

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)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Ростов-на-Дону – 2023

Работа выполнена на кафедре почвоведения и оценки земельных ресурсов
Академии биологии и биотехнологии имени Д.И. Ивановского
Южного федерального университета

Научный руководитель:	Безуглова Ольга Степановна доктор биологических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, кафедра почвоведения и оценки земельных ресурсов, профессор
Официальные оппоненты:	Новиков Алексей Алексеевич доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственной аграрный университет», кафедра кадастра и мониторинга земель, профессор Якименко Ольга Сергеевна кандидат биологических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», факультет почвоведения, кафедра химии почв, лаборатория химии гумусовых веществ и минеральных соединений почв, ведущий научный сотрудник

Защита диссертации состоится **20 декабря 2023 года в 14:00** на заседании диссертационного совета ЮФУ801.01.01 по биологическим наукам на базе Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки 194/1, к. 712.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке им Ю. А. Жданова Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, 21 Ж и на сайте Южного федерального университета <https://hub.sfedu.ru/diss/show/1319414/>

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Отзыв на автореферат в 2-х экз. (с указанием даты, полностью ФИО, учёной степени со специальностью, звания, организации, подразделения, должности, адреса, телефона, e-mail), заверенный печатью организации, просим направлять по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1, к. 804, ученому секретарю диссертационного совета ЮФУ801.01.01 Тимошенко А.Н., а также в формате pdf на e-mail: atimoshenko@sfedu.ru.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Тимошенко Алёна Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования обусловлена тем, что почвенная энзимология сегодня это отдельное направление в изучении биологического потенциала почв. Она поднимает широкий круг вопросов почвоведения, связанных с биокаталитической способностью почв, динамикой состояния, состава и активностью ферментов, их влиянием на систему почва-растение, плодородие (и связанных с ним вопросов и задач). Пользуясь методами почвенной энзимологии вместе с другими методами исследования почв, можно изучить почву на новых уровнях не только понимания, но и восприятия. 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. Почва, как и живые экосистемы, имеет свойство изменяться и трансформироваться. Одним из способов влияния на систему почва-растение является применение гуминовых препаратов (ГП), полученных из различного органосодержащего сырья с добавлением микробных компонентов и без них. Понимание механизмов их влияния на почвенное плодородие поможет в рационализации их использования.

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 исследования:

1. Определить показатели почвенного плодородия в динамике (содержание элементов питания, гумуса) под посевами озимой пшеницы при одно- и двукратной обработке вегетирующих растений ГП ВЮ-Дон и ЭКОСС при сравнении с контролем без обработки препаратами.
2. Проследить динамику ферментативной активности на примере каталазы, инвертазы, уреазы и фосфатазы по вариантам опыта при сравнении с контролем без обработки препаратом.
3. Определить влияние различных вариантов применения, а также варьирования обработок ГП ВЮ-Дон и ЭКОСС на урожайность и структуру урожая озимой пшеницы.
4. 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, связанные с 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 ГП ЭКОСС.

Соответствие темы паспорту специальности. Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 1.5.19. Почвоведение (биологические науки), так как изучение влияния ГП 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 ГП 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 сельскохозяйственных культур как экономически привлекательные ввиду того, что внесение ГП в баковой смеси с пестицидами при фолиарных 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 работы. 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, энзимологии, агрохимии и земледелии методов химических, энзимологических и растительных анализов, применением методов статистической обработки полученных экспериментальных данных. 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), III Международной научной конференции «Современное состояние черноземов» (2023).

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.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В десяти подглавах представлен обзор отечественной и зарубежной литературы по теме исследования. Рассмотрены такие вопросы как органическое вещество почвы и его роль в системе «почва-растение», деградация почвенного плодородия и ферментативная активность как показатель биологического потенциала почв. Отдельное внимание уделено гуминовым препаратам (ГП), их классификации, происхождению, проблеме сертификации и оценки качества, а также влиянию на свойства почв и растения.

Глава 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В подглаве 2.1 представлена схема опыта и пространственное расположение делянок (табл. 1). Опыт закладывался в трехкратной повторности. Размер учетной площади делянок – 6 кв. м.

Таблица 1. Схема опыта

№	Вариант	Гуминовый препарат (ГП) / 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, ГП 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.

Отборы образцов почвы проводили из слоя 0–20 см в следующие сроки: 1) после возобновления весенней вегетации; 2) через 2 недели после обработки ГП в фазу кущения; 3) через 2 недели после обработки ГП 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.

В подглаве 2.2 приведена информация о природных условиях исследуемого района и характеристика почвы исследуемого стационара, которая представлена черноземом обыкновенным карбонатным, по классификации 2004 года – агрочерноземом миграционно-сегрегационным.

В подглаве 2.3 описаны характеристики изучаемых ГП ВЮ-Дон и ЭКОСС. ГП ВЮ-Дон получен путем щелочной обработки вермикомпоста – продукта переработки навоза крупного рогатого скота калифорнийским червем. Он содержит в себе водорастворимые и щелочерастворимые компоненты: соли гуминовых кислот и фульвокислот, продукты жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и вермикультуры, пептиды, аминокислоты и витамины. Такой состав обеспечивает высокую физиологическую активность препарата. Биогумат ЭКОСС произведен на основе переработки навоза крупного рогатого скота и растительных остатков полеводства в ходе двухстадийного ускоренного компостирования. После стадии ускоренной гумификации в биодинамических ферментерах проводится водная экстракция.

В подглаве 2.4 дается описание возделываемой культуры – озимой пшеницы сорта «Золушка», оригинатор сорта – ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр». Сорт полукарликовый, интенсивного типа, относится к группе среднеспелых сортов. Включен в Госреестр 2012 г. по 6 и 8 регионам.

В подглаве 2.5 описаны использованные для проведения исследования методы.

1. Проведение отбора почвенных проб 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), инветазы (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.

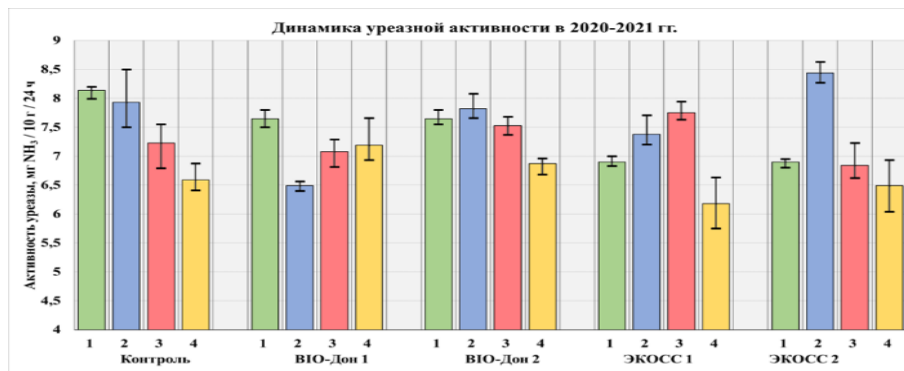
Математическая обработка и анализ экспериментального материала проведены с помощью статистических функций пакетов программ Microsoft Excel, Statistica 13,3.

В подглаве 2.6 дается характеристика погодно-климатических условий. 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 нового ГП ЭКОСС. Экстремальные условия 2021–2022 гг. (засуха) в этом отношении представляют больший интерес.

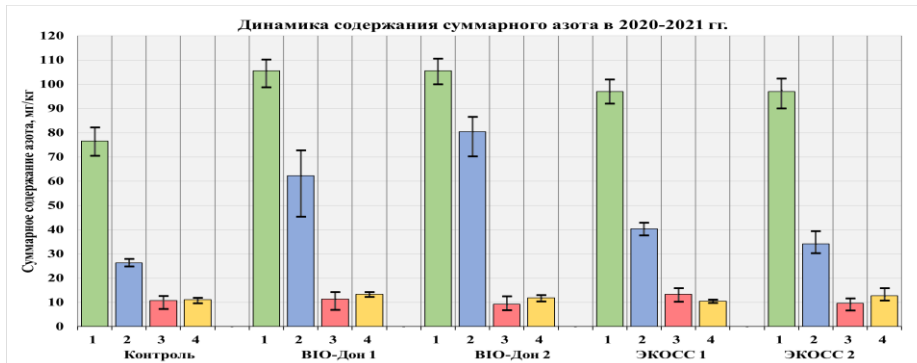
Глава 3. ВЛИЯНИЕ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО И ОЗИМУЮ ПШЕНИЦУ

3.1 Динамика уреазной активности, подвижного азота и реакции среды pH

По уровню активности фермента уреазы чернозем участка оценивается как бедный (Звягинцев, 1978). Видно, что разные года показывают тенденции, противоположные друг другу (рис. 1 а, б). Так, в вегетационный период 2020–2021 гг. активность уреазы стремится к снижению во всех вариантах за исключением варианта с однократной обработкой биогуматом ЭКОСС.

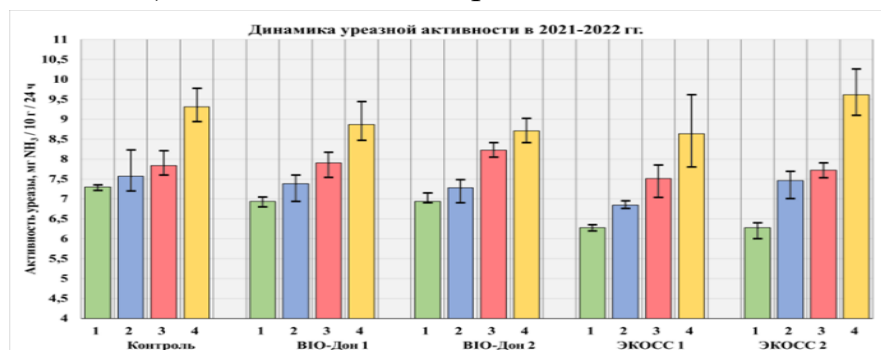


НСР₀₅ по фактору А (между отборами) 0,16, по фактору В (между вариантами) 0,18

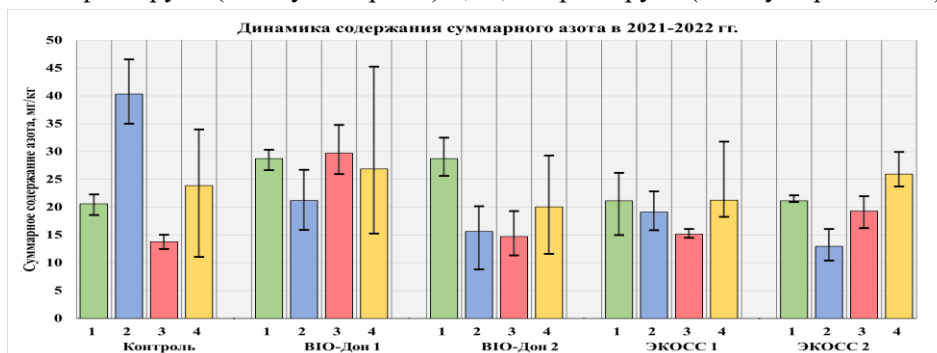


НСР₀₅ по фактору А (между отборами) 2,65, по фактору В (между вариантами) 2,96

а) Вегетационный период 2020-2021 гг.



НСР₀₅ по фактору А (между отборами) 0,24, по фактору В (между вариантами) 0,27



■ 1 отбор ■ 2 отбор ■ 3 отбор ■ 4 отбор

НСР₀₅ по фактору А (между отборами) 3,62, по фактору В (между вариантами) 4,04

б) Вегетационный период 2021-2022 гг.

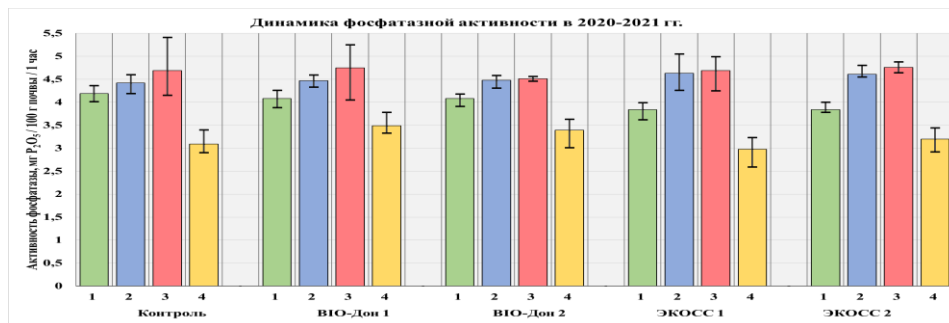
Рис. 1. Динамика активности уреазы (мг NH₃/10 г/24 ч) и подвижного азота (мг/кг) в черноземе по вариантам опыта в вегетационных периодах 2020–2021 и 2021–2022 гг.

Активность уреазы в 1 отборе этого варианта была меньше, чем на контроле и на вариантах с обработкой ВЮ-Дон, что обусловлено более заметным снижением подвижного азота на вариантах с ЭКОСС ко 2 отбору, чем в остальных вариантах, соответственно активность уреазы стала выше. В период 2021–2022 гг. тенденция в динамике уреазной активности противоположна прошлому году, так как данный период характеризовался как засушливый. В этот вегетационный сезон обеспеченность азотом на всех вариантах оставалась низкой (исключение второй отбор на контроле – средняя обеспеченность). Под влиянием ГП активность уреазы возрастает и большую прибавку по этому показателю показывают варианты с ЭКОСС. В целом прослеживается закономерность: уреазная активность имеет тенденцию к изменению в соответствии с фазами роста растения. Эту тенденцию можно проследить, обработав результаты (при условии их подчинения закону нормального распределения) с помощью статистического критерия Пирсона. Графическое изображение формы связи позволяет оценить степень линейной зависимости (корреляцию) двух случайных выборок, в данном случае активности уреазы и содержания подвижного азота. В фазу возобновления весенней вегетации в 2021 г. связь активности уреазы и подвижных форм азота высокая и прямая. 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, каковыми являются ГП. Отсюда рост ферментативной активности и снижение в корнеобитаемой толще почвы подвижного азота, активно потребляемого растениями, набирающими вегетативную массу в фазу кущения. После уборки урожая корреляция повышается и становится заметной и прямой, так как влияние растений уже не сказывается на характере связи.

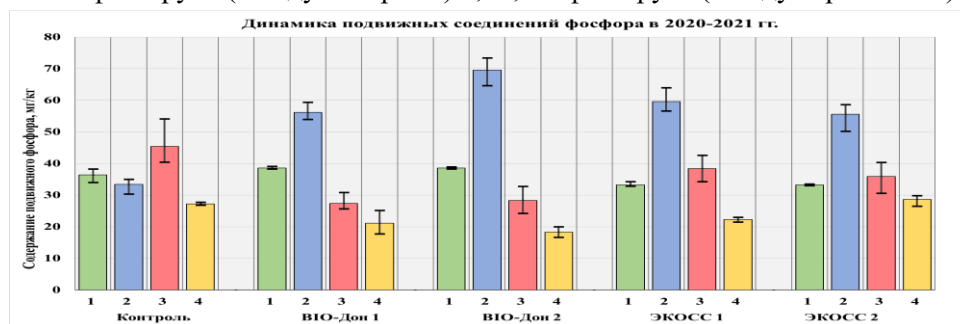
Весной 2022 г. коэффициент корреляции снижается с первого отбора до четвертого, а связь с высокой и прямой становится слабой и обратной. Недостаток влаги не позволил сформировать такой высокий урожай как в 2021 году, соответственно и потребление элементов питания было более низким, что очень хорошо прослеживается на корреляционных графиках. Если в начале весенней вегетации связь между активностью уреазы и содержанием подвижного азота была прямой и высокой ($R=0,876$), то после первой обработки гуматами, она осталась прямой, но стала слабой, после второй обработки ситуация не изменилась, т. к. в мае количество осадков было более чем в два раза ниже среднегодового уровня, в июне их не было совсем. Потребление азота резко снизилось.

3.2 Динамика фосфатазной активности и подвижных соединений фосфора

По активности фосфатазы почва среднеобогатненная. В 2020–2021 гг. во всех вариантах она увеличивается до 3 отбора (возобновление вегетации весной – колошение), после чего происходит снижение (рис. 2 а, б).

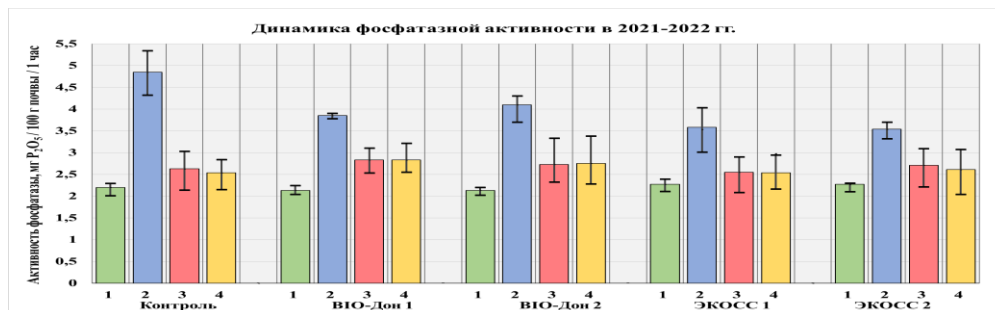


НСР₀₅ по фактору А (между отборами) 0,16, по фактору В (между вариантами) 0,18

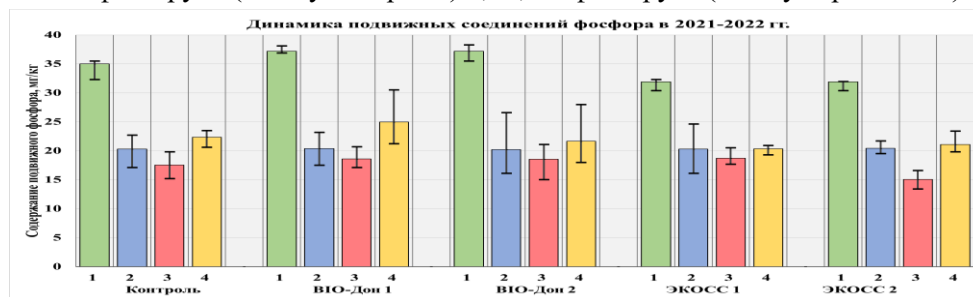


НСР₀₅ по фактору А (между отборами) 1,79, по фактору В (между вариантами) 2,0

а) Вегетационный период 2020-2021 гг.



НСР₀₅ по фактору А (между отборами) 0,16, по фактору В (между вариантами) 0,18



■ 1 отбор ■ 2 отбор ■ 3 отбор ■ 4 отбор

НСР₀₅ по фактору А (между отборами) 1,66, по фактору В (между вариантами) 1,85

б) Вегетационный период 2021-2022 гг.

Рис. 2. Динамика активности фосфатазы (мг P_2O_5 / 100 г почвы / 1 час) и подвижного фосфора (мг/кг) в черноземе обыкновенном в вегетационных периодах 2020–2021 и 2021–2022 гг.

Распределение подвижного фосфора не имеет, на первый взгляд, взаимосвязи с активностью фермента, так 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 ВЮ-Дон.

Активность фосфатазы в 2022 году отличается, прежде всего, тем, что максимальные значения она показывает в фазу кущения (2 отбор) во всех вариантах опыта, а затем наблюдается снижение ее активности и выход на плато. Во 2 отборе она значительно возросла, а количество доступного фосфора уменьшилось до средних значений, так как увеличилось его потребление растениями. К 3 отбору наблюдается как снижение фосфатазной активности, так и продолжение уменьшения количества подвижного фосфора. После уборки, к 4 отбору, содержание фосфора несколько увеличилось, но осталось в той же градации.

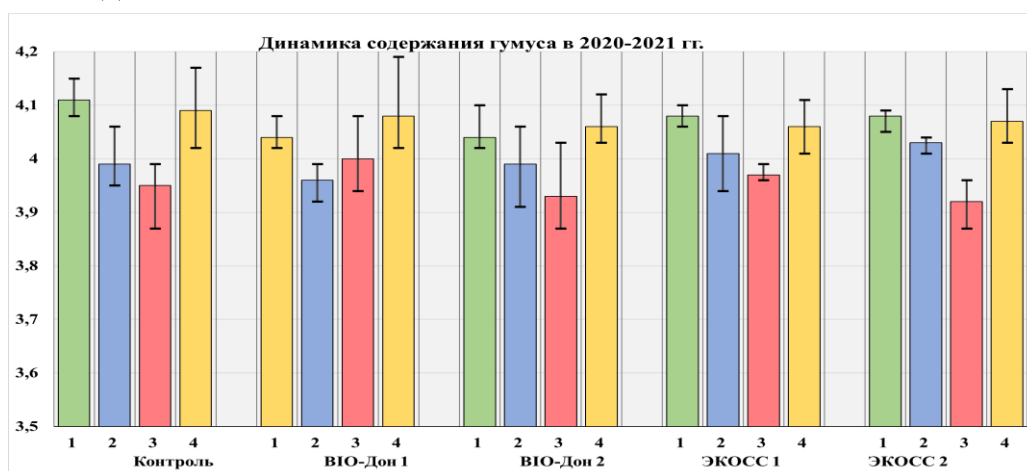
Анализ данных с применением критерия Пирсона показал, что характер и значимость связи между обсуждаемыми параметрами в значительной степени определяется фазой развития растения, погодными условиями, влияет на нее и обработка растений гуматами. В период активной вегетации растений озимой пшеницы критерий Пирсона растет, связь прямая от слабой до заметной, причем чем выше потребность в фосфоре (фаза колошения), тем выше коэффициент корреляции ($R=0,51$). Особенно ярко эта тенденция проявляется в засушливый год.

3.3 Динамика гумуса

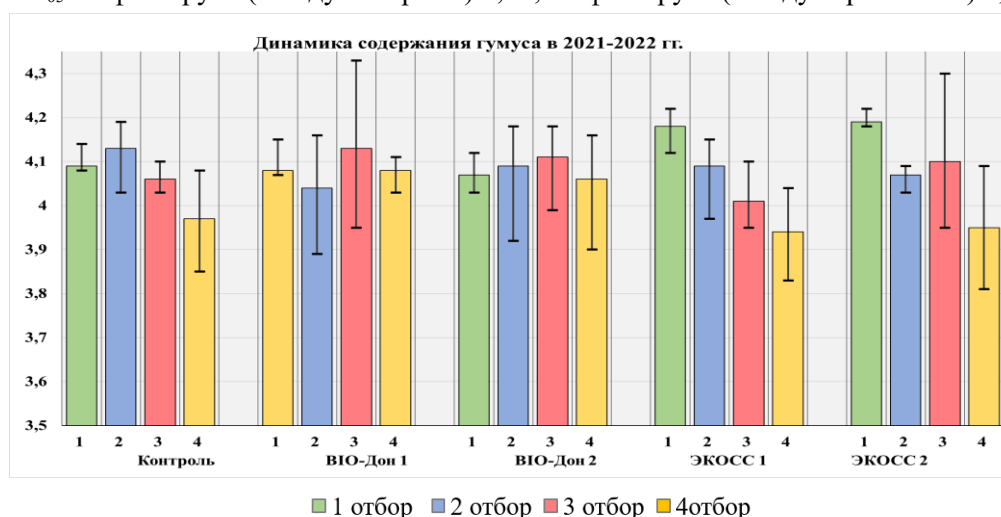
В вегетационный период 2020–2021 гг. общая закономерность свидетельствует о снижении содержания гумуса в почве к фазе наиболее активного поглощения элементов питания – колошения (рис. 3). Практически на всех вариантах содержание гумуса к 3 отбору минимальное. На контроле происходит достоверное уменьшение его содержания вплоть до 3 отбора – на 4% (здесь и далее в этой главе имеется в виду относительный процент). Такое же уменьшение наблюдается в вариантах с ВЮ-Дон-2, ЭКОСС-1 и ЭКОСС-2: на 3,1, 2,7 и 4%, соответственно. В то же время на варианте с однократной обработкой препаратом ВЮ-Дон достоверно снижается содержание гумуса до 2 отбора только на 1,9%.

К уборке урожая (4 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.



НСР₀₅ по фактору А (между отборами) 0,03, по фактору В (между вариантами) 0,03



НСР₀₅ по фактору А (между отборами) 0,05, по фактору В (между вариантами) 0,053

Рис. 3. Динамика гумуса в черноземе обыкновенном по вариантам опыта в вегетационных периодах 2020–2021 и 2021–2022 гг., %

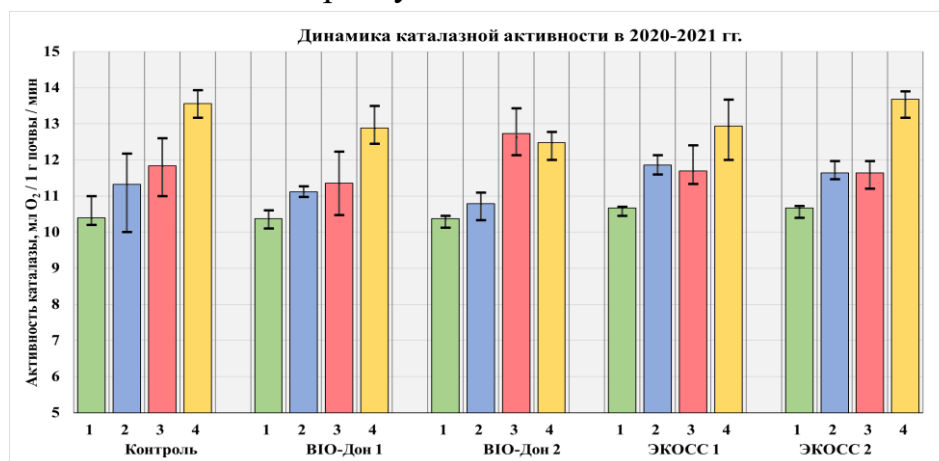
В 2022 году неблагоприятные погодные условия способствовали проявлению адаптогенных и стресс-протекторных свойств гуматов. Сравнивая данные на контроле за два года, можно обнаружить, что к 2022 году произошло накопление гумуса к 1 отбору, по значениям немного большего, чем в прошлом году – на 1,7%. Также высокие значения сохраняются на протяжении первых двух отборов. Общее уменьшение гумуса в этом году за весь вегетационный период составило 4,9%, что выше, чем в 2021 году к 3 отбору.

При двукратной обработке наблюдается также и небольшое увеличение к 3 отбору. ЭКОСС в 2022 году проявляет сходные защитные функции по отношению к гумусу, однако последствия не такие устойчивые и пролонгированные. При однократной обработке данным препаратом наблюдается увеличение количества гумуса ко 2 отбору, но дальше количество

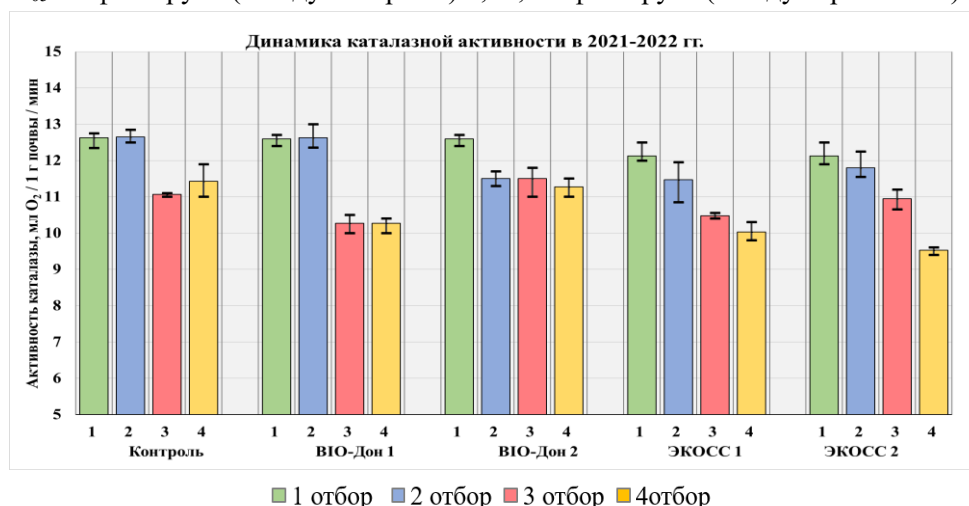
гумуса снижается, как и на контроле, без повышения к 4 отбору, как это было в 2021 г.

3.4 Динамика каталазы

В 2021 году (рис. 4) на контроле каталаза в течение всего вегетационного периода увеличивает свою активность, оставаясь в пределах градации «богатая» (Звягинцев, 1978). Во-первых, это происходит из-за разложения гумуса. С ростом активности каталазы наблюдается заметное снижение содержания гумуса ко 2 отбору (фаза кущения). Дальнейшее снижение гумуса уже заметнее, но активность каталазы возросла еще на 4,6%, а к 4 отбору еще на 14,4% несмотря на то, что уровень гумусированности тяготеет к первоначальным значениям. Это объясняется тем, что между 3 и 4 отборами выпало достаточное количество осадков, что способствовало росту активности каталазы.



НСР₀₅ по фактору А (между отборами) 0,30, по фактору В (между вариантами) 0,34



НСР₀₅ по фактору А (между отборами) 0,16, по фактору В (между вариантами) 0,18

Рис. 4. Динамика каталазы в черноземе обыкновенном по вариантам опыта в вегетационных периодах 2020–2021 и 2021–2022 гг., мл O₂/1 г почвы /мин

В следующий год на контроле активность каталазы в фазу кущения (между 1 и 2 отбором) незначительно увеличивается, а затем идет спад ее активности на

12,5%. При этом количество гумуса постоянно уменьшается. Что же касается 3 отбора, то в период колошения отсутствовали осадки, поэтому активность каталазы уменьшилась. Такая тенденция продолжалась бы и дальше, если бы не выпало достаточное количество осадков к 4 отбору, где мы видим небольшое усиление активности фермента.

В отличие от контроля (2020–2021 гг.), в котором наблюдалась прибавка на 30,3% активности каталазы между 1 и 4 отборами, у варианта ВЮ-Дон-1 и ВЮ-Дон-2 увеличение происходит на 24,3 и 22,8%, а у ЭКОСС-1 и ЭКОСС-2 – на 21,4 и 28,2%. Есть также отличия в динамике роста активности фермента на вариантах с разным количеством обработок. Так, в вариантах с ВЮ-Дон после первой обработки листового аппарата отмечается увеличение на 4–7%, а в 3 отборе без дальнейших обработок увеличение произошло на 2%, а к 4 отбору еще на 13,5%. Вариант с двукратной обработкой показал, что к 3 отбору каталазная активность возрастает на 15,6%. На вариантах с препаратом ЭКОСС при однократной обработке активность каталазы увеличилась на 9–11%, двукратная не дала никакой прибавки к 3 отбору, но к 4 увеличилась на 17,5%. В варианте ЭКОСС-1 к 3 отбору увеличение было небольшим – на 1,4%, а затем на 7,7%.

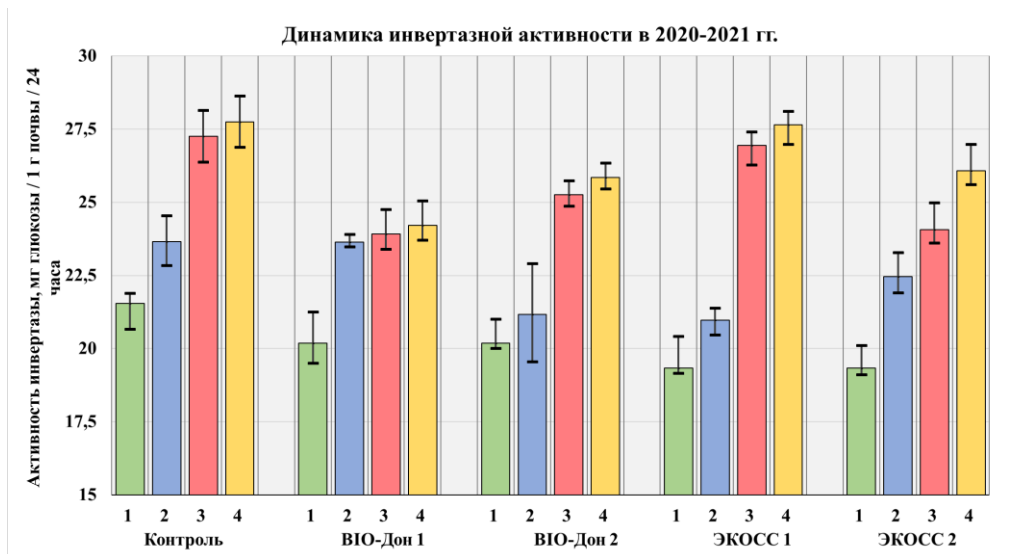
Применение ГП в 2021–2022 гг. способствовало стабилизации содержания гумуса, в отличие от контроля. Лучшие результаты тогда показал препарат ВЮ-Дон, и из рисунка видно, что активность каталазы удерживается на одном уровне, чего нет на вариантах с ЭКОСС.

Неблагоприятные условия 2022 года повлияли на активность каталазы, однако если в 2021 году наблюдалась зависимость ее активности от осадков, то в 2022 году с применением ГП такого не было замечено. Более того, активность каталазы стремилась к постоянному уровню на протяжении всего вегетационного периода.

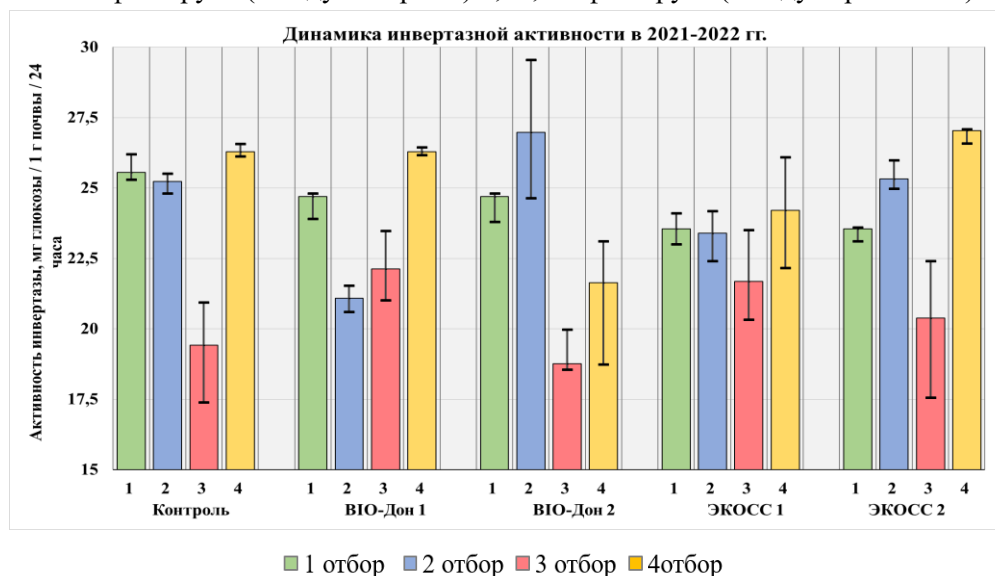
3.5 Динамика инвертазы

По активности инвертазы чернозем на участке полевого опыта характеризуется как среднеобогатченный. В вегетационный период 2020–2021 гг. наблюдалось повышение активности инвертазы. Во всех вариантах наибольшее увеличение активности приходится на 3 отбор, причем двукратная обработка усиливает эту тенденцию (рис.5). Так, при однократной обработке препаратом ВЮ-Дон увеличение 13,4%, тогда как при двукратной – 19,3%. На варианте с ЭКОСС однократная обработка вызывает увеличение активности инвертазы на 14,8%, а двукратное опрыскивание – на 25,5%. На контроле рост активности инвертазы составил 15%. Сравнивая, насколько увеличилась активность фермента за весь период, можно выделить варианты с двукратной обработкой,

особенно вариант ЭКОСС-2, где активность инвертазы возросла на 49,7%. Максимальный рост инвертазной активности между 3 и 4 отбором получен на варианте ЭКОСС-2 – 7,4%. В общем плане для 1 и 2 отбора характерны близкие значения активности инвертазы во всех вариантах независимо от того, какой применялся ГП.



НСР₀₅ по фактору А (между отборами) 0,41, по фактору В (между вариантами) 0,46



НСР₀₅ по фактору А (между отборами) 0,71, по фактору В (между вариантами) 0,79

Рис. 5. Динамика активности инвертазы в черноземе обыкновенном по вариантам опыта в вегетационном периоде 2020–2021 гг., мг глюкозы / 1 г почвы / 24 часа

Для гумуса характерна такая же ситуация: его содержание в почве на вариантах с ГП находится в диапазоне 3,98–4,02%. В 3 отборе варианты с однократной обработкой БИО-Дон и ЭКОСС по количеству гумуса сходны: 3,97%, с двукратной обработкой то же самое, хотя и содержание гумуса несколько ниже – 3,92%. Причем, повышение активности инвертазы закономерно сопровождается снижением содержания гумуса. А при увеличении

гумусированности до прежних значений активность инвертазы не уменьшается, так как по мере созревания урожая происходит отток корневых выделений, в которых содержатся и углеводы.

В засушливый 2022 год на контроле активность инвертазы снизилась на 23%, при этом содержание гумуса уменьшилось на 2,3 отн. %. При нормальных условиях если количество гумуса уменьшается, должен быть рост активности инвертазы, но здесь этого не происходит: из-за засухи оба показателя снижаются. На вариантах с ВЮ-Дон содержание гумуса не снижается, казалось бы, 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). В варианте с ЭКОСС-1 идет снижение и гумусированности, и активности инвертазы на 3,2 и 7,3%, соответственно. Снижение содержания гумуса есть, а активность инвертазы менее выражена, 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 ГП 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.

Содержание гумуса к 4 отбору стало ниже на всех вариантах. Самые высокие снижения на контроле и на варианте с двукратной обработкой ЭКОСС (на 2,05 и 3,58 отн. %), 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, каталазы и гумуса с помощью критерия Пирсона показала, что динамика этих трех показателей очень схожа. Более наглядная она в сухом 2022 году.

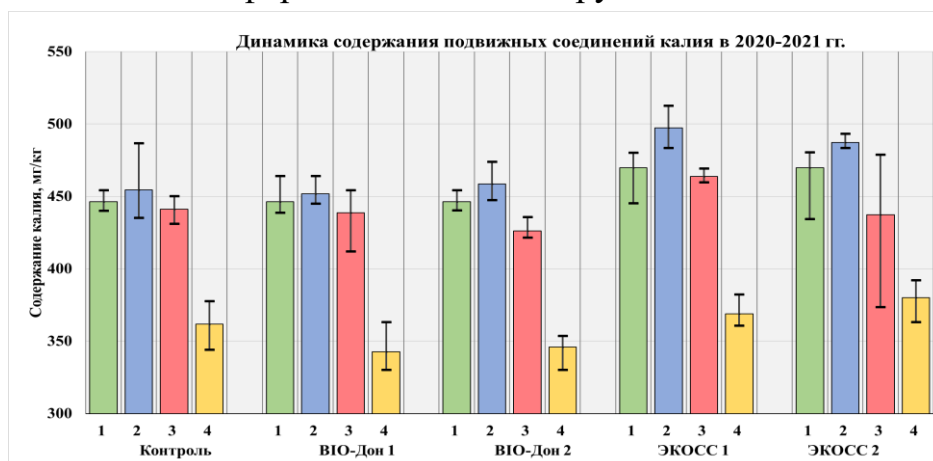
Весной, на стадии возобновления вегетации, связь инвертазы с гумусом высокая и обратная ($R = -0,706$), каталазы с гумусом – заметная и обратная ($R = -0,605$). В кушение связь с гумусом у ферментов слабая, у инвертазы она прямая, а у каталазы – обратная. В фазу колошения у обоих ферментов связь с гумусом

слабая и обратная, а вот после уборки пшеницы она становится прямой. Такая разница в активности ферментов по отношению к гумусу обусловлена тем, что каталаза – фермент, работающий с более широким спектром почвенных компонентов, 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.

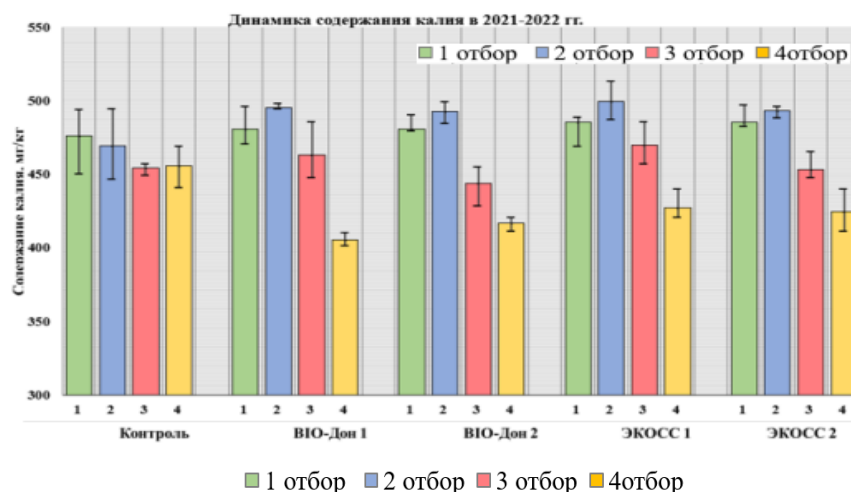
В целом, можно констатировать, что активность всех изученных ферментов меняется при обработке растений гуминовыми препаратами, причем их направленность во многом зависит от гидротермических условий года.

3.6 Динамика подвижного калия

На рис. 6 видно, что в 2021 году во всех вариантах происходит небольшое увеличение подвижных форм калия ко 2 отбору.



НСР₀₅ по фактору А (между отборами) 11,05, по фактору В (между вариантами) 12,36



НСР₀₅ по фактору А (между отборами) 6,36, по фактору В (между вариантами) 7,12

Рис. 6. Динамика подвижных форм калия в черноземе обыкновенном по вариантам опыта в вегетационных периодах 2020–2021 и 2021–2022 гг., мг/кг

Обеспеченность подвижным калием оценивается высокая, однако сразу после уборки (4 отбор) в 2021 году снижается до оценки «повышенная». Самая

большая прибавка на вариантах с биогуматом ЭКОСС. Также во всех вариантах наблюдается уменьшение количества подвижного калия в период со 2 отбора по 4, т. е. в фазы активного набора зеленой массы и формирования репродуктивных органов. На вариантах с препаратом ВЮ-Дон нет разницы между количеством обработок: при однократной обработке количество подвижного калия снижается на 24,2%, а при двукратной – на 24,6%. В вариантах с биогуматом ЭКОСС разница есть. При однократной обработке снижение составило 25,6%, а при двукратной – 22%. Также общее уменьшение можно было объяснить осадками, выпавшими к 3 и 4 отбору, однако на контроле уменьшение составило 20,4%. Поэтому можно сказать, что именно ГП повлияли на усиление поглощения растениями калия.

В засушливый 2022 год количество подвижного калия на контроле по срокам отбора меняется незначительно. В то же время на всех вариантах с ГП наблюдается сначала увеличение содержания подвижного калия после 1 обработки, а затем снижение. Наименьшее содержание отмечено после уборки урожая, однако обеспеченность подвижным калием остается высокой.

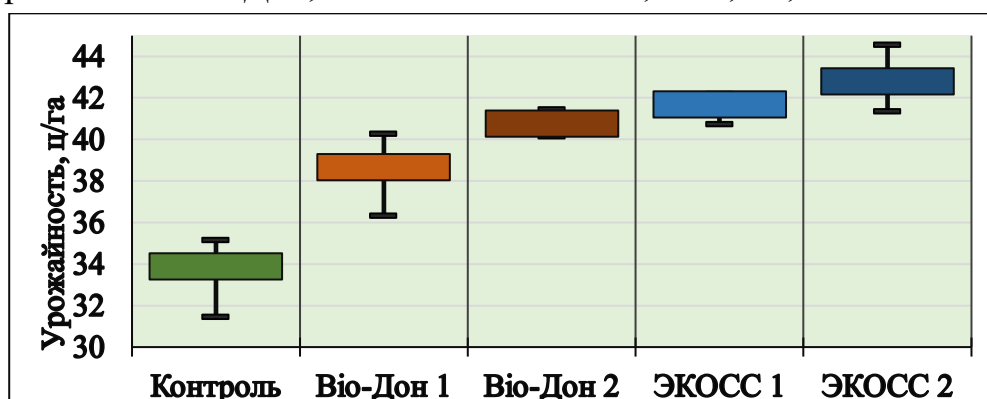
3.7 Урожайность и качество зерна озимой пшеницы

Использование ЭКОСС в 2021 году при обработке вегетирующих растений оказало большее влияние на рост урожайности (рис. 7). Однократная обработка способствовала росту урожайности на 23%, а двукратная на 26,3%.

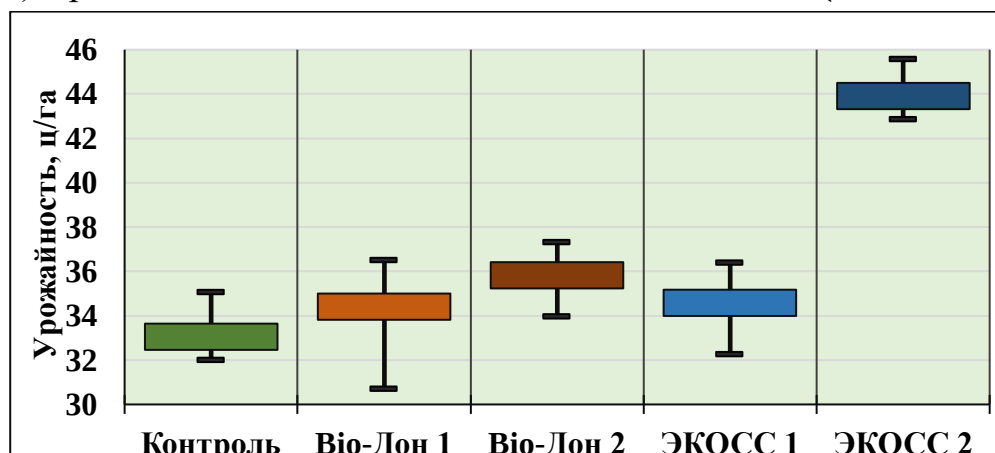
В 2022 году, когда засуха стала стрессовым фактором для растений, биогумат ЭКОСС выступил в роли адаптогена, в то время как ВЮ-Дон не оказал такого действия. В вариантах с применением ВЮ-Дон нет статистически значимых изменений в сравнении с контролем, также, как и в варианте ЭКОСС-1. Использование двукратной обработки ЭКОСС дало прибавку урожайности 32,9%. Лучшим за два года исследований при разных погодных условиях оказался вариант с двукратной обработкой биогуматом 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. ГП ВЮ-Дон и ЭКОСС увеличивают не только урожайность, но и оказывают влияние на качество зерна озимой пшеницы. Из таблицы 2 видно, что по количеству азота в зерне при применении биогумата ЭКОСС есть статически значимая разница с контролем.

Количество белка в зерне по сравнению с контрольным вариантом больше на 5,3% при однократной обработке и на 8,4% – при двукратной. По этому показателю качество зерна в вариантах контроль и ВЮ-Дон-1 относятся к 3 классу, варианты ВЮ-Дон-2 и ЭКОСС-1 – ко 2 классу, а вариант ЭКОСС-2 приближается к 1. Обработка гуматами не повлияла на содержание фосфора в

зерне, однако двукратные обработки привели к увеличению содержания калия как в вариантах с ВЮ-Дон, так и с ЭКОСС на 9,2 и 8,4%, соответственно.



а) Урожайность озимой пшеницы за 2020–2021 гг. (НСР₀₅ 3,14)



б) Урожайность озимой пшеницы за 2021–2022 гг. (НСР₀₅ 4,39)

Рис. 7. Урожайность озимой пшеницы на черноземе обыкновенном по вариантам опыта в вегетационных периодах 2020–2021 и 2021–2022 гг., ц/га

Также зафиксирована достоверная разница и в массе зерна. 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 2. Качество озимой пшеницы при использовании ВЮ-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	-
ВЮ-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
ВЮ-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 ₀₅	0,09		0,05		0,03		1,57		1,71		0,44	

В 2022 году ГП оказали большее влияние на содержание азота в зерне. 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. 3).

Таблица 3. 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
НСР ₀₅	0,06		0,07		0,02		1,35		1,24		0,34	

Влияние на содержание фосфора и калия в зерне озимой пшеницы ГП не оказали. Масса 1000 зерен статистически достоверно увеличивается только в варианте с ЭКОСС-2 – на 5,6%.

Качество зерна в 2022 году снизилось по сравнению с предыдущим годом. Все варианты по количеству белка относятся к 5 классу за исключением ЭКОСС-2 (4 класс).

ВЫВОДЫ

1. Динамика подвижных соединений азота в черноземе обыкновенном карбонатном определяется погодными условиями вегетационного сезона, особенностями гуминовых препаратов (ГП) и количеством обработок. В 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 ГП пролонгирует повышенное потребление азота, что сопряжено и с большей активностью фермента. Биогумат 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 свидетельствует об увеличенной потребности растений в фосфоре, что связано с активным формированием урожая и снижением количества доступного фосфора в почве. Обработка посевов ГП 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 в почве на всех вариантах.

3. 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 ГП. 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.

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

5. По содержанию калия в 2021 и 2022 гг. на всех вариантах с ГП наблюдается увеличение содержания подвижного калия после 1 обработки в фазу кущения. Затем содержание калия уменьшается, и минимальное содержание наблюдалось после уборки урожая. На вариантах с применением биогумата ЭКОСС в 2021 году обеспеченность калием была более высокой. В неблагоприятный по погодным условиям 2022 год разница между вариантами с применением ГП незначительна.

6. В благоприятных условиях 2020–2021 гг. применение ГП 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 биогуматом ЭКОСС, урожайность озимой пшеницы 43,9 ц/га при 33 ц/га на контроле. Остальные варианты не дали статистически значимой разницы урожайности по отношению к контролю. Зерно этого года по качеству относится к 5 классу, но по количеству белка пшеница с двукратной обработкой ЭКОСС может быть отнесена к 4 классу.

7. Эффективный вынос азота растениями подтверждается содержанием белка в зерне. В ряду ВЮ-Дон-1 < ВЮ-Дон-2 < ЭКОСС-1 < 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 РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК и ЮФУ

1. **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. – DOI 10.18522/1026-2237-2021-4-53-60.
2. Влияние гуминового препарата на саженцы яблони / А. Е. Попов, **В. А. Матюгин**, Е. А. Полиенко, О. С. Безуглова // АгроЭкоИнфо. – 2021. – № 6(48). – DOI 10.51419/20216614.
3. **Матюгин, В. А.** Динамика гумуса и инвертазной активности в черноземе обыкновенном карбонатном при фолиарной обработке озимой пшеницы гуминовыми препаратами / В. А. Матюгин, О. С. Безуглова // АгроЭкоИнфо. – 2023. – № 3(57). – DOI: 10.51419/202133314.
4. **Матюгин, В. А.** Влияние гуминовых препаратов на уреазную активность и азотное питание в черноземе обыкновенном карбонатном под озимой пшеницей / В. А. Матюгин, О. С. Безуглова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2023. – №3. – С. 106-116. – DOI: 10.18522/1026-2237-2023-3-106-116.

5. Влияние гуминовых препаратов на содержание подвижного фосфора и активность фосфатазы в черноземе обыкновенном под посевами озимой пшеницы / О. И. Наими, М. Н. Дубинина, **В. А. Матюгин** [и др.] // Земледелие. – 2023. – № 5. – С. 32-36. – DOI: 10.24412/0044-3913-2023-5-32-36.