



Научная статья

УДК 633.12+631.841.7+631.86

doi: 10.55186/25876740\_2025\_68\_7\_944

## 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

Российский государственный аграрный университет —  
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

**Аннотация.** В статье представлены результаты двухлетних полевых исследований (2023–2024 гг.), направленных на выявление ключевых факторов, определяющих урожайность сортов гречихи Диколь и Даша в условиях применения традиционной мочевины и мочевины, обработанной культурой *B.s.* Ч-13. Цель исследования — оценить влияние мочевины, инокулированной штаммом *Bacillus subtilis* Ч-13, на активацию фотосинтетического аппарата у растений гречихи различных лет селекции, а также выявить зависимость эффективности стимуляции от физиологических особенностей сортов, обусловленных их селекционной историей. Установлено, что продуктивность культуры лишь на 50% зависит от степени развития фотосинтетического аппарата, оцениваемой через соотношение  $\Sigma \text{Хл}/\text{Карот}$  (сумма хлорофиллов а и б к каротиноидам). Для сорта Диколь превышение дозы ( $N_{90}$ ) приводит к снижению урожайности зерна (2023: 13.7 ц/га; 2024: 12.5 ц/га) и увеличению доли соломы (2023: 61.0 ц/га; 2024: 59.3 ц/га), что связано с дисбалансом  $\Sigma \text{Хл}/\text{Карот}$  ( $>13$ ) и перераспределением ассимилятов в вегетативную массу. Для сорта Даша применение модифицированной мочевины в дозе  $N_{60}$  повышает урожайность на 8–10% по сравнению с немодифицированным карбамидом в той же дозе, вероятно, за счет улучшения фотосинтетической активности ( $\Sigma \text{Хл}/\text{Карот} \sim 10\text{--}11$ ).

**Ключевые слова:** гречиха, хлорофилл а, хлорофилл b, мочевина, *B.s.* Ч-13, фотосинтез, площадь листьев

Original article

## STIMULATION OF THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS IN BUCKWHEAT PLANTS OF DIFFERENT YEARS OF SELECTION UNDER THE INFLUENCE OF UREA INNOCULATED BY THE BACTERIUM *BACILLUS SUBTILIS* CH-13

R.G. Ivanov, A.N. Naliuhin, S.L. Belopuhov

Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev  
Agricultural Academy, Moscow, Russia

**Abstract.** The article presents the results of a two-year field study (2023–2024) aimed at identifying the key factors that determine the yield of buckwheat varieties Dikul and Dasha under the conditions of the use of traditional urea and urea treated with the *B.s.* Ch-13 crop. It has been established that the productivity of the crop depends only 50% on the degree of development of the photosynthetic apparatus, estimated through the ratio  $\Sigma \text{ChL}/\text{carote}$  (the sum of chlorophylls a and b to carotenoids). The aim of the study was to assess the effect of urea inoculated with the *Bacillus subtilis* Ch-13 strain on the activation of the photosynthetic apparatus in buckwheat plants of different breeding years, as well as to identify the dependence of stimulation efficiency on the physiological characteristics of varieties due to their breeding history. For the Dikul variety, exceeding the dose ( $N_{90}$ ) leads to a decrease in grain yield (2023: 13.7 c/ha; 2024: 12.5 c/ha) and an increase in straw (2023: 61.0 c/ha; 2024: 59.3 c/ha), which is associated with an imbalance of  $\Sigma \text{ChL}/\text{Karot}$  ( $>13$ ) and the redistribution of assimilates into the vegetative mass. For the Dasha variety, modified nitrogen ( $N_{60m}$ ) increases yields by 8–10% compared to conventional  $N_{60}$ , probably due to improved photosynthetic activity ( $\Sigma \text{ChL}/\text{Karot} \sim 10\text{--}11$ ).

**Keywords.** buckwheat, chlorophyll a, chlorophyll b, urea, *B.s.* Ch-13, photosynthesis, leaf area

**Введение.** Способность обеспечить пищевую и продовольственную безопасность находится под серьезной угрозой из-за постоянно растущего населения мира. Сложившаяся практика концентрации на ограниченном наборе сельскохозяйственных культур — пшенице, рисе и кукурузе — становится стратегически уязвимой, теряя способность обеспечивать устойчивое продовольственное снабжение в условиях меняющихся климатических и демографических реалий [7]. Гречиха, обладая уникальными агрономическими и питательными свойствами, способна стать ключевым элементом продовольственной системы.

Род *Fagopyrum* Mill демонстрирует значительное разнообразие в формировании асси-

миллионной поверхности листьев, что обусловлено уникальными морфобиологическими особенностями его видов [6]. Современные исследования подтверждают, что агротехнические факторы, такие как оптимизация азотных удобрений и густоты посадки, играют ключевую роль в регулировании фотосинтетической активности, развития агрономически значимых признаков и, как следствие, повышении урожайности гречихи [9].

Местные сорта лучше адаптированы к климатическим условиям с ограниченным водоснабжением, что делает их ценными для выращивания в засушливых регионах. Это особенно важно в условиях изменения климата,

где частота и интенсивность засух могут увеличиваться [5]. Это напрямую усиливает фотосинтетическую продуктивность растения, что особенно важно для накопления биомассы и формирования урожая в условиях интенсивного земледелия или стрессовых факторов среды. Применение минеральных удобрений в дозе  $N_{60P_{30}}$  увеличивает площадь листьев гречихи на 2,68–4,22 тыс. м<sup>2</sup>/га, что повышает фотосинтетический потенциал до +229 тыс. м<sup>2</sup>/га и увеличивает общую сухую биомассу посева на 2,55–2,82 т/га по сравнению с контролем [2].

Исследования Li et al. (2015) показывают, что урожайность зерна коррелирует с фотосинтетической активностью растений [12]. В фазе



всходов применение азотных удобрений обеспечило максимальное увеличение площади листовой поверхности гречихи — 5,54 см<sup>2</sup>, что на 65% превышает контрольные значения и демонстрирует преимущество над биопрепаратами. Данные подтверждают ключевую роль азота в формировании первичного фотосинтетического аппарата на ранних этапах онтогенеза культуры [1]. Исследования демонстрируют, что тип азотного питания (нитратный, аммонийный, амидный) оказывает дифференцированное влияние на фотосинтетическую активность растений, причём реакция существенно варьирует между семействами [4].

*Bacillus subtilis* выделяется как универсальный почвенный PGPR, усиливающий устойчивость растений к биотическим и абиотическим стрессам за счет синтеза липопептидов, формирования биоплёнок и активации индуцированной системной резистентности (ISR). Помимо этого, данный штамм участвует в биоремедиации, эффективно очищая почвы от тяжелых металлов, и выступает как природный денитрификатор, снижая потери азота в агросистемах [9, 19]. В литературе имеются данные, показывающие, что *Bacillus subtilis* увеличивает чистую скорость фотосинтеза семейства *Brassicaceae* (*Brassica rapa* subsp. *Chinensis*) [11]. Инокуляция растений *Bacillus subtilis* усиливает фотосинтетическую активность перца, повышая флуоресценцию хлорофилла и показатели газообмена. Улучшение фотосинтеза связано с увеличением электрон-транспортной цепи (ETR) в тилакоидных мембранах, индуцированным действием *Bacillus subtilis* [16].

Инокуляция семян редиса штаммами *Bacillus subtilis* и *Pseudomonas fluorescens* в условиях засоления приводит к достоверному увеличению содержания сырой и сухой биомассы корней и листьев, концентрации фотосинтетических пигментов (хлорофиллы, каротиноиды), а также уровня пролина, свободных аминокислот и сырого белка по сравнению с контролем. Кроме того, обработка бактериями стимулировала синтез фитогормонов — ауксинов (IAA) и гиббереллинов (GA3), что способствовало адаптации растений к солевому стрессу [14]. В исследованиях Siddika A., et al (2024) показано, что при солевом стрессе растения риса, обработанные PGPR, продемонстрировали существенно более высокое содержание фотосинтетических пигментов по сравнению с необработанными растениями, причём наибольшую эффективность продемонстрировали *Bacillus subtilis* и *B. Aryabhattai* [17].

Исследования Maslennikova D. и соавт. (2023) показали, что обработка семян пшеницы эндофитным штаммом *Bacillus subtilis* 10-4 (B5) существенно защищает фотосинтетический аппарат растений от токсического действия кадмия (Cd), предотвращая деградацию ключевых фотосинтетических пигментов (хлорофилла а, хлорофилла b и каротиноидов) и сохраняя фотосинтетическую активность при стрессе [13].

Исследование Moraes B.V. и соавт. (2025) показало, что водный дефицит угнетает фотосинтетические процессы у растений сои (*Glycine max*). Однако внесение органического компоста, обогащённого ризобактерией *Bacillus subtilis* (штамм DSM 10), компенсировало негативные последствия стресса [15].

**Методы и методология проведения исследований.** В 2023–2024 годах в Государственном гуманитарно-технологическом уни-

верситете в Московской области проведены исследования с целью определения влияния традиционной мочевины и мочевины, обработанной культурой *B.s.* Ч-13 на основные показатели деятельности фотосинтетического аппарата растений гречихи разных лет селекции. Почва опытного участка дерново-подзолистая глееватая легкосуглинистая.

В рамках исследования на участке площадью 0,01 га проведены полевые мелкоделяночные опыты. Учётная площадь одной делянки составляла 0,95 м<sup>2</sup>, повторность четырёхкратная, размещение вариантов — систематическое со смещением.

Основные агрохимические показатели почвы на опытном участке в среднем за 2023–2024 годы: pH (солевой) — 6,83 (нейтральная реакция); гидролитическая кислотность (Н<sub>г</sub>) — 2,86 мг-экв/100 г почвы; сумма поглощённых оснований (S) — 7,66 мг-экв/100 г почвы; содержание нитратного азота (N-NO<sub>3</sub>) в слое 0–20 см — 5,18 мг/кг почвы; содержание аммонийного азота (N-NH<sub>4</sub>) — 3,03 мг/кг почвы; содержание подвижного фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) по методу Кирсанова — 181 мг/кг почвы (V класс обеспеченности); содержание подвижного калия (K<sub>2</sub>O) по методу Кирсанова — 134 мг/кг почвы (IV класс — повышенное содержание); общее содержание азота (N<sub>общ</sub>) — 0,07%; содержание гумуса по методу Тюрина в модификации Симакова — 2,63%; содержание легкогидролизуемого азота (Нц.г.) по Тюрину и Кононовой — 32,5 мг/кг (II класс — низкое).

Для определения основных агрохимических показателей почвы использовались следующие методики: обменная кислотность pH (солевой) определялась по ГОСТ 26483-85; гидролитическая кислотность (Н<sub>г</sub>) — по ГОСТ 26212-2021 методом Каппена в модификации ЦИНАО; сумма поглощённых оснований — по методу Каппена-Гильковица (ГОСТ 27821-2020); содержание N-NO<sub>3</sub> — колориметрическим методом с дисульфогеновой кислотой; содержание N-NH<sub>4</sub> — колориметрическим методом по Е.В. Аринушкиной с использованием реактива Несслера; содержание подвижного фосфора и обменного калия — по методу Кирсанова (фосфор — колориметрически, калий — пламенно-фотометрически); содержание общего азота (N<sub>общ</sub>) — по ГОСТ Р 58596-2019; содержание гумуса — по методу И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова; содержание легкогидролизуемого азота — методом Тюрина и Кононовой с обработкой почвы 0,5 н раствором H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Колориметрическое определение подвижных форм азота проводилось на спектрофотометре марки ЭКОВЬО В-1200.

Схема опыта включала два фактора: фактор А — система удобрения (контроль, K<sub>60</sub>, K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub>, K<sub>60</sub>+N<sub>60</sub>, K<sub>60</sub>+N<sub>90</sub>), фактор В — система биомодифицированного удобрения (контроль, K<sub>60</sub>, K<sub>60</sub>+N<sub>30гр</sub>, K<sub>60</sub>+N<sub>60гр</sub>, K<sub>60</sub>+N<sub>90гр</sub>). Процесс биомодификации карбамида проводился вручную из расчёта 1 мл *B.s.* Ч-13 на 1 г карбамида. После этого смесь подвергалась суточной инкубации в факторостатных условиях при температуре 25 °C и без доступа света. Затем биомодифицированные удобрения вносили вручную на опытные участки.

В опытах применялись два сорта растений гречихи: Дикуль (2001) и Даша (2015). Оригинатор и патентообладатель: ФГБНУ ФНЦ зернобобовых и крупяных культур, ФГБОУ ВО «Орловский ГАУ имени Н.В. Парахина».

Для определения площади листьев использовали метод высечек. Далее осуществлялся пересчет из см<sup>2</sup> в тыс. м<sup>2</sup>/га. Показатель площади листьев применялся для определения фотосинтетического потенциала посевов. Определение фотосинтетического потенциала (ФП) посевов (тыс. м<sup>2</sup>\*дней/га) — показатель, отражающий продуктивность фотосинтеза растений.

Для определения содержания хлорофиллов а и b, а также каротиноидов применялась система уравнений Вернона. Определения содержания хлорофилла а, хлорофилла b и каротиноидов осуществлялось в спиртовых вытяжках на спектрофотометре марки ЭКОВЬО В-1200. После выполнения расчётов проводился анализ полученных данных с целью установить концентрацию пигментов в растениях.

Для статистической обработки полученных данных применялся двухфакторный дисперсионный анализ, а также корреляционный — регрессионный анализ. Сбор образцов для анализа проведен в середине фазы цветения растений гречихи, что обусловлено биохимическими пиками защитных метаболитов, физиологической активностью фотосинтетического аппарата и оптимальным балансом ресурсов. До начала наступления фазы созревания ресурсы растений направлены на вегетативные органы. После опыления начинается отток питательных веществ из листьев в семена, что снижает их биохимическую ценность.

Биологическая особенность растений гречихи состоит в том, что фенологические фазы развития накладываются одна на другую. Наступление фаз фиксировали методом визуального наблюдения, при наступлении 75% соответствующего признака. 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)

**Результаты и обсуждение.** Увеличение площади листьев при внесении мочевины связано с ролью азота как структурного элемента хлорофилла и рибуло-1,5-бисфосфаткарбоксилазы/оксигеназы. Азот стимулирует деление клеток мезофилла листа, что способствует увеличению фотосинтетической поверхности. При дефиците азота снижается синтез хлорофилла а и b, что ограничивает светособирающие комплексы (LHC) в мембранах тилакоидов. Внесение K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub>-N<sub>90</sub> восполняет пул глитамата — предшественника хлорофилла, усиливая фотосинтетическую ёмкость листа. Рост площади листьев под воздействием K<sub>60</sub>+N — результат сложного взаимодействия биохимических, клеточных и физиологических процессов. (табл.1).

По сорту гречихи Дикуль максимальная площадь листьев (730,6 тыс. м<sup>2</sup>/га) и ФП (8667,0 тыс. м<sup>2</sup>/га\*сут) достигнуты в 2024 г. на варианте опыта K<sub>60</sub>+N<sub>90гр</sub>. По сорту гречихи Даша лучшие показатели достигнуты с применением K<sub>60</sub>+N<sub>60гр</sub> также в 2024 г.: площадь листьев 701,8 тыс. м<sup>2</sup>/га, ФП — 8171,6 тыс. м<sup>2</sup>/га\*сут. Высокие дозы мочевины (90 кг/га), обработанной культурой *B.s.* Ч-13, для гречихи сорта Даша оказывают негативный эффект по показателю площади листьев (при N<sub>90</sub> площадь листьев снизилась с 701,8 (N<sub>60</sub>) до 553,0 тыс. м<sup>2</sup>/га (N<sub>90</sub>)). Наблюдается увеличение толщины стебля и избыточное ветвление главного побега. Соответственно, гречиха сорта Дикуль по показателю





площади листьев и фотосинтетическому потенциалу посевов лучше реагирует на применение высокой дозы мочевины, обработанной культурой *B.s. Ч-13*. Для гречихи сорта Даша применение повышенной дозы мочевины в сочетании с микробным удобрением нежелательно, поскольку наблюдается угнетение формирования фотосинтетического аппарата и ущерб формирования генеративных органов.

Особенности формирования листовой поверхности исследуемых сортов при применении традиционной мочевины и мочевины,

обработанной культурой *B.s. Ч-13*, определяются генетическими ресурсами культуры. Выбор между сортами зависит от экологических приоритетов хозяйства. Оптимальным может быть их комбинирование в рамках ландшафтного подхода: Диккуль на плодородных участках, Даша — на буферных зонах для снижения экологической нагрузки (уменьшение транспирации в засушливых районах и эмиссии  $N_2O$  из почвы и т.д.). Избыточная масса листьев приводит к полеганию культуры при ветре или обильных осадках, особенно на плодородных почвах, недостаточная

масса листьев приводит к уменьшению урожайности гречихи в агроклиматических условиях Московской области (табл.2).

У обоих сортов наблюдается рост массы листьев при увеличении дозы мочевины с  $N_{30}$ - $N_{90}$ . Максимальные значения достигнуты на вариантах опыта  $K_{60}+N_{90}$  и  $K_{60}+N_{90m}$ . Гречиха сорта Даша демонстрирует более высокую отзывчивость на внесение мочевины в дозе  $K_{60}+N_{90}$ , но в 2024 году данный показатель снижается.

Повышенная доза мочевины (90 кг/га), внесенная в почву под сорт гречихи Даша в 2023 году, стимулирует синтез пигментов, усиливая фотосинтетическую активность и накопление биомассы. Однако в 2024 году снижение показателя до 16,9 г/раст. может указывать на фотоокислительный стресс из-за избытка азота, что нарушает работу фотосистем. Азот необходим для синтеза аминокислот (например, глутамина) и ферментов. Рост массы листьев при  $N_{60}$ - $N_{90}$  у гречихи сорта Диккуль может быть связан с активацией нитратредуктазы и глутаминсинтетазы.

В 2024 году наблюдается снижение массы листьев при применении мочевины, обработанной культурой *B.s. Ч-13* (с 19,3 до 14,0 г/растение) вследствие энергозатрат на детоксикацию аммиака (избыток  $NH_4^+$  токсичен). Гречиха сорта Даша сохраняет динамику увеличения массы листьев при увеличении доз мочевины (9,1 г/раст. при  $N_{30}$  до 16,9 при  $N_{90}$ ), что может объясняться активностью супероксиддисмутазы и каталазы, нейтрализующих активные формы кислорода. У гречихи сорта Диккуль менее выраженная устойчивость к окислительному стрессу приводит к большему к менее выраженной динамике.

По сорту гречихи Диккуль рекомендуется использовать мочевину в сочетании с *B.s. Ч-13* для повышения массы листьев. Оптимальная доза —  $K_{60}+N_{60m}$  (15,6 г/растение в 2023 г., 11,5 г/растение в 2024 г.). Для гречихи сорта Даша рекомендуется  $K_{60}+N_{90}$ , поскольку сорт более отзывчив к высоким дозам азота при традиционной технологии. Для полной оценки продуктивности растений важно изучить содержание хлорофилла — ключевого пигмента фотосинтеза, напрямую связанного с усвоением азота, интенсивностью фотосинтеза и накоплению биомассы, устойчивости к стрессу (табл. 3).

У сорта гречихи Диккуль на варианте опыта  $K_{60}+N_{90m}$  содержание хлорофилла *a* выросло до 7,8 мг/г (2024), что обеспечивает поддержание массы листьев на уровне 14,0 г/растение. Каротиноиды нейтрализуют активные формы кислорода (АФК, образующиеся при протекании процесса фотосинтеза). При стрессе их уровень критически важен для сохранения целостности мембран хлоропластов. У гречихи сорта Даша стабильный уровень каротиноидов, что объясняет её устойчивость к снижению массы листьев в 2024 году. У сорта гречихи Диккуль при применении мочевины, обработанной культурой *B.s. Ч-13* высокий уровень хлорофилла *a* (7,8 мг/г) поддерживает фотосинтез, а умеренное снижение массы листьев (-27%) указывает на перераспределение ассимилятов в другие части растения.

Соотношение хлорофиллов *a/b* при повышении интенсивности света увеличивается, а при понижении уменьшается [6]. Гречиха сорта Диккуль при максимальной массе листьев (19,3 г/растение) на варианте опыта  $K_{60}+N_{90m}$  демонстрирует высокое содержание хлорофилла *a* (7,0 мг/г) и *b* (3,5 мг/г). На контрольном варианте опыта (масса 6,5 г/растение) — низкое содержание хлорофилла *a* (3,3 мг/г).

Таблица 1. Площадь листьев растений гречихи (тыс.  $m^2$ /га) и фотосинтетический потенциал посевов (тыс.  $m^2$ /га\*сутки)

Table 1. Area of buckwheat leaves (thousand  $m^2$ /ha) and photosynthetic potential of crops (thousand  $m^2$ /ha\*day)

Вариант	S листьев, тыс. $m^2$ /га				ФП посевов, тыс. $m^2$ /га*сут			
	Диккуль		Даша		Диккуль		Даша	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024
Контроль	323,7	258,2	253,8	332,5	3641,0	4095,5	3344,7	4588,8
$K_{60}$	339,5	323,8	240,6	389,4	3886,4	4456,4	3585,3	5154,2
$K_{60}+N_{30}$	389,3	380,6	332,5	569,2	4637,2	4817,4	3994,4	5575,3
$K_{60}+N_{60}$	428,8	476,9	455,0	553,9	5243,9	5125,3	5197,5	6246,6
$K_{60}+N_{90}$	511,8	612,5	446,3	588,5	5832,8	6853,0	5929,0	6930,0
$K_{60}+N_{30m}$	494,4	568,8	538,2	515,4	5668,5	6430,0	5604,2	7158,9
$K_{60}+N_{60m}$	560,0	632,2	555,6	701,8	6437,8	8001,0	6908,4	8171,6
$K_{60}+N_{90m}$	555,6	730,6	490,0	553,0	6640,5	8667,0	5753,4	7666,3
$HCPO5^{A5}$	3,7	4,0	5,0	4,3	-	-	-	-
$HCPO5^A$	8,3	9,5	7,9	8,9	-	-	-	-
$HCPO5^5$	5,2	6,2	6,8	6,7	-	-	-	-

Таблица 2. Масса листьев (г/растение) и количество листьев (шт./растение) с растений гречихи исследуемых сортов

Table 2. Leaf weight (g/plant) and number of leaves (pcs./plant) from buckwheat plants of the studied varieties

Вариант	Масса листьев, г/растение				Количество листьев, шт./растение			
	Диккуль		Даша		Диккуль		Даша	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024
Контроль	6,5	5,7	7,5	8,2	16,7	13,5	15,5	14,2
$K_{60}$	6,0	6,5	6,7	8,4	17,0	14,2	15,7	14,4
$K_{60}+N_{30}$	7,6	7,8	12,2	9,1	19,5	17,5	19,8	17,9
$K_{60}+N_{60}$	8,6	8,7	15,6	14,1	21,0	25,4	24,3	23,2
$K_{60}+N_{90}$	9,7	10,0	19,3	16,9	30,7	29,3	31,5	33,1
$K_{60}+N_{30m}$	12,2	8,6	14,5	11,0	21,5	19,7	20,8	19,9
$K_{60}+N_{60m}$	15,6	11,5	16,7	15,0	25,7	25,3	26,5	25,5
$K_{60}+N_{90m}$	19,3	14,0	18,4	17,3	31,2	26,8	33,4	33,2
$HCPO5^{A5}$	0,8	1,0	1,3	1,0	2,5	3,0	2,6	2,0
$HCPO5^A$	4,1	4,9	6,7	5,2	6,5	6,0	6,8	4,6
$HCPO5^5$	1,7	2,0	2,7	2,0	4,9	4,4	5,2	2,9

Таблица 3. Содержание хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов в листьях гречихи, мг/г

Table 3. Content of chlorophyll *a*, chlorophyll *b* and carotenoids in buckwheat leaves, mg/g

Вариант	Хлорофилл <i>a</i> , мг/г				Хлорофилл <i>b</i> , мг/г				Каротиноиды, мг/г			
	Диккуль		Даша		Диккуль		Даша		Диккуль		Даша	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024
Контроль	3,3	2,8	3,0	2,6	1,3	1,2	1,0	0,9	0,58	0,48	0,53	0,50
$K_{60}$	3,7	3,3	3,2	3,3	1,7	2,7	1,4	1,4	0,55	0,50	0,50	0,52
$K_{60}+N_{30}$	4,3	4,0	4,0	4,0	1,8	2,1	1,6	1,9	0,57	0,55	0,53	0,53
$K_{60}+N_{60}$	5,0	4,9	5,5	5,0	1,7	1,8	1,7	1,7	0,63	0,55	0,66	0,69
$K_{60}+N_{90}$	6,7	6,2	6,6	5,5	3,2	2,8	2,7	2,7	0,71	0,69	0,73	0,60
$K_{60}+N_{30m}$	5,0	4,3	4,6	4,5	2,4	2,3	1,9	1,7	0,62	0,59	0,62	0,63
$K_{60}+N_{60m}$	7,3	6,8	6,7	6,5	2,6	2,8	1,7	1,7	0,78	0,71	0,75	0,77
$K_{60}+N_{90m}$	7,0	7,8	7,4	7,0	3,5	3,8	3,2	2,9	0,79	0,73	0,77	0,77
$HCPO5^{A5}$	0,1	0,1	0,1	0,2	0,09	0,2	0,08	0,1	0,01	0,01	0,01	0,02
$HCPO5^A$	0,3	0,4	0,3	0,4	0,2	0,5	0,2	0,3	0,03	0,03	0,02	0,05
$HCPO5^5$	0,2	0,3	0,2	0,3	0,1	0,3	0,1	0,2	0,02	0,02	0,01	0,03



Растения могут оптимизировать продуктивность или поддерживать выживание при различной интенсивности и качестве света, регулируя концентрацию и соотношение хлорофиллов [20]. Хлорофилл *b* входит в состав фотосистемы II. При дефиците хлорофилла *b* (низкое соотношение,  $K_{60}+N_{90m} = 2,0$ ) может уменьшиться площадь антенных комплексов, соответственно, растение перестраивается на более экономное использование света. Увеличение площади листьев при дефиците хлорофилла *b* и снижение площади антенных комплексов (LHII) связано с компенсаторным механизмом растения, т.е. увеличение площади листьев — попытка растений гречихи захватить больше фотонов для поддержания фотосинтеза.

Азот (N) — ключевой компонент хлорофилла, входящий в порфириновое кольцо. Повышенные дозы традиционной мочевины и мочевины, обработанной культурой *B.s. 4-13*, увеличивают содержание хлорофиллов. По сорту гречихи Дикюль в 2023 году  $\Sigma \text{Хл.} = 9,9 \text{ мг/г}$ , по сорту гречихи Даша  $\Sigma \text{Хл.} = 10,6 \text{ мг/г}$ . Каротиноиды также участвуют в фотозащите, предотвращая фотонгибирование за счет рассеивания избыточной энергии в виде тепла [5]. Низкое соотношение  $\Sigma \text{Хл.}/\text{Карот.}$ , например, по сорту гречихи Даша на контрольном варианте опыта (7,0) свидетельствует о дефиците азота, что приводит к активации антиоксидантной системы и накоплению реактивных форм кислорода. Мочевина, обработанная культурой *B.s. 4-13* улучшает усвоение азота растениями, что свидетельствует о повышении  $\Sigma \text{Хл.}$ . Например, по сорту гречихи Дикюль (2024 г.)  $\Sigma \text{Хл.} = 11,6 \text{ мг/г}$  на варианте опыта  $K_{60}+N_{90m}$ , что на 17% выше, чем на аналогичном варианте опыта без применения *B.s. 4-13*.

В 2023 году у сорта Дикюль на контрольном варианте опыта содержание хлорофилла *a* составило 3,3 мг/г, хлорофилла *b* — 1,3 мг/г, суммарно 4,6 мг/г, при уровне каротиноидов 0,58 мг/г, что дало отношение 7,93. У сорта Даша показатели были ниже: хлорофилл *a* — 3,0 мг/г, *b* — 1,0 мг/г ( $\Sigma = 4,0 \text{ мг/г}$ ), каротиноиды — 0,53 мг/г, отношение 7,55. К 2024 году у обоих сортов наблюдалось снижение хлорофиллов (Дикюль:  $\Sigma = 4,0 \text{ мг/г}$ , Даша:  $\Sigma = 3,5 \text{ мг/г}$ ) и каротиноидов, но отношение  $\Sigma \text{Хл.}/\text{Карот}$  у гречихи сорта Дикюль выросло до 8,33, что указывает на адаптацию к дефициту азота через усиление фотосинтетической эффективности.

Влияние удобрений на сорта Дикюль и Даша показало следующие результаты: в 2023 году при внесении  $K_{60}$  у Дикюля сумма хлорофиллов составила 5,4 мг/г ( $a=3,7$ ,  $b=1,7$ ), каротиноиды — 0,55 мг/г (отношение 9,82), а у Даши — 4,6 мг/г ( $a=3,2$ ,  $b=1,4$ ), каротиноиды — 0,50 мг/г (отношение 9,20). При добавлении  $N_{30}$  у Дикюля  $\Sigma$  хлорофиллов увеличилась до 6,1 мг/г ( $a=4,3$ ,  $b=1,8$ ; отношение 10,70), а у Даши — до 5,6 мг/г ( $a=4,0$ ,  $b=1,6$ ; отношение 10,57). Внесение  $N_{60}$  привело к  $\Sigma 6,7 \text{ мг/г}$  у Дикюля ( $a=5,0$ ,  $b=1,7$ ; отношение 10,63) и 7,2 мг/г у Даши ( $a=5,5$ ,  $b=1,7$ ; отношение 10,91). Комбинация  $N_{90}+K_{60}$  обеспечила максимальные значения: у Дикюля  $\Sigma$  достигла 9,9 мг/г ( $a=6,7$ ,  $b=3,2$ ; отношение 13,94), а у Даши — 9,3 мг/г ( $a=6,6$ ,  $b=2,7$ ; отношение 12,74).

Азотные удобрения ( $N_{30}$ ,  $N_{60}$ ) стимулируют синтез хлорофилла *b*, связанный с активностью LHClI-комплексов. Комбинация мочевины ( $N_{90}$ ) и калия ( $K_{60}$ ) даёт максимальные значения пигментов, но избыток  $\text{NH}_4^+$  может провоцировать накопление ROS. Каротиноиды играют защитную роль при стрессовых условиях.

Применение мочевины, обработанной культурой *B.s. 4-13*, в дозе 30 кг/га в сочетании с  $K_{60}$  в 2023 г. по сорту гречихи Дикюль  $\Sigma \text{Хл.} = 7,4 \text{ мг/г}$  (отношение 11,94), у гречихи сорта Даша — 6,5 мг/г (10,48). К 2024 году у сорта Даша отношение упало до 9,84 из-за роста каротиноидов (0,63 мг/г), что связано с активацией АБК. Биомодифицированная мочевины в дозе 60 кг/га по сорту Дикюль в 2024 г. обеспечивает  $\Sigma \text{Хл.} = 9,6 \text{ мг/г}$  (отношение 13,52), у Даши — 8,2 мг/г (10,65). Биодобавки стабилизировали хлорофилл. Стабилизация хлорофилла связана со снижением активности фермента хлорофиллазы. На варианте опыта  $K_{60}+N_{90m}$  обнаруживаются пиковые значения у сорта Дикюль в 2024 году —  $\Sigma \text{Хл.} = 11,6 \text{ мг/г}$  (отношение 15,89), у Даши в 2023 году —  $\Sigma \text{Хл.} = 10,6 \text{ мг/г}$  (отношение 13,77). Соответственно, биомодифицированные удобрения максимизируют фотосинтетический потенциал у гречихи сорта Дикюль, тогда как гречиха сорта Даша лучше адаптируется к традиционным схемам подкормки.

В исследованиях Тимошиновой О.А. и соавт. (2024) выявлена связь между соотношением хлорофиллов и каротиноидов ( $\Sigma \text{Хл.}/\text{Карот}$ ) [7] и урожайностью гречихи. Максимальная урожайность зерна сорта Дикюль коррелирует с высоким  $\Sigma \text{Хл.}/\text{Карот}$  (13,52), что отражает активный фотосинтез при умеренной антиоксидантной защите. У сорта Даша пик урожайности (17,1 ц/га в 2023 г. на варианте  $K_{60}+N_{60m}$ ) достигнут при  $\Sigma \text{Хл.}/\text{Карот}=11,2$ , что указывает на баланс между продуктивностью и стрессоустойчивостью. В 2024 году на варианте  $K_{60}+N_{90m}$  у Даши урожайность упала до 9,5 ц/га при  $\Sigma \text{Хл.}/\text{Карот}=9,84$ . Доминирование каротиноидов свидетельствует о перераспределении ресурсов на защиту, а не на формирование семян (табл. 4).

У Дикюля снижение урожайности зерна на 10-15% в 2024 (кроме  $K_{60}+N_{90m}$ ) связано с падением  $\Sigma \text{Хл.}/\text{Карот}$  (например, с 13,94 до 13,04 в  $K_{60}+N_{90}$ ). У гречихи сорта Даша в 2024 резкий рост урожайности соломы при  $K_{60}+N_{90m}$  (85,1 ц/га) высокие каротиноиды (0,85 мг/г) стресс из-за дисбаланса  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ . Высокий  $\Sigma \text{Хл.}/\text{Карот}$  отражает активность фотосистем, но не гарантирует транслокацию ассимилятов в зерно. Например, у Дикюля в  $K_{60}+N_{90m}$  (2024) при  $\Sigma \text{Хл.}/\text{Карот} = 15,89$  урожайность зерна всего 12,9 ц/га, так как ассимиляты, в т.ч. сахара направляются в солому (84 ц/га). При

построении регрессионных моделей только половина ( $R^2=0,48-0,52$ ) вариативности связана с этим показателем.  $\Sigma \text{Хл.}/\text{Карот}$  — важный, но не единственный показатель. Он объясняет 50% вариативности урожайности, так как не учитывает транспорт ассимилятов, гормональный баланс, микроклимат.

Таким образом, урожайность гречихи лишь на 50% зависит от фотосинтетической активности, что подтверждает необходимость комплексного подхода, учитывающего биохимические, генетические и агротехнические факторы.

**Область применения результатов.** За два года полевых исследований (2023–2024) с сортами гречихи Дикюль и Даша были выявлены ключевые биохимические и физиологические механизмы, определяющие урожайность. Эти данные открывают широкие возможности для оптимизации сельскохозяйственных практик, селекции и управления ресурсами. Результаты демонстрируют, что  $\Sigma \text{Хл.}/\text{Карот}$  (суммарное соотношение хлорофиллов и каротиноидов) может служить маркером для отбора сортов. Оптимальный диапазон 10-13 обеспечивает баланс между фотосинтезом и защитой от окислительного стресса. У сорта Дикюль в варианте  $K_{60}+N_{60}$  (2023) это соотношение составило 10,63, что привело к урожайности 15,9 ц/га. Исследование выявило многофакторную природу урожайности гречихи, где ключевую роль играют фотосинтетический баланс, транспорт ассимилятов, стрессоустойчивость.

**Рекомендации производству.** Для получения устойчивых урожаев зерна гречихи рекомендуется применять схему  $K_{60}+N_{60}$  для сорта Дикюль, что обеспечивает урожайность 15-16 ц/га (2023-2024 гг.), и схему  $K_{60}+N_{60m}$  для сорта Даша, достигая урожайности 13,7 ц/га при предпосевном внесении удобрения. При этом важно контролировать биохимические показатели хлорофилла *a* и каротиноидов. При каротиноидах  $>0,7 \text{ мг/г}$  (признак окислительного стресса) целесообразно применять антистрессовые препараты, например, селенит натрия (0,01% раствор) в форме внекорневой подкормки в фазу бутонизации — начала цветения.

**Выводы.** Доза мочевины 60 кг/га оптимальна для баланса синтеза хлорофилла и углеводного обмена. Избыток азота (90 кг/га) провоцирует стресс, повышая каротиноиды, но снижая продуктивность зерна.

Таблица 4. Урожайность зерна и соломы гречихи сортов Дикюль и Даша в агроклиматических условиях Московской области, ц/га  
Table 4. Yield of buckwheat grain and straw of Dikul and Dasha varieties in agroclimatic conditions of the Moscow region, cwt/ha

Вариант	Урожайность, ц/га							
	2023				2024			
	Дикюль		Даша		Дикюль		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
$K_{60}$	10,5	57,6	10,5	57,6	9,0	54,0	8,7	48,3
$K_{60}+N_{30}$	12,7	68,0	13,0	68,0	11,8	56,5	11,9	57,0
$K_{60}+N_{60}$	15,7	81,0	15,9	81,0	12,0	73,2	11,7	62,5
$K_{60}+N_{90}$	13,7	61,0	10,7	61,0	12,5	59,3	10,0	62,5
$K_{60}+N_{30m}$	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
$\text{HCP}_{05}^{\text{AB}}$	1,6	0,8	1,7	1,8	1,0	3,0	0,9	7,3
$\text{HCP}_{05}^{\text{A}}$	8,0	4,1	8,4	9,0	2,0	5,9	2,0	4,5
$\text{HCP}_{05}^{\text{B}}$	3,2	1,6	3,4	3,6	5,0	14,7	5,0	6,3





## Список источников

- Брескина, Г.М. Роль биопрепаратов и азотных удобрений в формировании продуктивности гречихи в условиях Курской области / Г.М. Брескина, Н.А. Чуян // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 2. С. 39-42. DOI: 10.31857/S2500262721020083. EDN ATZNFV.
- Дубенок Н.Н., Заяц О.А., Стрижакова Е.А. Формирование продукционного потенциала гречихи (*Fagopyrum esculentum* L.) в зависимости от уровня минерального питания и способа посева // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2017. № 6. С. 29-41.
- Калмыкова Е.В., Мельник К.А., Кузьмин П.А. Видовые различия в содержании фотосинтетических пигментов у растений аридных территорий юга России // Аграрный вестник Урала. 2023. № 3 (232). С. 32-42.
- Кононов А.С., Шкотова О.Н. Влияние форм азотных удобрений на содержание хлорофилла в однолетних и смешанных бобово-злаковых агроценозах // Вестник Брянского государственного университета. 2012. № 4 (1). С. 103-106.
- Маслова Т.Г., Марковская Е.Ф., Слемнев Н.Н. Функции каротиноидов в листьях высших растений (обзор) // Журнал общей биологии. 2020. Т. 81. № 4. С. 297-310.
- Наполова Г.В., Наполов В.В. Формирование и структура ассимиляционного аппарата растений гречихи // Вестник аграрной науки. 2006. № 2-3 (2-3). С. 43-46.
- Оценка влияния содержания хлорофилла в листьях гречихи на урожайность и биохимические показатели зерна / О.А. Тимошинова, А.Г. Клыков, Р.В. Тимошинов, Г.А. Муругова // Актуальные проблемы науки и практики в исследованиях молодых ученых : Сборник I международной научно-практической конференции, Новосибирск, 21–22 мая 2024 года. — Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2024. С. 183-186. EDN TGXJLF.
- Amelin A. et al. Effect of moisture on photosynthesis and transpiration of buckwheat leaves //E3S Web of Conferences. — EDP Sciences, 2023. — Т. 390. — С. 02048.
- Fang X. et al. Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the leaf photosynthetic characteristics, agronomic traits and grain yield in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) // Field Crops Research. 2018. Т. 219. С. 160-168.
- Jha R. et al. Global nutritional challenges and opportunities: Buckwheat, a potential bridge between nutrient deficiency and food security // Trends in Food Science & Technology. 2024. Т. 145. С. 104365.
- Lei Q. et al. Effects of *Bacillus subtilis* on photosynthesis and yield of pakchoi under magnetoelectric brackish water irrigation // Scientia Horticulturae. 2025. Т. 340. С. 113934.
- Li C. F. et al. Increased grain yield with improved photosynthetic characters in modern maize parental lines // Journal of Integrative Agriculture. 2015. Т. 14. № 9. С. 1735-1744.
- Maslennikova D. et al. Endophytic plant growth-promoting bacterium *Bacillus subtilis* reduces the toxic effect of cadmium on wheat plants // Microorganisms. 2023. Т. 11. № 7. С. 1653.
- Mohamed H.J., Gomaa E.Z. Effect of plant growth promoting *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescens* on growth and pigment composition of radish plants (*Raphanus sativus*) under NaCl stress // Photosynthetica. 2012. Т. 50. С. 263-272.

nus sativus) under NaCl stress // Photosynthetica. 2012. Т. 50. С. 263-272.

- Moraes B.V. et al. *Bacillus subtilis* inoculated in organic compost could improve the root architecture and physiology of soybean under water deficit // Plant Physiology and Biochemistry. 2025. С. 109540.
- Samaniego-Gómez B.Y. et al. *Bacillus* spp. inoculation improves photosystem II efficiency and enhances photosynthesis in pepper plants // Chilean journal of agricultural research. 2016. Т. 76. № 4. С. 409-416.
- Siddika A. et al. Harnessing plant growth-promoting rhizobacteria, *Bacillus subtilis* and *B. aryabhattai* to combat salt stress in rice: a study on the regulation of antioxidant defense, ion homeostasis, and photosynthetic parameters // Frontiers in Plant Science. 2024. Т. 15. С. 1419764.
- Sun B.O. et al. Application of biofertilizer containing *Bacillus subtilis* reduced the nitrogen loss in agricultural soil // Soil Biology and Biochemistry. 2020. Т. 148. С. 107911.
- Yang L. et al. Exogenous *Bacillus subtilis* can reduce the damage caused by waste drilling fluid to ryegrass (*Lolium perenne*) // Plant Stress. 2024. Т. 14. С. 100641.
- Zhang Y. et al. Spatial variation of leaf chlorophyll in northern hemisphere grasslands // Frontiers in Plant Science. 2020. Т. 11. С. 1244.

## References

- Breskina, G.M., Chuyan, N.A. (2021). *Rol' biopreparatov i azotnykh udobrenij v formirovanii produktivnosti grechihy v usloviyakh Kurskoj oblasti* [The role of biological products and nitrogen fertilizers in the formation of buckwheat productivity in the Kursk region]. *Russian agricultural science*, no. 2, pp. 39-42.
- Dubenok, N.N., Zayac, O.A., Strizhakova, E.A. (2017). *Formirovanie produkcionnogo potentsiala grechihy (Fagopyrum esculentum L.) v zavisimosti ot urovnya mineral'nogo pitaniya i sposoba poseva* [Formation of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* L.) production potential depending on the level of mineral nutrition and the method of sowing]. *Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy*, no. 6, pp. 29-41.
- Kalmykova, E. V., Mel'nik, K. A., Kuz'min, P. A. (2023). *Vidovye razlichiya v soderzhanii fotosinteticheskikh pigmentov u rastenij aridnykh territorij yuga Rossii* [Species differences in the content of photosynthetic pigments in plants of arid territories in southern Russia]. *Agrarian Bulletin of the Urals*, no 3, pp. 32-42.
- Kononov, A.S., Shkotova, O.N. (2012). Vliyanie form azotnykh udobrenij na soderzhanie hlorofilla v odnovidovykh i smeshannykh bobovo-zlakovykh agroecenozakh [Influence of nitrogen fertilizer forms on chlorophyll content in single-species and mixed legume-cereal agroecenoses]. *Bulletin of the Bryansk State University*, no. 4, pp.103-106.
- Maslova, T.G., Markovskaya, E.F., Slemnev, N.N. (2020). Funkcii karotinoidov v list'yah vysshih rastenij (obzor) [Functions of carotenoids in the leaves of higher plants (review)]. *Journal of General Biology*, vol. 81, no. 4, pp. 297-310.
- Napolova, G.V., Napolov, V.V. (2006). *Formirovanie i struktura assimiacionnogo apparata rastenij grechihy* [Formation and structure of the assimilation apparatus of buckwheat plants]. *Bulletin of Agrarian Science*, no. 2-3, pp. 43-46.
- Timoshinova, O.A., Klykov, A.G., Timoshinov, R.V. & Murugova, G. A. (2024). Evaluation of the effect of chlorophyll content in buckwheat leaves on grain yield and biochemical parameters. *Proceedings of the Current Issues in Science and*

*Practice in the Research of Young Scientists: Collection of the I International Scientific and Practical Conference (21-22 may, 2024)*, Russia, Novosibirsk, pp. 183-186.

- Amelin, A., Fesenko, A., Zaikin, V., Chekalin, E., & Ikusov, R. (2023). *Effect of moisture on photosynthesis and transpiration of buckwheat leaves*. Paper presented In E3S Web of Conferences (Vol. 390, p. 02048). EDP Sciences.
- Fang, X., Li, Y., Nie, J., Wang, C., Huang, et al. (2018). Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the leaf photosynthetic characteristics, agronomic traits and grain yield in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.). *Field Crops Research*, vol. 219, pp. 160-168.
- Jha, R., Zhang, K., He, Y., Mendler-Drienyovszki, N., Magyar-Tábori, K., Quinet, M., & Zhou, M. (2024). Global nutritional challenges and opportunities: Buckwheat, a potential bridge between nutrient deficiency and food security. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 145, pp. 104365.
- Lei, Q., Luo, P., Tao, W., Jiang, Z., Chen, H., Liu, J., & Deng, M. (2025). Effects of *Bacillus subtilis* on photosynthesis and yield of pakchoi under magnetoelectric brackish water irrigation. *Scientia Horticulturae*, vol. 340, pp. 113934.
- Li, C. F., Tao, Z.Q., Peng, L., Zhang, J.W., Zhuang, K.Z., Dong, S. T., & Ming, Z. (2015). Increased grain yield with improved photosynthetic characters in modern maize parental lines. *J Integr Agric*, vol.14 (9), pp. 1735–1744.
- Maslennikova, D., Koryakov, I., Yuldashev, R., Avtushenko, I., Yakupova, A., & Lastochkina, O. (2023). Endophytic plant growth-promoting bacterium *Bacillus subtilis* reduces the toxic effect of cadmium on wheat plants. *Microorganisms*, vol. 11(7), pp. 1653.
- Mohamed, H.J., & Gomaa, E.Z. (2012). Effect of plant growth promoting *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescens* on growth and pigment composition of radish plants (*Raphanus sativus*) under NaCl stress. *Photosynthetica*, vol. 50(2), pp. 263-272.
- Moraes, B.V., Coelho, M.I., Silva, P.S., Araujo, A.S., Bonifacio, A., Pereira, A.P., & Araujo, F.F. (2025). *Bacillus subtilis* inoculated in organic compost could improve the root architecture and physiology of soybean under water deficit. *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 220, pp. 109540.
- Samaniego-Gómez, B.Y., Garruna, R., Tun-Suárez, J.M., Kantun-Can, J., Reyes-Ramirez, A., & Cervantes-Díaz, L. (2016). *Bacillus* spp. inoculation improves photosystem II efficiency and enhances photosynthesis in pepper plants. *Chilean journal of agricultural research*, vol. 76(4), pp. 409-416.
- Siddika, A., Rashid, A.A., Khan, S.N., Khatun, A., Karim, M.M., Prasad, P. V., & Hasanuzzaman, M. (2024). Harnessing plant growth-promoting rhizobacteria, *Bacillus subtilis* and *B. aryabhattai* to combat salt stress in rice: a study on the regulation of antioxidant defense, ion homeostasis, and photosynthetic parameters. *Frontiers in Plant Science*, vol. 15, pp. 1419764.
- Sun, B.O., Gu, L., Bao, L., Zhang, S., Wei, Y., Bai, Z., & Zhuang, X. (2020). Application of biofertilizer containing *Bacillus subtilis* reduced the nitrogen loss in agricultural soil. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 148, pp. 107911.
- Yang, L., Zhu, Y., Zhao, H., Chen, X., Cheng, Z., & Fei, Y. (2024). Exogenous *Bacillus subtilis* can reduce the damage caused by waste drilling fluid to ryegrass (*Lolium perenne*). *Plant Stress*, vol. 14, pp. 100641.
- Zhang, Y., Li, Y., Wang, R., Xu, L., Li, M., Liu, Z., & He, N. (2020). Spatial variation of leaf chlorophyll in northern hemisphere grasslands. *Frontiers in Plant Science*, vol. 11, pp. 1244.

## Информация об авторах:

**Иванов Роман Геннадьевич**, аспирант кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8746-9586>, [ivanovroman\\_19@mail.ru](mailto:ivanovroman_19@mail.ru)

**Налиухин Алексей Николаевич**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой агрономической, биологической химии и радиологии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6860-0617>

**Белопухов Сергей Леонидович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4473-4466>

## Information about the authors:

**Roman G. Ivanov**, postgraduate student, department of agronomy, biological chemistry and radiology, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8746-9586>, [ivanovroman\\_19@mail.ru](mailto:ivanovroman_19@mail.ru)

**Aleksey N. Naliukhin**, doctor of agricultural sciences, associate professor, head of the department of agronomy, biological chemistry and radiology, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6860-0617>

**Sergey L. Belopukhov**, doctor of agricultural sciences, professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4473-4466>