

# ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ

Научная статья  
УДК 631.527.8+631.524.82  
DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-218-230



## *Triticum ispahanicum* Heslot – генетический ресурс для улучшения вида *T. aestivum* L.

А. Е. Дружин<sup>1</sup>, С. Н. Сибикеев<sup>1</sup>, Е. И. Гультяева<sup>2</sup>, З. Е. Фитилева<sup>1</sup>, Л. В. Андреева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Саратов, Россия

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Евгеньевич Дружин, alex\_druzhin@mail.ru

**Актуальность.** Изучение *Triticum ispahanicum* Heslot (полба исфаханская) для улучшения *Triticum aestivum* L. актуально и перспективно, так как полба исфаханская редко используется в программах по увеличению генетического разнообразия генофонда мягкой пшеницы.

**Материалы и методы.** Изучена линия яровой мягкой пшеницы GEN2021-512, полученная в результате скрещивания сорта 'Добрыня' и образца *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum* Udachin. Проведены генетические, фенологические, фитопатологические и технологические анализы, выполнявшиеся согласно общепринятым методикам.

**Результаты.** Линия GEN2021-512, устойчивая к листовой ржавчине за счет комбинации гена *Lr19* и неидентифицированного *Lr*-гена от *T. ispahanicum*, превосходит 'Добрыню' и *T. ispahanicum* по продуктивности колоса, длине колоса и массе 1000 зерен. Период «всходы – колошение» на три дня больше, чем у 'Добрыни'. Продуктивность, качество теста и хлеба на уровне сорта-реципиента 'Добрыня', а по содержанию белка и клейковины значительно выше его. Исследование демонстрирует возможность расширения генетической изменчивости мягкой пшеницы за счет использования полбы исфаханской.

**Заключение.** В результате комбинации генного материала от *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum* и яровой мягкой пшеницы сорта 'Добрыня' создана линия GEN2021-512, которая благодаря сочетанию устойчивости к возбудителю листовой ржавчины и высоким показателям качества будет использоваться в селекционно-генетических исследованиях как источник для улучшения сортов яровой мягкой пшеницы.

**Ключевые слова:** мягкая пшеница, полба исфаханская, интрогрессия генов, устойчивость к болезням, хозяйственно полезные признаки

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 1021060407759-2-4.1.6 «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» (FNWF-2022-0003).

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

**Для цитирования:** Дружин А.Е., Сибикеев С.Н., Гультяева Е.И., Фитилева З.Е., Андреева Л.В. *Triticum ispahanicum* Heslot – генетический ресурс для улучшения вида *T. aestivum* L. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(3):218-230. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-218-230

# IDENTIFICATION OF THE DIVERSITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES FOR SOLVING FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-218-230

## *Triticum ispahanicum* Heslot: a genetic resource for improving the species *T. aestivum* L.

Alexander E. Druzhin<sup>1</sup>, Sergey N. Sibikeev<sup>1</sup>, Elena I. Gulyaeva<sup>2</sup>, Zulfiya E. Fitileva<sup>1</sup>, Lubov V. Andreeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, Saratov, Russia

<sup>2</sup> All-Russian Research Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

**Corresponding author:** Alexander E. Druzhin, alex\_druzhin@mail.ru

**Background.** Studying *Triticum ispahanicum* Heslot (Ispahan emmer wheat) to improve *Triticum aestivum* L. is relevant and promising, since Ispahan emmer is rarely used in programs to increase the genetic diversity of the bread wheat gene pool.

**Materials and methods.** As part of the study, the GEN2021-512 spring bread wheat line was studied. This line was obtained by crossing cv. 'Dobrynya' with an accession of *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum* Udachin. Genetic, phenological, phytopathological and breadmaking analyses were performed using conventional methods.

**Results.** The GEN2021-512 line is resistant to leaf rust due to a combination of the *Lr19* gene and an unidentified *Lr* gene from *T. ispahanicum* and surpasses 'Dobrynya' and *T. ispahanicum* in ear productivity, ear length, and 1000-grain weight. The line's duration of the period from germination to ear emergence is 3 days longer than that of 'Dobrynya'. Its grain productivity is at the level of the recipient cultivar, but the line has higher protein and gluten content. Dough and bread quality is not lower than in the recipient cultivar. The study demonstrated that the genetic variability of bread wheat might be expanded through Ispahan emmer.

**Conclusion.** Combining the genetic material of *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum* with spring bread wheat cv. 'Dobrynya' resulted in the GEN2021-512 line. This line demonstrated a combination of resistance to the leaf rust pathogen and high breadmaking quality. It is promising for breeding and genetic research as a genetic resource to improve spring bread wheat cultivars.

**Keywords:** bread wheat, Ispahan emmer, gene introgression, resistance to diseases, useful agronomic traits

**Acknowledgements:** the study was performed within the framework of the state task, Project No. 1021060407759-2-4.1.6 "Development and improvement of the system of crop species and cultivars (hybrids) adaptive to abiotic stressors 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" (FNWF-2022-0003).

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

**For citation:** Druzhin A.E., Sibikeev S.N., Gulyaeva E.I., Fitileva Z.E., Andreeva L.V. *Triticum ispahanicum* Heslot: a genetic resource for improving the species *T. aestivum* L. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(3):218-230. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-218-230

## Введение

*Triticum ispahanicum* Heslot (полба исфаханская) является аллотетраплоидом ( $2n = 4x = 28$ ) с геномным составом ВВА<sup>n</sup>A<sup>n</sup>. Высота растений данного вида составляет 90–100 см. Колосья неопушенные, длиной 7–11 см, одноостые, колоски двузерные, распадаются после созревания. Внешние чешуи цветков и колосков ланцетовидно-удлиненные, внутренняя цветковая чешуя укороченная, колоски в колосе расположены асимметрично, зерно удлиненное. Вид был обнаружен в Иране в нескольких селениях дахестана Вазак, расположенного в округе Фаридан, в провинции Исфахан (Западный Иран), на высоте от 2000 до 2500 метров над уровнем моря. Образцы данного вида собраны тремя независимыми экспедициями (Chen et al., 2022).

*T. ispahanicum* по ряду признаков (морфологические особенности вегетативных органов, строение колоса, трудный обмолот и др.) похож на *T. dicoccum* (Schrank) Schuebl. (Dorofeev et al., 1979; Miller, 1987), но имеет сходство и с *T. polonicum* L.: удлиненные внешние чешуи цветков и колосков, укороченная внутренняя цветковая чешуя, удлиненные зерна и односторонняя ориентация колосков в колосе (Mac Key, 1963; Zhukovsky, Migushova, 1969; Dorofeev et al., 1979). Как следствие, некоторые исследователи, такие как Н. Kihara et al. (1965) и Н. Kuckuck (1956), включили *T. ispahanicum* в вид *T. polonicum* как подвид, основываясь исключительно на характеристике его длинной колосковой чешуи.

Последние исследования кариотипа *T. ispahanicum* показали близкое сходство в хромосомных характеристиках с азиатскими формами *T. dicoccum* (Badaeva et al., 2015), что, вероятно, появилось вследствие мутации, влияющей на длину колосковой чешуи (ген *P2* на хромосоме 6A) (Chen et al., 2022). Но таксономическое положение и ранг этого вида все еще остаются не определенными (Khoshbakht, 2009).

Изучение устойчивости этого вида к ряду патогенов показало, что в целом он слабо поражается листовой ржавчиной (возбудитель *Puccinia triticina* Erikss.), но имеет явно расоспецифическую, возрастную устойчивость к этому патогену (Migushova, Zhukovsky, 1969; Grigorieva, 1975), обладает расоспецифической устойчивостью к пыльной головне (возбудитель *Ustilago tritici* (Pers.) C.N. Jensen, Kellerm. & Swingle.), устойчив к твердой головне (возбудитель *Tilletia caries* (DC.) Tul.) (Dorofeev et al., 1979). Растения этого вида в средней степени поражаются мучнистой росой (возбудитель *Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *tritici* Marchal), практически устойчивы к стеблевой ржавчине (возбудитель *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Erikss. et Hen.) и имеют расоспецифическую устойчивость к желтой ржавчине (возбудитель *Puccinia striiformis* West. f. sp. *tritici* Erikss. et Henn.) (Migushova, Zhukovsky, 1969). По другим данным, *T. ispahanicum* довольно сильно поражается возбудителем стеблевой ржавчины (Dorofeev et al., 1979), что также указывает на расоспецифическую устойчивость этого вида к данному патогену.

Исфаханская полба в полевых условиях сильно поражается септориозом (Shaimyardyanov, 1989). Представитель этого вида (к-43064) слабо поражается вирусом полосатой мозаики пшеницы (ВПМП) (Belyanchikova, 1969). Помимо этого, установлено, что гибриды мягкой пшеницы и *T. ispahanicum* var. *ispahanicum* (к-43064) более устойчивы к воздействию тяжелых металлов (кадмию и никелю), и это один из немногих видов, обладающих таким ценным признаком (Barsukova, 1993).

К отрицательным признакам можно отнести ломкость колосового стержня, трудный обмолот и прорастание зерна на корню. Из положительных признаков следует выделить высокую стекловидность зерна и содержание белка в зерне до 25%, а также объем хлеба на уровне сильных пшениц (Dorofeev et al., 1987).

*T. ispahanicum* обладает частичной генетической совместимостью с гексаплоидными видами пшеницы с геномом ВА<sup>n</sup>D. В ходе экспериментов, проведенных в ВИР, при скрещивании наблюдалось образование до 46,2% гибридных семян (Dorofeev et al., 1987). При скрещивании исфаханской полбы с видом *T. aestivum* завязываемость гибридных зерен колебалась от 4 до 33,5% (Migushova, Zhukovsky, 1969; Chelak, 1978).

Данный вид довольно подробно изучался по вопросам морфогенеза и структурной организации растений (Murashev, Morozova, 2018), а также являлся объектом исследований по идентификации и локализации гена *P2*, контролирующего длинные чешуи (Watanabe et al., 2002; Chen et al., 2022).

В каталоге генных символов пшеницы за 2024 г. ([https://wheat.pw.usda.gov/GG3/Wheat\\_Gene\\_Catalog\\_Documents](https://wheat.pw.usda.gov/GG3/Wheat_Gene_Catalog_Documents)) отсутствуют идентифицированные гены устойчивости, интрогрессированные от вида *T. ispahanicum*, несмотря на то что этот вид изучается на устойчивость к комплексу заболеваний, что указывает на слабую вовлеченность этого вида в селекционно-генетические работы.

*Цель работы* – изучение влияния генетического материала от *T. ispahanicum* в генофонде *T. aestivum* L. на хозяйственно полезные признаки на примере линии яровой мягкой пшеницы, созданной с участием полбы исфаханской.

## Материалы и методы

Исследования проводили в 2011–2024 гг. в Федеральном аграрном научном центре Юго-Востока (ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов). Они включали несколько этапов.

На первом этапе выполнялось скрещивание сорта яровой мягкой пшеницы 'Добрыня' (Альбидум 28/Лютеценс401//Саратовская55/3/Л 503, ФАНЦ Юго-Востока) и образца *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum* Udachin (к-51762), предоставленного д-ром биол. наук, профессором Саратовского национального исследовательского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского С. А. Степановым<sup>1</sup>. Проведен анализ растений поколения F<sub>1</sub> по устойчивости к возбудителю листовой ржавчины. Также выполнено беккроссирование с сортом-реципиентом 'Добрыня'. Из популяции F<sub>1</sub>BC<sub>1</sub> выделено растение, которое стало родоначальником линии GEN2021-512.

На втором этапе линия и родительские формы оценивали на устойчивость к комплексу заболеваний в полевых условиях на естественном инфекционном фоне и проводили ПЦР-анализ с использованием ДНК-маркеров для идентификации *Lr*-генов.

Подсчет хромосом у линии GEN2021-512 провели в кончиках корешков в митозе в метафазе. Корешки фиксировали в смеси 96-процентного этанола и ледяной уксусной кислоты (3 : 1). В качестве красителя использовали реактив Шиффа (Pausheva, 1988).

Для данной линии изучили 50 препаратов метафазных пластинок. Анализ образцов проводился с использо-

<sup>1</sup> С. А. Степанов получил образец *Triticum ispahanicum* var. *ispahanorufum* Udachin (к-51762) из ВИР.

ванием микроскопа Axio Scope A 1 (Carl Zeiss) с объективом N-ACHROPLAN 40x/0,65.

Третий этап заключался в оценке линии GEN2021-512 на хозяйственно полезные признаки в сравнении с сортом-реципиентом. Исследования проводились в полевых опытах в течение пяти лет (2020–2024 гг.) на экспериментальном поле ФАНЦ Юго-Востока (координаты: 51.599° с. ш., 46.043° в. д.). Почва – выщелоченный чернозем, предшественник – черный пар. В 2020–2021 гг. изучаемый материал высевали вручную на делянки с пятью рядками растений. Норма высева составила 400 зерен/м<sup>2</sup>. Уборку проводили вручную с последующим анализом структуры продуктивности. С 2022 по 2024 г. материал высевали с помощью сеялки ССФК-7 в конкурсном сортоиспытании, на 7-рядковых делянках площадью 7 м<sup>2</sup>, в 3-кратной повторности, с нормой высева 400 зерен/м<sup>2</sup>. Уборку делянок осуществляли с помощью комбайна Нега 125 В. Vegetационные сезоны за годы изучения значительно различались. Наилучшие условия по увлажнению и температуре наблюдались в 2022 и 2023 г.; 2020 и 2021 г. характеризовались умеренной засушливостью. В 2024 г. зафиксирована засуха (табл. 1).

**Таблица 1. Погодные условия эксперимента (Саратов, 2020–2024 гг.)**

**Table 1. Weather conditions of the experiment (Saratov, 2020–2024)**

Месяц	2020			2021			2022			2023			2024		
	$\bar{x}$ (°C)	$\Sigma$ (mm)	ГТК	$\bar{x}$ (°C)	$\Sigma$ (mm)	ГТК	$\bar{x}$ (°C)	$\Sigma$ (mm)	ГТК	$\bar{x}$ (°C)	$\Sigma$ (mm)	ГТК	$\bar{x}$ (°C)	$\Sigma$ (mm)	ГТК
V	14,9	48	0,5	18,7	38,2	0,7	11,7	31	0,8	16,2	38	0,8	13,8	6	0,1
VI	20,1	81	0,7	21,8	75	1,1	21,0	35	0,55	18,3	60	1,1	23,2	55	0,8
VII	24,4	5	0,6	24,4	45,3	0,6	21,7	74	1,1	22,0	42	0,6	25,0	9	0,1
VIII	19,7	68	0,2	24,5	3,3	0,04	24,1	13	0,2	22,7	26	0,4	21,5	12	0,2

Примечание:  $\bar{x}$  – среднесуточная температура воздуха;  $\Sigma$  – сумма осадков в месяц

Note:  $\bar{x}$  – mean daily temperature;  $\Sigma$  – precipitation amount

Оценку материала по устойчивости к заболеваниям (листовая и стеблевая ржавчина, мучнистая роса) проводили на естественном инфекционном фоне в поле (ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов, 2020–2024 гг.; фитоучасток, Лысогорский район, Саратовская обл., 2020) и на искусственном фоне в условиях фитотрона (листовая ржавчина) (Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений – ВИЗР, г. Санкт-Петербург).

Оценка резистентности к *Puccinia triticina* проводилась по шкале Mains – Jackson (1926). Для определения реакции на заражение *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* использовали шкалу Mains – Dietz (1930). Устойчивость к популяции *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* оценивалась по модифицированной шкале Кобба (Roelfs et al., 1992).

Искусственное заражение *Puccinia triticina* проводили по методике ВИЗР (Gulyaeva et al., 2020) саратовской (ПС) и омской (ПО) популяциями, а также тремя тест-клонами, выделенными из популяций, различающихся происхождением и вирулентностью: тест-клон ТК1 (Челябинская обл., 2019 г.); тест-клон ТК2 (Тамбовская обл., 2016 г.); тест-клон ТК3 (Краснодарский край, 2017 г.); ПС (Саратовская обл., 2020 г.); ПО (Омская обл., 2019 г.).

Идентификацию *Lr*-генов устойчивости к листовой ржавчине у линии GEN2021-512 проводили с помощью

ПЦР-анализа, используя ДНК-маркеры: WR003 F/R гена *Lr1*; SCS5 гена *Lr9*; F1.2245/Lr10-6/r2 гена *Lr10*; Gb SCS265 гена *Lr19*; STS638 гена *Lr20*; Sr24#50, Sr24#12 гена *Lr24*; iag 95 гена *Lr26*; SCS421 гена *Lr28*; Lr29F24 гена *Lr29*, SCM9, csLV34, L34DINT9F: L34MINUSL34PLUS гена *Lr34*, Sr39#22r гена *Lr35*; Ventriup/LN2 гена *Lr37*, GDM35 гена *Lr41* (=39), PS10 гена *Lr47*, S13-R16 гена *Lr66*. Характеристика ДНК-маркеров и условий их использования ранее опубликована (Gulyaeva, 2012).

Изучение линии GEN2021-512 и родительских форм по селекционно ценным признакам проводили в 2020–2024 гг. по методике Госсортокмиссии РФ (Fedin, 1989). Для оценки морфологических признаков использовали методику, принятую для Госсортокмиссии РФ, основанную на методике UPOV (<https://gossortrf.ru/publication/metodiki-ispytaniy-na-oos.php>).

Элементы продуктивности колоса оценивали по методике ВИР (Merezhko et al., 1999).

Оценку качества зерна проводили в ФАНЦ Юго-Востока (г. Саратов) по принятой для Госсортокмиссии РФ методике (Fedin, 1989). Содержание белка и клейковины в зерне определяли на приборе Infratec TM 1241 (Дания), качество и количество сырой клейковины – на приборе

ИДК-3 (Россия). На альвеографе Chopin (Франция) определяли реологические свойства теста: P – упругость теста; P/L – отношение упругости теста к растяжимости; W – силу муки. Кроме того, выпекали экспериментальные хлебцы и оценивали объем хлеба и цвет мякиша. Полученные данные обрабатывали с помощью пакета селекционно-генетических программ Agros-2.10, используя дисперсионный анализ с множественными сравнениями по критерию Дункана.

## Результаты и обсуждение

### Создание и описание линии яровой мягкой пшеницы GEN2021-512

Линия GEN2021-512 получена от скрещивания сорта яровой мягкой пшеницы 'Добрыня' и образца *Triticum ispahanicum* var. *ispahanorufum*. Сорт 'Добрыня' относится к разновидности *lutescens* Alef. и был взят в качестве материнской формы. Он имеет полупрямостоячий куст. Соломина выполнена слабо, восковой налет слабый. Флаговый лист со слабым восковым налетом и слабой антоциановой окраской ушек. Колос цилиндрический, средней плотности, белый (рис. 1). Зерно удлиненное, красное. Масса 1000 зерен – 30–37 г. Сорт содержит транслокацию



**Рис. 1.** Колосья и зерновки: 1 – сорт яровой мягкой пшеницы ‘Добрыня’ (♀); 2 – линия GEN2021-512; 3 – *Triticum ispahanicum* Heslot var. *ispahanorufum* Udachin (♂)

**Fig. 1.** Ears and grains: 1 – spring bread wheat cv. ‘Dobrynya’ (♀); 2 – the GEN2021-512 line; 3 – *Triticum ispahanicum* Heslot var. *ispahanorufum* Udachin (♂)

T7DS•7DL-7Ae#1L от *Thinopyrum ponticum* (Podp.) Barkworth et D.R. Dewey (= *Agropyron elongatum* (Host) P. Beauv.), которая несет ген устойчивости к листовая ржавчине *Lr19* (Gulyaeva et al., 2020). Сорт толерантен к комплексу вирусов, особенно к вирусу желтой карликовости ячменя.

В качестве отцовской формы использовался образец *Triticum ispahanicum* var. *ispahanorufum*. Высота растений за годы изучения была от 70 до 95 см, колос остистый, длиной до 9 см, колосковые чешуи красные, не опушенные, удлиненные, число зерен в колосе колебалось от 10 до 15 шт. Зерно удлиненное, красное (см. рис. 1). Масса 1000 зерен – до 31 г.

Анализ устойчивости образца *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum* к местным популяциям патогенов в условиях естественного инфекционного фона показал, что он имеет тип реакции (IT) на местную популяцию *Puccinia triticina* – 3 так же, как и сорт-реципиент ‘Добрыня’. Этот образец, как и сорт ‘Добрыня’, оказался восприимчив к саратовской популяции *P. graminis* (IT = 3) и средне-восприимчив к саратовской популяции *Blumeria graminis* (IT = 2) (табл. 2).

В 2010 г. в полевых условиях осуществили гибридизацию сорта ‘Добрыня’ и *Triticum ispahanicum* var. *ispahanorufum*. Получено 17 гибридных зерен, завязываемость зерен составила 39%. В 2011 г. в тепличных условиях провели анализ гибридного поколения  $F_1$ . Всхожесть семян гибридов составила 55%. Растения первого поколения ( $F_1$ ) демонстрировали промежуточные характеристики: колос без остей, но с небольшими остевидными отростками (до 5 мм). Отличительной чертой, по сравнению с сортом ‘Добрыня’, была красная окраска колосковых чешуи. Зерно имело удлиненную форму и красный цвет. Оценка устойчивости растений  $F_1$  к возбудителю бурой ржавчины (*Puccinia triticina*) показала их высокую резистентность (тип реакции IT = 0). В дальнейшем про-

вели возвратное скрещивание (беккроссирование) гибридов  $F_1$  с сортом ‘Добрыня’.

В 2011 г. на искусственном инфекционном фоне из популяции  $F_1BC_1$  отобрано растение, демонстрирующее характеристики, свойственные *Triticum aestivum*, такие как неломкий колос, легкий обмолот и средняя плотность колоса. Это растение обладало устойчивостью к *Puccinia triticina* и стало родоначальником линии GEN2021-512 (Добрыня/*T. ispahanicum*//Добрыня).

Цитогенетическое исследование линии GEN2021-512 показало наличие у нее 42 хромосом (рис. 2).

По своим морфологическим признакам эта линия классифицируется как var. *albidum* Körn. Растение имеет полупрямостоячий тип куста. Соломина слабо выполнена, с небольшим восковым налетом. Флаговый лист также характеризуется слабым восковым налетом. Колос веретеновидный, средней плотности, белого цвета, неломкий и безостый. Обмолот происходит легко. Зерно имеет удлиненную форму и белый цвет (см. рис. 1). Масса 1000 зерен – от 30 до 36 г. Происхождение белой окраски зерна у линии обусловлено неаллельным взаимодействием генов, отвечающих за красный цвет зерна у исходных образцов, что довольно часто наблюдается в нашей практике при скрещивании *T. aestivum* с тетраплоидными видами.

#### Генетический контроль устойчивости линии GEN2021-512 к *P. triticina*

На искусственно созданном инфекционном фоне все растения поколения  $F_1$ , полученного от скрещивания Добрыня/*T. ispahanicum*, демонстрировали устойчивость к *Puccinia triticina*, проявляющуюся как тип реакции IT = 0. Важно отметить, что исходные родительские формы были восприимчивы к этому патогену (IT = 3). Фитопатологический анализ указывает на интрогрессию генного материала от образца *Triticum ispahanicum* var.

**Таблица 2.** Характеристика линии GEN2021-512 и ее родительских форм по устойчивости к патогенам  
**Table 2.** Characterization of the GEN2021-512 line and its parent forms according to their resistance to pathogens

Образец / Accession	Тип реакции на заражение изолятами и популяциями / Type of the reaction to the infection caused by isolates and populations					
	<i>Puccinia triticina</i>					
	ПО19*/P019	ТК1 pp9	ТК3 pp26	ТК2 pp19	ПС09/PS09	ПС20/PS20
	2019 г.			2009 г.		2020 г.
‘Добрыня’	0	0	0	3	3	3
GEN2021-512	0	0	0	0	–	0
<i>Triticum ispahanicum</i> var. <i>ispahanorufum</i>	–	–	–	–	3	3
<i>Puccinia graminis</i>						
	Саратовская популяция / Saratov population		Лысогорская популяция / Lysye Gory population			
	2009 г.		2020 г.		2020 г.	
‘Добрыня’	3		3		4	
GEN2021-512	–		3		4	
<i>Triticum ispahanicum</i> var. <i>ispahanorufum</i>	3		3		–	
<i>Blumeria graminis</i>						
	Саратовская популяция / Saratov population					
	2009 г.			2022 г.		
‘Добрыня’	2			2		
GEN2021-512	–			2		
<i>Triticum ispahanicum</i> var. <i>ispahanorufum</i>	2			2		

Примечание: ПО19 – омская популяция 2019 г.; ПС09, ПС20 – саратовская популяция 2009 и 2020 г.; ТК1 – тест-клон, Челябинская обл., 2019 г.; ТК2 – тест-клон, Тамбовская обл., 2016 г.; ТК3 – тест-клон, Краснодарский край, 2017 г.

Note: PO19 – Omsk population, 2019; PS09 and PS20 – Saratov population, 2009 and 2020; TK1 – test clone, Chelyabinsk Province, 2019; TK2 – test clone, Tambov Province, 2016; TK3 – test clone, Krasnodar Territory, 2017



**Рис. 2.** Кариотип линии GEN2021-512

**Fig. 2.** Karyotype of the GEN2021-512 line

*ispahanorufum* в сорт 'Добрыня' и вероятную комбинацию гена или генов устойчивости, унаследованных от этого образца, с геном *Lr19* от сорта 'Добрыня'.

В 2012 г. на искусственном инфекционном фоне выполнили генетический анализ гибридов  $F_2$ , полученных от комбинации Добрыня/*T. ispahanicum*//Добрыня. Наблюдаемое (фактическое) расщепление растений по признаку устойчивости к *Puccinia triticina* составило 132 устойчивых и 89 восприимчивых, что близко к теоретически ожидаемому соотношению 9R : 7S. Критерий соответствия между теоретическими и фактическими данными ( $\chi^2 = 1,087$ ) не превышал табличного значения  $\chi^2$  для  $df1 = 3,84$ . На основании этих данных можно утверждать, что устойчивость линии GEN2021-512 обусловлена взаимодействием двух комплементарных генов: *Lr19* от сорта 'Добрыня' и неидентифицированного *Lr*-гена (или генов) от *Triticum ispahanicum* var. *ispahanorufum*. Идентичные результаты по комплементарному взаимодействию гена *Lr19* с другими *Lr*-генами, в том числе и неидентифицированными, встречались в наших предыдущих исследованиях (Gulyaeva et al., 2020). Фитопатологические исследования подтвердили, что устойчивость линии GEN2021-512 эффективна против патогена на всех стадиях развития растений, как в фазе проростков, так и у взрослых растений.

#### Идентификация генов устойчивости к *Puccinia triticina* и *P. graminis*

Для подтверждения и идентификации *Lr*-генов у линии GEN2021-512 проведен ПЦР-анализ с использованием 17 ДНК-маркеров *Lr*-генов. Этот молекулярный скрининг позволил выявить наличие гена *Lr19*, унаследованного от сорта 'Добрыня'. Мука, полученная из зерна этой линии, имеет желтый цвет, что служит дополнительным подтверждением присутствия *Lr19*, поскольку гены, определяющие этот признак, находятся в тесной связи с геном *Lr19* (Prins et al., 1996). Несмотря на то что ген *Lr19* утратил свою эффективность против *Puccinia triticina* в Саратовской области еще в 1994 г., мониторинг последних десятилетий показывает, что частота патотипа *pp19* в саратовской популяции патогена варьируется в диапазоне от 0 до 20% (Gulyaeva et al., 2020). К сожалению, идентифицировать другие гены устойчивости к листовой ржавчине, полученные от *Triticum ispahanicum* var. *ispahanorufum*, с помощью имеющегося набора ДНК-маркеров не удалось, что, вероятно, связано с тем, что эти гены еще не идентифицированы.

Параллельно с этим у изучаемой линии проводилась идентификация *Sr*-генов с использованием ДНК-маркеров, рекомендованных для маркер-вспомогательной селекции (MAS) и специфичных для генов *Sr2*, *Sr25*, *Sr26*, *Sr28*, *Sr31*, *Sr32*, *Sr35*, *Sr36*, *Sr38*, *Sr57*. Анализ выявил присутствие только гена *Sr25*, который тесно сцеплен с геном *Lr19*. Работа по идентификации *Lr*- и *Sr*-генов у данной линии проведена в ходе выполнения исследований по гранту РФФИ № 18-016-00170А.

#### Оценка линии GEN2021-512 по устойчивости к заболеваниям

Устойчивость линии GEN2021-512 к возбудителю листовой ржавчины была подтверждена и при оценке на искусственном инфекционном фоне с применением тест-клонов (ТК1, ТК2, ТК3) и популяций патогена (ПО19, ПС20), различающихся по генам вирулентности (Gulyaeva et al., 2020). Установлено полное отсутствие симптомов поражения ( $IT = 0$ ) у линии при заражении всеми

использованными тест-клонами и популяциями патогена, в отличие от сорта 'Добрыня' ( $IT = 3$  на ТК2 и ПС20) (см. табл. 2).

Исследование устойчивости линии к двум популяциям возбудителя стеблевой ржавчины (*Puccinia graminis*) (саратовской и лысогорской) показало ее восприимчивость к обеим популяциям. Сорт 'Добрыня' (с геном *Sr25*) продемонстрировал аналогичную реакцию. Приведенные выше данные по идентификации *Sr*-генов подтвердили наличие гена устойчивости *Sr25* у линии GEN2021-512, который эта линия унаследовала от сорта-реципиента 'Добрыня'.

По устойчивости к возбудителю мучнистой росы линия GEN2021-512 была на уровне сорта-реципиента 'Добрыня'.

#### Влияние генного материала *Triticum ispahanicum* на хозяйственно полезные признаки у линии GEN2021-512

Помимо устойчивости к патогенам, важно так же изучить влияние генного материала от *Triticum ispahanicum* var. *ispahanorufum* у линии GEN2021-512 на хозяйственно полезные признаки. Изучение линии показало, что средняя продолжительность периода «всходы – колошение» у линии GEN2021-512 составила 45 дней за три года наблюдений, что на три дня превышает показатель сорта 'Добрыня' и на два дня меньше, чем у *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum*. По этому признаку линия занимает промежуточное положение, значимо отличаясь от обеих родительских форм (табл. 3). Высота растений линии GEN2021-512 в среднем была 87 см, практически не отличалась от высоты сорта 'Добрыня' (86,6 см), но существенно превосходила *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum* (81,6 см).

Что касается устойчивости к полеганию, линия GEN2021-512 проявляет большую устойчивость, чем *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum*, и находится на одном уровне с сортом 'Добрыня' (см. табл. 3). Анализ влияния интрогрессии от *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum* в сорт 'Добрыня' на примере линии GEN2021-512 выявил значимое изменение только в продолжительности периода «всходы – колошение», в то время как высота растений и устойчивость к полеганию не претерпели существенных изменений по сравнению с реципиентом.

Анализ элементов продуктивности колоса показал, что некоторые показатели очень сильно зависят от условий вегетационного сезона (табл. 4). Так, длина колоса у линии GEN2021-512 в зависимости от года колебалась от 9,6 до 12,1 см, но ежегодно значимо превосходила по этому показателю сорт 'Добрыня' (8,4–10,6 см) и образец *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum* (6,9–8,1 см) (см. табл. 4).

Число колосков в колосе у линии GEN2021-512 варьировало от 16,6 до 18,9 и ежегодно было на уровне сорта-реципиента, но значимо выше, чем у образца *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum* (9,5–10,4). По числу зерен в колосе наблюдалась схожая картина, что и по числу колосков в колосе. По признаку плотности колоса линия GEN2021-512 значимо уступала ежегодно сорту-реципиенту, но значимо превосходила по этому показателю образец *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum*. По озерненности колоска линия GEN2021-512 значимо не отличалась от сорта 'Добрыня' как в 2023, так и в 2024 г., но значимо превосходила образец *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum*. Масса зерна с колоса у линии GEN2021-512 в 2023 г. была значимо выше, чем у сорта-реципиента и образца *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum*, но в 2024 г. линия и сорт 'Добрыня'

**Таблица 3.** Характеристика линии GEN2021-512 и ее родительских форм по морфологическим и фенологическим параметрам, а также по продуктивности зерна (Саратов, 2021–2024 гг.)**Table 3.** Characterization of the GEN2021-512 line and its parent forms according to morphological/phenological parameters and grain productivity (Saratov, 2021–2024)

Образец / Accession	2021		2022		2023		2024		среднее
		min-max		min-max		min-max		min-max	
<b>Высота растений, см / Plant height, cm</b>									
‘Добрыня’	79,5b	76–84	94,8b	89–98	98,2b	95–105	73,8b	69–77	86,6b
<i>Triticum ispahanicum</i> var. <i>ispahanorufum</i>	70,2a	67–72	91,0a	87–93	95,0a	90–100	70,0a	65–72	81,6a
GEN2021-512	78,0b	76–82	96,0b	90–101	98,5b	96–106	75,5b	70–81	87,0b
НСР	2,503		2,021		1,871		2,865		2,583
<b>Устойчивость к полеганию, балл / Resistance to lodging, score</b>									
‘Добрыня’	4,5c	4,0–4,8	4,8b	4,3–5,0	4,2b	4,0–4,5	4,5b	4,0–4,9	4,50b
<i>Triticum ispahanicum</i> var. <i>ispahanorufum</i>	3,9a	3,3–4,0	3,9a	3,5–4,0	3,7a	3,5–4,0	3,8a	3,5–4,0	3,83a
GEN2021-512	4,2b	4,0–4,7	4,8b	4,4–5,0	4,3b	4,1–4,6	4,3b	4,1–4,7	4,40b
НСР	0,261		0,316		0,271		0,260		0,250
<b>Продолжительность периода «всходы – колошение», дней / Duration of the period from germination to ear emergence, days</b>									
‘Добрыня’	38a	38–38	44a	43–44	45a	45–45	41a	41–41	42,0a
<i>Triticum ispahanicum</i> var. <i>ispahanorufum</i>	44b	43–45	49c	48–50	50c	49–51	46c	45–47	47,3c
GEN2021-512	43b	42–44	47b	46–48	48b	47–49	43b	43–43	45,3b
НСР <sub>05</sub>	2,012		1,506		1,712		1,051		1,117
<b>Масса 1000 зерен, г / 1000-grain weight, g</b>									
‘Добрыня’	28,2a	26–30	34,0b	32–37	36,3b	35–40	31,1a	30–35	32,40a
<i>Triticum ispahanicum</i> var. <i>ispahanorufum</i>	30,0ab	29–32	31,6a	30–33	32,3a	30–35	31,2a	30–33	31,27a
GEN2021-512	31,9c	29–33	36,4c	34–39	36,5b	35–40	34,9b	32–36	34,93b
НСР <sub>05</sub>	2,125		2,250		2,512		2,451		2,366
<b>Продуктивность зерна, г/м<sup>2</sup> / Grain yield, g/m<sup>2</sup></b>									
‘Добрыня’	–	–	317,4ns		279,0a		222,3b		272,9ns
GEN2021-512	–	–	324,4ns		295,6b		188,8a		269,6ns
НСР <sub>05</sub>	–	–	NS		15,6		33,1		NS

Примечание: числа в колонках, сопровождаемые различными буквами, различаются при уровне значимости 0,05, согласно множественным сравнениям по Дункану; *lim* – верхний и нижний предел

Note: the numbers accompanied by different letters in the columns differ at a significance level of 0.05, according to Duncan's multiple comparisons; *lim* – upper and lower limits

**Таблица 4.** Характеристика линии GEN2021-512, сорта 'Добрыня' и образца *Triticum ispahanicum* Heslot var. *ispahanorufum* Udachin по элементам продуктивности колоса (Саратов, 2023–2024 гг.)**Table 4.** Characterization of the GEN2021-512 line, cv. 'Dobrynya', and the accession of *Triticum ispahanicum* Heslot var. *ispahanorufum* Udachin according to ear productivity components (Saratov, 2023–2024)

Образец / Accession	Длина колоса, см / Ear length, cm	Число колосков, шт. / Number of spikelets, pcs.	Число зерен в колосе, шт. / Number of grains per ear, pcs.	Плотность колоса / Ear density	Масса зерна в колосе, г / Grain weight per ear, g	Озерненность колоска / Number of grains per spikelet	Масса 1000 зерен, г (расчетная) / 1000-grain weight, g (estimated)
<b>2023 г.</b>							
'Добрыня'	10,63 b	18,29 b	53,0 b	1,71 c	1,97 b	2,89 b	37,70b
GEN2021-512	12,15 c	18,92 b	53,43 b	1,51 b	2,17 c	2,82 b	40,80c
<i>Triticum ispahanicum</i> var. <i>ispahanorufum</i>	8,11a	10,4 a	13,2 a	1,20a	0,43 a	1,26 a	31,80a
HCP <sub>05</sub>	1,284	1,034	2,326	0,081	0,137	0,862	2,820
<b>2024 г.</b>							
'Добрыня'	8,44 b	16,06 b	37,86 b	1,89 c	1,42 b	2,36 b	37,58b
GEN2021-512	9,62 c	16,64 b	36,07 b	1,72 b	1,32 b	2,17 b	36,52b
<i>Triticum ispahanicum</i> var. <i>ispahanorufum</i>	6,95 a	9,5 a	11,1 a	1,35 a	0,34 a	1,16 a	30,00a
HCP <sub>05</sub>	1,140	2,023	3,064	0,102	0,151	0,821	2,174

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

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

между собой значимо не различались, а с образцом *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum* имели значимые различия не в пользу последнего. Расчетная масса 1000 зерен у изучаемой линии была значимо выше, чем у образца *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum*, но на одном уровне (2024 г.) или значимо выше (2023 г.), чем у сорта 'Добрыня'.

Также было отмечено, что фактическая масса 1000 зерен у линии GEN2021-512 в среднем за четыре года была значимо выше, чем у сорта 'Добрыня' и образца *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum* (см. табл. 3). Более высокая масса 1000 зерен у линии GEN2021-512 по сравнению с ее родительскими формами отмечалась ежегодно, кроме 2023 г., когда по этому показателю эта линия и сорт 'Добрыня' практически не различались.

Продуктивность линии GEN2021-512 и сорта 'Добрыня' изучали в конкурсном сортоиспытании в условиях, приближенных к производственным посевам, без сравнения с образцом *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum*, так как заранее было известно, что он менее продуктивный. Основной целью данной оценки являлось сравнение интрогрессивной линии с сортом-реципиентом для выявления эффектов интрогрессии от *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum* и определения селекционной ценности линии GEN2021-512 (см. табл. 3). Анализ продуктивности проводился в течение трех лет, и в среднем за этот период линия GEN2021-512 и сорт 'Добрыня' значимо не различались, но при изучении этого показателя по годам отмечено, что в наиболее благоприятные по количеству осад-

ков и температурному режиму годы линия GEN2021-512 по продуктивности была на уровне сорта-реципиента (2022 г.) или значимо выше его (2023 г.), но в условиях 2024 г., когда отмечались засушливые явления в период налива зерна, эта линия значимо уступила сорту 'Добрыня'.

Известно, что содержание белка в зерне у *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum* доходит до 25%, а по объему хлеба соответствует показателям сильных пшениц (Dogofeev et al., 1987). Исследований по влиянию этого вида на хлебопекарное качество генотипов, полученных от скрещиваний *T. aestivum*/*T. ispahanicum*, мы, к сожалению, не нашли в доступной нам литературе. В этой связи результаты, полученные нами по оценке линии GEN2021-512 по показателям качества, могут в некоторой степени раскрыть этот вопрос. Следует отметить, что линия сравнивалась с сортом-реципиентом 'Добрыня', который по показателям качества муки и хлеба Госсорткомиссией РФ отнесен к сильным пшеницам (табл. 5).

Оценка линии GEN2021-512 по содержанию белка в зерне и процент-клейковины показала, что она значительно превышает по этим показателям сорт 'Добрыня'. Качество клейковины у линии GEN2021-512 в среднем за годы изучения было на уровне сильных пшениц (75 ед. ИДК 3), в то же время у сорта 'Добрыня' этот показатель находился на уровне хорошего филлера (80 ед. ИДК 3). Не выявлено статистически значимых различий между линией и сортом-реципиентом по упругости теста (P) и отношению упругости к растяжимости (P/L). По пока-

**Таблица 5.** Характеристика линии GEN2021-512 и сорта 'Добрыня' яровой мягкой пшеницы по хлебопекарным качествам, в среднем за 2022–2024 гг.**Table 5.** Characterization of the GEN2021-512 line and spring bread wheat cv. 'Dobrynya' according to their breadmaking qualities, average for 2022–2024

Образец / Accession	Клейковина / Gluten		Белок, % / Protein, %	Показание альвеографа / Physical properties of dough (alveograph)			V, см <sup>3</sup> / V, cm <sup>3</sup>	Цвет мякиша / Crumb color
	Content, %	ИДК-3/ Strength		P, мм / P, mm	P/L	W, е. а./ W, a. u.		
'Добрыня'	37,12a*	79,60b	16,26a	84,70 ns	1,17 ns	265 ns	810 ns	желтый
GEN2021-512	44,06b	74,60a	18,08b	84,13 ns	0,99 ns	293 ns	795 ns	желтый
$\bar{x}$	40,59	77,10	17,17	84,42	1,08	279,0	797,5	
НСР <sub>05</sub>	4,575	3,448	1,819	NS	NS	NS	NS	

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

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

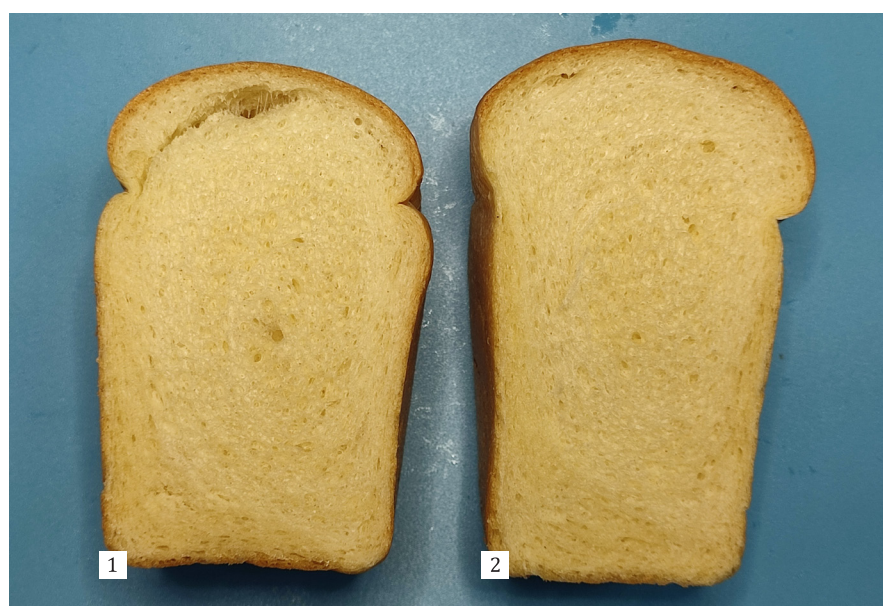
зателям «силы» муки и объема хлеба линия GEN2021-512 и сорт-реципиент между собой значимо не различались, но по «силе» муки линию можно отнести к группе сильных пшениц, а сорт 'Добрыня' – к группе ценных (см. табл. 5). Полученные данные по влиянию интрогрессии от *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum* на хлебопекарные качества на примере линии GEN2021-512 показали, что при использовании сорта 'Добрыня' в качестве реципиента не происходит ухудшения основных показателей качества, а по некоторым произошло даже улучшение.

Также отмечены некоторые особенности линии GEN2021-512. В частности, тесто из муки этой линии обладало большей эластичностью при замесе, а хлеб, получивший оценку 5, имел желтую окраску мякиша, как и у сорта 'Добрыня', и по органолептическим и вкусовым особенностям также был высоко оценен, обладал тонким и приятным ароматом (рис. 3).

### Заключение

В результате многолетней работы создана линия GEN2021-512 от скрещивания образца вида *T. ispahanicum* var. *ispahanorufum* и сорта яровой мягкой пшеницы 'Добрыня'. Линия обладает рядом селекционно ценных признаков: устойчивостью к возбудителю листовой ржавчины, более коротким периодом «всходы – колошение», повышенной массой 1000 зерен (в отдельные годы), а также высокими технологическими показателями качества муки и хлеба (белок – 18%, клейковина – 44,1%), а качество клейковины у этой линии в среднем за годы изучения было на уровне сильных пшениц (75 ед. ИДК 3).

Включение линии GEN2021-512 в селекционно-генетические исследования в условиях Нижневолжского сельскохозяйственного региона России позволит использовать потенциал этой линии для улучшения сортов яровой мягкой пшеницы.

**Рис. 3.** Хлебцы: 1 – сорт яровой мягкой пшеницы 'Добрыня'; 2 – линия GEN2021-512**Fig. 3.** Experimental small loaf: 1 – spring bread wheat cv. 'Dobrynya'; 2 – the GEN2021-512 line

## References / Литература

- Badaeva E.D., Keilwagen J., Knüpffer H., Waßermann L., Dedkova O.S., Mitrofanova O.P. et al. Chromosomal passports provide new insights into diffusion of emmer wheat. *PLoS One*. 2015;10(5):e0128556. DOI: 10.1371/journal.pone.0128556
- Barsukova V.S. Wheat's potential for resistance to heavy metals (Potentsial pshenitsy po ustoychivosti k tyazhelym metallam) [dissertation]. Novosibirsk; 1993. [in Russian] (Барсукова В.С. Потенциал пшеницы по устойчивости к тяжелым металлам: дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск; 1993).
- Belyanchikova Yu.V. Wheat striped mosaic virus, its properties and distribution (Virus polosatoy mozaiki pshenitsy, yego svoystva i rasprostraneniye) [dissertation]. Moscow: All-Union Research Institute of Phytopathology; 1969. [in Russian] (Белянчикова Ю.В. Вирус полосатой мозаики пшеницы, его свойства и распространение: дис. ... канд. биол. наук. Москва, ВНИИ фитопатологии; 1969).
- Chelak V.R. Phylogeny of the Ispahan emmer wheat *T. ispahanicum* Heslot. *Cytology and Genetics*. 1978;12(4):322-330. [in Russian] (Челак В.Р. Филогенетика исфahanской полбы – *T. ispahanicum* Heslot. *Цитология и генетика*. 1978;12(4):322-330).
- Chen Y., Liu Y., Zhang J., Torrance A., Watanabe N., Adamski N. et al. The *Triticum ispahanicum* elongated glume locus P2 maps to chromosome 6A and is associated with the ectopic expression of SVP-A1. *Theoretical and Applied Genetics*. 2022;135(7):2313-2331. DOI: 10.1007/s00122-022-04114-y
- Dorofeev V.F., Filatenko A.A., Migushova E.F., Udachin R.A., Yakubtsiner M.M. Flora of cultivated plants. Vol. 1. Wheat. D.D. Brezhnev (ed.). Leningrad: Kolos; 1979. [in Russian] (Дорофеев В.Ф., Филатенко А.А., Мигушова Э.Ф., Удачин Р.А., Якубцинер М.М. Культурная флора СССР. Т. 1. Пшеница / под ред. Д.Д. Брежнева. Ленинград: Колос; 1979).
- Dorofeev V.F., Udachin R.A., Semenova L.V., Novikova M.V., Gradchaninova O.D., Shitova I.P., Merezhko A.F., Filatenko A.A. Wheats of the world: species composition, breeding achievements, modern problems, and source material (Pshenitsy mira: vidovoy sostav, dostizheniya selektsii, sovremennyye problemy i iskhodny material). V.F. Dorofeev (ed.). 2nd ed. Leningrad: Agropromizdat; 1987. [in Russian] (Дорофеев В.Ф., Удачин Р.А., Семенова Л.В., Новикова М.В., Градчанинова О.Д., Шитова И.П., Мережко А.Ф., Филатенко А.А. Пшеницы мира: видовой состав, достижения селекции, современные проблемы и исходный материал / под ред. В.Ф. Дорофеева. 2-е изд. Ленинград: Агропромиздат; 1987).
- 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).
- Grigorieva O.G. Resistance of various wheat and *Aegilops* taxa to rust pathogens (Ustoychivost razlichnykh taksonov pshenitsy i egilopsa k vzbuditel'yam rzhavchiny) [dissertation]. Leningrad: VIR; 1975. [in Russian] (Григорьева О.Г. Устойчивость различных таксонов пшеницы и эгилоса к возбудителям ржавчины: дис. ... канд. биол. наук. Ленинград: ВИР; 1975).
- Guidelines for trials for distinctness, uniformity, and stability: [website]. [in Russian] (Методики испытаний на ООС (однородность, отличимость, стабильность): [сайт]). URL: <https://gossortrf.ru/publication/metodiki-ispytaniya-na-oos.php> [дата обращения: 05.12.2024].
- Gulyaeva E.I. Methods for the identification of genes for resistance of wheat to leaf rust using DNA markers and characteristics of effective *Lr* genes (Metody identifikatsii genov ustoychivosti pshenitsy k buroy rzhavchine s ispol'zovaniyem DNK-markerov i kharakteristika effektivnosti *Lr*-genov). St. Petersburg: VIZR; 2012. [in Russian] (Гультяева Е.И. Методы идентификации генов устойчивости пшеницы к бурой ржавчине с использованием ДНК-маркеров и характеристика эффективности *Lr*-генов. Санкт-Петербург: ВИЗР; 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/agrobology.2020.1.27eng
- Khoshbakht K. Esfahanian emmer (*Triticum ispahanicum* Heslot) – a case of an extinct on-farm crop. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*. 2009; Suppl 92:189-195.
- Kihara H., Yamashita K., Tanaka M. Morphological, physiological, genetic and cytological studies in *Aegilops* and *Triticum* collected from Pakistan, Afghanistan and Iran. In: K. Yamashita (ed.). *Results of the Kyoto University Scientific Expedition to the Karakoram and Hindukush*. Kyoto: Kyoto University; 1965. p.1-118.
- Kuckuck H. Report to the Government of Iran on the distribution and variation of cereals in Iran (including their related wild species). Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations. Report number: 517; 1956.
- Mac Key J. Species relationship in *Triticum*. In: J. Mac Key (ed.). *Proceedings of the Second International Wheat Genetics Symposium*. Lund: Hereditas; 1966. p.237-276.
- 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.
- McIntosh R.A. Catalogue of Gene Symbols for Wheat, 2024 edition: [website]. Available from: [https://wheat.pw.usda.gov/GG3/Wheat\\_Gene\\_Catalog\\_Documents](https://wheat.pw.usda.gov/GG3/Wheat_Gene_Catalog_Documents) [accessed Apr. 10, 2025].
- Merezhko A.F., Udachin R.A., Zuev E.V., Filatenko A.A., Serbin A.A., Lyapunova O.A., Kosov V.Yu., Kurkiev U.K., Okhotnikova T.V., Navruzbekov N.A., Boguslavskiy R.L., Abdulaeva A.K., Chikida N.N., Mitrofanova O.P., Potokina S.A. Replenishment, preservation in living form and study of the world collection of wheat, *Aegilops* and triticale: guidelines (Popolneniye, sokhraneniye v zhivom vide i izucheniye mirovoy kolleksii pshenitsy, egilopsa i triticale: metodicheskiye ukazaniya). A.F. Merezhko (ed.). St. Petersburg: VIR; 1999. [in Russian] (Мережко А.Ф., Удачин Р.А., Зуев Е.В., Филатенко А.А., Сербин А.А., Ляпунова О.А., Косов В.Ю., Куркиев У.К., Охотникова Т.В., Наврузбеков Н.А., Богуславский Р.Л., Абдулаева А.К., Чикида Н.Н., Митрофанова О.П., Потокина С.А. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилоса и тритикале: методические указания / под ред. А.Ф. Мережко. Санкт-Петербург: ВИР; 1999).

- Migushova E.F., Zhukovsky P.M. Towards the knowledge of wheat *T. ispahanicum* Heslot. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1969;39(3):71-90. [in Russian] (Мигушова Э.Ф., Жуковский П.М. К познанию пшеницы *T. ispahanicum* Heslot. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1969;39(3):71-90).
- Miller T.E. Systematics and evolution. In: F.G.H. Lupton (ed.). *Wheat Breeding*. Dordrecht: Springer; 1987. p.1-30. DOI: 10.1007/978-94-009-3131-2\_1
- Murashev V.V., Morozova Z.A. Morphogenesis and structural organization of Isfahan wheat – *Triticum ispahanicum* Heslot; 2n = 28, the A<sup>n</sup>B genomes. *Science Almanac*. 2018;4-3(42):172-180. [in Russian] (Мурашев В.В., Морозова З.А. Морфогенез и структурная организация пшеницы исфаханской – *Triticum ispahanicum* Heslot; геном А<sup>n</sup>В; 2n = 28. *Научный альманах*. 2018;4-3(42):172-180). DOI: 10.17117/na.2018.04.03.172
- Pausheva Z.P. Workshop on plant cytology (Praktikum po tsitologii rasteniy). 4th ed. Moscow: Agropromizdat; 1988. [in Russian] (Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. 4-е изд. Москва: Агропромиздат; 1988).
- Prins R., Marais G.F., Marais A.S., Janse B.J., Pretorius Z.A. A physical map of the *Thinopyrum*-derived *Lr19* translocation. *Genome*. 1996;39(5):96-126. DOI: 10.1139/g96-126
- Roelfs A.P., Singh R.P., Saari E.E. Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management. Mexico: CIMMYT; 1992. Available from: <https://repository.cimmyt.org/entities/publication/e8a64950-5c39-4df2-b292-1ee1bfa5aa91> [accessed Jan. 20, 2025].
- Shaimyardyanov N.A. Resistance of wheat species to *Septoria nodorum* Berk. (Ustoychivost vidov pshenitsy k *Septoria nodorum* Berk.). *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 1989;(6):188-192. [in Russian] (Шаймярдьянов Н.А. Устойчивость видов пшеницы к *Septoria nodorum* Berk. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 1989;(6):188-192).
- Watanabe N., Sekiya T., Sugiyama K., Yamagishi Y., Imamura I. Telosomic mapping of the homoeologous genes for the long glume phenotype in tetraploid wheat. *Euphytica*. 2002;128:129-134. DOI: 10.1023/a:1020633904782
- Zhou Y., Zhao X., Li Y., Xu J., Bi A., Kang L. et al. *Triticum* population sequencing provides insights into wheat adaptation. *Nature Genetics*. 2020;52(12):1412-1422. DOI: 10.1038/s41588-020-00722-w
- Zhukovsky P.M., Migushova E.F. The most highly immune endemic gene pool for breeding resistant wheat cultivars through remote hybridization (Naiboleye vysokoimmunny endemichny genofond dlya vyvedeniya ustoychivykh sortov pshenitsy putem otdalennoy gibridizatsii). *Vestnik selskokhozyaystvennoy nauki = Agricultural Science Bulletin*. 1969;(2):9-20. [in Russian] (Жуковский П.М., Мигушова Э.Ф. Наиболее высокоиммунный эндемичный генофонд для выведения устойчивых сортов пшеницы путем отдаленной гибридизации. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1969;(2):9-20).

### 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>

**Елена Ивановна Гультяева**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, gullena@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7948-0307>

**Зульфия Ерназаровна Фитилева**, младший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, Zulya0305@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6751-3789>

**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>

**Elena I. Gulyaeva**, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, gullena@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7948-0307>

**Zulfiya E. Fitileva**, Associate Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, Zulya0305@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6751-3789>

**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 20.01.2025; одобрена после рецензирования 04.07.2025; принята к публикации 11.08.2025.  
The article was submitted on 20.01.2025; approved after reviewing on 04.07.2025; accepted for publication on 11.08.2025.