

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО

Научная статья

УДК 633.85:581.132

doi: 10.31774/2712-9357-2026-16-2-259-275

Формирование ассимиляционного аппарата и продуктивность фотосинтеза горчицы сарептской в зависимости от нормы высева

Вера Александровна Гущина¹, Юлия Алексеевна Прохорова²

^{1, 2}Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Российская Федерация

¹guschina.v.a@pgau.ru

²prohorova.y.a@pgau.ru

Аннотация. **Цель:** оценка показателей фотосинтетической деятельности сортов горчицы сарептской при разных нормах высева, способствующих формированию максимальной урожайности семян. **Материалы и методы.** Исследования проведены в 2022–2024 гг. на коллекционном участке Пензенского государственного аграрного университета. Посев, наблюдения, учеты и анализы данных осуществляли по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур и методике полевых и агротехнических опытов с масличными культурами. **Результаты.** Минимальная площадь фотосинтезирующей поверхности в среднем за три года отмечалась в фазе розетки листьев – 10,52 тыс. кв. м/га. В фазе бутонизации отмечалось увеличение площади листового аппарата на 10,5–17,9 тыс. кв. м/га. Период наибольшего развития надземной массы отмечен в фазе цветения, когда площадь листьев составляла более 37 тыс. кв. м/га. Наибольшая величина суммарного фотосинтетического потенциала получена у сорта Горлинка – 951,45 тыс. кв. м · сут/га. Вторым является сорт Валента с общим значением 923,32 тыс. кв. м · сут/га. По мере увеличения нормы высева от 1,0 до 3,0 млн чистая продуктивность фотосинтеза уменьшалась, и в фазе розетки листьев показатель снижался от 3,03 до 2,67 г/(кв. м · сут), в фазе бутонизации – от 4,26 до 3,63 г/(кв. м · сут), в фазе цветения – от 2,15 до 1,57 г/(кв. м · сут) и в фазе зеленого стручка – от 0,76 до 0,53 г/(кв. м · сут). **Выводы.** Рост листовой поверхности, обусловленный нормами высева сортов, не всегда способствовал активизации фотосинтеза, в ходе которого происходило накопление и сохранение энергии, что привело к увеличению биомассы, которая является структурным и энергетическим ресурсом, необходимым для роста и развития растений. Наибольшую урожайность семян (до 2,00 т/га) обеспечили сорта Первотаровская и Валента с нормами высева 2,0 и 2,5 млн всхожих семян на 1 га.

Ключевые слова: динамика развития ассимиляционной поверхности горчицы сарептской, фотосинтетический потенциал, чистая продуктивность фотосинтеза, фазы развития

Источник финансирования: исследование выполнено без привлечения внешнего финансирования.

Для цитирования: Гущина В. А., Прохорова Ю. А. Формирование ассимиляционного аппарата и продуктивность фотосинтеза горчицы сарептской в зависимости от нормы высева // Мелиорация и гидротехника. 2026. Т. 16, № 2. С. 259–275. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-2-259-275>.



GENERAL AGRICULTURE, CROP SCIENCE

Original article

**Assimilation apparatus formation and photosynthesis
productivity of Sarepta mustard depending on the sowing rate**

Vera A. Gushchina¹, Yulia A. Prokhorova²

^{1, 2}Penza State Agrarian University, Penza, Russian Federation

¹guschina.v.a@pgau.ru

²prohorova.y.a@pgau.ru

Abstract. Purpose: to evaluate the photosynthetic activity of Sarepta mustard varieties at different sowing rates contributing to the formation of maximum seed yield. **Materials and methods.** The studies were conducted in 2022–2024 at the collection plot of Penza State Agrarian University. Sowing, observations, records and data analysis were carried out according to the methods of state variety testing of agricultural crops and the methods of field and agrotechnical experiments with oilseeds. **Results.** The minimum area of photosynthetic surface on average over three years was observed in the leaf rosette phase – 10.52 thousand sq. m/ha. During the budding phase, an increase in the area of the leaf apparatus by 10.5–17.9 thousand sq. m/ha was noted. The period of greatest development of the aboveground mass was noted in the blooming phase, when the leaf area was more than 37 thousand sq. m/ha. The highest value of total photosynthetic potential was obtained for the Gorlinka variety – 951.45 thousand sq. m · day/ha. The second is the Valenta variety with a total value of 923.32 thousand sq. m · day/ha. As the sowing rate increased from 1.0 to 3.0 million, the net productivity of photosynthesis decreased, and in the leaf rosette phase the indicator decreased from 3.03 to 2.67 g/(sq. m · day), in the budding phase – from 4.26 to 3.63 g/(sq. m · day), in the blooming phase – from 2.15 to 1.57 g/(sq. m · day) and in the green pod phase – from 0.76 to 0.53 g/(sq. m · day). **Conclusions.** The increase in leaf area due to the sowing rates of the varieties did not always promote photosynthesis, which accumulates and stores energy, leading to an increase in biomass, which is a structural and energy resource necessary for plant growth and development. The highest seed yields (up to 2.00 t/ha) were achieved by the Pervotarovskaya and Valenta varieties with sowing rates of 2.0 and 2.5 million viable seeds per hectare.

Keywords: assimilation surface development dynamics of Sarepta mustard, photosynthetic potential, net photosynthetic productivity, developmental stages

Funding source: the study was carried out without external funding.

For citation: Gushchina V. A., Prokhorova Yu. A. Assimilation apparatus formation and photosynthesis productivity of Sarepta mustard depending on the sowing rate. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2026;16(2):259–275. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-2-259-275>.

Введение. Для осуществления процессов роста и развития растениям требуется энергия. Как и все живые организмы, они получают ее посредством окисления углеводов и других органических соединений в процессе клеточного дыхания. Однако, в отличие от гетеротрофов, автотрофные зеленые растения способны к синтезу органических веществ из неорганиче-

ских соединений, используя для этого энергию света в ходе фотосинтетических реакций.

Во время фотосинтеза у растений образуются органические соединения, которые частично утилизируются в процессе дыхания, а частично включаются в структуру клеток и тканей, выполняя функции пластических и резервных веществ. Как отмечает Г. С. Посыпанов (1997), большая часть органического вещества создается в листьях, вклад других зеленых органов в фотосинтез невелик¹. Тем самым листовая поверхность является наиболее подвижным показателем роста [1], ее динамика имеет определенную закономерность и зависит от условий водоснабжения, питания и агротехнических приемов. Оптимальной площадью листьев принято считать 50 тыс. м²/га, при дальнейшем их росте нижние листья затеняются верхними, и их доля в фотосинтезе уменьшается¹.

Целью исследований являлась оценка показателей фотосинтетической деятельности сортов горчицы сарептской при разных нормах высева, обеспечивающих максимальную урожайность семян.

Материалы и методы. Изучение влияния норм высева сортов горчицы сарептской на процессы фотосинтеза проводили в 2022–2024 гг. на коллекционном участке ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ. Сорты Алиса, Валента, Горлинка, Первотаровская, Сигма и Люкс (контроль) сеяли нормами 1,0–3,0 млн шт./га с шагом 0,5 млн шт./га.

Почва опытного участка лугово-черноземная тяжелосуглинистая по гранулометрическому составу с содержанием гумуса 3,7–3,8 % по И. В. Тюрину (ГОСТ 26213-91), реакция среды – кислая, обеспеченность щелочно-гидролизующим азотом – средняя, фосфором – низкая, калием – высокая. Повторность опыта шестикратная, размещение вариантов рендомизиро-

¹Растениеводство / Г. С. Посыпанов, В. Е. Долгодворов, Г. В. Коренев, В. И. Филатов, Г. Г. Гатаулина, А. Н. Постников, М. Г. Обьедков. М.: Колос, 1997. 447 с. EDN: VZQNZT.

ванное, площадь делянок первого порядка 20 м², второго – 4 м². Предшественником был горох. Посев горчицы проводили вручную рядовым способом на глубину 2–3 см нормами, предусмотренными схемой опыта.

В первый год исследований при раннем наступлении весны опыт заложен уже 29 апреля, поскольку среднесуточная температура в этот период превышала многолетние значения на 2,1 °С. Посев горчицы в 2023 г. провели на 5 сут позже, но этот год по условиям увлажнения был оптимальным для капустных культур (ГТК 1,5). Острозасушливыми условиями (ГТК 0,2) характеризовался 2024 г., хотя с середины апреля и до середины мая шли затяжные проливные дожди, в связи с чем посев задержался до 16 мая [2, 3].

Посев, наблюдения, учеты и анализы данных осуществляли по методике Б. А. Доспехова (1985)² и методике полевых и агротехнических опытов с масличными культурами³.

Показатели фотосинтетической деятельности растений в агроценозах определяли по методике А. А. Ничипоровича⁴, площадь листьев – методом высечек, чистую продуктивность фотосинтеза – по формуле, предложенной L. Briggs, F. Kidd, C. West⁵. Содержание абсолютно сухого вещества в зеленой массе – весовым методом, путем высушивания измельченных навесок до постоянного веса при температуре 105 °С.

Результаты и обсуждение. В течение трех лет исследований площадь ассимиляционной поверхности различалась как по сортам, так и по

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Колос, 1985. 308 с. EDN: ZJQBUD.

³Инновационные технологии возделывания масличных культур / В. М. Лукомец, В. А. Тильба, Н. И. Бочкарев, В. И. Хатнянский, Н. М. Тишков, А. С. Бушнев, С. А. Семеренко, Н. А. Бушнева, Я. Н. Демулин, А. А. Децына, С. В. Костевич, С. В. Зеленцов, Е. В. Мошненко, Л. Г. Рябенко, В. С. Зеленцов, Л. А. Горлова, К. М. Кривошлыков, В. Д. Шафоростов; под общ. ред. В. М. Лукомца. Краснодар, 2017. 259 с. EDN: YPEYGD.

⁴Ничипорович А. А. Основы фотосинтетической продуктивности растений // Современные проблемы фотосинтеза. М.: Изд-во МГУ, 1973. С. 17–43.

⁵Громов А. А., Щукин В. Б. Методические указания по определению основных показателей фотосинтетической деятельности растений в посевах. Оренбург: Изд. центр ОГАУ, 2001. 16 с. EDN: XWWVDN.

нормам высева, однако закономерность нарастания листовой поверхности по периодам вегетации сохранялась, особенно ярко в 2023 г.

В 2023 г. после появления всходов в фазе розетки листьев площадь поглощения солнечного света составила 12,68 тыс. м²/га, превышая на 1,83 тыс. м²/га значения 2022 г. и на 4,67 тыс. м²/га – значения 2024 г. (рисунки 1–3).

Наблюдения в 2022 г. показали, что при норме высева 1 млн шт./га практически одинаковую площадь листьев в фазе розетки формируют сорта горчицы сарептской Первотаровская и Валента – 9,8 и 9,6 тыс. м²/га, у сортов Сигма и Горлинка она составила 8,8 и 9,1 тыс. м²/га соответственно. На третьей позиции находятся сорта Люкс и Алиса (7,5 и 7,1 тыс. м²/га).

Далее площадь листьев нарастала, и к фазе бутонизации она увеличилась в 2,6 раза. По сортам была отмечена такая же закономерность. Наибольшую ассимиляционную поверхность наблюдали у сортов Первотаровская и Валента при норме высева 3 млн шт./га – 29,6 и 27,2 тыс. м²/га соответственно.

Максимальное нарастание площади листьев отмечено в фазе цветения при норме высева 3 млн шт./га. Выделялся сорт Сигма, у которого фотосинтезирующая поверхность составила 45,2 тыс. м²/га. У других сортов площадь листьев в фазе цветения была меньше более чем на 10 тыс. м²/га.

В фазе зеленого стручка площадь листьев по отношению к цветению снизилась в 2,1 раза, так как в это время происходило перераспределение пластических веществ из вегетативных органов в генеративные. Измерения площади листьев варьировали от 22,44 тыс. м²/га по сорту Люкс до 25,04 тыс. м²/га по сорту Первотаровская.

Нормы высева регулируют фотосинтетическую деятельность листового аппарата [4–6]. Наибольшая площадь листьев во всех фазах развития горчицы отмечена в загущенных посевах и соответствовала 14,82 тыс. м²/га в фазе розетки листьев, 42,52 тыс. м²/га – в фазе бутонизации, 56,72 тыс. м²/га –

в фазе цветения и 27,12 тыс. м²/га – в фазе зеленого стручка. При посеве с минимальной нормой высева она снизилась на 4,79; 9,04; 14,84 и 6,75 тыс. м²/га соответственно.

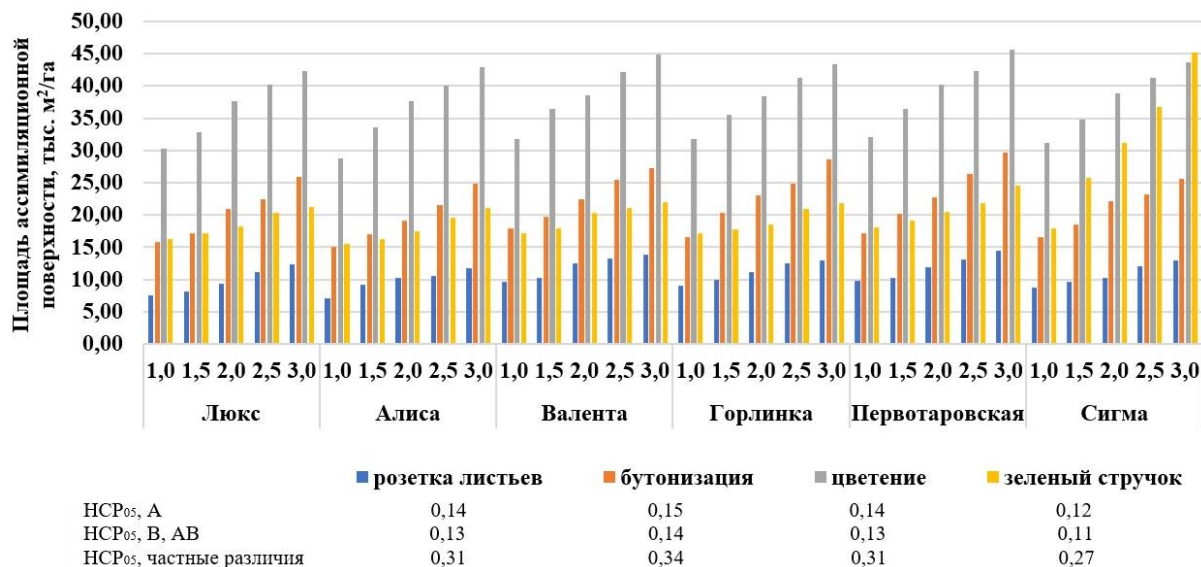


Рисунок 1 – Динамика площади ассимиляционной поверхности растений различных сортов горчицы сарептской в зависимости от нормы высева (2022 г.), тыс. м²/га

Figure 1 – Dynamics of the assimilation surface area of different Sarepta mustard plant varieties depending on the sowing rate (2022), thousand m²/ha

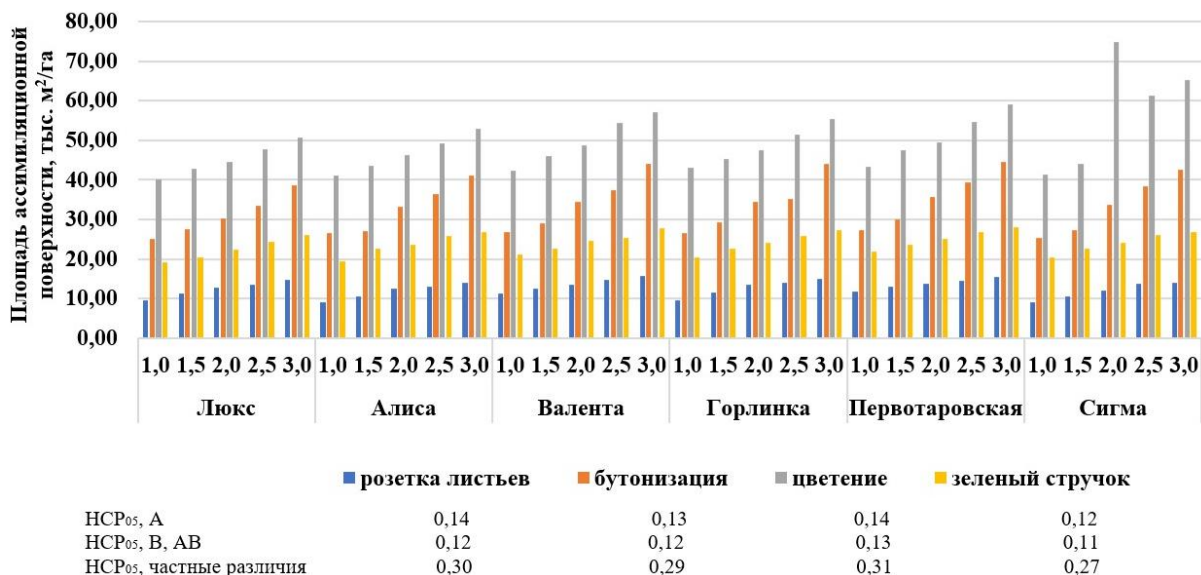


Рисунок 2 – Динамика площади ассимиляционной поверхности растений различных сортов горчицы сарептской в зависимости от нормы высева (2023 г.), тыс. м²/га

Figure 2 – Dynamics of the assimilation surface area of different Sarepta mustard plant varieties depending on the sowing rate (2023), thousand m²/ha

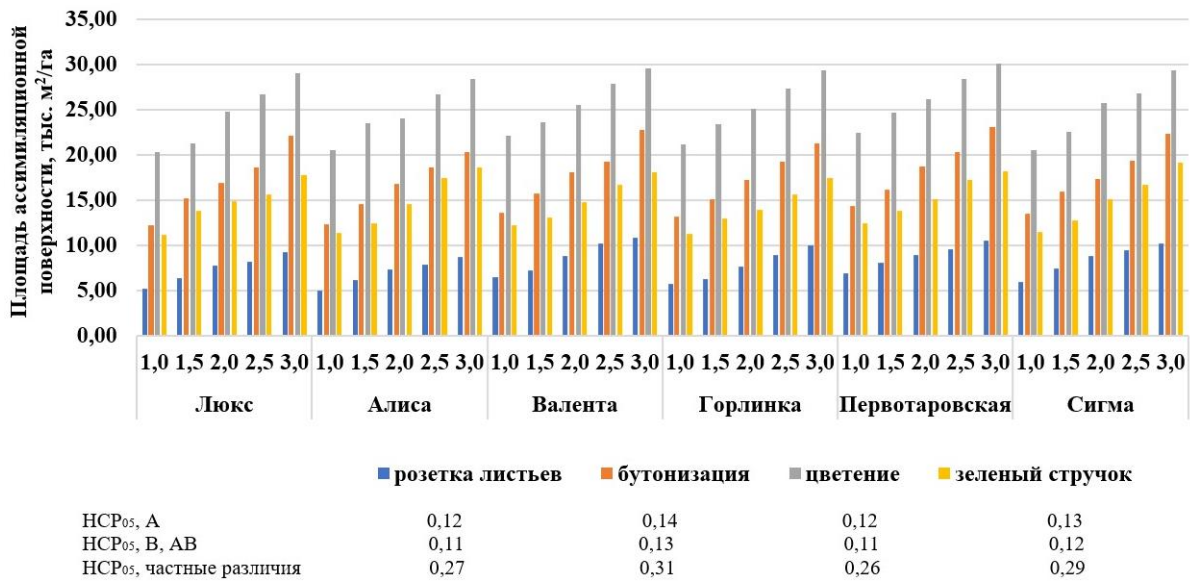


Рисунок 3 – Динамика площади ассимиляционной поверхности растений различных сортов горчицы сарептской в зависимости от нормы высева (2024 г.), тыс. м²/га

Figure 3 – Dynamics of the assimilation surface area of different Sarepta mustard plant varieties depending on the sowing rate (2024), thousand m²/ha

Нарастание ассимиляционного аппарата в 2022 г. проходило менее интенсивно, чем в 2023 г. На момент взятия пробы в начальный период роста показатель в среднем за год составил 10,85 тыс. м²/га. Наибольшее увеличение площади листовой поверхности отмечено у сортов Первотаровская и Валента – 11,88 тыс. м²/га. Сорта Горлинка и Сигма уступали им на 0,76 и 1,14 тыс. м²/га.

В фазе бутонизации прирост листовой поверхности в среднем за год составил 10,75 тыс. м²/га. Закономерность нарастания фотосинтезирующей поверхности листьев по сортам сохранилась, как и в предыдущей фазе развития. В период максимального роста ассимиляционной поверхности наибольшие показатели, 39,32 и 38,76 тыс. м²/га, отмечены у сортов Первотаровская и Валента. В дальнейшем площадь листьев сокращалась, к фазе зеленого стручка в среднем за год составила 21,29 тыс. м²/га, и наибольшие ее размеры были у тех же сортов.

По мере увеличения густоты стояния растений площадь листовой поверхности росла и достигла максимума, 43,77 тыс. м²/га, в фазе цветения

при норме высева 3,0 млн шт./га. Ее снижение до 1,0 млн шт./га привело к уменьшению ассимиляционного аппарата на 12,82 тыс. м²/га.

Третий год исследований характеризовался засушливыми погодными условиями (ГТК 0,2), что привело к низкой всхожести семян (55,0–61,1 %) и, в свою очередь, оказало влияние на показатели роста листовой поверхности горчицы, которая в фазе розетки листьев в среднем за год составила 8,01 тыс. м²/га и в фазе цветения не превышала 25,25 тыс. м²/га. В этой фазе максимальные значения были отмечены также у сортов Первотаровская – 26,38 тыс. м²/га и Валента – 25,74 тыс. м²/га. В фазе зеленого стручка наблюдалось преждевременное отмирание листьев, что привело к сокращению ассимиляционной поверхности до 14,88 тыс. м²/га и непроизводительной потере пластических веществ. Тенденция увеличения листового аппарата в зависимости от густоты стояния сохранилась, но ко времени взятия четвертой пробы площадь фотосинтезирующей поверхности снизилась до 11,68–18,23 тыс. м²/га.

В среднем за три года при изучении динамики площади листьев горчицы сарептской выявлено, что изменение величины этого показателя в процессе вегетации подчиняется тем же закономерностям, которые отмечались по годам исследований. Минимальная площадь фотосинтезирующей поверхности наблюдалась в фазе розетки листьев, 10,52 тыс. м²/га (таблица 1). К моменту взятия второй пробы с повышением нормы высева от 1,0 до 3,0 млн шт./га отмечалось увеличение площади листового аппарата на 10,5–17,9 тыс. м²/га. Подобная зависимость наблюдалась по всем сортам. Период наибольшего развития надземной массы отмечен в фазе цветения, когда площадь листьев составляла 37,60 тыс. м²/га. Начиная с фазы зеленого стручка происходит сокращение ассимиляционной поверхности на 46,8 % по отношению к предыдущей фазе развития. Здесь она также находится в тесной связи с нормой высева и возрастает от 16,35 тыс. м²/га при посеве с нормой 1,0 млн шт./га до 23,77 тыс. м²/га – с нормой высева 3,0 млн шт./га.

**Таблица 1 – Динамика площади ассимиляционной поверхности
 посевов горчицы сарептской (среднее за 2022–2024 гг.)**
 В тыс. м²/га

**Table 1 – Dynamics of the assimilation surface area of Sarepta
 mustard crops (average for 2022–2024)**
 In thousands of m²/ha

Фактор А – сорт	Фактор В – норма высева, млн шт./га	Фаза развития			
		Розетка листьев	Бутонизация	Цветение	Зеленый стручок
Люкс (st)	1,0	7,40	17,70	30,20	15,50
	1,5	8,60	19,97	32,30	17,07
	2,0(st)	10,00	22,67	35,63	18,50
	2,5	10,97	24,83	38,20	20,07
	3,0	12,13	28,87	40,67	21,70
Алиса	1,0	7,07	18,00	30,17	15,40
	1,5	8,63	19,57	33,53	17,07
	2,0	10,03	23,07	35,97	18,57
	2,5	10,53	25,50	38,70	21,00
	3,0	11,47	28,80	41,37	22,17
Валента	1,0	9,10	19,43	32,07	16,83
	1,5	9,97	21,50	35,40	17,83
	2,0	11,63	25,00	37,57	19,93
	2,5	12,73	27,33	41,43	21,03
	3,0	13,50	31,37	43,87	22,63
Горлинка	1,0	8,13	18,77	32,00	16,27
	1,5	9,23	21,57	34,73	17,77
	2,0	10,83	24,90	37,03	18,87
	2,5	11,77	26,40	39,93	20,87
	3,0	12,63	31,33	42,70	22,17
Первота- ровская	1,0	9,50	19,63	32,63	17,47
	1,5	10,43	22,17	36,23	18,87
	2,0	11,53	25,73	38,63	20,23
	2,5	12,40	28,70	41,77	21,90
	3,0	13,47	32,40	44,93	23,57
Сигма	1,0	7,97	18,50	30,97	16,63
	1,5	9,23	20,63	33,80	20,37
	2,0	10,40	24,37	46,47	23,47
	2,5	11,80	26,97	43,13	26,47
	3,0	12,37	30,20	46,10	30,40
НСР ₀₅ , А		0,07	0,09	0,07	0,08
НСР ₀₅ , В, АВ		0,06	0,08	0,07	0,08
НСР ₀₅ , частные различия		0,16	0,19	0,19	0,19

На величину площади листьев значительное влияние оказывали не только нормы высева сортов горчицы сарептской, но и погодные условия. Однако следует обратить внимание на то, что большая площадь листовой

поверхности не во всех случаях соответствует достижению наивысшей хозяйственной продуктивности.

Ключевым условием для достижения высоких урожаев является не только размер листовой поверхности, но и длительность ее активной работы [7–9].

Эти параметры объединяются в понятие фотосинтетического потенциала (ФП), который формируется по мере развития листового аппарата и зависит от продолжительности межфазных этапов роста. Для каждой культуры характерна своя оптимальная динамика нарастания листовой массы, определяемая конкретными условиями возделывания [10, 11].

При рассмотрении фотосинтетического потенциала по годам исследований в соответствии с продолжительностью вегетационного периода горчицы сарептской следует отметить, что растения в 2022 г. полный цикл развития прошли за 79 сут и суммарная величина фотосинтетического потенциала при этом была равна 908,86 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сут/га}$.

На следующий год период вегетации составил 99 сут и соответственно общая величина ФП увеличилась на 252,26 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сут/га}$. Это связано с более длительным периодом вегетации и благоприятными условиями увлажнения. При таком режиме произрастания растения лучше аккумулировали энергию Солнца и их ФП выше, чем у растений с более коротким периодом вегетации.

На третий год исследований продолжительность вегетации составила 70 сут, поэтому суммарная величина ФП была наименьшей – 589,74 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сут/га}$.

В условиях 2022 г. ФП варьировал от 65,12 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сут/га}$ в период от всходов до розетки листьев до 516,87 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сут/га}$ в период от цветения до зеленого стручка. Следует отметить, что наибольшая величина фотосинтетического потенциала, 608,79 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сут/га}$, наблюдалась при максималь-

ной густоте стояния в фазе образования зеленого стручка. При снижении нормы высева до 1,0 млн шт./га ФП уменьшается до 419,21 тыс. м² · сут/га.

По сортам значение фотосинтетического потенциала зависело от длительности прохождения каждого периода развития и влагообеспеченности. У сортов Валента и Первотаровская максимальное поглощение солнечной энергии было отмечено в период от всходов до розетки листьев, ФП составил 71,28 тыс. м² · сут/га. В следующий межфазный период наибольшее значение, 206,52 тыс. м² · сут/га, получено у сорта Валента. В этот же период у сортов Горлинка и Первотаровская показатель был меньше на 3,96 и 13,47 тыс. м² · сут/га. Во время бутонизации – цветения выделился сорт Горлинка с суммой ФП 182,10 тыс. м² · сут/га. Наибольшие значения фотосинтетического потенциала как в период цветения – зеленого стручка (588,88 тыс. м² · сут/га), так и в целом за всю вегетацию (947,27 тыс. м² · сут/га) отмечены у сорта Сигма.

На второй год исследований закономерность увеличения фотосинтетического потенциала при загущении агроценоза сохранилась. Так, в период от всходов до розетки листьев ФП в среднем повышался от 78,72 до 116,13 тыс. м² · сут/га, в период от розетки листьев до бутонизации – от 145,33 до 229,33 тыс. м² · сут/га, в следующий промежуток – от 187,41 до 273,66 тыс. м² · сут/га. В более длинный межфазный период от цветения до зеленого стручка (от 14 до 20 сут) ассимиляционный аппарат работал продуктивнее и поэтому фотосинтетический потенциал становился выше – 550,55–738,31 тыс. м² · сут/га. В этот период у сортов Валента и Горлинка получены максимальные значения – 739,80 и 725,00 тыс. м² · сут/га соответственно. У них же отмечена наибольшая величина суммарного фотосинтетического потенциала 1333,87 и 1301,55 тыс. м² · сут/га. При норме высева 3,0 млн шт./га она составила 1569,35 и 1529,30 тыс. м² · сут/га соответственно.

В засушливом 2024 г. фотосинтетический потенциал был значитель-

но ниже, чем в предыдущие годы, из-за слабого нарастания ассимиляционной поверхности и короткого периода вегетации. Тенденция увеличения ФП от фазы всходов до зеленого стручка сохранилась, и в среднем за вегетацию он возрастал от 47,42 до 589,74 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сут/га}$. Наибольший суммарный фотосинтетический потенциал получен у сортов Первотаровская и Сигма – 614,85 и 611,05 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сут/га}$.

В период от всходов до цветения горчицы у сорта Первотаровская получены максимальные значения ФП – 52,80–112,3 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сут/га}$. На момент взятия четвертой пробы наивысший фотосинтетический потенциал, 340,51 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сут/га}$, отмечен у сорта Сигма, что на 24,03 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сут/га}$ больше, чем у сортов Алиса и Горлинка. За весь вегетационный период культуры наименьший показатель ФП, 563,03 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сут/га}$, получен у сорта Люкс. Это говорит о скороспелости сорта и быстром прохождении фенологических фаз. На загущенных посевах сортов Первотаровская и Валента суммарная величина фотосинтетического потенциала была практически одинаковой (726,26 и 722,65 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сут/га}$). Однако у сорта Сигма при той же норме высева она была максимальной – 745,40 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сут/га}$.

В среднем за три года исследований наибольшая величина суммарного фотосинтетического потенциала получена у сорта Горлинка – 951,45 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сут/га}$ (рисунок 4). Вторым по этому показателю является сорт Валента с общим значением 923,32 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сут/га}$. У остальных сортов суммарная величина ФП варьировала от 835,19 до 890,39 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сут/га}$.

Фотосинтетический потенциал возрастает с увеличением нормы высева от 1,0 до 3,0 млн шт./га и за период от всходов до зеленого стручка равен 719,46–1051,16 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сут/га}$. Оптимальной величины, 898,38–966,04 тыс. $\text{м}^2 \cdot \text{сут/га}$, ФП достиг при нормах высева 2,0 и 2,5 млн шт./га.

Для проведения комплексной оценки фотосинтетической деятельности растений рассчитывают чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ), она представляет собой качественную характеристику работы листового

аппарата, измеряют количество сухого вещества в граммах, образующееся в растениях за 1 сут, в расчете на 1 м² листовой поверхности [11].

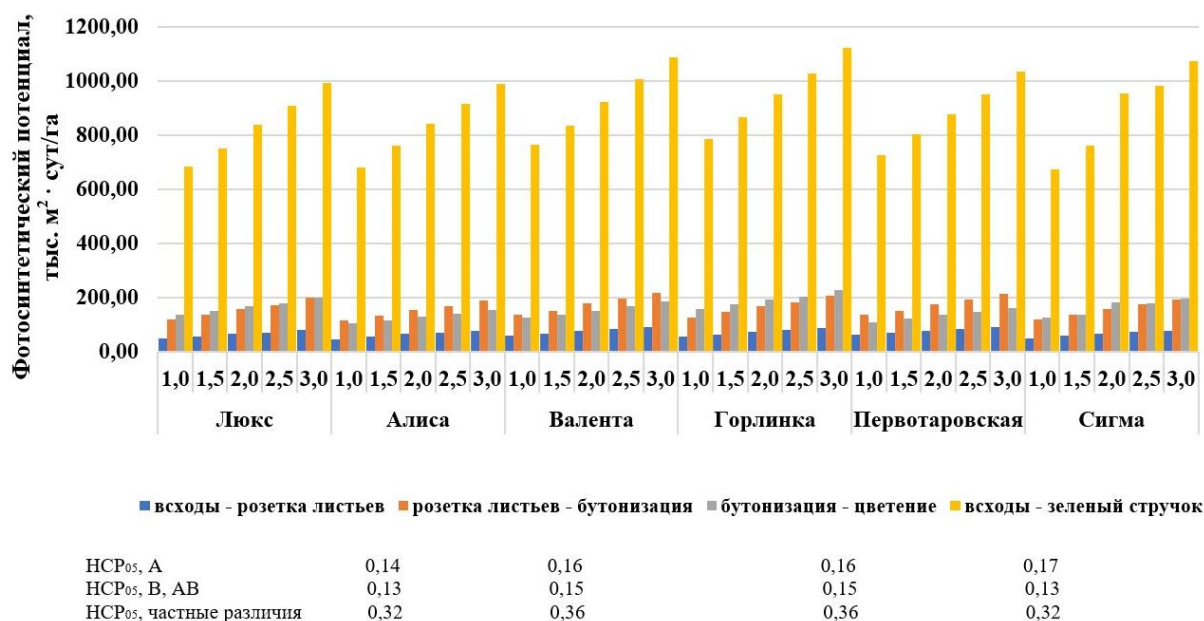


Рисунок 4 – Фотосинтетический потенциал горчицы сарептской в зависимости от нормы высева (2022–2024 гг.), тыс. м² · сут/га
Figure 4 – Photosynthetic potential of Sarepta mustard depending on the sowing rate (2022–2024), thousand m² · day/ha

Чистая продуктивность фотосинтеза варьировала как по годам исследований, так и в течение вегетации. Увеличение ЧПФ было отмечено в период от розетки листьев до бутонизации. Это объясняется тем, что в начале роста растения не затеняли друг друга и листья были хорошо освещены. В первый год изменение составило 2,76–3,79 г/(м² · сут), во второй – 3,26–4,66 г/(м² · сут). Менее продуктивно «работали» листья в 2024 г., когда ЧПФ была самой низкой – 2,54–3,41 г/(м² · сут). Это связано с неблагоприятными погодными условиями в течение всего онтогенеза горчицы сарептской.

В дальнейшем в фазе цветения при нарастании площади ассимиляционной поверхности ЧПФ уменьшилась по отношению к фазе бутонизации на 53,8; 53,5 и 47,8 % соответственно, так как верхние листья затеняли нижние, которые отмирали, поскольку шла конкуренция за внешние факторы жизни. Снижение чистой продуктивности фотосинтеза продолжалось и в фазе зеле-

ного стручка. Минимальное значение этого показателя, $0,59 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, отмечено в 2024 г. Продуктивность работы листьев в 2023 г. была выше на $0,3 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, в 2022 г. – на $0,13 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$. Более стабильными показателями чистой продуктивности фотосинтеза по всем фазам развития в среднем за три года характеризовались сорта Первотаровская и Валента. Особенно ярко это проявилось в наиболее активный период роста ассимиляционной поверхности. Если в фазе розетки листьев ЧПФ составила в среднем $2,9 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, то в фазе бутонизации она увеличилась на 27,5 %, что соответствует $4,04 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$. К фазе цветения ЧПФ в среднем за год снижается до $1,90 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$. Однако наиболее продуктивным оказался сорт Люкс, ЧПФ которого равна $1,99 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, на $0,05 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ уступали ему сорта Горлинка и Первотаровская. Эффективность работы листового аппарата сорта Валента составила $1,87 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, сорта Алиса – $1,84 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, сорта Сигма – $1,81 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$. Достаточно устойчивые показатели ЧПФ были у сортов в фазе зеленого стручка, но следует отметить максимум – $0,78 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, у сорта Алиса.

По мере увеличения нормы высева от 1,0 до 3,0 млн шт./га чистая продуктивность фотосинтеза уменьшалась на протяжении всех лет исследований, и в среднем за три года в фазе розетки листьев показатель снижается от $3,03$ до $2,67 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, в фазе бутонизации – от $4,26$ до $3,63 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, в фазе цветения – от $2,15$ до $1,57 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ и в фазе зеленого стручка – от $0,76$ до $0,53 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$. Однако увеличение ЧПФ в разреженных посевах не восполняет недостающего количества растений на единице площади, в результате продуктивность таких агроценозов падает.

Полученные результаты измерения показателей фотосинтеза подтверждаются данными о семенной продуктивности горчицы сарептской. В среднем за три года установлено, что максимальную урожайность маслосемян – $2,00 \text{ т}/\text{га}$ – обеспечил сорт Первотаровская с расходом семенного материала из расчета $2,5$ млн шт./га, сорт Валента – $1,91 \text{ т}/\text{га}$. Уменьшение нор-

мы высева до 2,0 млн шт./га слабо повлияло на снижение семенной продуктивности этих сортов, которая составила 1,92 и 1,86 т/га соответственно.

Выводы. Наиболее продуктивным среди выбранных нами сортов горчицы сарептской являлся сорт Первотаровская, площадь ассимиляционной поверхности которого составила в 2023 г. в фазе цветения 41,77 тыс. м²/га при норме высева 2,5 млн шт./га всхожих семян, при этом обеспечивалась урожайность семян до 2,00 т/га. Мало уступал ему сорт Валента, площадь листьев которого в тот же период составила 41,43 тыс. м²/га. Семенная продуктивность этих сортов отличается на 0,09 т/га. Полученные размеры листового аппарата обеспечивают рост фотосинтетического потенциала до 486,60 и 555,90 тыс. м² · сут/га. Наибольшая чистая продуктивность фотосинтеза, 4,26 г/(м² · сут), отмечена при норме высева 1,0 млн шт./га, однако с увеличением густоты стояния продуктивность фотосинтеза снижается на 3,5–14,8 %.

Список источников

1. Бурцева Н. И. Продуктивность полевых орошаемых агроценозов на основе современных сортов бобовых трав и качество полученного корма // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 2. С. 283–296. DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-2-283-296. EDN: GJVBKU.
2. Прохорова Ю. А., Гущина В. А. Полевая всхожесть и сохранность растений горчицы сарептской в зависимости от гидротермических условий // Сурский вестник. 2024. № 1(26). С. 35–39. DOI: 10.36461/2619-1202_2024_01_006. EDN: GLZWHY.
3. Прохорова Ю. А., Гущина В. А. Влияние природно-климатических факторов на фенологические показатели горчицы сарептской // Цифровые технологии живых систем в сельском хозяйстве: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., г. Пенза, 24 нояб. 2022 г. Пенза: ПГАУ, 2022. Т. 4. С. 13–16. EDN: SXZIKW.
4. Карпова Г. А., Теплицкая Д. Г. Фотосинтетический потенциал и чистая продуктивность фотосинтеза растений яровой мягкой пшеницы Экада 113 при использовании регуляторов роста // Тенденции развития науки и образования. 2019. № 52-4. С. 93–95. DOI: 10.18411/lj-07-2019-89. EDN: VVTNAE.
5. Robblee J. H., Cinco R. M., Yachandra V. K. X-ray spectroscopy-based structure of Mn cluster and mechanism of photosynthetic oxygen evolution // Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics. 2001. Vol. 1503, № 1–2. P. 7–23. EDN: ALKVVWZ.
6. Магомадов М. А., Гаплаев М. Ш., Козырев А. Х. Чистая продуктивность фотосинтеза посевов сои и динамика ее формирования в зависимости от применения гербицидов и удобрений // Нива Поволжья. 2025. № 3(75). DOI: 10.36461/NP.2025.75.3.009. EDN: ZDYBLW.
7. Гущина В. А., Никольская Е. О., Кочемазова Н. В. Фотосинтетическая деятельность старовозрастных посевов эхинацеи пурпурной в лесостепи Среднего Поволжья // Аграрный научный журнал. 2023. № 2. С. 18–24. DOI: 10.28983/asj.y2022i2pp18-24. EDN: RAVAMY.

8. Икоева Л. П., Хаева О. Э. Изучение фотосинтетической деятельности картофеля Фарн в разных почвенно-климатических зонах РСО-Алания // Нива Поволжья. 2025. № 2(74). DOI: 10.36461/NP.2025.74.2.006. EDN: НУРМХГ.

9. Кшникаткина А. Н., Прахова Т. Я., Крылов А. П. Фотосинтетическая деятельность и продуктивность масличных культур в условиях Средневолжского региона // Нива Поволжья. 2018. № 2(47). С. 65–69. EDN: ХРНКИР.

10. Параметры фотосинтеза масличных культур семейства Brassicaceae / Т. Я. Прахова, А. Н. Кшникаткина, Г. В. Ильина, Б. З. Шагиев // Аграрный научный журнал. 2020. № 5. С. 34–37. DOI: 10.28983/asj.y2020i5pp34-37. EDN: РКХФТУ.

11. Фотосинтетический потенциал и урожайность агроценозов яровой пшеницы в зависимости от систем основной обработки почвы и гуминовых удобрений / С. В. Богомазов, М. А. Симонян, О. А. Ткачук, Е. В. Павликова // Нива Поволжья. 2017. № 4(45). С. 23–29. EDN: ЗТИЕНВ.

References

1. Burtseva N.I., 2025. *Produktivnost' polevykh oroshaemykh agrotsenozov na osnove sovremennykh sortov bobovykh trav i kachestvo poluchennogo korma* [Productivity of field irrigated agrocenoses based on modern varieties of leguminous grasses and the quality of the resulting fodder]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 15, no. 2, pp. 283-296, DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-2-283-296, EDN: GJVBKU. (In Russian).

2. Prokhorova Yu.A., Gushchina V.A., 2024. *Polevaya vskhozhest' i sokhrannost' rasteniy gorchitsy sareptskoy v zavisimosti ot gidrotermicheskikh usloviy* [Field germination and preservation of sareptian mustard plants depending on hydrothermal conditions]. *Surskiy vestnik* [Sursk Bulletin], no. 1(26), pp. 35-39, DOI: 10.36461/2619-1202_2024_01_006, EDN: GLZWHY. (In Russian).

3. Prokhorova Yu.A., Gushchina V.A., 2022. *Vliyanie prirodno-klimaticheskikh faktorov na fenologicheskie pokazateli gorchitsy sareptskoy* [Influence of natural and climatic factors on the phenological parameters of Sarepta mustard]. *Tsifrovye tekhnologii zhivyykh sistem v sel'skom khozyaystve: sb. materialov Mezhdunar. nauchno-prakt. konferentsii* [Digital Technologies of Living Systems in Agriculture: Collection of Proc. of the International Scientific and Practical Conference]. Penza, PGAU, vol. 4, pp. 13-16, EDN: SXZIKW. (In Russian).

4. Karpova G.A., Teplitskaya D.G., 2019. *Fotosinteticheskiy potentsial i chistaya produktivnost fotosinteza rasteniy yarovoy myagkoy pshenitsy Ekada 113 pri ispolzovanii regulatorov rosta* [Photosynthetic potential and net productivity photosynthesis of spring wheat plants Ekada 113 when using growth regulators]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Trends in the Development of Science and Education], no. 52-4, pp. 93-95, DOI: 10.18411/lj-07-2019-89, EDN: VVTHAE. (In Russian).

5. Robblee J.H., Cinco R.M., Yachandra V.K., 2001. X-ray spectroscopy-based structure of Mn cluster and mechanism of photosynthetic oxygen evolution. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics*, vol. 1503, no. 1-2, pp. 7-23, EDN: ALKVVWZ.

6. Magomadov M.A., Gaplaev M.Sh., Kozyrev A.Kh., 2025. *Chistaya produktivnost' fotosinteza posevov soi i dinamika yeye formirovaniya v zavisimosti ot primeneniya gerbitsidov i udobreniy* [Net soybean crops photosynthesis productivity and its dynamics depending on the application of herbicides and fertilizers]. *Niva Povolzhya* [Volga Region Farmland], no. 3(75), DOI: 10.36461/NP.2025.75.3.009, EDN: ZDYBLW. (In Russian).

7. Gushchina V.A., Nikolskaya E.O., Kochemazova N.V., 2023. *Fotosinteticheskaya deyatel'nost' starovozrastnykh posevov ekhinatsei purpurnoy v lesostepi Srednego Povolzh'ya* [Photosynthetic activity of old-aged crops of Echinacea purpurea in the forest-steppe of the Middle Volga region]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], no. 2, pp. 18-24, DOI: 10.28983/asj.y2022i2pp18-24, EDN: RABAMY. (In Russian).

8. Koeva L.P., Khaeva O.E., 2025. *Izuchenie fotosinteticheskoy deyatel'nosti kartofelya Farn v raznykh pochvenno-klimaticheskikh zonakh RSO-Alaniya* [Study of photosynthetic activity of Farn potato in different soil and climatic zones of the Republic of North Ossetia – Alania]. *Niva Povolzhya* [Volga Region Farmland], no. 2(74), DOI: 10.36461/NP.2025.74.2.006, EDN: HYPMXG. (In Russian).

9. Kshnikatkina A.N., Prakhova T.Ya., Krylov A.P., 2018. *Fotosinteticheskaya deyatel'nost' i produktivnost' maslichnykh kul'tur v usloviyakh Srednevolzhskogo regiona* [Photosynthetic activity and productivity of oil-bearing crops in the Middle Volga region]. *Niva Povolzhya* [Volga Region Farmland], no. 2(47), pp. 65-69, EDN: XRHKIP. (In Russian).

10. Prakhova T.Ya., Kshnikatkina A.N., Ilyina G.V., Shagiev B.Z., 2020. *Parametry fotosinteza maslichnykh kul'tur semeystva Brassicaceae* [Photosynthetic parameters of oil crops of the Brassicaceae family]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], no. 5, pp. 34-37, DOI: 10.28983/asj.y2020i5pp34-37, EDN: PKXFTY. (In Russian).

11. Bogomazov S.V., Simonyan M.A., Tkachuk O.A., Pavlikova E.V., 2017. *Fotosinteticheskiy potentsial i urozhaynost' agrotsenozov yarovoy pshenitsy v zavisimosti ot system osnovnoy obrabotki pochvy i guminovykh udobreniy* [Photosynthetic potential and yield productivity of agrocenosis of spring wheat depending on system of the primary soil tillage and humic fertilizers]. *Niva Povolzhya* [Volga Region Farmland], no. 4(45), pp. 23-29, EDN: ZTIEHV. (In Russian).

Информация об авторах

В. А. Гущина – заведующая кафедрой растениеводства и лесного хозяйства, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Пензенский государственный аграрный университет (440014, Пензенская обл., г. Пенза, ул. Ботаническая, д. 30), guschina.v.a@pgau.ru;

Ю. А. Прохорова – преподаватель кафедры бухгалтерского учета, анализа и аудита, Пензенский государственный аграрный университет (440014, Пензенская обл., г. Пенза, ул. Ботаническая, д. 30), prohorova.y.a@pgau.ru.

Information about the authors

V. A. Gushchina – Head of the Department of Plant Growing and Forestry, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Penza State Agrarian University (440014, Penza region, Penza, Botanicheskaya st., 30), guschina.v.a@pgau.ru;

Yu. A. Prokhorova – Lecturer at the Department of Accounting, Analysis and Auditing, Penza State Agrarian University (440014, Penza region, Penza, Botanicheskaya st., 30), prohorova.y.a@pgau.ru.

Вклад авторов: В. А. Гущина, Ю. А. Прохорова провели обзор источников литературы, сформулировали цель исследований и задачи, выполнили эксперимент, провели обработку полученных результатов и написали статью.

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: V. A. Gushchina, Yu. A. Prokhorova reviewed the literature sources, formulated the research objective and tasks, carried out the experiment, processed the obtained results and wrote the article.

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 13.03.2026; одобрена после рецензирования 19.05.2026; принята к публикации 25.06.2026.

The article was submitted 13.03.2026; approved after reviewing 19.05.2026; accepted for publication 25.06.2026.