

На правах рукописи



ИВАНОВ РОМАН ГЕННАДЬЕВИЧ

**ВЛИЯНИЕ БИОМОДИФИЦИРОВАННОГО КАРБАМИДА НА
ПРОДУКТИВНОСТЬ ГРЕЧИХИ ПОСЕВНОЙ
ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО
НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ РОССИИ**

Специальность:

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук

Москва – 2026

Работа выполнена на кафедре агрономической, биологической химии и радиологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Научный руководитель: **Налиухин Алексей Николаевич**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой агрономической, биологической химии и радиологии ФГБОУ ВО «Российской государственной аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева»

Официальные оппоненты: **Аканова Наталья Ивановна**, доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией органических, известковых удобрений и химической мелиорации ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

Никифоров Владимир Михайлович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии, селекции и семеноводства ФГБОУ ВО «Брянский ГАУ»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Курский федеральный аграрный научный центр»

Защита диссертации состоится 04 июня 2026 г. в 13 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета 35.2.030.05, созданного на базе ФГБОУ ВО «Российской государственной аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» по адресу: 127434, Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел.: 8 (499) 976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета: <https://www.timacad.ru>.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 35.2.030.05,
кандидат биологических наук, доцент



И.М. Митюшев

Введение

Актуальность работы. Гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum Moench.*) - важнейшая сельскохозяйственная культура, ценящаяся за пищевые и биохимические свойства. Она содержит рутин, кверцетин и другие биологически активные соединения, а также высококачественный белок и незаменимые аминокислоты (*Suzuki T. et al., 2021*). Урожайность гречихи нестабильна и зависит от климатических условий, качества почвы и агротехнических приёмов (*А.Н. Фесенко, В.И. Мазалов, О.В. Бирюкова, 2017*).

В Нечернозёмной зоне России, включая Московскую область, выращивание гречихи затруднено из-за недостаточной теплообеспеченности и переменчивости погодных условий. В таких условиях разработка методов повышения продуктивности культуры за счёт оптимизации минерального питания является весьма актуальной задачей (*З.И. Глазова, И.М. Михайлова, 2018 и др.*). Одним из перспективных направлений повышения эффективности удобрений является их биологическая модификация споровыми формами микроорганизмов на основе *Bacillus sp. Ч-13* (*А.Н. Налухин, 2023*). Благодаря им растения лучше усваивают азот и другие питательные вещества, активнее развивают корневую систему, легче адаптируются к агроклиматическим условиям.

Актуальность исследования обусловлена недостаточной изученностью особенностей минерального питания гречихи в условиях Московской области и необходимостью поиска путей повышения эффективности использования азота из удобрений.

Степень разработанности темы исследования. В последние годы возрос интерес к биоудобрениям, способным улучшить питательный режим растений, особенно к азотным. Большинство исследований посвящено изучению действия биоудобрений на следующих культурах: пшенице (*Хамова О.Ф., Шулико Н.Н., Тукмачева Е.В., 2022; Лапа В.В. и др., 2020*), ячмене (*Гамзаева Р.С., 2016; Кожемяков А.П., Проворов Н.А., Завалин А.А., 2004*), горохе (*Алешин М.А., Завалин А.А., 2023; Ситало Г.М., 2015*), кукурузе (*Ригер А.Н., 2014; и др.*), сое (*Сырмолот О.В., 2013*), люпине (*Тимова В.И., Судакова Т.Е., 2021*), рисе (*Илюшко М.В., Литвиненко В.Н., 2013*), овсе (*Налухин А.Н., 2023 и др.*), клевере луговом (*Власова О.А., 2020 и др.*). Особенности ферментативной активности почв нашли своё отражение в работах многих авторов (*Пронько В.В., и др., 2009; Нарушева Е.А., 2012; Чевердин А.Ю., Чевердин Ю.И., Турусов В.И., 2019; Herbien S.A., Neal J.L., 1990; Li Z., et al., 2019; Contersini F.J., Melo R.R., et al., 2018; Пуртова Л.Н. и др., 2022; Tabatabai M.A., 1994; Caldwell B.A., 2005., et al.*), но исследований, проведенных на дерново-подзолистых почвах в литературе недостаточно. Повышению продуктивности растений гречихи в агроклиматических условиях Московской области в большинстве своём связаны с применением регуляторов роста растений, а не минеральных удобрений (*Л. Д. Прусакова, О. С. Мишина, С. Л. Белопухов, 2013; А.В. Коротков, А.Н. Фесенко, В.В. Вакуленко, 2010*), в том

числе повышение продукции фенольных соединений гречихой (Н.В. Загоскина, В.В. Казанцева, А.Н. Фесенко, 2018; И.В. Глотова и др., 2016; Park C.H., 2017; Naveed M., et al., 2018; И.В. Горькова, 2019). Влиянию азота на различные зерновые культуры посвящены работы как отечественных (Завалин А.А., и др., 2015; Сычев В.Г., Шафран С.А., 2018, 2020 и др.), так и зарубежных авторов (Jan M.T., et al., 2009; Li. Z., et al., 2019; Altomare C., Tringovska I., 2011). Эффективность применения азотных удобрений на гречихе обозначены во многих работах (Zhao Z.B., et al., 2020; Lui C., et al., 2013; Wang C., et al., 2015; Arrington L.B., Shive J.W., 1935; Bai L., Zhang X., Liu B., et al., 2022). Анализ литературных данных показывает, что представленные исследования не отражают особенности питания гречихи биомодифицированными азотными удобрениями на дерново-подзолистых почвах в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России.

Цель исследования: изучить влияние биомодифицированного карбамида (*шт. В.с. Ч-13*) на урожайность и качество зерна гречихи посевной, а также биологические свойства дерново-слабоподзолистой глееватой легкосуглинистой почвы.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1. Оценить влияние традиционного и биомодифицированного карбамида на биологическую активность почвы (биомассу микроорганизмов, эмиссию CO₂, активность уреазы), и содержание минерального азота (N-NH₄ и N-NO₃) в почве в агроценозе гречихи;

2. Изучить влияние карбамида и его биомодификации на морфофизиологические показатели растений гречихи: содержание фотосинтетических пигментов (*ChL.a*, *ChL. b.*, *Carot.*) в листьях, и рутина в соломе гречихи исследуемых сортов;

3. Изучить влияние возрастающих доз карбамида и его биомодификации на урожайность зерна гречихи посевной и его показатели качества (сырой белок, сырой жир, массу 1000 семян, пленчатость);

4. Определить действие различных доз азотного удобрения и его биомодификации (*В.с. Ч-13*) на вынос азота, фосфора и калия (NPK) с основной и побочной продукцией, а также на удельный вынос NPK, коэффициент использования азота из удобрений.

5. Оценить экономическую эффективность применения биомодифицированного карбамида (*шт. В.с. Ч-13*) при культивировании гречихи на дерново-слабоподзолистой глееватой легкосуглинистой почве.

Объект исследования: карбамид ((NH₂)₂CO), гранулы которого инокулированы споровой формой шт. *В.с. Ч-13*.

Научная новизна. Выявлена сортоспецифичность реакции гречихи на биомодифицированные азотные удобрения. Впервые показано, что биомодификация карбамида позволяет получить дополнительную прибавку урожайности зерна сорта Диккуль при внесении N₃₀ – 3,1 ц/га, N₆₀ – 0,9 ц/га; на сорте Даша достоверную прибавку обеспечивает только доза N₆₀ – 1,9 ц/га. Доказано, что биомодификация существенно увеличивает отдачу от 1 кг азота

карбамида на сорте Дикуль при дозе N_{30} на 10,3 кг/кг (на калийном фоне). На сорте Даша применение биомодифицированного карбамида позволяет расширить диапазон оптимальных доз в интервале 30-60 кг N/га, обеспечивая окупаемость на уровне 8,2-8,3 кг/кг. Азотные удобрения повышают массу 1000 семян и его пленчатость. Установлено, что применение биомодифицированного карбамида обеспечивает максимальный прирост биомассы микроорганизмов в почве, что может стать основой для новых агротехнологий в умеренно-континентальном климате. Установлена связь между применением биомодифицированного карбамида и улучшением питательного режима дерново-подзолистых почв: выявлено положительное влияние на содержание нитратов (NO_3^-), аммония (NH_4^+) и активность уреазы, что ранее не было системно изучено в контексте выращивания гречихи. Выявлено, что биомодификация повышает содержание рутина в соломе до – 60-70 мг/г, в лузге - 9-12 мг/г у обоих изучаемых сортов. Получены новые данные об удельном выносе азота, фосфора и калия с 1 т зерна гречихи (с учётом побочной продукции) для изучаемых сортов, который при дозе N_{60} (на калийном фоне) составляет для сорта Дикуль – $N_{60}P_{30}K_{100}$ и сорта Даша – $N_{70}P_{30}K_{110}$.

Практическая и теоретическая значимость. Полученные экспериментальные данные вносят определенный вклад в изучение проблемы минерального питания растений гречихи различных сортов. Результаты исследования могут быть использованы для разработки приёмов выращивания гречихи в условиях Нечерноземного региона России. Для практического использования разработана технология применения биомодифицированных азотных удобрений для предпосевного внесения в почву под растения гречихи двух сортов: Дикуль и Даша. Представленные в работе данные могут служить основой для разработки новых технологий повышения плодородия почвы в условиях Нечерноземной зоны России, а также для модернизации агротехники выращивания гречихи в Центральном регионе.

Методология и методы исследований. На теоретическом уровне исследования использованы методы анализа, синтеза, моделирования, индукции и дедукции, сравнения. Работа построена индуктивно - от частного к общему. На практическом уровне проведены лабораторные и полевые исследования в соответствии с основными положениями по закладке агрохимических опытов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Применение биомодифицированного карбамида в агроценозе гречихи на дерново-слабоподзолистой глееватой легкосуглинистой почве увеличивает микробную биомассу почвенных микроорганизмов (Смб), интенсифицирует микробо-опосредованное почвенное дыхание и уреазную активность;
2. Повышение доз азота под сорта Дикуль и Даша увеличивает синтез фотосинтетических пигментов в листьях растений гречихи, сохраняя при этом стабильное соотношение между *Chl.a/Chl.б.* в диапазоне 2 – 2,5/1, увеличивая

при этом содержание каротиноидов (*Carot.*), что, по нашему мнению, обеспечивает защиту фотосистем от окислительного стресса;

3. Биологическая модификация гранул карбамида культурой *V.s.* Ч-13 позволяет получить дополнительную прибавку урожайности зерна гречихи: по сорту Дикуль: $N_{30m} - 3,1$ ц/га, $N_{60m} - 0,9$ ц/га, по сорту Даша $N_{60m} - 1,9$ ц/га, обеспечивая окупаемость 1 кг азота 21,3-11,9 кг и 8,2 кг зерна соответственно;

4. Внесение карбамида, модифицированного *V.s.* Ч-13, увеличивает содержание и хозяйственный вынос NPK с основной и побочной продукцией гречихи, а также удельный вынос на 1 т зерна с учётом побочной продукции, который в среднем составляет для сорта Дикуль – $N_{60}P_{30}K_{100}$ и сорта Даша – $N_{70}P_{30}K_{110}$.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные результаты и выводы выполненной диссертационной работы докладывались на Всероссийской научной конференции «Экология и природопользование: тенденции, модели, прогнозы, прикладные аспекты» (г. Рязань, 27 марта 2024 г.), IX Всероссийской (национальной) научной конференции с международным участием «Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий» (г. Новосибирск, 20 декабря 2024 г.), Международной научно-практической конференции в рамках мероприятий «Десятилетия науки и технологий в Российской Федерации», 300-летия Российской академии наук (г. Краснодар, 24-25 апреля 2024 г.), 58-ой Всероссийской конференции с международным участием молодых ученых, специалистов-агрохимиков и агроэкологов (г. Москва, 29 ноября 2024 г.), Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Научное обеспечение инновационного развития сельского хозяйства к 110-летию со дня рождения видного государственного и общественного деятеля, первого директора Дагестанского НИИСХ Кисриева Фрида Гасановича (25-26 апреля 2024 г., г. Махачкала), VII Международной научно-практической конференции «Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства» (г. Макеевка, 18 апреля 2024 г.), Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки РФ, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Смирнова Б.А. «Актуальные проблемы и перспективы развития современного земледелия» (3 апреля 2025 г. г. Ярославль), XV Международной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения» (25 июня 2025 г. г. Ульяновск). Степень достоверности результатов исследования подтверждена многолетними экспериментами (2023–2025 гг.) с применением статистических методов (двухфакторный дисперсионный анализ, корреляционно-регрессионный анализ) и классических агрохимических методик, а также ГОСТам. Математическая обработка данных проведена в Excel 2021.

Личный вклад соискателя. Автор самостоятельно выполнил полевые, лабораторные опыты, химический анализ почвы и растений, провел

статистическую обработку полученных данных, подготовил материалы для выступления на конференциях, написание статей и итоговое оформление диссертации.

Публикации результатов исследований. По теме работы опубликовано 15 научных статей, в том числе 3 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 – в Международных базах данных, получено 2 свидетельства о государственной регистрации базы данных.

Структура и объём диссертации. Диссертация изложена на 182 страницах, состоит из введения трёх глав основной части: обзора литературы, характеристики объектов и методов исследования, результатов исследования, заключения, предложений производству, списка литературы, включающего 332 источника, в том числе 210 на иностранном языке, 5 приложений. Работа включает 12 рисунков и 26 таблиц.

Благодарности. Соискатель выражает благодарность научному руководителю д.с.-х.н., заведующему кафедрой агрономической, биологической химии и радиологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева Налиухину А.Н. за руководство работой, д.с.-х.н., профессору Белопухову С.Л., к.с.-х.н., доценту Мишиной О.С. за идеи, наставление и помощь, президенту ГГТУ к.ф.н., доценту Юсуповой Н.Г., за вклад в подготовку исследования, д. фарм. наук, профессору Ханиной М.А., за возможность исследования рутина. Особую благодарность адресую супруге Кузнецовой Д.Д. за стойкость, понимание и моральную поддержку.

Отдельные слова благодарности – моим родителям за поддержку на всех этапах работы над диссертацией.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе представлен обзор российских и зарубежных публикаций, посвящённых применению биомодифицированных удобрений в сельском хозяйстве для различных культур. В литературе изучены данные об эффективности биомодифицированных удобрений, что позволяет оценить их влияние на урожайность, качество продукции и состояние почвы, а также сравнить с традиционными подходами. Уделено особое внимание народнохозяйственному значению гречихи.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследования были выбраны сорта гречихи: Даша (2015 г.) и Дикуль (2001 г.), выведенные ФГБНУ ФНЦ ЗБК (Орловская обл., Орловский р-н., пос. Стрелецкий), а также микробиологическое удобрение с культурой *V.s. Ч-13* (номер государственной регистрации 174-19-1434-1), разработанное компанией ООО «Бисолби Плюс» (г. Санкт-Петербург).

Полевой мелкоделяночный опыт заложен в 2023-2025 гг. в Московской области. Опытный участок расположен на территории ГОУ ВО МО

«Государственный гуманитарно-технологический университет» (55.796980, 39.012410). Почва опытного участка классифицируется как дерново-подзолистая глееватая легкосуглинистая. Общая площадь посевов 0,01 га, учетная площадь делянки 1 м². Повторность опытов четырехкратная. Основные агрохимические свойства почвы опытного участка (среднее 2023 – 2025 гг.): рН_(сол.) = 6,83 (нейтральные), Нг = 2,86 мг*экв /100 г почвы, S = 7,66 мг*экв /100 г почвы, содержание N-NO₃ (0-20 см) = 5,18 мг/кг почвы, N-NH₄ = 3,03 мг/кг почвы, подвижного P₂O₅ (по Кирсанову) = 181 мг/кг почвы (V класс обеспеченности), K₂O (по Кирсанову) = 134 мг/кг почвы (IV класс – повышенное содержание), N_{общ.} = 0,07%, гумус (по Тюрину в модификации Симакова) – 2,63%, N_{ш.г.} (по Тюрину и Кононовой) = 32,5 мг/кг (II класс – низкое).

Основную обработку почвы проводили с использованием трактора МТЗ 82.1-23/12 в комплекте с оборотным плугом Unia IBIS L 3+1 с последующей культивацией с помощью культиватора КНС-4,0 для сплошной обработки. Весной для дополнительной обработки почвы использовали минитрактор SHIFENG SF-240 с фрезой ФС-1,4.

Предшественником в годы исследования был занятый пар. Перед посевом, который проводился в третьей декаде мая, семена проверяли на жизнеспособность по ГОСТ 12039-82 и всхожесть по ГОСТ 12038-84. Семена высевали вручную рядовым способом на глубину 2–3 см. Посев осуществляли при температуре почвы 15–18 °С. Расстояние между рядками составляло 7 см. Норма высева - 175 семян на 1 м², что соответствует 3 миллионам всхожих семян на гектар. Всего – 64 делянки.

В качестве контроля выступал вариант без внесения удобрений, а фоном служил вариант с внесением сульфата калия в дозе 60 кг/га K₂O. Ввиду высокой обеспеченности почвы P₂O₅ и способности гречихи усваивать труднорастворимые фосфаты, фосфорные удобрения в качестве фоновых не применяли. На калийном фоне изучали два фактора: А (доза азота – 30, 60, 90 кг/га) и В (биомодификация карбамида).

Таким образом, схема опыта включала 8 вариантов: 1. Контроль (без удобрений); 2. Фон (K_{с60}); 3. Фон + N₃₀; 4. Фон + N₆₀; 5. Фон + N₉₀; 6. Фон + N_{м30}; 7. Фон + N_{м60}; 8. Фон + N_{м90}.

Для инокуляции (обработки) гранул карбамида использовали микробиологический препарат «Экстрасол®» из расчета 0,1 мл/г карбамида. Процесс обработки проводился вручную. Полученную смесь помещали на сутки (24 часа) в условия, защищенные от света и с постоянной температурой 25 °С, для инкубации. После завершения этапа обработанный карбамид однократно вносили весной под предпосевную культивацию (фрезерование). Для определения биомассы почвенных микроорганизмов использовали методику Благодатского, Мирчинк и Паникову (1987). Для измерения актуального дыхания почвы использовался титриметрический метод, разработанный Карпачевским. Исследование уреазной активности проводилось с помощью фотоэлектроколориметрического метода по методике,

предложенной И. Н. Ромейко и С. М. Малинской в 1963 году, как описано в руководстве по определению азота (*Аринушкина, 1970*). Биомассу почвенных микроорганизмов, эмиссию CO₂, проводили в фазу всходов, ветвления и созревания растений. Уреазную активность почвы проводили в стадию всходов, бутонизацию – начала цветения, созревания растений. Содержание N-NO₃, N-NH₄ и N_{min} в стадию всходов, цветения и созревания. N-NO₃ и N-NH₄ определяли спектрофотометрическим методом.

Для измерения содержания сахаров в цветках гречихи использовался рефрактометрический метод. Для определения содержания хлорофиллов а и b, а также каротиноидов применялась система уравнений Вернона. Для определения рутина применялся спектрофотометрический метод. Для определения площади поверхности листьев применялся метод высечек (*Корнилов, 1968*). Определение фотосинтетического потенциала (ФП) посевов проводили в фазу цветения (м²/га*сут) (*Ничипорович А.А., 1961*).

Наступление фаз фиксировали методом глазомерного наблюдения по появлению 75% признаков. Учет густоты стояния растений проводили по стандартной методике. Сохранность и общую выживаемость растений гречихи рассчитывали математически.

Содержание азота, фосфора и калия (NPK) в различных частях растений проводили по общепризнанными методикам. Азот – после мокрого озоления по Кьельдалю, фосфор – спектрофотометрическим методом, калий – на пламенном фотометре. Урожайность культуры определяли сплошным методом. Учёт урожайности осуществляли вручную с приведением на стандартную 14 % влажность. Масса 1000 семян определяли в соответствии с ГОСТ 12042-80, а процент пленчатости — по ГОСТ 10843-76. После обмолота снопов проводили измерения высоты растений, длины и толщины междоузлий, количества боковых побегов и их длины.

В стадию цветения растений количество цветов и соцветий определяли методом прямого подсчёта. Перед обмолотом снопов прямым подсчётом и взвешиванием определяли число плодов на главном и боковых побегах. Содержание белка и жира в зерне гречихи определяли при помощи БИК-анализа.

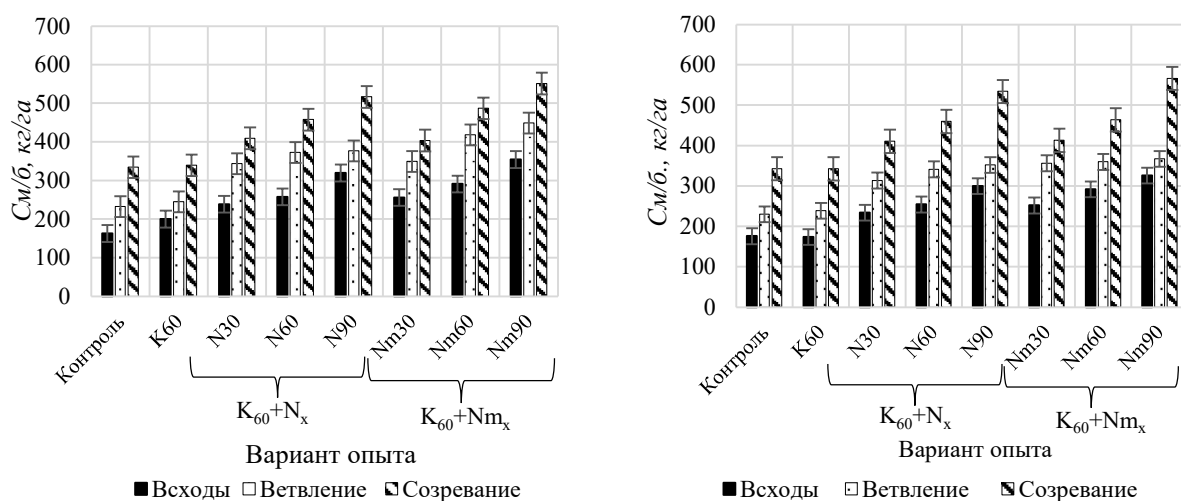
Для характеристики тепло- и влагообеспеченности территории использовали гидротермический коэффициент (ГТК) за тёплый период времени по формуле Г.Т. Селянинова, который составлял: в 2023 г. – 1,3, в 2024 г. – 1,44, что соответствовало оптимальным условиям увлажнения, а в 2025 г. – избыточным (ГТК =1,9).

Статистический анализ полученных результатов проводили методом двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями, а также корреляционным и регрессионным анализом.

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1. Влияние биомодификации карбамида на биомассу почвенных микроорганизмов, эмиссию CO₂ и уреазную активность почвы

Почвенные микроорганизмы играют ключевую роль в поддержании плодородия почвы, участвуя в круговороте питательных веществ, синтезе гумуса и защите растений от патогенов. Мочевина, обработанная культурой *B.s. Ч-13* статистически значимо ($p < 0,05$) увеличивает биомассу микроорганизмов, причем эффект от обработки усиливается с ростом дозы азота и достигает максимума в фазу созревания. С увеличением дозы биомодифицированной мочевины сильнее происходит стимуляция почвенной микробиоты, достигая максимума при внесении N_{90m}, что повышает биомассу почвенных микроорганизмов на 8-22% ($p < 0,05$) в зависимости от дозы и фазы развития растений гречихи (рис. 1).



А - Дикуль

Б - Даша

Рисунок 1. Влияние биомодификации карбамида на содержание углерода микробной биомассы (См/б) в посевах гречихи, кг/га (среднее 2023-2025 гг.)

Уреаза – фермент, продуцируемый почвенными микроорганизмами, который катализирует гидролиз мочевины до иона аммония и углекислого газа. Исследование выявило значимое влияние дозы мочевины (фактор А) и её биомодификацию на уреазную активность почвы. Увеличение дозы азота с N₃₀ до N₉₀ достоверно повышало активность уреазы по все годы и фазы развития. Взаимодействие высокой дозы мочевины N₉₀ с культурой *B.s. Ч-13* обеспечивает наибольший прирост УА. Для варианта опыта K₆₀+N_{90m} в 2025 г. активность фермента уреазы в почве при наступлении фазы созревания была в 5 раз выше, чем во время входов.

Это доказывает тот факт, что эффект от удобрений на биологические процессы достигает пика именно на поздних стадиях вегетации растений гречихи исследуемых сортов (рис. 2).

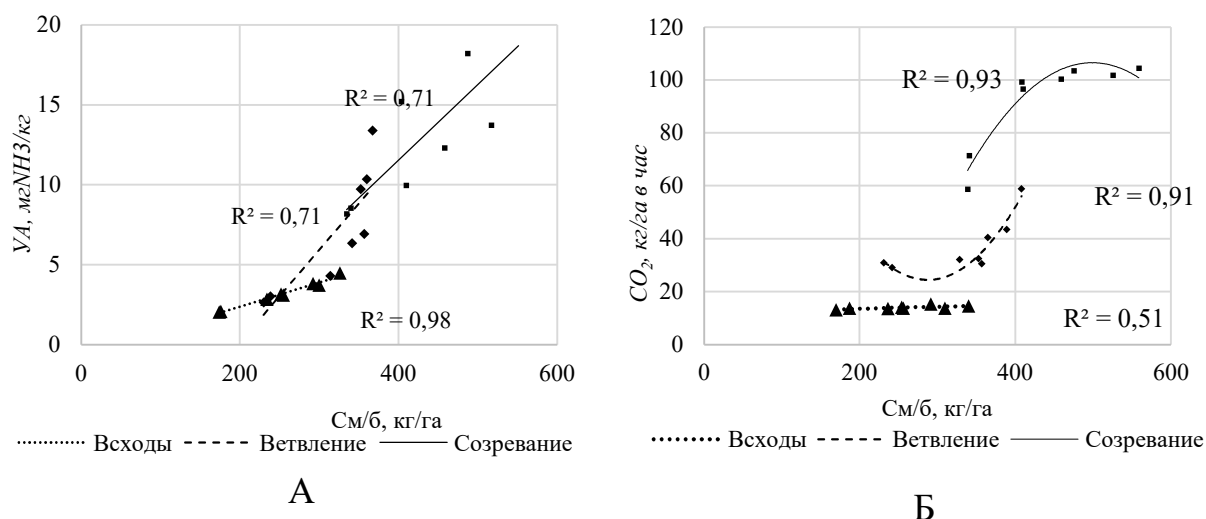


Рисунок 2. Зависимость между микробной биомассой (X) (кг/га) и УА (Y) (мгNH₃/кг) (А), а также дыханием почвы (СО₂ (кг/га)) (Y) (Б) в процессе роста и развития растений гречихи (среднее 2023-2025 по двум сортам)

В фазе всходов наблюдается сильная линейная зависимость ($R^2 = 0,98$), где уреазная активность практически полностью определяется микробной биомассой. В фазе ветвления зависимость умеренная ($R^2 = 0,71$), и на уреазную активность влияют дополнительные факторы, такие как конкуренция за азот, динамика рН почвы, температура и влажность. В фазе созревания зависимость также умеренная ($R^2 = 0,71$), и уреазная активность зависит не только от биомассы, но и от накопления растительных остатков и активности корневых экссудатов. Варианты опыта с мочевиной, обработанной *B.s. Ч-13* демонстрируют значительное увеличение эмиссии СО₂, что связано с активацией почвенной микробиотой (увеличение биомассы почвенных микроорганизмов), а также увеличением количества растительных остатков: высокая продуктивность растений приводит к накоплению корневых и надземных остатков, которые при разложении также усиливают выделение СО₂. Различия между вариантами с разными дозами мочевины (фактор А) и контролем статистически значимы на всех вариантах развития гречихи исследуемых сортов (всходы, ветвление, созревание).

3.2. Содержание нитратного (NO₃⁻) и аммонийного (NH₄⁺) азота под посевами гречихи при применении традиционной мочевины и мочевины, обработанной культурой *B.s. Ч-13*

Повышение дозы мочевины с 30 до 90 кг/га приводит к значительному росту содержания N-NO₃ в почве на всех стадиях развития растений гречихи. Максимальное количество N-NO₃ в почве наблюдается на стадии цветения, а минимальные значения на стадии созревания по двум исследуемым сортам. Обработка мочевины *B.s. Ч-13* снижает накопление N-NO₃ в почве. При этом к созреванию варианты с применением *B.s. Ч-13* демонстрируют экологическое преимущество, накапливая меньшее количество нитратов.

Анализ данных показывает, что содержание $N-NH_4$ в почве значительно зависит от дозы мочевины и системы удобрения. Во всех вариантах опыта наблюдается снижение $N-NH_4$ к созреванию, что связано с активным поглощением азота растениями в период вегетации.

Мочевина, обработанная *B.s. Ч-13*, повышает доступность $N-NH_4$ в фазу цветения, но в фазе созревания различия между биомодифицированными и традиционными формами незначительные. Сравнение применения традиционной мочевины и мочевины, обработанной культурой *B.s. Ч-13* показывает, что последняя усиливает аммонификацию на 6-10% и эффективнее подавляет нитрификацию на 30-50%. (рис. 3).

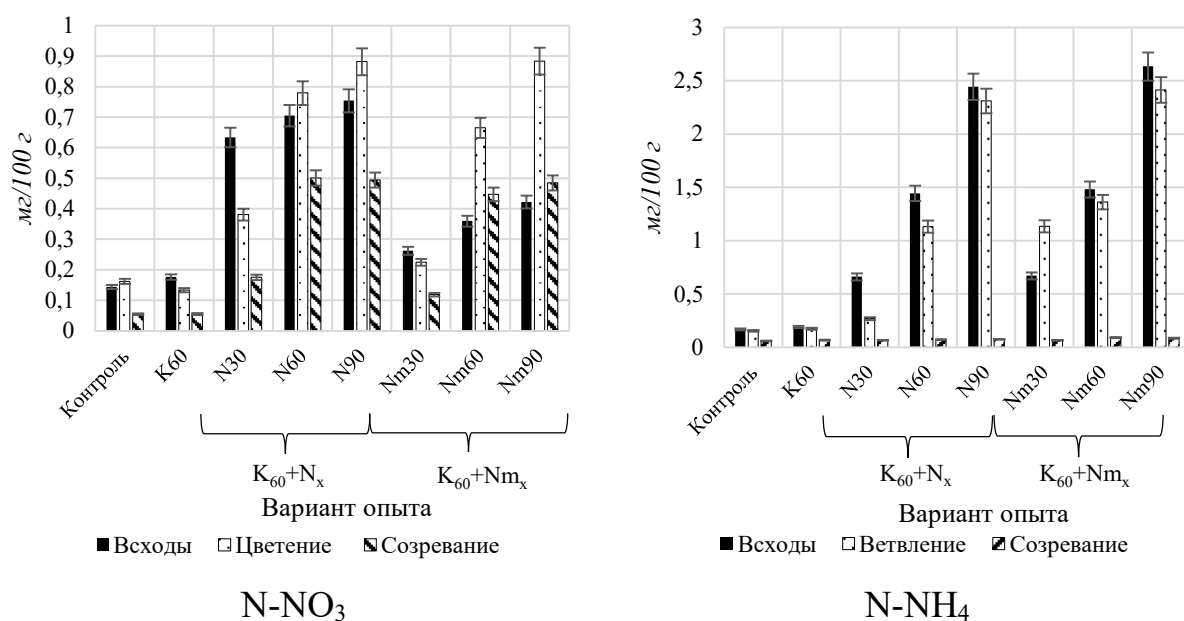


Рисунок 3. Содержание $N-NO_3$ - и $N-NH_4$ в почве под посевами гречихи, мг/100 г (среднее по двум сортам за три года)

3.3. Влияние биомодификации карбамида на морфологические, физиологические показатели и продуктивность растений гречихи

Увеличение дозы мочевины приводит к росту площади листьев растений гречихи сортов Дикуль и Даша. Фотосинтетический потенциал (ФП) демонстрирует четкую зависимость от дозы азота. Биомодифицированные удобрения также показывают определенные преимущества перед традиционными. В 2024 г. вариант опыта $K_{60}+N_{60m}$ обеспечивает ФП 8001,0 тыс. $m^2/га^*$ сут, превысив результат стандартного на 56%. Оба сорта демонстрируют различную реакцию на применение удобрений. Сорт Дикуль показывает максимальные значения площади листьев и ФП при высоких дозах мочевины с применением *B.s. Ч-13*. Сорт Даша, в свою очередь, демонстрирует более высокую отзывчивость на варианте опыта $K_{60}+N_{60m}$ (рис.5). Различия между вариантами по фактору А (дозы) значимы для обоих сортов. Мочевина,

как источник азота, играет ключевую роль в формировании хлорофилла, поскольку азот входит в состав его молекулы ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$).

В 2024 г. у обоих сортов наблюдалось снижение суммы хлорофиллов на 5-15%, но содержание каротиноидов оставалось стабильным или увеличивалось, например, у гречихи сорта Дикуль на варианте опыта $K_{60}+N_{90m}$ содержание каротиноидов 0,73 мг/г в 2024 г. и 0,79 мг/г в 2023 г. Соответственно, растения перераспределяют ресурсы в пользу синтеза каротиноидов для защиты фотосистем от окислительного стресса, вызванного большой дозой азота.

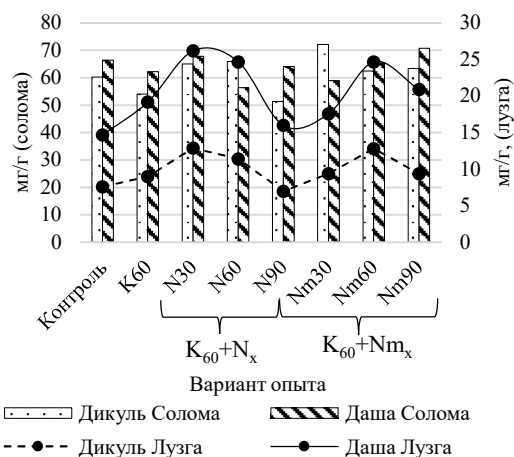
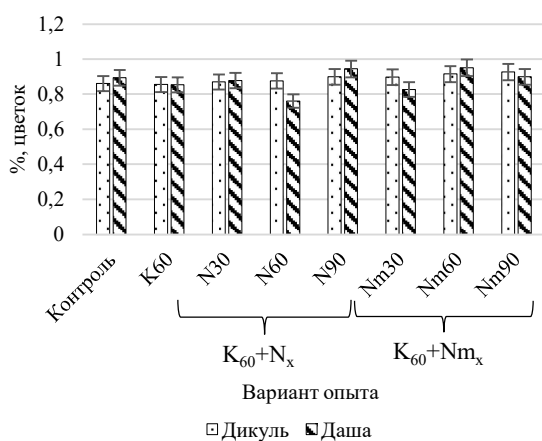
Варианты опыта с применением мочевины, обработанной культурой *V.s. Ч-13*, демонстрируют на 20-30% меньшее падение суммы хлорофиллов по сравнению с традиционной мочевиной. Применение биологизированного карбамида обеспечивает максимальное повышение фотосинтетического потенциала гречихи за счет синергии роста хлорофиллов (*Chl.a* + *Chl.b*) и каротиноидов (табл.1).

Таблица 1. Влияние биомодификации мочевины на содержание пигментов фотосинтеза в листьях гречихи, мг/г сырой массы (среднее 2023-2025 гг.)

Вариант	Chl.a		Chl.b		ΣChl.a+Chl.b		Carot	
	Дикуль	Даша	Дикуль	Даша	Дикуль	Даша	Дикуль	Даша
Контроль	2,93	2,67	1,20	0,90	4,13	3,57	0,52	0,51
K_{60}	3,40	3,33	2,20	1,37	5,60	4,70	0,52	0,52
$K_{60}+N_{30}$	4,13	4,10	2,03	1,77	6,17	5,87	0,57	0,54
$K_{60}+N_{60}$	5,03	5,33	1,80	1,73	6,83	7,07	0,59	0,68
$K_{60}+N_{90}$	6,30	6,13	2,90	2,73	9,20	8,87	0,71	0,67
$K_{60}+N_{30m}$	4,67	4,63	2,37	1,80	7,03	6,43	0,61	0,63
$K_{60}+N_{60m}$	7,13	6,73	2,83	1,73	9,97	8,47	0,75	0,77
$K_{60}+N_{90m}$	7,53	7,40	3,73	3,03	11,27	10,43	0,77	0,78

Наибольшее количество цветов у гречихи сорта Дикуль зафиксировано в 2024–2025 гг. при использовании биомодифицированной мочевины (N_{90m}). Для Даши пик продуктивности (379,5 млн. шт./га) достигнут в 2023 г. на традиционной мочевины (N_{90}), но к 2025 г. наблюдается спад (-13%), что ограничивает целесообразность применения высоких доз азота для этого сорта.

Для сорта гречихи Даша применение мочевины, обработанной культурой *V.s. Ч-13*, в дозе 60 кг/га обеспечивало увеличение содержания растворимых сахаров на 6,5% по сравнению с контролем (0,893% в 2024 г.), для сорта Дикуль на варианте опыта $K_{60}+N_{90m}$ обнаружено увеличение содержания сахаров на 2,3% относительно контроля (0,91% в 2024 г.). Применение *V.s. Ч-13* обеспечивает сорт-специфичную оптимизацию зелёной биомассы гречихи за счет баланса между азотным питанием и устойчивостью к метаболическому стрессу (рис. 4).



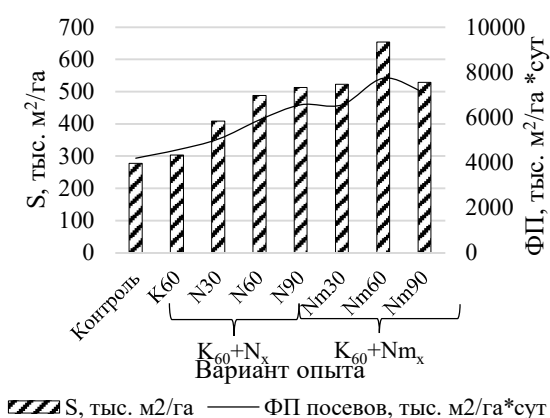
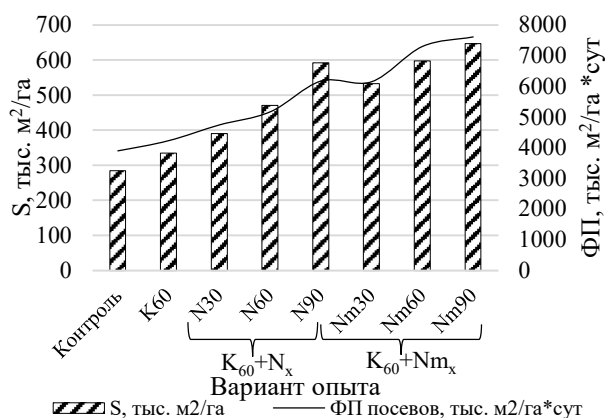
А – содержание растворимых сахаров, % цветков

Б – накопление рутина, мг/г

Рисунок 4. Влияние биомодифицированного карбамида на накопление растворимых сахаров и рутина (среднее 2023-2025 гг.)

Избыток N подавляет гормон цветения. Повышение содержания растворимых сахаров создает биохимические предпосылки для перераспределения ресурсов растения в сторону синтеза вторичных метаболитов. Рутин, как доминирующий флавоноид гречихи, накапливается в ответ на стрессовые сигналы, опосредованные изменения в пуле сахаров, которые выступают не только субстратами, но и сигнальными молекулами.

По содержанию рутина в соломе гречихи сорта Диккуль превосходит сорт Даша на вариантах с применением мочевины, обработанной культурой *V.s. Ч-13*. Опыты подтверждают, что биомодифицированные удобрения стабилизируют синтез рутина, но их эффективность зависит от сорта. Высокие дозы азота (N_{90}) не рекомендуются из-за угнетения синтеза рутина. Для гречихи сорта Диккуль предпочтительны биомодифицированные удобрения (N_{60m}) или умеренные дозы азота (N_{30}) в сочетании с K_{60} . Для гречихи сорта Даша оптимальны традиционные азотные подкормки (N_{30} - N_{60}).



А - Диккуль

Б - Даша

Рисунок 5. Влияние традиционной мочевины и мочевины, обработанной культурой *V.s. Ч-13*, на площадь листьев и ФП посевов (среднее 2023-2025 гг.)

3.4. Урожайность и химический состав зерна и соломы гречихи при разном уровне минерального питания

Урожайность гречихи во многом определялась сортовыми особенностями. В контрольном и фоновом вариантах урожайность зерна гречихи сорта Дикуль составляла 9,0-10,5 ц/га, а Даша – 8,2-9,0 ц/га. Внесение азотного удобрения в среднем за 3 года в дозах 30-60 кг/га обеспечивало повышение урожайности на 2,3-5,2 ц/га, а при его биомодификации – на 2,5-6,1 ц/га по сравнению с калийным фоном. Дальнейшее увеличение доз азота до 90 кг/га приводило к уменьшению прибавки ввиду усиленного развития вегетативной массы гречихи в ущерб цветению и созреванию. Наиболее отзывчивым на внесение азотного удобрения был сорт Дикуль. В среднем за 3 года, наибольшую урожайность зерна гречихи отмечали при внесении карбамида, модифицированного штаммом *V.s. Ч-13* в дозе 60 кг N/га – 16,6 ц/га. Сорт Даша обеспечивал несколько меньшую урожайность – 13,6 ц/га при внесении эквивалентных доз азота. Биомодификация гранул карбамида позволяет получить дополнительную прибавку урожайности: по сорту Дикуль: N_{30m} – 3,1 ц/га, N_{60m} – 0,9 ц/га, по сорту Даша N_{60m} – 1,9 ц/га, обеспечивая окупаемость 1 кг азота 21,3-11,9 кг и 8,2 кг зерна соответственно (табл. 2).

Таблица 2. Влияние биомодификации мочевины на урожайность зерна гречихи, ц/га

Вариант	Дикуль			Даша			Дикуль	Даша
	2023	2024	2025	2023	2024	2025	Среднее 2023-2025	Среднее 2023-2025
Контроль	10,3	9,0	9,3	9,3	8,6	8,2	9,5	8,7
K_{60}	10,5	10,5	10,4	9,0	8,7	8,5	10,5	8,7
$K_{60}+N_{30}$	12,7	13,0	12,8	11,8	11,9	11,7	12,8	11,8
$K_{60}+N_{60}$	15,7	15,9	15,5	12,0	11,7	11,5	15,7	11,7
$K_{60}+N_{90}$	13,7	10,7	10,5	12,5	10,0	9,8	11,6	10,8
$K_{60}+N_{30m}$	13,1	17,5	17,0	11,0	11,4	11,2	15,9	11,2
$K_{60}+N_{60m}$	15,9	17,1	16,8	13,7	13,7	13,5	16,6	13,6
$K_{60}+N_{90m}$	10,7	9,7	9,5	12,9	9,5	9,3	10,0	10,6
<i>НСР05^{AB}</i>	1,6	1,7	1,8	1,0	0,9	0,9	-	-
<i>НСР05^A</i>	3,2	3,3	3,4	2,0	2,0	2,1	-	-
<i>НСР05^B</i>	2,7	2,9	3,0	5,0	5,0	5,0	-	-

Для сорта гречихи Дикуль оптимальное соотношение зерна к соломе достигается при применении мочевины, обработанной культурой *V.s. Ч-13*, в дозе 30 кг/га (1:3,4 в 2024 г.), что обеспечивает минимальное соотношение соломы к зерну. У сорта гречихи Даша наилучший баланс между зерном и соломой наблюдается при применении $K_{60}+N_{30m}$ (1:4,6 в 2023 г.). Критические значения соотношения наблюдаются на варианте опыта $K_{60}+N_{90m}$: у гречихи сорта Даша в 2024 г. соотношение достигает 1:9,1, что указывает на сильный дисбаланс из-за избытка азота. У гречихи сорта Дикуль на таком же варианте

опыта соотношение составляет 1:8,7, что также свидетельствует о дисбалансе, но менее выраженном.

Увеличение дозы азота с N₃₀ до N₉₀ приводит к тенденции увеличения содержания азота в зерне гречихи. Биомодификация (*B.s. Ч-13*) повышает усвоение азота, но существенно не влияет на содержание фосфора и калия как в зерне, так и в соломе (табл. 3). При применении карбамида на калийном фоне содержание азота в зерне гречихи сорта Дикуль составляло 1,72-1,79%, при биомодификации – 1,75-1,84%. Содержание фосфора и калия практически не изменялось по вариантам опыта и было 0,75-0,77% и 0,74-0,75% соответственно. У сорта Даша содержание азота в зерне колебалось в пределах 1,68-1,81%, фосфора – 0,73-0,78%, калия – 0,74-0,76%. Наиболее стабильным содержанием в соломе гречихи обеих сортов было отмечено для фосфора – 0,41-0,46% P₂O₅. Внесение калийного удобрения способствовало увеличению K₂O в соломе обоих сортов почти вдвое: с 0,82% в контроле до 1,7-1,9% на калийном фоне. Внесение азота приводило к некоторому увеличению его накопления в соломе гречихи лишь при максимальных дозах на уровне тенденции.

Таблица 3. Влияние биомодификации мочевины на содержание NPK в основной и побочной продукции гречихи, % сухого вещества (среднее 2023-2025 гг.)

Вариант	Зерно/Солома*					
	Дикуль			Даша		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	1,57/0,84	0,71/0,41	0,74/0,82	1,50/0,82	0,74/0,43	0,74/0,94
K ₆₀	1,63/0,86	0,73/0,43	0,75/1,86	1,57/0,84	0,73/0,45	0,75/1,85
K ₆₀ +N ₃₀	1,72/0,83	0,75/0,45	0,74/1,69	1,68/0,84	0,74/0,45	0,74/1,70
K ₆₀ +N ₆₀	1,73/0,83	0,76/0,45	0,75/1,96	1,78/0,86	0,78/0,46	0,75/1,88
K ₆₀ +N ₉₀	1,79/0,83	0,77/0,53	0,75/1,89	1,75/0,87	0,77/0,51	0,76/1,84
K ₆₀ +N _{30m}	1,75/0,85	0,75/0,43	0,75/1,65	1,76/0,88	0,75/0,44	0,76/1,74
K ₆₀ +N _{60m}	1,84/0,85	0,74/0,44	0,75/1,84	1,81/0,88	0,73/0,45	0,75/1,80
K ₆₀ +N _{60m}	1,71/0,90	0,75/0,44	0,74/1,83	1,61/0,90	0,74/0,45	0,75/1,82

* - в числителе – основная продукция, в знаменателе – побочная продукция

Максимальный суммарный вынос NPK продукцией гречихи наблюдается на варианте опыта K₆₀+N_{60m}: по сорту гречихи Дикуль 97,3 кг/га – N, 46,7 кг/га – P₂O₅, 160,2 кг/га – K₂O; по сорту гречихи Даша: 91,4 кг/га – N, 40,3 кг/га – P₂O₅, 143,4 кг/га – K₂O. Относительно K₆₀+N₆₀ увеличение по азоту составляет: по сорту гречихи Дикуль +12,2%, по сорту гречихи Даша +13,1%. У сорта Дикуль при дозе N_{30m} удельный вынос азота снижается на 13%, что указывает на эффективное использование удобрений. При N_{90m} вынос возрастает на 42,7% из-за высокого расхода NPK. Оптимальная доза азота — N_{30m}. Калий (K₆₀) повышает урожайность на 10%, а комбинация K₆₀+N_{30m} даёт прибавку +67,3% к контролю. У сорта Даша при N_{30m} удельный вынос

незначительно повышается, а при N_{60m} несколько падает. Оптимальная доза — N_{60m} . При N_{90m} удельный вынос N повышается на 24% (табл. 4).

Таблица 4. Влияние биомодификации карбамида на вынос азота, фосфора, калия и KIU_N (среднее 2023-2025 гг.)

Вариант	Сорт	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	KIU_N , %
		Хозяйственный вынос, кг/га			Удельный вынос, кг/т зерна			
Контроль	Дикуль	46,9	22,5	42,0	48,9	23,7	43,8	-
	Даша	45,5	23,3	43,6	52,1	26,7	49,9	-
K ₆₀	Дикуль	64,7	31,6	112,7	61,8	30,3	107,7	-
	Даша	56,8	29,3	100,1	64,9	33,5	114,4	-
K ₆₀ +N ₃₀	Дикуль	72,4	36,9	117,9	56,5	38,8	91,9	25,7
	Даша	73,0	37,4	115,3	61,9	31,6	97,8	54,0
K ₆₀ +N ₆₀	Дикуль	86,7	44,8	162,3	55,3	28,5	103,4	36,7
	Даша	80,8	41,3	136,3	68,8	35,1	115,9	40,0
K ₆₀ +N ₉₀	Дикуль	72,4	41,8	129,5	63,0	36,3	112,2	8,6
	Даша	72,4	39,5	122,8	68,1	37,2	115,7	17,3
K ₆₀ +N _{30m}	Дикуль	75,8	36,6	116,0	48,8	23,6	75,3	37,0
	Даша	71,4	34,2	104,8	62,5	29,9	91,5	48,7
K ₆₀ +N _{60m}	Дикуль	97,3	46,7	160,2	58,7	28,2	96,5	54,3
	Даша	91,4	40,3	143,4	67,1	29,5	105,2	57,7
K ₆₀ +N _{90m}	Дикуль	89,0	43,0	151,6	89,9	43,5	153,3	27,0
	Даша	86,2	42,5	150,9	84,4	41,5	148,0	32,7

Анализ результатов исследований показал, что гречиха сорта Дикуль демонстрирует низкую эффективность усвоения азота при дозах N_{30-60} , при коэффициенте использования азота из карбамида (KIU_N) – 25,7-36,7%. Биомодификация повышает KIU_N до 37,0%-54,3% соответственно. Сорт Даша лучше реагирует на умеренные дозы (N_{30-60}), где достигается наибольший коэффициент использования азота – 40,0-54,0%.

Если высокие дозы азота снижают KIU_N до 9-17%, применение биологизированного карбамида позволяет добиться менее резкого снижения коэффициента использования азота из удобрения. Так, KIU_N для сорта Дикуль при N_{90} составляло 27%, для гречихи сорта Даша – 32,7%. Таким образом, биомодификация позволяет лучше использовать азот минеральных удобрений, что является одним из приёмов повышения эффективности азотных удобрений на гречихе.

Биомодификация карбамида существенно не влияет на содержание сырого белка в зерне гречихи, которое в среднем за 3 года составляет: у сорта Дикуль 8,20-9,07% и 8,19-9,88% у сорта Даша (при максимальной дозе N_{90}). Содержание сырого жира в семенах гречихи колеблется по вариантам опыта и

сортам, также, несущественно и составляет в среднем 3,6-3,7% сухого вещества (табл. 5).

Масса 1000 семян несколько выше для сорта Дикуль – 31-35 г, у сорта Даши – 31-33 г существенно не зависит от доз азота и биомодификации карбамида.

Плёнчатость семян составляла на уровне 21-22% по обоим сортам, наименьшей она отмечалась в контроле и фоновом вариантах – 19,2-19,8%.

Таблица 5. Влияние биомодификации мочевины культурой *V.s. Ч-13* на содержание белка, жира (%) и технологические показатели зерна (среднее 2023-2025 гг.)

Вариант	Сырой белок, %		Сырой жир, %		Масса 1000 семян, г		Пленчатость, %	
	Дикуль	Даша	Дикуль	Даша	Дикуль	Даша	Дикуль	Даша
Контроль	8,38	8,19	3,56	3,62	29,8	30,3	19,2	19,2
K ₆₀	7,91	7,14	3,49	3,50	33,9	33,4	19,4	19,8
K ₆₀ +N ₃₀	9,07	8,60	3,57	3,53	33,8	33,3	21,2	21,3
K ₆₀ +N ₆₀	8,88	8,50	3,53	3,57	34,0	32,8	21,2	21,4
K ₆₀ +N ₉₀	8,17	9,88	3,44	3,53	31,1	31,3	21,4	21
K ₆₀ +N _{30m}	8,20	8,58	3,69	3,58	33,4	32,6	20,7	21
K ₆₀ +N _{30m}	8,47	8,66	3,60	3,57	35,0	32,7	22,3	22
K ₆₀ +N _{60m}	8,51	9,40	3,74	3,59	33,9	31,3	22,9	23,5
K ₆₀ +N _{90m}	8,38	8,19	3,56	3,62	29,8	30,3	19,2	19,2

Варианты опыта K₆₀+N_{30m} и K₆₀+N_{60m} показывают высокую рентабельность и окупаемость, что говорит об их экономической целесообразности. На дерново-слабоподзолистой глееватой легкосуглинистой почве в условиях Центрального Нечерноземного района России экономически выгодно возделывание интенсивного сорта Дикуль, отзывчивого на азотные удобрения в диапазоне 30-60 кг N/га, при чистом доходе в 6 тыс.руб./га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение биомодифицированных азотных удобрений на калийной основе при выращивании гречихи в условиях Московской области повышает эффективность системы удобрений. Таким образом, в ходе подготовки диссертационного исследования можно сформулировать следующие выводы:

1. Установлено, что увеличение доз азота положительно влияет на увеличение углерода микробной биомассы почвенных микроорганизмов, микробо-опосредованное почвенное дыхание и урезную активность. Биомодификация карбамида культурой *V.s. Ч-13* замедляет высвобождение NH₄⁺, поддерживая баланс N-форм (N-NO₃/N-NH₄), снижая потери нитратов.

2. С увеличением доз азота увеличивается содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений гречихи с 4 мг/г сырой

массы на контроле до 10,2...11,0 мг/г ($\Sigma Chl.a + Chl.b$) при внесении азота под сорта Дикуль и Даша. Соотношение хлорофилла а/хлорофиллу b на вариантах остается относительно стабильным и находится в диапазоне 2 – 2,5/1. Содержание каротиноидов (*Carot.*) возрастает с увеличением доз азота, что обеспечивает защиту фотосистем от окислительного стресса.

3. С увеличением дозы вносимого азота увеличиваются основные морфологические показатели растений (площадь листьев, ФП посевов, высота растений, количество цветов и др.), биомодификация усиливает эффект. Содержание рутина в соломе выше – 60-70 мг/г, чем в лузге (9-12 мг/г) у обоих сортов. С увеличением доз вносимого карбамида увеличивается содержание рутина в соломе и лузге гречихи. Биомодификация оказывает положительное влияние на содержание рутина и в лузге, и соломе гречихи.

4. Наиболее отзывчивым на внесение карбамида был сорт Дикуль. Максимальный прирост урожайности наблюдался при внесении карбамида, модифицированного штаммом *V.s. Ч-13* в дозе 60 кг/га – 16,6 ц/га. Сорт Даша обеспечивал несколько меньшую урожайность – 13,6 ц/га при внесении эквивалентных доз азота. Биомодификация позволяет получить дополнительную прибавку урожайности: по сорту Дикуль: N_{30m} – 3,1 ц/га, N_{60m} – 0,9 ц/га, по сорту Даша N_{60m} – 1,9 ц/га, обеспечивая окупаемость 1 кг азота 21,3-11,9 кг и 8,2 кг зерна соответственно.

5. Биомодификация карбамида существенно не влияет на содержание сырого белка в зерне гречихи, которое в среднем за 3 года составляет: у сорта Дикуль 8,20-9,07% и 8,19-9,88% у сорта Даша (при максимальной дозе N_{90}). Содержание сырого жира в семенах гречихи колеблется по вариантам опыта и сортам, также, несущественно, и составляет в среднем 3,6-3,7% сухого вещества.

6. Применение карбамида, модифицированного *шт. V.s. Ч-13*, увеличивает содержание и хозяйственный вынос NPK с основной и побочной продукцией гречихи, а также удельный вынос на 1 т зерна с учётом побочной продукции, который составляет для сорта Дикуль – $N_{60}P_{30}K_{100}$ и сорта Даша – $N_{70}P_{30}K_{110}$. С увеличением доз азота вынос азота, фосфора и калия растёт за счёт увеличения их содержания и урожайности вегетативной массы. Биомодификация повышает КИУ_N до 54,3...57,7% на варианте опыта с дозой мочевины в 60 кгN/га. Высокие дозы $(NH_2)_2CO$ снижают КИУ_N до 27,0...32,7%.

7. Применение карбамида, обработанного *шт. V.s. Ч-13* обеспечивает рентабельность производства культуры в условиях дерново-слабоподзолистых почв Московской области на уровне 48,6% по сорту Дикуль ($K_{60} + N_{30m}$) и 8,1% по сорту гречихи Даша ($K_{60} + N_{60m}$). Установлено, что применение микробиологического препарата «Экстрасол®» для обработки карбамида значительно повышает экономическую эффективность производства гречихи.

Таким образом, в Центральном Нечернозёмном районе на дерново-слабоподзолистых глееватых легкосуглинистых почвах перспективно возделывать сорт Дикуль. Благодаря своей отзывчивости на азотные удобрения (эффективная доза — 30–60 кг N/га) этот интенсивный сорт позволяет

получать чистый доход порядка 6 тыс. руб./га при применении биологизированного карбамида. Сорт гречихи Дикуль – интенсивный для земледелия Центрального Нечерноземного региона, сорт гречихи Даша – экстенсивный.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

В условиях Нечерноземного региона России (Юго-Восток Московской области) при выращивании гречихи сортов Дикуль и Даша на зерно рекомендуется применять карбамид $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, обработанный культурой *V.s. Ч-13* с предпосевным внесением в почву в дозе 30-60 кг/га в сочетании с калийным удобрением (K_2SO_4) в дозе 60 кг/га. Схема $\text{K}_{60}+\text{N}_{30\text{m}}-\text{N}_{60\text{m}}$ является оптимальной для дерново-слабоподзолистых глееватых почв Центрального Нечерноземья с повышенной обеспеченностью подвижным фосфором (по Кирсанову). В Центральном Нечерноземном районе на определённых почвах (дерново-слабоподзолистых глееватых легкосуглинистых) выгодно выращивать сорт Дикуль — доход может достигать 6 тыс. руб./га при внесении азотных удобрений (30–60 кг N/га) и использовании биомодифицированного $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Влияние биомодифицированных азотных удобрений на урожай и вынос питательных элементов гречихи разных лет селекции / **Р. Г. Иванов**, А. Н. Налиухин, С. Л. Белопухов, Г. К. Джанчарова // *Агрохимический вестник*. – 2024. – № 6. – С. 14-21. – DOI 10.24412/1029-2551-2024-6-003.

2. **Иванов, Р. Г.** Активация фотосинтетического аппарата у растений гречихи разных лет селекции под воздействием мочевины, инокулированной *Bacillus subtilis* ч-13 / Р. Г. Иванов, А. Н. Налиухин, С. Л. Белопухов // *Международный сельскохозяйственный журнал*. – 2025. – № 7(409). – С. 944-948. – DOI 10.55186/25876740_2025_68_7_944. – EDN VTUQFY.

3. **Иванов, Р. Г.** Влияние традиционной мочевины и мочевины, модифицированной культурой *Bacillus Subtilis* Ч-13, на формирование генеративных органов гречихи (*Fagopyrum Esculentum* Moench) у сортов различных лет селекции / Р. Г. Иванов, А. Н. Налиухин, С. Л. Белопухов // *Вестник Брянской ГСХА*. – 2026. – № 1(113). – С. 3-9. – EDN SBDYJL.

Публикации в рецензируемых научных изданиях, входящих в международные реферативные базы данных:

1. **Иванов, Р. Г.** Влияние биомодифицированных азотных удобрений на урожайность и динамику доступного азота в почве под посевами гречихи / Р. Г. Иванов, А. Н. Налиухин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2025. – № 3(153). – DOI 10.60797/IRJ.2025.153.25. – EDN EHJSNF.;

2. **Иванов, Р. Г.** Влияние мочевины, обработанной культурой *B.S. Ч-13*, на накопление рутина в различных сортообразцах гречихи, выращенной в агроклиматических условиях Московской области / Р. Г. Иванов, А. Н. Налиухин, С. Л. Белопухов // Journal of Agriculture and Environment. – 2025. – № 6(58). – DOI 10.60797/JAE.2025.58.11. – EDN RNVIFN.

Публикации в сборниках и материалах конференций:

1. **Иванов, Р.Г.** Динамика урожайности гречихи в Российской Федерации: статистический анализ / **Р.Г. Иванов**, А.Н. Налиухин // Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства: материалы VII Международной научно-практической конференции, 18 апреля 2024 г. Макеевка: в 7 т. / ФГБОУ ВО «Донбасская аграрная академия». – Макеевка: ДОНАГРА, 2024. – Т. III. – С. 76-83.

2. **Иванов, Р. Г.** Перспективы производства функциональных продуктов питания из гречихи на территории Российской Федерации / **Р. Г. Иванов**, А. Н. Налиухин, А. В. Сергеев // Экология и природопользование: тенденции, модели, прогнозы, прикладные аспекты: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Рязань, 27 марта 2024 года. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 52-56.

3. **Иванов, Р. Г.** Гречиха: перспективы возделывания культуры в центральном нечерноземном регионе России / **Р. Г. Иванов**, А. Н. Налиухин, Д. Д. Кузнецова // Инновационное развитие агропромышленного комплекса: новые подходы и актуальные исследования : Материалы Международной научно-практической конференции в рамках мероприятий «Десятилетия науки и технологий в Российской Федерации», 300-летия Российской академии наук, Краснодар, 24–25 апреля 2024 года. – Краснодар: ИП Копыльцова П.И., 2024. – С. 102-110.

4. **Иванов Р.Г.** Продуктивность растений гречихи при применении биомодифицированных азотных удобрений / Р.Г. Иванов // «Современные методы агрохимических и агроэкологических исследований, их применение в сельскохозяйственном производстве». Материалы 58-ой Всероссийской конференции с международным участием молодых ученых, специалистов-агрохимиков и агроэкологов / Под редакцией С.И. Шкуркина. - М.: ВНИИ агрохимии, 2024. – С. 53-57.

5. **Иванов, Р. Г.** Проблема урожайности гречихи на территории Российской Федерации: статистический взгляд / Р. Г. Иванов, А. Н. Налиухин, Д. Д. Кузнецова // Научное обеспечение инновационного развития сельского хозяйства : к 110-летию со дня рождения первого директора Дагестанского НИИСХ Кисриева Фрида Гасанович : Всероссийская научно-практическая

конференция с международным участием, Махачкала, 25–26 апреля 2024 года. – Махачкала: ООО "Издательство АЛЕФ", 2024. – С. 206-211. – DOI 10.25691/9093.2024.99.76.061.

6. **Иванов, Р. Г.** Динамика обменной кислотности почвы при применении биомодифицированных азотных удобрений культурой *V.s. Ч-13* в посевах гречихи / Р. Г. Иванов // Актуальные проблемы и перспективы развития современного земледелия : Сборник научных трудов по материалам Национальной научно-практической конференции с международным участием, Ярославль, 03 апреля 2025 года. – Ярославль: Ярославский государственный аграрный университет, 2025. – С. 85-89.

7. **Иванов, Р. Г.** Влияние азотных удобрений и штамма *V.S. Ч-13* на морфобиологические особенности растений гречихи / **Р. Г. Иванов** // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий : Сборник IX Всероссийской (национальной) научной конференции с международным участием, Новосибирск, 20 декабря 2024 года. – Новосибирск: ИЦ НГАУ "Золотой колос", 2024. – С. 68-73.

8. **Иванов Р.Г., Налиухин А.Н.** Динамика гидролитической кислотности почвы в посевах гречихи при разном уровне азотного питания // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы XV Международной научно-практической конференции, 26 июня 2025 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации [и др.]; редкол.: Богданов И.И. [и др.] – Ульяновск: ГАУ, 2025. - – ISBN 978-5-6053388-7-1, 2025. - С. 52 – 57.

Авторские свидетельства, патенты, лицензии:

1. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025622270 «База данных вегетативных особенностей роста и развития растений гречихи сортов Дикуль и Даша в агроклиматических условиях Московской области при применении биомодифицированных азотных удобрений» / О. С. Мишина, С. Л. Белопухов, **Р. Г. Иванов** / Бюл. №6, 549 Мб, 2025.

2. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2025622841 «База данных агрохимических показателей почвы под посевами гречихи в соответствии с фазами роста и развития растений, выращенных в агроклиматических условиях Московской области, при применении биомодифицированных азотных удобрений» / О. С. Мишина, С. Л. Белопухов, **Р. Г. Иванов**/ Бюл. №7, 25,9 Кб, 2025.