

Общее земледелие и растениеводство / General Agriculture and Crop Production

Научная статья

Original article

DOI: [10.12731/2658-6649-2026-18-2-1527](https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-2-1527)

EDN: [BASJJL](https://www.edn.ru/BASJJL)

УДК 633.34:631.445.4:631.559(571.13)



Формирование урожайности зерна яровой твердой пшеницы в зависимости от различных условий влагообеспеченности и минерального питания

А.Ю. Тимохин, В.С. Юсов, В.В. Михайлов, М.С. Шаповал

ФГБНУ «Омский АНЦ», Омск, Российская Федерация

Аннотация

Обоснование. Пшеница и продукты её переработки являются основным источником калорий и питательных веществ в рационе человека. Изучение влияния условий выращивания (климат, влагообеспеченность) и отдельных элементов агротехнологии (система минерального питания) на реализацию высокого генетического потенциала современных сортов твердой пшеницы является актуальным.

Цель – оценить влияние гидротермических условий вегетационного периода и минеральных удобрений на формирование урожайности зерна яровой твердой пшеницы в южной лесостепной зоне Западной Сибири.

Материалы и методы. Экспериментальная работа выполнялась в 2022–2024 гг. на стационарных опытных участках лаборатории полевого кормопроизводства ФГБНУ «Омский АНЦ», расположенных в южно-лесостепной зоне Омской области (Омский район). В схему опыта включались следующие факторы: А – фоны с различным уровнем обеспеченности почвы подвижным фосфором (по Чирикову – средняя, повышенная и высокая); В – дозы фосфорных удобрений (P_0 и P_{60}); С – дозы азотных удобрений (N_0 , N_{30} и N_{60}); D – применение листовой подкормки удобрениями в фазу кущения – без ЛП и ЛП.

Почвенный покров опытного участка представлен лугово-черноземной, среднемошной, среднегумусной, тяжелосуглинистой почвой с нейтральной реакцией среды (рН водной вытяжки 7,0...7,2), содержанием органического углерода в пахотном слое 4,35...4,65 % и мощностью гумусового горизонта 45 см.

Результаты. В ходе исследований установлено, что динамика содержания общей влаги в почве находилась в прямой зависимости от тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода. Засушливые условия и неравномерное поступление

атмосферных осадков приводят к иссушению до 40-60 %НВ не только пахотно-го слоя, но и всего метрового профиля лугово-черноземной почвы, что негативно сказывается на развитии растений пшеницы. Допосевное внесение аммофоса обеспечивало достоверное увеличение урожайности зерна на 24 % с 1,64 до 2,03 т/га, в сочетании с листовой подкормкой – на 46 % с 1,75 до 2,56 т/га. Прибавка урожайности зерна за счет применения азотных удобрений в дозе 60 кг д.в. на га в сочетании с листовой подкормкой достигала 0,50 т/га (26 %). Применение листовой подкормки карбамидом (10 кг/га) в сочетании с жидким аминокислотным удобрением Биостим Зерновой (1 л/га) в фазу кушения твердой пшеницы способствовало достоверному увеличению урожайности с 1,83 до 2,15 т/га или на 17%. Современный сорт яровой твердой пшеницы Омский лазурит отзывчив на улучшение условий минерального питания, что подтверждается увеличением урожайности в 2,6 раза за счет комплексного применения агрохимических средств.

Ключевые слова: твердая пшеница; влажность почвы; минеральные удобрения; листовая подкормка

Для цитирования. Тимохин, А. Ю., Юсов, В. С., Михайлов, В. В., & Шаповал, М. С. (2026). Формирование урожайности зерна яровой твердой пшеницы в зависимости от различных условий влагообеспеченности и минерального питания. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(2), 388–406. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-2-1527>

Formation of grain yield of spring hard wheat depending on various conditions of moisture supply and mineral nutrition

A.Yu. Timokhin, V.S. Yusov, V.V. Mikhailov, M.S. Shapoval

Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, Russian Federation

Abstract

Background. Wheat and its derivatives are the primary source of calories and nutrients in the human diet. Studying the influence of growing conditions (climate, moisture) and individual agricultural practices (mineral nutrition) on realizing the high genetic potential of modern durum wheat varieties is essential.

Purpose. To assess the influence of hydrothermal conditions of the growing season and mineral fertilizers on the formation of grain yield of spring durum wheat in the southern forest-steppe zone of Western Siberia.

Materials and methods. The experimental work was carried out in 2022–2024 at the stationary experimental plots of the field forage production laboratory of the Omsk

Scientific Center, located in the southern forest-steppe zone of the Omsk region (Omsk district). The experimental design included the following factors: A – backgrounds with different levels of soil availability of mobile phosphorus (according to Chirikov – medium, increased, and high); B – doses of phosphorus fertilizers (P0 and P60); C – doses of nitrogen fertilizers (N0, N30, and N60); D – application of foliar feeding with fertilizers during the tillering stage – without FF and FF. The soil cover of the experimental plot is represented by meadow-chnozem, medium-deep, medium-humus, heavy loamy soil with a neutral reaction of the environment (pH of the aqueous extract 7.0...7.2), the content of organic carbon in the arable layer of 4.35...4.65% and the thickness of the humus horizon of 45 cm.

Results. During the research it was established that the dynamics of the total moisture content in the soil was directly dependent on the heat and moisture supply during the growing season. Drought conditions and uneven precipitation lead to drying up to 40–60% of the arable layer, but also the entire meter-thick profile of meadow-chnozem soil, which negatively affects the development of wheat plants. Pre-sowing application of ammophos significantly increased grain yield by 24%, from 1.64 to 2.03 t/ha, while in combination with foliar application, it increased by 46%, from 1.75 to 2.56 t/ha. The increase in grain yields due to the use of nitrogen fertilizers at a dose of 60 kg active ingredient per hectare in combination with foliar application reached 0.50 t/ha (26%). Foliar application of urea (10 kg/ha) in combination with Biostim Zernovoy liquid amino acid fertilizer (1 l/ha) during the tillering phase of durum wheat resulted in a significant yield increase from 1.83 to 2.15 t/ha, or 17%. The modern spring durum wheat variety Omskiy Lazurit responds to improved mineral nutrition conditions, as evidenced by a 2.6-fold increase in yield due to the combined use of agrochemicals.

Keywords: durum wheat; soil moisture; mineral fertilizers; foliar feeding

For citation. Timokhin, A. Yu., Yusov, V. S., Mikhailov, V. V., & Shapoval, M. S. (2026). Formation of grain yield of spring hard wheat depending on various conditions of moisture supply and mineral nutrition. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(2), 388–406. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-2-1527>

Введение

Пшеница и продукты её переработки являются основным источником калорий и питательных веществ в рационе человека. Под пшеницей находится 70% мировых посевных площадей в самых разных почвенно-климатических условиях, это делает её важнейшей зерновой культурой в мире [17; 21]. Основное назначение твёрдой пшеницы – производство макаронных изделий, отличающихся низким гликемическим индексом. В то же время в африканских и ближневосточных странах её применяют для

изготовления булгура, лапши и кускуса, а в России также для получения манной крупы, богатой каротиноидными пигментами (провитамин А), которая используется в детском питании [4].

В России в 2024 году произведено более 2 млн тонн зерна твердой пшеницы, что обусловлено повышенным спросом и увеличением посевных площадей. Наибольший урожай в Сибирском федеральном округе собран в Омской области и Алтайском крае. При этом превалирует зерно твердой пшеницы 4 и 5 классов [7; 9; 14].

В настоящее время возрастает потребность в сортах, характеризующихся высокими урожайными и хозяйственно ценными признаками в сочетании с устойчивостью к биологическим и климатическим стрессовым факторам. Учитывая это, для сельскохозяйственных товаропроизводителей необходимо создавать сорта, отличающиеся высокой экологической адаптивностью [3; 10].

Урожайность и качество зерна твердой пшеницы и продуктов его переработки зависит от различных факторов. Генетический потенциал сорта в значительной степени определяет максимальный уровень его продуктивности [12; 15; 18]. В условиях дефицита элементов минерального питания только систематическое применение в севооборотах агрохимических средств обеспечивает высокую продуктивность пшеницы и влияет на показатели качества зерна [11; 20].

Актуальность исследований обусловлена необходимостью изучения влияния агроэкологических факторов (климат, плодородие почвы) и элементов агротехнологии (в частности, системы минерального питания) на реализацию генетического потенциала современных сортов твердой пшеницы.

Цель исследования – оценить влияние гидротермических условий вегетационного периода и минеральных удобрений на формирование урожайности зерна яровой твердой пшеницы в южной лесостепной зоне Западной Сибири.

Материалы и методы

Экспериментальная работа выполнялась в 2022–2024 гг. на стационарных опытных участках лаборатории полевого кормопроизводства ФГБНУ «Омский АНЦ», расположенных в южно-лесостепной зоне Омской области (Омский район).

Восьмипольный зернотравяной севооборот включал чередование следующих культур: 1. Свербига восточная + коострец безостый + козлятник восточный 14-16-го гг. ж. (выводное поле); 2. Люцерна 1-2-го гг. ж. (выводное поле); 3. Ежа сборная + эспарцет песчаный 3-5-го гг. ж. (выводное

поле); 4. Сорго-суданковый гибрид; 5. Соя; 6. Твердая пшеница; 7. Лен масличный; 8. Ячмень.

Объект исследований – лугово-черноземная почва, яровая твердая пшеница сорта Омский лазурит.

В схему опыта включались следующие факторы:

- фоны с различным уровнем обеспеченности почвы подвижным фосфором (по Чирикову: I – средняя, II и III – повышенная, IV – высокая) – **фактор А**;

- дозы фосфорных удобрений (P_0 и P_{60}) – **фактор В**;

- дозы азотных удобрений (N_0 , N_{30} и N_{60}) – **фактор С**;

- применение листовой подкормки удобрениями в фазу кущения (без ЛП и ЛП) – **фактор D**.

Таким образом, дозы удобрений (азотных и фосфорных) накладывались поперёк заранее сформированных фонов с различной обеспеченностью почвы фосфором. В результате получены комбинации: N_0 , N_{30} , N_{60} , P_{60} , $N_{30}P_{60}$, $N_{60}P_{60}$ в сочетании с листовой подкормкой и без неё.

Исходная дифференциация по обеспеченности фосфором обусловлена разным балансом элемента в соответствующих вариантах опыта.

Площадь делянки – 360 м², учетная – 18 м². Повторность – трехкратная.

Почвенный покров опытного участка представлен лугово-черноземной, среднетяжелой, среднегумусной, тяжелосуглинистой почвой с нейтральной реакцией среды (рН водной вытяжки 7,0...7,2), содержанием органического углерода в пахотном слое 4,35...4,65 % и мощностью гумусового горизонта 45 см.

Обеспеченность почвы элементами минерального питания перед закладкой полевого опыта: $N-NO_3$ (по Грандваль-Ляжу) – средняя, 10,1...10,5 мг/кг; P_2O_5 (по Чирикову) – средняя, 93...99 мг/кг; K_2O (по Чирикову) – очень высокая, 207...230 мг/кг почвы.

Аммофос и аммиачную селитру вносили локально (сеялка СЗП-3,6) весной, до предпосевной культивации. Листовую подкормку (ЛП) карбамидом (10 кг/га) в сочетании с жидким аминокислотным удобрением Биостим Зерновой (1 л/га) проводили в фазу кущения твердой пшеницы.

Зяблевая обработка почвы осенью – безотвальная на глубину 15 см, «Сибиряк» КС-7,4. Закрытие влаги весной на зяблевых фонах – БЗСС-1,0. Срок посев – III декада мая. Для формирования оптимально стеблестоя твердой пшеницы норма высева была рекомендованной для зоны – 6,0 млн всхожих зёрен на гектар [13]. Уборка и учет урожайности зерна проводили прямым комбайнированием (Wintersteiger Classic).

Сорт яровой твердой пшеницы – Омский лазурит. Оригинатор – ФГБ-НУ «Омский АНЦ». Сорт характеризуется комплексом ценных агрономических признаков: стабильной урожайностью, устойчивостью к засухе и полеганию, высокой резистентностью к болезням, а также превосходными показателями качества зерна [6].

Посевы твердой пшеницы обработаны баковой смесью гербицидов Овсюген Экспресс (КЭ), Примадонна (СЭ) и Гранат (ВДГ) в соответствии с регламентом применения препаратов, что позволило эффективно регулировать уровень засоренности в опыте.

Содержание общей влаги в метровом слое почвы определяли методом высушивания. Отбор проб осуществляли в ключевые фенологические фазы: до посева, в основные периоды вегетации и после уборки урожая. Образцы отбирались почвенным буром послойно (с интервалом 10 см до глубины 1 м) в двухкратной повторности.

Оптимальный диапазон влажности почвы соответствует интервалу между влажностью разрыва капилляров (ВРК) и наименьшей влагоёмкостью (НВ). Экспериментально для метрового слоя лугово-чернозёмной почвы стационара были установлены следующие значения: ВРК – 208 мм, НВ – 297 мм [2].

Агрохимический анализ отобранных перед посевом почвенных образцов проводили по общепринятым методикам: ГОСТ26423-85; ГОСТ 26213-91; ГОСТ 26488-85; ГОСТ 26204-91.

Начальный этап вегетационного периода 2022 года проходил в неблагоприятных условиях. Исходный запас общей влаги достигал 220 мм (74 % НВ). Несмотря на то, что за период с мая по август суммарное количество осадков составило 225 мм (109 % от нормы), основная их часть (свыше 90 мм) пришлась на 28-29 июля. Май и первая половина июня характеризовались жаркой и сухой погодой. Аналогичные условия сохранялись в первой и второй декадах июля. В августе и сентябре температура воздуха соответствовала многолетним значениям, а количество осадков составило 56 % и 127 % от нормы соответственно. Гидротермический коэффициент (по методике Г. Т. Селянинова) за период май-август составил 1,02.

В 2023 году средняя температура воздуха достигла 17,8°C, что на 1°C превышает климатическую норму. При этом наблюдался дефицит осадков: выпало 178 мм, что составляет 86 % от среднемноголетнего показателя. Наиболее экстремальные условия зафиксированы в июле: средняя температура составила 22,6°C, превысив норму на 3,2°C. Гидротермический коэффициент (ГТК) за период май-август составил 0,80. Повышенный

температурный фон и недобор осадков оказали негативное влияние на урожайность зерновых культур, тогда как их уборка проходила в неблагоприятных погодных условиях из-за частых осадков.

Вегетационный период 2024 года был наиболее влагообеспеченным. Отмечено повышенное количество осадков и благоприятное весеннее увлажнение почвы. В мае зафиксировано 75 мм осадков (в 2,4 раза выше среднемноголетних значений) при температуре воздуха на 3,1°C ниже климатической нормы. Это осложнило проведение посевной кампании в оптимальные сроки. Повышенное количество осадков отмечалось в июне – 166 мм, особенно во 2 декаде (125,1 мм). В целом за вегетацию, количество осадков составило 334 мм (161% от нормы) при ГТК за май-август – 1,70.

Результаты и обсуждение

Засушливые условия в период вегетации снижают устойчивость зернового производства, причём наиболее пагубное воздействие наблюдается на ранних стадиях развития растений [5]. В условиях климатических изменений критически важно снизить зависимость растениеводства от абиотических факторов, чтобы обеспечить устойчивый рост урожайности в перспективе [8].

Водный режим растений непосредственно определяет проводимость устьиц, формирование листовой поверхности и интенсивность ассимиляции CO₂, поглощение световой энергии и эффективность фотосинтеза [1]. В ходе исследований установлено, что динамика содержания общей влаги в почве напрямую зависит от тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода (рис. 1). В 2022 году из-за малоснежной зимы перед посевом зафиксированы минимальные запасы влаги в пахотном слое. В последующие месяцы здесь отмечался дефицит увлажнения (40...60%НВ), однако в нижележащих горизонтах распределение влаги было равномерным при более высоком её содержании – 60...80%НВ.

Весной 2023 г. запасы влаги в метровом слое были высокими и составляли в среднем 243...261 мм или 82...88% НВ, что позволило развиваться растениям твердой пшеницы в засушливых условиях вегетационного периода. В дальнейшем отмечалось иссушение метрового профиля как следствие низкого остаточного количества влаги в засушливый сезон.

В 2024 г. отмечалось наиболее высокое содержание влаги в изучаемом профиле почвы, он имел стабильное и равномерное увлажнение в течение всего вегетационного периода – более 70%НВ.

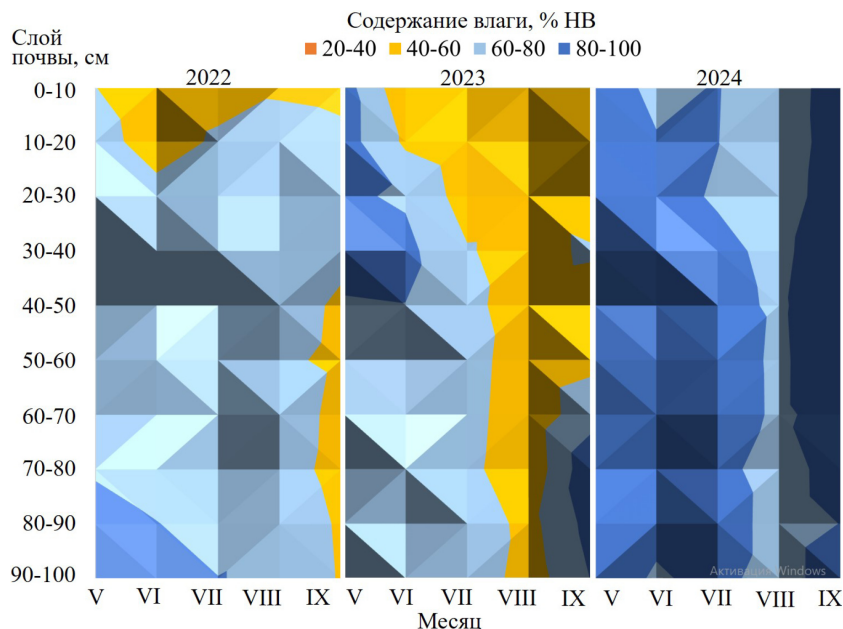


Рис. 1. Изменение содержания влаги в различных слоях почвы в течение вегетационного периода

Fig. 1. Changes in moisture content in various soil layers during the growing season

Сложившиеся гидротермические условия, а также различное содержание доступной влаги в метровой толще почвы и обеспеченность элементами минерального питания оказывали влияние на урожайность зерна твердой пшеницы. Повышенное и высокое содержание P_2O_5 обеспечивало достоверную прибавку зерна пшеницы как в сочетании с листовой подкормкой – с 1,99 до 2,37 т/га или на 19 %, так и без неё – с 1,59 до 2,22 т/га или на 40 % (табл. 1).

Эффективность допосевого внесения фосфора была высокой и достоверной, сбор зерна возрастал на 24 % с 1,64 до 2,03 т/га, при совместном применении с листовой подкормкой – на 46 % с 1,75 до 2,56 т/га. Прибавки урожайности зерна за счет применения азотных удобрений (N_{60}) в сочетании с листовой подкормкой достигали 0,50 т/га или 26 %.

В ходе исследований установлено, что листовая подкормка в период вегетации достоверно повышала урожайность с 1,83 до 2,15 т/га (на 17 %).

На фоне средней обеспеченности подвижным фосфором (фон I), типичной для лугово-чернозёмных почв юга Западной Сибири, применение фосфорных

удобрений (P_{60}) перед посевом способствовало росту урожайности с 1,16 до 1,67 т/га (на 44 %). При совместном внесении P_{60} и N_{60} урожайность достигала 2,02 т/га, что на 74 % превосходит контроль, а при дополнении этой схемы листовой подкормкой продуктивность увеличивалась в 2,3 раза до 2,71 т/га.

Таблица 1.

Урожайность зерна яровой твердой пшеницы в зависимости от условий минерального питания (2022–2024 гг.), т/га

Table 1. Grain Yield of Spring Durum Wheat as a Function of Nutrient Supply (2022–2024), metric tons per hectare

Минеральные удобрения (кг д.в./га)		Фоны по обеспеченности P ₂ O ₅ (А)				Среднее по фактору			
фосфор (В)	азот (С)	I	II	III	IV	D	B	C	
без ЛП (D)									
P ₀	N ₀	1,16	1,49	1,51	1,62	1,83	1,64	1,72	
	N ₃₀	1,28	1,56	1,61	1,76			1,75	
	N ₆₀	1,45	1,91	1,96	2,31		2,03		2,02
P ₆₀	N ₀	1,67	1,94	2,06	2,30				
	N ₃₀	1,97	1,56	1,61	2,65				
	N ₆₀	2,02	1,91	1,96	2,66				
Среднее по фактору А		1,59	1,73	1,79	2,22				
ЛП (D)									
P ₀	N ₀	1,27	1,63	1,66	1,74	2,15	1,75	1,89	
	N ₃₀	1,56	1,55	1,67	2,06			2,17	
	N ₆₀	1,77	1,93	1,89	2,24		2,56		2,39
P ₆₀	N ₀	2,04	2,07	2,24	2,48				
	N ₃₀	2,57	2,58	2,69	2,73				
	N ₆₀	2,71	2,88	2,72	2,96				
Среднее по фактору А		1,99	2,11	2,15	2,37				
НСР ₀₅ : А – 0,13; В – 0,09; С – 0,11; D – 0,09; для частных средних различий – 0,44. Доля влияния факторов, %: А – 16,1; В – 42,1; С – 12,7; D – 11,9; АВ – 1,5; АС – 1,6; АД – 1,1; ВС – 0,3; BD – 5,1; CD – 1,3; ABC – 0,4; ABD – 1,7; ACD – 0,7; BCD – 1,6; ABCD – 1,8.									

Сорт яровой твёрдой пшеницы Омский лазурит продемонстрировал высокую отзывчивость на оптимизацию минерального питания: комплексное воздействие изучаемых факторов увеличивало урожайность в 2,6 раза с 1,16 до 2,96 т/га.

Так как схема опыта по изучению урожайности твердой пшеницы от влагообеспеченности и минерального питания включала в себя большое ко-

личество факторов был применен анализ главных компонент (PCA). Анализ главных компонент – это метод линейного преобразования данных, направленный на уменьшение размерности путём проецирования исходного пространства признаков в новое пространство главных компонент. По сути, PCA выполняет ортогональное преобразование набора коррелированных переменных в набор линейно некоррелированных переменных, называемых главными компонентами [16; 19].

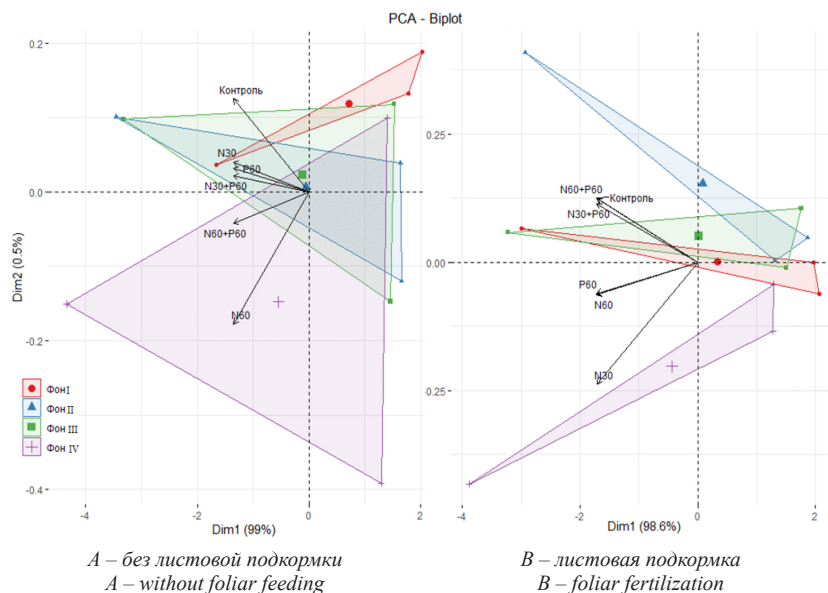


Рис. 2. Анализ главных компонент урожайности в зависимости от фона обеспеченности подвижным фосфором, минеральных удобрений и листовых подкормок. Ось Dim1 показывает вклад в дисперсию первой главной компоненты, Dim2 – вклад в дисперсию второй главной компоненты; треугольник концентрации характеризует достоверность каждой группы.

Fig. 2. Principal component analysis of yield as a function of the background levels of available phosphorus, mineral fertilizers, and foliar fertilizers. The Dim1 axis shows the contribution to the variance of the first principal component, and the Dim2 axis shows the contribution to the variance of the second principal component; the concentration triangle indicates the statistical significance of each group.

Анализ главных компонент урожайности зерна в зависимости от минерального фона и применения подкормок представлен на биплоте, который служит графическим представлением PCA, объединяющим в единый гра-

фик оценки и нагрузки (рис. 2). Оценки – точки данных, спроецированные на основные компоненты, а нагрузки указывают на вклад каждой исходной переменной в основные компоненты, позволяют выявить скрытые закономерности и основные различия между наблюдениями. Первая главная компонента (Dim1=98,6-99,0%) – направление, вдоль которого разброс данных максимален, содержит максимальную информацию о различиях от общей изменчивости. Вторая главная компонента (Dim2 = 0,5%) – перпендикулярна первой и содержит вторую по значимости часть вариативности. При отсутствии листовой подкормки улучшение условий минерального питания существенно увеличивало урожайность (рис. 2А). Применение листовой подкормки максимально увеличило урожайность на фонах с повышенной и высокой обеспеченностью подвижным фосфором (III и IV) в вариантах применения $N_{30}+P_{60}$, $N_{60}+P_{60}$ и на контроле.

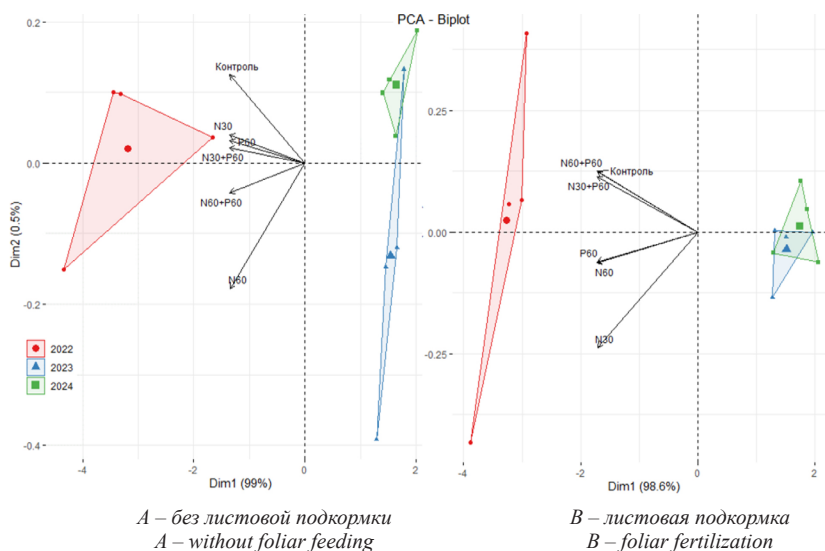


Рис. 3. Анализ главных компонент урожайности по годам в зависимости от внесенных удобрений и листовых подкормок. Ось Dim1 показывает вклад в дисперсию первой главной компоненты, Dim2 – вклад в дисперсию второй главной компоненты; треугольник концентрации характеризует достоверность каждой группы.

Fig. 3. Principal component analysis of yield by year as a function of applied fertilizers and foliar feedings. The Dim1 axis shows the contribution to the variance of the first principal component, and the Dim2 axis shows the contribution to the variance of the second principal component; the concentration triangle indicates the statistical significance of each group.

Оценка влияния погодных условий вегетационного периода на реализацию применяемых удобрений представлена на рисунке 3. Биплот показывает, что в более засушливом 2022 году применение удобрений и подкормок позволило получить большую урожайность твердой пшеницы, при этом применение листовой подкормки увеличивало урожайность на всех вариантах, а без листовой подкормки только при применении $N_{30}+P_{60}$, $N_{60}+P_{60}$, N_{30} , P_{60} .

В годы с чрезмерными ливневыми осадками и недобором эффективных температур применение удобрений оказало негативное влияние на формирование урожайности твердой пшеницы. Происходило затягивание вегетационного периода, формирование большей биомассы растений и полегание стеблестоя.

Заключение

1. Засушливые условия вегетационного периода и отсутствие равномерного поступления атмосферных осадков приводят к иссушению до 40-60 %НВ не только пахотного слоя, но и всего метрового профиля лугово-черноземной почвы, что негативно сказывается на развитии растений пшеницы.

2. Допосевное внесение аммофоса обеспечивает достоверное увеличение урожайности зерна на 24 % с 1,64 до 2,03 т/га, в сочетании с листовой подкормкой – на 46 % с 1,75 до 2,56 т/га. Прибавка урожайности зерна за счет применения азотных удобрений в дозе 60 кг д.в. на га в сочетании с листовой подкормкой достигает 0,50 т/га (26 %).

3. Применение листовой подкормки карбамидом (10 кг/га) в сочетании с жидким аминокислотным удобрением Биостим Зерновой (1 л/га) в фазу кущения твердой пшеницы способствует достоверному увеличению урожайности с 1,83 до 2,15 т/га или на 17%.

4. Современный сорт яровой твердой пшеницы Омский лазурит отзывчив на улучшение условий минерального питания, что подтверждается увеличением урожайности в 2,6 раза за счет комплексного применения агрохимических средств.

5. Анализ главных компонент (РСА) урожайности зерна в зависимости от минерального фона и применения подкормок, а также роль погодных условий вегетационного периода на реализацию применяемых удобрений, подтверждает существенное влияние условий выращивания и изучаемых элементов агротехнологии на реализацию высокого генетического потенциала современных сортов яровой твердой пшеницы.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания № FNUN-2025-0001.

Список литературы

1. Барановский, А. В., & Курдюкова, О. Н. (2024). Влагообеспеченность посевов и водопотребление зернового сорго в зависимости от сроков сева. *Земледелие, (1)*, 39–42. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2024-1-39-42>. EDN: <https://elibrary.ru/YWTWGY>
2. Бойко, В. С., Тимохин, А. Ю., & Якименко, В. Н. (2025). Изменение фосфатного состояния почв лесостепи Западной Сибири при систематическом применении удобрений. *Российская сельскохозяйственная наука, (1)*, 29–33. <https://doi.org/10.31857/S2500262721010075>. EDN: <https://elibrary.ru/QSYHLP>
3. Гапонов, С. Н., Шутарева, Г. И., Цетва, Н. М., Цетва, И. С., Милованов, И. В., Бурмистров, Н. А., Жиганова, Е. С., & Куликова, В. А. (2022). Новый сорт яровой твердой пшеницы Тамара — источник каротиноидных пигментов. *Зерновое хозяйство России, 14(3)*, 51–56. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-81-3-51-56>. EDN: <https://elibrary.ru/NBVMPPF>
4. Гапонов, С. Н., Шутарева, Г. И., Цетва, Н. М., Цетва, И. С., Милованов, И. В., Бурмистров, Н. А., Жиганова, Е. С., & Соловова, Н. С. (2024). Экологическая адаптивность сортов яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) саратовской селекции. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции, 185(1)*, 184–190. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2024-1-184-190>. EDN: <https://elibrary.ru/QMHXXE>
5. Горянин, О. И., Щербинина, Е. В., & Джангабаев, Б. Ж. (2023). Оптимизация сортовых технологий яровой твердой пшеницы в чернозёмной степи Поволжья. *Достижения науки и техники АПК, 37(3)*, 10–15. https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_3_10. EDN: <https://elibrary.ru/KXORMZ>
6. Евдокимов, М. Г., Юсов, В. С., Кирьякова, М. Н., Пахотина, И. В., Мешкова, Л. В., & Глушаков, Д. А. (2023). Омский лазурит — новый сорт твердой яровой пшеницы. *Вестник КрасГАУ, (7)*, 37–46. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-7-37-46>. EDN: <https://elibrary.ru/NFNQLT>
7. Жылкыбаев, Р. С., Жигула, Т. Ю., Шпигель, А. Л., & Потоцкая, И. В. (2025). Формирование урожайности и качества зерна твердой пшеницы в условиях Северного Казахстана. *Аграрный вестник Урала, 25(3)*, 360–370. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-360-370>. EDN: <https://elibrary.ru/KATWJO>
8. Кинчаров, А. И., & Демина, Е. А. (2022). Анализ и краткосрочный прогноз изменения климатических условий в адаптивной селекции яровых зерновых. *Российская сельскохозяйственная наука, (1)*, 23–30. <https://doi.org/10.31857/S2500262722010057>. EDN: <https://elibrary.ru/BFVRFQ>

9. Кравченко, Н. С., Костыленко, О. А., Игнатъева, Н. Г., & Иванисова, А. С. (2024). Сравнение фенотипической изменчивости сортов и линий озимой твердой пшеницы по цветовым характеристикам зерна, крупы и макаронных изделий. *Зерновое хозяйство России*, (1), 33–40. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-90-1-33-40>. EDN: <https://elibrary.ru/WYZRPW>
10. Мальчиков, П. Н., Шаболкина, Е. Н., Мясникова, М. Г., & Пронович, Л. В. (2023). Качество клейковины сортов яровой твердой пшеницы Самарского НИИ-ИСХ и информативность параметров качества. *Достижения науки и техники АПК*, 37(6), 37–43. https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_6_37. EDN: <https://elibrary.ru/BNHOZJ>
11. Массалимов, И. А., Шакирзянов, А. Х., & Массалимов, Б. И. (2024). Влияние листовой обработки наночастицами серы на урожайность пшеницы. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 16(1), 119–143. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-1-716>. EDN: <https://elibrary.ru/IRQJTG>
12. Розова, М. А., Зиборов, А. И., Усенко, В. И., & Егиазарян, Е. Е. (2019). Реакция сортов яровой твердой пшеницы на удобрения и нормы высева при возделывании по технологии No-till в степной зоне Алтайского края. *Достижения науки и техники АПК*, 33(10), 34–39. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-11008>. EDN: <https://elibrary.ru/ENMOVY>
13. ФГБНУ «Омский АНЦ» (2020). *Совершенствование системы производства семян и товарного зерна яровой твердой пшеницы в Омской области: рекомендации*. Омск: Изд-во ИП Макшеевой Е.А., 64 с. EDN: <https://elibrary.ru/GONKNA>
14. Трифонова, А. А., Борис, К. В., Дедова, Л. В., Мальчиков, П. Н., & Кудрявцев, А. М. (2025). Разнообразие отечественных сортов твердой пшеницы по генам синтеза и деградации каротиноидов в зерне. *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 29(3), 370–379. <https://doi.org/10.18699/vjgb-25-40>. EDN: <https://elibrary.ru/MKAQBY>
15. Фризен, Ю. В., Некрасова, Е. В., & Гайвас, А. А. (2024). Влияние отдельных элементов агротехнологии на продуктивность твердой пшеницы в южной лесостепи Омской области. *Аграрная наука*, (2), 81–86. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-81-86>. EDN: <https://elibrary.ru/EXXLWQ>
16. Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). Principal component analysis. *Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics*, 2(4), 433–459. <https://doi.org/10.1002/wics.101>
17. Ayala-Zepeda, M., Parra-Cota, F. I., Chinchilla-Soto, C., De La Cruz-Torres, E., Ibba, M. I., Estrada-Alvarado, M. I., & de los Santos-Villalobos, S. (2025). 15N-Nitrogen Use Efficiency, Productivity, and Quality of Durum Wheat Integrating Nitro-

- gen Management and an Indigenous Bacterial Inoculant in a Single Growing Season. *Applied Sciences*, 15(3), 1429. <https://doi.org/10.3390/app15031429>. EDN: <https://elibrary.ru/TQMVMJ>
18. Bakshi, M. S., Ahluwalia, G. K., Mandial, D., Khullar, P., Gupta, V., Kumar, H., & Singh, N. (2019). Role of Gluten in Surface Chemistry: Nanometallic Bioconjugation of Hard, Medium, and Soft Wheat Protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(28), 7886–7897. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b01015>. EDN: <https://elibrary.ru/RDSWVP>
 19. Bro, R., & Smilde, A. (2024). Principal component analysis. *Analytical methods*, 6, 2812–2831. <https://doi.org/10.1039/C3AY41907J>
 20. Dimitriadi, D., Stylianidis, G. P., Tsirogiannis, I., Chorianopoulou, S. N., & Bouranis, D. L. (2025). Biofortification of Durum Wheat Grain: Interactions Between Micronutrients as Affected by Potential Biofortification Enhancers and Surfactants. *Plants*, 14(24), 3759. <https://doi.org/10.3390/plants14243759>. EDN: <https://elibrary.ru/TOGAHI>
 21. Khalid, A., Hameed, A., & Tahir, M. F. (2023). Wheat quality: A review on chemical composition, nutritional attributes, grain anatomy, types, classification, and function of seed storage proteins in bread making quality. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1053196. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1053196>. EDN: <https://elibrary.ru/LHWUHE>

References

1. Baranovsky, A. V., & Kurdyukova, O. N. (2024). Moisture provision of crops and water consumption of grain sorghum depending on sowing dates. *Zemledeliye*, (1), 39–42. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2024-1-39-42>. EDN: <https://elibrary.ru/YWTWGY>
2. Boyko, V. S., Timokhin, A. Yu., & Yakimenko, V. N. (2025). Changes in the phosphate status of forest-steppe soils of Western Siberia under systematic application of fertilizers. *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka*, (1), 29–33. <https://doi.org/10.31857/S2500262721010075>. EDN: <https://elibrary.ru/QSYHLP>
3. Gaponov, S. N., Shutareva, G. I., Tsetva, N. M., Tsetva, I. S., Milovanov, I. V., Burmistrov, N. A., Zhiganova, E. S., & Kulikova, V. A. (2022). New spring durum wheat variety Tamara — a source of carotenoid pigments. *Zernovoe khozyaistvo Rossii*, 14(3), 51–56. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-81-3-51-56>. EDN: <https://elibrary.ru/NBVMPP>
4. Gaponov, S. N., Shutareva, G. I., Tsetva, N. M., Tsetva, I. S., Milovanov, I. V., Burmistrov, N. A., Zhiganova, E. S., & Solovova, N. S. (2024). Ecological adaptability of spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) varieties of Saratov breeding. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii*, 185(1), 184–190. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2024-1-184-190>. EDN: <https://elibrary.ru/QMHXXE>

5. Goryanin, O. I., Shcherbinina, E. V., & Dzhangabaev, B. Zh. (2023). Optimization of varietal technologies for spring durum wheat in the chernozem steppe of the Volga region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 37(3), 10–15. https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_3_10. EDN: <https://elibrary.ru/KXORMZ>
6. Evdokimov, M. G., Yusov, V. S., Kiryakova, M. N., Pakhotina, I. V., Meshkova, L. V., & Glushakov, D. A. (2023). Omskii lazurit — a new variety of spring durum wheat. *Vestnik KrasGAU*, (7), 37–46. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-7-37-46>. EDN: <https://elibrary.ru/NFNQLT>
7. Zhylykbaev, R. S., Zhigula, T. Yu., Shpigiel, A. L., & Pototskaya, I. V. (2025). Formation of yield and grain quality of durum wheat under conditions of Northern Kazakhstan. *Agrarnyi vestnik Urala*, 25(3), 360–370. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-360-370>. EDN: <https://elibrary.ru/KATWJO>
8. Kincharov, A. I., & Demina, E. A. (2022). Analysis and short-term forecast of climatic conditions changes in adaptive breeding of spring cereals. *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka*, (1), 23–30. <https://doi.org/10.31857/S2500262722010057>. EDN: <https://elibrary.ru/BFVRFQ>
9. Kravchenko, N. S., Kostylenko, O. A., Ignatyeva, N. G., & Ivanisova, A. S. (2024). Comparison of phenotypic variability of winter durum wheat varieties and lines by color characteristics of grain, groats, and pasta products. *Zernovoe khozyaistvo Rossii*, (1), 33–40. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-90-1-33-40>. EDN: <https://elibrary.ru/WYZRPW>
10. Malchikov, P. N., Shabolkina, E. N., Myasnikova, M. G., & Pronovich, L. V. (2023). Gluten quality of spring durum wheat varieties from Samara Research Institute of Agriculture and the informativeness of quality parameters. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 37(6), 37–43. https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_6_37. EDN: <https://elibrary.ru/BNHOZJ>
11. Massalimov, I. A., Shakirzyanov, A. Kh., & Massalimov, B. I. (2024). Effect of foliar treatment with sulfur nanoparticles on wheat yield. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 16(1), 119–143. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-1-716>. EDN: <https://elibrary.ru/IRQJTG>
12. Rozova, M. A., Ziborov, A. I., Usenko, V. I., & Egiazaryan, E. E. (2019). Response of spring durum wheat varieties to fertilizers and seeding rates under No-till technology in the steppe zone of the Altai Territory. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 33(10), 34–39. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-11008>. EDN: <https://elibrary.ru/ENMOVY>
13. FGBNU “Omskii ANTs” (2020). *Improvement of the system for production of seeds and commercial grain of spring durum wheat in the Omsk region: Guidelines*. Omsk: Izd-vo IP Makshevoi E.A., 64 p. EDN: <https://elibrary.ru/GOHKHA>

14. Trifonova, A. A., Boris, K. V., Dedova, L. V., Malchikov, P. N., & Kudryavtsev, A. M. (2025). Diversity of domestic durum wheat varieties in genes for synthesis and degradation of carotenoids in grain. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*, 29(3), 370–379. <https://doi.org/10.18699/vjgb-25-40>. EDN: <https://elibrary.ru/MKAQBY>
15. Frizen, Yu. V., Nekrasova, E. V., & Gaivas, A. A. (2024). Effect of individual elements of agricultural technology on the productivity of durum wheat in the southern forest-steppe of the Omsk region. *Agrarnaya nauka*, (2), 81–86. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-81-86>. EDN: <https://elibrary.ru/EXXLWQ>
16. Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). Principal component analysis. *Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics*, 2(4), 433–459. <https://doi.org/10.1002/wics.101>
17. Ayala-Zepeda, M., Parra-Cota, F. I., Chinchilla-Soto, C., De La Cruz-Torres, E., Ibba, M. I., Estrada-Alvarado, M. I., & de los Santos-Villalobos, S. (2025). 15N-Nitrogen Use Efficiency, Productivity, and Quality of Durum Wheat Integrating Nitrogen Management and an Indigenous Bacterial Inoculant in a Single Growing Season. *Applied Sciences*, 15(3), 1429. <https://doi.org/10.3390/app15031429>. EDN: <https://elibrary.ru/TQMVJM>
18. Bakshi, M. S., Ahluwalia, G. K., Mandial, D., Khullar, P., Gupta, V., Kumar, H., & Singh, N. (2019). Role of Gluten in Surface Chemistry: Nanometallic Bioconjugation of Hard, Medium, and Soft Wheat Protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(28), 7886–7897. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b01015>. EDN: <https://elibrary.ru/RDSWVP>
19. Bro, R., & Smlde, A. (2024). Principal component analysis. *Analytical methods*, 6, 2812–2831. <https://doi.org/10.1039/C3AY41907J>
20. Dimitriadis, D., Stylianidis, G. P., Tsirogiannis, I., Chorianopoulou, S. N., & Bouranis, D. L. (2025). Biofortification of Durum Wheat Grain: Interactions Between Micronutrients as Affected by Potential Biofortification Enhancers and Surfactants. *Plants*, 14(24), 3759. <https://doi.org/10.3390/plants14243759>. EDN: <https://elibrary.ru/TOGAHI>
21. Khalid, A., Hameed, A., & Tahir, M. F. (2023). Wheat quality: A review on chemical composition, nutritional attributes, grain anatomy, types, classification, and function of seed storage proteins in bread making quality. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1053196. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1053196>. EDN: <https://elibrary.ru/LHWUHE>

ВКЛАД АВТОРОВ

Тимохин А.Ю., Юсов В.С.: разработка концепции научной работы, анализ данных, статистическая обработка полученных результатов, статистическая обработка полученных результатов, составление черновика рукописи.

Тимохин А.Ю., Михайлов В.В., Шаповал М.С.: проведение полевых экспериментов, сбор данных.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Timokhin A.Yu., Yusov V.S.: development of the scientific concept, data analysis, statistical analysis of the results, statistical analysis of the results, drafting the manuscript.

Timokhin A.Yu., Mikhailov V.V., Shapoval M.S.: conduct of the field experiments, data collection.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Тимохин Артем Юрьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр»
пр. Королева, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
timokhin@anc55.ru

Юсов Вадим Станиславович, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр»
пр. Королева, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
yusov@anc55.ru

Михайлов Вячеслав Владимирович, кандидат биологических наук, научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр»
пр. Королева, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
mikhailov@anc55.ru

Шаповал Максим Сергеевич, младший научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр»
пр. Королева, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
shapoval@anc55.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Artem Yu. Timokhin, PhD in Agricultural Sciences, Leading Researcher
Federal State Budgetary Scientific Institution "Omsk Agrarian Scientific Center"
26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

timokhin@anc55.ru

SPIN-code: 5162-2346

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5120-4068>

ResearcherID: JPL-4190-2023

Scopus Author ID: 57213195613

Vadim S. Yusov, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher

Federal State Budgetary Scientific Institution "Omsk Agrarian Scientific Center"

26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

yusov@anc55.ru

SPIN-code: 2747-8921

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4159-3872>

ResearcherID: AAN-9062-2020

Scopus Author ID: 57197714650

Vyacheslav V. Mikhailov, PhD in Biological Sciences, Researcher

Federal State Budgetary Scientific Institution "Omsk Agrarian Scientific Center"

26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

mikhailov@anc55.ru

SPIN-code: 9423-4622

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2320-231X>

Maxim S. Shapoval, Junior Researcher

Federal State Budgetary Scientific Institution "Omsk Agrarian Scientific Center"

26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

ms.shapoval1813@mail.ru

SPIN-code: 3687-8121

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8960-0817>

Поступила 19.12.2025

После рецензирования 20.02.2026

Принята 01.03.2026

Received 19.12.2025

Revised 20.02.2026

Accepted 01.03.2026