

Ирина Рафиковна Манукян

Северо-Кавказский НИИ горного и предгорного сельского хозяйства – филиал Владикавказского научного центра РАН, с. Михайловское, Республика Северная Осетия – Алания, Россия

miririna.61@mail.ru

ОЦЕНКА АДАПТИВНОСТИ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ ОЗИМОЙ К ЭКОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО КAVKAZa

Цель исследований – изучить экологическую реакцию сортообразцов пшеницы мягкой озимой на природные условия предгорной зоны Центрального Кавказа. В 2022–2024 гг. в предгорной зоне Центрального Кавказа были изучены 15 сортов пшеницы озимой мягкой, включая образцы из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР). Полевые испытания проводились в соответствии с методикой Госсортоиспытания. Для оценки засухоустойчивости использовались различные индексы: индекс линейной плотности колоса (ПК) – число зерен в колосе/длина колоса; канадский индекс (K_i) – масса зерна с колоса/длина колоса; индекс продуктивности растений (ИПР) – отношение произведения числа зерен колоса на вес зерна колоса к длине колоса; индекс стабильности урожайности (YSI). Для всех сортов были рассчитаны индексы засухоустойчивости на основе данных по урожайности в самый засушливый (2024) и более благоприятный (2022) годы. Также был рассчитан суммарный балл рангов каждого образца по всем индексам. В условиях засухи был проведен отбор форм пшеницы мягкой озимой, которые стабильно обеспечивают все основные элементы структуры урожая. К числу наиболее продуктивных и устойчивых к абиотическим факторам среды сортообразцов пшеницы озимой мягкой можно отнести 2 образца из Ирака № T1 и № T3 (*V. graecum* и *V. ferrugineum*), сорта Arap и Naz (*V. erythrospermum*) из Казахстана, Chornobrova (*V. uralicum*) из Украины и Livius (*V. erythrospermum*) из Австрии. Устойчивыми к фузариозу колоса относятся: Naz (*V. barbarossa*), Su-Mai 3 (*V. ferrugineum*), Livius и Arap (*V. erythrospermum*), № T1, T3, T17 из Ирака (*V. ferrugineum* и *V. graecum*), K-21923 (*V. delfii*). Эти образцы, выделенные по совокупности признаков, перспективны для использования в селекции на засухоустойчивость в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа. Предложенная система индексов позволяет оценить различные аспекты засухоустойчивости и адаптивности сортообразцов.

Ключевые слова: пшеница озимая мягкая, селекционные индексы, засухоустойчивость, разновидности пшеницы

Для цитирования: Манукян И.Р. Оценка адаптивности разновидностей пшеницы мягкой озимой к экологическим условиям предгорной зоны Центрального Кавказа // Вестник КрасГАУ. 2025. № 5. С. 91–103. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-5-91-103.

Irina Rafikovna Manukyan

North Caucasian Research Institute of Mountain and Foothill Agriculture – branch of the Vladikavkaz Scientific Center of the RAS, Mikhailovskoye village, Republic of North Ossetia – Alania, Russia

miririna.61@mail.ru

ASSESSMENT OF SOFT WINTER WHEAT VARIETIES ADAPTABILITY TO THE ECOLOGICAL CONDITIONS OF THE CENTRAL CAUCASUS FOOTHILL ZONE

The objective of the research was to study the environmental response of soft winter wheat accessions to the natural conditions of the foothill zone of the Central Caucasus. In 2022–2024, 15 varieties of winter soft wheat were studied in the foothill zone of the Central Caucasus, including samples from the collection of the All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N.I. Vavilov (VIR). Field trials were conducted in accordance with the State Variety Testing methodology. Various indices were used to assess drought resistance: spike linear density index (SD) — the number of grains in an ear/ear length; Canadian index (Ki) — grain weight per ear/ear length; plant productivity index (PPI) — the ratio of the product of the number of grains in an ear by the weight of the grain in an ear to the length of the ear; yield stability index (YSI). Drought resistance indices were calculated for all varieties based on yield data in the driest (2024) and more favorable (2022) years. The total score of each sample ranks for all indices was also calculated. Under drought conditions, soft winter wheat forms were selected that consistently provide all the main elements of the crop structure. The most productive and resistant to abiotic environmental factors varieties of winter soft wheat include 2 samples from Iraq № T1 and № T3 (*V. graecum* and *V. ferrugineum*), the varieties Arap and Naz (*V. erythrospermum*) from Kazakhstan, Chornobrova (*V. uralicum*) from Ukraine and Livius (*V. erythrospermum*) from Austria. Resistant to fusarium head blight include: Naz (*V. barbarossa*), Su-Mai 3 (*V. ferrugineum*), Livius and Arap (*V. erythrospermum*), № T1, T3, T17 from Iraq (*V. ferrugineum* and *V. graecum*), K-21923 (*V. delfii*). These samples, selected by a set of characteristics, are promising for use in breeding for drought resistance in the conditions of the foothill zone of the Central Caucasus. The proposed index system allows us to evaluate various aspects of drought resistance and adaptability of variety samples.

Keywords: soft winter wheat, breeding indices, drought resistance, wheat varieties

For citation: Manukyan IR. Assessment of soft winter wheat varieties adaptability to the ecological conditions of the Central Caucasus foothill zone. *Bulletin of KSAU*. 2025;(5):91-103. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-5-91-103.

Введение. По данным Росгидромета, за последние 30 лет, с 1991 по 2020 г., в Северо-Кавказском федеральном округе наблюдается заметное потепление климата. Среднегодовая температура воздуха выросла на 1,0–1,6 °С, а количество годовых осадков сократилось на 29 мм по сравнению с периодом с 1961 по 1990 г. [1]. Для адаптации к этим изменениям в зерновом производстве предлагаются следующие меры:

- расширение посевов сортов, устойчивых к засухе;
- мелиорация земель;
- переход к технологиям минимальной или нулевой обработки почвы.

Последняя мера вызывает споры, поскольку не всегда оправдывает себя. С одной стороны, она позволяет сократить затраты на обработку почвы. С другой стороны, она может привести к увеличению количества заболеваний и вредителей, что особенно опасно для зерносеющих регионов, где фузариоз колоса является серьезной проблемой [2, 3].

В глобальном масштабе перед человечеством стоит задача увеличить урожайность и

улучшить качество зерна. Для этого нужно искать новые способы производства продуктов питания, которые позволят получать максимальный урожай при минимальных затратах [4].

Аридизация климата в регионе выражается в осеннем дефиците влаги в почве и повышении среднесуточных температур в период, соответствующий рекомендованным срокам посева пшеницы озимой мягкой. В зимний период в предгорьях снежный покров появляется в середине ноября, но его высота сильно колеблется из года в год и отличается неустойчивостью.

На равнинной части республики снежный покров быстро сходит с полей, что негативно сказывается на условиях зимовки озимых зерновых культур.

Наибольшее количество осадков выпадает в мае и июне, когда гидротермический коэффициент (ГТК) составляет 1,12. С сентября по январь наблюдается засушливый период, ГТК в это время равен 0,63. Воздействие засухи негативно сказывается на урожае сельскохозяйственных культур, в т. ч. хлебных злаков, что подтверждается исследованиями [5,6].

Чтобы удовлетворить прогнозируемый спрос на пшеницу, необходимо создать сорта, которые будут более продуктивными и устойчивыми к стрессовым факторам, способными лучше противостоять биотическим и абиотическим воздействиям. Это наиболее экономичное решение для достижения поставленной цели. Засухоустойчивые сорта пшеницы должны быть адаптированы к конкретным почвенно-климатическим условиям каждого региона, что позволит им полностью раскрыть свой потенциал.

В процессе селекции особое внимание уделяется изучению различных морфологических и физиологических признаков пшеницы озимой мягкой, которые играют ключевую роль в повышении урожайности. Эти признаки играют важную роль в физиологии растений и фотосинтетической деятельности, позволяя выявлять устойчивые к стрессовым факторам генотипы [7, 8].

Некоторые морфологические характеристики пшеницы могут оказывать положительное влияние на хозяйственную ценность сорта в определенных экологических условиях. Более того, гены, отвечающие за эти признаки, могут быть связаны с генами, которые определяют урожайность и качество зерна.

К примеру, многие ученые акцентируют внимание на благотворном влиянии безостых сортов на урожайность, особенно в условиях засухи. В то же время некоторые исследователи, напротив, отмечают преимущества остистых сортов перед безостыми [9, 10].

В регионе существует насущная потребность в разработке и внедрении перспективных сортов пшеницы озимой мягкой, устойчивых к засухе, болезням и другим стрессовым факторам, как основного источника продовольствия. Для успешной селекции пшеницы озимой мягкой необходимо провести тщательный анализ исходного материала с точки зрения его устойчивости к засушливым условиям и болезням [11–14]. Морфологические признаки, используемые для классификации разновидностей пшеницы озимой мягкой, такие как наличие остей, играют важную роль физиологии растений. Отдельные морфологические признаки сорта в конкретных природных условиях могут быть особенно полезны для повышения адаптивности и урожайности [11, 15].

Комплексную морфофизиологическую характеристику засухоустойчивости селекционного материала пшеницы озимой мягкой необходимо проводить по наиболее информативным пря-

мым показателям продуктивности. Воздействие засухи оценивается по нескольким параметрам, главными из которых являются фактический урожай зерна и его качество. К косвенным показателям относятся: высота растений, длина колоса, количество зерен в колосе, масса 1000 зерен и другие морфологические, фенотипические и количественные характеристики [16].

Цель исследований – изучить экологическую реакцию сортообразцов пшеницы мягкой озимой на природные условия предгорной зоны Центрального Кавказа.

Задачи: оценить сортообразцы на адаптивность и засухоустойчивость; выявить среди них образцы с комплексом хозяйственно полезных признаков и устойчивостью к климатическим условиям предгорной зоны Центрального Кавказа.

Объекты и методы. За годы исследования с 2022 по 2024 г. было изучено 15 сортообразцов пшеницы озимой мягкой. Почвы опытного участка представляют собой выщелоченный чернозем, который подстилается галечником. Водный режим здесь промывной, что дополнительно усугубляет проблему недостатка влаги. Среднегодовое количество осадков составляет 735 мм, при этом 75 % из них выпадает в период с мая по июль. Площадь делянок – 1 м², посев – ручной, норма высева – 400 млн/га, предшественник – соя.

При оценке сортообразцов на адаптивность и засухоустойчивость использовали различные селекционные индексы: линейной плотности колоса (ПК) – число зерен в колосе/длина колоса; канадский индекс (Ki) – масса зерна с колоса/длина колоса; продуктивности растений (ИПР) – отношение произведения числа зерен колоса на вес зерна колоса к длине колоса; индекс стабильности урожайности (YSI) – отношение урожайности в стрессовый год (Y_s) к урожайности в благоприятный год (Y_p). Значение индекса $YSI \geq 1$ свидетельствует о толерантности сорта к засушливым условиям [16, 17]. Статистическую обработку данных проводили по Б.А. Доспехову [18]. Фенологические наблюдения – по методике Госсортоиспытания [19].

Результаты и их обсуждение. Пшеница – это основной продукт питания для трех четвертей населения Земли, поскольку в ее зернах содержатся необходимые человеку белки, жиры, углеводы, витамины и другие полезные вещества. Одним из ключевых факторов, ограничивающих производство и урожайность пшеницы, яв-

ляется засуха. В условиях засухи на формирование продуктивности пшеницы озимой мягкой влияют различные аспекты: генетические особенности растений, интенсивность и продолжительность воздействия стрессовых факторов, состояние здоровья растений и их питание, а также взаимодействие генотипа растений и окружающей среды.

Большинство районированных сортов пшеницы озимой мягкой относятся к разновидности *lutescens*. Однако существуют и другие формы пшеницы озимой мягкой, которые могут стать

источником новых генов, обеспечивающих устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды (табл. 1).

Изучение истории окультуривания пшеницы свидетельствует, что в регионах, где она зародилась и эволюционировала (в Передней и Малой Азии, Закавказье, Эфиопии и других местах), в древности произрастали ее остистые формы. Ости считаются признаком ксероморфности, т. е. устойчивости к засушливым условиям. Безостые же формы пшеницы появились позже, в результате селекции.

Таблица 1

Разновидности пшеницы озимой мягкой из коллекции ВИР
Varieties of soft winter wheat from the VIR collection

Образец (страна)	Разновидность	Опуш. колоса	Наличие остей	Цвет колоса	Цвет зерновки
Naz (Казахстан)	barbarossa	Есть	Есть	Красный	Красный
Rausin (Казахстан)	hostianum	Есть	Есть	Белый	Красный
Livius (Австрия)	erythrospermum	Нет	Есть	Белый	Красный
No T1 (Ирак)	graecum	Нет	Есть	Белый	Белый
No T3 (Ирак)	ferrugineum	Нет	Есть	Красный	Красный
No T17 (Ирак)	graecum	Нет	Есть	Белый	Белый
K-21923 (Турция)	delfii	Есть	Нет	Красный	Белый
Chornobrova (Укр.)	uralicum	Нет	Есть	Белый	Фиолетовый
K-39892 (Россия)	erythrospermum	Нет	Есть	Белый	Красный
Arap (Казахстан)	erythrospermum	Нет	Есть	Белый	Красный
Su-Mai 3 (Китай)	ferrugineum	Нет	Есть	Красный	Красный
Batum (США)	erythrospermum	Нет	Есть	Белый	Красный
FD 71012 (США)	uralicum	Нет	Есть	Белый	Фиолетовый
Anara (Казахстан)	erythrospermum	Нет	Есть	Белый	Красный
Баграт st (Россия)	lutescens	Нет	Нет	Белый	Красный

Климат в этих районах является жарким с длительными периодами засухи. Очевидно, что морфофизиологические признаки диких злаков сформировались в процессе эволюции, как адаптации к суровым почвенно-климатическим условиям этих мест. Злаки представляют собой группу растений, которые относятся к ксерофитам. Их отличительной чертой является высокий осмотический потенциал клеточного сока.

Морфологически ксерофиты характеризуются жесткими и кожистыми листьями, на которых расположено множество устьиц. В засушливый период защитной реакцией растения является скручивание листьев, устьица оказываются внутри, транспирация снижается.

Ости считаются одним из признаков, свидетельствующих о способности растений адапти-

роваться к засушливым условиям. В условиях нехватки влаги колосья с остями демонстрируют лучшие физиологические характеристики по сравнению с безостыми. Ости более равномерно распределяют свет, улучшают фотосинтез, активируют рост и развитие растений [16].

Роль остей в формировании урожайности зависит от генетических особенностей сорта и погодных условий в период вегетации. В засушливых условиях ости в комплексе с другими признаками обеспечивает колос продуктами фотосинтеза. В некоторых случаях есть преимущество остистых форм перед безостыми по урожайности [10, 20].

Было установлено, что длинные ости увеличивают фотосинтез. Если флаговый лист функционирует в течение вегетационного периода,

наличие остей не влияет на формирование зерна. Однако когда лист поражен болезнями, фотосинтез остей может частично компенсировать его роль в наливе зерна. Помимо засухи, к неблагоприятным факторам среды относятся возбудители болезней и фитофаги. Их роль в снижении количества и качества зерна велика. Вредоносность этих организмов также сильно зависит от климатических условий года [21].

Метеоусловия за период изучения адаптационных свойств сортообразцов значительно различались. Изучаемые сорта также отличались по своей продуктивности. Хорошей влагообеспеченностью и благоприятными условиями за время испытания характеризовался 2022 г. (ГТК – 0,95). Дефицит влаги за вегетационный период отмечен в 2024 г. (ГТК – 0,64). В 2023 г. ГТК за вегетационный период составил 1,06, что вызвало вспышку заболеваний, в т. ч. фузариоза колоса [11, 14]. В таблице 2 приведены параметры элементов продуктивности изучаемых сортообразцов в благоприятный и стрессовый годы. В ходе исследования сортообразцов были получены данные об их репродуктивном потенциале и о том, как засуха влияет на урожайность. В засушливый год наблюдалось снижение продуктивности всех образцов.

В среднем в 2022 г. урожайность составила 609,7 г/м², а в засушливом 2024 г. – 507,2 г/м². Это означает, что в условиях засухи продуктивность пшеницы озимой мягкой может снижаться в среднем на 16,8 %.

Самый низкий уровень урожайности продемонстрировал образец К-21923 (Турция, *v. delfii*). В 2022 г. его продуктивность составила 287,0 г/м², а в 2024 г. – всего лишь 225,0 г/м², что в 2,2 и 2,8 раза ниже, чем у стандартного сорта Баграт. К образцам, чья урожайность выше стандартного сорта Баграт, относятся: № Т1 (Ирак, *v. graecum*) с урожайностью в благоприятный и засушливый годы 887,5 и 793,5 г/м² соответственно, № Т3 (Ирак, *v. ferrugineum*) с урожайностью 824,6 и 687,5 г/м² соответственно, Агар (Казахстан, *v. erythrospermum*) с урожайностью 805,0 и 740,0 г/м² соответственно, Наз (Казахстан, *v. barbarossa*) с урожайностью 778,0 и 650,0 г/м² соответственно, Livius (Австрии, *v. erythrospermum*) с урожайностью 755,0 и 646,0 г/м² соответственно, Chornobrova (Украина, *v. uralicum*) с

урожайностью 745,0 и 630,4 г/м² соответственно, № Т17 (Ирак, *v. graecum*) с урожайностью в благоприятный и засушливый годы 726,0 и 630,0 г/м² соответственно (табл. 2).

Показатель «вес зерна колоса» в благоприятный год в среднем составил 1,66 г, в засушливый год – 1,43 г, снижение значения показателя в среднем составило 13,8 %. Показатель «длина колоса» в благоприятный год в среднем составил 10,6 см, в засушливый год – 9,44 см, снижение показателя в среднем составило 10,5 %. Показатель «число зерен в колосе» в благоприятный год в среднем составил 49,2 шт., в засушливый год – 41,4 шт., снижение значения показателя в среднем составило 15,8 %.

В 2023 г. в условиях избыточного увлажнения развилась эпидемия фузариоза колоса. В условиях эпифитотии сортообразцы проявили свою устойчивость к заболеванию и были разделены на две группы: устойчивые (количество фузариозных зерен до 5 % и восприимчивые – больше 5 %). К числу устойчивых сортообразцов можно отнести: Наз (*v. barbarossa*); Su-Mai 3 (*v. ferrugineum*), Livius и Arap (*v. erythrospermum*), № Т1, Т3, Т17 из Ирака (*v. ferrugineum* и *graecum*) (см. табл. 2).

К восприимчивым сортообразцам можно отнести: К-21923 (Турция, *v. delfii*), Баграт (Россия, *v. lutescens*), Anara (Казахстан, *v. erythrospermum*), Batum (США, *v. erythrospermum*), К-39892 (Россия, *v. erythrospermum*), FD 71012 (США, *v. uralicum*), Chornobrova (Украина, *v. uralicum*), Rausin (*v. hostianum*).

В процессе селекции особое внимание уделяется не только количественным показателям урожайности, но и комплексной оценке устойчивости растений к различным стрессовым факторам [9, 12, 13].

Ключевым показателем устойчивости является продуктивность, которая складывается из нескольких параметров: числа зерен в колосе, средний вес зерна с колоса, масса зерна 1000 зерен, число колосьев на квадратном метре. Известно, что сумма эффективных температур за вегетационный период оказывает слабое отрицательное влияние на продуктивность колоса, в то время как количество осадков имеет положительное влияние.

Таблица 2

Продуктивность сортов пшеницы озимой мягкой в благоприятный (2022) и стрессовый (2024*) годы
Productivity of soft winter wheat varieties in favorable (2022) and stressful (2024*) years

Образец	Урожайность, г/м ²		Вес зерна с колоса, г		Длина колоса, см		Число зерен в колосе, шт.		Фузариозных зерен, %
	2022	2024*	2022	2024*	2022	2024*	2022	2024*	
Naz	778,0	650,0	2,1	1,9	11,4	10,5	53,7	50,6	0,5
Rausin	390,0	280,0	1,0	0,8	9,0	8,3	36,0	28,7	5,0
Livius	755,0	646,0	2,1	1,9	10,0	9,2	44,0	38,0	2,3
№ Т1	887,5	793,5	2,5	2,3	13,0	10,8	73,0	55,2	2,5
№ Т3	824,6	687,5	2,3	1,9	12,0	10,5	60,0	50,6	3,7
№ Т17	726,0	630,0	2,2	1,8	12,8	10,2	51,0	42,2	2,6
K-21923	287,0	225,0	0,9	0,6	9,0	8,5	25,0	22,6	12,6
Chornobrova	745,0	630,4	2,0	1,8	12,5	10,5	71,0	55,1	6,8
K-39892	368,0	340,0	1,2	1,1	11,0	9,6	52,0	41,2	7,0
Arap	805,0	740,0	2,3	2,2	10,5	10,3	50,0	42,8	4,2
Su-Mai 3	526,0	440,0	1,5	1,2	9,5	8,0	52,0	41,7	0,2
Batum	430,0	306,0	1,2	0,9	9,5	9,0	42,0	36,8	8,7
FD 71012	440,0	320,0	1,1	0,9	9,0	8,4	42,0	38,4	5,8
Anara	555,0	380,0	1,3	1,1	9,0	7,8	40,0	38,4	8,8
Barpat st.	628,9	540,0	1,2	1,0	11,0	10,0	46,3	38,2	8,5
HCP ₀₅	34,2	27,7	–	–	–	–	–	–	–

В комплексной оценке на устойчивость используются различные специальные индексы [17] (табл. 3). Один из таких показателей – индекс линейной плотности колоса (ПК). Он отражает соотношение количества зерен в колосе и длины колоса. Значения этого показателя у исследуемых сотообразцов варьировало от 2,6 до 5,6. Другой показатель – канадский индекс (Ki). Он показывает отношение массы зерна с колоса к длине колоса. Значения этого показателя варьировало от 0,07 до 0,22. По индексу засухоустойчивости YSI лучшие показатели у образ-

цов: K-39892 и Arap (0,92), № T1 (0,89), № T17 (0,87), Livius (0,86), Chornobrova (0,84), Naz, № T3 и Su-Mai 3 (0,83), далее по убывающей: K-21923 (0,78), Баграт (0,74), FD 71012 (0,73), Rausin (0,72), Batum (0,71), Anara (0,68).

Индекс продуктивности растений (ИПР) объединяет три главных показателя продуктивности: количество зерен в колосе, массу зерна колоса и длину колоса [11, 14]. Значения этого индекса у исследуемых сотообразцов варьировало в диапазоне от 1,6 до 11,5.

Таблица 3

Параметры адаптивности сортообразцов пшеницы озимой мягкой
Adaptability parameters of winter soft wheat varieties

Образец	YSI	Ki		ПК		ИПР	
		2022	2024*	2022	2024*	2022	2024*
Naz (Казахстан)	0,83	0,18	0,18	4,7	4,8	9,9	9,2
Rausin (Казахстан)	0,72	0,11	0,10	4,0	3,4	4,0	2,8
Livius (Австрия)	0,86	0,21	0,20	4,4	4,1	9,2	7,8
№ T1 (Ирак)	0,89	0,20	0,21	5,6	5,1	14,0	11,5
№ T3 (Ирак)	0,83	0,19	0,18	5,0	4,8	11,5	8,7
№ T17 (Ирак)	0,87	0,17	0,17	4,0	4,1	8,8	7,4
K-21923 (Турция)	0,78	0,10	0,07	2,8	2,6	2,5	1,6
Chornobrova (Укр.)	0,84	0,16	0,17	5,7	5,2	11,4	9,4
K-39892 (Россия)	0,92	0,11	0,11	4,7	4,3	5,7	4,4
Arap (Казахстан)	0,92	0,22	0,21	4,7	4,2	11,0	9,1
Su-Mai 3 (Китай)	0,83	0,15	0,15	5,5	5,2	8,2	6,3
Batum (США)	0,71	0,13	0,10	4,4	4,1	5,3	3,4
FD 71012 (США)	0,73	0,12	0,11	4,7	4,6	5,1	4,1
Anara (Казахстан)	0,68	0,14	0,14	4,4	4,8	5,8	5,4
Баграт st. (Россия)	0,74	0,11	0,10	4,2	3,8	5,0	3,8

Примечание: YSI – индекс стабильности урожайности; Ki – канадский индекс; ПК – линейная плотность колоса; ИПР – индекс продуктивности растений.

Лучшими образцами по индексу ИПР являются: № T1, Chornobrova, № T3, Arap, Naz. Индекс продуктивности растений (ИПР) более точно отражает изменения урожайности в разные годы. Этот индекс рассчитывается на основе трех основных показателей продуктивности, измеряемых в различных единицах: граммах, сантиметрах и количестве.

Индекс также позволяет оценить адаптивный потенциал сортов. Длина колоса и количество зерен в нем зависят от погодных условий, количества осадков, питательных веществ, а также от устойчивости растений к стрессам в период их формирования – в начале выхода в трубку [18, 22].

Показатели продуктивности колоса у скороспелых сортов в большей степени зависят от погодных условий, чем у среднеспелых, из-за более быстрого прохождения фенологических периодов вегетации. В таких условиях наивысшую урожайность продемонстрировали образцы из Ирака (№ T1 и № T3), которые выколосились на 15–17 дней раньше стандарта. Эти скороспелые сортообразцы в меньшей степени пострадали от дефицита влаги, чем более позднеспелые. Благодаря своей ранней спелости они смогли избежать негативных последствий нехватки влаги во второй половине вегетационного периода.

Практический интерес также представляет исследование взаимосвязи между показателями

адаптивности и продуктивностью (табл. 4). Корреляционный анализ выявил, что индексы, основанные на массе зерна с колоса и длине колоса, являются более информативными. Эти индексы дают возможность оценить генотип и физиологию конкретного растения. Они играют важную роль в селекции и отборе, так как предоставляют достаточно точные критерии для принятия решений. Анализируя матрицу корреляций можно сказать, что продуктивность показывает высокий коэффициент корреляции с индексами K_i и ИПР ($r = 0,96-0,97$). Самый низкий показатель значения коэффициента корреляции отмечен между продуктивностью и индексом засухоустойчивости (YSI) – 0,535. Между собой индексы ИПР и ПК, ИПР и K_i также показывают

тесную корреляционную связь – $r = 0,72$ и $r = 0,92$ соответственно (см. табл. 4).

Для каждого из показателей адаптивности было проведено ранжирование. Итоговая оценка рассчитывалась по сумме рангов, присвоенных каждому параметру. Адаптивный потенциал сорта оценивался по сумме рангов его практической ценности. Низкий числовой показатель суммы рангов свидетельствует, что данный сортообразец обладает высоким адаптивным потенциалом (табл. 5).

Среди образцов, получивших наименьшие суммарные баллы (от 7 до 20), выделяются те, которые продемонстрировали наивысший уровень адаптивности по всем исследуемым параметрам. К ним относятся: № Т1, Arap, Chornobrova, № Т3, Naz, Livius (рис.).

Таблица 4

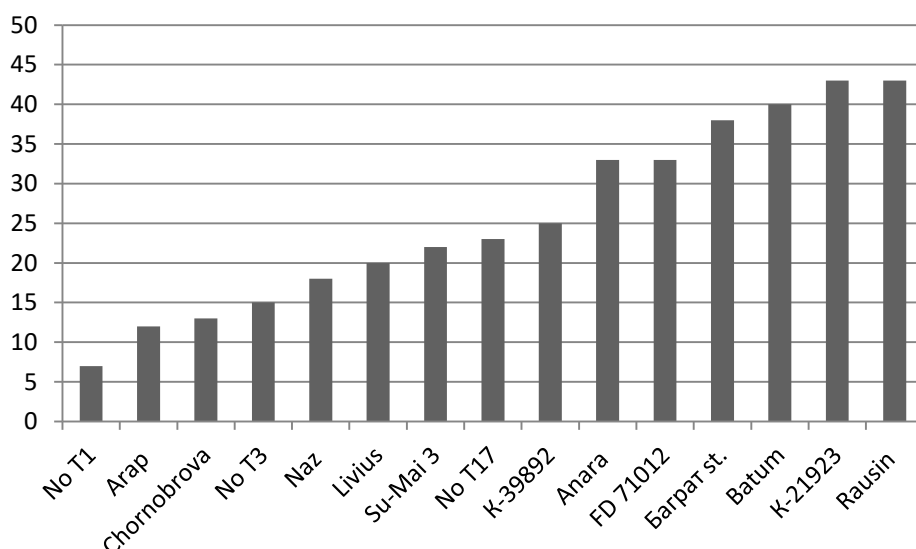
**Матрица корреляций между продуктивностью
и параметрами адаптивности пшеницы озимой мягкой**
Matrix of correlations between productivity and adaptability parameters of winter soft wheat

Показатель	Урожайность, г/м ²	YSI	ПК	K_i	ИПР
Урожайность, г/м ²	1				
YSI	0,535	1			
ПК	0,578	0,228	1		
K_i	0,967	0,538	0,555	1	
ИПР	0,972	0,564	0,720	0,925	1

Таблица 5

Ранги параметров адаптивности сортов пшеницы озимой мягкой
Ranks of adaptability parameters of winter soft wheat varieties

Образец	ПК	Ранг	K_i	Ранг	ИПР	Ранг	YSI	Ранг	Σ рангов
Naz	4,7	4	0,18	3	9,5	5	0,83	6	18
Rausin	3,7	10	0,10	9	3,4	14	0,72	10	43
Livius	4,2	8	0,20	2	8,5	6	0,86	4	20
№ Т1	5,3	2	0,20	2	12,7	1	0,89	2	7
№ Т3	4,9	3	0,18	3	10,1	3	0,83	6	15
№ Т17	4,0	9	0,17	4	8,1	7	0,87	3	23
K-21923	2,7	11	0,08	10	2,0	15	0,78	7	43
Chornobrova	5,4	1	0,16	5	10,4	2	0,84	5	13
K-39892	4,5	6	0,11	8	5,0	10	0,92	1	25
Arap	4,4	7	0,21	1	10,0	4	0,92	1	12
Su-Mai 3	5,3	2	0,15	6	7,2	8	0,83	6	22
Batum	4,2	8	0,11	8	4,3	13	0,71	11	40
FD 71012	4,6	5	0,11	8	4,6	11	0,73	9	33
Anara	4,6	5	0,14	7	5,6	9	0,68	12	33
Баграт st.	4,0	9	0,10	9	4,4	12	0,74	8	38



Распределение сортообразцов пшеницы озимой мягкой по сумме рангов
Distribution of varietal samples of winter soft wheat by the sum of ranks

Следует особенно выделить образцы, устойчивые к фузариозу колоса – опасному заболеванию, вызываемому различными видами грибов рода *Fusarium*. К ним относятся сортообразцы *Naz* (v. *barbarossa*); *Su-Mai 3* (v. *Ferrugineum*), *Livius* и *Arap* (v. *erythrospermum*), № T1, T3, T17 из Ирака (v. *ferrugineum* и *graecum*). Важно подчеркнуть, что все эти образцы представляют собой остистые формы.

Заключение. В настоящее время наблюдается изменение климата, которое выражается в учащении и удлинении периодов засух. В связи с этим поиск образцов, генотипы которых обеспечивают засухоустойчивость, приобретает особое значение при выборе исходного материала для создания сортов пшеницы озимой мягкой, способных противостоять дефициту влаги.

В ходе исследования изучено влияние погодных условий на урожайность пшеницы в разные годы, было выявлено, что осадки оказывают существенное воздействие на этот процесс. В 2024 г. климатические условия характеризовались засушливостью, сопровождаемой длительными периодами высоких температур, достигавших 30 °C в мае и июне. Совместное воздействие высоких температур и засухи оказало более интенсивное воздействие, чем каждый из этих факторов по отдельности. Это привело к заметному снижению урожайности всех

исследуемых сортов по сравнению с более благоприятным 2022 г. [6].

Была проведена сравнительная оценка пятнадцати образцов пшеницы озимой мягкой, которые отличались по морфологическим признакам колоса и зерновки. Для определения засухоустойчивости образцов была применена комплексная оценка с использованием системы индексов, основанных на сравнении урожайности в благоприятных и стрессовых условиях. В ходе исследования был проведен анализ, который выявил, что показатели, основанные на весе зерна в колосе и длине самого колоса, являются более значимыми. Эти показатели позволяют оценить генетические особенности и физиологию конкретного растения. Они играют важную роль в процессе селекции и отбора, поскольку предоставляют надежные критерии для принятия решений. Анализируя матрицу корреляций, можно заметить, что продуктивность имеет высокий уровень корреляции с показателями Ki и ИПР ($r = 0,96-0,97$).

Среди исследуемых образцов были два образца пшеницы озимой мягкой с фиолетовым зерном разновидности *uralicum*: *Chornobrova* (Украина) и *FD 71012* (США). В засушливых условиях 2024 г. они показали различную устойчивость к стрессу. Продуктивность сортообразца *Chornobrova* составила 630,4 г/м², а *FD 71012* – 320,0 г/м², почти в два раза меньше. Итоговый ранговый балл у сортообразца *Chornobrova* ра-

вен 13, у FD 71012 – 33. Разнообразие реакций фиолетовозерных сортов пшеницы на засуху можно объяснить их способностью по-разному активировать процессы синтеза фенольных соединений и антоцианов, которые обладают высокой антиоксидантной активностью в ответ на стрессовые условия [23, 24]. В фиолетовозерных сортах пшеницы озимой мягкой обнаружено 23 вида антоцианов. Предполагается, что синтез определенных видов антоцианов способствует повышению устойчивости к засухе. Вероятно, изучаемые фиолетовозерные сорта различались по спектру антоцианов [25–27].

Отбор форм пшеницы озимой мягкой, стабильно продуцирующих все основные элементы структуры урожая, проводили на фоне умеренной и длительной засухи. Среди отобранных сортообразцов с лучшими суммарными баллами были выделены те, которые оказались наи-

более продуктивными и устойчивыми к неблагоприятным факторам среды. В их число вошли 2 образца из Ирака № Т1 и № Т3 (*v. graecum* и *v. ferrugineum*), сорта Арап и, Naz (*v. Erythrospermum* и *v. barbarossa*) из Казахстана, Chornobrova (*v. uralicum*) из Украины и Livius (*v. Erythrospermum*) из Австрии. Предложенная система индексов позволяет оценить различные аспекты засухоустойчивости и адаптивности сортообразцов. Остистые формы разновидностей пшеницы озимой мягкой с комплексом полезных признаков: *graecum*, *ferrugineum*, *barbarossa*, *uralicum* и *erythrospermum*.

Применение остистых разновидностей пшеницы может быть рекомендовано для выращивания в регионах с недостатком влаги в период вегетации. В таких условиях колосья с остями демонстрируют более высокие физиологические показатели по сравнению с безостыми.

Список источников

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 год. М., 2024. 104 с.
2. OlaOlorun B.M., Shimelius H., Laing M., et al. Development of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Populations for Drought Tolerance and Improved Biomass Allocation Through Ethyl Methanesulphonate Mutagenesis // *Frontiers in Agronomy, Sec. Plant – Soil Interactions*. 2021. Vol. 3. P. 430–440. DOI: 10.3389/fagro.2021.655820.
3. OlaOlorun B.M., Shimelius H., Laing M., et al. Morphological variations of wheat (*Triticum aestivum* L. em. *Thell.*) under variable ethyl methanesulphonate mutagenesis // *Cereal Res. Commun.* 2021. Vol. 49. P. 301–310. DOI: 10.1007/s42976-020-00092-3.
4. Галушко Н.А., Соколенко Н.И. Адаптивность сортов озимой пшеницы, возделываемых в условиях Северо-Кавказского региона // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. № 5 (36). С. 50–54. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_5_50. EDN: AIGVTR.
5. Михайленко И.М., Драгавцев В.А. Основные принципы моделирования систем взаимодействия генотип-среда // *Сельскохозяйственная биология*, 2010. № 3. С. 26–35.
6. Ленточкин А.М., Бабайцева Т.А. Глобальное потепление и изменение условий ведения растениеводства в Среднем Предуралье // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021. № 22 (6). С. 826–834. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.6.826-834.
7. Зуев Е.В., Амри А., Брыкова А.Н., и др. Атлас разнообразия мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по признакам колоса и зерновки. СПб.: ВИР, 2019. 132 с.
8. Дорофеев В.Ф., Филатенко А.А., Мигушова Э.Ф. Определитель пшеницы. Л.: ВИР, 1980. 103 с.
9. Зинатуллина А.Е. К вопросу о комплексной оценке засухоустойчивости пшеницы в полевых и лабораторных условиях // *Экобиотех*. 2022. Т. 5 (3). С. 108–117. DOI: 10.31163/2618-964X-2022-5-3-108-117. EDN: YGSMYI
10. Евдокимов М.Г., Юсов В.С. Роль остей в формировании продуктивности яровой твердой пшеницы в условиях Прииртышья // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2006. № 5. С. 12–19.
11. Манукян И.Р., Басиева Е.М., Мирошникова Е.С., и др. Оценка экологической пластичности сортов озимой пшеницы в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа // *Аграрный вестник Урала* 2019. № 4 (183). С. 20–26. DOI: 10.32417/article_5cf94f63b4d0f7.46300158. EDN MOXROO.

12. Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Индексная оценка засухоустойчивости и адаптивности перспективных сортов диплоидной озимой ржи в контрастных условиях выращивания // Аграрный вестник Урала. 2023. № 07 (236). С. 32–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-32-45. EDN: NRAFWU.
13. Калыбекова Ж.Т., Цыганков В.И., Зуев Е.В., и др. Использование индексов засухоустойчивости при изучении коллекции яровой мягкой пшеницы в условиях Актюбинской области // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 3. С. 85–95. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-85-95. EDN: CAIFYY.
14. Манукян И.Р., Басиева М.А., Абиев В.Б. Оценка продуктивности селекционных образцов озимой пшеницы в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа // Нива Поволжья. 2018. № 4 (49). С. 78–83. EDN: YSKBZJ.
15. Sanchez-Bragado R., Molero G., Araus J.L., et al. Awned versus awnless wheat spikes: does it matter? // Trends Plant Sci. 2023 Vol. 28. № 3. P. 330–343. DOI: 10.1016/j.tplants.2022.10.010. EDN: NSTKLY
16. Sattar S., Afzal R., Bashir I., et al. Biochemical, molecular and morpho-physiological attributes of wheat to upgrade grain production and compete with water stress // International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research. 2019. Vol. 3. P. 510–528. DOI: 10.29329/ijaar.2019.206.16.
17. Bouslama M., Schapaugh W.T. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance // Crop Science. 1984. Vol. 24, № 5. P. 933–937. DOI: 10.2135/cropsci.1984.0011183X002400050026x.
18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 2011. 350 с.
19. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: КОЛОС, 1985. 219 с.
20. Кочерина Н.В., Драгавцев В.А. Введение в теорию эколого-генетической организации полигенных признаков растений и теорию селекционных индексов. СПб.: АФИ. 2008. С. 65.
21. Волкова Л.В. Влияние гидротермических условий Кировской области на продуктивность и качество зерна сортов яровой мягкой пшеницы разных групп спелости // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24, № 3. С. 377–388. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.3.377-388.
22. Агеева Е.В., Леонова И.Н., Лихенко И.Е., и др. Масса зерна колоса и масса тысячи зерен как признаки продуктивности у сортов яровой мягкой пшеницы разных групп спелости в условиях лесостепи // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 7, № 1. С. 5–11. DOI: 10.18699/LettersVJ2021-7-01.
23. Румянцева Н.И., Валиева А.И., Акулов А.Н., и др. Влияние засухи и высоких температур на урожайность и качество зерна фиолетовозерных линий яровой мягкой пшеницы // Биомика. 2021. Т. 13, № 3. С. 254–273. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2021-17.
24. Sharma A., Shahzad B., Rehman A., et al. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress // Molecules. 2019. Vol. 24 (13). P. 2452–2474. DOI: 10.3390/molecules24132452.
25. Li X., Lu X., Wang X., et al. Biotic and abiotic stress-responsive genes are stimulated to resist drought stress in purple wheat // Journal of Integrative Agriculture. 2020. Vol. 19 (1). P. 33–50. DOI: 10.1016/S2095-3119(19)62659-6.
26. Li X., Lu X., Wang X., et al. Effects of abiotic stress on anthocyanin accumulation and grain weight in purple wheat // Crop Pasture Sci. 2018a. Vol. 69 (12). P. 1208–1214. DOI: 10.1071/CP18341.
27. Li X., Qian X., Lu X. et al. Upregulated structural and regulatory genes involved in anthocyanin biosynthesis for coloration of purple grains during the middle and late grain-filling stages // Plant Physiology and Biochemistry. 2018b. Vol. 130. P. 235–247. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.07.011.

References

1. *Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2023 god.* Moscow; 2024, 104 p. (In Russ.).
2. OlaOlorun BM, Shimelius H, Laing M, et al. Development of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Populations for Drought Tolerance and Improved Biomass Allocation Through Ethyl Methanesulphonate Mutagenesis. *Frontiers in Agronomy, Sec. Plant – Soil Interactions*. 2021;3:430-440. DOI: 10.3389/fagro.2021.655820. EDN: QTMVNI.
3. OlaOlorun BM, Shimelius H, Laing M, et al. Morphological variations of wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell.) under variable ethyl methanesulphonate mutagenesis. *Cereal Res. Commun.* 2021;49:301-310. DOI: 10.1007/s42976-020-00092-3. EDN: TCRNQQ.
4. Galushko NA, Sokolenko NI. Adaptability of winter wheat varieties cultivated under the conditions of the North Caucasus region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2022;(5):50-54. (In Russ.). DOI: 10.53859/02352451_2022_36_5_50. EDN: AIGVTR.
5. Mikhailenko IM, Dragavtsev VA. The first principles in mathematical modeling of "genotype-environment" system. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2010;(3):26-35. (In Russ.). EDN: MTHCUJ.
6. Lentochkin AM, Babaytseva TA. Global warming and change in the conditions of crop production practices in the Middle Cis-Urals. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(6):826-834. (In Russ.). DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.6.826-834. EDN: VWIIZQ.
7. Zuev EV, Amri A, Brykova AN, et al. *Atlas raznoobraziya myagkoj pshenicy (Triticum aestivum L.) po priznakam kolosa i zernovki*. Saint-Petersburg: VIR; 2019. 132 p. (In Russ.). DOI: 10.30901/978-5-905954-97-9. EDN: LVSAYJ.
8. Dorofeev VF, Filatenko AA, Migushova EF. *Opredelitel' pshenicy*. Leningrad: VIR, 1980. 103 p. (In Russ.).
9. Zinatullina AE. On the question about the complex evaluation of wheat drought resistance in field and laboratory conditions. *EcoBioTech*. 2022;5(3):108-117. (In Russ.). DOI: 10.31163/2618-964X-2022-5-3-108-117. EDN: YGSMYI.
10. Evdokimov MG, Yusov VS. Role of barbs in forming productivity of hard spring wheat in irtys river basin conditions. *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki*. 2006;(5):12-19. (In Russ.). EDN: HVLIST.
11. Manukyan IR, Basieva MA, Miroshnikova ES. Assessment of ecological plasticity of winter wheat varieties in the conditions of a foothill zone of the Central Caucasus. *Agrarian bulletin of the Urals*. 2019;(4):20-26. (In Russ.). DOI: 10.32417/article_5cf94f63b4d0f7.46300158. EDN: MOXROO.
12. Safonova I, Aniskov N. Index assessment of drought resistance of promising varieties of diploid winter rye in contrastive growing conditions. *Agrarian bulletin of the Urals*. 2023;(07):32-45. (In Russ.). DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-32-45. EDN: NRAFwu.
13. Kalybekova ZhT, Tsygankov VI, Zuev EV, et al. The use of drought resistance indices in the study of the spring bread wheat collection under the conditions of Aktobe Region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):85-95. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-85-95. EDN: CAIFYY.
14. Manukyan IR, Basiyeva MA, Abiyev VB. The evaluation of the productivity of breeding samples of winter wheat in the conditions. *Niva Povolzh'ya*. 2018;4:78-83. (In Russ.). EDN: YSKBZJ.
15. Sanchez-Bragado R, Molero G, Araus JL, et al. Awned versus awnless wheat spikes: does it matter? *Trends Plant Sci*. 2023;28(3):330-343. DOI: 10.1016/j.tplants.2022.10.010. EDN: NSTKLY.
16. Sattar S, Afzal R, Bashir I, et al. Biochemical, molecular and morpho-physiological attributes of wheat to upgrade grain production and compete with water stress. *International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research*. 2019;3:510-528. DOI: 10.29329/ijjaar.2019.206.16.
17. Bouslama M, Schapaugh WT. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*. 1984;24(5):933-937. DOI: 10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x.
18. Dospikhov BA. *Metodika polevogo opyta (c osnovami statisticheskoy obpabotki rezul'tatov issledovaniy)*. Moscow; 2011. 350 p. (In Russ.).

19. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyajstvennykh kul'tur*. Moscow: KOLOS; 1985. 219 p. (In Russ.).
20. Kocherina NV, Dragavcev VA. *Vvedenie v teoriyu ekologo-geneticheskoy organizatsii poligennykh priznakov rastenij i teoriyu selekcionnykh indeksov*. Saint-Petersburg: AFI; 2008. 65 p. (In Russ.). EDN: SACSLZ.
21. Volkova LV. The influence of hydrothermal conditions of the Kirov region on the productivity and quality of grain of spring soft wheat varieties of different ripeness groups. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(3):377-388. (In Russ.). DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.3.377-388. EDN: JANZAU.
22. Ageeva EV, Leonova IN, Likhenko IE, et al. The ear grain weight and the thousand grain weight as productivity traits in varieties of spring bread wheat of different ripening groups in the conditions of the Priob'e steppe. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;7(1):5-11. (in Russ.). DOI: 10.18699/LettersVJ2021-7-01. EDN: XLSVJV.
23. Rumyantseva NI, Valieva AI, Akulov AN. Drought and high temperatures effect on yield and grain quality of purple-grain lines of spring soft wheat. *Biomics*. 2021;13(3):254-273. (In Russ.). DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2021-17. EDN: SNHIMV.
24. Sharma A, Shahzad B, Rehman A, et al. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules*. 2019;24(13):2452-2474. DOI: 10.3390/molecules24132452. EDN: KWCZGT.
25. Li X, Lu X, Wang X, et al. Biotic and abiotic stress-responsive genes are stimulated to resist drought stress in purple wheat. *Journal of Integrative Agriculture*. 2020;19(1):33-50. DOI: 10.1016/S2095-3119(19)62659-6 EDN: BMYNFK.
26. Li X, Lu X, Wang X, et al. Effects of abiotic stress on anthocyanin accumulation and grain weight in purple wheat. *Crop Pasture Sci*. 2018;69(12):1208-1214. DOI: 10.1071/CP18341. EDN: BHFQJA.
27. Li X, Qian X, Lu X, et al. Upregulated structural and regulatory genes involved in anthocyanin biosynthesis for coloration of purple grains during the middle and late grain-filling stages. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2018;130:235-247. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.07.011. EDN: YIBCST.

Статья принята к публикации 31.03.2025 / The article accepted for publication 31.03.2025.

Информация об авторах:

Ирина Рафиковна Манукян, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства сельскохозяйственных культур, кандидат биологических наук, доцент

Information about the authors:

Irina Rafikovna Manukyan, Leading Researcher at the Department of Selection and Seed Production of Agricultural Crops, Candidate of Biological Sciences, Docent

