

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Научная статья

УДК 633.111

DOI: 10.30901/2227-8834-2026-2-017



Влияние условий отбора на результативность селекции яровой мягкой пшеницы

С. Б. Лепехов

*Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия**Автор, ответственный за переписку: Сергей Борисович Лепехов, sergei.lepehov@yandex.ru*

Актуальность. Оценка генотипов в гибридной популяции зачастую искажается из-за нерегулируемых факторов, таких как остаточный гетерозис, конкуренция растений, почвенная неоднородность, погодные условия в год отбора. Если воздействие первых трех факторов в ранних поколениях гибридов невозможно устранить, то условия произрастания в некоторой степени могут быть управляемы путем создания провокационных фонов, испытания в разных географических пунктах или в разные годы. Наиболее доступный способ отбора растений в разнообразных условиях заключается в пересеве гибридных популяций на протяжении нескольких лет.

Материалы и методы. Двадцать четыре линии яровой мягкой пшеницы, полученные при индивидуальном отборе из восьми гибридных популяций в три разных года (2017, 2018, 2019), испытаны по урожайности и элементам продуктивности в лесостепи Алтайского Приобья (г. Барнаул) в 2024 и 2025 г.

Результаты. На изменчивость практически всех рассматриваемых признаков достоверно влияли факторы «родословная», «год отбора из гибридной популяции» и «год испытания линий поздних поколений». Наибольший вклад в изменчивость урожайности линий поздних поколений внес фактор «год испытания линий поздних поколений» (37,6%) и взаимодействие факторов «родословная» и «год отбора из гибридной популяции» (15,4%). Средняя урожайность была наибольшей у линий, отобранных в 2019 г. (415 г/м² против 408 г/м² и 383 г/м² в 2017 и 2018 г. соответственно), а наибольшее количество самых урожайных линий отобрано из популяций, посеянных в 2017 г. (4 штуки против 2 и 1 шт. в 2018 и 2019 г. соответственно).

Заключение. Условия, складывающиеся в год отбора из гибридных популяций, оказывают достоверное влияние на изменчивость практически всех признаков линий поздних поколений у яровой мягкой пшеницы. Индивидуальный отбор из разнообразных гибридных популяций в разные годы позволяет охватить широкую изменчивость, что повышает эффективность селекции.

Ключевые слова: гибридная популяция, взаимодействие «генотип × среда», урожайность, элементы структуры урожая

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания Федерального Алтайского научного центра агробиотехнологий № 0534-2024-0003 «Использование генетических и биотехнологических методов исследований в селекции растений».

Для цитирования: Лепехов С.Б. Влияние условий отбора на результативность селекции яровой мягкой пшеницы. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции.* 2026;187(2):168-177. DOI: 10.30901/2227-8834-2026-2-017

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, автору и его/ее месту работы.

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2026-2-017

The effect of initial selection conditions on the breeding results in spring bread wheat

Sergey B. Lepekhov

*Federal Altai Scientific Center of Agro-Biotechnologies, Barnaul, Russia***Corresponding author:** Sergey B. Lepekhov, sergei.lepehov@yandex.ru

Background. Genotype evaluation in a segregating population is often biased due to unregulated factors, such as heterozygosity, plant competition, soil differences, or weather conditions in the year of selection. The effect of the first three cannot be eliminated in early hybrid generations, but it is partially possible to regulate environmental factors through planting in different agroecological environments, geographic locations, and years. The most suitable way of plant selection under diverse conditions is to replant segregating populations continuously for several years.

Materials and methods. Twenty-four spring bread wheat lines, obtained by individual selection from eight segregating populations in three years (2017, 2018, and 2019), were evaluated for yield and yield components in the Ob River forest-steppe, Altai Territory (Barnaul), in 2024 and 2025.

Results. The greatest contribution to the yield variability in the advanced lines was made by the factor “year of testing advanced lines” (37.6%). The factor “year of selection from a segregating population” accounted for only 2% of the total yield variability, but the interaction of the factors “pedigree” and “year of selection from a segregating population” contributed to 15.4% of the yield variability. Even though the average yield was the highest in the lines selected in 2019 (415 g/m² vs. 408 g/m² and 383 g/m² in 2017 and 2018, respectively), the largest number of lines with high yield was selected from the populations planted in 2017 (4 pcs. vs. 2 and 1 pcs. in 2018 and 2019, respectively).

Conclusion. Natural conditions in the year of selection produce a significant impact on the variability of almost all characters in advanced lines of spring bread wheat. Individual selection from various segregating populations in different years makes it possible to employ wide variability, which would increase wheat breeding efficiency.

Keywords: segregating population, genotype × environment interaction, yield, yield structure components

Acknowledgments: this work was implemented within the framework of the state task delegated to the Federal Altai Scientific Center of Agro-Biotechnologies: No. 0534-2024-0003 “The use of genetics and biotechnological research methods in plant breeding”.

For citation: Lepekhov S.B. The effect of initial selection conditions on the breeding results in spring bread wheat. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2026;187(2):168-177. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2026-2-017

Financial transparency: the author has no financial interest in the presented materials or methods. The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal’s opinion is neutral to the presented materials, the author or his/her employers.

Введение

Эффективность селекции растений в значительной степени зависит от природных условий, в которых осуществляется отбор (Konovalov, Al-Sobakhi, 1983). Погодные условия в годы полевого испытания различны, а селекция не всегда ведется в той почвенно-климатической зоне, для которой предназначаются будущие сорта. Таким образом, взаимодействие «генотип × среда» всегда сопровождает работу селекционера. Взаимодействие «генотип × среда» заключается в смене рангов генотипов в разных средах либо в изменении величины признака генотипов без смены рангов в различных условиях. За последние три десятилетия было предложено множество статистических моделей и подходов для анализа взаимодействия «генотип × среда», а также для выявления высокоурожайных и наиболее стабильных генотипов (Pour-Aboughadareh et al., 2022). На практике уточнение целевой среды для будущих сортов заключается в испытании селекционного материала в различных условиях. Под условиями в данном случае подразумеваются географические точки, годы, провокационные фоны и агротехнические приемы или сочетание всего перечисленного. Как правило, такое экологическое испытание осуществляется на заключительных этапах селекционного процесса (Vaezi et al., 2019; Ahakpaz et al., 2021). Удачными примерами научного сотрудничества селекционеров в данном направлении в мире может служить программа челночной селекции CIMMYT (Rajaram et al., 2001), а в России – программы КАСИБ (Kuz'min et al., 2021; Filippova et al., 2023) и «Экада» (Syukov et al., 2019).

В пределах селекционных центров испытание линий поздних поколений может осуществляться при посеве по различным предшественникам (Musalitin et al., 2017), в различные сроки (Ahmad et al., 2022), при использовании орошения (Ud-Din et al., 1992; Javed et al., 2022). Информация о реакциях генотипов в конкретных экологических пунктах позволяет оптимизировать селекционный процесс или отдельные его этапы под создание сортов с требуемыми характеристиками для конкретных сред. Например, П. Н. Мальчиков (Malchikov, 2009) предложил использовать следующую схему для селекции твердой пшеницы: репродуцирование $F_1 - F_3$ и отбор элитных колосьев в Волгограде (паровой предшественник), испытания в селекционных и контрольном питомниках в Безенчуке (паровой предшественник), испытания предварительное и конкурсное в Безенчуке (паровой и зерновой предшественник) и Волгограде (паровой предшественник). Данное предложение вполне обосновано. Известно, что во второй половине XX века отбор в гибридных популяциях пшеницы, высеваемых в двух контрастных условиях Мексики (Сьюдад-Обрегон и Толука), с последующим испытанием селекционных линий в обширном наборе экологических пунктов, привел к созданию сортов с широкой адаптацией – 'Siete Cerros', 'Anza', 'Sonalika', 'Seri 82'. Данные сорта возделывались далеко за пределами Мексики (Braun et al., 1996).

Привлекательной выглядит идея создания фона для отбора растений на ранних стадиях селекционного процесса, где имеется максимальное генетическое разнообразие. Хотя генотип растения в таких условиях замаскирован разнообразными факторами и их сочетанием (Fischer, Rebetzke, 2018), условия произрастания растений могут быть в какой-то степени регулируемы. По крайней мере, можно испытать растения в широком диапазоне сред (различные предшественники, сроки

и нормы высева, годы, экологические пункты). Наиболее доступный способ в практической селекции заключается в пересеве гибридных популяций на протяжении нескольких лет. Однако прежде всего необходимо подтвердить наличие эффекта года отбора и взаимодействия «генотип × среда» при отборе из гибридных популяций.

Цель исследования: выявить влияние факторов «год отбора из гибридной популяции», «родословная», «год испытания линий поздних поколений» и их взаимодействий на изменчивость различных признаков селекционных линий яровой мягкой пшеницы.

Материалы и методы

Исследование проведено с 2014 по 2025 г. на опытном поле Федерального Алтайского научного центра агротехнологий (ФАНЦА) (53.418626 с. ш., 83.513076 в. д.), расположенном в Приобской лесостепи Алтайского края. Схема опыта по годам исследования:

2014 г. Гибридизация сортов и линий яровой мягкой пшеницы степного экологического типа.

2015 г. Размножение гибридов F_1 .

2016 г. Посев восьми гибридных популяций F_2 .

2017 г. Индивидуальный отбор из гибридных популяций F_3 (первая часть).

2018 г. Индивидуальный отбор из гибридных популяций F_3 (вторая часть).

2019 г. Индивидуальный отбор из гибридных популяций F_3 (третья часть).

2020 г. Посев всех потомств F_4 , отобранных с 2017 по 2019 г., в селекционном питомнике первого года с последующим индивидуальным отбором.

2021 г. Посев потомств F_5 в селекционном питомнике первого года с последующим индивидуальным отбором.

2022 г. Посев потомств F_6 в селекционном питомнике первого года с последующим индивидуальным отбором.

2023 г. Размножение лучших семей F_7 в селекционном питомнике первого года.

2024–2025 гг. Финальное испытание линий поздних поколений F_8 и F_9 .

Для гибридизации были выбраны генотипы коллекции лаборатории селекции мягкой пшеницы ФАНЦА, хорошо адаптированные к местным условиям и выделенные по хозяйственно-биологическим признакам в 2010–2012 гг.: 'Алтайская 105', 'Алтайская Жница', 'Лютесценс 453/2', 'Лютесценс 899' (Алтайский край); 'Тулеевская' (Кемеровская область); 'Лютесценс 827/01-42' 'Эритроспермум 78' (Омская область); 'Дуэт' (Челябинская область), 'Саратовская 71', 'Саратовская 72' (Саратовская область). Подбор пар для скрещивания осуществлен по эколого-географическому принципу таким образом, чтобы родительские компоненты дополняли друг друга по признакам продуктивности и устойчивости к лимитирующим факторам.

Гибридные популяции F_3 (1. 'Лютесценс 827/01-42' × 'Саратовская 71'; 2. 'Тулеевская' × 'Саратовская 71'; 3. 'Дуэт' × 'Алтайская 105'; 4. 'Эритроспермум 78' × 'Алтайская 105'; 5. 'Тулеевская' × 'Алтайская 105'; 6. 'Лютесценс 899' × 'Саратовская 72'; 7. 'Лютесценс 453/2' × 'Эритроспермум 78'; 8. 'Лютесценс 453/2' × 'Алтайская Жница') сеяли на делянках площадью 10 м² по зерновому предшественнику (овес) во II декаде мая сеялкой ССФК-7. Норма высева – 500 зерен/м². В фазу полной спелости (III декада августа) проводили индивидуальный отбор 100 колосьев с каждой гибридной популяции. Критерии отбора были визуальными: размер колоса, количество колосков в нем, от-

существование болезней. Оценка и браковка зерна осуществлялась в лаборатории по его крупности и выполненности, количеству зерен с колоса, отсутствию болезней. Данный метод работы с селекционным материалом традиционно используется в лаборатории селекции мягкой пшеницы ФАНЦА.

Посев в селекционном питомнике первого года осуществлялся по паровому предшественнику во II декаде мая ручной сеялкой СР-1М. Длина рядка – 90 см, расстояние между рядками – 20 см. Работу с селекционным материалом вели методом педигри, то есть индивидуальным отбором лучших колосьев в лучших рядках, с последующим пересевом в селекционном питомнике первого года. В фазу полной спелости (III декада августа) проводили индивидуальный отбор 10 колосьев с каждого рядка. В конечном счете была отобрана и сохранена единственная линия от каждой гибридной популяции каждого года отбора (8 × 3 = 24 шт.).

Полученные линии испытывали на делянках площадью 0,9 м² в 3-кратной повторности. Норма высева – 500 зерен/м². Предшественник – пар. Посев во II декаде мая ручной сеялкой СР-1М. Уборку проводили в III декаде августа. Из снопа для последующего анализа брали 10 растений. Учитывали следующие показатели: продолжительность межфазного периода «всходы – колошение» (ПВК), высоту растения (ВР), коэффициент продуктивной кустистости (КПК), биомассу растения (БМ), количество колосков в главном колосе (ККК), озерненность главного колоса (ОГК), массу 1000 зерен (МТЗ), массу зерна главного колоса (МЗГК), массу зерна растения (МЗР), $K_{\text{хоз}}$ (доля зерна в общей биомассе растения), урожайность (Ур).

Расчет вклада факторов «родословная», «год отбора из гибридной популяции», «год испытания линий поздних поколений» и их сочетаний в изменчивость рассматриваемых признаков у линий F₈ и F₉ проведен методом трехфакторного дисперсионного анализа. Сопреженность признаков оценена с помощью парных ко-

эффициентов корреляции для уровня значимости α = 5% (Lakin, 1980).

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный, среднемощный малогумусный, среднесуглинистый (содержание гумуса – 3,8%; валового азота – 0,23%; подвижного фосфора и обменного калия по Чирикову – 200 мг/кг и 180 мг/кг соответственно; pH_{сол} – 6,15).

Сумма осадков начала вегетации 2017 г. в целом совпала со среднемноголетним значением, однако в июле выпало более 100% месячной нормы осадков (табл. 1). Избыточным, особенно в первой половине лета, количеством осадков характеризовался 2018 г. В 2017–2018 гг. на опытном поле возникла эпифитотия бурой и стеблевой ржавчин. В 2019, 2021 и 2022 г. отмечен дефицит осадков весной (типичные условия для Западной Сибири) и во второй половине лета. В 2020 г. засушливыми были май и июнь. В 2023 г. дефицит осадков в первой половине вегетации сменился интенсивными осадками в июле и августе, что вызвало прорастание зерна в колосе. Весь вегетационный период 2024 г. был переувлажненным. Осадки ливневого характера способствовали полеганию в III декаде июля и прорастанию зерна в колосе. В 2025 г. нетипично большое количество осадков выпало в июне и августе, что явилось причиной высоких урожаев зерна пшеницы.

Результаты

Между линиями поздних поколений, происходящих от различных гибридных популяций, в среднем отмечено существенное разнообразие по всем признакам, за исключением коэффициента продуктивной кустистости и массы зерна растения. (табл. 2). Линии, показавшие наибольшую среднюю урожайность, были отобраны из гибридных популяций ‘Тулеевская’ × ‘Саратовская 71’ (417 г/м²), ‘Лютесценс 453/2’ × ‘Алтайская Жница’ (418 г/м²) и ‘Лютесценс 899’ × ‘Саратовская 72’ (427 г/м²), наименьшую урожайность – из гибридных популяций

Таблица 1. Среднемесячная температура воздуха и количество осадков за периоды вегетации растений 2017–2025 гг. (данные агрометеорологической станции г. Барнаула)

Table 1. Mean monthly air temperature and precipitation during the growing seasons from 2017 to 2025 (Barnaul Agrometeorological Station)

Месяц / Month	Среднемесячная температура воздуха, °C / Mean monthly air temperature, °C									
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	многолетняя / multiyear
Май / May	13,7	11,8	11,5	16,8	15,6	17,2	12,1	12,5	13,6	12,1
Июнь / June	19,8	17,7	17,0	17,5	16,9	18,2	19,7	20,3	20,9	17,7
Июль / July	18,8	19,8	20,0	20,0	20,1	18,8	21,4	21,6	19,8	19,9
Август / August	17,1	16,9	19,4	18,8	18,3	16,8	18,4	19,0	16,4	17,0
Месяц / Month	Сумма осадков за месяц, мм / Monthly precipitation, mm									
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Многолетняя / multiyear
Май / May	49	97	13	31	19	5	10	81	23	42
Июнь / June	46	62	53	25	87	110	45	55	111	47
Июль / July	138	41	42	68	25	56	75	77	22	64
Август / August	56	11	36	53	28	16	80	79	164	49

Таблица 2. Средние значения признаков линий яровой мягкой пшеницы (2024 и 2025 г.) в зависимости от родословной, года отбора из гибридной популяции и года испытания линий поздних поколений**Table 2. Mean values of characters in spring bread wheat (2024 and 2025) depending on the pedigree, year of selection from a segregating population, and year of testing advanced lines**

Фактор / Factor	ПВК / DH	ВР / PH	КПК / CT	БМ / PB	ККК / NSS	ОГК / NGS	МТЗ / TGW	МЗГК / GWS	МЗР / GWP	$K_{хоз} / HI$	Ур / Y
«родословная» / «pedigree»											
1	43,7	101	2,11	5,29	15,6	29,1	36,2	1,09	2,01	37,9	411
2	43,6	106	1,88	4,79	16,8	31,1	33,7	1,07	1,77	37,3	417
3	46,3	104	2,17	5,31	16,0	28,4	34,5	1,01	1,90	35,8	403
4	48,8	111	2,02	5,37	16,0	29,7	33,1	1,01	1,80	33,2	360
5	49,1	108	2,11	6,13	17,1	29,4	34,5	1,07	1,98	32,0	377
6	43,7	103	2,08	5,46	15,1	28,3	38,4	1,14	2,05	37,9	427
7	42,6	106	1,98	5,02	16,2	27,9	36,4	1,05	1,84	36,7	404
8	42,2	100	1,85	4,92	16,5	28,1	37,5	1,07	1,78	36,5	418
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,3	3	$F < F_t$	0,79	0,5	1,6	1,0	0,08	$F < F_t$	1,3	35
«год отбора из гибридной популяции» / «year of selection from a segregating population»											
2017	44,6	103	2,11	5,10	16,0	27,3	35,6	1,01	1,82	35,9	408
2018	44,8	106	1,97	4,98	15,9	29,3	34,0	1,02	1,79	35,9	383
2019	45,6	106	1,99	5,78	16,6	30,4	37,0	1,16	2,07	35,9	415
HCP 05 / LSD05	0,2	2	$F < F_t$	0,48	0,3	1,0	0,6	0,05	0,17	$F < F_t$	21
«год испытания линий поздних поколений» / «year of testing advanced lines»											
2024	45,6	103	1,82	4,21	17,0	29,3	31,2	0,95	1,50	35,6	348
2025	44,4	107	2,23	6,36	15,3	28,7	39,9	1,18	2,29	36,2	456
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,1	1	0,09	0,32	0,2	$F < F_t$	0,4	0,03	0,11	$F < F_t$	14

Примечание: 1–8 – гибридные популяции; ПВК – продолжительность межфазного периода «всходы – колошение» (дней); ВР – высота растения (см); КПК – коэффициент продуктивной кустистости; БМ – биомасса растения (г); ККК – количество колосков в главном колосе (штук); ОГК – озерненность главного колоса (штук); МТЗ – масса 1000 зерен (г); МЗГК – масса зерна главного колоса (г); МЗР – масса зерна растения (г); $K_{хоз}$ – уборочный индекс (%); Ур – урожайность (г/м²); $F < F_t$ – фактический критерий Фишера меньше табличного

Note: 1–8 – segregating populations; DH – days to heading; PH – plant height (cm); CT – coefficient of tillering; PB – plant biomass (g); NSS – number of spikelets per spike; NGS – number of grains per spike; TGW – thousand-grain weight (g); GWS – grain weight per spike (g); GWP – grain weight per plant (g); HI – harvest index (%); Y – yield (g/m²); $F < F_t$ – experimental value of Fischer's criterion is less than its tabulated value

‘Эритроспермум 78’ × ‘Алтайская 105’ (360 г/м²) и ‘Тулевская’ × ‘Алтайская 105’ (377 г/м²). Фактор «год отбора из гибридной популяции» вносил существенный вклад в изменчивость большинства признаков линий поздних поколений, за исключением коэффициента продуктивной кустистости и $K_{хоз}$. Данный фактор существенно повлиял на урожайность линий поздних поколений: в среднем наиболее урожайные линии были получены при отборе из гибридных популяций в 2017 и 2019 г. (408 и 415 г/м² соответственно), наименее урожайные – в 2018 г. (383 г/м²). Значения всех признаков, за исключением озерненности главного колоса и $K_{хоз}$, были достоверно выше в 2025 г., по сравнению с 2024 г.

В целом по опыту удалось отобрать семь высокоурожайных линий (432–466 г/м²): четыре в 2017 г., две в 2018 г. и одну в 2019 г. Четыре линии сформировали в среднем за 2024–2025 гг. низкую урожайность (299–

358 г/м²). Одна из них была отобрана в 2017 г., три другие – в 2018 г. (табл. 3).

Рассматриваемые факторы вносили различный вклад в изменчивость признаков растений (табл. 4). Фактор «родословная» оказал наибольшее влияние на изменчивость периода «всходы – колошение» (55,6%) и на $K_{хоз}$ (35,3%), фактор «год испытания линий поздних поколений» – на изменчивость коэффициента продуктивной кустистости (24,5%), биомассы растения (42,4%), количества колосков в колосе (33,5%), массы 1000 зерен (63,8%), массы зерна главного колоса и растения (32,1 и 44,1% соответственно) и урожайности (37,6%). Взаимодействие факторов «родословная» и «год отбора из гибридной популяции» внесло наибольшее влияние на изменчивость высоты растения (39,5%), озерненности главного колоса (27,2%). Фактор «год отбора из гибридной популяции» в малой степени, хотя и достоверно,

Таблица 3. Средняя урожайность линий яровой мягкой пшеницы (2024, 2025 г.), отобранных в разные годы из гибридных популяций

Table 3. Mean yield of spring bread wheat lines (2024 and 2025) selected from segregating populations in different years

Родословная / Pedigree	Год отбора из гибридной популяции / Year of selection from a segregating population		
	2017	2018	2019
1	401	447	386
2	391	445	416
3	449	331	429
4	389	314	377
5	299	380	451
6	466	387	427
7	432	358	424
8	440	406	408
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	60		

Таблица 4. Влияние факторов на изменчивость признаков линий яровой мягкой пшеницы поздних поколений (% суммы квадратов отклонений)

Table 4. The effect of factors on the variation of characters in advanced lines of spring bread wheat (% sum of squares)

Фактор / Factor	ПВК / DH	ВР / PH	КПК / СТ	БМ / PB	ККК / NSS	ОГК / NGS	МТЗ / TKW	МЗГК / GWS	МЗР / GWP	K _{хоз} / HY	Ур / Y
A	55,6*	21,8*	6,9	5,5*	17,7*	7,6*	10,4*	3,8*	2,9	35,3*	5,8*
B	1,7*	4,7*	2,1	4,6*	3,9*	12,9*	5,1*	11,7*	4,5*	0,0	2,4*
C	2,7*	4,8*	24,5*	42,4*	33,5*	0,9	63,8*	32,1*	44,1*	0,6	37,6*
A×B	37,4*	39,5*	6,4	2,1	16,3*	27,2*	9,4*	8,5*	2,7	27,3*	15,4*
A×C	0,3*	1,9	2,9	3,6	2,6	6,9*	4,4*	10,7*	4,3	7,0*	5,9*
B×C	0,1	0,1	0,5	1,2	0,4	2,3*	0,1	1,0	0,9	0,2	1,8*
A×B×C	0,7*	4,7	10,0	5,6	5,9*	10,0*	1,9*	9,6*	7,6	6,5*	7,4*
E	1,5	22,4	46,8	34,9	19,8	32,2	4,9	22,5	32,9	22,9	23,8

Примечание: А – фактор «родословная»; В – фактор «год отбора из гибридной популяции»; С – фактор «год испытания линий поздних поколений»; Е – случайные факторы (остаточная дисперсия); * – $F > F_{t,0.05}$; остальные символы: см. примечание к таблице 2

Note: A – factor “pedigree”; B – factor “year of selection from a segregating population”; C – factor “year of testing advanced lines”; E – error (residual); * – $F > F_{t,0.05}$; other symbols: see the note to Table 2

вливал на изменчивость всех признаков, за исключением коэффициента продуктивной кустистости и $K_{хоз}$. Взаимодействие факторов «год отбора из гибридной популяции» и «год испытания линий поздних поколений» в очень незначительной степени отразилось на варьировании признаков растений. Тройное взаимодействие факторов существенным образом повлияло на вариацию периода «всходы – колошение», элементов продуктивности главного колоса, $K_{хоз}$ и урожайности (0,7–10,0%). Низкое значение остаточной дисперсии (< 10%) наблюдалось лишь по периоду «всходы – колошение» и массе 1000 зерен. Для остальных признаков данное значение превышало 20%.

Корреляционный анализ выявил различные по величине и разнонаправленные взаимосвязи между признаками растений и урожайностью линий поздних поколений в 2024 и 2025 г. (табл. 5). В 2024 г. урожайность умеренно или заметно отрицательно коррелировала с продолжительностью периода «всходы – колошение» и коэффициентом продуктивной кустистости ($r = -0,60$, $r = -0,44$ соответственно) и заметно и в высокой степени положительно – с количеством колосков в колосе, массой 1000 зерен, массой зерна главного колоса и растения и $K_{хоз}$ ($r = 0,47-0,82$). В 2025 г. умеренная и заметная корреляционная взаимосвязь установлена между урожайностью и коэффициентом продуктивной кустистости,

Таблица 5. Коэффициенты корреляции Пирсона между признаками линий поздних поколений и урожайностью в 2024 и 2025 году**Table 5. Pearson's coefficients of correlations between characters in advanced lines and their yield in 2024 and 2025**

ПВК / DH	ВР / PH	КПК / CT	БМ / PB	ККК / NSS	ОГК / NGS	МТЗ / TKW	МЗГК / GWS	МЗР / GWP	К _{хоз} / HY	Ур / Y
2024 г.										
-0,60	-0,20	--0,44	0,03	0,49	0,18	0,82	0,77	0,47	0,69	-
2025 г.										
-0,15	0,01	0,58	0,23	0,09	0,00	0,34	0,22	0,47	0,50	-
между значениями одноименных признаков в 2024 и 2025 г. / between values of the same characters in 2024 and 2025										
0,98	0,82	0,07	0,10	0,62	0,43	0,62	0,06	-0,13	0,67	0,23

Примечание: критическое значение коэффициента корреляции = 0,44 ($p = 0,05$); остальные символы: см. примечание к таблице 2
 Note: critical value for $r = 0.44$ ($p = 0.05$); other symbols: see the note to Table 2

массой зерна растения, $K_{хоз}$ ($r = 0,47-0,58$). Весьма высокая и высокая корреляционная взаимосвязь между значениями признаков в 2024 и 2025 г. выявлена для продолжительности периода «всходы – колошение» ($r = 0,98$), высоты растений ($r = 0,82$), умеренная и заметная – для количества колосков в главном колосе, озерненности главного колоса, массы 1000 зерен и $K_{хоз}$ ($r = 0,43-0,67$).

Обсуждение результатов

Нет ничего удивительного в том, что фактор «родословная» существенным образом повлиял на изменчивость практически всех признаков линий поздних поколений, включая урожайность. Гибридизация – это основной способ создания исходного генетического разнообразия в селекции растений. Генетическое происхождение гибридной популяции в данном эксперименте оказало основополагающее влияние на изменчивость продолжительности периода «всходы – колошение», высоту растения и $K_{хоз}$. Данные признаки, как правило, демонстрируют высокую наследуемость, что предоставляет хорошую возможность для улучшения их посредством селекции (Ahmad, Gupta, 2023). Вклад фактора «родословная» в изменчивость урожайности составил всего 5,8%. В аналогичных исследованиях вклад генотипа в изменчивость урожайности составляет 4–12% (Demina, 2022; Fedosenko, Sidorov, 2024). Коэффициент продуктивной кустистости и масса зерна растения очень трудно поддаются селекционному улучшению из-за значительного влияния случайных факторов и условий года испытания, что было подтверждено и в нашем эксперименте.

Не является необычным и значительный вклад фактора «год испытания линий поздних поколений» в изменчивость большинства признаков, включая урожайность. Оба года испытания линий поздних поколений были переувлажненными, но в 2025 г. отсутствовал какой-либо серьезный, лимитирующий урожайность фактор. Летний максимум осадков пришелся на июнь, что отразилось на количестве дополнительных побегов и биомассе растений. Главным лимитирующим фактором 2024 г. явилось полегание селекционных линий спустя всего 2–3 недели после колошения вследствие июльских ливней, сопровождавшихся сильным ветром. Обычно условия года испытания составляют более половины

изменчивости урожайности (Zenkina, Aseeva, 2024). В связи с этим испытание генотипов в широком наборе сред на финальных стадиях селекции очень важно (Ahkaz et al., 2021; Ahmad et al., 2022).

Фактор «год отбора из гибридной популяции» хотя и в меньшей степени, но статистически значимо влиял на изменчивость урожайности и большинства других признаков растений. Возможная причина того, что средние величины признаков были наибольшими у селекционных линий, отобранных в гибридных популяциях в 2019 г., заключается в отборе (вряд ли осознанном) растений с более продолжительным периодом «всходы – колошение». В условиях поздневесенней засухи – типичного лимитирующего фактора в Западной Сибири – преимущество обычно имеют среднепоздние генотипы (Belan et al., 2021). Наименьшая средняя урожайность линий, отобранных в 2018 г., вероятно, также объясняется погодными условиями, которые по распределению осадков и среднемесячной температуре были ближе к климату Поволжья (достаточно увлажненная первая половина вегетации в сочетании с терминальной засухой). В таких условиях преимущество обычно получают среднеранние и среднеспелые генотипы (Albayrak et al., 2021).

Взаимодействие факторов «родословная» и «год отбора из гибридной популяции» вносило еще более весомый вклад в изменчивость признаков, чем фактор «год отбора из гибридной популяции», а по урожайности – больше, чем каждый из этих двух факторов по отдельности (15,4% против 2,4 и 5,8%). Таким образом, отбор растений в разнообразных гибридных популяциях, при отличающихся погодных условиях, не обязательно типичных для местности ведения селекции, позволяет охватить широкую изменчивость гибридного материала. Хотя наибольшей средней урожайностью характеризовались линии, отобранные из гибридной популяции в 2019 г., количество высокоурожайных линий, что важно для практической селекции, было больше при отборе из гибридных популяций в 2017 и 2018 г. В каждой гибридной популяции, за исключением 'Эритроспермум 78' × 'Алтайская 105', с 2017 по 2019 г. отобрано по одной линии с высокой урожайностью (более 432 г/м²). При этом не выявлен какой-то явный фактор, приводящий к отбору высокоурожайных линий (год отбора или гибридная популяция). Вероятно, нами был осуществлен удачный подбор пар, так как для гибридизации исполь-

зовали генотипы, хорошо адаптированные к местным условиям.

Взаимодействие факторов «родословная» и «год испытания линий поздних поколений» ожидаемо оказало достоверное влияние на признаки, подверженные сильному влиянию окружающей среды: элементы продуктивности колоса, $K_{\text{хоз}}$, урожайность. В каждом эксперименте следует уделять внимание взаимодействию «генотип × среда» и анализировать его причины (Pour-Aboughadareh et al., 2022). В нашем эксперименте таковой причиной явилось полегание посевов в 2024 г., от которого в большей степени пострадали среднепоздние или неустойчивые к прорастанию зерна на корню генотипы.

Взаимодействие факторов «год отбора из гибридной популяции» и «год испытания линий поздних поколений» в очень незначительной мере влияло на изменчивость рассматриваемых признаков яровой мягкой пшеницы (не более 2,3%). То есть сам по себе фон отбора не приводил к массовому возникновению линий со специфической адаптацией. Такое явление если и имело место, то почти наверняка нивелировалось последующим отбором в 2020–2023 гг. на фоне типичных для Сибири погодных условий.

В трехфакторных опытах тройное взаимодействие факторов, как правило, невелико или статистически не существенно (Kadychegova et al., 2015; Maslova et al., 2021). Однако в нашем эксперименте вышеназванное взаимодействие факторов было статистически значимым, то есть влиянием факторов и их двойных взаимодействий не исчерпывается влияние на общую изменчивость признаков продуктивности и урожайности линий яровой мягкой пшеницы.

Величина урожайности в различных средах может определяться разными элементами его структуры (Mondal et al., 2020; Ahmad et al., 2022). В нашем эксперименте генотипические коэффициенты корреляции признаков с невысокой наследуемостью (коэффициент продуктивной кустистости, биомасса растения, озерненность главного колоса, продуктивность главного колоса и растения, урожайность) между 2024 и 2025 г. были статистически незначимы ($r = -0,13-0,43$), как и в аналогичных исследованиях (Ud-Din et al., 1992). Признаки растений в 2024 и 2025 г. были по-разному сопряжены с урожайностью. В 2024 г. зерновая продуктивность существенно зависела от того, сколько дней растения осуществляли нормальный налив зерна, пока не произошло полегание посевов. Именно поэтому урожайность была отрицательно и заметно сопряжена с продолжительностью периода «всходы – колошение» ($r = -0,60$). В 2025 г. урожайность в заметной степени определялась способностью генотипов к образованию дополнительных побегов кущения ($r = 0,58$).

Несмотря на то что продуктивность отдельных растений в гибридной популяции замаскирована остаточным гетерозисом, конкуренцией соседних растений, случайными причинами и погодными особенностями года (Ndoni, 1988; Zhu et al., 2022), последний фактор оказывает систематическое влияние на результативность отбора. Однако его действие нелинейно в различных гибридных популяциях. Специфические или типичные условия года не обязательно должны присутствовать для того, чтобы отобрать высокоурожайные генотипы. Известно, что засухоустойчивый сорт возможно создать в условиях без засухи (Richards, 1996). Фон для отбора можно создать относительно простыми способами: использованием различных предшественников, сроков

сева, норм высева семян, удобрений, орошения, выбором композиций склона и т. д. Все это будет оказывать какое-то влияние на эффективность создания линий с заданными характеристиками, однако, как показал наш эксперимент, высокоурожайные линии поздних поколений отобраны практически независимо от условий отбора. Возможная причина может заключаться не столько в создании фона для отбора, сколько в объеме прорабатываемого материала. Из каждой гибридной популяции мы осуществляли отбор на протяжении трех лет, что не всегда возможно реализовать в практической селекции. К сожалению, эти два условия в нашем эксперименте невозможно было отделить. Вряд ли возможно определить селекционную ценность гибридной популяции исходя из данных одного года, пусть даже и типичного для местности. В конечном счете сортом становится, как правило, уникальный рекомбинант (Syukov et al., 2017), отбор которого трудно осуществить.

Заключение

Фактор «родословная» оказал наибольшее влияние на изменчивость продолжительности межфазного периода «всходы – колошение» (55,6%) и $K_{\text{хоз}}$ (35,3%), фактор «год испытания линий поздних поколений» – на изменчивость коэффициента продуктивной кустистости (24,5%), биомассы растения (42,4%), количества колосков в главном колосе (33,5%), массы 1000 зерен (63,8%), массы зерна главного колоса (32,1%), массы зерна растения (44,1%) и урожайности (37,6%), взаимодействие факторов «родословная» и «год отбора из гибридной популяции» – на изменчивость высоты растения (39,5%) и озерненности главного колоса (27,2%). Влияние фактора «год отбора из гибридной популяции» на изменчивость невелико (0,0–12,9%), но статистически значимо практически для всех вышеперечисленных признаков. Статистически значимое влияние взаимодействия факторов «родословная» и «год испытания линий поздних поколений» выявлено для продолжительности периода «всходы – колошение», озерненности главного колоса, массы 1000 зерен, массы зерна главного колоса, $K_{\text{хоз}}$, урожайности (0,3–10,7%). Взаимодействие факторов «год отбора из гибридной популяции» и «год испытания линий поздних поколений» практически не оказывало влияния на изменчивость рассматриваемых признаков (вклад менее 2,3%). Тройное взаимодействие факторов статистически значимо влияло на изменчивость периода «всходы – колошение», количества колосков в колосе, озерненности главного колоса, массы 1000 зерен, массы зерна главного колоса, $K_{\text{хоз}}$, урожайности (0,7–10,0%). Отбор из разнообразных гибридных популяций в разные годы позволяет охватить большую изменчивость, что повышает эффективность селекции яровой мягкой пшеницы.

References / Литература

- Ahakupaz F., Abdi H., Neyestani E., Hesami A., Mohammadi B., Mahmoudi K.N. et al. Genotype-by-environment interaction analysis for grain yield of barley genotypes under dryland conditions and the role of monthly rainfall. *Agricultural Water Management*. 2021;245:106665. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106665
- Ahmad A., Gupta R.K. Genetic variability, heritability and genetic advance for yield and yield associated traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Annals of Agricul-*

- tural and Crop Sciences*. 2023;8(1):1125. DOI: 10.26420/annagricropsci.2023.1125
- Ahmad Z., Khan N.U., Gul S., Iqbal A., Ali S., Ali N. et al. Wheat assessment for heat stress tolerance using stress selection indices under distinct planting regimes. *Pakistan Journal of Botany*. 2022;54(3):823-834. DOI: 10.30848/PJB2022-3(33)
- Albayrak O., Bayhan M., Ozkan R., Akinci C., Yildirim M. Effect of drought on morphological and physiological development of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at pre and post heading period. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2021;19(6):4251-4263. DOI: 10.15666/aer/1906_42514263
- Belan I.A., Rosseeva L.P., Blokhina N.P., Grigoriev Y.P., Mukhina Y.V., Trubacheeva N.V. et al. Resource potential of soft spring wheat varieties for the conditions of Western Siberia and Omsk region (analytical review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(4):449-465. [in Russian] [Белан И.А., Росеева Л.П., Блохина Н.П., Григорьев Ю.П., Мухина Я.В., Трубочеева Н.В. и др. Ресурсный потенциал сортов пшеницы мягкой яровой для условий Западной Сибири и Омской области (аналитический обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(4):449-465]. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.449-465
- Braun H.J., Rajaram S., van Ginkel M. CIMMYT's approach to breeding for wide adaptation. *Euphytica*. 1996;92(1):175-183. DOI: 10.1007/BF00022843
- Demina I.F. Adaptabilities of spring wheat varieties and lines in terms of productivity and elements of its structure in forest-steppe conditions of the Middle Volga region. *International Agricultural Journal*. 2022;65(5):530-534. [in Russian] [Демина И.Ф. Адаптивность сортов и линий яровой пшеницы по урожайности и элементам ее структуры в условиях лесостепи среднего Поволжья. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2022;65(5):530-534]. DOI: 10.55186/25876740_2022_65_5_530
- Fedosenko D.F., Sidorov A.V. Assessment of adaptability of spring soft wheat varieties of Krasnoyarsk breeding by grain productivity. *Vestnik of Omsk SAU*. 2024;2(54):64-70. [in Russian] [Федосенко Д.Ф., Сидоров А.В. Оценка адаптивности сортов яровой мягкой пшеницы красноярской селекции по зерновой продуктивности. *Вестник Омского ГАУ*. 2024;2(54):64-70].
- Filippova E., Mal'ceva L., Bannikova N., Drobot I., Kataeva N. The environmental testing role as a decisive factor in evaluating new spring soft wheat variety Aist 45. *The Bulletin of KrasGAU*. 2023;(2):65-72. [in Russian] [Филиппова Е.А., Мальцева Л.Т., Банникова Н.Ю., Дробот И.А., Катаева Н.В. Роль экологического испытания как решающего фактора в оценке нового сорта яровой мягкой пшеницы Аист 45. *Вестник КрасГАУ*. 2023;(2):65-72]. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-2-65-72
- Fischer R.A., Rebetzke G.J. Indirect selection for potential yield in early-generation, spaced plantings of wheat and other small-grain cereals: a review. *Crop and Pasture Science*. 2018;69(5):439-459. DOI: 10.1071/CP17409
- Javed A., Ahmad N., Ahmed J., Hameed A., Ashraf M.A., Zafar A.S. et al. Grain yield, chlorophyll and protein contents of elite wheat genotypes under drought stress. *Journal of King Saud University - Science*. 2022;34(7):102279. DOI: 10.1016/j.jksus.2022.102279
- Kadychegova A.N., Borodunya A.N., Kadychegova V.I., Kadychegov V.A. Forecrop effect on the yield of spring soft wheat varieties of different ripeness groups in the steppe zone of southern Central Siberia. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2015;2(124):5-10. [in Russian] [Кадычегова А.Н., Бородинья А.Н., Кадычегова В.И., Кадычegov В.А. Влияние предшественника на урожай сортов яровой мягкой пшеницы различных групп спелости в степной зоне юга Средней Сибири. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2015;2(124):5-10).
- Konovalov Yu.B., Al-Sobakhi S.S. Prediction of efficiency in selection from crops of different density for spring bread wheat cultivars (Prognoz effektivnosti otbora iz posevov razlichnoy gustoty u sortov yarovoy myagkoj pshenitsy). *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 1983;(5):43-50. [in Russian] [Коновалов Ю.Б., Аль-Собахи С.С. Прогноз эффективности отбора из посевов различной густоты у сортов яровой мягкой пшеницы. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 1983;(5):43-50).
- Kuz'min O.G., Chursin A.S., Krasnova Yu.S., Karakoz I.I., Shamanin V.P. Evaluation of the ecological plasticity of promising lines from the KASIB-20 nursery according to yield and grain quality. *Vestnik of Omsk SAU*. 2021;1(41):28-36. [in Russian] [Кузьмин О.Г., Чурсин А.С., Краснова Ю.С., Каракоз И.И., Шаманин В.П. Оценка экологической пластичности перспективных линий питомника КАСИБ-20 по урожайности и качеству зерна. *Вестник Омского ГАУ*. 2021;1(41):28-36]. DOI: 10.48136/2222-0364_2021_1_28
- Lakin G.F. Biometrics (Biometriya). Moscow: Vysshaya Shkola; 1980. [in Russian] [Лакин Г.Ф. Биометрия. Москва: Высшая школа; 1980].
- Malchikov P.N. Set of habitats for selection of homeoadaptive varieties of summer durum wheat. *Agrarian Reporter of South-East*. 2009;2(2):32-35. [in Russian] [Мальчиков П.Н. Совокупность сред для отбора гомеоадаптивных сортов яровой твердой пшеницы. *Аграрный вестник Юго-Востока*. 2009;(2):32-35].
- Maslova G.A., Astashov A.N., Zhuzhukin V.I., Bagdalova A.Z., Safronov A.A. Influence of the sowing method and the predecessor on the yield of new chickpea varieties. *The Agrarian Scientific Journal*. 2021;(11):31-35. [in Russian] [Маслова Г.А., Асташов А.Н., Жужукин В.И., Багдалова А.З., Сафронов А.А. Влияние способов посева и предшественников на урожайность новых сортов нута. *Аграрный научный журнал*. 2021;(11):31-35]. DOI: 10.28983/asj.y2021i11pp31-35
- Mondal S., Dutta S., Crespo-Herrera L., Huerta-Espino J., Braun H.J., Singh R.P. Fifty years of semi-dwarf spring wheat breeding at CIMMYT: Grain yield progress in optimum, drought and heat stress environments. *Field Crops Research*. 2020;250:107757. DOI: 10.1016/j.fcr.2020.107757
- Musalitin G.M., Boradulina V.A., Kuzikeev Zh.V., Deines N.V. Economic and biological characteristics of a new grain-fodder barley variety Aley. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2017;11(157):18-22. [in Russian] [Мусалитин Г.М., Борадулина В.А., Кузикеев Ж.В., Дейнес Н.В. Хозяйственно-биологические характеристики нового сорта ячменя зернофуражного использования Алей. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2017;11(157):18-22).
- Ndondi R.V. Comparison of F₂ single plant grain yield and total dry matter as estimators of yield potential in wheat. In: M. van Ginkel, D.G. Tanner (eds). *Fifth Regional Wheat Workshop for Eastern, Central, and Southern Africa and the Indian Ocean (Antsirabe, Madagascar, October 5–10, 1987)*. Mexico: CIMMYT; 1988. p.74-78.

- Pour-Aboughadareh A., Khalili M., Poczai P., Olivoto T. Stability indices to deciphering the genotype-by-environment interaction (GEI) effect: an applicable review for use in plant breeding programs. *Plants (Basel)*. 2022;11(3):414. DOI: 10.3390/plants11030414
- Rajaram S., van Ginkel M. Mexico, 50 years of international wheat breeding. In: A.P. Bonjean, W.J. Angus (eds). *The World Wheat Book: A History of Wheat Breeding*. Paris: Lavoisier Publishing; 2001. p.579-608.
- Richards R.A. Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regulation*. 1996;20:57-166. DOI: 10.1007/BF00024012
- Syukov V.V., Shabolkina E.N., Viyushkov A.A., Porotkin S.E., Gulaeva N.V. Spring soft wheat "Tulaykovskaya nadezhda". *Grain Economy of Russia*. 2017;4(52):14-16. [in Russian] (Сюков В.В., Шаболкина Е.Н., Вьюшков А.А., Пороткин С.Е., Гулаева Н.В. Яровая мягкая пшеница Тулайковская надежда. *Зерновое хозяйство России*. 2017;4(52):14-16).
- Syukov V.V., Zakharov V.G., Malchikov P.N., Krivobochek V.G., Nikonov V.I., Vasilova N.Z., et al. Evaluation of the differentiation ability of ecological points in generated environmental vector program "Ekada". *The Agrarian Scientific Journal*. 2019;(4):32-37. [in Russian] (Сюков В.В., Захаров В.Г., Мальчиков П.Н., Кривобочек В.Г., Никонов В.И., Василова Н.З., Ганеев В.А. Оценка дифференцирующей способности экопунктов в сформированном экологическом векторе программы «Экада». *Аграрный научный журнал*. 2019;(4):32-37). DOI: 10.28983/asj.y2019i4pp32-37
- Ud-Din N., Carver B.F., Clutter A.C. Genetic analysis and selection for wheat yield in drought-stressed and irrigated environments. *Euphytica*. 1992;62(2):89-96. DOI: 10.1007/BF00037933
- Vaezi B., Pour-Aboughadareh A., Mohammadi R., Mehraban A., Hossein-Pour T., Koohkan E. et al. Integrating different stability models to investigate genotype × environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes. *Euphytica*. 2019;215(4):63. DOI: 10.1007/s10681-019-2386-5
- Zenkina K.V., Aseeva T.A. Formation of the yield spring soft wheat in the Middle Amur region conditions. *The Bulletin of KrasGAU*. 2024;12(213):19-25. [in Russian] (Зенкина К.В., Асеева Т.А. Формирование урожайности яровой мягкой пшеницы в условиях Среднего Приамурья. *Вестник КрасГАУ*. 2024;12(213):19-25). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-12-19-25
- Zhu Y.H., Weiner J., Jin Y., Yu M.X., Li F.M. Biomass allocation responses to root interactions in wheat cultivars support predictions of crop evolutionary ecology theory. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:858636. DOI: 10.3389/fpls.2022.858636

Информация об авторе

Сергей Борисович Лепехов, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, 656910 Россия. Барнаул, Научный городок, 35, sergei.lepехov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1561-6345>

Information about the author

Sergey B. Lepkhov, Cand. Sci. (Agriculture), Head of a Laboratory, Federal Altai Scientific Centre of Agro-Biotechnologies, 35 Nauchny Gorodok, Barnaul 656910, Russia, sergei.lepехov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1561-6345>

Статья поступила в редакцию 30.12.2025; одобрена после рецензирования 08.04.2026; принята к публикации 22.04.2026. The article was submitted on 30.12.2025; approved after reviewing on 08.04.2026; accepted for publication on 22.04.2026.