УДК 631.41:631.46:631.8

DOI: 10.18522/2308-9709-2026-57-3

ДИНАМИКА МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА И УРЕАЗНОЙ АКТИВНОСТИ В ЧЕРНОЗЁМЕ ОБЫКНОВЕННОМ КАРБОНАТНОМ ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ ФОЛИАРНОЙ ОБРАБОТКЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Половая Юлия Павловна, Лыхман Владимир Анатольевич*, Дубинина Марина Николаевна, Матюгин Владислав Александрович, Наими Ольга Ивановна

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (ФГБНУ ФРАНЦ), п. Рассвет, Россия

e-mail: yulezkiy666@yandex.ru

*lykvladimir@yandex.ru

dubinina-marina@rambler.ru

vlad.matyugin@mail.ru

o.naimi@mail.ru

ORCID: 0000-0002-7202-0188

ORCID: 0000-0002-3855-0070

ORCID: 0000-0002-4305-635X

ORCID: 0009-0001-2055-5391

ORCID: 0000-0001-8742-9528

Аннотация

Представлены результаты трёхлетних исследований (2020–2023 гг.) влияния химических средств защиты растений (ХСЗ) и их баковой смеси с гуминовым препаратом (ГП) на активность уреазы и динамику минерального азота в чернозёме обыкновенном карбонатном под озимой пшеницей. Опыты проводили в Аксайском районе Ростовской области по четырём вариантам: контроль, ГП, ХСЗ, ГП + ХСЗ. Пробы отбирали в слоях 0–20 и 20–40 см в четыре срока.

Активность уреазы в пахотном слое составила 3.74–11.19 мг NH_3/10 г почвы/24 ч, в подпахотном — 4.54–15.97 мг («слабая»–«средняя» по Гапонюк-

Половая Ю. П., Лыхман В. А., Дубинина М. Н., Матюгин В. А., Наими О. И., Динамика минерального азота и уреазной активности в чернозёме обыкновенном карбонатном при комплексной фолиарной обработке озимой пшеницы // «Живые и биокосные системы». – 2026. – № 57; URL: https://jbks.ru/archive/issue-57/article-3; DOI: 10.18522/2308-9709-2026-57-3

Малахову). Подпахотный слой во второй половине вегетации превосходил пахотный на 25–80 %.

В благоприятных условиях (2020/2021) ХСЗ вызывали компенсаторное повышение активности до 11.19, тогда как добавление ГП нивелировало стресс, удерживая показатель на 7.54 мг NH_3/10 г почвы/24 ч (контроль — 6.71). В засушливый период (2021/2022) баковая смесь повышала активность на 6.2 % относительно ХСЗ (8.73 против 8.22). Во влажном 2022/2023 активность на ГП + ХСЗ к уборке составила 5.93 мг NH_3/10 г почвы/24 ч против 7.28 на ХСЗ и 5.58 на контроле.

Аммиачная селитра (20 кг д.в./га) кратковременно повышала содержание азота до «средней» градации (30–50 мг/кг). Далее азот снижался: в 2020/2021 и 2021/2022 — до 8.87–14.63 мг/кг к уборке; в 2022/2023 — до минимума 2.09–3.51 мг/кг в июне с восстановлением до 4.4–5.7 мг/кг. ГП проявлял защитно-удерживающий эффект: в 2022/2023 в слое 0–20 см — 5.65 против 4.37 мг/кг на контроле (+29.3 %).

Совместное применение ГП и ХСЗ оптимизирует азотное питание и поддерживает биологическую активность в условиях недостаточного увлажнения; в аномально влажные годы преимущество смеси не подтверждено. Корреляционный анализ Пирсона показал, что в целом по вариантам опыта связь между содержанием минерального азота и активностью уреазы в пахотном слое отсутствует ($r = +0.09$; $p > 0.05$), тогда как на контроле в слое 0–20 см выявлена умеренная прямая зависимость ($r = +0.58$; $p < 0.05$).

Ключевые слова

чернозём обыкновенный карбонатный; озимая пшеница; минеральный азот; уреазная активность; гуминовый препарат; пестициды; баковая смесь

Введение

Азот является главным лимитирующим элементом органогенеза, белкового обмена и формирования урожая озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Чернозёмы обыкновенные карбонатные обладают мощным гумусовым профилем и значительным валовым запасом азота, однако до 95–98 % его количества входит в состав высокомолекулярных органических соединений (Минеев, 2004; Завалин, 2022). Подвижные минеральные формы — аммонийный (NH_4^+) и нитратный (NO_3^-) — образуются в процессе микробиологической минерализации и отличаются выраженной сезонной

динамикой, определяемой гидротермическими условиями и подщелачиванием карбонатами почвенного раствора (Безуглова, 2001). Внесение минеральных удобрений и весенние подкормки аммиачной селитрой дают лишь кратковременный эффект, тогда как фолиарные обработки позволяют снабдить растения азотом в критические фазы вегетации (Ивашененко, Багринцева, 2021).

Превращение амидного азота, поступающего с удобрениями или корневыми выделениями, катализируется внеклеточным и внутриклеточным ферментом уреазой (ЕС 3.5.1.5), гидролизующим мочевину до карбоната аммония, соединения, наиболее доступного для питания растений.

Уреазная активность выступает надёжным диагностическим показателем потенциальной биогенности почвы и скорости трансформации органического азота (Хазиев, 2005; Козунь и др., 2016). В чернозёмах обыкновенных карбонатных уровень уреазной активности тесно связан с содержанием подвижного органического вещества, влажностью, а также интенсивностью ризосферного дыхания. Комплексные листовые подкормки опосредованно изменяют состав корневых экссудатов и поступающих на почву стекающих растворов, стимулируя или ингибируя ферментативный пул ризосферы, который, в свою очередь, определяет специфический катализ химических реакций в почве (Пукальчик и др., 2017; Якименко, 2011).

Применение фолиарных обработок комплексными баковыми смесями, сочетающими средства защиты растений (ХСЗ) и биологически активные добавки, оказывает сочетанное действие на почвенный микробоценоз и его ферментативную активность. Гуминовые препараты (гуматы калия/натрия, фульвокислоты) активизируют микробиологические процессы, повышают буферность почвенного раствора, стимулируют биосинтез гидролитических ферментов (включая уреазу и инвертазу) и выполняют роль адаптогенов, снижая последствия абиотического стресса (Наими и др., 2019; Семенов, Когут, 2015). В исследованиях В. А. Матюгина и О. С. Безугловой (2023) на чернозёме обыкновенном карбонатном под озимой пшеницей показано, что применение гуминовых препаратов «ЭКОСС» и «BIO-Дон» сопровождалось ростом уреазной активности, причём в засушливый год эффект был более выражен, что свидетельствует об адаптогенном действии этих препаратов. Аналогичные закономерности отмечены и для других культур: в нашей работе (Наими, Половая, 2024) на посевах подсолнечника показано, что обработка гуминовым препаратом снижает пестицидный стресс и поддерживает уреазную активность.

Внесение пестицидов может вызывать кратковременное угнетение активности уреазы и снижение численности определённых групп микроорганизмов за счёт токсического воздействия на активные центры ферментов или клетки ризосферной микрофлоры (Наими и др., 2021). В то же время совместное применение гуматов с пестицидами нивелирует стрессовое воздействие, поскольку гуминовые кислоты связывают остаточные количества ядохимикатов в устойчивые комплексы, снижая их токсичность и поддерживая уреазную активность на физиологически оптимальном уровне (Лыхман и др., 2020).

Несмотря на имеющиеся данные о положительном влиянии гуминовых препаратов на уреазную активность и азотный режим чернозёма обыкновенного карбонатного (Матюгин, Безуглова, 2023), остаются невыясненными вопросы комплексного воздействия фолиарных баковых смесей, включающих гуминовый препарат и химические средства защиты растений, на динамику минерального азота и активность уреазы в пахотном и подпахотном слоях почвы.

Цель исследований — выявить механизмы влияния гуминового препарата (торфяного гумата калия) и химических средств защиты растений на динамику минерального азота и уреазную активность в пахотном (0-20 см) и подпахотном (20-40 см) слоях чернозёма обыкновенного карбонатного при возделывании озимой пшеницы.

Задачи:

1. Изучить динамику содержания минерального азота (сумма NH_4^+ и NO_3^-) в слоях 0-20 и 20-40 см в течение вегетации озимой пшеницы на фоне различных вариантов обработки.
2. Оценить активность уреазы в тех же слоях и сроках отбора.
3. Определить влияние совместного применения ГП и ХСЗ на азотный режим и ферментативную активность.
4. Выявить вклад гидротермических условий в формирование азотного режима и активности уреазы.

Объекты и методы

Характеристика почвы. Исследования проводили в 2020-2023 гг. на полях стационара ФГБНУ ФРАНЦ в Аксайском районе Ростовской области. Почвенный покров опытного участка представлен чернозёмом обыкновенным

карбонатным. Содержание гумуса в пахотном слое варьирует в пределах 3.93-4.29 %, мощность гумусового горизонта 60-80 см. Реакция почвенной среды – от близкой к нейтральной до нейтральной (pH 6.2-7.5). Количество валового азота в пределах 0.2-0.25%. Исходное содержание минерального азота оценивается как очень низкое, подвижного фосфора – среднее, обменного калия – повышенное (Клименко, Безуглова и др., 2024).

Характеристика гуминового препарата. В качестве гуминового препарата использовали органоминеральное удобрение «Гумат калия жидкий торфяной» (производство ГК «Флексом»), полученное путём щелочной экстракции из торфа. Препарат содержит соли гуминовых кислот (36–45 г/л), а также макро- и микроэлементы (общий азот 2.66 г/л, общий фосфор 0.28 г/л, общий калий 11.18 г/л, Zn, Co, Mn, Mo, Fe, B). Рабочий раствор готовили с концентрацией 0.001 % по органическому углероду. Гумат калия обладает адаптогенными свойствами, снижая стресс после применения средств защиты растений и воздействия неблагоприятных погодных факторов (Матюгин, Безуглова, 2023).

Характеристика сорта. Возделываемая культура – озимая пшеница сорта «Донская лира» (разновидность Лютесценс). Оригинатор – ФГБНУ ДЗНИИСХ. Сорт выведен методом гибридизации с последующим индивидуальным отбором. Масса 1000 зёрен варьирует от 33 до 43 г, содержание белка в зерне – 13.8 %, клейковины – 29.8 % (Сорта полевых культур, 2026). Предшественник – нут.

Климатические условия. Климат района исследований умеренно-континентальный. Среднемноголетнее количество осадков составляет 450–500 мм, из них за вегетационный период выпадает около 270–300 мм. Испаряемость за год – 840 мм. Основной лимитирующий фактор – влага. Погодные условия в годы исследований различались (табл. 1): 2020/2021 гг. характеризовались избыточным увлажнением в марте–апреле; 2021/2022 гг. – холодным и сухим мартом, дефицитом осадков в мае–июне; 2022/2023 гг. – аномально влажным апрелем–маем (168 мм осадков) с резкими перепадами температур (от 3 до 29 °C) (Мониторинг метеоданных, 2022; Метеорологические данные, 2023).

Таблица 1 – Погодно-климатические условия периода исследований

Вегетационный период											
Параметр	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август
2020/2021 гг.											
Температура, °С	14,6	3,4	-3,1	-1,2	-2,5	1,7	9,7	17,6	21,6	26	24,7
Осадки, мм	18,8	19,8	15	46,6	15,8	84,8	59,4	52	51,2	41,2	64,8
2021/2022 гг.											
Температура, °С	9,2	5	0,8	-1,2	3,1	0,9	12,4	14,6	23,1	23,6	26,2
Осадки, мм	6,2	5,7	90,4	40,2	46,6	21,6	58	18	0,8	55	27,8
2022/2023 гг.											
Температура, °С	11,7	6,8	2	-2,1	-1,4	6,9	11,3	15,4	19,9	23,3	24,8
Осадки, мм	46,4	33	46,2	23,6	48,2	24,8	84,2	84,4	32,8	52,4	40
Средние многолетние значения											
Температура, °С	10,2	3,2	-1,2	-3,0	-2,0	3	11,1	17,3	21,6	24,1	23,6
Осадки, мм	45	45	51	53	44	42	41	52	63	51	33

Схема полевого опыта. Опыт заложен согласно методике Б.А. Доспехова (2015). Схема включала четыре варианта:

1. Контроль (без обработок);
2. Гуминовый препарат (ГП, 0.6 л/га);
3. Химические средства защиты (ХСЗ: баковая смесь Стингер, 0.3 л/га; Импакт, 0.5 л/га; Гранат, 1.0 кг/га; Пума Супер 100, 0.8 л/га; Фаскорд, 0.15 л/га);
4. Гуминовый препарат + химические средства защиты (ГП 0.6 л/га + ХСЗ: баковая смесь).

Под основную обработку вносили азофоску (16:16:16), весной в период возобновления вегетации — подкормку аммиачной селитрой в дозе 20 кг д.в./га. Химические средства защиты и гуминовый препарат вносили совместно в баковой смеси по вегетирующей массе в фазу кущения. Повторность опыта — четырёхкратная, расположение делянок рендомизированное.

Отбор почвенных проб. Образцы отбирали согласно ГОСТ Р 58595-2019 в слоях 0–20 и 20–40 см в четыре срока:

1) возобновление весенней вегетации – вторая декада марта;

2) через 2 недели после внесения минеральных удобрений – конец апреля;
3) через 2 недели после обработки ХСЗ и ГП - июнь;
4) за неделю до уборки озимой пшеницы - июль.

Методы анализа. Содержание минерального азота определяли как сумму аммонийного (ГОСТ 26489-85) и нитратного (ГОСТ 26951-86) азота. Активность уреазы определяли по методу В. Ф. Купревича (1951) в модификации О. И. Наими (2019). Эти данные приводятся в других публикациях. Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного анализа (Доспехов, 2015). Достоверность различий между вариантами опыта (Контроль, ГП, ХСЗ, ГП+ХСЗ) оценивали с использованием наименьшей существенной разности ($НСР_{05}$) и t-критерия Стьюдента для уровня значимости $p \leq 0,05$. Корреляционный анализ взаимосвязи содержания минерального азота и активности уреазы выполняли с расчётом коэффициента корреляции Пирсона (r). Достоверность различий оценивали по наименьшей существенной разнице ($НСР_{05}$) и t-критерию Стьюдента при уровне значимости $p \leq 0.05$.

Результаты и обсуждение

Динамика минерального азота.

Содержание минерального азота (сумма NH_4^+ и NO_3^-) в чернозёме обыкновенном карбонатном в период возобновления весенней вегетации оценивалось как очень низкое (по шкале Г. П. Гамзикова, 2018) и составляло в пахотном слое 6.38-10.30 мг/кг, в подпахотном – 6.33-12.27 мг/кг (рис. 1-3).

Внесение аммиачной селитры в дозе 20 кг д.в./га приводило к кратковременному повышению содержания азота до градации «среднее» (30-50 мг/кг) через две недели после подкормки. Однако уже к третьему отбору (через две недели после обработки ХСЗ и ГП) содержание минерального азота вновь снижалось до очень низких значений, что связано с потреблением элемента растениями и миграцией нитратов в нижележащие горизонты. Это подтверждает, что агротехнический фактор (внесение минерального азота) выступает главным доминирующим регулятором краткосрочной динамики азотного режима.

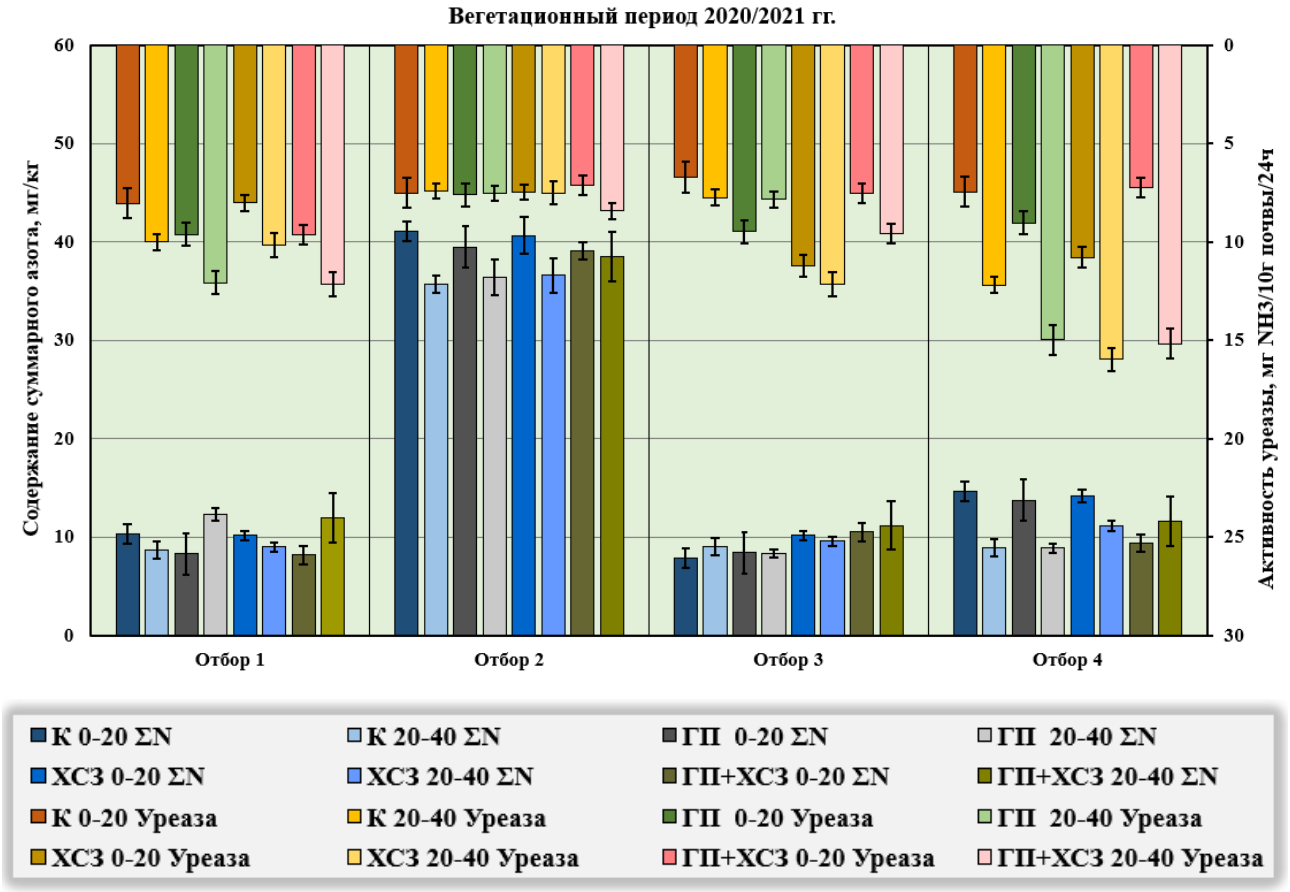


Рис. 1 - Динамика содержания минерального азота и активности уреазы по вариантам опыта за 2020/2021 гг.

Интенсивность профильной миграции и расхода азота в большой степени определяется погодными условиями года, в первую очередь количеством атмосферной и, как следствие, почвенной влагой. Так, в 2020/2021 гг. избыток увлажнения в марте–апреле способствовал формированию умеренно-высокого весеннего пика (39.11-41.08 мг/кг) с частичной миграцией нитратов в слой 20–40 см (35.73-38.48 мг/кг) и мягким снижением к уборке до 8.87-14.63 мг/кг (рис. 1). В 2021/2022 гг. (сухой/холодный март, дефицит осадков в мае–июне) ограниченный водный режим предотвратил вымывание, зафиксировав абсолютный максимум суммарного азота в слое 0–20 см в отборе 2 (до 50.29 мг/кг) (рис. 2). Аномальные осадки (168 мм) в апреле–мае 2023 г. (в рамках сезона 2022/2023) инициировали интенсивную нитрификацию с последующим выщелачиванием нитратов. К моменту третьего отбора проб (июнь) содержание минерального азота снизилось до экстремально низкого уровня за весь период наблюдений — 2,09–3,51 мг/кг. (рис. 3).

Половая Ю. П., Лыхман В. А., Дубинина М. Н., Матюгин В. А., Наими О. И., Динамика минерального азота и уреазной активности в чернозёме обыкновенном карбонатном при комплексной фолиарной обработке озимой пшеницы // «Живые и биокосные системы». – 2026. – № 57; URL: https://jbks.ru/archive/issue-57/article-3; DOI: 10.18522/2308-9709-2026-57-3

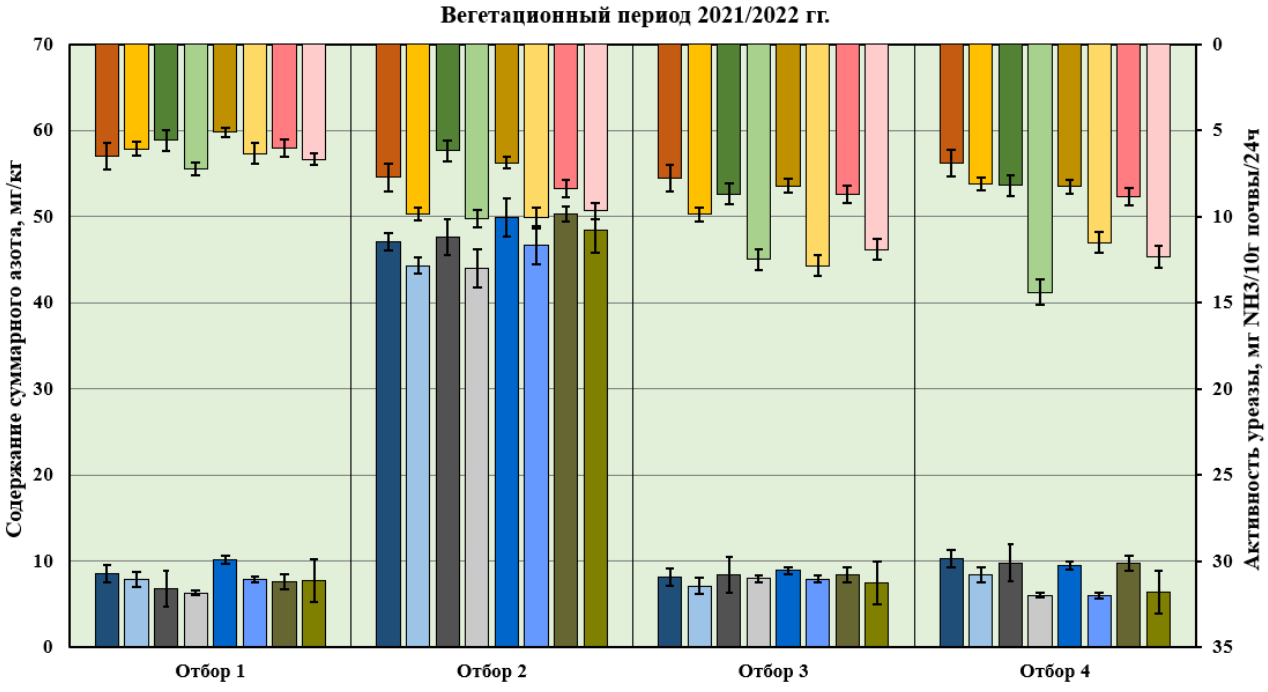


Рис. 2 - Динамика содержания минерального азота и активности уреазы по вариантам опыта за 2021/2022 гг.

По профильному распределению в период максимума (отбор 2) слой 0–20 см закономерно превосходил слой 20–40 см. К моменту уборки (отбор 4) за счёт корневого поглощения и инфильтрации происходило профильное выравнивание показателей.

Применение гуминового препарата (ГП) проявило выраженный защитно-удерживающий эффект. В фазу пика (отбор 2, 2022/2023 г.) вариант ГП содержал 41.84 мг/кг минеральных форм азота, что на 10.4 % выше Контроля (37.91 мг/кг). В предуборочный период на фоне сильного вымывания (2022/2023 г.) внесение гуминового препарата снизило потери минерального азота: в слое 0–20 см ГП сохранил 5.65 мг/кг против 4.37 мг/кг на Контроле (+29.3 %), а ГП + ХСЗ - 5.22 мг/кг против 4.45 мг/кг на ХСЗ (+17.3 %). В слое 20–40 см проявилась аналогичная динамика: ГП зафиксировал 4.08 мг/кг против 3.14 мг/кг на Контроле (+29.9 %), а ГП + ХСЗ – 3.87 мг/кг против 3.23 мг/кг на ХСЗ (+19.8 %).

Половая Ю. П., Лыхман В. А., Дубинина М. Н., Матюгин В. А., Наими О. И., Динамика минерального азота и уреазной активности в чернозёме обыкновенном карбонатном при комплексной фолиарной обработке озимой пшеницы // «Живые и биокосные системы». – 2026. – № 57; URL: https://jbks.ru/archive/issue-57/article-3; DOI: 10.18522/2308-9709-2026-57-3

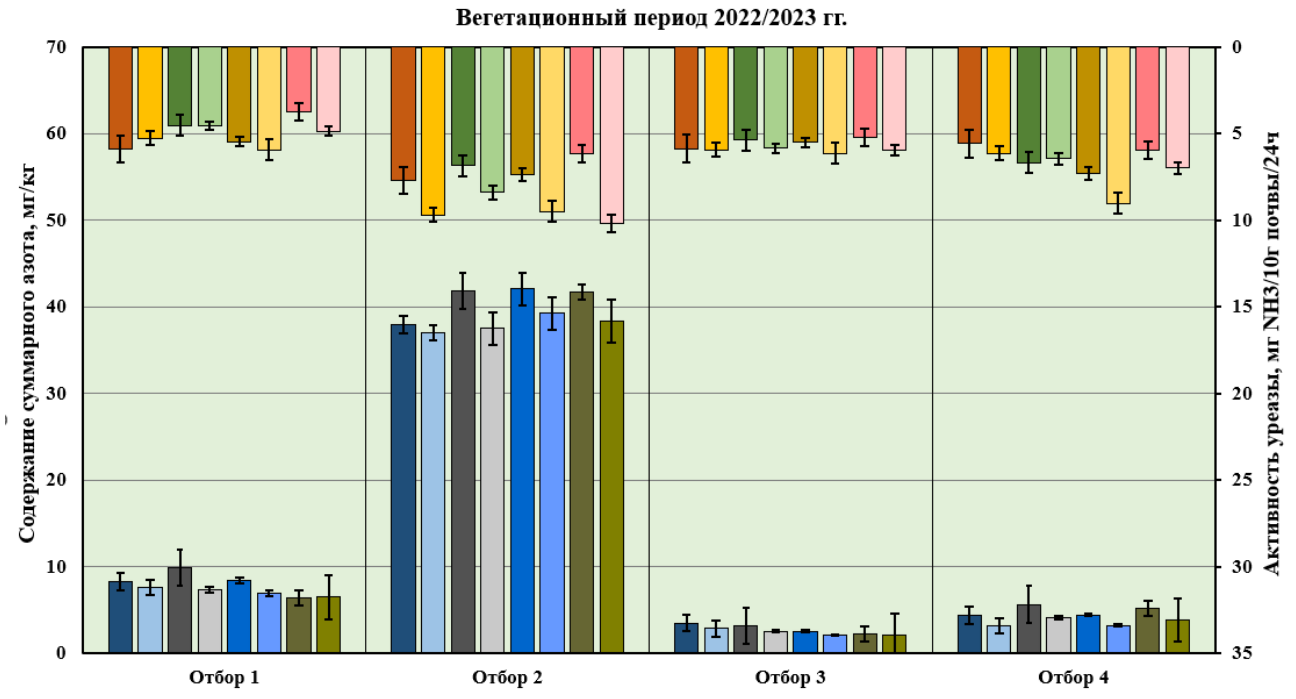


Рис. 3 - Динамика содержания минерального азота и активности уреазы по вариантам опыта за 2022/2023 гг.

Динамика уреазной активности.

Активность уреазы в пахотном слое исследованного чернозёма по шкале сравнительной оценки биологической активности почвы (Гапонюк, Малахов, 1985) оценивается преимущественно как слабая (3.74-11.19 мг NH_3/10 г почвы/24 ч), с периодическим переходом в «среднюю» при значениях выше 10 мг. В подпахотном слое значения были выше (4.54-15.97 мг NH_3/10 г почвы/24 ч), в данном случае главным доминирующим фактором уреазной активности выступает пространственно-экологический фактор (глубина почвенного слоя), так как ферментативный пул защищен от иссушения и температурных колебаний верхнего слоя. Подпахотный слой (20–40 см) во второй половине вегетации (отборы 3 и 4) достоверно превосходил пахотный слой (0–20 см) на 25-80 % во все годы и на всех вариантах. Так, в отборе 4 (2021/2022 г., вариант ГП) активность в слое 20–40 см составила 14.38 против 8.18 мг NH_3/10 г почвы/24 ч в слое 0–20 см (+75.8 %). В 2020/2021 г. (отбор 4, вариант ХСЗ) - 15.97 против 10.78 мг NH_3/10 г почвы/24 ч.

Немаловажным фактором, влияющим на динамику уреазы, является гидротермический режим года. В благоприятных 2020–2022 гг. активность фермента к концу вегетации достигала 14.38-15.97 мг NH_3/10 г почвы/24 ч. Напротив, гидротермический стресс 2022/2023 гг. (перепады температур от 3 до

29 °С и 168 мм осадков) вызвал подавление почвенной микрофлоры: максимальные значения уреазы не превышали 10.17 мг NH_3/10 г почвы/24 ч, падая в отборах 1 и 3 до 3.74-5.95 мг NH_3/10 г почвы/24 ч.

Фолиарные обработки гуминовым препаратом проявили пролонгированное биостимулирующее и антистрессовое действие во второй половине вегетации (отборы 3 и 4): в 2020/2021 гг. в отборе 3 (слой почвы 0–20 см) активность уреазы на варианте ГП составила 9.48 против 6.71 мг NH_3/10 г почвы/24 ч на Контроле (+41.3 %); в 2021/2022 гг. в отборе 3 (слой почвы 20–40 см) – 12.49 против 9.87 мг NH_3/10 г почвы/24 ч Контроля (+26.5 %); к отбору 4 разница достигает уже 77.5 % - 14.38 против 8.10 мг NH_3/10 г почвы/24 ч.

Внесение чистых ХСЗ вызывало компенсаторные всплески или угнетение уреазы. Добавление ГП в баковую смесь (вариант ГП + ХСЗ) стабилизировало биохимические процессы: в отборе 4 (2021/2022 г., 20–40 см) активность уреазы показала 12.33 мг NH_3/10 г почвы/24 ч против 8.10 на Контроле (+52.2%), нивелируя негативный отклик микробиома на пестициды.

Статистическая оценка достоверности различий (по t-критерию Стьюдента, $p \leq 0,05$) подтверждает выявленные закономерности. В 2020/2021 гг. в слое 0–20 см разность между вариантом ХСЗ (11.19) и контролем (6.71) составила 4.48 мг при $НСР_{05}$ = 0.18 мг (t-фактическое = 17.6 > t-табличного = 2.26; $p < 0.001$). В засушливом 2021/2022 гг. разность между вариантом ГП+ХСЗ (8.73) и вариантом ХСЗ (8.22) составила 0.51 мг при $НСР_{05}$ = 0.20 мг (t-фактическое = 2.55 > 2.26; $p < 0.05$). В 2022/2023 гг. разность между контролем (5.58) и вариантом ХСЗ (7.28) составила 1.70 мг при $НСР_{05}$ = 0.14 мг (t-фактическое = 12.1; $p < 0.001$). Это доказывает, что изменения уреазной активности под влиянием пестицидов и их смеси с гуматами статистически значимы.

Сопоставление динамики минерального азота и активности уреазы позволяет выявить функциональный механизм саморегуляции азотного режима чернозёма обыкновенного карбонатного. Для оценки степени сопряжённости этих показателей был проведён корреляционный анализ Пирсона (табл. 2). Установлено, что в целом по всем вариантам опыта статистически достоверная связь между содержанием азота и активностью уреазы в пахотном слое отсутствует ($r = +0.09$; $p > 0.05$). Однако на контрольном варианте (без обработок) в слое 0–20 см выявлена умеренная положительная корреляция ($r = +0.58$; $p < 0.05$), что указывает на прямую зависимость ферментативной активности от уровня доступного азотного субстрата в естественных условиях.

В подпахотном слое (20–40 см) корреляционная связь слабая и недостоверная (r = +0.31; p > 0.05). Выявленная на контроле обратная зависимость объясняет функциональный механизм саморегуляции, который наиболее ярко проявляется в динамике азота и фермента.

Таблица 2 — Коэффициенты корреляции (r) между содержанием минерального азота и активностью уреазы (2020–2023 гг.)

Слой почвы	Выборка	Коэффициент корреляции (r)	Уровень значимости (p)	Характер связи
0–20 см	Все варианты	+0.09	> 0.05	Очень слабая, недостоверная
0–20 см	Контроль	+0.58	< 0.05	Средняя, достоверная
20–40 см	Все варианты	+0.08	> 0.05	Очень слабая, недостоверная
20–40 см	Контроль	+0.31	> 0.05	Слабая, недостоверная

Так, внесение весенней подкормки создает избыток доступного минерального азота, что подтверждается результатами отбора 2 в течение всего периода наблюдения (35.73-50.29 мг/кг). Высокая концентрация минеральных форм азота (сумма NH_4^+ и NO_3^-) в почвенном растворе сдерживает микробиологический синтез уреазы по принципу обратной связи, что особенно ярко демонстрируется на отборе 2 2020/2021 гг. В результате активность уреазы удерживается на умеренном уровне (6.18-10.17 мг NH_3/10 г почвы/24 ч). По мере интенсивного потребления азота растениями озимой пшеницы и его вымывания в июне–июле (отборы 3 и 4) содержание суммарного азота падает в 4–10 раз (до 2.09-14.63 мг/кг). Возникающий дефицит легкодоступных форм активирует ферментативный пул: синтез уреазы возрастает (до 12.33-15.97 мг NH_3/10 г почвы/24 ч), обеспечивая мобилизацию органического азота почвы.

Использование гуминового препарата в баковой смеси с пестицидами оптимизирует данную систему: ГП предотвращает потери минерального азота от вымывания в стрессовые периоды (удерживая на +17-30 % больше минеральных азотных соединений) и стимулирует уреазную активность во второй половине вегетации (до +77.5 %), обеспечивая высокую биогенность почвы.

Полученные результаты согласуются с литературными данными (Наими и др., 2021; Матюгин, Безуглова, 2023), показавших, что гуминовые препараты стимулируют уреазную активность, особенно в стрессовых условиях.

Обсуждение.

Динамика минерального азота и уреазной активности в чернозёме обыкновенном карбонатном определяется комплексом факторов: внесением удобрений, гидротермическими условиями, обработкой пестицидами и гуминовым препаратом. Совместное применение ГП и ХСЗ позволяет нивелировать негативное влияние пестицидов на ферментативный пул почвы и оптимизировать азотное питание озимой пшеницы. Полученные закономерности могут быть использованы при разработке адаптивных агротехнологий в условиях недостаточного и нестабильного увлажнения.

Заключение

1. Внесение минерального удобрения под основную обработку (16:16:16) и весенняя подкормка аммиачной селитрой (20 кг д.в./га) обеспечивают кратковременное повышение содержания минерального азота в чернозёме обыкновенном карбонатном до градации «средняя» (30–50 мг/кг) через две недели после подкормки. В дальнейшем содержание азота снижается: в 2020/2021 и 2021/2022 гг. — до 8.87–14.63 мг/кг к уборке; в аномально влажном 2022/2023 г. — до экстремального минимума 2.09–3.51 мг/кг в июне, с частичным восстановлением к уборке до 4.4–5.7 мг/кг. Это обусловлено потреблением элемента растениями и миграцией нитратов по профилю.

2. Активность уреазы в пахотном слое чернозёма обыкновенного карбонатного варьирует в диапазоне 3.74-11.19 мг NH_3/10 г почвы/24 ч и оценивается по шкале Гапонюк-Малахова преимущественно как слабая с периодическим переходом в разряд средней при значениях выше 10 мг NH_3/10 г почвы/24 ч. В подпахотном слое активность выше - 4.54-15.97 мг NH_3/10 г почвы/24 ч, что связано с меньшей антропогенной нагрузкой и более стабильными гидротермическими условиями.

3. Влияние баковой смеси (ГП + ХСЗ) на уреазную активность зависит от условий увлажнения. В благоприятных условиях (2020/2021 гг.) она предотвращает стрессовый всплеск активности, в отборе 3 (июнь) в слое 0–20 см активность уреазы на варианте ГП + ХСЗ составила 7.54 мг NH_3/10 г почвы/24 ч, на варианте ХСЗ — 11.19 мг, на контроле — 6.71. В засушливых условиях (2021/2022 гг.) баковая смесь стимулирует активность уреазы на 6.2 % относительно чистых ХСЗ (8.73 против 8.22 мг). В аномально влажном 2022/2023 гг. активность на варианте ГП + ХСЗ к уборке составила 5.93 мг

NH_3/10 г почвы/24 ч, что ниже, чем на варианте ХСЗ (7.28), но выше контроля (5.58).

4. Гидротермические условия являются определяющим фактором пространственно-временной динамики азота и уреазной активности. В подпахотном слое (20–40 см) активность уреазы во второй половине вегетации возрастает к уборке: в 2020/2021 гг. — до 15.97 мг NH_3/10 г почвы/24 ч (вариант ХСЗ), в засушливом 2021/2022 гг. — до 14.38 мг (вариант ГП). В аномально влажном 2022/2023 гг. наблюдается интенсивное вымывание азота и снижение его содержания в пахотном слое до 4.4–5.7 мг/кг к уборке.

5. Совместное применение гуминового препарата и химических средств защиты растений может быть рекомендовано как приём, оптимизирующий азотное питание озимой пшеницы и поддерживающий биологическую активность чернозёма обыкновенного карбонатного в условиях недостаточного увлажнения (2021/2022 гг.). В аномально влажные годы (2022/2023 гг.) преимущество баковой смеси по уреазной активности относительно чистых ХСЗ не подтверждено, что требует дифференцированного подхода при разработке агротехнологий.

Благодарности и финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ ФРАНЦ (тема № FNFZ-2022-0001).

Список источников

1. Безуглова О. С. Гумусное состояние почв Юга России. Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. 228 с.

2. Гамзиков Г. П. Почвенная диагностика азотного питания растений и применения азотных удобрений в севооборотах // Плодородие. 2018. № 1(100). С. 8-14.

3. Гапонюк Э. И., Малахов С. В. Комплексная система показателей экологического мониторинга почв // Миграция загрязненных веществ в почвах и сопредельных средах. Тр. 4-го Всесоюзного совещания. - Л.: Гидрометеоиздат, 1985. С. 3-10.

4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки) – 5-е изд., доп. и перераб. // М.: Издательство Альянс, 2015. 351 с.

5. Завалин А. А. Биологический и минеральный азот в земледелии России. М.: Всероссийский НИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2022. 256 с.

6. Заварзина А. Г., Данченко Н. Н., Демин В. В. и др. Гуминовые вещества – гипотезы и реальность // Почвоведение. 2021. № 12. С. 1449-1480. – https://doi.org/10.31857/S0032180X21120169.

7. Ивашененко И. Н., Багринцева В. Н. Оценка эффективности некорневых подкормок азотсодержащими удобрениями на кукурузе // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2021. № 3. С. 40-54. – https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-3-40-54.

8. Клименко А. И., Безуглова О. С. и др. Почвы Ростовской области: плодородие, его деградация и восстановление в условиях аридизации климата / А. И. Клименко, О. С. Безуглова, А. В. Гринько, И. Н. Ильинская, М. А. Фоменко, Э. А. Гаевая, В. А. Лыхман, Е. А. Полиенко, О. И. Наими, А. В. Горовцов, Т. А. Олейникова, И. В. Батищев – ФГБНУ ФРАНЦ, "Полиграф-Сервис" (ИП Попов К.Р.), 2024. 232 с.

9. Клименко А. И., Гринько А. В., Грабовец А. И. и др. Зональные системы земледелия Ростовской области на 2022–2026 годы. Ростов н/Д.: ФГБНУ ФРАНЦ, 2022. С. 377–446.

10. Козунь Ю. С., Даденко Е. В. и др. Сезонная динамика показателей биологической активности чернозема обыкновенного пашни и залежи / Ю. С. Козунь, Е. В. Даденко, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников // Почвоведение. 2026. № 6. С. 1120-1139. – https://doi.org/10.7868/S3034561826060106. – EDN ZLOPXN.

11. Купревич В. Ф. Биологическая активность почвы и методы её определения // Доклады АН СССР. 1951. Т. 79, № 5. С. 863–866.

12. Лыхман В. А., Безуглова О. С., Полиенко Е. А. и др. Влияние совместного применения пестицидов и гуминовых препаратов на плодородие и структурные свойства чернозёмных почв // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. Т. 13, № 3. С. 97–107. https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.3.97

13. Матюгин В. А., Безуглова О. С. Влияние гуминовых препаратов на уреазную активность и азотное питание в черноземе обыкновенном карбонатном под озимой пшеницей // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2023. № 3. С. 106–116. https://doi.org/10.18522/1026-2237-2023-3-106-116

14. Метеорологические данные ФГБНУ ФРАНЦ за 2022-2023 с.-х. г. / Гуленок Р. А., Парамонов А.В. п. Рассвет: ФГБНУ ФРАНЦ, 2023. 16 с.

15. Минеев В. Г. Агрохимия. М.: Изд-во МГУ, 2004. 720 с.

16. 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.

17. Наими О. И. О методе определения активности уреазы в почве // Высокие технологии и инновации в науке: сб. избранных статей Междунар. науч. конф. 2019. С. 17–20.

18. Наими О. И. Воздействие пестицидов и гуминового препарата на ферментативную активность чернозема / О. И. Наими, О. С. Безуглова, В. А. Лыхман и др. // Земледелие. 2021. № 5. С. 26–31. https://doi.org/10.24412/0044-3913-2021-5-26-31

19. Наими О. И. Эффективность совместного применения гуминовых препаратов со средствами защиты на зерновых культурах / О. И. Наими, М. Н. Дубинина, Е. А. Полиенко [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 5(79). С. 47-51.

20. Наими О. И., Половая Ю. П. Активность уреазы в черноземе обыкновенном под посевами подсолнечника // Основные тенденции развития АПК в современной России: материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции. В 2 т., Персиановский, 25 декабря 2024 года. Персиановский: ФГБОУ ВО "ДонГАУ", 2024. С. 13-17.

21. Пукальчик М. А. Действие гуминовых препаратов на активность почвенных ферментов в модельном опыте / М. А. Пукальчик, М. И. Панова, В. А. Терехова [и др.] // Агрохимия. 2017. № 8. С. 84-91. – https://doi.org/10.7868/S0002188117080105.

22. Семенов В. М., Когут Б. М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.

23. Сорта полевых культур: каталог / А.И. Клименко, А.В. Гринько, М.А. Фоменко, А.В. Крохмаль, Н.А. Коробова, В.П. Кадушкина // ФГБНУ ФРАНЦ. Ростов-на-Дону: ООО «Изд-во «Юг», 2026. 222 с. ISBN 978-5-6049557-0-3

24. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии / Рос. акад. наук, Уфим. науч. центр, Ин-т биологии. Москва: Наука, 2005. 251 с.

25. 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.

DYNAMICS OF MINERAL NITROGEN AND UREASE ACTIVITY IN ORDINARY CARBONATE CHERNOZEM UNDER COMPLEX FOLIAR TREATMENT OF WINTER WHEAT

Polovaya Yu. P., Lykhman V.A.*, Dubinina M.N., Matyugin V.A., Naimi O.I.

Federal Rostov Agricultural Research Centre (FRARC), Rassvet, Russia

e-mail: yulezkiy666@yandex.ru

*lykvladimir@yandex.ru

dubinina-marina@rambler.ru

vlad.matyugin@mail.ru

o.naimi@mail.ru

ORCID: 0000-0002-7202-0188

ORCID: 0000-0002-3855-0070

ORCID: 0000-0002-4305-635X

ORCID: 0009-0001-2055-5391

ORCID: 0000-0001-8742-9528

Abstract

A three-year study (2020–2023) evaluated the effect of chemical plant protection products (CPPPs) and their tank mixture with a humic preparation (HP) on urease activity and mineral nitrogen dynamics in ordinary carbonate chernozem under winter wheat. Experiments were conducted in the Aksay district of the Rostov region with four treatments: control, HP, CPPP, HP + CPPP. Samples were collected from the 0–20 and 20–40 cm layers at four dates.

Urease activity in the arable layer was 3.74–11.19 mg NH_3/10 g soil/24 h, in the sub-arable layer — 4.54–15.97 ("weak"–"moderate" by Gaponyuk-Malakhov). In second half of season, the sub-arable layer exceeded the arable layer by 25–80%.

In favorable conditions (2020/2021), CPPP caused a compensatory increase in activity to 11.19, while HP addition neutralized the stress, keeping it at 7.54 mg NH_3/10 g soil/24 h (control — 6.71). In the dry period (2021/2022), the tank mixture increased activity by 6.2% vs. CPPP (8.73 vs. 8.22). In the wet 2022/2023, HP+CPPP

Половая Ю. П., Лыхман В. А., Дубинина М. Н., Матюгин В. А., Наими О. И., Динамика минерального азота и уреазной активности в чернозёме обыкновенном карбонатном при комплексной фолиарной обработке озимой пшеницы // «Живые и биокосные системы». – 2026. – № 57; URL: https://jbks.ru/archive/issue-57/article-3; DOI: 10.18522/2308-9709-2026-57-3

activity at harvest was 5.93 mg NH_3/10 g soil/24 h vs. 7.28 (CPPP) and 5.58 (control).

The combined use of HP and CPPAs optimizes nitrogen nutrition and maintains biological activity under conditions of insufficient moisture; in anomalously wet years, the advantage of the mixture was not confirmed. Pearson correlation analysis showed that, across all treatments, there was no relationship between mineral nitrogen content and urease activity in the arable layer ($r = +0.09$; $p > 0.05$), whereas in the control, a moderate positive relationship was found in the 0–20 cm layer ($r = +0.58$; $p < 0.05$).

Keywords: ordinary calcareous chernozem; winter wheat; mineral nitrogen; urease activity; humic preparation; pesticides; tank mixture

References

1. Bezuglova O. S. Humus Status of Soils in Southern Russia. Rostov-on-Don: SKNTs VSh Publishing House, 2001. 228 p.

2. Gamzikov G. P. Soil-based diagnosis of plant nitrogen nutrition and nitrogen fertilizer application in crop rotations // Plodorodie. 2018. No. 1(100). P. 8–14.

3. Gaponyuk E. I., Malakhov S. V. Comprehensive system of indicators for soil environmental monitoring // Migration of Pollutants in Soils and Adjacent Media. Proceedings of the 4th All-Union Meeting. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985. P. 3–10.

4. Dospekhov B. A. Methodology of Field Experiments (with Fundamentals of Statistical Processing) – 5th ed., revised and expanded // Moscow: Alliance Publishing House, 2015. – 351 p.

5. Zavalin A. A. Biological and Mineral Nitrogen in Russian Agriculture. Moscow: D. N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry, 2022. 256 p.

6. Zavarzina A. G., Danchenko N. N., Demin V. V., et al. Humic substances: hypotheses and reality // Pochvovedenie. 2021. No. 12. P. 1449–1480. – https://doi.org/10.31857/S0032180X21120169.

7. Ivashenenko I. N., Bagrintseva V. N. Evaluation of the effectiveness of foliar feeding with nitrogen-containing fertilizers on maize // Izvestiya Timiryazevskoy selskokhozyaystvennoy akademii [Proceedings of the Timiryazev Agricultural

Academy]. 2021. No. 3. P. 40–54. – https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-3-40-54.

8. Klimenko A. I., Bezuglova O. S., et al. Soils of the Rostov Region: fertility, its degradation, and restoration under conditions of climate aridization / A. I. Klimenko, O. S. Bezuglova, A. V. Grinko, I. N. Ilyinskaya, M. A. Fomenko, E. A. Gaevaya, V. A. Lykhman, E. A. Polienko, O. I. Naimi, A. V. Gorovtsov, T. A. Oleynikova, I. V. Batishchev – FGBNU FRANTS, "Poligraf-Servis" (Sole Proprietor Popov K. R.), 2024. 232 p.

9. Klimenko A. I., Grinko A. V., Grabovets A. I., et al. Zonal farming systems of the Rostov Region for 2022–2026. Rostov-on-Don: FGBNU FRANTS, 2022. P. 377–446.

10. Kozun Yu. S., Dadenko E. V., et al. Seasonal dynamics of biological activity indicators in ordinary chernozem under arable and fallow land / Yu. S. Kozun, E. V. Dadenko, K. Sh. Kazeev, S. I. Kolesnikov // Pochvovedenie. 2026. No. 6. P. 1120–1139. – https://doi.org/10.7868/S3034561826060106. – EDN ZLOPXN.

11. Kuprevich V. F. Soil biological activity and methods for its determination // Doklady Akademii Nauk SSSR. 1951. Vol. 79, No. 5. P. 863–866.

12. Lykhman V. A., Bezuglova O. S., Polienko E. A., et al. Effect of the combined application of pesticides and humic preparations on the fertility and structural properties of chernozem soils // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. Vol. 13, No. 3. P. 97–107. https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.3.97

13. Matyugin V. A., Bezuglova O. S. Effect of humic preparations on urease activity and nitrogen nutrition in calcareous ordinary chernozem under winter wheat // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennye nauki. 2023. No. 3. P. 106–116. https://doi.org/10.18522/1026-2237-2023-3-106-116

14. Meteorological data of FSBI FRANTS for the 2022–2023 agricultural year / R. A. Gulenok, A. V. Paramonov. Rassvet settlement: FSBI FRANTS, 2023. 16 p.

15. Mineev V. G. Agrochemistry. Moscow: MSU Press, 2004. 720 p.

16. Monitoring of meteorological data of FSBI FRANTS / A. I. Klimenko, A. V. Paramonov, A. V. Grinko, O. A. Tseluyko, G. A. Bakhmatova, R. A. Gulenok; FSBI FRANTS. Rassvet settlement: AzovPrint Publishing House, 2022. 44 p.

17. Naimi O. I. On the method for determining urease activity in soil // High Technologies and Innovations in Science: Collection of selected articles from the International Scientific Conference. 2019. P. 17–20.

18. Naimi O. I. Effect of pesticides and a humic preparation on the enzymatic activity of chernozem / O. I. Naimi, O. S. Bezuglova, V. A. Lykhman et al. // Zemledelie. 2021. No. 5. P. 26–31. https://doi.org/10.24412/0044-3913-2021-5-26-31

19. Naimi O. I. Efficacy of the combined use of humic preparations and crop protection agents on cereal crops / O. I. Naimi, M. N. Dubinina, E. A. Polienko [et al.] // Izvestiya of Orenburg State Agrarian University. 2019. No. 5(79). P. 47-51.

20. Naimi O. I., Polovaya Yu. P. Urease activity in ordinary chernozem under sunflower crops // Main trends in the development of the agro-industrial complex in modern Russia: proceedings of the All-Russian (national) scientific and practical conference. In 2 vols., Persianovsky, December 25, 2024. Persianovsky: DonGAU, 2024. P. 13-17.

21. Pukalchik M. A. Effect of humic preparations on soil enzyme activity in a model experiment / M. A. Pukalchik, M. I. Panova, V. A. Terekhova [et al.] // Agrokhimiya. 2017. No. 8. P. 84-91. – https://doi.org/10.7868/S0002188117080105.

22. Semenov V. M., Kogut B. M. Soil organic matter. Moscow: GEOS, 2015. 233 p.

23. Field crop varieties: catalog / A. I. Klimenko, A. V. Grinko, M.A., Fomenko, A.V., Krokhmal, N.A., Korobova, N.A., Kadushkina, V.P. // FRANTS (Federal State Budgetary Scientific Institution). Rostov-on-Don: Yug Publishing House LLC, 2026. 222 p. – ISBN 978-5-6049557-0-3

24. Khaziev F. Kh. Methods of Soil Enzymology / Russian Academy of Sciences, Ufa Scientific Center, Institute of Biology. Moscow: Nauka, 2005. 251 p.

25. Yakimenko O. S. Humic preparations and the assessment of their biological activity for certification purposes / O. S. Yakimenko, V. A. Terekhova // Pochvovedenie. 2011. No. 11. P. 1334–1343.

Статья поступила в редакцию 13 августа 2026 г.
Поступила после доработки 25 августа 2026 г.
Принята к печати 22 сентября 2026 г.
Received 13, August, 2026
Revised 25, August, 2026
Accepted 22, September, 2026

Половая Ю. П., Лыхман В. А., Дубинина М. Н., Матюгин В. А., Наими О. И., Динамика минерального азота и уреазной активности в чернозёме обыкновенном карбонатном при комплексной фолиарной обработке озимой пшеницы // «Живые и биокосные системы». – 2026. – № 57; URL: https://jbks.ru/archive/issue-57/article-3; DOI: 10.18522/2308-9709-2026-57-3