

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 631.527.8+631.524.82

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-27-37



Использование вида *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. для расширения генетического разнообразия яровой мягкой пшеницы

А. Е. Дружин, С. Н. Сибикеев, Л. В. Андреева

Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Саратов, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Евгеньевич Дружин, alex_druzhin@mail.ru

Актуальность. Вид *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. имеет ряд положительных признаков (качеств), но редко используется в селекционных программах по улучшению сортов мягкой пшеницы. Интрогрессия генетического материала от этого вида в генофонд *Triticum aestivum* L. не только позволит расширить генетическое разнообразие мягкой пшеницы по ряду признаков, но и поможет изучить экспрессию генов от *T. petropavlovskyi* в новой генетической среде.

Материалы и методы. Объектом изучения были линии яровой мягкой пшеницы Л163, Л164, созданные с участием сорта яровой мягкой пшеницы 'Воевода' и образца вида *T. petropavlovskyi*. Исследования включали фенологические, фитопатологические, генетические и технологические оценки, которые проводили по общепринятым методикам.

Результаты. Линии яровой мягкой пшеницы Л163, Л164 были изучены по морфологическим, фенологическим параметрам, устойчивости к патогенам, продуктивности и качеству зерна. Установлены различия по ряду признаков между линиями и сортом-реципиентом. Выделена линия Л163, которая отличается устойчивостью к возбудителям листовой ржавчины, мучнистой росы, толерантна к злаковой тле, сочетает высокую продуктивность с повышенным по сравнению с сортом-реципиентом содержанием белка в зерне и имеет хорошие реологические свойства теста.

Заключение. Комбинация генетического материала от *T. petropavlovskyi* и яровой мягкой пшеницы сорта 'Воевода' позволила создать линии, имеющие ряд положительных характеристик. Выделенная линия Л163, сочетающая в себе эффективную устойчивость к ряду заболеваний, продуктивность зерна и качество получаемой продукции, была включена в селекционный процесс.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., пшеница Петропавловского, интрогрессия генов, устойчивость к болезням, хозяйственно полезные признаки

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 123011900038-8 «Создание и совершенствование системы видов и сортов (гибридов) сельскохозяйственных культур, адаптивных к абиострессорам и устойчивых к основным патогенам, сочетающих высокую потенциальную продуктивность с качеством урожая, с целью снижения экономических рисков в растениеводстве и повышения биоразнообразия в регионе».

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

Для цитирования: Дружин А.Е., Сибикеев С.Н., Андреева Л.В. Использование вида *Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch. для расширения генетического разнообразия яровой мягкой пшеницы. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):27-37. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-27-37

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-27-37

The use of the species *Triticum petropavlovskiyi* Udacz. et Migusch. to expand the genetic diversity of spring bread wheat

Alexander E. Druzhin, Sergey N. Sibikeev, Lubov V. Andreeva

Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, Saratov, Russia

Corresponding author: Alexander E. Druzhin, alex_druzhin@mail.ru

Background. The species *Triticum petropavlovskiyi* Udacz. et Migusch. has a number of positive traits, but has rarely been used in breeding programs to improve bread wheat cultivars. The introgression of genetic material from this species into the *Triticum aestivum* L. gene pool will not only expand the genetic diversity of bread wheat with a set of traits valuable for breeders, but also help to analyze the expression of genes from *T. petropavlovskiyi* in a new genetic environment.

Materials and methods. Spring bread wheat lines L163 and L164 produced with the participation of bread wheat cv. 'Voevoda' and an accession of *T. petropavlovskiyi* were target materials of the study. Conventional methods were applied to perform phenological, phytopathological, genetic, and bread quality evaluations. Statistical processing of the resulting data was carried out using the Agros-2.10 software.

Results. L163 and L164 were studied for their morphological and phenological indicators, resistance to pathogens, productivity, and grain quality. Differences in a number of traits between the lines and the recipient cultivar were observed. The introgression of the *T. petropavlovskiyi* genetic material into bread wheat showed both positive and negative effects on some agronomic characteristics. L163 was identified for its resistance to the pathogens of leaf rust and powdery mildew, and tolerance to cereal aphids. It combined high productivity with an increased grain protein content compared to the recipient cultivar. In addition, this line demonstrated good rheological properties of its dough.

Conclusion. Merging genetic materials from *T. petropavlovskiyi* and bread wheat cv. 'Voevoda' made it possible to produce lines with a set of positive characteristics. The selected line, L163, combined effective resistance to a number of diseases, high grain productivity, and good breadmaking qualities, so it was included in the breeding process.

Keywords: *Triticum aestivum* L., *Triticum petropavlovskiyi* Udacz. et Migusch., gene introgression, disease resistance, useful agronomic traits

Acknowledgements: the work was carried out within the framework of the state task, Project No. 123011900038-8 "Development and improvement of the system of crop species and cultivars (hybrids) adaptive to abiostressors and resistant to major pathogens, combining high potential productivity with harvest quality, in order to reduce economic risks in crop production and increase biodiversity in the region".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Druzhin A.E., Sibikeev S.N., Andreeva L.V. The use of the species *Triticum petropavlovskiyi* Udacz. et Migusch. to expand the genetic diversity of spring bread wheat. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):27-37. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-27-37

Введение

Пшеница Петропавловского (*Triticum petropavlovskyi* Udacz. et Migusch.) (геном BBA^aA^aDD, 2n = 42), названная в честь Михаила Федоровича Петропавловского, соратника Н. И. Вавилова, известна как синьзянская рисовая пшеница; она представляет собой уникальный китайский эндемичный вид пшеницы. Экотип приспособлен к выращиванию на орошении в условиях знойного и сухого климата. В нашу страну этот вид из Китая впервые был ввезен А. М. Горским в 1957 г. (Yakubtsiner, 1959) и на данный момент является малоизученным видом (Efremova et al., 2000).

Работа по комплексному изучению хозяйственно-биологических особенностей *T. petropavlovskyi* проводилась в 1990-е годы во Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова кандидатом сельскохозяйственных наук Е. В. Зуевым. Он изучал комбинативную способность вида при межвидовых скрещиваниях и выделил перспективные для селекции образцы и гибридные семьи. Установлено, что этот вид практически не скрещивается с тетраплоидными (A^bG) видами пшеницы (*T. araraticum* Jakubz.); при скрещивании с тетраплоидными видами, несущими геном A^bB (*T. dicoccum* Schrank ex Schübl., *T. dicoccoides* (Körn. ex Asch. & Graebn.) Schweinf.), завязываемость гибридных зерен колебалась от 16,2 до 72,2%. При скрещивании этого вида с гексаплоидными видами, несущими геном BBA^aA^aDD (*T. vavilovii* (Thum.) Jakubz., *T. aestivum* L.), процент завязываемости колебался от 37,0 до 95,3%. Отмечено, что растения этого вида довольно высокорослые (до 150 см), колос остистый, грубый, рыхлый. Тип развития яровой, среднепозднеспелый, но растения хорошо перезимовывают в условиях Средней Азии. В основном представители этого вида слабозасухоустойчивы, но отличаются высокой жаростойкостью и солеустойчивостью, обладают сильной фотопериодической чувствительностью, имеют повышенную эффективность фотосинтетической активности колоса за счет длинных колосковых чешуй. У этого вида выявлен ген красного хлорофаза *Chl1* (Zuev, 1992).

Исследования по морфологии и цитогенетике показали, что вид *T. petropavlovskyi*, вероятно, произошел от естественного скрещивания *T. aestivum* и *T. polonicum* L. (Chen et al., 2016). Одной из отличительных особенностей вида *T. petropavlovskyi* является наличие удлинённых колосковых чешуй; этот признак контролируется геном *P1pet*, расположенным на хромосоме 7A (Wang et al., 2002). Установлено, что этот ген *T. petropavlovskyi* получил от тетраплоидной польской пшеницы (*T. polonicum*) (Masum Akond et al., 2008; Chen et al., 2016). Ген *P1pet* оказывает плейотропный эффект в виде увеличения длины колоса, длины зерновки и массы 1000 зерен, а также снижения фертильности, числа зерен в колосе и длины остей (Okamoto et al., 2013), что указывает на плейотропное влияние *P1pet* на признаки, связанные с урожайностью зерна.

Сравнительный генетический анализ образцов видов *T. petropavlovskyi* и *T. aestivum* выявил, что как минимум 13 генов, определяющих морфологические и физиологические признаки у пшеницы Петропавловского, являются аллельными соответствующим генам мягкой пшеницы, отвечают за те же признаки и локализованы в тех же хромосомах. В частности, это гены, контролирующие следующие признаки: *Hg1* – опушение колосковой чешуи (хромосома 1A) (Luo et al., 2022); *Rg1* – красную окраску

колосковой чешуи (хромосома 1B); *Pa* – наличие опушения на ушках листового влагалища (хромосома 4B); *H1* – опушение листа (хромосома 4B); *Hn* – опушение узла стебля (хромосома 5A); *Q* – спелтоидность колоса (хромосома 5A); *D1* – гибридную травянистую карликовость (хромосома 2D); *Ne* – гибридный некроз (хромосома 5B); *Ph1*, *Ph2* – гены гомологичной конъюгации, препятствующие спариванию гомеологичных хромосом (хромосома 5B, 3D); *Vrn1*, *Vrn2*, *Vrn3* и *Vrn4* – чувствительность к яровизации (хромосома 5A, 5B) (Efremova et al., 2000).

Исследования влияния признака опушения влагалища флагового листа, проведенные с использованием изогенной линии яровой мягкой пшеницы АНК-25В (контролируется геном *Pa*, источник признака – образец к-43376 вида *T. petropavlovskyi*), в засушливых условиях выявили положительное влияние на ряд показателей (высоту растения и продолжительность периода от всходов до колошения, массу зерна с растения, продуктивную кустистость), однако в условиях избыточного увлажнения отмечен отрицательный эффект по данным признакам (Truschenko, Shamanin, 2015).

Анализ гибридов между мягкой пшеницей сорта 'Северянка' и пшеницей Петропавловского (к-43376) не установил связи между генами опушения колосковых чешуй и окраски колоса с показателями качества. Также было установлено, что у исследуемого образца *T. petropavlovskyi* аллели глиадинов 1-й гомеологической группы схожи с аллелями обычной мягкой пшеницы – *Gli-A1p*, *Gli-B1n* и *Gli-D1a* (Fisenko et al., 2018).

Несмотря на многолетние исследования, происхождение *T. petropavlovskyi* все еще остается предметом дискуссий. Согласно литературным данным, которые основываются на исследованиях по морфологии растений, генетике, биохимии и физиологии, существует три гипотезы происхождения этого вида: 1) пшеница Петропавловского возникла вследствие мутации у вида *T. aestivum* (Efremova et al., 2000; Masum Akond, Watanabe, 2005); 2) *T. petropavlovskyi* – это независимый вид, образовавшийся в результате гибридизации и аллополиплоидизации между *T. polonicum* и *Aegilops tauschii* Cosson (Yang et al., 1992; Chen, 1999); 3) вид возник в результате естественного скрещивания *T. polonicum* и *T. aestivum* (Yakubtsiner, 1959; Watanabe, Imamura, 2002; Masum Akond et al., 2008).

По мнению Н. П. Гончарова, вид *T. petropavlovskyi* не обладает комплексом признаков, чтобы быть признанным отдельным видом, и его лучше рассматривать как подвид *T. aestivum* (*T. aestivum* subsp. *petropavlovskyi* (Udacz. et Migusch.) N.P. Gontsch.) (Goncharov, 2012).

В этой связи, по нашему мнению, пока научное сообщество не пришло к единому мнению относительно идентификации *T. petropavlovskyi*, его следует рассматривать как отдельный вид.

Несмотря на ряд недостатков (полегание, слабую устойчивость к болезням и вредителям) (Berlyand-Kozhevnikov, 1978; Fuo, Goncharov, 2019), пшеница Петропавловского представляет интерес для селекции в качестве источника других хозяйственно-биологических признаков, в том числе таких как мощный начальный рост и габитус растения, сочетание крупнозерности при довольно хорошей озерненности колоса, а также жаростойкость и солеустойчивость (Zuev, 1992).

Есть исследования, которые указывают, что потенциал этого вида полностью еще не раскрыт, в частности были выделены образцы, толерантные к желтой ржавчине (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) (Li et al., 2020).

В наших пребридинговых исследованиях установлено, что *T. petropavlovskiy* может также нести не идентифицированные пока гены устойчивости к листовой ржавчине (Gulyaeva et al., 2020). С целью дальнейшего расширения этой работы мы изучили линии яровой мягкой пшеницы, полученные с участием пшеницы Петропавловского, по комплексу признаков. Результаты этих исследований представлены в данной статье.

Материалы и методы

Исследования проводили в вегетационные сезоны 2019–2023 гг. на опытном поле Федерального аграрного научного центра Юго-Востока (ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов), предшественник – черный пар, почва – выщелоченный чернозем, географические координаты: широта – 51.599, долгота – 46.043. Метеорологические условия вегетационных периодов различались по температурным и водным режимам. Наиболее благоприятными по количеству осадков и температурному режиму были 2022 г. (гидротермический коэффициент (ГТК): май – 0,8; июнь – 0,55; июль – 1,1; август – 0,2) и 2023 г. (ГТК: май – 0,8; июнь – 1,1; июль – 0,6; август – 0,4). Умеренно засушливыми были 2020 г. (ГТК: май – 0,5; июнь – 0,7; июль – 0,6; август – 0,2) и 2021 г. (ГТК: май – 0,7; июнь – 1,1; июль – 0,6; август – 0,04), а 2019 г. характеризовался сильной засухой (ГТК: май – 0,5; июнь – 0,5; июль – 0,3; август – 0,1).

В изучение были включены следующие генотипы: сорт яровой мягкой пшеницы 'Воевода' = Л504/Краснокутка10//Л504/3/Л400 (ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока»), а также линии, полученные от скрещивания этого сорта с образцом вида *T. petropavlovskiy*, любезно предоставленным С. А. Степановым, доктором биологических наук, профессором Саратовского национального исследовательского университета имени Н.Г. Чернышевского: Л163 (Воевода/*T. petropavlovskiy*//Воевода) и Л164 (Воевода/*T. petropavlovskiy*//Воевода/3/Воевода).

Оценку устойчивости к заболеваниям (листовая и стеблевая ржавчина, мучнистая роса) проводили как на естественном инфекционном фоне в поле, так и в лабораторных условиях. Степень развития листовой ржавчины (*Puccinia tritici* f. sp. *tritici* Erikss.) и мучнистой росы (*Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *tritici* Marchal) в посевах ФАНЦ Юго-Востока (г. Саратов) в 2022 и 2023 г. оценивалась как средняя, а в 2020 г. отмечена стеблевая ржавчина (*Puccinia graminis* Rers. f. sp. *tritici* Erikss. et Henn.), которая достигала средней степени развития. В 2021 г. наблюдалось сильное заселение посевов обыкновенной злаковой тлей *Schizaphis graminum* Rond.

Для оценки устойчивости к возбудителю листовой ржавчины использовали шкалу Е. В. Mains и Н. S. Jackson (1926). Растения с типом реакции 0, 0; 1, 2 считали устойчивыми, а 3, 4 и X – восприимчивыми. Тип реакции растений на заражение возбудителем мучнистой росы определяли по шкале Е. В. Mains, С. М. Dietz (1930). Растения с типом реакции 0 считаются высокоустойчивыми, 1 – устойчивыми, 2 – среднеустойчивыми, 3 – умеренно восприимчивыми, 4 – восприимчивыми. Оценку устойчивости к местной популяции возбудителя стеблевой ржавчины проводили по модифицированной шкале Кобба и реакции хозяина на внедрение патогена: R = устойчивый – 1 балл; TR = единичные пустулы, некротичные пятна, устойчивый – 1 балл; MR = умеренно устойчивый – 2 балла; MS = умеренно восприимчивый – 2–3 балла; M = про-

межуточный между устойчивым и восприимчивым – 2–3 балла; MSS = от умеренно восприимчивого до восприимчивого – 4 балла; TS = единичные пустулы, восприимчивый – 3–4 балла; S = восприимчивый – 4 балла (Relfs et al., 1992).

Учет численности тлей на посевах проводили по модифицированной шкале ВИЗР для оценки степени заселения колосов: (0) – растения не заселены тлей; 1 (1) – единичные особи на колосе; 2) – единичная небольшая колония (3–6 особей) на колосе; 3 (3) – колония (10–15 особей) занимает 1/4 колоса; 5 (4) – несколько колоний (20–30 особей) занимают 1/2 колоса; 7 (5) – несколько слившихся вместе колоний (30–50 особей) занимают 3/4 колоса; 9 (6) – весь колос усыпан тлями (более 50 особей) (Radchenko, 2008).

Изучение линий Л163, Л164 по хозяйственно полезным свойствам проводили в 2019–2023 гг. по методике Госсорткомиссии РФ (Fedin, 1989). Для оценки морфологических признаков использовали методику, принятую для Госсорткомиссии РФ, основанную на методике UPOV (<https://gossortrf.ru/publication/metodiki-ispytaniya-na-oos.php>). Устойчивость к полеганию определяли по пятибалльной шкале, где неполегающие сорта оцениваются на 5 баллов; сорта, выпрямившиеся после полегания или полегшие в слабой степени – 4 балла; сорта, полегшие в средней степени – 3 балла; сорта, сильно полегшие, затрудняющие механизированную уборку – 2 балла; сорта, сильно полегшие задолго до уборки и непригодные к механизированной уборке – 1 балл. Также проводились замеры высоты растений и учет показателей продуктивности.

Материал высевали в оптимальные сроки на семи рядковых делянках площадью 7 м² в 4-кратной повторности. Норма посева – 400 семян/м². Уборку осуществляли комбайном Нежа 125 В.

Анализ качества зерна и теста проводили в лаборатории оценки качества зерна ФАНЦ Юго-Востока (г. Саратов) по принятой для Госсорткомиссии РФ методике (Fedin, 1989). Содержание белка в зерне (%) определяли на приборе Infratec TM 1241 (Дания), качество и количество сырой клейковины – на приборе ИДК-3 (Россия). На альвеографе Chopin (Франция) определялись реологические свойства теста: P – упругость теста; P/L – отношение упругости теста к растяжимости; W – сила муки. Кроме того, выпекали экспериментальные хлебцы и оценивали объем хлеба и цвет мякиша. Полученные данные подвергали дисперсионному анализу и множественному сравнению по критерию Дункана, используя пакет селекционно-генетических программ Agros-2.10.

Результаты и обсуждение

Создание и описание линий яровой мягкой пшеницы с интрогрессиями от *Triticum petropavlovskiy* Udacz. et Migusch.

Для создания интрогрессивных линий в качестве материнской формы был выбран сорт яровой мягкой пшеницы 'Воевода' – разновидность *lutescens* Al. Согласно методике UPOV, принятой для Госсорткомиссии РФ, сорт имеет форму куста полупрямостоячую, форму колоса пирамидальную, колос от рыхлого до средней плотности, колосковые чешуи белые, зерновки красные, длина колоса – 10–12 см., масса 1000 зерен – 27–38 г. Он содержит замещение 6D (6Ag¹) от *Agropyron intermedium* (Host) P. Beauv., устойчив к листовой ржавчине, слабо поражается мучнистой росой, восприимчив к стеблевой ржавчине

(Sibikeev et al., 2017). Сорт среднеспелый, засухоустойчивый. В качестве отцовской формы использовался образец вида *T. petropavloskyi*. Растения данного образца имеют высоту до 115 см, форма куста полупрямостоячая, колос рыхлый, длиной до 15 см, колосковые чешуи грубые, ости черные, колосковые чешуи красные, опушенные, удлиненные, зерновки красные, удлиненно-овальной формы, довольно крупные. Масса 1000 зерен колебалась по годам от 39 до 47 г, число зерен в колосе колебалось от 18 до 22 шт. Образец в условиях г. Саратова оказался восприимчив к листовой и стеблевой ржавчинам, мучнистой росе (табл. 1). Характеризуется мощным начальным ростом, позднеспелый.

Оценка растений F_1 по реакции на заражение *Puccinia triticina* f. sp. *tritici* показала, что все растения были устойчивы к патогену и имели тип реакции IT = 0.

После беккроссирования растений F_1 сортом 'Воевода' из гибридной популяции F_1BC_1 выделено растение, которое оставили на дальнейшее самоопыление с последующим отбором из него образца, ставшего линией Л163. Линия Л163 остистая, ости белые, зерновки красные, колосковые чешуи белые, не удлиненные, без опушения, грубые, разновидность – *erythrospermum* Körn. (рис. 2). Остистость у этой линии, вероятно, обусловлена наличием рецессивного аллеля гена *b1.ag*, который находится на хромосоме 5AL (Dobrovolskaya et al., 2020).

Таблица 1. Характеристика линий яровой мягкой пшеницы и их родительских форм по устойчивости к заболеваниям и вредителям (2019–2023 гг., Саратов)

Table 1. Characterization of spring bread wheat lines and their parent forms according to disease and pest resistance (2019–2023, Saratov)

Сорт, вид, линия	<i>Puccinia triticina</i>	<i>Blumeria graminis</i>	<i>Puccinia graminis</i>	<i>Schizaphis graminum</i>
	(тип реакции, балл)			
'Воевода'	0	1	3	5
<i>Triticum petropavloskyi</i>	3	3	3	–
Л163	0	1	3	2
Л164	0	3	3	5

Изучение гибридов F_1 от скрещивания сорта 'Воевода' с образцом *T. petropavloskyi* по морфологическим признакам показало, что все растения были безостые, колос длинный и рыхлый, с опушенными колосковыми чешуями, красной окраски (рис. 1), с опушенной листовой пластинкой, что согласуется с литературными данными по наследованию некоторых признаков от *T. petropavloskyi* (Efremova et al., 2000).

Из гибридной популяции F_1BC_1 также выделен безостый образец с белым опушенным колосом; по нему провели 2-е и 3-е беккроссирование сортом 'Воевода' с постоянным отбором безостых растений с опушенными колосковыми чешуями. В результате была выделена линия Л164. Эта линия безостая, зерновки красные, колосковые чешуи не удлиненные, с опушением, разновидность – *leucospermum* Körn. (см. рис. 2).



Рис. 1. Колосья и зерновки: 1 – *Triticum petropavloskyi* Udacz. et Migusch. (♂); 2 – гибрид F_1 ; 3 – сорт яровой мягкой пшеницы 'Воевода' (♀)

Fig. 1. Ears and grains: 1 – *Triticum petropavloskyi* Udacz. et Migusch. (♂); 2 – the F_1 hybrid; 3 – spring bread wheat cv. 'Voevoda' (♀)



Рис. 2. Колосья и зерновки: 1 – Л163 (слева); 2 – Л164 (справа)

Fig. 2. Ears and grains: 1 – L163 (left); 2 – L164 (right)

Влияние интрогрессий от *Triticum petropavlovskiy* Udacz. et Migusch. на хозяйственно полезные признаки у линий яровой мягкой пшеницы

Оценка линий по устойчивости к возбудителю листового ржавчины (*Puccinia triticina* f. sp. *tritici*) в фазе проростков показала, что линии Л163 и Л164 устойчивы к патогену (см. табл. 1). Устойчивость у них обусловлена геном *Lr6Agi* от сорта 'Воевода', но нельзя исключать и комбинацию этого гена с не идентифицированными *Lr*-генами от *T. petropavloskyi*, что косвенно подтверждается проведенными ранее исследованиями (Gulyaeva et al., 2020). Ген *Lr6Agi*, перенесенный в геном *T. aestivum* от *Agropyron intermedium*, при замещении хромосомой 6Agⁱ пырея промежуточного пшеничной хромосомы 6D является высокоэффективным на всей территории России, а *Lr*-ген(ы) от *T. petropavlovskiy* оказался (оказались) не эффективным(и) против ряда патотипов патогена, кроме тест-клона из Тамбовской области, что подтверждает наличие у этого образца *T. petropavloskyi* не идентифицированного расоспецифического *Lr*-гена (Gulyaeva et al., 2020).

Установлено, что линия Л163 поражается возбудителями мучнистой росы (*Blumeria graminis*) и стеблевой ржавчины (*Puccinia graminis*) на уровне сорта реципиента 'Воевода', а линия Л164 оказалась более восприимчива к мучнистой росе, поразила на уровне *T. petropavlovskiy*, а стеблевой ржавчиной поражалась как сорт-реципиент и образец *T. petropavlovskiy*. В 2021 г. на опытных полях ФАНЦ Юго-Востока (г. Саратов) наблюдалось сильное заселение посевов пшеницы злаковой тлей (*Schizaphis graminum*): некоторые сорта и линии яровой мягкой пшеницы так сильно были повреждены вредителем, что с них даже не смогли собрать урожай. В этих условиях линия Л163 была более устойчива к заселению злаковой тлей, чем линия Л164 и сорт 'Воевода' (см. табл. 1). Это, по-видимому, связано с тем, что у линии Л163 более грубые колосковые чешуи, поэтому насекомые менее охотно

заселяли растения этой линии. На устойчивость вида *T. petropavlovskiy* к большой злаковой тле (*Sitobion avenae* F.) в условиях ограниченного распространения вредителя указывал в своей работе Е. Е. Радченко, но в условиях высокой популяции тли резистентность отсутствовала (Radchenko, 2011).

Продолжительность межфазного периода «всходы – колошение» в среднем за 5 лет у линий Л163, Л164 составила 47 дней, что на два дня длиннее, чем у сорта-реципиента 'Воевода', и на 4 дня короче, чем у образца *T. petropavlovskiy*. Таким образом, линии по этому признаку заняли промежуточное положение (табл. 2). По высоте растений была обнаружена трансгрессия – так, линия Л163 имела высоту 85 см и была значимо ниже, чем сорт 'Воевода' (91 см) и образец *T. petropavlovskiy* (100 см); линия Л164 также была значимо ниже (87 см), чем образец *T. petropavlovskiy*, но статистически не отличалась от сорта 'Воевода'. Устойчивость к полеганию линий Л163 и Л164 была на уровне сорта 'Воевода' и составила 4,1, 4,2 и 4,0 балла соответственно, а у образца *T. petropavloskyi* этот показатель составил 3,8 балла (см. табл. 2). Следовательно, интрогрессии от *T. petropavloskyi* значимо не изменили этот показатель у линий по сравнению с реципиентом.

Анализ продуктивности показал, что в среднем за пять лет линия Л163 по продуктивности зерна была на уровне сорта 'Воевода', а линия Л164 значимо уступила как Л163, так и реципиенту, кроме вегетационного сезона 2022 г., когда она значимо от них не отличалась (табл. 3). Необходимо отметить, что линия Л163 имела в засушливый год (2019) урожай зерна на уровне сорта 'Воевода'. В то же время в благоприятные годы (2022, 2023) она была по продуктивности на уровне реципиента, а в 2020 г. значимо превысила его. Как было отмечено выше, линия Л163 оказалась более устойчива к заселению тлей, что отразилось и на продуктивности в 2021 г., когда она значимо превысила по этому показателю сорт 'Воевода' и Л164.

Таблица 2. Характеристика линий яровой мягкой пшеницы и их родительских форм по морфологическим и фенологическим параметрам (2019–2023 гг., Саратов)**Table 2.** Characterization of spring bread wheat lines and their parent forms according to morphological and phenological indicators (2019–2023, Saratov)

Сорт, линия	Год					среднее
	2019	2020	2021	2022	2023	
Высота растений, см						
‘Воевода’	76,67b	105,50b	80,00b	94,70b	97,00b	90,77b
<i>T. petropavlovskiy</i>	88,50c	110,50c	100,50c	100,70c	102,50c	100,54c
Л163	66,17a	99,83a	79,70b	86,30a	93,80a	85,16a
Л164	69,33ab	105,00b	76,50a	91,70b	96,00ab	87,71ab
$\bar{x}$						91,05
S $\bar{x}$						1,823
НСР						5,617
F ϕ						13,639
Устойчивость к полеганию, балл						
‘Воевода’	3,93b	4,20b	4,13b	4,20b	3,87b	4,07b
<i>T. petropavlovskiy</i>	3,8a	3,9a	3,9a	3,8a	3,5a	3,78a
Л163	4,13c	4,20b	4,20c	4,20b	3,93bc	4,13c
Л164	4,07c	4,40c	4,20c	4,30c	4,00c	4,19c
$\bar{x}$						4,043
S $\bar{x}$						0,028
НСР						0,087
F ϕ						41,543
Продолжительность периода «всходы – колошение», дней						
‘Воевода’	42a	48a	39a	47a	49a	45,0a
<i>T. petropavlovskiy</i>	47c	55c	45c	53c	57c	51,4c
Л163	44b	51b	40a	48a	50ab	46,6b
Л164	44b	51b	40a	48a	51b	46,8b
$\bar{x}$						47,45
S $\bar{x}$						0,414
НСР ₀₅						1,277
F ϕ						49,79

Примечание: числа в колонках, сопровождаемые различными буквами, различаются при уровне значимости 0,05, согласно множественным сравнениям по Дункану;

Note: the numbers in the columns accompanied by different letters differ at a significance level of 0.05 according to multiple comparisons by Duncan;

Таблица 3. Характеристика линий и сорта 'Воевода' яровой мягкой пшеницы по продуктивности зерна (2019–2023 гг., Саратов)**Table 3.** Characterization of spring bread wheat lines and cv. 'Voevoda' according to grain productivity (2019–2023, Saratov)

Сорт, линия	Год					среднее
	2019	2020	2021	2022	2023	
Продуктивность зерна, кг/га						
‘Воевода’	1590b	2734b	636b	3271ns	3296b	2305,4b
Л163	1504b	3152c	869c	3221ns	3275b	2404,2b
Л164	1227a	2214a	358a	3236ns	3068a	2020,6a
$\bar{x}$						2243,4
$S\bar{x}$						83,797
HCP_{05}						573,276
$F\phi$						5,650
Масса 1000 зерен, г						
‘Воевода’	29,8	30,9	27,0	32,1	34,2	30,80ab
Л163	32,4	30,6	28,7	34,2	34,8	31,94b
Л164	28,6	28,7	24,1	32,6	32,0	29,20a
$\bar{x}$						30,513
$S\bar{x}$						0,516
HCP_{05}						1,684
$F\phi$						5,367

Примечание: числа в колонках, сопровождаемые различными буквами, различаются при уровне значимости 0,05, согласно множественным сравнениям по Дункану; ns – значимо не различаются

Note: the numbers in the columns accompanied by different letters differ at a significance level of 0.05 according to multiple comparisons by Duncan; ns – nonsignificant differences

T. petropavloskyi считается перспективным источником повышения массы 1000 зерен (Zuev, 1992). В наших исследованиях у растений в поколении F_1 масса 1000 зерен была 37,0 г, у сорта-реципиента 'Воевода' – 30,1 г, у *T. petropavlovskyi* – 39,6 г, следовательно гибрид F_1 по этому показателю оказался ближе к пшенице Петропавловского, а полученные результаты согласуется с литературными данными (Zuev, 1992). Линия Л163 (отобранная из гибридной популяции $F_1 BC_1$) имела массу 1000 зерен в среднем за годы испытания уже 31,9 г, что значимо выше, чем у линии Л164 (28,2 г). Сорт 'Воевода' занял по этому показателю промежуточное положение и значимо от этих линий не отличался (см. табл. 3). Невысокую массу 1000 зерен у линий Л163 и Л164 по сравнению с этим показателем у растений в поколении F_1 можно объяснить тем, что в ходе беккрасса и дальнейшего отбора признак высокой массы 1000 зерен слабо учитывался, а на первое место ставились признаки адаптивности, урожайности и устойчивости растений к болезням.

Пшеница Петропавловского представляет интерес как исходный материал для селекции высококачественных сортов пшеницы. Известно, что этот вид накапливает 15,7–20,1% белка, 0,55% лизина и отличается уникальным сочетанием высоких хлебопекарных качеств зерна (Zuev, 1992; Fu, Goncharov, 2019). Изучаемый нами образец *T. petropavloskyi* содержит 17,8% белка в зерне. К сожалению, по остальным показателям анализ не проводился. Оценка изучаемых линий на содержание белка в зерне показала, что Л163 значимо превышает по этому показателю как сорт 'Воевода', так и линию Л164, причем последняя практически не отличалась от реципиента. Необходимо отметить положительное качество линии Л163, которая, имея одинаковую продуктивность с сортом 'Воевода', содержит более высокий процент белка в зерне. По содержанию клейковины линии Л163 и Л164 практически не отличались от сорта 'Воевода'. Также не выявлено статически значимых различий между ними и по качеству клейковины (табл. 4).

Таблица 4. Характеристика линий и сорта 'Воевода' яровой мягкой пшеницы по хлебопекарным качествам, в среднем за 2019–2023 гг., Саратов**Table 4.** Characterization of spring bread wheat lines and cv. 'Voevoda' according to baking qualities, average for 2019–2023, Saratov

Сорт, линия	Клейковина		Белок, %	P, мм	P/L	W, е. а.	V, см ³	Цвет мякиша
	%	ИДК-3						
'Воевода'	33,80 ns	84,94 ns	15,70a	71,94a	1,19a	175a	766 ns	белый
Л163	33,98 ns	79,72 ns	16,97b	94,18b	1,76b	218b	723 ns	белый
Л164	33,28 ns	86,38 ns	15,87a	101,18b	1,73b	228b	728 ns	белый
$\bar{x}$	33,67	83,92	16,18	89,10	1,56	207,13	739	
$S\bar{x}$	3,687	2,761	2,783	2,031	1,260	12,783	3,267	
HCP ₀₅	ns	ns	0,322	21,568	0,216	41,687	ns	
Fф	1,635	1,886	5,486	4,872	5,263	4,775	1,368	

Примечание: числа в колонках, сопровождаемые различными буквами, различаются при уровне значимости 0,05; ns – значимо не различаются; P – упругость теста; P/L – отношение упругости теста к растяжимости; W – сила муки; V – объем хлеба

Note: the numbers in the columns accompanied by different letters differ at a significance level of 0.05; ns – nonsignificant differences; P – dough elasticity; P/L – dough elasticity/extensibility ratio; W – flour strength; V – bread volume

Отмечено значимое отличие линий Л163 и Л164 по упругости теста (P) и отношению упругости к растяжимости (P/L) от сорта 'Воевода'. Интрогрессия от изучаемого образца *T. petropavloskyi* значимо улучшила силу муки у линий по сравнению с сортом 'Воевода'. По показателю объема хлеба линии и сорт-реципиент между собой значимо не различались.

Заключение

В результате интрогрессии генетического материала от образца вида *T. petropavloskyi* в сорт яровой мягкой пшеницы 'Воевода' были получены линии Л163 и Л164, имеющие ряд положительных качеств. Они показали устойчивость к листовому ржавчине, а линия Л163 проявила также устойчивость к мучнистой росе. Устойчивость к листовому ржавчине обусловлена наличием у них гена *Lr6Agⁱ* либо комбинацией этого гена с не идентифицированными *Lr*-генами от *T. petropavloskyi*. Выявлено, что линия Л163 была более устойчива к заселению злаковой тлей, чем линия Л164 и сорт 'Воевода'.

У линий Л163 и Л164 продолжительность периода «всходы – колошение» по сравнению сортом 'Воевода' на 2 дня больше, по высоте растений отмечена трансгрессия: линия Л163 значимо ниже, чем сорт-реципиент (*T. aestivum*) и Л164. По устойчивости к полеганию линии и сорт-реципиент практически не различались. По массе 1000 зерен линия Л163 значимо превосходила Л164, а также имела преимущество перед сортом 'Воевода', но незначительное. По продуктивности линии в среднем за 5 лет изучения значимо различались между собой: так, линия Л164 была менее продуктивной и уступала по этому показателю как линии Л163, так и сорту 'Воевода'; последние между собой значимо не различались.

Установлено, что линия Л163 значимо превышает по содержанию белка в зерне как сорт 'Воевода', так и линию Л164, причем последняя практически не отличалась от реципиента. Не выявлено значимых различий между линиями и сортом 'Воевода' по количеству и качеству клейковины, а также по объему хлеба. В то же время интрогрессия генетического материала от образца вида

T. petropavloskyi в сорт 'Воевода' значимо улучшила реологические свойства теста, в том числе по показателю «сила муки».

Следует выделить линию Л163, которая имеет ряд преимуществ перед сортом-реципиентом и сочетает высокую продуктивность с повышенным содержанием белка в зерне и хорошими реологическими свойствами теста. Благодаря данным свойствам линию Л163 включили в селекционно-генетические исследования с целью дальнейшего улучшения сортов яровой мягкой пшеницы. Полученные положительные результаты по интрогрессии генного материала от *T. petropavloskyi* в *T. aestivum* позволили расширить генетическую изменчивость у мягкой пшеницы и обогатить местный сортимент новым исходным материалом для решения селекционных задач.

References / Литература

- Berlyand-Kozhevnikov V.M., Dmitriyev A.P., Budashkina E.B., Shitova I.T., Reyter V.G. Resistance of wheat against leaf rust (Genetic diversity of the fungus' populations and the host plant) (Ustoychivost pshenitsy k buroy rzhavchine [Geneticheskoye raznoobraziye populyatsiy griba i rasteniya-khozyaina]). Novosibirsk: Nauka; 1978. [in Russian] (Берлянд-Кожевников В.М., Дмитриев А.П., Будашкина Е.Б., Шитова И.П., Рейтер В.Г. Устойчивость пшеницы к бурой ржавчине (Генетическое разнообразие популяций гриба и растения-хозяина). Новосибирск: Наука; 1978).
- Chen Q., Song J., Du W.P., Xu L.Y., Yu G.R. Possible origin of *Triticum petropavloskyi* based on cytological analyses of crosses between *T. petropavloskyi* and tetraploid, hexaploid, and synthetic hexaploid (SHW-DPW) wheat accessions. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2016;14(4):e0713. DOI: 10.5424/sjar/2016144-8476
- Chen Q.F. Discussion on origin of Chinese endemic wheat. *Guizhou Agricultural Sciences*. 1999;27:20-25.
- Dobrovolskaya O.B., Dresvyannikova A.E., Badaeva E.D., Popova K.I., Trávníčková M., Martinek P. The study of genetic factors that determine the awned glume trait in bread wheat. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*.

- 2020;24(6):568-574. [in Russian] (Добровольская О.Б., Дресвянникова А.Е., Бадаева Е.Д., Попова К.И., Травничкова М., Мартинек П. Изучение генетических факторов, определяющих признак «тетраостость» мягкой пшеницы. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2020;24(6):568-574). DOI: 10.18699/VJ20.650
- Efremova T.T., Maystrenko O.I., Laikova L.I., Arbuzova V.S., Popova O.M. Comparative genetic analysis of hexaploid wheats *Triticum petropavlovskyi* Udasz. et Migusch. and *Triticum aestivum* L. *Russian Journal of Genetics*. 2000;36(10):1142-1148.
- Fedin M.A. (ed.). Methodology for state crop variety trials. First issue. General provisions (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur. Vypusk pervy. Obshchaya chast). Moscow: State Commission for Crop Variety Trials; 1989. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск первый. Общая часть / под ред. М.А. Федина. Москва: Госкомиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур; 1989).
- Fisenko A. V., Upelnik V. P., Kalmykova L. P., Kuznetsova N. L., Dragovich A.Yu. Relationship between the gliadin composition, ear morphology and grain quality of spring wheat. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2018;32(9):24-27. [in Russian] (Фисенко А.В., Упельник В.П., Калмыкова Л.П., Кузнецова Н.Л., Драгович А.Ю. Взаимосвязь между составом глиадинов, морфологией колоса и качеством зерна у яровой пшеницы. *Достижения науки и техники АПК*. 2018;32(9):24-27). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10906
- Fu H., Goncharov N.P. Endemic wheats of China as resources for breeding. *Plant Genetic Resources*. 2019;(25):11-25. [in Russian] (Фу Х., Гончаров Н.П. Эндемичные пшеницы Китая как ресурсы селекции. *Генетичні ресурси рослин*. 2019;(25):11-25). DOI: 10.36814/ pgr.2019.25.01
- Goncharov N.P. Comparative genetics of wheats and their relatives (Sravnitelnaya genetika pshenits i ikh sorodichey). 2nd ed. Novosibirsk: Geo; 2012. [in Russian] (Гончаров Н.П. Сравнительная генетика пшениц и их сородичей. 2-е изд. Новосибирск: Гео; 2012).
- Gulyaeva E.I., Sibikeev S.N., Druzhin A.E., Shaydayuk E.L. Enlargement of genetic diversity of spring bread wheat resistance to leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks.) in Lower Volga region. *Agricultural Biology*. 2020;55(1):27-44. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.1.27eng
- Li J., Jiang Y., Yao F., Long L., Wang Y., Wu Y. et al. Genome-wide association study reveals the genetic architecture of stripe rust resistance at the adult plant stage in Chinese endemic wheat. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:625. DOI: 10.3389/fpls.2020.00625
- Luo W., Zhou J., Liu J., Liu Y., Mu Y., Tang H. et al. Fine mapping of the *Hairy glume* (*Hg*) gene in a chromosome variation region at the distal terminus of 1AS. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:1006510. DOI: 10.3389/fpls.2022.1006510
- Mains E.B., Dietz S.M. Physiologic forms of barley mildew *Erysiphe graminis hordei*. *Phytopathology*. 1930;20(3):229-239.
- Mains E.B., Jackson H.S. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat *Puccinia triticina* Erikss. *Phytopathology*. 1926;16(2):89-120.
- Masum Akond A.S.M.G., Watanabe N. Genetic variation among Portuguese landraces of 'Arrancada' wheat and *Triticum petropavlovskyi* by AFLP-based assessment. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2005;52(5):619-628. DOI: 10.1007/s10722-005-6843-8
- Masum Akond A.S.M.G., Watanabe N., Furuta Y. Comparative genetic diversity of *Triticum aestivum* – *Triticum polanicum* introgression lines with long glume and *Triticum petropavlovskyi* by AFLP-based assessment. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2008;55(1):133-141. DOI: 10.1007/s10722-007-9221-x
- Okamoto Y., Takumi S. Pleiotropic effects of the elongated glume gene *P1* on grain and spikelet shape-related traits in tetraploid wheat. *Euphytica*. 2013;194(2):207-218. DOI: 10.1007/s10681-013-0916-0
- Radchenko E.E. Cereal aphids (Zlakovye tli). In: *The study of the genetic resources of cereal crops for resistance to harmful organisms. Guidelines (Izucheniye geneticheskikh resursov zernovykh kultur po ustoychivosti k vrednym organizmam. Metodicheskoye posobiye)*. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences; 2008. p.214-257. [in Russian] (Радченко Е.Е. Злаковые тли. В кн.: *Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. Методическое пособие*. Москва: Россельхозакадемия; 2008. С.214-257).
- Radchenko E.E. Resistance of *Triticum* species to cereal aphids. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2011;47(10):67-70. DOI: 10.17221/3257-CJGPB
- Roelfs A.P., Singh R.P., Saari E.E. Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management. Mexico: CIMMYT; 1992. Available from: <http://hdl.handle.net/10883/1153> [accessed May 22, 2024].
- Sibikeev S.N., Druzhin A.E., Badava E.D., Shishkina A.A., Dragovich A.Y., Gulyaeva E.I. et al. Comparative analysis of *Agropyron intermedium* (Host) Beauv. 6Ag¹ and 6Ag² chromosomes in bread wheat cultivars and lines with wheat-wheatgrass substitutions. *Russian Journal of Genetics*. 2017;53(3):314-324. DOI: 10.1134/S1022795417030115
- State Commission of the Russian Federation for Testing and Protecting Breeding Achievements. Testing methods at Experiment Stations (Gosudarstvennaya komissiya Rossiyskoy Federatsii po ispytaniyu i okhrane selektsionnykh dostizheniy): [website]. [in Russian] (Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений. Методики испытаний на ООС: [сайт]). URL: <https://gossortrf.ru/publication/metodiki-ispytaniy-na-oos.php> [дата обращения: 17.05.2024].
- Truschenko A.Y., Shamanin V.P. Effects of morphological and biological characteristics of yield components and plant productivity in isogenic lines Novosibirsk 67. *Modern Problems of Science and Education*. 2015;(2-1):538. [in Russian] (Трущенко А.Ю., Шаманин В.П. Эффекты морфологических и биологических признаков по урожайности и элементам продуктивности растений у изогенных линий Новосибирская 67. *Современные проблемы науки и образования*. 2015;(2-1):538).
- Wang H.J., Huang X.Q., Röder M.S., Börner A. Genetic mapping of loci determining long glumes in the genus *Triticum*. *Euphytica*. 2002;123:287-293. DOI: 10.1023/A:1014909331902
- Watanabe N., Imamura I. Genetic control of long glume phenotype in tetraploid wheat derived from *Triticum petropavlovskyi* Udasz. et Migusch. *Euphytica*. 2002;128(2):211-217. DOI: 10.1023/A:1020829821620
- Yakubtsiner M.M. More on Chinese wheats. *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 1959;44(10):1425-1436. [in Russian] (Якубцинер М.М. К познанию пшеницы Китая. *Ботанический журнал*. 1959;44(10):1425-1436).
- Yang W.Y., Yen C., Yang J.L. Cytogenetic study on the origin of some special Chinese landraces of common wheat. *Wheat Information Service*. 1992;75:14-20.
- Zuev E.V. Economic and biological features of the wheat species *T. petropavlovskyi* Udasz. et Migusch. (Khozyaystven-

no-biologicheskoye osobennosti vida pshenitsy *T. petropavlovskiy* Udacz. et Migusch.) [dissertation]. St. Petersburg: VIR; 1992. [in Russian] (Зуев Е.В. Хозяйственно-биоло-

гические особенности вида пшеницы *T. petropavlovskiy* Udacz. et Migusch.: дис. ... канд. с.-х. наук. Санкт-Петербург: ВИР; 1992).

Информация об авторах

Александр Евгеньевич Дружин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, alex_druzhin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3968-2470>

Сергей Николаевич Сибикеев, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, sibikeev_sergey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8324-9765>

Любовь Владимировна Андреева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, l.v.andreeva_75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3631-1084>

Information about the authors

Alexander E. Druzhin, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, alex_druzhin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3968-2470>

Sergey N. Sibikeev, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, sibikeev_sergey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8324-9765>

Lubov V. Andreeva, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, l.v.andreeva_75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3631-1084>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 21.03.2024; одобрена после рецензирования 16.07.2024; принята к публикации 04.09.2024. The article was submitted on 21.03.2024; approved after reviewing on 16.07.2024; accepted for publication on 04.09.2024.