29				
	3	25,60			17,87				19,29				19,23				
ЭКОСС-1	1	21,15	21,13	0,52	22,81	19,10	-21,27	-2,03	14,91	15,16	1,38	-3,94	13,77	21,28	-2,60	6,12	0,15
	2	26,18			18,63				14,49				18,25				
	3	15,00			15,85				16,07				31,81				
ЭКОСС-2	1	21,13	21,13	0,52	16,06	12,94	-27,42	-8,19	21,96	19,29	5,52	6,35	23,71	25,97	2,09	6,68	4,84
	2	22,10			10,42				16,25				29,92				
	3	20,90			12,35				19,66				24,28				
НСР ₀₅		по фактору А 3,62 по фактору В 4,04 по фактору АВ 4,04															
Фактор А - разница между отборами, фактор В - разница между вариантами, фактор АВ – сочетание факторов																	

Таблица 3. Динамика содержания подвижного фосфора по вариантам опыта в течение вегетационного периода 2020-2021 гг., мг/кг

Вариант опыта	Повторность	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	изменения к концу опыта
		Отбор 1			Отбор 2			Отбор 3			Отбор 4						
Контроль	1	36,40	36,40	-	34,80	33,37	-	-3,03	54,10	45,40	-	12,03	27,10	27,20	-	-18,20	-9,20
	2	38,20			35,00				41,70				26,80				
	3	34,00			30,30				40,40				27,70				
ВЮ-Дон-1	1	38,60	38,60	2,20	59,39	56,18	22,81	17,58	30,80	27,40	-18,00	-28,78	25,10	21,13	-6,07	-6,27	-17,47
	2	39,10			55,25				25,60				20,60				
	3	38,20			53,90				25,80				17,70				
ВЮ-Дон-2	1	38,60	38,60	2,20	73,40	69,50	36,13	30,90	32,70	28,27	-17,13	-41,23	20,00	18,30	-8,90	-9,97	-20,30
	2	38,90			64,60				24,20				18,30				
	3	38,20			70,50				27,90				16,60				
ЭКОСС-1	1	33,20	33,20	-3,20	63,90	59,63	26,27	26,43	34,20	38,37	-7,03	-21,27	23,00	22,27	-4,93	-16,10	-10,93
	2	34,20			58,40				42,60				22,30				
	3	32,80			56,60				38,30				21,50				
ЭКОСС-2	1	33,20	33,20	-3,20	58,10	55,63	22,27	22,43	36,70	35,87	-9,53	-19,77	29,60	28,63	1,43	-7,23	-4,57
	2	33,50			58,60				40,30				26,50				
	3	33,00			50,20				30,60				29,80				
НСР ₀₅		по фактору А 1,79 по фактору В 2,00 по фактору АВ 2,00															
Фактор А - разница между отборами, фактор В - разница между вариантами, фактор АВ – сочетание факторов																	

Таблица 4. Динамика содержания подвижного фосфора по вариантам опыта в течение вегетационного периода 2021–2022 гг., мг/кг

Вариант опыта	Повторность	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	изменения к концу опыта
		Отбор 1			Отбор 2			Отбор 3			Отбор 4						
Контроль	1	35,00	35,00	-	17,10	20,30	-	-14,70	17,70	17,57	-	-2,73	23,50	22,37	-	4,80	-12,63
	2	35,50			21,10				15,20				23,00				
	3	32,30			22,70				19,80				20,60				
ВЮ-Дон-1	1	37,20	37,20	2,20	20,40	20,37	0,07	-16,83	17,10	18,60	1,03	-1,77	30,50	24,97	2,60	6,37	-12,23
	2	38,10			17,50				18,00				23,20				
	3	36,90			23,20				20,70				21,20				
ВЮ-Дон-2	1	37,20	37,20	2,20	16,10	20,23	-0,07	-16,97	19,60	18,57	1,00	-1,67	28,00	21,63	-0,73	3,07	-15,57
	2	38,30			18,00				15,00				18,00				
	3	35,50			26,60				21,10				18,90				
ЭКОСС-1	1	31,90	31,90	-3,10	16,10	20,30	0,00	-11,60	18,00	18,73	1,17	-1,57	20,80	20,33	-2,03	1,60	-11,57
	2	32,30			20,20				17,70				20,90				
	3	30,40			24,60				20,50				19,30				
ЭКОСС-2	1	31,90	31,90	-3,10	19,50	20,43	0,13	-11,47	15,20	15,07	-2,50	-5,37	23,40	21,07	-1,30	6,00	-10,83
	2	31,95			20,10				16,60				19,80				
	3	30,40			21,70				13,40				20,00				
НСР ₀₅		по фактору А 1,66 по фактору В 1,85 по фактору АВ 1,85															
Фактор А - разница между отборами, фактор В - разница между вариантами, фактор АВ – сочетание факторов																	

Таблица 5. Динамика содержания гумуса по вариантам опыта в течение вегетационного периода 2020-2021 гг., %

Вариант опыта	Повторность	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	изменения к концу опыта	
		Отбор 1				Отбор 2				Отбор 3				Отбор 4				
Контроль	1	4,11	4,11	-	3,95	3,99	-	-0,12	3,98	3,95	-	-0,04	4,07	4,09	-	0,14	-0,02	
	2	4,15			4,06				3,99				4,17					
	3	4,08			3,95				3,87				4,02					
ВЮ-Дон-1	1	4,04	4,04	-0,07	3,99	3,96	-0,02	-0,08	4,08	4,00	0,05	0,04	4,19	4,08	0,00	0,08	0,04	
	2	4,06			3,98				3,94				4,02					
	3	4,02			3,92				3,98				4,04					
ВЮ-Дон-2	1	4,02	4,04	-0,07	3,91	3,99	0,00	-0,05	4,03	3,93	-0,01	-0,06	4,12	4,06	-0,02	0,13	0,02	
	2	4,10			4,06				3,87				4,03					
	3	4,08			4,00				3,90				4,04					
ЭКОСС-1	1	4,06	4,08	-0,03	4,00	4,01	0,02	-0,07	3,99	3,97	0,02	-0,04	4,11	4,06	-0,03	0,09	-0,02	
	2	4,10			4,08				3,96				4,05					
	3	4,10			3,94				3,96				4,01					
ЭКОСС-2	1	4,08	4,08	-0,03	4,04	4,03	0,04	-0,05	3,92	3,92	-0,03	-0,11	4,04	4,07	-0,02	0,15	-0,01	
	2	4,05			4,01				3,96				4,13					
	3	4,09			4,03				3,87				4,03					
НСР ₀₅		по фактору А 0,03 по фактору В 0,03 по фактору АВ 0,03																
Фактор А - разница между отборами, фактор В - разница между вариантами, фактор АВ – сочетание факторов																		

Таблица 6. Динамика содержания гумуса по вариантам опыта в течение вегетационного периода 2021–2022 гг., %

Вариант опыта	Повторность	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	изменения к концу опыта	
		Отбор 1				Отбор 2				Отбор 3				Отбор 4				
Контроль	1	4,09	4,09	-	4,03	4,13	-	0,04	4,03	4,06	-	-0,07	3,85	3,97	-	-0,08	-0,12	
	2	4,14			4,19				4,10				3,99					
	3	4,08			4,16				4,04				4,08					
ВЮ-Дон-1	1	4,07	4,08	-0,02	3,89	4,04	-0,09	-0,03	3,95	4,13	0,08	0,09	4,03	4,08	0,10	-0,06	0,01	
	2	4,10			4,07				4,33				4,09					
	3	4,15			4,16				4,12				4,11					
ВЮ-Дон-2	1	4,07	4,07	-0,02	3,92	4,09	-0,04	0,02	3,99	4,11	0,05	0,02	3,90	4,06	0,08	-0,05	-0,01	
	2	4,03			4,18				4,18				4,11					
	3	4,12			4,16				4,15				4,16					
ЭКОСС-1	1	4,18	4,18	0,09	3,97	4,09	-0,04	-0,09	3,99	4,01	-0,04	-0,07	3,83	3,94	-0,03	-0,07	-0,24	
	2	4,22			4,14				4,10				4,04					
	3	4,12			4,15				3,95				3,96					
ЭКОСС-2	1	4,18	4,19	0,09	4,03	4,07	-0,06	-0,11	4,05	4,10	0,04	0,03	3,81	3,95	-0,02	-0,15	-0,23	
	2	4,19			4,09				4,30				3,96					
	3	4,22			4,09				3,95				4,09					
НСР ₀₅		по фактору А 0,05 по фактору В 0,053 по фактору АВ 0,053																
Фактор А - разница между отборами, фактор В - разница между вариантами, фактор АВ – сочетание факторов																		

Таблица 7. Динамика содержания подвижных соединений калия по вариантам опыта в течение вегетационного периода 2020–2021 гг., мг/кг

Вариант опыта	Повторность	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	изменения к концу опыта
		Отбор 1				Отбор 2				Отбор 3				Отбор 4			
Контроль	1	446,4	446,4	-	441,6	454,5	-	8,1	450,2	441,3	-	-13,2	377,6	361,7	-	-79,6	-84,7
	2	454,3			435,2				431,0				363,3				
	3	440,0			486,8				442,7				344,2				
ВЮ-Дон-1	1	446,4	446,4	0,0	464,2	451,9	-2,7	5,5	450,2	438,8	-2,5	-13,0	330,2	342,7	-19,0	-96,1	-103,7
	2	464,2			444,9				411,9				363,3				
	3	438,8			446,5				454,4				334,6				
ВЮ-Дон-2	1	446,4	446,4	0,0	473,9	458,6	4,1	12,2	421,5	426,2	-15,1	-32,4	330,2	345,9	-15,8	-80,3	-100,5
	2	454,2			454,5				421,5				353,7				
	3	440,4			447,5				435,6				353,7				
ЭКОСС-1	1	469,9	469,9	23,5	512,6	497,5	42,9	27,6	469,3	463,7	22,4	-33,8	360,7	368,8	7,1	-94,9	-101,1
	2	480,2			483,6				459,8				363,3				
	3	445,4			496,2				461,9				382,4				
ЭКОСС-2	1	469,9	469,9	23,5	493,2	487,3	32,8	17,4	478,9	437,4	-3,9	-49,9	392,0	380,2	18,5	-57,2	-89,7
	2	480,4			483,6				459,8				385,3				
	3	434,5			485,2				373,6				363,3				
НСР ₀₅		по фактору А 11,05 по фактору В 12,36 по фактору АВ 12,36															
Фактор А - разница между отборами, фактор В - разница между вариантами, фактор АВ – сочетание факторов																	

Таблица 8. Динамика содержания подвижных соединений калия по вариантам опыта в течение вегетационного периода 2021–2022 гг., мг/кг

Вариант опыта	Повторность	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	изменения к концу опыта
		Отбор 1			Отбор 2				Отбор 3				Отбор 4				
Контроль	1	476,5	476,5		468,3	469,8		-6,7	457,1	454,4		-15,4	458,9	456,2		1,8	-20,3
	2	494,0			446,8				449,0				440,7				
	3	450,5			494,3				457,1				468,9				
ВЮ-Дон-1	1	481,2	481,2	4,7	498,3	495,6	25,8	14,4	447,6	463,5	9,1	-32,2	405,6	405,8	-50,4	-57,7	-75,4
	2	496,3			494,3				485,7				410,2				
	3	470,4			494,3				457,1				401,5				
ВЮ-Дон-2	1	481,2	481,2	4,7	499,2	492,8	23,0	11,6	428,6	443,8	-10,6	-49,0	418,8	416,9	-39,3	-26,9	-64,3
	2	490,2			484,8				455,2				411,1				
	3	479,2			494,3				447,6				420,7				
ЭКОСС-1	1	485,9	485,9	9,4	499,2	499,9	30,1	14,0	485,7	470,3	15,9	-29,6	422,4	427,6	-28,5	-42,7	-58,3
	2	488,8			487,3				457,1				420,7				
	3	468,9			513,3				468,1				439,8				
ЭКОСС-2	1	485,9	485,9	9,4	488,3	493,3	23,5	7,4	447,6	453,5	-0,9	-39,8	422,8	424,6	-31,6	-28,9	-61,3
	2	497,0			496,3				465,2				411,1				
	3	482,8			495,3				447,6				439,8				
НСР ₀₅		по фактору А 6,36 по фактору В 7,12 по фактору АВ 7,12															
Фактор А - разница между отборами, фактор В - разница между вариантами, фактор АВ – сочетание факторов																	

Таблица 9. Динамика уреазной активности по вариантам опыта в течение вегетационного периода 2020–2021 гг.,
мг NH₃/10 г/24 ч

Вариант опыта	Повторность	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	изменения к концу опыта	
		Отбор 1				Отбор 2				Отбор 3				Отбор 4				
Контроль	1	8,14	8,14	-	8,50	7,93	-	-0,21	7,36	7,23	-	-0,70	6,87	6,59	-	-0,64	-1,55	
	2	8,20			7,79				6,79				6,49					
	3	7,99			7,50				7,55				6,41					
ВЮ-Дон-1	1	7,65	7,65	-0,50	6,40	6,49	-1,44	-1,16	7,15	7,08	-0,15	0,59	7,66	7,19	0,61	0,11	-0,45	
	2	7,80			6,51				7,29				7,00					
	3	7,50			6,56				6,81				6,93					
ВЮ-Дон-2	1	7,65	7,65	-0,50	8,08	7,82	-0,11	0,17	7,37	7,53	0,30	-0,29	6,96	6,87	0,28	-0,67	-0,78	
	2	7,80			7,66				7,55				6,96					
	3	7,55			7,72				7,68				6,68					
ЭКОСС-1	1	6,90	6,90	-1,24	7,20	7,38	-0,55	0,48	7,63	7,75	0,52	0,38	6,17	6,18	-0,41	-1,57	-0,72	
	2	7,00			7,71				7,70				6,63					
	3	6,83			7,23				7,94				5,75					
ЭКОСС-2	1	6,90	6,90	-1,24	8,27	8,44	0,51	1,54	7,23	6,84	-0,39	-1,60	6,93	6,49	-0,09	-0,35	-0,41	
	2	6,95			8,42				6,68				6,52					
	3	6,80			8,63				6,62				6,04					
НСР ₀₅		по фактору А 0,16 по фактору В 0,18 по фактору АВ 0,18																
Фактор А - разница между отборами, фактор В - разница между вариантами, фактор АВ – сочетание факторов																		

Таблица 10. Динамика уреазной активности по вариантам опыта в течение вегетационного периода 2021–2022 гг., мг NH₃/10 г/24 ч.

Вариант опыта	Повторность	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	изменения к концу опыта	
		Отбор 1				Отбор 2				Отбор 3				Отбор 4				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3		4
Контроль	1	7,30	7,30	-	8,23	7,57	-	0,27	7,71	7,84	-	0,27	8,94	9,31	-	1,48	2,02	
	2	7,35			7,27				8,21				9,78					
	3	7,21			7,20				7,60				9,23					
ВЮ-Дон-1	1	6,94	6,94	-0,36	6,94	7,38	-0,19	0,44	7,54	7,90	0,06	0,52	8,47	8,87	-0,44	0,97	1,94	
	2	7,05			7,60				8,17				8,71					
	3	6,80			7,59				7,99				9,44					
ВЮ-Дон-2	1	6,94	6,94	-0,36	6,90	7,28	-0,29	0,34	8,22	8,22	0,39	0,94	9,02	8,71	-0,60	0,49	1,78	
	2	7,15			7,46				8,05				8,41					
	3	6,90			7,48				8,41				8,71					
ЭКОСС-1	1	6,28	6,28	-1,02	6,76	6,84	-0,72	0,57	7,04	7,51	-0,33	0,66	9,62	8,64	-0,68	1,13	2,36	
	2	6,35			6,95				7,63				7,80					
	3	6,20			6,83				7,85				8,50					
ЭКОСС-2	1	6,28	6,28	-1,02	7,01	7,46	-0,11	1,18	7,74	7,72	-0,11	0,27	10,26	9,62	0,30	1,90	3,34	
	2	6,40			7,69				7,90				9,10					
	3	6,00			7,67				7,53				9,51					
НСР ₀₅		по фактору А 0,24 по фактору В 0,27 по фактору АВ 0,27																
Фактор А - разница между отборами, фактор В - разница между вариантами, фактор АВ – сочетание факторов																		

Таблица 11. Динамика фосфатазной активности по вариантам опыта в течение вегетационного периода 2020-2021 гг., мг/(100 г * 1ч)

Вариант опыта	Повторность	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	изменения к концу опыта
		Отбор 1				Отбор 2				Отбор 3				Отбор 4			
Контроль	1	4,19	4,19	-	4,19	4,42	-	0,23	4,50	4,69	-	0,26	2,99	3,09	-	-1,59	-1,10
	2	4,36			4,60				4,15				2,90				
	3	4,01			4,49				5,41				3,40				
ВЮ-Дон-1	1	4,08	4,08	-0,12	4,59	4,47	0,04	0,39	4,05	4,75	0,07	0,29	3,38	3,49	0,40	-1,26	-0,58
	2	4,26			4,49				5,25				3,78				
	3	3,88			4,33				4,97				3,33				
ВЮ-Дон-2	1	4,08	4,08	-0,12	4,54	4,48	0,05	0,40	4,56	4,51	-0,18	0,03	3,01	3,39	0,30	-1,12	-0,69
	2	4,18			4,31				4,51				3,53				
	3	3,91			4,58				4,46				3,63				
ЭКОСС-1	1	3,84	3,84	-0,36	4,26	4,63	0,20	0,79	4,25	4,69	0,00	0,06	2,59	2,98	-0,11	-1,71	-0,85
	2	3,99			4,58				4,84				3,13				
	3	3,62			5,05				4,99				3,23				
ЭКОСС-2	1	3,84	3,84	-0,36	4,55	4,61	0,19	0,78	4,64	4,76	0,07	0,15	2,92	3,20	0,10	-1,56	-0,64
	2	4,00			4,80				4,76				3,44				
	3	3,78			4,49				4,88				3,23				
НСР ₀₅		по фактору А 0,16 по фактору В 0,18 по фактору АВ 0,18															
Фактор А - разница между отборами, фактор В - разница между вариантами, фактор АВ – сочетание факторов																	

Таблица 12. Динамика фосфатазной активности по вариантам опыта в течение вегетационного периода 2021-2022 гг., мг/(100 г * 1ч)

Вариант опыта	Повторность	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	изменения к концу опыта
		Отбор 1			Отбор 2			Отбор 3			Отбор 4						
Контроль	1	2,29	2,20	-	4,32	4,85	-	2,65	2,14	2,63	-	-2,22	2,15	2,54	-	-0,09	0,34
	2	2,01			5,34				3,03				2,65				
	3	2,20			4,90				2,72				2,84				
ВЮ-Дон-1	1	2,13	2,13	-0,07	3,78	3,85	-1,01	1,71	2,53	2,83	0,20	-1,02	2,75	2,83	0,29	0,00	0,70
	2	2,24			3,90				2,87				2,55				
	3	2,04			3,86				3,10				3,21				
ВЮ-Дон-2	1	2,13	2,13	-0,07	3,70	4,10	-0,76	1,96	2,32	2,73	0,11	-1,36	2,28	2,75	0,21	0,02	0,62
	2	2,20			4,30				2,56				2,60				
	3	2,02			4,29				3,33				3,38				
ЭКОСС-1	1	2,27	2,27	0,07	3,01	3,58	-1,27	1,31	2,08	2,55	-0,08	-1,03	2,16	2,54	0,00	-0,01	0,27
	2	2,39			3,72				2,90				2,94				
	3	2,11			4,03				2,67				2,53				
ЭКОСС-2	1	2,27	2,27	0,07	3,32	3,54	-1,31	1,27	2,21	2,71	0,08	-0,83	2,04	2,61	0,06	-0,10	0,34
	2	2,30			3,70				2,84				2,71				
	3	2,10			3,60				3,09				3,07				
НСР ₀₅		по фактору А 0,16 по фактору В 0,18 по фактору АВ 0,18															
Фактор А - разница между отборами, фактор В - разница между вариантами, фактор АВ – сочетание факторов																	

Таблица 13. Динамика каталазной активности по вариантам опыта в течение вегетационного периода 2020-2021 гг.,
см³ O₂ / 1 г почвы / 1 мин.

Вариант опыта	Повторность	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	изменения к концу опыта
		Отбор 1			Отбор 2			Отбор 3			Отбор 4						
Контроль	1	10,40	10,40	-	10,00	11,32	-	0,92	11,93	11,84	-	0,52	13,57	13,56	-	1,72	3,16
	2	11,00			12,17				11,00				13,17				
	3	10,20			11,80				12,60				13,93				
ВЮ-Дон-1	1	10,37	10,37	-0,03	11,27	11,12	-0,20	0,75	10,47	11,36	-0,48	0,24	12,45	12,88	-0,68	1,52	2,51
	2	10,60			11,13				11,37				12,70				
	3	10,10			10,97				12,23				13,50				
ВЮ-Дон-2	1	10,37	10,37	-0,03	10,33	10,79	-0,53	0,42	12,63	12,73	0,89	1,94	12,00	12,48	-1,08	-0,25	2,11
	2	10,45			10,93				12,13				12,77				
	3	10,12			11,10				13,43				12,67				
ЭКОСС-1	1	10,67	10,67	0,27	11,83	11,86	0,54	1,19	11,33	11,69	-0,15	-0,17	12,00	12,94	-0,62	1,25	2,27
	2	10,70			12,13				11,33				13,67				
	3	10,45			11,60				12,40				13,17				
ЭКОСС-2	1	10,67	10,67	0,27	11,97	11,64	0,32	0,97	11,77	11,64	-0,20	0	13,90	13,68	0,12	2,04	3,01
	2	10,72			11,47				11,20				13,97				
	3	10,40			11,50				11,97				13,17				
НСР ₀₅		по фактору А 0,30 по фактору В 0,34 по фактору АВ 0,34															
Фактор А - разница между отборами, фактор В - разница между вариантами, фактор АВ – сочетание факторов																	

Таблица 14. Динамика каталазной активности по вариантам опыта в течение вегетационного периода 2021-2022 гг.,
 $\text{см}^3 \text{O}_2 / 1 \text{ г почвы} / 1 \text{ мин.}$

Вариант опыта	Повторность	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	изменения к концу опыта
		Отбор 1			Отбор 2			Отбор 3			Отбор 4						
Контроль	1	12,63	12,63	-	12,60	12,65	-	0,02	11,10	11,07	-	-1,58	11,90	11,43	-	0,37	-1,20
	2	12,75			12,50				11,10				11,40				
	3	12,34			12,85				11,00				11,00				
ВЮ-Дон-1	1	12,60	12,60	-0,03	13,00	12,63	-0,02	0,03	10,50	10,27	-0,80	-2,37	10,00	10,27	-1,17	0,00	-2,33
	2	12,70			12,55				10,00				10,80				
	3	12,40			12,35				10,30				10,00				
ВЮ-Дон-2	1	12,60	12,60	-0,03	11,70	11,50	-1,15	-1,10	11,80	11,50	0,43	0,00	11,50	11,27	-0,17	-0,23	-1,33
	2	12,70			11,50				11,00				11,30				
	3	12,40			11,30				11,70				11,00				
ЭКОСС-1	1	12,13	12,13	-0,50	11,60	11,47	-1,18	-0,66	10,55	10,48	-0,58	-0,98	9,80	10,03	-1,40	-0,45	-2,10
	2	12,50			11,95				10,50				10,30				
	3	12,00			10,85				10,40				10,00				
ЭКОСС-2	1	12,13	12,13	-0,50	12,25	11,80	-0,85	-0,33	11,00	10,95	-0,12	-0,85	9,40	9,53	-1,90	-1,42	-2,60
	2	12,50			11,55				11,20				9,60				
	3	11,90			11,60				10,65				9,60				
НСР ₀₅		по фактору А 0,16 по фактору В 0,18 по фактору АВ 0,18															
Фактор А - разница между отборами, фактор В - разница между вариантами, фактор АВ – сочетание факторов																	

Таблица 15. Динамика инвертазной активности по вариантам опыта в течение вегетационного периода 2020-2021 гг., мг глюкозы/1 г/24 ч.

Вариант опыта	Повторность	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	изменения к концу опыта
		Отбор 1			Отбор 2			Отбор 3			Отбор 4						
Контроль	1	21,55	21,55	-	24,53	23,65	-	2,10	27,27	27,25	-	3,61	27,77	27,75	-	0,50	6,20
	2	21,88			22,83				28,13				28,63				
	3	20,66			23,58				26,37				26,87				
ВЮ-Дон-1	1	20,18	20,18	-1,38	23,90	23,64	-0,01	3,47	23,40	23,91	-3,35	0,26	23,70	24,21	-3,55	0,30	4,03
	2	21,25			23,48				24,75				25,05				
	3	19,50			23,55				23,57				23,87				
ВЮ-Дон-2	1	20,18	20,18	-1,38	19,55	21,16	-2,49	0,99	24,86	25,25	-2,01	4,09	25,46	25,85	-1,91	0,60	5,67
	2	21,00			21,03				25,73				26,33				
	3	20,00			22,90				25,15				25,75				
ЭКОСС-1	1	19,34	19,34	-2,21	20,46	20,97	-2,68	1,63	26,28	26,95	-0,30	5,98	26,98	27,65	-0,10	0,70	8,31
	2	20,42			21,07				27,40				28,10				
	3	19,15			21,38				27,17				27,87				
ЭКОСС-2	1	19,34	19,34	-2,21	21,90	22,46	-1,18	3,12	24,98	24,07	-3,19	1,60	26,98	26,07	-1,69	2,00	6,73
	2	20,10			22,23				23,63				25,63				
	3	19,10			23,27				23,60				25,60				
НСР ₀₅		по фактору А 0,41 по фактору В 0,46 по фактору АВ 0,46															
Фактор А - разница между отборами, фактор В - разница между вариантами, фактор АВ – сочетание факторов																	

Таблица 16. Динамика инвертазной активности по вариантам опыта в течение вегетационного периода 2021-2022 гг., мг глюкозы/1 г/24 ч.

Вариант опыта	Повторность	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	данные по повт.	средн. по вар.	разница с контролем	разница между отборами	изменения к концу опыта	
		Отбор 1				Отбор 2				Отбор 3				Отбор 4				
Контроль	1	25,55	25,55	-	25,50	25,23	-	-0,32	17,38	19,42	-	-5,82	26,12	26,28	-	6,86	0,73	
	2	26,20			24,80				19,93				26,56					
	3	25,30			25,41				20,94				26,16					
ВЮ-Дон-1	1	24,70	24,70	-0,85	20,60	21,08	-4,15	-3,62	21,01	22,12	2,70	1,03	26,16	26,29	0,01	4,17	1,59	
	2	24,80			21,53				21,87				26,27					
	3	23,90			21,12				23,47				26,44					
ВЮ-Дон-2	1	24,70	24,70	-0,85	26,78	26,98	1,75	2,28	18,55	18,77	-0,65	-8,22	18,73	21,64	-4,64	2,88	-3,06	
	2	24,80			29,54				19,97				23,11					
	3	23,80			24,63				17,79				23,09					
ЭКОСС-1	1	23,55	23,55	-2,00	23,61	23,39	-1,84	-0,16	20,32	21,68	2,27	-1,71	22,16	24,20	-2,08	2,52	0,65	
	2	24,10			22,40				21,23				24,35					
	3	23,00			24,17				23,51				26,09					
ЭКОСС-2	1	23,55	23,55	-2,00	24,97	25,33	0,10	1,78	17,56	20,39	0,98	-4,94	27,08	27,04	0,76	6,64	3,49	
	2	23,60			25,05				21,23				26,58					
	3	23,10			25,98				22,40				27,45					
НСР ₀₅		по фактору А 0,71 по фактору В 0,79 по фактору АВ 0,79																
Фактор А - разница между отборами, фактор В - разница между вариантами, фактор АВ – сочетание факторов																		

Таблица 17. Урожайность озимой пшеницы за вегетационные периоды 2020–2021 гг. и 2021-2022 гг., ц/га

Вариант опыта	Повторность	Данные по повт.	Средн. по вар.	Разница с контролем	Данные по повт.	Средн. по вар.	Разница с контролем
		2020-2021 гг.			2021-2022 гг.		
Контроль	1	35,16	33,88	-	35,04	33,04	-
	2	31,44			31,97		
	3	35,04			32,11		
ВЮ-Дон-1	1	36,33	38,67	4,79	36,50	34,41	1,37
	2	40,26			36,07		
	3	39,43			30,67		
ВЮ-Дон-2	1	40,14	40,77	6,89	33,94	35,83	2,79
	2	41,43			37,30		
	3	40,74			36,25		
ЭКОСС-1	1	42,15	41,68	7,80	36,36	34,58	1,54
	2	42,17			32,25		
	3	40,72			35,13		
ЭКОСС-2	1	41,35	42,80	8,92	42,85	43,90	10,86
	2	42,49			43,30		
	3	44,56			45,55		
НСР ₀₅		3,14			4,39		

Таблица 18. Содержание азота в зерне озимой пшеницы за вегетационные периоды 2020-2021 гг. и 2021-2022 гг., %

Вариант опыта	Повторность	Данные по повт.	Средн. по вар.	Разница с контролем	Данные по повт.	Средн. по вар.	Разница с контролем
		2020-2021 гг.			2021-2022 гг.		
Контроль	1	2,18	2,18	-	1,59	1,58	-
	2	2,20			1,56		
	3	2,17			1,59		
ВЮ-Дон-1	1	2,14	2,19	0,01	1,62	1,63	0,05
	2	2,23			1,61		
	3	2,20			1,65		
ВЮ-Дон-2	1	2,25	2,23	0,05	1,70	1,72	0,14
	2	2,24			1,78		
	3	2,21			1,68		
ЭКОСС-1	1	2,28	2,30	0,12	1,68	1,68	0,10
	2	2,30			1,67		
	3	2,32			1,69		
ЭКОСС-2	1	2,42	2,37	0,18	1,81	1,82	0,24
	2	2,30			1,85		
	3	2,38			1,81		
НСР ₀₅		0,09			0,06		

Таблица 19. Содержание фосфора в зерне озимой пшеницы за вегетационные периоды 2020-2021 гг. и 2021-2022 гг., %

Вариант опыта	Повторность	Данные по повт.	Средн. по вар.	Разница с контролем	Данные по повт.	Средн. по вар.	Разница с контролем
		2020-2021 гг.			2021-2022 гг.		
Контроль	1	0,89	0,86	-	0,60	0,65	-
	2	0,86			0,66		
	3	0,84			0,68		
ВЮ-Дон-1	1	0,84	0,85	-0,01	0,68	0,63	-0,02
	2	0,86			0,61		
	3	0,86			0,60		
ВЮ-Дон-2	1	0,88	0,89	0,03	0,71	0,68	0,03
	2	0,90			0,67		
	3	0,89			0,66		
ЭКОСС-1	1	0,83	0,86	-0,01	0,61	0,63	-0,02
	2	0,83			0,65		
	3	0,91			0,63		
ЭКОСС-2	1	0,92	0,90	0,04	0,67	0,65	0,01
	2	0,89			0,67		
	3	0,89			0,62		
НСР ₀₅		0,05			0,07		

Таблица 20. Содержание калия в зерне озимой пшеницы за вегетационные периоды 2020-2021 гг. и 2021-2022 гг., %

Вариант опыта	Повторность	Данные по повт.	Средн. по вар.	Разница с контролем	Данные по повт.	Средн. по вар.	Разница с контролем
		2020-2021 гг.			2021-2022 гг.		
Контроль	1	0,43	0,44	-	0,37	0,38	-
	2	0,45			0,39		
	3	0,43			0,37		
ВЮ-Дон-1	1	0,45	0,46	0,02	0,40	0,38	0,00
	2	0,48			0,37		
	3	0,44			0,37		
ВЮ-Дон-2	1	0,46	0,48	0,04	0,39	0,38	0,01
	2	0,48			0,39		
	3	0,49			0,37		
ЭКОСС-1	1	0,43	0,44	0,00	0,39	0,37	0,00
	2	0,43			0,37		
	3	0,46			0,36		
ЭКОСС-2	1	0,48	0,47	0,04	0,37	0,38	0,01
	2	0,48			0,39		
	3	0,46			0,39		
НСР ₀₅		0,03			0,03		

Таблица 21. Масса 1000 зерен озимой пшеницы за вегетационные периоды
2020-2021 гг. и 2021-2022 гг., г.

Вариант опыта	Повторность	Данные по повт.	Средн. по вар.	Разница с контролем	Данные по повт.	Средн. по вар.	Разница с контролем
		2020-2021 гг.			2021-2022 гг.		
Контроль	1	35,09	35,64	-	40,22	39,99	-
	2	35,88			39,96		
	3	35,94			39,79		
ВЮ-Дон-1	1	36,34	36,32	0,68	41,50	40,70	0,71
	2	36,20			39,22		
	3	36,42			41,37		
ВЮ-Дон-2	1	38,18	38,86	3,22	41,07	41,02	1,03
	2	39,80			41,23		
	3	38,60			40,75		
ЭКОСС-1	1	37,64	37,65	2,01	39,96	40,26	0,27
	2	36,64			41,00		
	3	38,67			39,82		
ЭКОСС-2	1	40,03	38,94	3,31	42,35	42,24	2,25
	2	38,17			42,65		
	3	38,63			41,72		
НСР ₀₅		1,57			1,35		

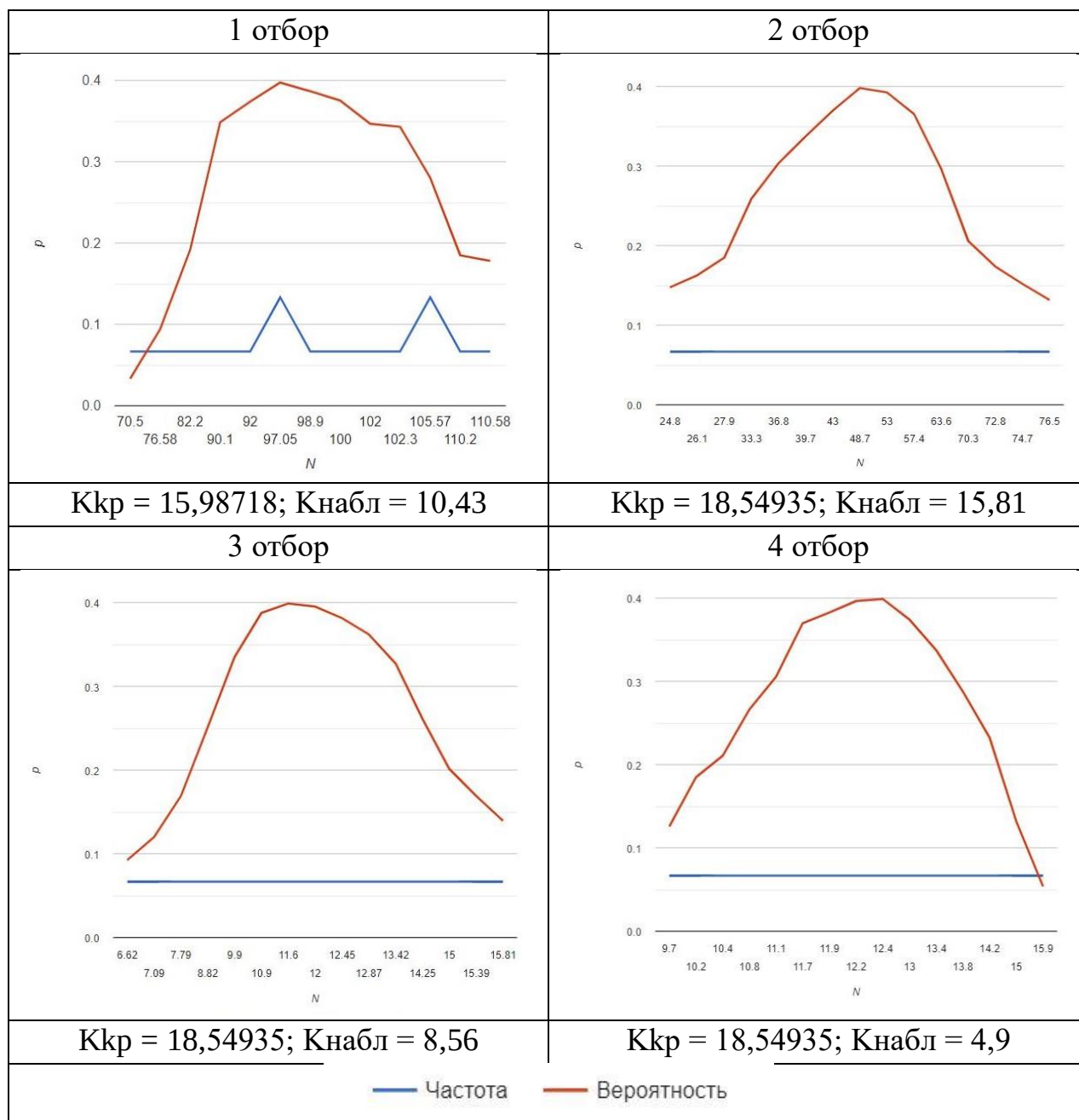
Таблица 22. Количество клейковины в зерне озимой пшеницы за вегетационные периоды 2020-2021 гг. и 2021-2022 гг., %

Вариант опыта	Повторность	Данные по повт.	Средн. по вар.	Разница с контролем	Данные по повт.	Средн. по вар.	Разница с контролем
		2020-2021 гг.			2021-2022 гг.		
Контроль	1	30,72	30,44	-	23,40	23,07	-
	2	29,00			22,20		
	3	31,60			23,60		
ВЮ-Дон-1	1	31,80	30,53	0,09	22,40	23,33	0,27
	2	30,00			24,00		
	3	29,80			23,60		
ВЮ-Дон-2	1	31,40	31,71	1,27	24,40	24,13	1,07
	2	32,12			24,00		
	3	31,60			24,00		
ЭКОСС-1	1	30,08	30,76	0,32	21,80	21,40	-1,67
	2	30,80			20,60		
	3	31,40			21,80		
ЭКОСС-2	1	32,48	32,29	1,85	23,80	24,40	1,33
	2	32,40			24,40		
	3	32,00			25,00		
НСР ₀₅		1,70			1,24		

Таблица 23. Количество белка в зерне озимой пшеницы за вегетационные периоды 2020-2021 гг. и 2021-2022 гг., %

Вариант опыта	Повторность	Данные по повт.	Средн. по вар.	Разница с контролем	Данные по повт.	Средн. по вар.	Разница с контролем
		2020-2021 гг.			2021-2022 гг.		
Контроль	1	12,43	12,45	-	9,06	9,01	-
	2	12,54			8,89		
	3	12,37			9,06		
ВЮ-Дон-1	1	12,20	12,48	0,04	9,23	9,27	0,27
	2	12,71			9,18		
	3	12,54			9,41		
ВЮ-Дон-2	1	12,83	12,73	0,29	9,69	9,80	0,80
	2	12,77			10,15		
	3	12,60			9,58		
ЭКОСС 1-	1	13,00	13,11	0,66	9,58	9,58	0,57
	2	13,11			9,52		
	3	13,22			9,63		
ЭКОСС-2	1	13,79	13,49	1,05	10,32	10,39	1,39
	2	13,11			10,55		
	3	13,57			10,32		
НСР ₀₅		0,44			0,34		

Таблица 24. Проверка распределения содержания подвижных соединений азота по нормальному закону с помощью критерия согласия Пирсона в течение вегетационного периода 2020–2021 гг.



Наблюдаемые значения статистики Пирсона не попадают в критическую область: $K_{набл} < K_{кр}$, поэтому нет оснований отвергать основную гипотезу. Справедливо предположение о том, что данные выборки имеют **нормальное распределение**.

Таблица 25. Проверка распределения содержания подвижных соединений азота по нормальному закону с помощью критерия согласия Пирсона в течение вегетационного периода 2021–2022 гг.

1 отбор	2 отбор
Ккр = 17,27501; Кнабл = 6,69	Ккр = 18,54935; Кнабл = 14,5
3 отбор	4 отбор
Ккр = 18,54935; Кнабл = 12,16	Ккр = 18,54935; Кнабл = 9,87
Частота Вероятность	

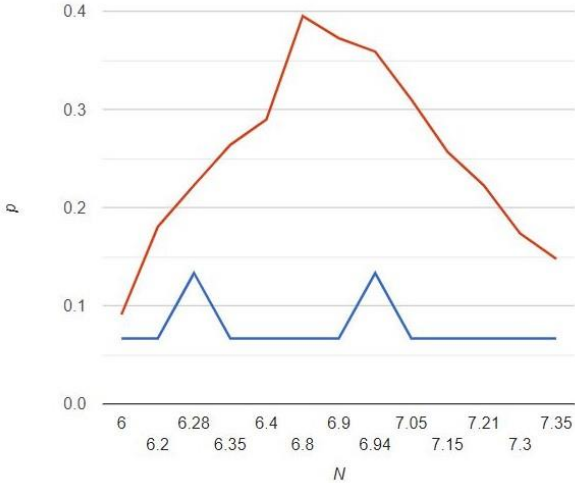
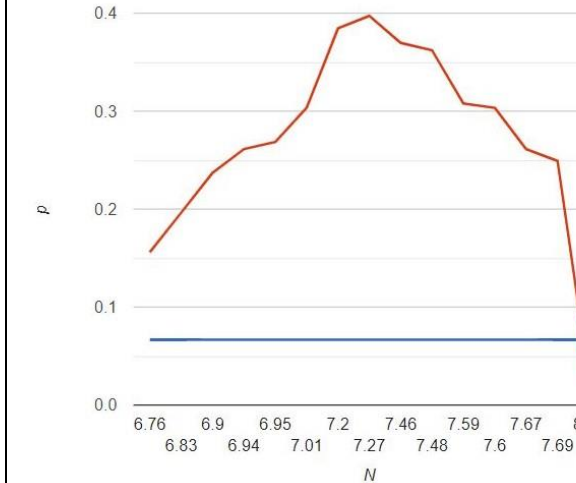
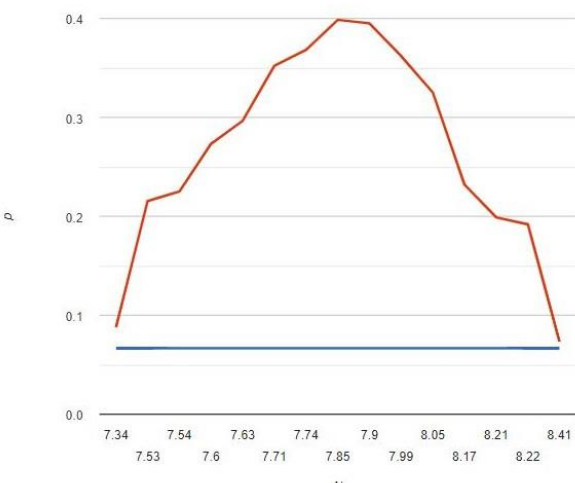
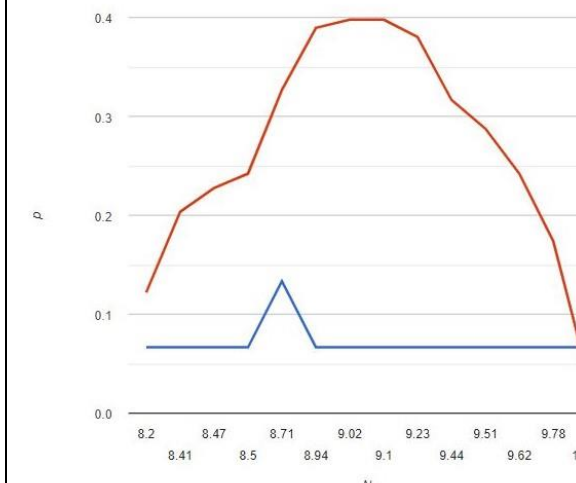
Наблюдаемые значения статистики Пирсона не попадают в критическую область: $K_{набл} < K_{кр}$, поэтому нет оснований отвергать основную гипотезу. Справедливо предположение о том, что данные выборки имеют **нормальное распределение**.

Таблица 26. Проверка распределения активности уреазы по нормальному закону с помощью критерия согласия Пирсона в течение вегетационного периода 2020–2021 гг.

1 отбор	2 отбор
$K_{кр} = 18,54935$; $K_{набл} = 6,27$	$K_{кр} = 18,54935$; $K_{набл} = 9,86$
3 отбор	4 отбор
$K_{кр} = 17,27501$; $K_{набл} = 12,26$	$K_{кр} = 15,98718$; $K_{набл} = 15,91$
— Частота — Вероятность	

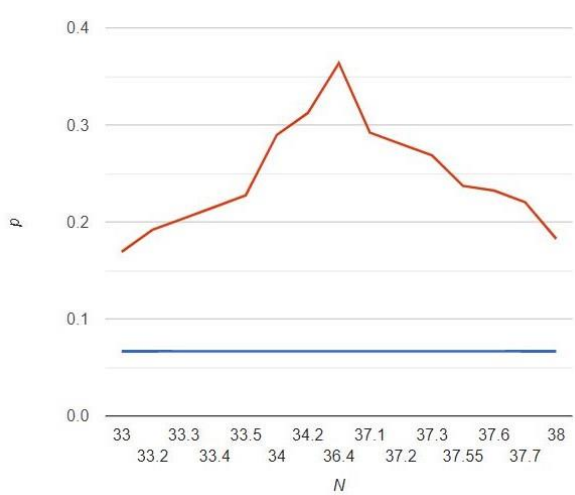
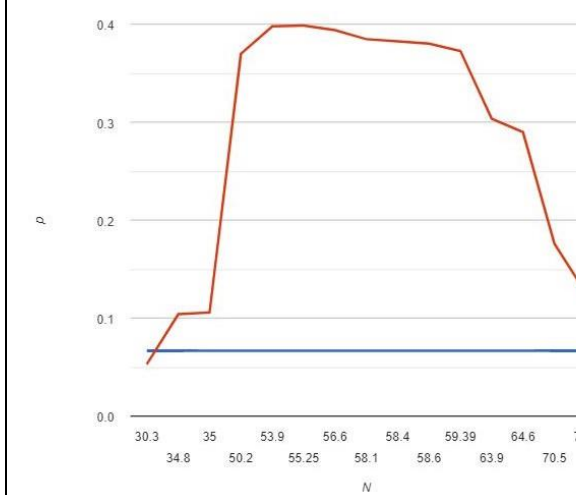
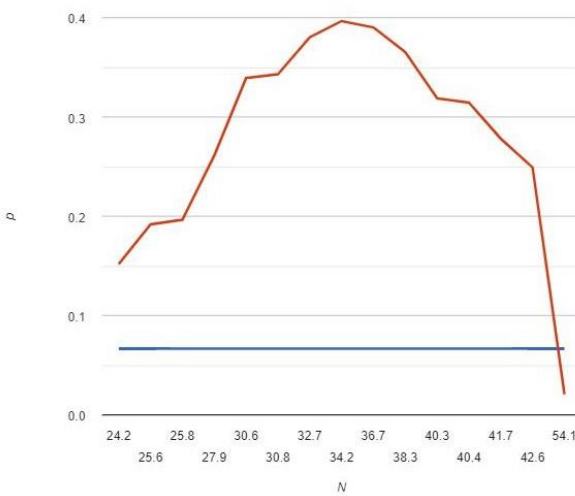
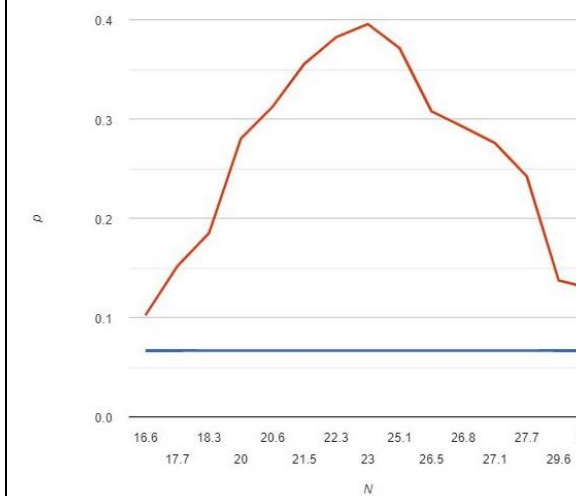
Наблюдаемые значения статистики Пирсона не попадают в критическую область: $K_{набл} < K_{кр}$, поэтому нет оснований отвергать основную гипотезу. Справедливо предположение о том, что данные выборки имеют **нормальное распределение**.

Таблица 27. Проверка распределения активности уреазы по нормальному закону с помощью критерия согласия Пирсона в течение вегетационного периода 2021–2022 гг.

1 отбор	2 отбор
	
$K_{кр} = 15,98718$; $K_{набл} = 4,63$	$K_{кр} = 18,54935$; $K_{набл} = 14,13$
3 отбор	4 отбор
	
$K_{кр} = 18,54935$; $K_{набл} = 15,61$	$K_{кр} = 17,27501$; $K_{набл} = 6,24$
Частота Вероятность	

Наблюдаемые значения статистики Пирсона не попадают в критическую область: $K_{набл} < K_{кр}$, поэтому нет оснований отвергать основную гипотезу. Справедливо предположение о том, что данные выборки имеют **нормальное распределение**.

Таблица 28. Проверка распределения содержания подвижных соединений фосфора по нормальному закону с помощью критерия согласия Пирсона в течение вегетационного периода 2020–2021 гг.

1 отбор	2 отбор
	
Ккр = 18,54935; Кнабл = 17,36	Ккр = 18,54935; Кнабл = 7,72
3 отбор	4 отбор
	
Ккр = 18,54935; Кнабл = 18,21	Ккр = 18,54935; Кнабл = 2,87
Частота Вероятность	

Наблюдаемые значения статистики Пирсона не попадают в критическую область: $K_{набл} < K_{кр}$, поэтому нет оснований отвергать основную гипотезу. Справедливо предположение о том, что данные выборки имеют **нормальное распределение**.

Таблица 29. Проверка распределения содержания подвижных соединений фосфора по нормальному закону с помощью критерия согласия Пирсона в течение вегетационного периода 2021–2022 гг.

1 отбор	2 отбор
$K_{кр} = 12,01704; K_{набл} = 3,88$	$K_{кр} = 17,27501; K_{набл} = 8,23$
3 отбор	4 отбор
$K_{кр} = 16,91898; K_{набл} = 10,73$	$K_{кр} = 18,54935; K_{набл} = 17,78$
— Частота — Вероятность	

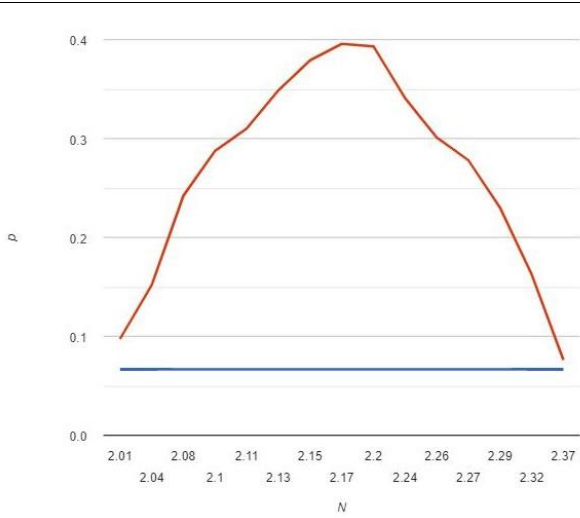
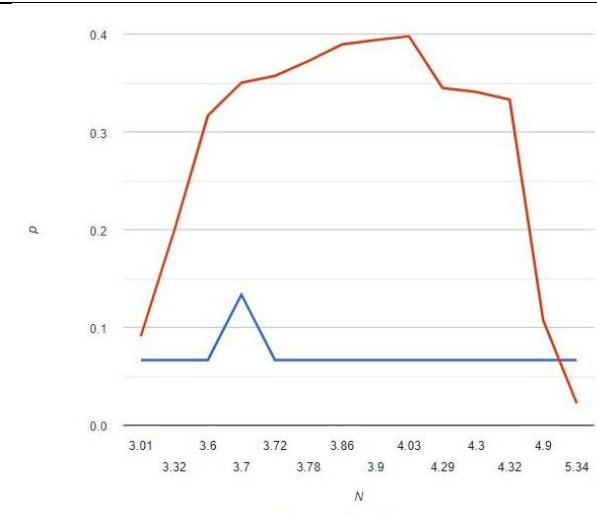
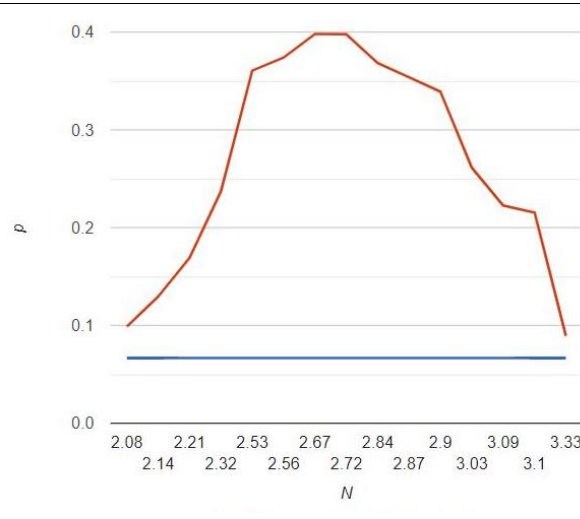
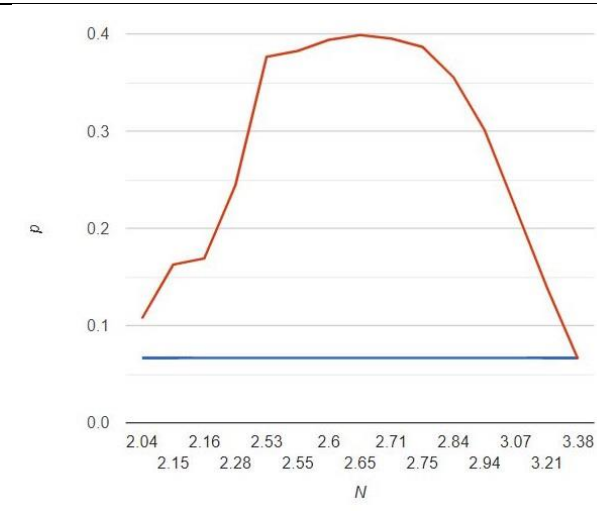
Наблюдаемые значения статистики Пирсона не попадают в критическую область: $K_{набл} < K_{кр}$, поэтому нет оснований отвергать основную гипотезу. Справедливо предположение о том, что данные выборки имеют **нормальное распределение**.

Таблица 30. Проверка распределения активности фосфатазы по нормальному закону с помощью критерия согласия Пирсона в течение вегетационного периода 2020–2021 гг.

1 отбор	2 отбор
Ккр = 18,54935; Кнабл = 4,53	Ккр = 14,68366; Кнабл = 14,01
3 отбор	4 отбор
Ккр = 18,54935; Кнабл = 5,51	Ккр = 18,54935; Кнабл = 4,15
— Частота — Вероятность	

Наблюдаемые значения статистики Пирсона не попадают в критическую область: $K_{набл} < K_{кр}$, поэтому нет оснований отвергать основную гипотезу. Справедливо предположение о том, что данные выборки имеют **нормальное распределение**.

Таблица 31. Проверка распределения активности фосфатазы по нормальному закону с помощью критерия согласия Пирсона в течение вегетационного периода 2021–2022 гг.

1 отбор	2 отбор
	
$K_{кр} = 18,54935; K_{набл} = 3,87$	$K_{кр} = 19,67514; K_{набл} = 15,93$
3 отбор	4 отбор
	
$K_{кр} = 18,54935; K_{набл} = 8,92$	$K_{кр} = 18,54935; K_{набл} = 4,84$
— Частота — Вероятность	

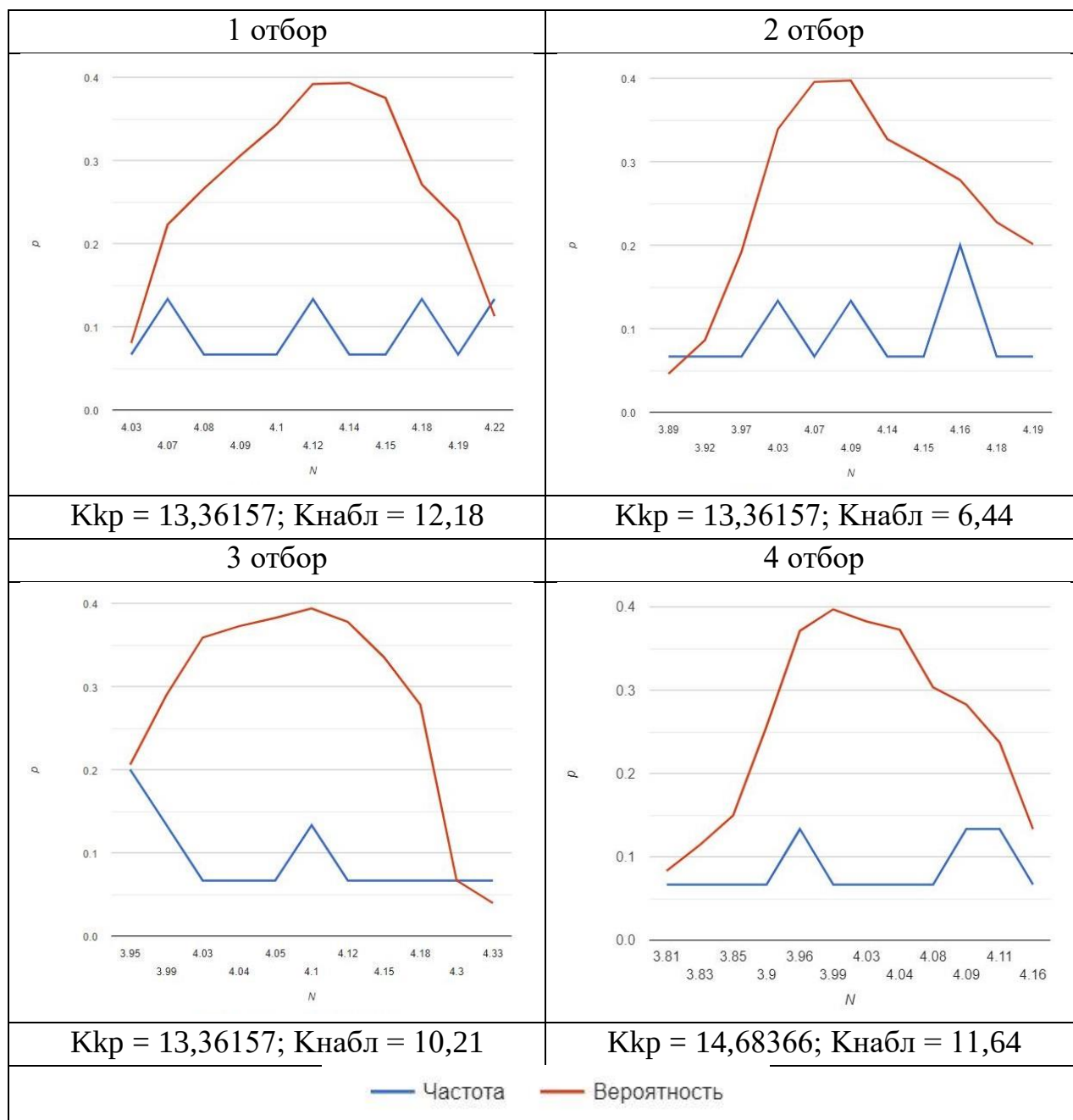
Наблюдаемые значения статистики Пирсона не попадают в критическую область: $K_{набл} < K_{кр}$, поэтому нет оснований отвергать основную гипотезу. Справедливо предположение о том, что данные выборки имеют **нормальное распределение**.

Таблица 32. Проверка распределения содержания гумуса по нормальному закону с помощью критерия согласия Пирсона в течение вегетационного периода 2020–2021 гг.

1 отбор	2 отбор
Ккр = 9,23636; Кнабл = 8,11	Ккр = 14,68366; Кнабл = 11,34
3 отбор	4 отбор
Ккр = 10,64464; Кнабл = 8,17	Ккр = 14,68366; Кнабл = 11,19
— Частота — Вероятность	

Наблюдаемые значения статистики Пирсона не попадают в критическую область: $K_{набл} < K_{кр}$, поэтому нет оснований отвергать основную гипотезу. Справедливо предположение о том, что данные выборки имеют **нормальное распределение**.

Таблица 33. Проверка распределения содержания гумуса по нормальному закону с помощью критерия согласия Пирсона в течение вегетационного периода 2021–2022 гг.



Наблюдаемые значения статистики Пирсона не попадают в критическую область: $K_{набл} < K_{кр}$, поэтому нет оснований отвергать основную гипотезу. Справедливо предположение о том, что данные выборки имеют **нормальное распределение**.

Таблица 34. Проверка распределения активности каталазы по нормальному закону с помощью критерия согласия Пирсона в течение вегетационного периода 2020–2021 гг.

1 отбор	2 отбор
Ккр = 14,68366; Кнабл = 2,91	Ккр = 18,54935; Кнабл = 14,85
3 отбор	4 отбор
Ккр = 18,54935; Кнабл = 10,74	Ккр = 14,68366; Кнабл = 13,37
— Частота — Вероятность	

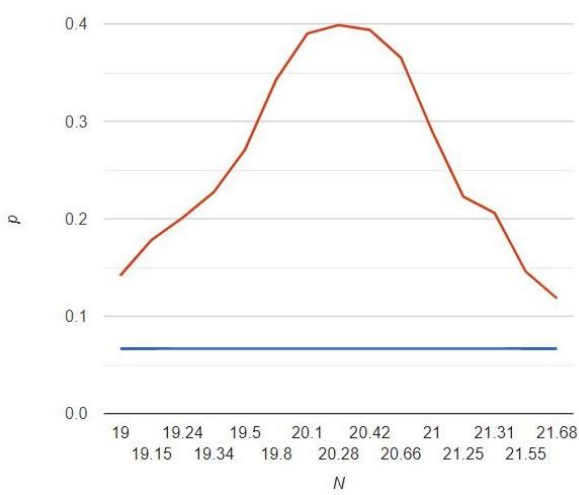
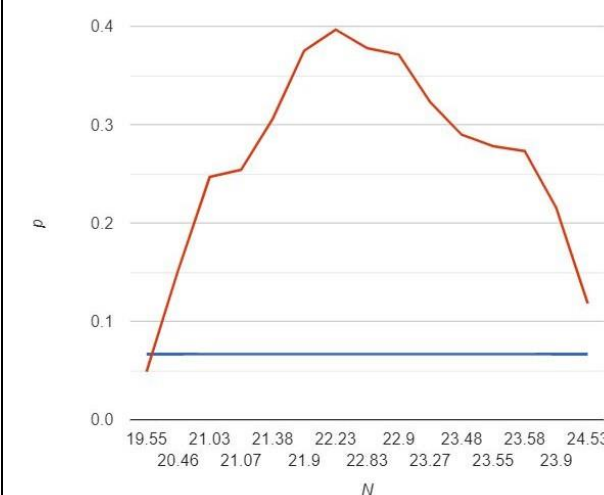
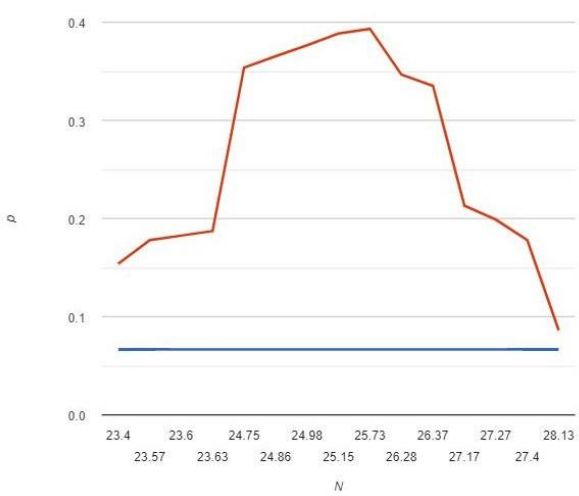
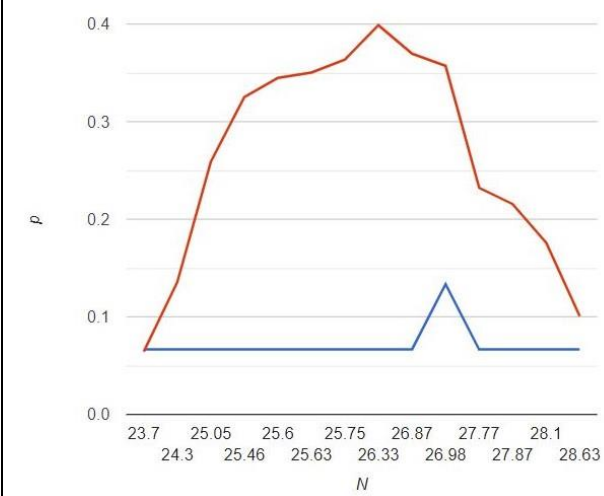
Наблюдаемые значения статистики Пирсона не попадают в критическую область: Кнабл < Ккр, поэтому нет оснований отвергать основную гипотезу. Справедливо предположение о том, что данные выборки имеют **нормальное распределение**.

Таблица 35. Проверка распределения активности каталазы по нормальному закону с помощью критерия согласия Пирсона в течение вегетационного периода 2021–2022 гг.

1 отбор	2 отбор
Ккр = 12,01704; Кнабл = 3,62	Ккр = 15,98718; Кнабл = 15,36
3 отбор	4 отбор
Ккр = 13,36157; Кнабл = 6,75	Ккр = 13,36157; Кнабл = 7,31
Частота Вероятность	

Наблюдаемые значения статистики Пирсона не попадают в критическую область: Кнабл < Ккр, поэтому нет оснований отвергать основную гипотезу. Справедливо предположение о том, что данные выборки имеют **нормальное распределение**.

Таблица 36. Проверка распределения активности инвертазы по нормальному закону с помощью критерия согласия Пирсона в течение вегетационного периода 2020–2021 гг.

1 отбор	2 отбор
	
Ккр = 18,54935; Кнабл = 6,48	Ккр = 18,54935; Кнабл = 17,4
3 отбор	4 отбор
	
Ккр = 18,54935; Кнабл = 17,68	Ккр = 17,27501; Кнабл = 6,2
— Частота — Вероятность	

Наблюдаемые значения статистики Пирсона не попадают в критическую область: Кнабл < Ккр, поэтому нет оснований отвергать основную гипотезу. Справедливо предположение о том, что данные выборки имеют **нормальное распределение**.

Таблица 37. Проверка распределения активности инвертазы по нормальному закону с помощью критерия согласия Пирсона в течение вегетационного периода 2021–2022 гг.

1 отбор	2 отбор
$K_{кр} = 14,68366$; $K_{набл} = 2,95$	$K_{кр} = 18,54935$; $K_{набл} = 10,98$
3 отбор	4 отбор
$K_{кр} = 17,27501$; $K_{набл} = 12,39$	$K_{кр} = 17,27501$; $K_{набл} = 13,88$
Частота Вероятность	

Наблюдаемые значения статистики Пирсона не попадают в критическую область: $K_{набл} < K_{кр}$, поэтому нет оснований отвергать основную гипотезу. Справедливо предположение о том, что данные выборки имеют **нормальное распределение**.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Пример расчета коэффициента линейной корреляции, уравнения регрессии, коэффициента детерминации и критерия Фишера

Рис.8 — 1 отбор

Уравнение парной регрессии.

Использование графического метода.

Для расчета параметров регрессии построим расчетную таблицу (табл. 1)

x	y	x^2	y^2	$x*y$
105.57	7.65	11145.0249	58.5225	807.6105
110.2	7.8	12144.04	60.84	859.56
98.9	7.5	9781.21	56.25	741.75
105.57	7.65	11145.0249	58.5225	807.6105
110.58	7.8	12227.9364	60.84	862.524
100	7.55	10000	57.0025	755
97.05	6.9	9418.7025	47.61	669.645
102	7	10404	49	714
92	6.83	8464	46.6489	628.36
97.05	6.9	9418.7025	47.61	669.645
102.3	6.95	10465.29	48.3025	710.985
90.1	6.8	8118.01	46.24	612.68
1211.32	87.33	122731.9412	637.3889	8839.37

Для наших данных система уравнений имеет вид

$$12a + 1211.32 \cdot b = 87.33$$

$$1211.32 \cdot a + 122731.941 \cdot b = 8839.37$$

Домножим уравнение (1) системы на (-100.943), получим систему, которую решим методом алгебраического сложения.

$$-1211.32a - 122274.275 b = -8815.352$$

$$1211.32 \cdot a + 122731.941 \cdot b = 8839.37$$

Получаем:

$$457.666 \cdot b = 24.018$$

$$\text{Откуда } b = 0.05246$$

Теперь найдем коэффициент «a» из уравнения (1):

$$12a + 1211.32 \cdot b = 87.33$$

$$12a + 1211.32 \cdot 0.05246 = 87.33$$

$$12a = 23.782$$

$$a = 1.9819$$

Получаем эмпирические коэффициенты регрессии: $b = 0.05246$, $a = 1.9819$

Уравнение регрессии (эмпирическое уравнение регрессии):

$$y = 0.05246 x + 1.9819$$

Эмпирические коэффициенты регрессии a и b являются лишь оценками теоретических коэффициентов β_i , а само уравнение отражает лишь общую

тенденцию в поведении рассматриваемых переменных.

1. Параметры уравнения регрессии.

Выборочные средние.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{1211.32}{12} = 100.943$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} = \frac{87.33}{12} = 7.278$$

$$\overline{xy} = \frac{\sum x_i y_i}{n} = \frac{8839.37}{12} = 736.614$$

Выборочные дисперсии:

$$S(x)^2 = \frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2 = \frac{122731.941}{12} - 100.943^2 = 38.11$$

$$S(y)^2 = \frac{\sum y_i^2}{n} - \bar{y}^2 = \frac{637.39}{12} - 7.278^2 = 0.15$$

Среднеквадратическое отклонение

$$S(x) = \sqrt{S^2(x)} = \sqrt{38.11} = 6.173$$

$$S(y) = \sqrt{S^2(y)} = \sqrt{0.15} = 0.392$$

Коэффициент корреляции b можно находить по формуле, не решая систему непосредственно:

$$b = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S^2(x)} = \frac{736.614 - 100.943 \cdot 7.278}{38.11} = 0.05246$$

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x} = 7.278 - 0.05246 \cdot 100.943 = 1.9819$$

1.1. Коэффициент корреляции.

Ковариация.

$$\text{cov}(x, y) = \overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y} = 736.614 - 100.943 \cdot 7.278 = 2$$

Рассчитываем показатель тесноты связи. Таким показателем является выборочный линейный коэффициент корреляции, который рассчитывается по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S(x) \cdot S(y)} = \frac{736.614 - 100.943 \cdot 7.278}{6.173 \cdot 0.392} = 0.826$$

Линейный коэффициент корреляции принимает значения от -1 до $+1$.

Связи между признаками могут быть слабыми и сильными (тесными). Их критерии оцениваются по шкале Чеддока:

$0.1 < r_{xy} < 0.3$: слабая;

$0.3 < r_{xy} < 0.5$: умеренная;

$0.5 < r_{xy} < 0.7$: заметная;

$0.7 < r_{xy} < 0.9$: высокая;

$0.9 < r_{xy} < 1$: весьма высокая;

В данном варианте связь между признаком Y и фактором X высокая и прямая.

Кроме того, коэффициент линейной парной корреляции может быть определен через коэффициент регрессии b :

$$r_{x,y} = b \cdot \frac{S(x)}{S(y)} = 0.0525 \cdot \frac{6.173}{0.392} = 0.826$$

1.2. Значимость коэффициента корреляции.

Выдвигаем гипотезы:

$H_0: r_{xy} = 0$, нет линейной взаимосвязи между переменными;

$H_1: r_{xy} \neq 0$, есть линейная взаимосвязь между переменными;

Для того чтобы при уровне значимости α проверить нулевую гипотезу о равенстве нулю генерального коэффициента корреляции нормальной двумерной случайной величины при конкурирующей гипотезе $H_1 \neq 0$, надо вычислить наблюдаемое значение критерия (величина случайной ошибки)

$$t_{nabl} = r_{xy} \cdot \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}}$$

и по таблице критических точек распределения Стьюдента, по заданному уровню значимости α и числу степеней свободы $k = n - 2$ найти критическую точку $t_{крит}$ двусторонней критической области. Если $t_{набл} < t_{крит}$ оснований отвергнуть нулевую гипотезу. Если $|t_{набл}| > t_{крит}$ — нулевую гипотезу отвергают.

$$t_{nabl} = 0.826 \cdot \frac{\sqrt{10}}{\sqrt{1-0.826^2}} = 4.633$$

По таблице Стьюдента с уровнем значимости $\alpha=0.05$ и степенями свободы $k=10$ находим $t_{крит}$:

$$t_{крит}(n-m-1; \alpha/2) = t_{крит}(10; 0.025) = 2.634$$

где $m = 1$ - количество объясняющих переменных.

Если $|t_{набл}| > t_{критич}$, то полученное значение коэффициента корреляции признается значимым (нулевая гипотеза, утверждающая равенство нулю коэффициента корреляции, отвергается).

Поскольку $|t_{набл}| > t_{крит}$, то отклоняем гипотезу о равенстве 0 коэффициента корреляции. Другими словами, коэффициент корреляции статистически - значим.

В парной линейной регрессии $t_r^2 = t_b^2$ и тогда проверка гипотез о значимости коэффициентов регрессии и корреляции равносильна проверке гипотезы о существенности линейного уравнения регрессии.

1.3. Интервальная оценка для коэффициента корреляции (доверительный интервал).

$$(r - t_{krit} \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}; r + t_{krit} \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}})$$

Доверительный интервал для коэффициента корреляции.

$$(0.826 - 2.634 \sqrt{\frac{1-0.826^2}{12-2}}; 0.826 + 2.634 \sqrt{\frac{1-0.826^2}{12-2}})$$

$$r \in (0.356; 1)$$

2.1. Уравнение регрессии (оценка уравнения регрессии).

Линейное уравнение регрессии имеет вид $y = 0.0525 \cdot x + 1.982$

Коэффициентам уравнения линейной регрессии можно придать

экономический смысл.

Коэффициент регрессии $b = 0.0525$ показывает среднее изменение результативного показателя (в единицах измерения y) с повышением или понижением величины фактора x на единицу его измерения. В данном примере с увеличением на 1 единицу y повышается в среднем на 0.0525. Коэффициент $a = 1.982$ формально показывает прогнозируемый уровень y , но только в том случае, если $x=0$ находится близко с выборочными значениями. Связь между y и x определяет знак коэффициента регрессии b (если > 0 – прямая связь, иначе – обратная). В данном случае связь прямая.

2.2. Коэффициент детерминации.

Квадрат (множественного) коэффициента корреляции называется коэффициентом детерминации, который показывает долю вариации результативного признака, объясненную вариацией факторного признака. Чаще всего, давая интерпретацию коэффициента детерминации, его выражают в процентах.

$$R^2 = 0.826^2 = 0.6822$$

т.е. в 68.22% случаев изменения x приводят к изменению y . Другими словами – точность подбора уравнения регрессии – средняя. Остальные 31.78% изменения y объясняются факторами, не учтенными в модели (а также ошибками спецификации).

Для оценки качества параметров регрессии построим расчетную таблицу (табл. 2)

x	y	$y(x)$	$(y_i - y_{cp})^2$	$(y - y(x))^2$
105.57	7.65	7.52	0.139	0.0168
110.2	7.8	7.763	0.273	0.00136
98.9	7.5	7.17	0.0495	0.109
105.57	7.65	7.52	0.139	0.0168
110.58	7.8	7.783	0.273	0.000287
100	7.55	7.228	0.0743	0.104
97.05	6.9	7.073	0.143	0.03
102	7	7.333	0.077	0.111
92	6.83	6.808	0.2	0.00047
97.05	6.9	7.073	0.143	0.03
102.3	6.95	7.349	0.107	0.159
90.1	6.8	6.709	0.228	0.00835
1211.32	87.33	87.33	1.845	0.586

2.3. Анализ точности определения оценок коэффициентов регрессии.

Несмещенной оценкой дисперсии возмущений является величина:

$$S^2 = \frac{\sum (y_i - y_x)^2}{n - m - 1}$$
$$S^2 = \frac{0.586}{10} = 0.0586$$

$S^2 = 0.0586$ – необъясненная дисперсия или дисперсия ошибки регрессии (мера разброса зависимой переменной вокруг линии регрессии).

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{0.0586} = 0.24$$

$S = 0.24$ - стандартная ошибка оценки.

Стандартная ошибка регрессии рассматривается в качестве меры разброса данных наблюдений от смоделированных значений. Чем меньше значение стандартной ошибки регрессии, тем качество модели выше.

2.4. Проверка гипотез относительно коэффициентов линейного уравнения регрессии.

F-статистика. Критерий Фишера.

Коэффициент детерминации R^2 используется для проверки существенности уравнения линейной регрессии в целом.

Проверка значимости модели регрессии проводится с использованием F-критерия Фишера, расчетное значение которого находится как отношение дисперсии исходного ряда наблюдений изучаемого показателя и несмещенной оценки дисперсии остаточной последовательности для данной модели.

Если расчетное значение с $k_1=(m)$ и $k_2=(n-m-1)$ степенями свободы больше табличного при заданном уровне значимости, то модель считается значимой.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - y_x)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{0.59}{1.84} = 0.6822$$

где m – число факторов в модели.

Оценка статистической значимости парной линейной регрессии производится по следующему алгоритму:

1. Выдвигается нулевая гипотеза о том, что уравнение в целом статистически незначимо: $H_0: R^2=0$ на уровне значимости α .

2. Далее определяют фактическое значение F-критерия:

$$F = \frac{R^2 \cdot \frac{n-m-1}{m}}{1-R^2} = \frac{0.6822 \cdot \frac{12-1-1}{1}}{1-0.6822} = 21.463$$

или по формуле:

$$F = \frac{\sum (y_x - \bar{y})^2 \cdot \frac{n-m-1}{m}}{\sum (y_i - y_x)^2} = \frac{1.2585 \cdot \frac{12-1-1}{1}}{0.59} = 21.463$$

где

$$\sum (y_x - \bar{y})^2 = 1.84 - 0.59 = 1.2585$$

где $m=1$ для парной регрессии.

3. Табличное значение определяется по таблицам распределения Фишера для заданного уровня значимости, принимая во внимание, что число степеней свободы для общей суммы квадратов (большой дисперсии) равно 1 и число степеней свободы остаточной суммы квадратов (меньшей дисперсии) при линейной регрессии равно $n-2$.

$F_{\text{табл}}$ - это максимально возможное значение критерия под влиянием случайных факторов при данных степенях свободы и уровне значимости α . Уровень значимости α - вероятность отвергнуть правильную гипотезу при условии, что она верна. Обычно α принимается равной 0,05 или 0,01.

4. Если фактическое значение F-критерия меньше табличного, то говорят, что нет основания отклонять нулевую гипотезу.

В противном случае, нулевая гипотеза отклоняется и с вероятностью $(1-\alpha)$ принимается альтернативная гипотеза о статистической значимости уравнения в целом.

Табличное значение критерия со степенями свободы $k_1=1$ и $k_2=10$, $F_{\text{табл}} = 4.96$. Поскольку фактическое значение $F > F_{\text{табл}}$, то коэффициент детерминации статистически значим (найденная оценка уравнения регрессии статистически надежна).

Связь между F-критерием Фишера и t-статистикой Стьюдента выражается равенством:

$$t_r^2 = t_b^2 = \sqrt{F} = \sqrt{21.463} = 4.63$$

Показатель качества уравнения регрессии: Коэффициент детерминации 0.6822

Выводы.

Изучена зависимость активности уреазы (Y) от суммарного содержания подвижного азота (X). На этапе спецификации была выбрана парная линейная регрессия. Оценены её параметры методом наименьших квадратов: $y = 0.0525 \cdot x + 1.982$. Статистическая значимость уравнения проверена с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера. Установлено, что в исследуемой ситуации 68.22% общей вариабельности активности уреазы объясняется изменением содержания подвижного азота.

Линейный коэффициент корреляции равен 0.826, следовательно, связь между признаком Y и фактором X высокая и прямая. Также подтверждается его значимость.