

ПРОЯВЛЕНИЕ ГЕТЕРОЗИСНОГО ЭФФЕКТА ГИБРИДАМИ F1 И F2 ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Саянов А.Т.^{1,2}, магистр сельскохозяйственных наук, аспирант 4 курса по специальности – 4.1.1. «Общее земледелие и растениеводство»

aidos_sayanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6594-2160>

Бабайцева Т.А.², доктор сельскохозяйственных наук, доцент

taan62@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3784-0025>

Шелаева Т.В.¹, старший научный сотрудник

<https://orcid.org/0000-0001-7328-572X>

Савин Т.В.^{1,3}, кандидат биологических наук

savintimur_83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3550-647X>

Ахметов Б.С.^{1,2}, магистрант 2-курса по специальности – 14152 «Селекция семеноводство сельскохозяйственных культур», младший научный сотрудник bakhtiyar.akhmetov.81@mail.ru

¹ ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А. И. Бараева», п.Шортанды, Казахстан

² ФГБОУ ВО Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия

³ «STEV AGRO» Астана, Казахстан

Аннотация. В статье представлены результаты исследования проявления гетерозисного эффекта у гибридов первого (F₁) и второго (F₂) поколений яровой мягкой пшеницы в условиях Северного Казахстана. Исследования проведены в 2023-2024 гг. на опытном стационаре ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева». В качестве исходного материала использованы 16 сортов различного эколого-географического происхождения, вовлечённых в прямые и обратные скрещивания. Оценка гибридных комбинаций выполнена по комплексу хозяйственно ценных признаков, включая урожайность, количество зерен в главном колосе, массу зерна с колоса и массу 1000 зерен. Гетерозис рассчитывали по отношению к лучшей родительской форме, а степень депрессии определяли во втором поколении гибридов. Установлено, что проявление гетерозисного эффекта имеет выраженный вариабельный характер и зависит как от генотипических особенностей родительских форм, так и от условий года выращивания. Выявлены гибридные комбинации, характеризующиеся высоким уровнем гетерозиса и сравнительно низкой депрессией признаков в поколении F₂, что свидетельствует об их высокой селекционной ценности. Полученные результаты могут быть использованы при создании новых высокопродуктивных, адаптивных и устойчивых сортов яровой мягкой пшеницы для условий Северного Казахстана.

Ключевые слова: урожайность, элементы структуры урожайности, гетерозис, депрессия, селекционная ценность.

Введение. Яровая мягкая пшеница является одной из важнейших зерновых культур в Казахстане и играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности страны [1; 2]. Повышение урожайности и стабильности производства зерна в условиях изменчивого климата остается одной из приоритетных задач современной селекции [3, 4]. В этой связи особое значение приобретает использование генетического разнообразия и создание гибридных форм с улучшенными хозяйственно ценными признаками [5].

Одним из эффективных направлений селекционной работы является изучение и использование явления гетерозиса, проявляющегося в повышении продуктивности гибридов первого поколения (F₁) по сравнению с родительскими формами [6, 7]. Гетерозисный эффект может выражаться в увеличении урожайности, улучшении структуры урожая, а также в повышении адаптивности растений к неблагоприятным условиям среды [8]. Однако степень проявления гетерозиса и его сохранение в последующих поколениях остаются недостаточно изученными, особенно в условиях резко континентального климата Северного Казахстана [9, 10].

Известно, что во втором поколении гибридов (F₂) вследствие расщепления признаков

и увеличения доли гомозиготных форм часто наблюдается снижение уровня продуктивности, известное как инбредная депрессия. Вместе с тем в ряде случаев возможно сохранение или даже усиление отдельных признаков за счет формирования трансгрессивных форм, представляющих значительный интерес для селекционной практики.

В этой связи целью исследований было выявление перспективных гибридных комбинаций яровой мягкой пшеницы на основе анализа первого и второго поколений. Для этого оценивались гетерозисный эффект по урожайности и элементам ее структуры в F1 и F2, а также рассчитывался уровень депрессии признаков в F2.

Материалы и методы исследования. Полевые исследования проведены на опытном стационаре лаборатории яровой мягкой пшеницы в ТОО «НПЦЗХ им. А.И. Бараева». В 2022 г. были проведены прямые и обратные скрещивания с привлечением 16 сортов казахстанской и российской селекции.

В 2024 г. изучали гибриды F1 и F2 совместно с родительскими формами, высевая их по схеме: P♀, F1, F2, P♂. Опыт полевой однофакторный, без повторений. Площадь однорядковой делянки 0,2 м². На каждый рядок было посеяно 25 семян. В питомнике высевали 2 стандарта – сорта Астана, Целинная юбилейная.

Оценки и наблюдения проведены в соответствии с общепринятыми методиками [11, 12, 13]. Урожайность зерна определена путем поделяночного взвешивания и приведена к 100% чистоте и 14% влажности [14, 15]. Структура урожайности проведена по методикам Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [16, 17].

Метеорологические условия в период проведения исследований были оптимальными для формирования урожайности яровой пшеницы (рис. 1, 2).

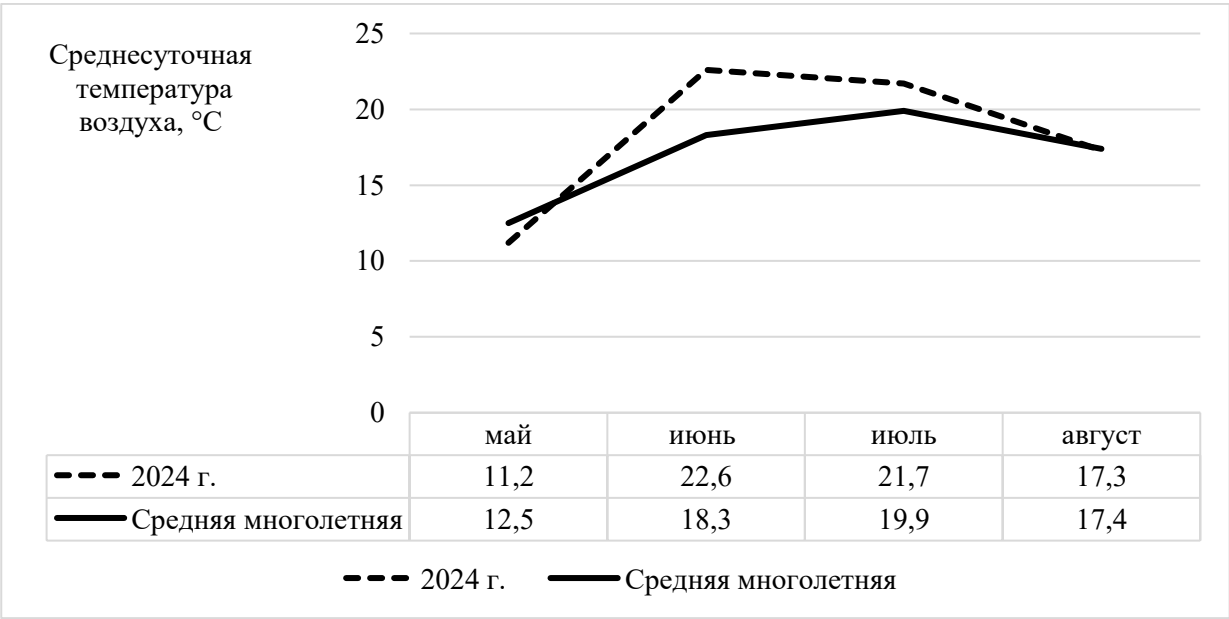


Рисунок 1 – Среднесуточная температура воздуха за период вегетации яровой пшеницы, °С.

Дождливая и холодная погода в мае отодвинула сроки посева, опыт был заложен только 30 мая. В июне и июле стояла жаркая с достаточным количеством осадков погода, ГТК в эти месяцы составил 0,9. Август был прохладным и очень влажным (ГТК = 2,0). Таким образом, в целом за период вегетации яровой пшеницы метеорологические условия характеризовались как влажные (ГТК = 1,3).

Для определения гетерозисного эффекта показатель гибрида F1 сравнивали с показателем лучшей родительской формы [18]:

$$\Gamma = \frac{(XF_1 - XP_{max})}{XP_{max}} \times 100,$$

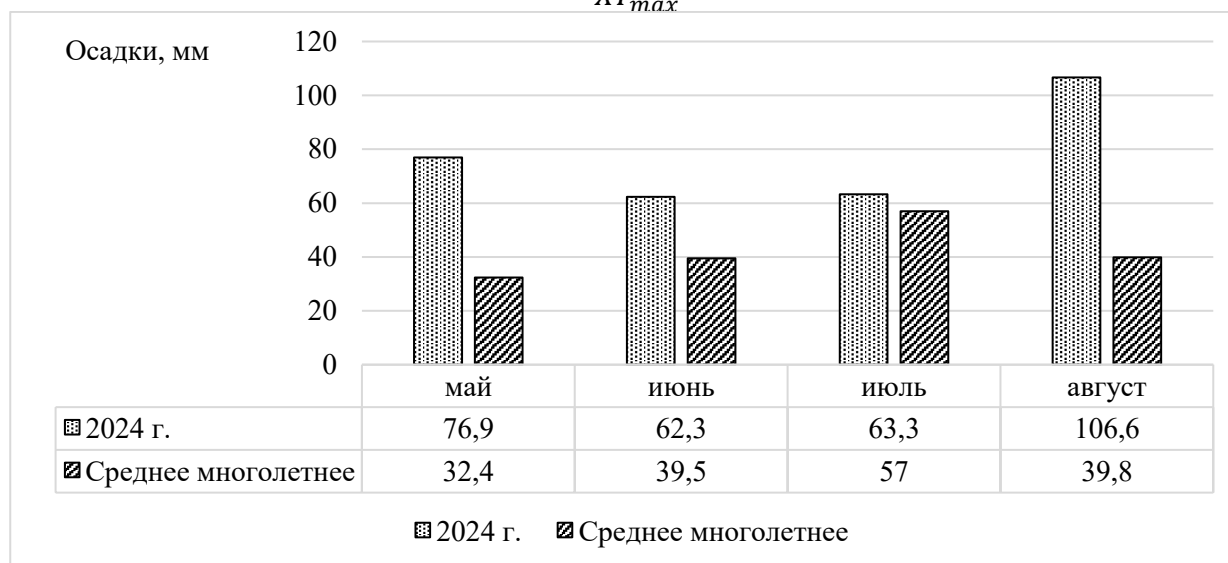


Рисунок 2 – Количество выпавших осадков за период вегетации яровой пшеницы, мм.

где, Γ – степень гетерозисного эффекта, %; XF_1 – среднее значение признака у гибрида F_1 ; XP_{max} – среднее значение признака у родителя с бóльшим выражением признака.

Степень изменения уровня признаков второго поколения в сравнении с первым определяли по формуле, предложенной Д. С. Омаровым [19]:

$$D(\%) = \frac{F_1 - F_2}{F_1} \times 100 \quad (1)$$

где, D – уровень депрессии, %; F_1 – величина показателя в первом поколении гибрида; F_2 – величина показателя во втором поколении гибрида.

Результаты и их обсуждение. Под термином «гетерозис» понимают совокупность положительных биологических и хозяйственно ценных эффектов, приводящих к превосходству гибридов первого поколения (F_1) над исходными родительскими формами по уровню продуктивности, жизнеспособности и адаптивности. Данное явление обусловлено сложным взаимодействием генетических факторов, включая доминирование, сверхдоминирование и эпистаз, что обеспечивает более эффективное использование генетического потенциала гибридов. В практической селекции самоопыляющихся культур, к которым относится яровая мягкая пшеница, оценка гетерозисного эффекта в ранних поколениях гибридов имеет важное значение для прогнозирования их селекционной ценности. Анализ выраженности гетерозиса позволяет выявить перспективные комбинации скрещивания, способные формировать высокопродуктивные генотипы. Кроме того, изучение гетерозиса способствует более глубокому пониманию наследования количественных признаков и повышает эффективность отбора на ранних этапах селекционного процесса.

Урожайность как родительских форм, так и гибридов в опыте сильно варьировала ($C_v = 39,5\%$) и изменялась от 18,0 до 239,5 г/м². Сравнение средней урожайности гибридов F_1 и F_2 показало преимущество последних: средняя по опыту урожайность гибридов F_1 составила 111,8 г/м², гибридов F_2 – 145,8 г/м², или выше на 30 %. Анализ урожайности и элементов ее структуры гибридов выявил как повышение показателей относительно родительских форм, так и их снижение. Расчет гетерозисного эффекта подтвердил полученные данные (таблица 1). Величину гетерозиса по всем признакам рассчитывали относительно показателя лучшего родителя в каждой гибридной комбинации. Анализ результатов показал проявление гетерозиса по всем признакам только у трех гибридов.

Таблица 1 – Оценка гетерозисного эффекта гибридами F1 и F2 яровой мягкой пшеницы, %

Гибрид	Поколение гибрида	Урожайность	Количество зерен в колосе	Масса зерна с колоса	Масса 1000 зерен
Авиада х Орал	F1	6,9	-4,3	-1,2	3,2
	F2	-52,4	-28,1	-19,3	12,3
Орал х Авиада	F1	-72,7	-28	-25,3	4
	F2	-51	-28,6	-38,6	-13,9
Астана х Омская 35	F1	-11	-7	0	7,5
	F2	46,8	-0,3	6,9	7,5
Омская 35 х Астана	F1	42,8	3,3	26,4	22,6
	F2	66,1	-1,3	12,5	14,2
Астана 2 х Омская 36	F1	-18,6	3,9	23,9	19,2
	F2	62,2	28,6	38,8	7,9
Омская 36 х Астана 2	F1	-9	-9,6	7,5	19,2
	F2	-36,6	-12,5	-6	7,5
Астана 2 х Омская 38	F1	-0,1	2,2	22,2	19,3
	F2	43	-2,8	13,9	17,1
Омская 38 х Астана 2	F1	10	0	4,2	3,9
	F2	31,6	-26,3	-30,6	-5,7
Айна х Целинная юбилейная	F1	-23,9	-18,7	-26,6	-9,5
	F2	28,4	-7,5	-23,4	-17
Целинная юбилейная х Айна	F1	-25,6	31,9	42,6	8,1
	F2	68,1	6	1,1	-4,6
Карабалыкская озимая яровизированная х Татьяна	F1	-86,7	-10,9	-27,5	-18,6
	F2	-32,7	-15	-36,2	-25,1
Татьяна х Карабалыкская озимая яровизированная	F1	-64,9	0	-4,3	-4,2
	F2	7,4	-9,3	-5,8	3,7
Серебряна х Шортандинская 2007	F1	-35,9	14,1	10,3	-3,5
	F2	-42,2	6,2	-13,8	-18,9
Шортандинская 2007 х Серебряна	F1	-52,7	-2,3	-15,5	-13,7
	F2	-30,3	15,6	5,2	-9,3
Тауелсиздик 20 х Тюменская 32	F1	-38,7	3,6	28,4	9,8
	F2	-20,8	-10,6	13,4	12,3
Тюменская 32 х Тауелсиздик 20	F1	1,6	-6,9	6	0,7
	F2	-28,1	-3,3	-4,5	-12,3
Тюменская 32 х Целина 50	F1	85,3	-4,3	6,8	-9,2
	F2	-18,9	-20,7	-5,1	-2,9
Целина 50 х Тюменская 32	F1	-44,5	-14,4	27,1	20,6
	F2	94,1	-7,9	37,3	21

В гибридной популяции Омская 35 х Астана он проявился в F1, но по количеству зерен в колосе он был слабым и не сохранился во в F2. У гибрида Астана 2 х Омская 36 в F1 по урожайности проявилась депрессия, но в F2 по всем признакам был отмечен гетерозис. В популяции F1 Омская 38 х Астана 2 слабый гетерозисный эффект проявился по урожайности, массе 1000 зерен и массе зерна с колоса, но количество зерен в колосе было на уровне лучшего родителя; в F2 гетерозисный эффект усилился по урожайности, но по остальным показателям проявилась депрессия.

Гибриды F1 Астана 2 х Омская 36, Целинная юбилейная х Айна и Тауелсиздик 20 х Тюменская 32 проявили гетерозис по масса 1000 зерен, количеству и массе зерна с колоса, но урожайность их была ниже, чем у лучшего родителя.

Гетерозисный эффект был отмечен в F2 гибридов Астана х Омская 35, Омская 35 х Астана, Астана 2 х Омская 38 по урожайности, массе 1000 зерен и массе зерна с колоса, но количеству зерен в колосе показатели были ниже, чем у лучшего родителя.

У гибрида F2 Целинная юбилейная х Айна гетерозис проявился по урожайности, количеству и массе зерна с колоса, но масса 1000 зерен была ниже, чем у лучшего родителя.

На основании анализа комплекса показателей считаем, что перечисленные гибридные популяции имеют высокую селекционную ценность и могут быть использованы для дальнейшей работы с целью улучшения хозяйственно важных показателей. Хотя по поводу прогнозирования ценности гибридных комбинаций в ранних поколениях имеются разные мнения. И. В. Коноваловой с соавторами [20] выявлено, что гибридные комбинации яровой мягкой пшеницы, у которых в F1 и F2 доминируют признаки высокой массы зерна с растения, количества зерен в колосе, продуктивной кустистости и массы зерна с главного колоса, являются наиболее ценными в селекции. Аналогичного мнения придерживаются и кировские ученые [21]. Однако прогнозирование ценности гибридной комбинации в ранних поколениях не всегда возможно. Это показала в своих исследованиях Л. В. Волкова на основе анализа сильно варьирующего показателя – урожайности [22].

В научной литературе можно встретить немало сведений о том, что второе поколение гибридов уступает первому по продуктивности [24-27]. Показатель изменения уровня изучаемых признаков второго поколения по сравнению с первым характеризуется как «депрессия» и устанавливается по соотношению признака у гибридов F1 и F2 [19]. Показатель депрессии со знаком «минус» означает, что уровень признаков возрастает у гибридов F2 по сравнению с F1, то есть наблюдается усиление признака.

В наших исследованиях расчет уровня депрессии в гибридных популяциях F2 относительно F1 выявил в отдельных комбинациях усиление одного или нескольких признака (таблица 2). Сохранение гетерозиса в последующих поколениях, возможно, связано с выщеплением трансгрессивных генотипов.

Таблица 2 – Коэффициент депрессии у гибридов второго поколения, %

Гибрид	Урожай- ность г/м ²	Длина коло- са, см	Количество про- дуктивных колос- ков в колосе, шт.	Количество о зерен в колосе, шт.	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г
1	2	3	4	5	6	7
Авиада х Орал	55,5	10,0	14,8	24,8	18,3	-8,8
Орал х Авиада	-79,4	11,8	9,0	0,8	17,7	17,2
Астана х Омская 35	-65,0	-3,8	-2,1	-7,1	-6,9	0,0
Омская 35 х Астана	-16,3	-10,5	2,6	4,5	11,0	6,8
Астана 2 х Омская 36	-99,3	5,0	4,3	-23,7	-12,0	9,5
Омская 36 х Астана 2	30,4	2,6	6,6	3,2	12,5	9,8
Астана 2 х Омская 38	-43,1	0,0	-2,7	5,0	6,8	1,8
Омская 38 х Астана 2	-19,6	15,5	15,1	26,3	33,3	9,3
Айна х Целинная юбилейная	-68,7	2,3	0,7	-13,7	-4,3	8,2
Целинная юбилейная х Айна	-125,9	15,9	7,1	19,6	29,1	11,8
Карабалыкская озимая яровизированная х Татьяна	-406,7	7,9	2,7	4,5	12,0	8,0
Татьяна х Карабалыкская озимая яровизированная	-206,1	4,3	3,1	9,3	1,5	-8,3
Серебрина х Шортандинская 2007	9,8	0,0	-9,1	6,8	21,9	16,0
Шортандинская 2007 х Серебрина	-47,2	-6,8	-4,6	-18,4	-24,5	-5,1

1	2	3	4	5	6	7
Тауелсиздик 20 х Тюменская 32	-29,2	8,2	5,8	13,7	11,6	-2,3
Тюменская 32 х Тауелсиздик 20	29,2	2,5	2,9	-3,9	9,9	12,9
Тюменская 32 х Целина 50	56,2	14,3	12,9	17,1	11,1	-6,9
Целина 50 х Тюменская 32	-250,0	-4,1	-11,5	-7,7	-8,0	-0,3

По урожайности отмечено усиление признака у большинства гибридов. Наибольший гетерозис (отрицательная депрессия) проявилась в гибридных популяциях Карабалыкская озимая яровизированная х Татьяна, Целина 50 х Тюменская 32, Татьяна х Карабалыкская озимая яровизированная и Целинная юбилейная х Айна.

Частота проявления гетерозиса (отрицательной депрессии) по отдельным признакам в F2 гибридных комбинаций неодинакова. Так, по всем признакам отрицательная депрессия была выявлена в гибридных комбинациях Шортандинская 2007 х Серебрина и Целина 50 х Тюменская 32, а в комбинации Астана х Омская 35 показатель массы 1000 зерен во втором поколении остался на уровне показателя в первом поколении.

Выводы. Сравнение динамики изменения гетерозисного эффекта в первом и втором гибридных поколениях относительно лучшей родительской формы позволил выделить по большинству хозяйственно ценных признаков и считать перспективными гибридные комбинации Омская 35 х Астана, Астана 2 х Омская 36 и Омская 38 х Астана 2. Анализ изменения гетерозиса на основании коэффициента депрессии выделил комбинации Астана х Омская 35, Шортандинская 2007 х Серебрина и Целина 50 х Тюменская 32.

Перечисленные гибридные популяции имеют повышенную селекционную ценность и могут быть использованы для дальнейшей работы с целью улучшения хозяйственно важных показателей.

Финансирования. Работа выполнена в рамках программы целевого финансирования Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан (BR24892821) «Селекция и первичное семеноводство зерновых культур для повышения потенциала продуктивности, качества и стрессоустойчивости в различных почвенно-климатических зонах Казахстана» (на 2024-2026 годы).

Литература:

- [1] FAO. FAOSTAT: Crops and livestock products [Электронный ресурс]. – Rome, 2023. – Режим доступа: <https://www.fao.org/faostat/> (дата обращения: 21.04.2026).
- [2] USDA. World Agricultural Production [Электронный ресурс]. – Washington, 2024. – Режим доступа: <https://www.usda.gov/> (дата обращения: 21.04.2026).
- [3] Ray, D.K., Mueller N.D., West P.C., Foley J.A. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050 // *PLoS ONE*. – 2015. – Vol. 8(6).
- [4] Asseng, S., Guarin J.R., Raman M. et al. Wheat yield potential in a changing climate // *European Journal of Agronomy*. – 2019. – Vol. 100. – P. 1–12.
- [5] Коваленко, С. А. Результаты использования озимых форм при селекции пшеницы твердой яровой на Дону / С. А. Коваленко, В. П. Кадушкина, М. А. Фоменко // *Зернобобовые и крупяные культуры*, 2024. – № 1(49). – С. 69-76. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2024-1-69-76>
- [6] Paril, J., Reif J, Fournier-Level A, Pourkheirandish M. Heterosis in crop improvement. *Plant J*. 2024 Jan;117(1):23-32. <https://doi.org/10.1111/tbj.16488> Epub 2023 Nov 16. PMID: 37971883.

- [7] **Longin, C. F. H.** et al. Hybrid wheat: quantitative genetic parameters and consequences for the design of breeding programs // *Theoretical and applied genetics*. – 2013. – Т. 126. – №. 11. – С. 2791-2801.
- [8] **Gimenez, K.** et al. Dissecting bread wheat heterosis through the integration of agronomic and physiological traits // *Biology*. – 2021. – Т. 10. – №. 9. – С. 907.
- [9] **Schwarzwälder, L.,** Thorwarth P., Zhao Y., Longin C.F.H., Reif J.C. Hybrid wheat: quantitative genetic parameters and heterosis // *Theoretical and Applied Genetics*. – 2022. – Vol. 135. – P. 1–14.
- [10] **Revell, I.** et al. Heterosis in wheat: mechanisms, benefits, and challenges in hybrid development // *Journal of Experimental Botany*. – 2025. – С. eiaf159.
- [11] Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть / под общ. ред. М. А. Федина. – Москва, 1985. – 269 с.
- [12] **Зыкин, В.А.** Методика оценки сортов и гибридов зерновых культур в процессе их производственного испытания/ научно-методическое пособие. – Омск, 1992. – 36 стр.
- [13] Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур/ коллективный официальный нормативно-методический труд. Под.ред. П.Е. Маринича, К. Назаренко, В. В. Шпанниара и др. – Алматы, 2002.
- [14] ГОСТ 30483–97. Зерно. Методы определения качества. – Введ. 1997–01–01. – М.: Издательство стандартов, 1997. – 12 с.
- [15] ГОСТ 13586.5–2015. Зерно. Методы определения влажности. – Введ. 2016-07-01. – М.: Стандартиформ, 2016. – 12 с. Наумкина Т.С. Диаллельный анализ и его использование в селекции гороха: Автореферат дисс. канд. с.-х. наук. – Л., 1984. – 17с.
- [16] Методические указания ВИР по изучению коллекции пшеницы. – Л., 1985. – 34 с.
- [17] Некоторые приёмы изучения элементов структуры урожая зерновых культур / под ред. В. А. Зыкина. – Новосибирск: СибНИИСХ, 2000. – 96 с.
- [18] **Гужов, Ю.Л.,** Фукс А., Валичек П. Селекция и семеноводство культивируемых растений: Учебник / Под ред. Ю.Л. Гужова. - М.: Изд-во РУДН, 1999. – С. 296-297.
- [19] **Омаров, Д.С.** К методика учета и оценки гетерозиса у растений // *Сельскохозяйственная Биология*, 1975. –Т. 10. №1. – С. 123-127.
- [20] **Коновалова, И. В.** Сравнительный анализ гибридов F1 яровой мягкой пшеницы при реципрокных скрещиваниях / И. В. Коновалова, П. М. Богдан, А. Г. Клыков // *Дальневосточный аграрный вестник*, 2019. – № 2(50). – С. 39-44. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2019-2-39-44>
- [21] **Волкова, Л. В.** Изучение эффекта гетерозиса и прогноз перспективности гибридных популяций яровой пшеницы в селекции на продуктивность и засухоустойчивость / Л. В. Волкова, О. С. Амунова // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*, 2023. – Т. 184. – № 3. – С. 41-50. – <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-3-41-50>
- [22] **Волкова, Л. В.** Изучение гибридов яровой мягкой пшеницы по урожайности и содержанию белка / Л. В. Волкова // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*, 2016. – № 2(51). – С. 4-8.
- [23] **Коновалова, И. В.** Оценка количественных признаков гибридов яровой мягкой пшеницы при реципрокных скрещиваниях в условиях Приморского края / И. В. Коновалова, А. Г. Клыков, Г. А. Муругова // *Дальневосточный аграрный вестник*, 2025. – Т. 19. – № 3. – С. 9-17. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-9-17>
- [24] **Хангильдин, В.Х.** Основные направления и генетические основы селекции // *Генетика и селекция гороха*. – Новосибирск: Наука, 1975. – С. 245-265.
- [25] **Кривобочек, В. Г.** Итоги и перспективы селекции яровой мягкой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья / В. Г. Кривобочек; Пензенский научно-исследовательский институт сельского хозяйства. – Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2018. – 180 с. – ISBN 978-5-94338-924-5.
- [26] **Наумкина, Т.С.** Диаллельный анализ и его использование в селекции гороха: Автореферат дисс. канд. с.-х. наук. – Л., 1984. – 17с.
- [27] **Абрамов, А. Г.** Влияние величины гетерозиса у гибридов яровой пшеницы на результативность отбора ценных трансгрессивных форм / А.Г.Абрамов, И.Н.Абрамова // *Растениеводство и луговодство: сборник статей Всероссийской научной конференции с международным участием*, Москва, 18–19 октября 2020 года. – Москва: ЭйПиСиПабблишинг, 2020. – С. 352-357. <https://doi.org/10.26897/978-5-9675-1762-4-2020-78>

References:

- [1] FAO. FAOSTAT: Crops and livestock products [Elektronnyj resurs]. – Rome, 2023. – Rezhim dostupa: <https://www.fao.org/faostat/> (data obrashhenija: 21.04.2026).
- [2] USDA. World Agricultural Production [Elektronnyj resurs]. – Washington, 2024. – Rezhim dostupa: <https://www.usda.gov/> (data obrashhenija: 21.04.2026).
- [3] **Ray, D.K.**, Mueller N.D., West P.C., Foley J.A. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050 // PLoS ONE. – 2015. – Vol. 8(6).
- [4] **Asseng, S.**, Guarin J.R., Raman M. et al. Wheat yield potential in a changing climate // European Journal of Agronomy. – 2019. – Vol. 100. – P. 1–12.
- [5] **Kovalenko, S. A.** Rezul'taty ispol'zovaniya ozimyh form pri selekcii pshenicy tverdoj jarovoj na Donu / S. A. Kovalenko, V. P. Kadushkina, M. A. Fomenko // Zernobobovye i krupjanye kul'tury, 2024. – № 1(49). – S. 69-76. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2024-1-69-76>
- [6] **Paril, J.**, Reif J, Fournier-Level A, Pourkheirandish M. Heterosis in crop improvement. Plant J. 2024 Jan;117(1):23-32. <https://doi.org/10.1111/tpj.16488> Epub 2023 Nov 16. PMID: 37971883.
- [7] **Longin, C. F. H.** et al. Hybrid wheat: quantitative genetic parameters and consequences for the design of breeding programs // Theoretical and applied genetics. – 2013. – T. 126. – №. 11. – S. 2791-2801.
- [8] **Gimenez, K.** et al. Dissecting bread wheat heterosis through the integration of agronomic and physiological traits // Biology. – 2021. – T. 10. – №. 9. – S. 907.
- [9] **Schwarzwälder, L.**, Thorwarth P., Zhao Y., Longin C.F.H., Reif J.C. Hybrid wheat: quantitative genetic parameters and heterosis // Theoretical and Applied Genetics. – 2022. – Vol. 135. – P. 1–14.
- [10] **Revell, I.** et al. Heterosis in wheat: mechanisms, benefits, and challenges in hybrid development // Journal of Experimental Botany. – 2025. – S. eraf159.
- [11] Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozhajstvennykh kul'tur. Vyp. 1. Obshhaja chast' / pod obshh. red. M. A. Fedina. – Moskva, 1985. – 269 s. [in Russian]
- [12] **Zykin, V.A.** Metodika ocenki sortov i gibridov zernovykh kul'tur v processe ih proizvodstvennogo ispytaniya/ nauchno-metodicheskoe posobie. – Omsk, 1992. – 36 str. [in Russian]
- [13] Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozhajstvennykh kul'tur/ kollektivnyj oficial'nyj normativno-metodicheskij trud. Pod.red P.E. Marinicha, K. Nazarenko, V. V. Shpanniara i dr. – Almaty, 2002. [in Russian]
- [14] GOST 30483–97. Zerno. Metody opredelenija kachestva. – Vved. 1997–01–01. – M.: Izdatel'stvo standartov, 1997. – 12 s. [in Russian]
- [15] GOST 13586.5–2015. Zerno. Metody opredelenija vlazhnosti. – Vved. 2016-07-01. – M.: Standartinform, 2016. – 12 s. Naumkina T.S. Diallel'nyj analiz i ego ispol'zovanie v selekcii goroha: Avtoreferat diss. Kand. S.-h. nauk. – L., 1984. – 17s. [in Russian]
- [16] Metodicheskie ukazaniya VIR po izucheniju kollekcii pshenicy. – L., 1985. – 34 s. [in Russian]
- [17] Nekotorye prijomny izuchenija jelementov struktury urozhaja zernovykh kul'tur / pod red. V. A. Zykina. – Novosibirsk: SibNIISH, 2000. – 96 s. [in Russian]
- [18] **Guzhov, Ju.L.**, Fuks A., Valichek P. Selekcija i semenovodstvo kul'tiviruemykh rastenij: Uchebnik / Pod red. Ju.L. Guzova. - M.: Izd-vo RUDN, 1999. – S. 296-297.
- [19] **Omarov, D.S.** K metodika ucheta i ocenki geterozisa u rastenij // Sel'skohozhajstvennaja. Biologija, 1975. – T. 10. №1. – S. 123-127. [in Russian]
- [20] **Konovalova, I. V.** Sravnitel'nyj analiz gibridov F1 jarovoj mjadkoj pshenicy pri reciproknykh skreshhivaniyah / I. V. Konovalova, P. M. Bogdan, A. G. Klykov // Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik, 2019. – № 2(50). – S. 39-44. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2019-2-39-44> [in Russian]
- [21] **Volkova, L. V.** Izuchenie jeffekta geterozisa i prognoz perspektivnosti gibridnykh populacij jarovoj pshenicy v selekcii na produktivnost' i zasuhoustojchivost' / L. V. Volkova, O. S. Amunova // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii, 2023. – T. 184. – № 3. – S. 41-50. – <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-3-41-50> [in Russian]
- [22] Volkova, L. V. Izuchenie gibridov jarovoj mjadkoj pshenicy po urozhajnosti i sodержaniju belka / L. V. Volkova // Agrarnaja nauka Evro-Severo-Vostoka. – 2016. – № 2(51). – S. 4-8. [in Russian]
- [23] **Konovalova, I. V.** Ocenka kolichestvennykh priznakov gibridov jarovoj mjadkoj pshenicy pri reciproknykh skreshhivaniyah v uslovijah Primorskogo kraja / I. V. Konovalova, A. G. Klykov, G. A. Murugova // Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik, 2025. – T. 19. – № 3. – S. 9-17. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-9-17> [in Russian]
- [24] **Hangil'din, V.H.** Osnovnye napravlenija i geneticheskie osnovy selekcii // Genetika i

selekcija goroha. – Novosibirsk: Nauka, 1975. – S. 245-265. [in Russian]

[25] **Krivobocheck, V. G.** Itogi i perspektivy selekcii jarovoj m'jagkoj pshenicy v lesostepi Srednego Povolzh'ja /V.G. Krivobocheck; Penzenskij nauchno-issledovatel'skij institut sel'skogo hoz'jajstva. – Penza: Penzenskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2018. – 180 s. [in Russian]

[26] **Naumkina, T.S.** Diallel'nyj analiz i ego ispol'zovanie v selekcii goroha: Avtoreferat diss. Kand. S.-h. nauk. – L., 1984. – 17s. [in Russian]

[27] **Abramov, A. G.** Vlijanie velichiny geterozisa u gibridov jarovoj pshenicy na rezul'tativnost' otbora cennyh transgressivnyh form / A. G. Abramov, I. N. Abramova // Rasteniievodstvo i lugovodstvo: sbornik statej Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Moskva, 18–19 oktjabrja 2020 goda. – Moskva: JejPiSiPabliishing, 2020. – S. 352-357. <https://doi.org/10.26897/978-5-9675-1762-4-2020-78>. [in Russian]

ЖАЗДЫҚ ЖҰМСАҚ БИДАЙДЫҢ F1 ЖӘНЕ F2 ГИБРИДТЕРІНДЕ ГЕТЕРОЗИС ӘСЕРІНІҢ КӨРІНУІ

Саянов А. Т.^{1,2}, ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, 4.1.1. «Жалпы егіншілік және өсімдік шаруашылығы» мамандығының 4 курс аспиранты

Бабайцева Т.А.², ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, доцент

Шелаева Т.В.¹, аға ғылыми қызметкер

Савин Т.В.^{1,3}, биология ғылымдарының кандидаты

Ахметов Б.С.^{1,2}, 14152 «Ауыл шаруашылығы дақылдарының тұқым шаруашылығы» мамандығының 2-курс магистранты, кіші ғылыми қызметкер

¹*«А. И. Бараев атындағы астық шаруашылығы ҒӨО» ЖШС, Шортанды а, Қазақстан*
Удмурт мемлекеттік аграрлық университеті, Ижевск қ., Ресей

³*«STEV AGRO» Астана, Қазақстан*

Аңдатпа. Мақалада Солтүстік Қазақстан облысы жағдайында жаздық жұмсақ бидайдың бірінші (F₁) және екінші (F₂) ұрпақ будандарындағы гетерозис әсерінің көріну ерекшеліктерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Зерттеулер 2023–2024 жылдары «А.И. Бараев атындағы Астық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС тәжірибелік стационарында жүргізілді. Бастапқы материал ретінде экологиялық-географиялық шығу тегі әртүрлі 16 сорт пайдаланылып, олар тікелей және кері будандастыруға тартылды. Будан комбинациялары өнімділік және оның негізгі құрылымдық элементтері бойынша бағаланды: негізгі масақтағы дән саны, масақтағы дән массасы және 1000 дәннің массасы. Гетерозис ең жақсы ата-аналық формамен салыстыру арқылы есептелді, ал екінші ұрпақтағы белгілердің депрессия деңгейі анықталды. Зерттеу нәтижелері гетерозис әсерінің көрінуі ата-аналық формалардың генотиптік ерекшеліктеріне және өсіру жылының ауа райы жағдайларына тәуелді екенін көрсетті. F₂ ұрпағында белгілердің депрессиясы төмен және гетерозис деңгейі жоғары будан комбинациялары анықталып, олардың селекциялық құндылығы жоғары екендігі белгіленді. Алынған нәтижелер Солтүстік Қазақстан жағдайына бейімделген, жоғары өнімді және тұрақты жаздық жұмсақ бидай сорттарын шығару селекциясында тиімді пайдаланылуы мүмкін.

Тірек сөздер: өнімділік, өнім құрылымының элементтері, гетерозис, депрессия, селекциялық құндылық.

MANIFESTATION OF HETEROSIS EFFECT IN F1 AND F2 HYBRIDS OF SPRING BREAD WHEAT

Sayanov A.T.^{1,2}, Master of Agricultural Sciences, 4th year postgraduate student 4.1.1. General agriculture and crop production

Babaitseva T.A.², Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

Shelaeva T.V.¹, Senior Researcher

Savin T.V.^{1,3}, Candidate of Biological Sciences

Akhmetov B.S.^{1,2}, 1st-year Master's student 14152 «Seed breeding of agricultural crops», Junior Researcher

¹ LLP "A.I. Baraev Scientific and Production Center for Grain Farming", Shortandy, Kazakhstan

² Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia

³ "STEV AGRO" Astana, Kazakhstan

Abstract. The article presents the results of studying the manifestation of heterosis in the first (F₁) and second (F₂) generation hybrids of spring bread wheat under the conditions of Northern Kazakhstan. The research was conducted in 2023–2024 at the experimental station of the A.I. Baraev Research and Production Center for Grain Farming LLP. Sixteen spring wheat cultivars of different ecological and geographical origins were used as parental material in direct and reciprocal crosses. Hybrid combinations were evaluated for grain yield and its main structural components, including the number of grains per main spike, grain weight per spike, and thousand-kernel weight. Heterosis was estimated relative to the better parent, while the degree of depression was determined in the F₂ generation. The results demonstrated that the expression of heterosis was highly variable and depended on both the genetic characteristics of the parental forms and the environmental conditions of the growing season. Several hybrid combinations exhibiting a high level of heterosis and relatively low depression in the F₂ generation were identified, indicating their high breeding value. The obtained results can be effectively applied in breeding programs aimed at developing high-yielding, adaptable, and stress-resistant spring bread wheat cultivars for the conditions of Northern Kazakhstan.

Keywords: yield, yield structure components, heterosis, depression, breeding value.