

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.25>

ВЛИЯНИЕ БИОМОДИФИЦИРОВАННЫХ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И ДИНАМИКУ ДОСТУПНОГО АЗОТА В ПОЧВЕ ПОД ПОСЕВАМИ ГРЕЧИХИ

Научная статья

Иванов Р.Г.^{1*}, Налиухин А.Н.²

²ORCID : 0000-0001-6860-0617;

^{1,2} Российский государственный аграрный университет МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ivanovroman_19[at]mail.ru)

Аннотация

В статье приводятся результаты работы, посвященные изучению динамики агрохимических показателей почвы, связанных с трансформацией азотных удобрений. Цель исследования – изучить трансформацию карбамида, обработанного микробным удобрением, содержащих культуру факультативно аэробных почвенных бактерий *Bacillus subtilis* в посевах гречихи двух сортов: Диккуль и Даша. Кроме того, в работе производится акцент на урожайность культуры в связи с применением биомодифицированных азотных удобрений. В условиях Московской области растянутость периода цветения выступает одним из негативных факторов, воздействующих на культуру гречихи. Применение азотных удобрений, обработанных культурой *B. subtilis* Ч-13, обуславливает растянутость периода вегетации.

Ключевые слова: карбамид, гречиха, микробные удобрения, *Bacillus subtilis*, аммонийный азот, нитратный азот, урожайность.

INFLUENCE OF BIOMODIFIED NITROGEN FERTILISERS ON YIELD AND DYNAMICS OF AVAILABLE NITROGEN IN SOIL UNDER BUCKWHEAT CROPS

Research article

Ivanov R.G.^{1*}, Naliukhin A.N.²

²ORCID : 0000-0001-6860-0617;

^{1,2} Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (ivanovroman_19[at]mail.ru)

Abstract

The article presents the results of work dedicated to the study of the dynamics of soil agrochemical parameters associated with the transformation of nitrogen fertilisers. The aim of the research is to examine the transformation of urea treated with microbial fertiliser containing a culture of facultatively aerobic soil bacteria *Bacillus subtilis* in buckwheat crops of two varieties: Dikul and Dasha. In addition, the work focuses on the crop yield in connection with the use of biomodified nitrogen fertilisers. In the conditions of Moscow Oblast, the prolonged flowering period is one of the negative factors affecting the buckwheat crop. The use of nitrogen fertilisers treated with *B. subtilis* Ch-13 causes the prolongation of the growing season.

Keywords: urea, buckwheat, microbial fertilisers, *Bacillus subtilis*, ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, yield.

Введение

Обеспечение продовольствием постоянно увеличивающееся население планеты без существенного увеличения сельскохозяйственного производства невозможно. За последнее время в научной литературе появилось достаточно большое количество утверждений, показывающих, что одним из лучших способов ускорения мирового сельскохозяйственного производства являются минеральные удобрения, особенно азотные. Несмотря на то, что азот (N) является важнейшим питательным веществом для сельскохозяйственных культур, его использование в качестве удобрения связано с большими рисками [34]. Потери азотных удобрений увеличивают негативное воздействие на окружающую среду, способствуя выбросу парниковых газов в атмосферу, загрязнению подземных и эвтрофикации поверхностных вод [42]. В глобальном масштабе за счет антропогенной деятельности примерно от 50% до 60% эмиссии закиси азота в атмосферу приходится на сельскохозяйственное производство, в котором главной составляющей является прямая эмиссия N₂O из почв за счет внесения минеральных и органических удобрений [14].

Различные растительные молекулы, такие как аминокислоты, хлорофилл, нуклеиновые кислоты, АТФ и фитогормоны, содержащие азот в своём составе, необходимы для завершения биологических процессов, включающих метаболизм углерода и азота, фотосинтез и синтез белка [37]. Азот, как доминирующий макроэлемент для роста растений, может в значительной степени влиять на время цветения [52]. Кроме того, N играет ведущую роль в адаптации растений к дефициту макро- и микроэлементов [51]. Кроме того, эффективность азотных удобрений зависит не только от содержания доступных форм азота в почве, но и от других агрохимических показателей, таких как реакция почвенной среды и степень обеспеченности подвижными формами фосфора и калия [32]. Азотное удобрение и густота посадки оказывают существенное влияние на фотосинтетическую способность листьев и урожайность зерна гречихи обыкновенной [36]. Интенсивность поглощения и включения азота в продукционный процесс определяется совокупностью биогенных и абиогенных факторов превращения азота в почве, биологическими особенностями

растений и происходящими в них физиологическими процессами [30]. Учитывая центральное положение азота в биохимических и физиологических циклах растений, N-статус растений может влиять на устойчивость растений к различным абиотическим и биотическим стрессам [49].

Важными характеристиками почвы, которые определяют азотный режим и условия азотного питания растений, являются аммонифицирующая и нитрифицирующая способность, которая в достаточной степени зависит от почвенных и климатических условий [22]. Растения поглощают две формы азота: аммонийный NH_4^+ и нитратный NO_3^- . На поглощение того или иного вида азота влияет много факторов: фаза развития, температура и влажность почвы, содержания солей и др. Ион аммония (N-NH₄) образуется в процессе аммонификации или поступает в почву с удобрениями. На ранних стадиях развития и при низких температурах растения в основном поглощают N-NH₄⁺, на кислых почвах (pH < 7) усваивается нитратная форма, тогда как в нейтральных аммонийная [39]. На процессы нитрификации существенно влияет кислотность почв, при pH < 4 происходит сильное снижение нитрифицирующей способности почв при одновременной аккумуляции аммонийного азота в них [17].

Реакция среды в почве – один из основных показателей уровня плодородия почв для сельскохозяйственных культур, так как она является своего рода интегральным показателем целого комплекса свойств почв, который формирует урожай [27]. Гречиха требовательная к кислотности почвы – при pH = 4,6–4,7 она не отзывается на удобрения и формирует низкий урожай (5–6 ц/га) [9]. К.А. Савицкий (1970) показывает, что растения гречихи хорошо развиваются по pH = 5,0–6,5 [24]. Соответственно, гречиху целесообразно относить к растениям кислого интервала [1]. Корневая система гречихи отличается высокой физиологической активностью, она способна усваивать из почвы труднорастворимые вещества, особенно фосфорные соединения за счет выделения через корни муравьиной, уксусной, щавелевой кислот [21]. Применение азотных удобрений под зерновые культуры в севооборотах на среднекультуренных дерново-подзолистых почвах центра Нечерноземной зоны России служит неперенным условием получения высоких и устойчивых урожаев [11]. Азот в дерново-подзолистых почвах находится в первом минимуме и, при прочих равных условиях, определяет величину урожайности и качество получаемой продукции [10].

Как показывают исследования, для гречихи характерна тесная связь между количеством вносимого азота с удобрениями и уменьшением урожайности культуры, т.е. урожайность культуры уменьшается с увеличением вносимого N в почву [48]. Чрезмерное внесение азота под гречиху значительно снижает содержание влаги и амилозы, но увеличивает содержание зольных элементов и сырого протеина [38]. В зернах гречихи обыкновенной как амилопектин, так и общий крахмал показали тенденции к росту с повышением уровня P, в то время как содержание амилозы значительно снижается [47]. Накоплению крахмала и содержание аминокислот гречихе способствует азот (N), но молекулярный механизм неясен [46]. В работе Дубенок Н.Н., Заяц О.А. (2017) показано, что минеральные удобрения в количестве N₃₀ позволяют существенно активизировать фотосинтетическую деятельность растений и накопление биомассы посева, тем самым увеличивая уровень потенциальной продуктивности [3].

Количество поглощенного аммония имеет обратную связь с кислотностью, динамика содержания форм аммония в почвах может служить индикатором нуждаемости сельскохозяйственных угодий в известковании [18]. В целом существует конкуренция за азот между микробами и растениями, поэтому растения разработали различные пути питания N для оптимизации усвоения азота в различных условиях выращивания [35]. В литературе имеются сведения, показывающие положительную роль N-NH₄ в формировании устойчивости растений к различным болезням по сравнению с нитратной формой азота [43].

Нитрификация, как важнейший этап круговорота азота и питания растений, является биологически опосредованным процессом, ответственным за огромные потери азотных удобрений и способствующим загрязнению окружающей среды [41]. Показано, что по мере роста и развития гречихи потребление нитратов (N-NO₃) увеличивается в фазе бутонизации до наименьшего уровня ко времени цветения [16]. Нитрификация является важным микробиологическим показателем, который отражает уровень азотного питания растений [33]. Сложность управления азотными циклами состоит в том, что азот в почве находится одновременно в трех средах: твердой, жидкой и газообразной [7]. Основная часть азота теряется в первый месяц после внесения удобрений, затем выделение аммиака значительно снижается, так как в результате нитрификации большая часть азота переходит в нитратную форму [6].

Одним из перспективных приемов повышения эффективности азотных удобрений является применение ингибиторов нитрификации, что способствует снижению потерь азота как в газообразной форме, так и от вымывания нитратов, вследствие чего устраняется опасность загрязнения водных источников и атмосферы [15]. Пищик В.Н., Воробьева Н.И. и др. (2015) показывают, что адаптация растений к высоким дозам азотных удобрений значительно возрастает при ассоциативном симбиозе с микроорганизмами за счет миграции бактерий в прикорневых экологических нишах, но при этом уменьшается эффективность деятельности бактерий с увеличением дозы удобрений [23]. Более того, применение биологических препаратов и азотного удобрения оказывает положительное влияние на формирование благоприятной микробной среды, что способствует лучшему росту и развитию растений [19].

Bacillus subtilis – типичный представитель PGPN (plant-growth promoting rhizobacteria), т.е. микроорганизмов, обеспечивающих рост и развитие растений. Имеются исследования, показывающие, что *Bacillus subtilis* замедляет нитрификацию и усиливает денитрификацию в почве [44]. Биологическое ингибирование нитрификации (BNI) относится к растительно – опосредованному процессу, при котором нитрификация ингибируется за счет ризосферного высвобождения различных метаболитов [40]. В настоящее время исследованы лишь ограниченные представители денитрифицирующих видов *Bacillus*, а систематическая характеристика азотистого метаболизма видов *Bacillus* изучена мало [50]. Диссимиляторный метаболизм азота, а точнее денитрификация, является общей чертой среди представителей рода *Bacillus* [45].

В настоящее время в сельском хозяйстве всё шире используются природные регуляторы роста и бактериальные препараты, предназначенные для активизации метаболических процессов растений и повышения их продуктивности

[25]. Например, препарат на основе бактерий *Bacillus subtilis* Экстрасол показал эффективность при некорневой обработке растений сои [26]. Исследуя тот же препарат, Костин Я.В., Ушаков Р.Н. (2017 г.) доказали, что Экстрасол позволяет повысить коэффициент использования питательных веществ из удобрений и вынос элементов питания ячменем [12].

Завалин А.А., Чернова Л.С. (2014 г.) показывают, что биомодификация удобрений является эффективным приёмом, обеспечивающим повышение урожайности ячменя (*Hordeum L.*) на 13-20% [8]. Биопрепарат Агат-25, созданный на основе *Pseudomonas aureofaciens* Н16 и *Bacillus megaterium* стимулирует рост и развитие проростков обработанных семян и оказывает положительное влияние на увеличение урожайности гречихи (*Fagopyrum esculentum Moench*) [4]. В исследованиях Е.А. Нарушева (2011 г.) доказывает эффективность предпосевной обработки семян гречихи, при возделывании на черноземе выщелоченном, биопрепаратом Мизарин, созданный на основе штамма *Arthrobacter mysorens* [20]. Препарат БакСиб – консорциум агрономических полезных микроорганизмов, при выращивании гречихи на серых лесных почвах повышает её урожайность на 10-20% [13]. Цыганов А.Р., Полховская И.В. (2016) в исследованиях утверждают, что предпосевная обработка семян гречихи препаратом ризобактерином и фитостимифосом повышают урожайность на 59,4% при выращивании на дерново-подзолистой почве в Белоруссии [30].

Таким образом, учитывая последние научные достижения в области понимания процессов диссимиляторного метаболизма азота, проведенных ранее исследований, касательных проблематики применения микробных препаратов на различных сельскохозяйственных культурах, можем заключить, что тенденции динамики N-NO₃, N-NH₄, N_{мин} в посевах гречихи в агроклиматических условиях Московской области, изучены недостаточно и требуют дальнейшего познания ввиду актуальности разработки рациональных технологий применения азотных удобрений. Вследствие биологических особенностей культуры (абортирование цветков, ремонтантность, полегание и др.) понимание особенностей выращивания гречихи на разных уровнях азотного питания и при применении биомодифицированных азотных удобрений, на почвах богатых подвижным фосфором, также требует более детального изучения.

Методы и принципы исследования

Исследования по установлению тенденции доступного азота в почве под посевами растений гречихи проведены в 2023 – 2024 гг. в г. Орехово-Зуево, Московская область. Полевые мелкоделяночные опыты заложены на дерново-подзолистой глееватой легкосуглинистой почве.

Основные агрохимические свойства почвы опытного участка (среднее 2023 – 2024 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), Нобщ. = 0,07%, гумус (по Тюрину в модификации Симакова) – 2,63%, Нщ.г. (по Тюрину и Кононовой) = 32,5 мг/кг (II класс – низкое).

Для определения основных агрохимических показателей почвы использовались стандартные методики: обменной кислотности рН(сол.) по ГОСТ 26483-85, гидролитической кислотности (Нг) по ГОСТ 26212-91 по методу Каппена в модификации ЦИНАО с помощью 1 н. раствора CH₃COONa, определение суммы поглощенных оснований в почве по Каппену – Гильковицу (ГОСТ 27821-88), содержание N-NO₃ в почве определялось колориметрическим методом с дисульфифеноловой кислоты с использованием коэффициента 0,226 для пересчета содержания нитратов (NO₃⁻) в нитратный азот (N-NO₃) в водной вытяжке, определение содержания аммонийного азота в почве осуществлялось колориметрическим методом по Е.В. Аринушкиной с использованием реактива Несслера при рН>7 (0,778 – коэффициент пересчета содержания аммония (NH₄) в аммонийный азот (N-NH₄), содержание минерального азота (N_{мин}) – математическим методом как сумму нитратного и аммонийного форм азота. Определение содержания подвижного фосфора и обменного калия в почве по методу Кирсанова (ГОСТ 26207-91), фосфор – колориметрическим методом, калий – пламенно-фотометрическим методом. Содержание общего азота (Нобщ) по ГОСТ Р 58596-2019. Гумус по методу И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова с использованием 0,2%-ного раствора фенилантраниловой кислоты (C₁₃H₁₁NO₂). Определение легкогидролизуемого азота по Тюрину и Кононовой с обработкой почвы 0,5 н раствором H₂SO₄. Колориметрическое определение содержания подвижных форм азота осуществлялось на спектрофотометре марки ЭКОВЬЮ В-1200.

Схема опыта включала два фактора. Фактор А - система удобрения, фактор В – система биомодифицированного удобрения, в качестве фона применялся сульфат калия (K₂SO₄) в дозе 60 кг/га (K₆₀). В качестве азотного удобрения применялся карбамид (NH₂)₂CO в следующих концентрациях: N₃₀, N₆₀ и N₉₀. Те же самые дозы карбамида подвергались биомодификации микробным удобрением, содержащим *Bacillus subtilis* штамм Ч-13 (В.с. Ч-13). Биомодификация (NH₂)₂CO осуществлялась вручную из расчета 1 мл В.с. Ч-13 на 1 г карбамида. Далее проводилась суточная инкубация обработанного удобрения в факторостатных условиях при t=25°C без доступа света. Удобрения вносили вручную на опытные делянки. Перед внесением удобрений в почве определялись доступные формы азота.

Объектом исследования выступили два сорта растений гречихи: Диккуль (2001) и Даша (2018), контрастно различающиеся по ряду показателей. Сорт Даша отличается от сорта Диккуль экономным габитусом соцветия и может обеспечивать высокую урожайность без применения удобрений. Мелкоделяночные полевые опыты заложены в четырехкратных повторностях, размещение рандомизированное. Общая площадь посевов гречихи 0,01 га, учетная площадь делянки 0,95 м². Производили пересчет урожайности на 1 м².

Вызревшие растения гречихи убирали вручную, отдельными способом при побурении 75% плодов (9 сентября 2023 г., и 10 сентября 2024 г.), урожай учитывали поделночно. Полученные данные по урожайности культуры обрабатывали методом двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями с использование программы Excel в пересчете на базисную влажность 14%. Высота растений определялась в момент уборки урожая.

В течение всего периода вегетации определялось наступление фенологических фаз (всходы, первый лист, ветвление, бутонизация, цветение, созревание) методом визуального наблюдения. Посев гречихи произведен 24 мая

2023 г. и 27 мая 2024 г. В соответствии с наступлением фенологических фаз в почве определялось содержание аммонийного, нитратного и минерального азота (рис.1). Отбор пробы почвы осуществлялась на глубину пахотного горизонта (0-20 см) в соответствии с ГОСТ Р 58595-2019.

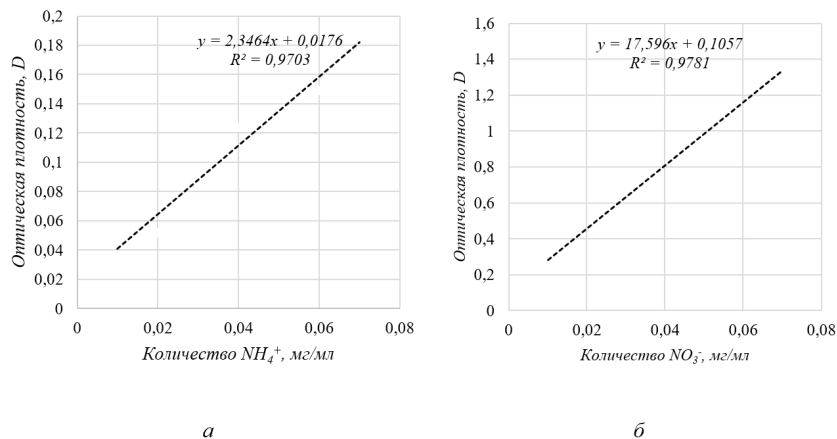


Рисунок 1 - Калибровочный график для определения доступных форм азота
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.25.1>

Примечание: в качестве образцового раствора для обнаружения NH_4^+ применялся NH_4Cl в концентрации 0,005 мг/мл, для обнаружения NO_3^- применялся раствор KNO_3 с содержанием 0,01 NO_3^- мг/мл, при длине волны $\lambda = 440$ нм., для NH_4^+ $\lambda = 440$ нм

После забора почвы с опытного участка сразу закладывались почвенные вытяжки, которые анализировались в день забора почвы, что особенно важно при работе с соединениями азота. Все результаты, полученные в ходе исследования, также подвергались математической обработке с применением двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями. Анализ выполнен в четырехкратной повторности.

Агроклиматические условия выращивания (2023 – 2024 гг.) характеризовались как зоны обеспеченного увлажнения. ГТК за тёплый период времени по формуле Г.Т. Селянинова в 2023 г. – 1,3 (зона обеспеченного увлажнения), в 2024 г. – 1,44 (зона обеспеченного увлажнения). Для гречихи критическое значение приобретает температура воздуха и влагообеспеченность (рис. 2, 3, 4).

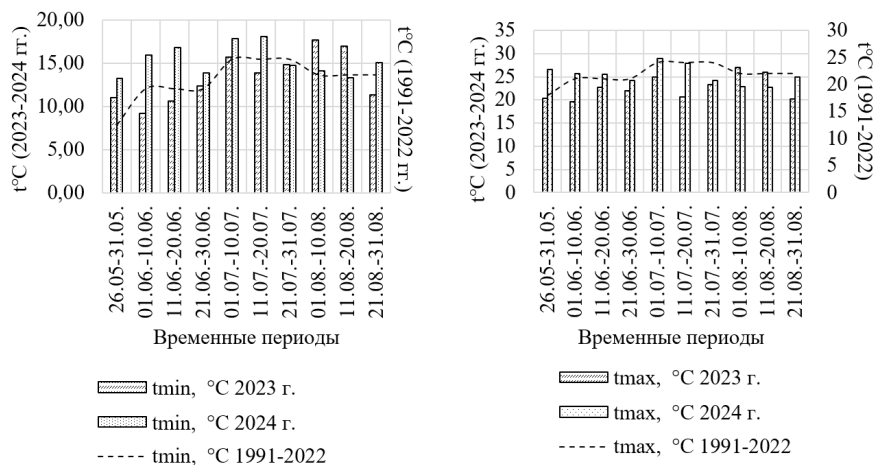


Рисунок 2 - Температура воздуха в годы проведения опытов
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.25.2>

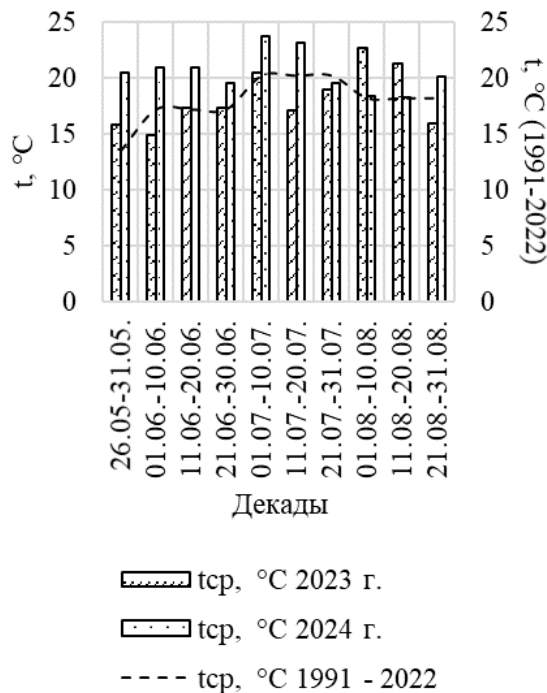


Рисунок 3 - Средняя температура воздуха
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.25.3>

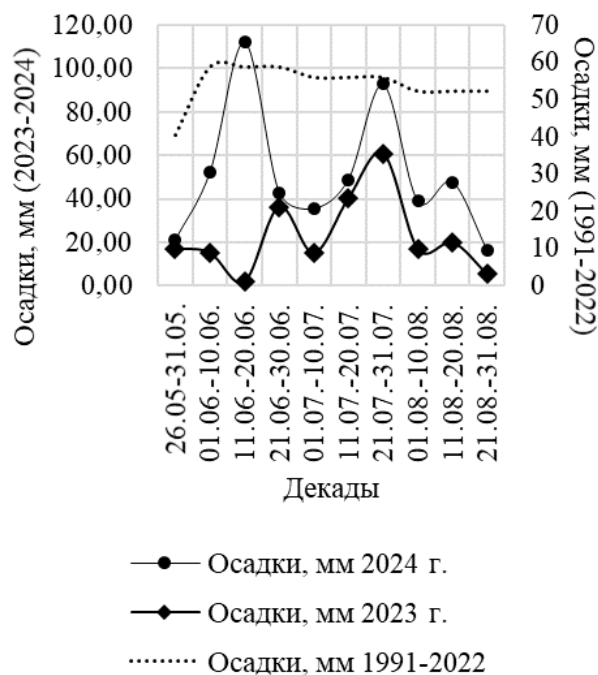


Рисунок 4 - Осадки в годы проведения опытов
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.25.4>

В 2023 году самая низкая температура воздуха наблюдалась в первой декаде июня (01.06-10.06.2023), в аналогичный период 2024 г. минимальная температура воздуха составила 15,9 °С. Отклонение от многолетних наблюдений (1991-2022 гг.) в 2023 г. составляет - 2,3°С, а в 2024 г. +3,85 °С. Период с 01.06 по 10.06 соответствует фенологической – появление всходов. В 2024 г. минимальная температура воздуха составляла 13,3 °С, что соответствует данным многолетних наблюдений в период с 11.08 – 20.08. Максимальная температура воздуха в 2023 г. наблюдалась за период с 01.08.-10.08 и составляла 27 °С, что на 5°С больше данных многолетних наблюдений. В 2024 г. максимальная температура воздуха 29°С - 01.07. по 10.07., что на 5°С выше данных многолетних наблюдений. В 2024 г. пик максимальной температуры пришелся на фенологическую фазу растений – бутонизация-начало цветения. В целом 2024 г. был теплее, чем 2023 г. Самый теплый период вегетации гречихи с максимумом в 26°С в 2023 г. с 11.08 –

20.08. – фаза полного цветения и созревания. В 2024 г. самый теплый период наблюдался с 01.07. – 10.07. с максимальной температурой в 27 °С, что соответствует фазе бутонизации – начала цветения.

Среднее количество осадков за вегетационный период в 2023 г. – 23 мм, в 2024 г. – 28 мм. В 2023 г. максимальное количество осадков наблюдалось за период с 21.07 – 31.07. ($t = 23,2^{\circ}\text{C}$), в 2024 г. с 11.06-20.06 ($t = 25,5^{\circ}\text{C}$). В самый теплый период 2023 г. количество осадков составляет 16,8 мм ($t = 27^{\circ}\text{C}$), в 2024 г. – 20,2 мм ($t=29^{\circ}\text{C}$). Сумма осадков за вегетационный период 2023 г. – 229,5 мм, в 2024 г. – 279 мм, что больше данных многолетних наблюдений на 22... 77 мм соответственно.

Основные результаты

Наступление фенологических фаз растений гречихи в зависимости от системы удобрений является важной характеристикой, демонстрирующая стабильность развития растений в определенных агроклиматических условиях, при помощи которых можно выявить определенные закономерности периодических явлений в жизни растительного организма.

В ходе проведения исследований при определении длительности фенологических фаз в отдельности и продолжительности вегетации культуры гречихи сорта Диккуль и Даша в зависимости от системы применения удобрений наблюдалось незначительное влияние как системы азотных удобрений, так и абиотических факторов внешней среды. Сортных особенностей наступления фенологических фаз и длительности вегетационного периода у гречихи сортов Диккуль и Даша в ходе наших экспериментов выявлено не было (табл. 1). Сложность учета фенологических фаз гречихи состоит в том, что при наступлении последующей фазы исходная фаза не заканчивается.

Выявлено, что у растений гречихи увеличивается вегетационный период вследствие применения азотных удобрений. Вегетационный период увеличивается в том числе за счет растянутости периода цветения. В 2023 г. увеличение вегетационного периода составляет 3 дня, в 2024 г. – 2 дня. Фаза цветения у гречихи обоих исследуемых сортов наступала в начале первой декады июля, полное цветение во второй декаде и продолжалась практически до сбора урожая. В агроклиматических условиях Московской области в годы проведения опытов всходы мы наблюдали через две недели после посадки. Увеличение количества осадков в сочетании с теплой погодой за период с 21.07-31.07 способствовали интенсивному цветению гречихи. В 2024 г. начало цветения совпало с максимальной температурой воздуха, что, безусловно, сказалось на конечной урожайности. С точки зрения наступления фенологических фаз у гречихи интересны исследования С.В. Жарковой, в которых показана длительность вегетационного периода в условиях Алтайского края; в среднем 83 дня [5]. Наши исследования показали, что вегетационный период гречихи сортов Диккуль и Даша в условиях Центрального Нечерноземья в среднем составляет 104 дня. Увеличение вегетационного периода в первую очередь мы связываем с продолжительностью всходов растений. Влагообеспеченность почвы в период с 26.05 по 10.06 в годы проведения опытов значительно отличается от данных многолетних наблюдений.

Таблица 1 - Фенологические фазы растений гречихи (Диккуль и Даша) в зависимости от уровня и формы азотного питания

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.25.5>

Вариант	2023						ВП	2024						ВП
	I	II	III	IV	V	VI		I	II	III	IV	V	VI	
Контроль, дней	13	9	11	10	34	26	103	14	8	10	11	34	26	103
K ₆₀ , дней	13	9	11	10	34	26	103	14	8	10	11	34	26	103
K ₆₀ +N ₃ ₀ , дней	13	8	11	10	35	26	103	13	7	13	10	35	24	102
K ₆₀ +N ₆ ₀ , дней	13	9	12	10	36	25	105	13	7	13	10	34	25	102
K ₆₀ +N ₉ ₀ , дней	13	9	13	8	38	25	106	14	7	10	11	35	28	105

Вариант	2023						ВП	2024						ВП
	I	II	III	IV	V	VI		I	II	III	IV	V	VI	
К ₆₀ +N ₃₀ , дней	14	9	12	9	36	24	104	13	8	14	10	33	27	105
К ₆₀ +N ₆₀ , дней	13	10	12	10	33	27	105	14	9	14	8	34	25	104
К ₆₀ +N ₉₀ , дней	14	10	12	11	31	28	106	14	10	15	11	27	28	105

Примечание: I – всходы; II – первый лист; III – ветвление; IV – бутонизация; V – цветение; VI – созревание; ВП – вегетационный период

На урожайность гречихи в условиях Центрального Нечерноземья оказывает влияние целый спектр абиотических и биотических факторов. Результаты наших опытов согласуются с выводами Н.В. Фесенко (1983 г.), который показал, что при внесении небольших доз удобрений у гречихи наблюдается израстание побегов, который может провоцировать полегание посевов и снижение урожая, что мы и наблюдали в течении вегетационного периода [28]. В условиях Московской области совместное внесение высоких доз азотных удобрений со спецификой агроклиматических условий вызывает снижение общей выживаемости растений гречихи. В период цветения гречихи критическим агроклиматическим фактором выступает скорость ветра. В литературе имеются сведения, демонстрирующие, что при складывающихся благоприятных условиях (температура и влажность) завязавшиеся плоды могут осыпаться вследствие перелома плодоножек ветром [29].

В 2023 г. наибольшая урожайность зерна гречихи сорта Диккуль наблюдается на варианте опыта К₆₀+N₆₀ при длине вегетационного периода 105 дней. Увеличение относительно контроля составляет 52,4%, относительно фона на 49,5%. При обработке карбамида (N₆₀) микробным удобрением, содержащим культуру В.с. Ч-13, мы наблюдаем увеличение урожайность зерна на 54,3% относительно контроля, 51,4% относительно фона, на 2% относительно варианта К₆₀+N₆₀. Урожайность соломы на варианте опыта К₆₀+N₆₀ наблюдали увеличение на 62% относительно контроля и 40,6% относительно фона. На варианте опыта с культурой В.с. Ч-13 (N₆₀) наблюдали схожую тенденцию по урожайности соломы, как на варианте без использования микробного удобрения. Сорт гречихи Даша демонстрирует схожую тенденцию, максимальная урожайность отмечена на варианте опыта К₆₀+N₆₀ и при применении В.с. Ч-13 на варианте опыта К₆₀+N₃₀ при длине вегетационного периода в 104 дня. В 2024 году наблюдается тенденция по снижению урожайности культура, вызванное увеличение температуры воздуха, вызвавшее сильное осыпание завязей растений, и общему полеганию культуры из-за сильного ветра (17,1 ... 19,7 км/ч – максимальная за весь вегетационный период) в период набора вегетативной массы. У гречихи сорта Диккуль урожайность на варианте опыта К₆₀+N₆₀ оказалась несколько ниже, чем на варианте опыта К₆₀+N₉₀. В целом наблюдается схожая тенденция, что и в 2023 году. Урожайность соломы у сорта Диккуль максимальна на варианте опыта К₆₀+N₉₀. У гречихи сорта Даша урожайность зерна в 2024 г. на варианте опыта К₆₀+N₃₀ на 0,2 ц/га больше, чем на варианте К₆₀+N₆₀ (табл. 2).

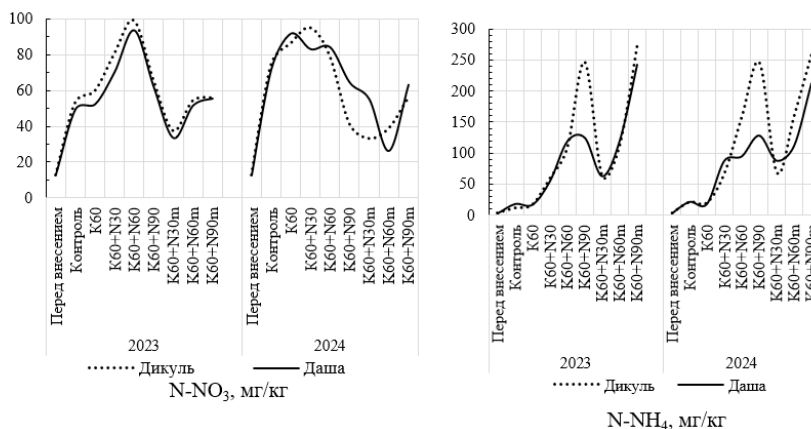
Таблица 2 - Урожайность гречихи в условиях Московской области

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.25.6>

Вариант	Урожайность, ц/га							
	2023				2024			
	Диккуль		Даша		Диккуль		Даша	
	Зерно	Солома	Зерно	Солома	Зерно	Солома	Зерно	Солома
Контроль	10,3	50,0	9,0	48,9	9,3	35,0	8,6	37,6
К ₆₀	10,5	57,6	10,5	57,6	9,0	54,0	8,7	48,3
К ₆₀ +N ₃₀	12,7	68,0	13,0	68,0	11,8	56,5	11,9	57,0
К ₆₀ +N ₆₀	15,7	81,0	15,9	81,0	12,0	73,2	11,7	62,5
К ₆₀ +N ₉₀	13,7	61,0	10,7	61,0	12,5	59,3	10,0	62,5

Вариант	Урожайность, ц/га							
	2023				2024			
	Дикуль		Даша		Дикуль		Даша	
	Зерно	Солома	Зерно	Солома	Зерно	Солома	Зерно	Солома
$K_{60}+N_{30m}$	13,1	65,0	17,5	50,0	11,0	60,2	11,4	58,4
$K_{60}+N_{60m}$	15,9	80,4	17,1	61,5	13,7	80,5	13,7	78,6
$K_{60}+N_{90m}$	10,7	68,0	9,65	68,0	12,9	84,0	9,5	85,1
HCP_{05}^{AB}	1,6	10,8	1,7	11,8	1,0	3,0	0,9	7,3
HCP_{05}^A	8,0	54,1	8,4	59,0	2,0	5,9	2,0	14,5
HCP_{05}^B	3,2	21,6	3,4	23,6	5,0	14,7	5,0	36,3

Содержание доступных форм азота в почве (0-20 см) существенно различалась в течение всего вегетационного периода и при наступлении фенологических фаз. В проведенных нами экспериментах мы наблюдали резкое увеличение содержания доступных форм азота после внесения минеральных удобрений на всех вариантах опыта (рис.5).



Примечание: по сорту Даша 2023 г.: $HCP_{05}^{AB}=7,52$ мг/кг, $HCP_{05}^A=37,56$ мг/кг, $HCP_{05}^B=15,03$ мг/кг;
По сорту Даша 2024 г.: $HCP_{05}^{AB}=3,86$ мг/кг, $HCP_{05}^A=19,26$ мг/кг, $HCP_{05}^B=7,71$ мг/кг;
По сорту Дикуль 2024 г.: $HCP_{05}^{AB}=7,9$ мг/кг, $HCP_{05}^A=39,49$ мг/кг, $HCP_{05}^B=15,8$ мг/кг;
По сорту Даша 2024 г.: $HCP_{05}^{AB}=7,44$ мг/кг, $HCP_{05}^A=37,17$ мг/кг, $HCP_{05}^B=14,87$ мг/кг;

Примечание: по сорту Даша 2023 г.: $HCP_{05}^{AB}=10,17$ мг/кг, $HCP_{05}^A=50,85$ мг/кг, $HCP_{05}^B=20,34$ мг/кг;
По сорту Дикуль 2024 г.: $HCP_{05}^{AB}=8,67$ мг/кг, $HCP_{05}^A=43,36$ мг/кг, $HCP_{05}^B=17,34$ мг/кг;
По сорту Дикуль 2024 г.: $HCP_{05}^{AB}=7,44$ мг/кг, $HCP_{05}^A=37,17$ мг/кг, $HCP_{05}^B=14,87$ мг/кг;
По сорту Даша 2024 г.: $HCP_{05}^{AB}=3,86$ мг/кг, $HCP_{05}^A=19,26$ мг/кг, $HCP_{05}^B=7,71$ мг/кг;

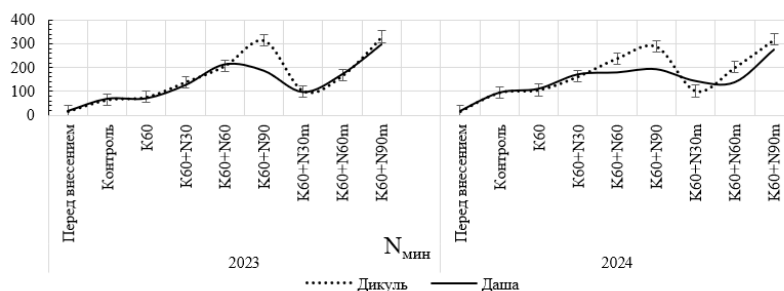


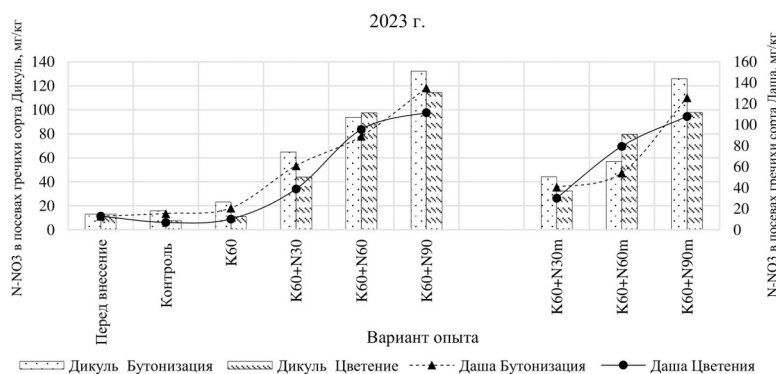
Рисунок 5 - Динамика доступных форм азота в почве в фазу всходов растений гречихи
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.25.7>

Содержание $N-NO_3$ в почве после внесения минеральных удобрений, обработанных культурой В.с. Ч-13, значительно меньше, чем на вариантах без обработки. Соответственно, в посевах гречихи В.с. Ч-13, выращиваемых при применении азотных удобрений, способен влиять на процессы нитрификации в почве. В 2023 г. увеличение содержания $N-NO_3$ в почве под посевами гречихи сорта Дикуль по отношению к контролю при внесении удобрения N_{30} увеличилось на 51%, в свою очередь при той же концентрации азотного удобрения, но обработанного культурой В.с. Ч-13 уменьшение содержания $N-NO_3$ составляет 53%. Содержание $N-NH_4$ в почве по отношению к контролю в 2023 г. в посевах гречихи сорта Дикуль увеличилось на 47 мг/кг при применении N_{30} . При применении В.с. Ч-13 (N_{30}), содержания $N-NH_4$ в почве увеличилось на 52,4 мг/кг при уменьшении содержания $N-NO_3$ на аналогичном варианте опыта. В посевах гречихи сорта Даша наблюдали схожую тенденцию трансформации $(NH_2)_2CO$ при появлении всходов.

В ходе наших исследований мы приходим к выводу, что критическим периодом в онтогенезе гречихи выступает фазы от цветения (V) до созревания (IV). Именно в эти периоды гречиха нуждается в благоприятном сочетании биотических и абиотических факторов внешней среды. К основному биотическому фактору следует отнести наличие насекомых – опылителей для растений. К сожалению, в условиях Московской области мы наблюдали тенденцию к уменьшению числа типичным опылителей гречихи, с одной стороны, и увеличение числа дополнительных опылителей. В фазу цветения гречихи вне зависимости от времени суток основными опылителями гречихи выступали: мухи-журчалки (*Syrphidae*), златоглазки (*Chrysopidae*), кокцинеллиды (*Coccinellidae*). Появление типичных опылителей медоносных пчел (*Apis mellifera*) и шмелей (*Bombus*) фиксировалось в незначительном количестве в утреннее время до полудня. Соответственно, в фазу цветения в условиях Нечерноземного региона России при частичной недостаточности насекомых опылителей, главенствующим становится абиотический фактор – климатические условия и обеспеченность питательными веществами. Гречиха нуждается в большом количестве минеральных веществ начиная с фазы бутонизации (Важов В.М., 2013). В проведенном анализе содержания доступных форм азота в почве в фазу бутонизации и цветения, мы также наблюдали схожие тенденции, что и в фазу всходов растений (рис.6).

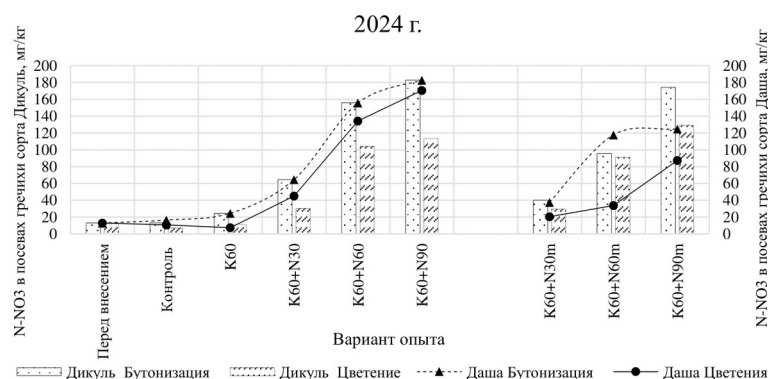
В фазу бутонизации по сорту гречихи Дикюль мы наблюдаем уменьшение содержания N-NO₃ при применении В.с. Ч-13, по сравнению с необработанным (NH₂)₂CO. В фазу цветения по двум исследуемым сортам складывается аналогичная динамика. При складывающемся водном, температурном режиме описанная тенденция складывается и в 2024 г. по двум исследуемым сортам. В фазу бутонизации в посевах гречихи обнаруживается максимальное содержание N-NO₃ в почве по сравнению с иными фенологическими фазами растений. Визуальная диагностика растений позволяет заключить, что на вариантах опыта с применением (NH₂)₂CO в целом гречихи не испытывает дефицита в азоте.

В фазу цветения содержание N-NO₃ в почве уменьшается ввиду естественных причин, связанных в том числе с процессами питания культуры. Содержание N-NO₃ в почве на вариантах, обработанных микробным удобрением, содержащим В.с. Ч-13, меньше, чем на необработанных вариантах в 2023 г. и в 2024 г. В целом в фазу цветения культура не испытывала дефицита в азотном питании.



Примечание по фазе бутонизация:
 Дикюль: НСР₀₅^{АВ}=14,44 мг/кг, НСР₀₅^А=72,21 мг/кг, НСР₀₅^В=28,88 мг/кг
 Даша: НСР₀₅^{АВ}=13,19 мг/кг, НСР₀₅^А=63,94 мг/кг, НСР₀₅^В=26,38 мг/кг.

Примечание по фазе цветения:
 Дикюль: НСР₀₅^{АВ}=10,3 мг/кг, НСР₀₅^А=31,5 мг/кг, НСР₀₅^В=20,6 мг/кг
 Даша: НСР₀₅^{АВ}=6,25 мг/кг, НСР₀₅^А=31,3 мг/кг, НСР₀₅^В=12,5 мг/кг.



Примечание по фазе бутонизация:
 Дикюль: НСР₀₅^{АВ}=5,23 мг/кг, НСР₀₅^А=26,12 мг/кг, НСР₀₅^В=10,45 мг/кг
 Даша: НСР₀₅^{АВ}=21,36 мг/кг, НСР₀₅^А=106,79 мг/кг, НСР₀₅^В=42,71 мг/кг.

Примечание по фазе цветения:
 Дикюль: НСР₀₅^{АВ}=22,24 мг/кг, НСР₀₅^А=111,19 мг/кг, НСР₀₅^В=44,48 мг/кг
 Даша: НСР₀₅^{АВ}=17,42 мг/кг, НСР₀₅^А=87,08 мг/кг, НСР₀₅^В=34,84 мг/кг.

Рисунок 6 - Динамика доступных форм азота в дерново-подзолистой почве в фазу бутонизации растений гречихи
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.25.8>

В 2023 г. и в 2024 г. содержание N-NO₃ в почве меньше, чем содержание N-NH₄. В литературе имеются сведения, показывающие, что гречиху можно отнести к аммонийлюбивым растениям. Соответственно, применение микробного удобрения, содержащим культуру В.с. Ч-13, благоприятно сказывается как на азотное питание растений, так и на процессы трансформации азотного удобрения - (NH₂)₂CO в почве (рис. 7).

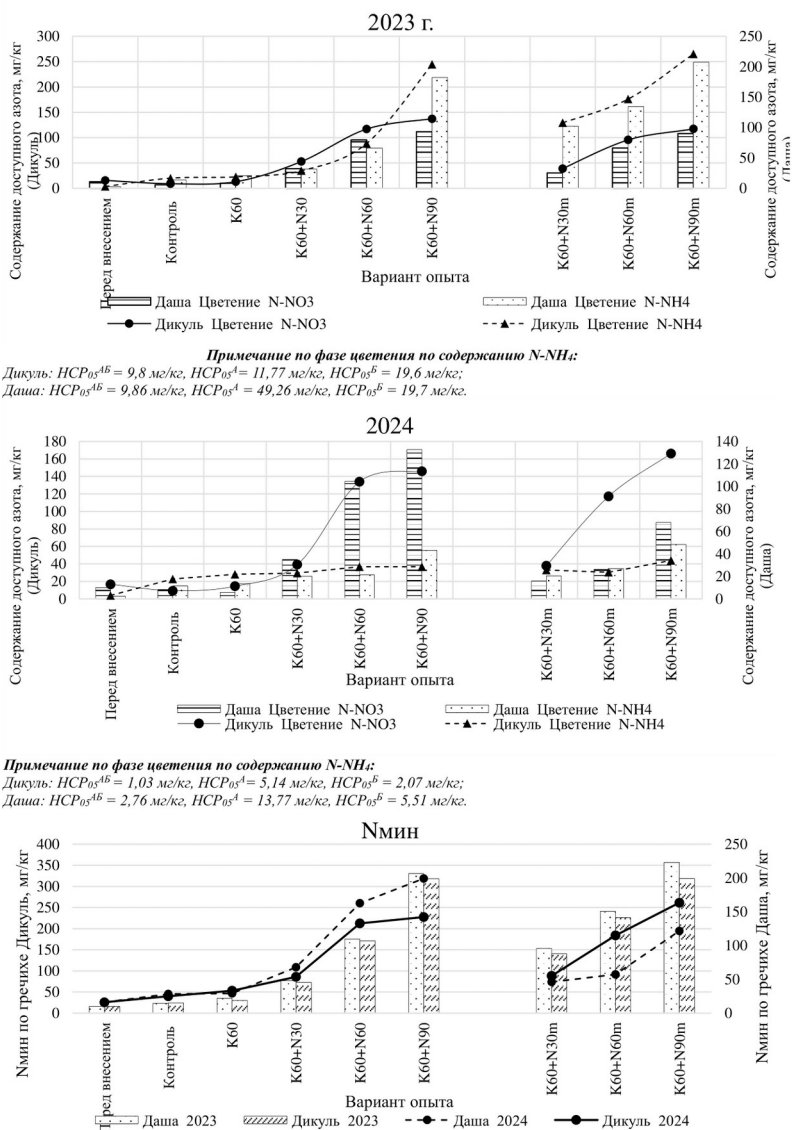


Рисунок 7 - Содержание N-NH₄ в почве в фазу цветения гречихи исследуемых сортов
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.25.9>

В 2024 г. ввиду изменения погодных условий (увеличение количества осадков и др.) динамика минерального азота была несколько другой. Содержание N-NO₃, N-NH₄ в почве была несколько ниже, чем в 2023 г. Данный факт отразился на питании культуры – уменьшением урожайности по сравнению с 2023 г. Проведение корреляционного анализа позволило установить влияние содержания Nmin на урожайность гречихи исследуемых сортов (рис. 8).

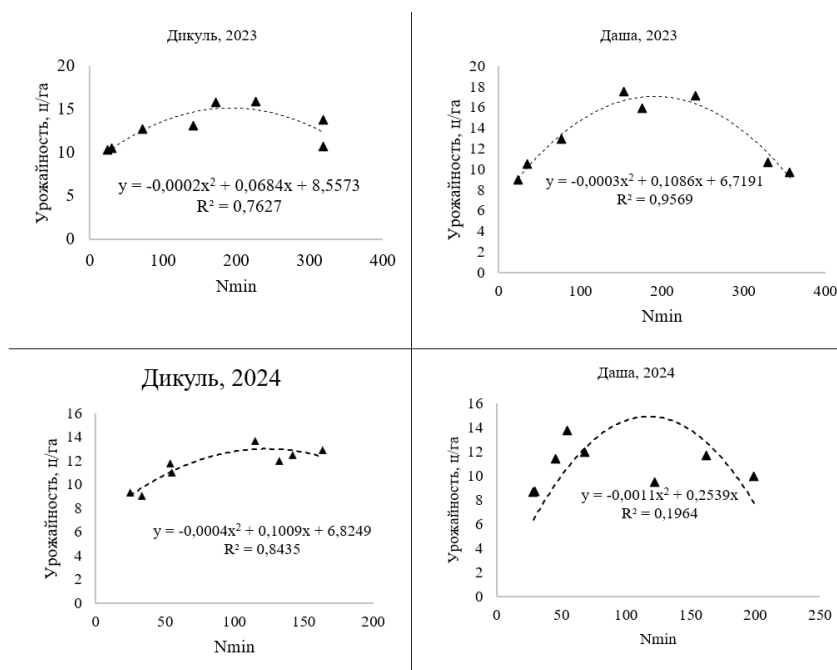


Рисунок 8 - Зависимость урожайности зерна (Y) от содержания минерального азота (X) в 2023-2024 гг
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.25.10>

Примечание: фаза цветения, глубина 0-20 см

Проведенный корреляционный анализ показывает слабую зависимость между урожайностью зерна гречихи исследуемых сортов и содержанием доступных форм азота в почве. Наибольшая зависимость между урожайностью культуры и содержанием Nmin в почве получена по сорту Даша в 2023 г., данная тенденция в 2024 г. не наблюдалась. Сорт Дикюль более отзывчив на содержание Nmin в почве под посевами при сравнении с сортом Даша. Проведенное исследование позволяет установить, что почвенная диагностика азотного питания растений не всегда характеризует конечную урожайность растений гречихи, поэтому возникает потребность в учете иных факторов (в т.ч. биоразнообразии энтомофауны, температурный и водные режим, количество абортированных семян и др.). В целом для урожайности культуры благоприятное содержание доступных форм азота в почве можно отметить: для сорта Дикюль – 2024 г., для сорта Даша – 2023 г.

Заключение

Растянность периода фенологических фаз растений гречихи в условиях Московской области при применении азотных удобрений достаточно негативно влияет в целом на растение. При высоких дозах азотных удобрений (N₉₀) мы наблюдаем увеличение вегетационного периода гречихи, в свою очередь такая же тенденция наблюдается и при применении микробного удобрения, содержащее культуру B.s. Ч-13. При применении азотных удобрений, в т.ч. в биомодифицированной форме стоит учитывать их трансформацию в почве в критическую фазу развития – бутонизация и цветение. Наши исследования показали, что B.s. Ч-13 оказывает влияние на динамику N-NO₃ в почве в посевах гречихи, кроме того, увеличение содержания N-NO₃ в почве, вероятно, приводит к увеличению биомассы, которая негативным образом складывается на урожайность зерна исследуемых сортов. Гречиха крайне сложный объект для проведения опытов, на конечную урожайность которой влияет не только применение удобрений, но и целый ряд абиотических факторов. Абиотические факторы, наблюдаемые в Московской области, в целом угнетают культуру.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Важов В.М. Гречиха на полях Алтая / В.М. Важов. — 2013. — ISBN: 978-5-91327-229-4

2. Важов В.М. Эффективность подкормок и опыления гречихи в Лесостепи Алтая / В.М. Важов // Земледелие. — 2013. — № 1. — С. 35–36.
3. Дубенок Н.Н. Формирование продукционного потенциала гречихи (*Fagopyrum esculentum* L.) в зависимости от уровня минерального питания и способа посева / Н.Н. Дубенок, О.А. Заяц, Е.А. Стрижакова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. — 2017. — № 6. — С. 29–41.
4. Ерохин А.И. Эффективность применения биопрепарата Агат-25 при обработке семян гречихи и кормовых бобов / А.И. Ерохин, Т.С. Наумкина // Зернобобовые и крупяные культуры. — 2013. — № 3 (7). — С. 51–53.
5. Жаркова С.В. Развитие растений гречихи в зависимости от предшественника / С.В. Жаркова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. — 2021. — № 6-2. — С. 94–96.
6. Завалин А.А. Управление азотным питанием растений в почве / А.А. Завалин [и др.] // Агротехнический вестник. — 2012. — № 4. — С. 38–40.
7. Завалин А.А. Развитие агрохимических исследований с изотопом ^{15}N в России / А.А. Завалин, О.А. Соколов, Н.Я. Шмырева // Плодородие. — 2021. — № 3 (120). — С. 56–62.
8. Завалин А.А. Повышение эффективности минеральных удобрений при их биомодификации препаратом БисолбиФит / А.А. Завалин, Л.С. Чернова, А.Ю. Гаврилова // Плодородие. — 2014. — № 6 (81). — С. 6–8.
9. Зотиков В.И. О повышении эффективности производства зерна гречихи в России / В.И. Зотиков, З.И. Глазова // Зернобобовые и крупяные культуры. — 2015. — № 1 (13). — С. 75–78.
10. Конончук В.В. Источники азота и диагностика азотного питания озимой пшеницы в полевом севообороте на дерново-подзолистой почве / В.В. Конончук, М.В. Бородуля // Агротехнический вестник. — 2012. — № 1. — С. 8–11.
11. Конончук В.В. Затраты удобрений на увеличение запасов нитратного азота в почве под зерновыми культурами в Центральном Нечерноземье / В.В. Конончук, В.Д. Штырхунов // Достижения науки и техники АПК. — 2015. — Т. 29. — № 12. — С. 76–79.
12. Костин Я.В. Агроэкологическая эффективность биопрепарата Экстрасол при выращивании ячменя / Я.В. Костин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. — 2017. — № 3 (35). — С. 34–38.
13. Котова К.Н. Эффективность внесения микробного препарата БакСиб и органических удобрений под культуру гречихи / К.Н. Котова // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. — 2007. — № 8. — С. 15–18.
14. Кудеяров В.Н. Эмиссионный фактор закиси азота при применении азотных удобрений в земледелии России / В.Н. Кудеяров // Агротехника. — 2021. — № 11. — С. 3–15.
15. Кумейко Ю.В. Применение ингибитора нитрификации для снижения потерь азота и повышения эффективности азотного удобрения в рисоводстве / Ю.В. Кумейко, В.Н. Парашенко, Н.М. Кремзин // Сельскохозяйственный журнал. — 2013. — Т. 3. — № 6. — С. 144–147.
16. Магафурова Ф.Ф. Действие и последствие минеральных удобрений на урожайность гречихи в Предуральской степи Республики Башкортостан / Ф.Ф. Магафурова, В.В. Хуснутдинов, Ф.А. Давлетов // Достижения науки и техники АПК. — 2019. — Т. 33. — № 9. — С. 21–23.
17. Макаров В.И. Нитрификационная способность почв Удмуртии / В.И. Макаров // Плодородие. — 2016. — № 6 (93). — С. 42–44.
18. Макаров В.И. Связь форм аммония с агрохимическими свойствами почв в Нижневятском природно-сельскохозяйственном округе / В.И. Макаров, А.Н. Исупов // Агротехнический вестник. — 2020. — № 5. — С. 65–70.
19. Масленникова В.С. Влияние бактерий рода *Bacillus* на почвенную микробиоту при предпосадочной обработке картофеля / В.С. Масленникова [и др.] // Плодородие. — 2022. — № 1 (124). — С. 50–53.
20. Нарушева Е.А. Влияние органо-минеральных удобрений и биопрепаратов на урожайность и качество зерна гречихи в среднем Поволжье / Е.А. Нарушева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2011. — Т. 79. — № 5. — С. 20–24.
21. Новиков В.М. Влияние гороха и гречихи на плодородие почвы и продуктивность звена севооборота при различной основной обработке почвы / В.М. Новиков // Зернобобовые и крупяные культуры. — 2012. — № 2. — С. 72–76.
22. Новосёлов С.И. Влияние агроэкологических условий на аммонифицирующую и нитрифицирующую способность почвы / С.И. Новосёлов // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». — 2015. — № 4. — С. 42–46.
23. Пищик В.Н. Влияние бактерий *Bacillus subtilis* на физиологическое состояние растений пшеницы и микробоценоз почвы при использовании различных доз азотных удобрений / В.Н. Пищик [и др.] // Почвоведение. — 2015. — № 1. — С. 87–94.
24. Савицкий К.А. Гречиха / К.А. Савицкий. — М.: Колос, 1970. — С. 45–92.
25. Сырмолот О.В. Экстрасол и продуктивность сои в Приморском крае / О.В. Сырмолот // Земледелие. — 2013. — № 3. — С. 39–40.
26. Титова В.И. Влияние азота и микробиопрепарата Экстрасол на продуктивность люпина узколистного / В.И. Титова, Т.Е. Судакова // Плодородие. — 2021. — № 5 (122). — С. 76–80.
27. Трофимов И.Т. Отношение сельскохозяйственных культур к почвенной кислотности и повышения их продуктивности / И.Т. Трофимов, Л.А. Ступина // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2006. — № 2. — С. 20–24.
28. Фесенко Н.В. Селекция и семеноводство гречихи / Н.В. Фесенко. — М.: Колос, 1983. — 191 с.
29. Фесенко А.Н. Устойчивость к осыпанию сортов гречихи различного морфотипа / А.Н. Фесенко, О.В. Бирюкова, О.А. Шипулин // Земледелие. — 2016. — № 5. — С. 46–48.

30. Цыбулько Н.Н. Влияние форм азотных удобрений на потребление растениями азота почвы и удобрения (по данным исследований с 15N) / Н.Н. Цыбулько, И.И. Жукова // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2023. — № 1. — С. 116–121.
31. Цыганов А.Р. Агрономическая и экономическая эффективность применения макроудобрений, эпина и бора в посевах гречихи сорта Лакнея / А.Р. Цыганов, И.В. Полховская // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2016. — № 2. — С. 51–54.
32. Шафран С.А. Баланс азота в земледелии России и его регулирование в современных условиях / С.А. Шафран // Агрохимия. — 2020. — № 6. — С. 14–21.
33. Щур А.В. Нитрификационная активность почв при различных уровнях агротехнического воздействия / А.В. Щур, Д.В. Виноградов, В.П. Валько [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. — 2015. — № 2 (26). — С. 21–26.
34. Dimkpa C.O. Development of fertilizers for enhanced nitrogen use efficiency — Trends and perspectives / C.O. Dimkpa [et al.] // Science of the Total Environment. — 2020. — Vol. 731. — P. 139113.
35. Ehrenfeld J.G. Feedback in the plant-soil system / J.G. Ehrenfeld, B. Ravit, K. Elgersma // Annu. Rev. Environ. Resour. — 2005. — Vol. 30. — № 1. — P. 75–115.
36. Fang X. Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the leaf photosynthetic characteristics, agronomic traits and grain yield in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) / X. Fang [et al.] // Field Crops Research. — 2018. — Vol. 219. — P. 160–168.
37. Frink C.R. Nitrogen fertilizer: retrospect and prospect / C.R. Frink, P.E. Waggoner, J.H. Ausubel // Proceedings of the National Academy of Sciences. — 1999. — Vol. 96. — № 4. — P. 1175–1180.
38. Gao L. Relationship between nitrogen fertilizer and structural, pasting and rheological properties on common buckwheat starch / L. Gao [et al.] // Food Chemistry. — 2022. — Vol. 389. — P. 132664.
39. Grzyb A. The significance of microbial transformation of nitrogen compounds in the light of integrated crop management / A. Grzyb, A. Wolna-Maruwka, A. Niewiadomska // Agronomy. — 2021. — Vol. 11. — № 7. — P. 1415.
40. Issifu S. Biological Nitrification Inhibitors with Antagonistic and Synergistic Effects on Growth of Ammonia Oxidisers and Soil Nitrification / S. Issifu [et al.] // Microbial Ecology. — 2024. — Vol. 87. — № 1. — P. 1–11.
41. Li Y. Nitrification and nitrifiers in acidic soils / Y. Li [et al.] // Soil Biology and Biochemistry. — 2018. — Vol. 116. — P. 290–301.
42. Linquist B.A. Fertilizer management practices and greenhouse gas emissions from rice systems: a quantitative review and analysis / B.A. Linquist [et al.] // Field Crops Research. — 2012. — Vol. 135. — P. 10–21.
43. Mur L.A.J. Moving nitrogen to the centre of plant defence against pathogens / L.A.J. Mur [et al.] // Annals of botany. — 2017. — Vol. 119. — № 5. — P. 703–709.
44. Sun B.O. Application of biofertilizer containing *Bacillus subtilis* reduced the nitrogen loss in agricultural soil / B.O. Sun [et al.] // Soil Biology and Biochemistry. — 2020. — Vol. 148. — P. 107911.
45. Verbaendert I. Denitrification is a common feature among members of the genus *Bacillus* / I. Verbaendert [et al.] // Systematic and Applied Microbiology. — 2011. — Vol. 34. — № 5. — P. 385–391.
46. Wan C. Proteomics characterization of the synthesis and accumulation of starch and amino acid driven by high-nitrogen fertilizer in common buckwheat / C. Wan [et al.] // Food Research International. — 2022. — Vol. 162. — P. 112067.
47. Wan C. Insights into starch synthesis and amino acid composition of common buckwheat in response to phosphate fertilizer management strategies / C. Wan [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. — 2024. — Vol. 275. — P. 133587.
48. Wang Yan W.Y. Effect of different nitrogen application amount on growth and yield of common buckwheat / W.Y. Wang Yan [et al.]. — 2018.
49. Xuan W. Plant nitrogen nutrition: sensing and signaling / W. Xuan, T. Beeckman, G. Xu // Current Opinion in Plant Biology. — 2017. — Vol. 39. — P. 57–65.
50. Yang T. Insight into the denitrification mechanism of *Bacillus subtilis* JD-014 and its application potential in bioremediation of nitrogen wastewater / T. Yang [et al.] // Process Biochemistry. — 2021. — Vol. 103. — P. 78–86.
51. Zayed O. Nitrogen journey in plants: From uptake to metabolism, stress response, and microbe interaction / O. Zayed [et al.] // Biomolecules. — 2023. — Vol. 13. — № 10. — P. 1443.
52. Zhang S. Nitrogen as a regulator for flowering time in plant / S. Zhang [et al.] // Plant and Soil. — 2022. — Vol. 480. — № 1. — P. 1–29.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vazhov V.M. Grechiha na poljah Altaja [Buckwheat in the fields of Altai] / V.M. Vazhov. — 2013. — ISBN: 978-5-91327-229-4 [in Russian]
2. Vazhov V.M. Jefferktivnost' podkormok i opylenija grechihi v Lesostepi Altaja [Effectiveness of fertilisation and pollination of buckwheat in the Altai Forest Steppe] / V.M. Vazhov // Zemledelie [Land farming]. — 2013. — № 1. — P. 35–36. [in Russian]
3. Dubenok N.N. Formirovanie produkcionnogo potenciala grechihi (*Fagopyrum esculentum* L.) v zavisimosti ot urovnja mineral'nogo pitaniya i sposoba poseva [Formation of productive potential of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* L.) depending on the level of mineral nutrition and sowing method] / N.N. Dubenok, O.A. Zajac, E.A. Strizhakova // Izvestija Timirjazevskej sel'skohozjajstvennoj akademii [Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy]. — 2017. — № 6. — P. 29–41. [in Russian]
4. Erohin A.I. Jefferktivnost' primenenija biopreparata Agat-25 pri obrabotke semjan grechihi i kormovyh bobov [Efficiency of Agat-25 biodrug application in the treatment of buckwheat and fodder bean seeds] / A.I. Erohin, T.S.

- Naumkina // Zernobobovye i krupjanye kul'tury [Grain legumes and cereal crops]. — 2013. — № 3 (7). — P. 51–53. [in Russian]
5. Zharkova S.V. Razvitie rastenij grechihi v zavisimosti ot predshestvennika [Development of buckwheat plants depending on the precursor] / S.V. Zharkova // Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk [International Journal of Humanities and Natural Sciences]. — 2021. — № 6-2. — P. 94–96. [in Russian]
 6. Zavalin A.A. Upravlenie azotnym pitaniem rastenij v pochve [Management of nitrogen nutrition of plants in the soil] / A.A. Zavalin [et al.] // Agrohimičeskij vestnik [Agrochemical Bulletin]. — 2012. — № 4. — P. 38–40. [in Russian]
 7. Zavalin A.A. Razvitie agrohimičeskikh issledovanij s izotopom ^{15}N v Rossii [Development of agrochemical research with ^{15}N isotope in Russia] / A.A. Zavalin, O.A. Sokolov, N.Ja. Shmyreva // Plodorodie [Fertility]. — 2021. — № 3 (120). — P. 56–62. [in Russian]
 8. Zavalin A.A. Povyshenie jeffektivnosti mineral'nyh udobrenij pri ih biomodifikacii preparatom BisolbiFit [Increase of efficiency of mineral fertilisers at their biomodification by BisolbiFit drug] / A.A. Zavalin, L.S. Chernova, A.Ju. Gavrilova // Plodorodie [Fertility]. — 2014. — № 6 (81). — P. 6–8. [in Russian]
 9. Zotikov V.I. O povyšenii jeffektivnosti proizvodstva zerna grechihi v Rossii [On increasing the efficiency of buckwheat grain production in Russia] / V.I. Zotikov, Z.I. Glazova // Zernobobovye i krupjanye kul'tury [Grain legumes and cereal crops]. — 2015. — № 1 (13). — P. 75–78. [in Russian]
 10. Kononchuk V.V. Istočniki azota i diagnostika azotnogo pitanija ozimoj pšenicy v polevom sevooborote na dervno-podzolic soil [Nitrogen sources and diagnostics of nitrogen nutrition of winter wheat in field crop rotation on sod-podzolic soil] / V.V. Kononchuk, M.V. Borodulja // Agrohimičeskij vestnik [Agrochemical Bulletin]. — 2012. — № 1. — P. 8–11. [in Russian]
 11. Kononchuk V.V. Zatraty udobrenij na uveličenie zapasov nitratnogo azota v pochve pod zernovymi kul'turami v Central'nom Nechernozem'e [Costs of fertilisers to increase nitrate nitrogen reserves in the soil under grain crops in the Central Non-Black Earth Region] / V.V. Kononchuk, V.D. Shtyrhunov // Dostizhenija nauki i tehniki APK [Achievements of Science and Technology of Agroindustrial Complex]. — 2015. — Vol. 29. — № 12. — P. 76–79. [in Russian]
 12. Kostin Ja.V. Agrojekologičeskaja jeffektivnost' biopreparata Jekstrasol pri vyrashhivanii jachmenja [Agroecological efficiency of the biopreparation Extrasol in barley cultivation] / Ja.V. Kostin [et al.] // Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologičeskogo universiteta im. PA Kostyčeva [Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after PA Kostychev]. — 2017. — № 3 (35). — P. 34–38. [in Russian]
 13. Kotova K.N. Jeffektivnost' vnesenija mikrobnogo preparata BakSib i organičeskikh udobrenij pod kul'turu grechihi [Effectiveness of microbial preparation BacSib and organic fertilisers for buckwheat crop] / K.N. Kotova // Sibirskij vestnik sel'skohozjajstvennoj nauki [Siberian Bulletin of Agricultural Science]. — 2007. — № 8. — P. 15–18. [in Russian]
 14. Kudejarov V.N. Jemissionnyj faktor zakisi azota pri primenenii azotnyh udobrenij v zemledelii Rossii [Emission factor of nitrous oxide at application of nitrogen fertilisers in Russian agriculture] / V.N. Kudejarov // Agrohimiija [Agrochemistry]. — 2021. — № 11. — P. 3–15. [in Russian]
 15. Kumejko Ju.V. Primenenie ingibitora nitrifikacii dlja sniženija poter' azota i povyšenija jeffektivnosti azotnogo udobrenija v risovodstve [Application of nitrification inhibitor to reduce nitrogen losses and increase the efficiency of nitrogen fertiliser in rice farming] / Ju.V. Kumejko, V.N. Parashhenko, N.M. Kremzin // Sel'skohozjajstvennyj zhurnal [Agricultural Journal]. — 2013. — Vol. 3. — № 6. — P. 144–147. [in Russian]
 16. Magafurova F.F. Dejstvie i posledejstvie mineral'nyh udobrenij na urozhajnost' grechihi v Predural'skoj stepi Respubliki Bashkortostan [Effect and after-effect of mineral fertilisers on buckwheat yield in the Pre-Ural steppe of the Republic of Bashkortostan] / F.F. Magafurova, V.V. Husnutdinov, F.A. Davletov // Dostizhenija nauki i tehniki APK [Achievements of Science and Technology of the Agroindustrial Complex]. — 2019. — Vol. 33. — № 9. — P. 21–23. [in Russian]
 17. Makarov V.I. Nitrifikacionnaja sposobnost' pochv Udmurtii [Nitrification capacity of the soils of Udmurtia] / V.I. Makarov // Plodorodie [Fertility]. — 2016. — № 6 (93). — P. 42–44. [in Russian]
 18. Makarov V.I. Svjaz' form ammonija s agrohimičeskimi svojstvami pochv v Nizhnevjatskom prirodno-sel'skohozjajstvennom okruge [Relationship of ammonium forms with agrochemical properties of soils in Nizhnevjatsky natural-agricultural district] / V.I. Makarov, A.N. Isupov // Agrohimičeskij vestnik [Agrochemical Bulletin]. — 2020. — № 5. — P. 65–70. [in Russian]
 19. Maslennikova V.S. Vlijanie bakterij roda Bacillus na pochvennuju mikrobiotu pri predposadočnoj obrabotke kartofelja [Influence of bacteria of the genus Bacillus on soil microbiota during potato pre-planting treatment] / S.V. Maslennikova [et al.] // Plodorodie [Fertility]. — 2022. — № 1 (124). — P. 50–53. [in Russian]
 20. Narusheva E.A. Vlijanie organo-mineral'nyh udobrenij i biopreparatov na urozhajnost' i kachestvo zerna grechihi v srednem Povolzh'e [Influence of organic-mineral fertilisers and biodrugs on yield and quality of buckwheat grain in the middle Volga region] / E.A. Narusheva // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Altai State Agrarian University]. — 2011. — Vol. 79. — № 5. — P. 20–24. [in Russian]
 21. Novikov V.M. Vlijanie goroha i grechihi na plodorodie pochvy i produktivnost' zvena sevooborota pri različnoj osnovnoj obrabotke pochvy [Influence of peas and buckwheat on soil fertility and productivity of crop rotation under different basic tillage] / V.M. Novikov // Zernobobovye i krupjanye kul'tury [Leguminous and cereal crops]. — 2012. — № 2. — P. 72–76. [in Russian]
 22. Novosjolov S.I. Vlijanie agrojekologičeskikh uslovij na ammonificirujushhuju i nitrificirujushhuju sposobnost' pochvy [Influence of agroecological conditions on ammonifying and nitrifying capacity of soil] / S.I. Novosjolov // Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija «Sel'skohozjajstvennye nauki. Jekonomičeskije nauki» [Bulletin of Mari State University. Series 'Agricultural sciences. Economic Sciences']. — 2015. — № 4. — P. 42–46. [in Russian]
 23. Pishhik V.N. Vlijanie bakterij Bacillus subtilis na fiziologičeskoe sostojanie rastenij pšenicy i mikrobocenz pochvy pri ispol'zovanii različnyh doz azotnyh udobrenij [Influence of Bacillus subtilis bacteria on the physiological state of

- wheat plants and soil microbocenosis when using different doses of nitrogen fertilizers] / V.N. Pishhik [et al.] // *Pochvovedenie [Soil Science]*. — 2015. — № 1. — P. 87–94. [in Russian]
24. Savickij K.A. Grechiha [Buckwheat] / K.A. Savickij. — M.: Kolos, 1970. — P. 45–92. [in Russian]
25. Syrmolot O.V. Jekstrasol i produktivnost' soi v Primorskom krae [Extrasol and productivity of soybean in Primorsky Krai] / O.V. Syrmolot // *Zemledelie [Land farming]*. — 2013. — № 3. — P. 39–40. [in Russian]
26. Titova V.I. Vlijanie azota i mikrobiopreparata Jekstrasol na produktivnost' ljupina uzkolistogo [Influence of nitrogen and microbiopreparation Extrasol on the productivity of narrow-leaved lupine] / V.I. Titova, T.E. Sudakova // *Plodorodie [Fertility]*. — 2021. — № 5 (122). — P. 76–80. [in Russian]
27. Trofimov I.T. Otnoshenie sel'skohozjajstvennyh kul'tur k pochvennoj kislotnosti i povyshenija ih produktivnosti [Attitude of agricultural crops to soil acidity and increasing their productivity] / I.T. Trofimov, L.A. Stupina // *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Altai State Agrarian University]*. — 2006. — № 2. — P. 20–24. [in Russian]
28. Fesenko N.V. Selekcija i semenovodstvo grechih [Buckwheat breeding and seed production] / N.V. Fesenko. — M.: Kolos, 1983. — 191 p. [in Russian]
29. Fesenko A.N. Ustojchivost' k osypaniju sortov grechih razlichnogo morfotipa [Resistance to shattering of buckwheat varieties of different morphotypes] / A.N. Fesenko, O.V. Birjukova, O.A. Shipulin // *Zemledelie [Agriculture]*. — 2016. — № 5. — P. 46–48. [in Russian]
30. Cybul'ko N.N. Vlijanie form azotnyh udobrenij na potreblenie rastenijami azota pochvy i udobrenija (po dannym issledovanij s 15N) [Influence of forms of nitrogen fertilisers on plant consumption of soil nitrogen and fertiliser (according to studies with 15N)] / N.N. Cybul'ko, I.I. Zhukova // *Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii [Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy]*. — 2023. — № 1. — P. 116–121. [in Russian]
31. Cyganov A.R. Agronomicheskaja i jekonomicheskaja jeffektivnost' primeneniya makroudobrenij, jepina i bora v posevah grechih sorta Lakneja [Agronomic and economic efficiency of macrofertiliser, epin and boron application in buckwheat crops of Lakneja variety] / A.R. Cyganov, I.V. Polhovskaja // *Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii [Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy]*. — 2016. — № 2. — P. 51–54. [in Russian]
32. Shafran S.A. Balans azota v zemledelii Rossii i ego regulirovanie v sovremennyh uslovijah [Nitrogen balance in Russian agriculture and its regulation in modern conditions] / S.A. Shafran // *Agrohimiya [Agrochemistry]*. — 2020. — № 6. — P. 14–21. [in Russian]
33. Shhur A.V. Nitrifikacionnaja aktivnost' pochv pri razlichnyh urovnjah agrotehnicheskogo vozdejstviya [Nitrification activity of soils at different levels of agrotechnical impact] / A.V. Shhur, D.V. Vinogradov, V.P. Val'ko [et al.] // *Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta im. PA Kostycheva [Bulletin of Ryazan State Agrotechnological University named after PA Kostychev]*. — 2015. — № 2 (26). — P. 21–26. [in Russian]
34. Dimkpa C.O. Development of fertilizers for enhanced nitrogen use efficiency — Trends and perspectives / C.O. Dimkpa [et al.] // *Science of the Total Environment*. — 2020. — Vol. 731. — P. 139113.
35. Ehrenfeld J.G. Feedback in the plant-soil system / J.G. Ehrenfeld, B. Ravit, K. Elgersma // *Annu. Rev. Environ. Resour.* — 2005. — Vol. 30. — № 1. — P. 75–115.
36. Fang X. Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the leaf photosynthetic characteristics, agronomic traits and grain yield in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) / X. Fang [et al.] // *Field Crops Research*. — 2018. — Vol. 219. — P. 160–168.
37. Frink C.R. Nitrogen fertilizer: retrospect and prospect / C.R. Frink, P.E. Waggoner, J.H. Ausubel // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. — 1999. — Vol. 96. — № 4. — P. 1175–1180.
38. Gao L. Relationship between nitrogen fertilizer and structural, pasting and rheological properties on common buckwheat starch / L. Gao [et al.] // *Food Chemistry*. — 2022. — Vol. 389. — P. 132664.
39. Grzyb A. The significance of microbial transformation of nitrogen compounds in the light of integrated crop management / A. Grzyb, A. Wolna-Maruwka, A. Niewiadomska // *Agronomy*. — 2021. — Vol. 11. — № 7. — P. 1415.
40. Issifu S. Biological Nitrification Inhibitors with Antagonistic and Synergistic Effects on Growth of Ammonia Oxidisers and Soil Nitrification / S. Issifu [et al.] // *Microbial Ecology*. — 2024. — Vol. 87. — № 1. — P. 1–11.
41. Li Y. Nitrification and nitrifiers in acidic soils / Y. Li [et al.] // *Soil Biology and Biochemistry*. — 2018. — Vol. 116. — P. 290–301.
42. Linquist B.A. Fertilizer management practices and greenhouse gas emissions from rice systems: a quantitative review and analysis / B.A. Linquist [et al.] // *Field Crops Research*. — 2012. — Vol. 135. — P. 10–21.
43. Mur L.A.J. Moving nitrogen to the centre of plant defence against pathogens / L.A.J. Mur [et al.] // *Annals of botany*. — 2017. — Vol. 119. — № 5. — P. 703–709.
44. Sun B.O. Application of biofertilizer containing *Bacillus subtilis* reduced the nitrogen loss in agricultural soil / B.O. Sun [et al.] // *Soil Biology and Biochemistry*. — 2020. — Vol. 148. — P. 107911.
45. Verbaendert I. Denitrification is a common feature among members of the genus *Bacillus* / I. Verbaendert [et al.] // *Systematic and Applied Microbiology*. — 2011. — Vol. 34. — № 5. — P. 385–391.
46. Wan C. Proteomics characterization of the synthesis and accumulation of starch and amino acid driven by high-nitrogen fertilizer in common buckwheat / C. Wan [et al.] // *Food Research International*. — 2022. — Vol. 162. — P. 112067.
47. Wan C. Insights into starch synthesis and amino acid composition of common buckwheat in response to phosphate fertilizer management strategies / C. Wan [et al.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. — 2024. — Vol. 275. — P. 133587.
48. Wang Yan W.Y. Effect of different nitrogen application amount on growth and yield of common buckwheat / W.Y. Wang Yan [et al.]. — 2018.

49. Xuan W. Plant nitrogen nutrition: sensing and signaling / W. Xuan, T. Beeckman, G. Xu // *Current Opinion in Plant Biology*. — 2017. — Vol. 39. — P. 57–65.
50. Yang T. Insight into the denitrification mechanism of *Bacillus subtilis* JD-014 and its application potential in bioremediation of nitrogen wastewater / T. Yang [et al.] // *Process Biochemistry*. — 2021. — Vol. 103. — P. 78-86.
51. Zayed O. Nitrogen journey in plants: From uptake to metabolism, stress response, and microbe interaction / O. Zayed [et al.] // *Biomolecules*. — 2023. — Vol. 13. — № 10. — P. 1443.
52. Zhang S. Nitrogen as a regulator for flowering time in plant / S. Zhang [et al.] // *Plant and Soil*. — 2022. — Vol. 480. — № 1. — P. 1–29.