

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Научная статья

УДК 636.086.15; 631.527

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-199-208



Использование доноров раннеспелости в селекции кукурузы в условиях степной зоны Северо-Кавказского федерального округа России

Т. В. Волощенко¹, А. Д. Уткин², Э. Б. Хатефов²¹ Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, РоссияАвтор, ответственный за переписку: Тимофей Витальевич Волощенко, thedrof3cool@mail.ru

Актуальность. В условиях короткого вегетационного периода и дефицита суммы активных температур в регионах РФ до 55° северной широты возделывание гибридов кукурузы с группой спелости по классификации ФАО 100–300 становится важным направлением в обеспечении кормовой базы животноводства. Сортимент и разнообразие гибридов кукурузы ультраранней и ранней групп спелости очень узок из-за отсутствия достаточного разнообразия в исходном селекционном материале раннеспелых линий. Создание исходного селекционного материала для гибридной селекции кукурузы, адаптированной к агроклиматическим условиям до 55° северной широты РФ, актуально.

Материалы и методы. Исследования проведены в условиях степной зоны (Кабардино-Балкария, г. Прохладный) в 2021–2024 гг. В работе использованы 250 образцов популяции S_1BC_1 , полученной на основе гибридизации десяти линий – закрепителей ЦМС кукурузы селекции ООО ССЦ «ОТБОР» с ультрараннеспелым сортом кукурузы 'Белоярое Пшено' (к-5240) из коллекции ВИР. Методы включали инцухт, тест-кроссы с ЦМС-линиями (М- и С-типы), фенологический и морфометрический анализы, тестирование проростков на холодостойкость в лабораторных условиях.

Результаты. В результате проведенных насыщающих скрещиваний и инбридинга удалось выделить из расщепляющейся популяции S_1BC_1 7 ультраранних, 57 ранних и 3 среднеранних линии, из которых 5 показали устойчивость проростков к воздействию пониженных температур. Фенологические наблюдения показали, что у рекомбинантных линий смещение сроков цветения в сторону раннеспелости находятся в диапазоне от 4 до 16 дней, что позволило улучшить инбредидуемый материал от среднепоздней до ультраранней и ранней групп спелости по классификации ФАО.

Заключение. Результаты подтверждают возможность создания исходного раннеспелого селекционного материала для селекции ранней и ультраранней гибридной кукурузы с использованием S_1BC_1 ультрараннеспелого скороспелого сорта кукурузы 'Белоярое Пшено' в качестве донора признака раннеспелости.

Ключевые слова: кукуруза, беккроссы, адаптация, раннеспелость, продуктивность, устойчивость к морозу

Благодарности: исследования выполнены в рамках исполнения госзадания по теме № FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Волощенко Т.В., Уткин А.Д., Хатефов Э.Б. Использование доноров раннеспелости в селекции кукурузы в условиях степной зоны Северо-Кавказского федерального округа России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(3):199–208. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-199-208

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-199-208

Using donors of earliness in maize breeding in the steppe zone of the North Caucasus Federal District of Russia

Timofey V. Voloshchenko¹, Anton D. Utkin², Eduard B. Khatefov²¹ Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, RussiaCorresponding author: Timofey V. Voloshchenko, thedrof3cool@mail.ru

Background. Cultivation of maize hybrids belonging to the FAO 100–300 maturity groups up to the 55th parallel north becomes an important area in providing feed for livestock. The range of maize hybrids of the ultra-early and early maturity groups is very narrow due to the lack of sufficient diversity in the initial breeding material. Development of new sources for breeding hybrid maize cultivars adapted to the agroclimatic conditions of 50–55°N is relevant.

Materials and methods. The studies were conducted in the steppe zone of the North Caucasus Federal District (Prokhladny, Kabardino-Balkaria) in 2021–2024. The work involved 250 samples of the S_1BC_1 population obtained by hybridizing ten maize lines – CMS maintainers developed by OTBOR Ltd. – with the ultra-early maize cultivar ‘Beloyaroye Psheno’ (k-5240) from the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR). The methods included inbreeding, test crosses with CMS lines (M and C types), phenological and morphometric analyses, and testing of seedlings for cold resistance under laboratory conditions.

Results. As a result of saturating crosses and inbreeding, it was possible to isolate 7 ultra-early, 57 early and 3 mid-early lines from the splitting S_1BC_1 population, 5 of which showed seedling resistance to low temperatures. Phenological observations showed that the recombinant lines shifted the flowering dates towards early maturity in the range from 4 to 16 days, which made it possible to shift the maturity groups of the inbred material from mid-late to ultra-early and early according to the FAO classification.

Conclusion. The results confirm the possibility of creating early-maturing source material for breeding early and ultra-early hybrid maize using S_1BC_1 of the ultra-early maize cv. ‘Beloyaroye Psheno’ as a donor of earliness.

Keywords: maize, backcrosses, adaptation, earliness, productivity, resistance to frosts

Acknowledgements: the research was carried out within the framework of the state task, Project No. FGEM-2022-0009 “Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production”. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Voloshchenko T.V., Utkin A.D., Khatefov E.B. Using donors of earliness in maize breeding in the steppe zone of the North Caucasus Federal District of Russia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(3):199-208. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-199-208

Введение

Более короткий вегетационный период, наблюдаемый при продвижении посевов кукурузы на север, требует использования более раннеспелых гибридов по сравнению с гибридами, используемыми в центральной и южной зонах РФ. Вследствие более короткого вегетационного периода и дефицита суммы активных температур в северных регионах по сравнению с южными зонами урожайность раннеспелых гибридов существенно ниже урожайности среднеспелых (ФАО 301-400), среднепоздних (ФАО 401-500) и позднеспелых (ФАО 501-600) групп спелости кукурузы по классификации ФАО (Jugenheimer, 1979). Преимуществом раннеспелых гибридов, возделываемых в северных регионах, является способность формировать полноценное, спелое зерно с быстрой влагоотдачей при созревании в сравнении с остальными, более позднеспелыми группами спелости (Panfilov et al., 2021). С экономической точки зрения эти преимущества позволяют получать зерно кукурузы хоть и с меньшей урожайностью, но в непосредственной близости к месту ее использования. Такой подход позволяет избежать дополнительных затрат на перевозку и сушку зерна, обеспечивает более раннюю уборку и освобождение площадей под озимые культуры (Khoroshilov et al., 2006; Kravtsov, Shiman'skiy, 2020). Кроме того, возделывание раннеспелой кукурузы в зонах до 50–55° северной широты снижает риск повреждения зерна от заражения микотоксинами, что чаще встречается у гибридов более поздних групп спелости за счет удлинения вегетационного периода, а также потери урожая вследствие засухи в середине и конце лета. Кукуруза является одной из наиболее ценных злаковых культур во всем мире, и для удовлетворения растущих запросов населения Земли возрастает потребность расширения зоны возделывания кукурузы в умеренных и даже северных широтах.

Современные сорта кукурузы берут начало от южноамериканских предковых злаков, формирующих урожай при температуре 25–30°C, не приспособленных к низким положительным температурам, и замедляют рост и развитие уже при 8–10°C, однако некоторые гибриды и линии способны акклиматизироваться к температуре роста и развития в диапазоне 14–20°C, повышая холодостойкость (Khoroshilov et al., 2006). Кукуруза является одной из наиболее ценных злаковых культур во всем мире, и для удовлетворения растущих запросов населения земли возрастает потребность расширения зоны кукурузосеяния в умеренных и даже северных широтах. В этой связи возникает запрос на получение новых, более холодостойких форм, что возможно лишь при детальном понимании клеточных механизмов устойчивости к низким температурам как непосредственно *Zea mays* L., так и его близкородственных видов (сорго, рис, пшеница).

Генетическое разнообразие мировых ресурсов кукурузы, используемых в гибридной селекции, очень узкое и сводится к линиям, полученным из 5–6 сортов мировой селекции (Iowa Dent, Lancaster, Stiff Stalk Synthetic, Lacon и др.) (Shcherbak et al., 1983), а у раннеспелых форм еще уже из-за использования малого числа доноров признака раннеспелости. Поэтому поиск новых источников генетической плазмы, не родственной традиционным линиям мировой селекции, актуален для избегания возможных эпифитотий, имевших место в мировой практике, связанных с поражением южными гельминтоспориозом кукурузы (*Helminthosporium maydis* Y. Nisik. & C. Miyake.)

на Т-типе ЦМС в середине 70-х годов прошлого века (Agrios, 2004). Актуальность этой проблемы возрастает с учетом динамики глобального потепления климата, что существенно усиливает потребность в раннеспелых сортах и гибридах кукурузы при продвижении посевов севернее 50-й параллели северной широты, обеспечения локальными кормовыми ресурсами отрасли животноводства и птицеводства в этих регионах.

Целью исследования было улучшение родительских форм кукурузы с использованием донора ультрараннеспелости 'Белоярое Пшено' для гибридной селекции.

Материалы и методы

Опыты проводили в период с 2021 по 2024 г. в агроклиматических условиях степной зоны Кабардино-Балкарской Республики, на территории селекционно-семеноводческого участка ССЦ «ОТБОР» (г. Прохладный). Почва участка представлена среднесуглинистым карбонатным черноземом. По механическому составу – тяжелосуглинистая, малогумусная. Содержание гумуса низкое – 3%. Содержание азота (NO_3) среднее – 13,2 мг/кг; подвижного фосфора (P_2O_5) повышенное – 33 мг/кг; обменного калия (K_2O) среднее – 220 мг/кг. Кислотность почв близка к нейтральному значению – 7,4. В качестве источника раннеспелости использовали сорт кукурузы 'Белоярое Пшено' (к-5240, Южный Урал), характеризующийся как ультрараннеспелый образец (ФАО 130). Классификация ФАО (Jugenheimer, 1979; Kukekov, 1977) используется для определения спелости гибридов кукурузы, где индекс ФАО указывает на суммарное количество тепла, необходимое для полного созревания. Чем ниже значение ФАО, тем раньше культура достигает спелости. Улучшаемыми линиями по признаку раннеспелости служили инбредные линии селекции ССЦ «ОТБОР», используемые как закрепители стерильности М- и С-типов ЦМС. Всего было использовано 10 инбредных линий, относящихся к среднепоздней группе спелости по классификации ФАО: А 679 зМ, ОЛ 161 зС МВ, ИКВ 98 зС, Рf 7 зС, РД 4202 зС, РН 53 зС, ОЛ 3104 зМ, ОЛ 3407 зМ, Р 346 зМ, Кр 643 зМ.

Для совмещения сроков цветения инбредных линий и источника ультраскороспелости сорта кукурузы 'Белоярое Пшено' (к-5240) в 2021 и 2022 г. посев проводили в разные сроки. Сроки посева сорта 'Белоярое Пшено' осуществляли с интервалом в 7–10 дней с первой декады мая до первой декады июля. Посев 10 улучшаемых инбредных линий – закрепителей ЦМС – провели в один срок в первой декаде мая. В гибридных комбинациях и их беккрассах источником пыльцы (σ) являлся сорт кукурузы 'Белоярое Пшено', а материнскими формами (ϕ) – инбредные линии – закрепители ЦМС. После получения ВС₁ подсевы сорта кукурузы 'Белоярое Пшено' к инбредным линиям и насыщения на гибрид не проводили. В дальнейших исследованиях в качестве исходного селекционного материала для выделения раннеспелых линий использовали потомство расщепляющейся популяции S_1BC_1 , представленной 250 образцами.

В качестве контрольной группы использованы районированные раннеспелые и ультрараннеспелые гибриды отечественной селекции, внесенные в Госреестр селекционных достижений РФ и допущенные к использованию (<https://gossortrf.ru/publication/reestry.php>): 'Кубанский 102МВ', 'Кубанский 103МВ', 'Кубанская 101СВ', 'Обский 150СВ', 'Одиссей 230СВ', 'Кубанский 390МВ' селекции ООО «КОС МАИС».

Посев, гибридизацию, самоопыление и уборку урожая проводили вручную. Схема посева гибридов и бек-кроссов – 70 × 35 см, широкояровая, площадь делянки – 4,9 м², повторность двукратная, рандомизированная, 15-луночная, по 2 зерна в лунку. В течение вегетации проводили агротехнические мероприятия согласно технологической карте по возделыванию кукурузы (Guide-

(Khatefov, Matveeva, 2018) с модификацией, в двукратной повторности.

Рост и развитие растений кукурузы проходили при недостатке естественных осадков, повышенной норме среднесуточных температур и солнечной инсоляции в фазу цветения и налива зерна (табл. 1), что не мешало формированию полноценного урожая зерна.

Таблица 1. Количество осадков за сезон в 2021–2024 гг., мм

(по данным метеопункта ССЦ «Отбор», КБР, с. Комсомольское)

Table 1. Amount of precipitation per season in 2021–2024, mm

(according to the meteorological station of OTBOR Ltd., village of Komsomolskoye, Kabardino-Balkaria)

Месяцы / Months	Декады / 10-day periods	2021	2022	2023	2024	Среднее многолетнее / Long-term mean
Май / May	I	3,1	45,7	15,3	23,9	22,0
	II	3,3	6,8	11,1	19,9	10,2
	III	71,7	11,5	2,4	0	21,4
	Всего	78,1	64	28,8	43,8	53,6
Июнь / June	I	58,5	42	27,5	2,3	32,5
	II	40	0	112,7	4,3	39,2
	III	78,7	24,6	15,2	8,4	31,7
	Всего	177	66,6	155,4	15,0	103,5
Июль / July	I	9,3	0	49,9	0	14,8
	II	9,6	0	10,1	0	4,9
	III	32,8	17,6	52	2,7	26,2
	Всего	51,7	17,6	112	2,7	46,0
Август / August	I	7,8	13,6	17,4	25,2	16,0
	II	13,9	0	0	0,8	3,6
	III	5,5	0	0	2,9	2,1
	Всего	27,2	13,6	17,4	28,9	21,7
	II	4,5	15,8	14,3	2	9,1
	III	3,5	1,2	1,8	2,6	2,2
	Всего	12,1	27,7	27,1	10,0	19,2
Всего за год / Total per year		612,0	369,3	534,3	270,0	446,4

lines for conducting..., 1980). Статическую обработку данных проводили по Б. А. Доспехову (Dospikhov, 2011) при помощи пакета программ Statistica 10.0 (<https://1soft.space/en/statsoft-statistica>). Фенологические наблюдения и учет урожая зерна проводили по методике ВИР (Shmagaev, Matveeva, 1985). Описание биометрических показателей приведены согласно «Широкому унифицированному классификатору СЭВ вида *Zea mays* L.» (Kukekov, 1977). Уборочную влажность зерна определяли с помощью влагомера «ФАУНА-М».

Тест на холодостойкость проростков (S_1BC_1) проводили в 2023/2024 г. в отделе генетических ресурсов крупных культур ВИР согласно методическим указаниям ВИР

Результаты

В 2022 г. была проведена работа по получению гибрида между раннеспелым сортом 'Белоярое Пшено' и инбредными линиями кукурузы – закрепителями М- и С-типов ЦМС. Гибридизация проходила в условиях обильного цветения метелок сорта 'Белоярое Пшено' и максимального выхода рылец материнских форм из оберток початка. Все гибридные зерновки после созревания характеризовались вишнево-красной окраской зерновок F_1 , полученной как доминантный признак от отцовской формы (рис. 1). В контрольном варианте посева без смещения сроков сорт 'Белоярое Пшено' вступил в фазу цве-



Рис. 1. Початки кукурузы сорта 'Белоярое Пшено' (слева) и его гибрида F_1 с инбредной желтозерной линией Rf 7 зС (справа)

Fig. 1. Maize ears of cv. 'Beloyaroye Psheno' (left) and its F_1 hybrid with the inbred yellow-grained line Rf 7 zC (right)

тения в период с 25 июня по 2 июля. Инбредные линии зацвели позже, и фазы цветения продолжались у разных линий от 13 июля (OL 161 зС МВ) по 27 июля (А 679 зМ, Кр 643 зМ).

Беккроссирование гибридов F_1 на сорт кукурузы 'Белоярое Пшено' в 2023 г. проводили при совмещении сроков цветения уже с меньшим разрывом. Все гибридные растения показали смещение сроков вступления в фазу цветения раньше исходной улучшаемой линии на 5–8 суток. Сорт кукурузы 'Белоярое Пшено' характеризовался низкой высотой стебля (40–60 см) и малым размером початка (6–10 см), ломкостью и полеганием стебля. Все гибриды имели среднюю устойчивость к полеганию, кроме гибрида на линию ИКВ 98 зС, показавшего 100-процентное полегание. Такой результат показывает, что использование сорта 'Белоярое Пшено' в гибридной селекции как материнской формы неэффективно

из-за неустойчивости к полеганию в комбинации с изученными инбредными линиями. Поэтому сорт кукурузы 'Белоярое Пшено' может служить донором раннеспелости для улучшения этих линий только в качестве отцовской формы. Все гибридные комбинации успешно прошли этап беккроссирования и завязали достаточное число гибридных зерен на початке для дальнейшей селекции.

В 2023 г. полученные BC_1 были самоопылены и стали основой для дальнейшей селекции признака раннеспелости и других хозяйственно ценных признаков в инбредных линиях – закрепителях ЦМС, что при этом позволило сократить сроки спелости инбредизируемого материала от среднепозднего до ультрараннего и раннего по классификации ФАО (Kukekov, 1977). Разрыв в цветении с исходными материнскими формами приведен в таблице 2.

Таблица 2. Динамика смещения продолжительности фенофазы «всходы – цветение метелки» у BC_1 -тестеров при насыщении на сорт 'Белоярое Пшено' (г. Прохладный, 2023 г.)

Table 2. Dynamics of the changes in the duration of the phenophase from sprouting to panicle flowering in BC_1 testers from saturating crosses between cv. 'Beloyaroye Psheno' and maternal lines (town of Prokhladny, 2023)

Наименование материнской линии / Name of the maternal line	Среднее значение признака «всходы – цветение метелки» в эксперименте, дни / Mean value of the period from sprouting to panicle flowering in the experiment, days		Динамика / Dynamics	
	до / before	после / after	Сутки / Days	C_p , %
OL 161 зС МВ	62	49	13	1,30
РД 4202 зС	59	48	11	1,50
ИКВ 98 зС	64	48	16	1.68
РН 53 зС	64	49	15	1.50
OL 3104 зМ	62	51	11	1.44
OL 3407 зМ	65	49	16	2,00
Rf 7 зС	65	52	13	1,88
Р 346 зМ	56	52	4	1,20
А 679 зМ	67	60	7	1,33
Кр 643 зМ	67	53	14	1,71

Результат анализа динамики смещения продолжительности фенофазы «всходы – цветение метелки» у BC_1 -тестеров на сорт 'Белоярое Пшено' по U-критерию Манна – Уитни оказался равен 2, а критическое значение U-критерия Манна – Уитни при заданной численности сравниваемых групп составило 23. Следовательно, при $2 \leq 23$ различия уровня признака в сравниваемых группах статистически значимы ($p < 0,05$).

Наиболее значимое сокращение продолжительности периода между наступлением фазы цветения метелки и датой посева показали потомства беккроссов линий ИКВ 98 зС, РН 53 зС, ОЛ 3407 зМ, Кр 643 зМ, а наименьшее – линий Р 346 зМ и А 679 зМ. Следует отметить, что наравне со смещением сроков цветения в более раннюю группу спелости в самоопыленном потомстве S_1BC_1 впервые выщепились початки с ярко-красными и желтыми зерновками (рис. 2).

Для выявления в исходном селекционном материале источников и доноров холодостойкости, переданных от

сорта кукурузы 'Белоярое Пшено' инбредным линиям – закрепителям ЦМС, проведено дополнительное лабораторное исследование по определению холодостойкости линий при воздействии на проростки кукурузы, находящейся в фазе трех настоящих листьев, кратковременного положительного температурного стресса. Результаты показали различную устойчивость проростков кукурузы к пониженному температурному воздействию в течение 12 ч (табл. 3).

Анализ выживаемости проростков кукурузы после воздействия пониженными температурами от 0 до +4°C в течение 12 ч показал, что значение U-критерия Манна – Уитни близко к 0, а критическое значение U-критерия Манна – Уитни при заданной численности сравниваемых групп составляет 30. Если $0 \leq 30$, то различия уровня признака в сравниваемых группах статистически значимы ($p < 0,05$). Выделено 5 линий, которые по холодостойкости были равны или выше стандартных гибридов: РД 4202 зС × Белоярое Пшено-17, РД 4202 зС × Белоярое



Рис. 2. Початки BC_1 (слева) и S_1BC_1 (справа) с красной и желтой окраской зерна
Fig. 2. Experimental ears of BC_1 (left) and S_1BC_1 (right) with red and yellow grain color

Таблица 3. Выживаемость проростков кукурузы после воздействия пониженными температурами от 0 до +4°C в течение 12 ч, 2023/2024 г.

Table 3. Survivability of maize sprouts after exposure to low temperatures from 0 to +4°C for 12 hours, 2023/2024

Гибрид / Hybrid	Число живых проростков / Number of live sprouts	
	до обработки / before the exposure	после обработки / after the exposure
'Кубанский 102МВ' (контроль)	99,0	47,7
'Кубанский 103МВ' (контроль)	97,2	49,4
'Кубанская 101СВ' (контроль)	97,0	55,8
'Обский 150СВ' (контроль)	99,3	50,1
'Одиссей 230СВ' (контроль)	100	50,5
'Кубанский 390МВ' (контроль)	100	43,3
РД 4202 зС × Белоярое Пшено-17*	98,1	46,7
РД 4202 зС × Белоярое Пшено-35*	100	48,4
РН 53 зС × Белоярое Пшено-7*	100	57,2
Р 346 зМ × Белоярое Пшено-11*	98,5	61,2
А 679 зМ × Белоярое Пшено-26*	100	47,0

Примечание: * – цифра в конце гибридной комбинации обозначает селекционный номер линии

Note: * – the number in the end of the hybrid combination means the breeding number of the line

Пшено-35, А 679 зМ × Белоярое Пшено-26, РН 53 зС × Белоярое Пшено-7, Р 346 зМ × Белоярое Пшено-11 (см. табл. 3).

Среди потомства S_1BC_1 выделены образцы с дифференцированной устойчивостью к пониженным температурам. Но среди этих образцов выщепились единичные проростки с устойчивостью к пониженным температурам, отрастая на 15-е сутки после гибели надземной части проростка, у линий: Р 346 зМ-15; РН-53 зС-2. Выщепление в потомстве S_2BC_1 таких единичных генотипов свидетельствует о необходимости продолжения инбридинга и выделении полностью устойчивых линий к воздействию пониженных температур в сочетании с признаком раннеспелости и ультрараннеспелости (рис. 3). Уже пер-

вые исследования в этом направлении показали перспективность использования сорта 'Белоярое Пшено' в качестве донора раннеспелости и холодостойкости одновременно.

Всего по опыту 2024 г. удалось выделить 7 ультра-ранних, 58 ранних и 3 среднеранние линии. Все выделенные линии в течении вегетации были инкутированы для получения S_2BC_1 -репродукции, чтобы провести очередную цикл инбридирования и отбора (табл. 4). Из 68 выделенных линий, показавших положительную динамику в смещении спелости в сторону более ранней группы (рис. 4), 40 линий показали слабую и среднюю полегаеть при созревании початка. Все исходные материнские формы – закрепители стерильности, за ис-

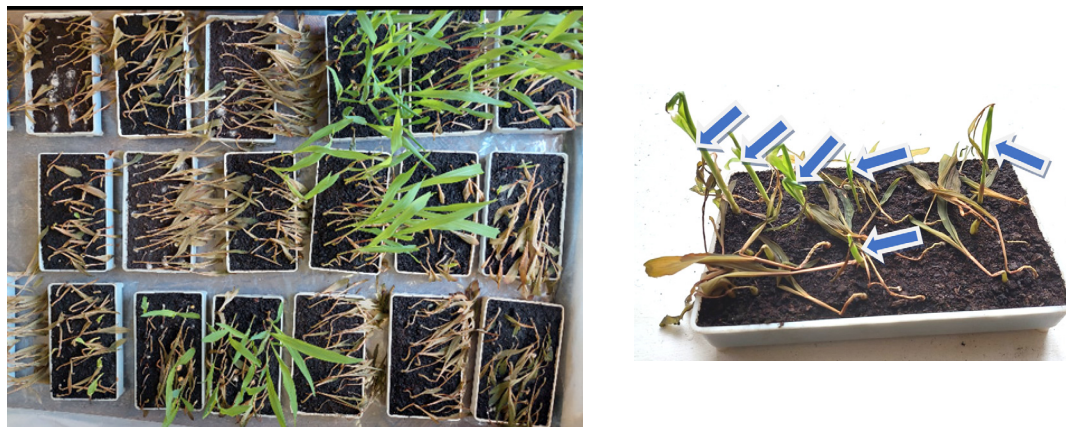


Рис. 3. Реакция проростков кукурузы на 7-е сутки после воздействия пониженной температурой (слева) и отрастание отдельных проростков кукурузы, устойчивых к пониженной температуре на фоне погибших, на 15-е сутки (справа)

Fig. 3. Reaction of maize sprouts on the 7th day after the exposure to low temperature (left) and regrowth of individual maize sprouts resistant to low temperature versus those that died on the 15th day (right)

Таблица 4. Динамика сроков цветения метелки и початка линий S_1BC_1 кукурузы с насыщением на сорт 'Белоярое Пшено', 2024 г.

Table 4. Dynamics of the panicle and ear flowering schedule in S_1BC_1 of maize lines from saturating crosses with cv. 'Beloyaroye Psheno', 2024

Наименование материнской линии / Name of the maternal line	Группа спелости материнской линии по ФАО / FAO maturity group of the maternal line	Число материнских линий, улучшенных по группе спелости ФАО / Number of maternal lines improved in terms of their FAO maturity group		
		ФАО 100-150 / FAO 100-150	ФАО 151-160 / FAO 151-160	ФАО 201-300 / FAO 201-300
ОЛ 161 зС МВ	170	1	5	–
РД 4202 зС	170	1	10	–
ИКВ 98 зС	180	3	3	–
РН 53 зС	200	1	12	–
ОЛ 3104 зМ	250	–	3	–
ОЛ 3407 зМ	250	1	11	–
Р 346 зМ	300	–	5	–
А 679 зМ	400	–	–	1
Кр 643 зМ	380	–	6	1
Рф 7 зС	550	–	3	1
Всего	–	7	58	3



Рис. 4. Раннее цветение беккроссов S_1BC_1 с участием сорта 'Белоярое Пшено' на фоне исходных материнских (контроль) инбредных линий

Fig. 4. Early flowering of S_1BC_1 backcrosses with the participation of cv. 'Beloyaroye Psheno' versus the original maternal (control) inbred lines

ключением линии ИКВ 98 зС, характеризовались высокой устойчивостью к полеганию и перестоя на корню после созревания. Сорт 'Белоярое Пшено' был неустойчив к полеганию и перестоя на корню после созревания и передал этот признак полученным беккроссам. Проведенный инцухт BC_1 позволил индуцировать расщепление в потомстве S_2BC_1 и выделить отдельные устойчивые к полеганию линии. Наибольшую устойчивость к полеганию в беккроссах с сортом 'Белоярое Пшено' показала линия Р 346 зМ. Все линии, полученные с участием материнской формы ИКВ 98 зС и сортом 'Белоярое Пшено', характеризовались 100-процентным полеганием растений.

Анализ продолжительности вегетационного периода линий S_1BC_1 кукурузы, высеянных рядом с исходными материнскими растениями, показал существенное смещение сроков цветения початка и метелки. Наблюдалось смещение группы спелости выщепившихся линий из среднепоздней в раннюю и ультрараннюю группы спелости по классификации ФАО (см. рис. 4). Важно отметить, что наравне с передачей признака раннеспелости сорт 'Белоярое Пшено' передает и отрицательные для кукурузы признаки, такие как полегание растений после созревания, низкую высоту растения и прикрепления початка. В процессе селекционного отбора, направленного на удаление из расщепляющегося потомства нежелательных признаков, передаваемых улучшаемым линиям, селекционер может сохранить признак раннеспелости, не нарушив остальные качественные признаки улучшаемой линии.

Заключение

Использование в скрещиваниях сорта 'Белоярое Пшено' в качестве источника признака раннеспелости для смещения в сторону более ранней группы спелости у среднепоздних линий кукурузы оказалось эффективным. В результате насыщающих скрещиваний и инбридинга удалось выделить 7 ультрараннеспелых (ФАО 100–150), 58 раннеспелых (ФАО 151–160) и 3 среднеранних (ФАО 201–300) линии. Анализ показал, что у улучшаемых линий, наравне с приобретением признака раннеспелости, от донора передаются другие ценные в хозяйственном отношении признаки. Признак холодостойкости, переданный от сорта 'Белоярое Пшено', прослеживается у 5 линий, выделенных на этапе S_1BC_1 . Присутствие сре-

ди средне- и слабоустойчивых к холоду отдельных растений с выраженной устойчивостью к стрессу показывает, что в расщепляющемся потомстве S_2BC_1 можно выделить дополнительно холодостойкие линии, несмотря на гибель большей части проростков. Наравне с полезными признаками, сорт кукурузы 'Белоярое Пшено' передал некоторым линиям признак полегания растений на корню после созревания зерна. Высокой степенью устойчивости к полеганию характеризовались линии из семей Р 346 зМ и РН 53 зС, а 100-процентной полегаемостью характеризовались линии А 679 зМ и ИКВ 98 зС. В процессе селекционного отбора и последующих сестринских (сбсов) скрещиваний в S_2BC_1 с устойчивыми растениями в пределах семьи можно получить раннеспелые линии с высокой устойчивостью к полеганию.

Коллекция раннеспелых линий кукурузы, выделенная из популяции S_1BC_1 с участием сорта 'Белоярое Пшено', будет использована для расширения полиморфизма исходного селекционного материала и создания раннеспелых гибридов кукурузы, адаптированных к агроклиматическим условиям северных регионов степной зоны Северо-Кавказского федерального округа России до 55° северной широты, и увеличения кормовой базы для развития животноводства и птицеводства. Использование сорта 'Белоярое Пшено' как донора признака раннеспелости кукурузы способствует эффективному сокращению продолжительности вегетационного периода у среднепоздних линий кукурузы в сторону ранних и ультраранних групп спелости.

References / Литература

- Agrios G.N. Diseases of corn. In: G.N. Agrios. *Plant Pathology*. 5th ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press; 2004. p.466–468.
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (*Metodika polevogo opyta [s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy]*). 6th ed. Moscow: Alyans; 2011. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд. Москва: Альянс; 2011).
- Guidelines for conducting field experiments with maize (*Metodicheskiye rekomendatsii po provedeniyu polevykh opytov s kukuruzoy*). Dnepropetrovsk: All-Union Research Institute of Maize; 1980. [in Russian] (Методические реко-

- мендации по проведению полевых опытов с кукурузой. Днепропетровск: ВНИИ кукурузы; 1980).
- Gulnyashkin A.V., Anashenkov S.S., Varlamov D.V. Selection of maize hybrids adapted to dry conditions of the south of Russia. *Grain Economy of Russia*. 2013;(4):7-11. [in Russian] (Гульняшкин А.В., Анашенков С.С., Варламов Д.В. Селекция гибридов кукурузы, адаптированных к засушливым условиям юга России. *Зерновое хозяйство России*. 2013;(4):7-11).
- Guryev B.P., Guryeva I.A. Maize breeding for earliness (Seleksiya kukuruzy na rannespelost). Moscow: Agropromizdat; 1988. [in Russian] (Гурьев Б.П., Гурьева И.А. Селекция кукурузы на раннеспелость. Москва: Агропромиздат; 1988).
- Jugenheimer R.W. Corn: improvement, seed production, and uses / transl. from English by G.V. Deryagin, N.A. Emelyanov; G.E. Shmaraev (ed.). Moscow: Kolos; 1979. [in Russian] (Югенхеймер Р.У. Кукуруза: улучшение сортов, производство семян, использование / пер. с англ. Г.В. Дерягина, Н.А. Емельяновой; под ред. Г.Е. Шмараева. Москва: Колос; 1979).
- Khatefov E.B., Matveeva G.V. Evaluation of maize accessions for cold resistance (guidelines). St. Petersburg: VIR; 2018. [in Russian] (Хатефов Э.Б., Матвеева Г.В. Оценка образцов кукурузы на устойчивость к холоду (методические указания). Санкт-Петербург: ВИР; 2018). DOI: 10.30901/978-5-905954-83-2
- Khoroshilov S.A., Netsvetaev V.P., Voronin A.N. Hereditary differences in maize hybrids with reduced conditional grain moisture (Nasledstvennye razlichiya gibridov kukuruzy s ponizhennoy uslovnoy vlazhnostyu zerna). *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2006;(9):19-20. [in Russian] (Хорошилов С.А., Невцветаев В.П., Воронин А.Н. Наследственные различия гибридов кукурузы с пониженной условной влажностью зерна. *Достижения науки и техники АПК*. 2006;(9):19-20).
- Kravtsov V.I., Shimansky L.P. Study of maize initial material on intensity of grain water-yielding capacity during the pre-harvest period. *Arable Farming and Plant Breeding in Belarus*. 2020;(56):352-360. [in Russian] (Кравцов В.И., Шиманский Л.П. Изучение исходного материала кукурузы по интенсивности влагоотдачи зерна в предуборочный период. *Земледелие и селекция в Беларуси*. 2020;(56): 352-360).
- Krivoshchev G.Ya., Ignatiev A.S., Shevchenko N.A. Selection of early ripe corn hybrids of universal use. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023;23(10):49-57. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-10-49-57
- Kukekov V.G. (comp.). Broad unified COMECON list of descriptors and international COMECON list of descriptors for sp. *Zea mays* L. Leningrad: VIR; 1977. [in Russian] (Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ видов *Zea mays* L. / сост. В.Г. Кукеков. Ленинград: ВИР; 1977).
- Loginova A.M., Gubin S.V., Getz G.V. Studying the corn hybrids of different ripeness groups in the southern forest-steppe of Omsk region. *Agro-Industrial Complex of Russia*. 2021;28(3):326-331. [in Russian] (Логонова А.М., Губин С.В., Гетц Г.В. Изучение гибридов кукурузы разных групп спелости в условиях южной лесостепи Омской области. *АПК России*. 2021;28(3):326-331).
- Orlyanskaya N.A., Orlyansky N.A., Chebotarev D.S. Comparative indexing of early-maturing corn hybrids in multi-environment trial. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(4):581-591. [in Russian] (Орлянская Н.А., Орлянский Н.А., Чеботарев Д.С. Сравнительная индексация раннеспелых гибридов кукурузы в экологическом испытании. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(4):581-591). DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.4.581-591
- Orlyansky N.A., Zubko D.G., Orlyanskaya N.A. Achievements and prospects of corn selective breeding with a view to earliness of ripening. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2013;2(37):107-111. [in Russian] (Орлянский Н.А., Зубко Д.Г., Орлянская Н.А. Селекция кукурузы на раннеспелость – достижения и перспективы. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2013;2(37):107-111).
- Panfilov A.E., Ovchinnikov P.Yu. Grain productivity of corn (*Zea mays* L.) in the Ural region as a function of the precocity of hybrids. *Agro-Industrial Complex of Russia*. 2023;30(2):170-180. [in Russian] (Панфилов А.Е., Овчинников П.Ю. Зерновая продуктивность кукурузы (*Zea mays* L.) в Уральском регионе как функция скороспелости гибридов. *АПК России*. 2023;30(2):170-180). DOI: 10.55934/2587-8824-2023-30-2-170-180
- Panfilov A.E., Shepelev S.D., Vysotsky N.Yu. Dependence of quantitative and qualitative parameters of corn productivity on the duration of the growing season of hybrids in the forest-steppe of the Trans-Urals. *Agro-Industrial Complex of Russia*. 2021;28(3):337-344. [in Russian] (Панфилов А.Е., Шепелев С.Д., Высоцкий Н.Ю. Зависимость количественных и качественных показателей урожайности кукурузы от продолжительности вегетации гибридов в лесостепи Зауралья. *АПК России*. 2021;28(3):337-344).
- Panfilov A.E., Zezin N.N., Kazakova N.I., Namyatov M.A. Adaptive approach in maize breeding for the Urals region. *International Journal of Biology and Biomedical Engineering*. 2020;(14):55-62. DOI: 10.46300/91011.2020.14.9
- Shcherbak V.S., Zabirowa E.R., Khudaikulov A.B. Use of exotic races from Latin America in maize breeding (Ispolzovaniye v selektsii kukuruzy ekzoticheskikh ras iz Latinskoy Ameriki). *Agricultural Biology*. 1983;18(1):84-89. [in Russian] (Щербак В.С. Забиrowa Э.Р., Худайкулов А.Б. Использование в селекции кукурузы экзотических рас из Латинской Америки. *Сельскохозяйственная биология*. 1983;18(1): 84-89).
- Shmaraev G.E., Matveeva G.V. Study and maintenance of the maize collection accessions. Guidelines (Izucheniye i podderzhaniye obraztsov kollektzii kukuruzy. Metodicheskiye ukazaniya). Leningrad: VIR; 1985. [in Russian] (Шмараев Г.Е., Матвеева Г.В. Изучение и поддержание образцов коллекции кукурузы. Методические указания. Ленинград: ВИР; 1985).
- Sotchenko V.S. Maize breeding, seed production, and cultivation technology (Seleksiya, semenovodstvo, tekhnologiya vozdeleyvaniya kukuruzy). Pyatigorsk; 2009. [in Russian] (Сотченко В.С. Селекция, семеноводство, технология возделывания кукурузы. Пятигорск; 2009).
- State register of varieties and hybrids of agricultural plants admitted for usage: [website]. [in Russian] (Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию: [сайт]. URL: <https://gossortrf.ru/publication/reestry.php> [дата обращения: 01.04.2025]).
- StatSoft Russia: [website]. Available from: <https://1soft.space/en/statsoft-statistica> [accessed Jul. 11, 2023].

Информация об авторах

Тимофей Витальевич Волощенко, научный сотрудник, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, 394087 Россия, Воронеж, ул. Мичурина, 1, TheDrof3cool@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9208-2635>

Антон Дмитриевич Уткин, лаборант-исследователь, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, Acipenser2018samara@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0003-0514-2075>

Эдуард Балилович Хатефов, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, haed1967@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5713-2328>

Information about the authors

Timofey V. Voloshchenko, Researcher, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1 Michurina St., Voronezh 394087, Russia, <https://orcid.org/0009-0008-9208-2635>

Anton D. Utkin, Laboratory Research Assistant, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, Acipenser2018samara@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0003-0514-2075>

Eduard B. Khatefov, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, haed1967@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5713-2328>

Вклад авторов: Волощенко Т. С. – проведение, анализ и интерпретация результатов полевых исследований. Уткин А. Д. – проведение, анализ и интерпретация результатов лабораторных исследований. Хатефов Э. Б. – обобщение научного материала; статистический анализ; написание статьи.

Contribution of the authors: Voloshchenko T. S. – field studies; analysis and interpretation of their results. Utkin A. D. – laboratory studies; analysis and interpretation of their results. Khatefov E. B. – generalization of scientific material; statistical analysis; writing of the article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 24.03.2025; одобрена после рецензирования 13.08.2025; принята к публикации 01.09.2025
The article was submitted on 24.03.2025; approved after reviewing on 13.08.2025; accepted for publication on 01.09.2025.