

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1298-1308>



УДК 633.111:632.485.12

Поиск доноров *Stb*-генов устойчивости к септориозу среди коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы

© 2025. А. В. Харина¹✉, Н. В. Новоселова¹, Е. В. Пахолкова²

¹ ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация,

² ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии», Московская область, Российская Федерация

*Септориоз – одна из распространенных и вредоносных болезней яровой пшеницы, вызывающая снижение урожая на 35–50 %. Для успеха селекции на резистентность к этой болезни необходим устойчивый исходный материал с молекулярно-генетически идентифицированными Stb-генами. Цель исследований – провести поиск сортов-доноров этих генов и источников устойчивости яровой мягкой пшеницы к возбудителю септориоза *Zymoseptoria tritici*. Изучали 146 сортов яровой мягкой пшеницы из мировой коллекции ВИР с помощью молекулярно-генетических методов на содержание генов Stb2, Stb9, Stb11 и Stb13, а также устойчивость к заражению распространенными штаммами возбудителя болезни. С помощью ПЦР искомые гены были идентифицированы у 57,7 % изученных сортов. Встречаемость генов Stb2, Stb9, Stb11 и Stb13 в изученных генотипах составила 14,3; 55,9; 67,9 и 79,8 % соответственно. Все четыре гена идентифицированы у сортов Тепсей и Еминент. В результате лабораторной оценки сортов-доноров при искусственном заражении выделено 4 высокостойких (Кинельская Юбилейная, Ингала (Россия), Веста (Беларусь), Нина Mai 10 (Китай)) и 11 устойчивых сортов с замедленным развитием болезни (Экада 70, Уральская Кукушка, Памяти Юдина, Хуторянка, Ульяновская 105, Красноярская 12, Волошинка, Лада (Россия), Dai Chun 2, Yanzhan №1, Long Chun 8 (Китай)). Можно предположить, что ген Stb13 играет определенную роль в формировании устойчивости яровой пшеницы против использованных для заражения штаммов. Достоверная прибавка урожая с 1 м² к стандарту Баженка отмечена у сортов Ингала, Веста, Экада 70 и Ульяновская 105. Эти коллекционные образцы яровой мягкой пшеницы могут быть вовлечены в селекционный процесс как высокопродуктивные доноры идентифицированных Stb-генов.*

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., *Zymoseptoria tritici*, гены резистентности, степень поражения

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого» (тема №FNWE-2025-0001).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Харина А. В., Новоселова Н. В., Пахолкова Е. В. Поиск доноров Stb-генов устойчивости к септориозу среди коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(6):1298–1308. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1298-1308>

Поступила: 26.05.2025

Принята к публикации: 21.10.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

Search for donors of Stb genes for resistance to septoria among collection samples of spring soft wheat

© 2025. Anastasia V. Kharina¹✉, Nina V. Novoselova¹, Elena V. Pakholkova²

¹Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation,

²All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology, Moscow region, Russian Federation

*Septoria tritici blotch is one of the most common and harmful diseases of spring wheat, causing a decrease in yield by 35–50 %. For successful breeding for resistance to this disease, stable source material with molecular and genetically identified Stb genes is needed. The purpose of the research is to search for donor varieties of these genes and sources of resistance of spring soft wheat to the causative agent of septoria *Zymoseptoria tritici*. There were analyzed 146 cultivars of spring soft wheat from the world's VIR collection using molecular genetic methods for the content of the Stb2, Stb9, Stb11 and Stb13 genes, as well as for resistance to infection with common strains of the causative agent of the disease. Using PCR, the desired genes were identified in 57.7 % of the studied cultivars. The occurrence of Stb2, Stb9, Stb11, and Stb13 genes in the studied genotypes was 14.3 %, 55.9, 67.9 and 79.8 % respectively. All four genes have been identified in the 'Tepsey' and 'Eminent' cultivars. As a result of laboratory evaluation of donor varieties with artificial infection, 4 highly resistant cultivars were identified ('Kinelskaya Yubileynaya', 'Ingala' (Russia), 'Vesta' (Belarus), 'Hua Mai 10' (China)) and 11 resistant cultivars*

with delayed disease development ('Ekada 70', 'Uralskaya Kukushka', 'Pamyaty of Yudin', 'Khutoryanka', 'Ulianovskaya 105', 'Krasnoyarskaya 12', 'Voloshinka', 'Lada' (Russia), 'Dai Chun 2', 'Yanzhan No. 1', 'Long Chun 8' (China)). It can be assumed that the *Stb13* gene plays a certain role in the formation of resistance of spring wheat against the strains used for infection. A significant increase in yield from 1 m² to the standard 'Bazhenka' cultivar was noted in 'Ingala', 'Vesta', 'Ekada 70' and 'Ulianovskaya 105' cultivars. These collection samples of spring soft wheat can be involved in the breeding process as highly productive donors of the identified *Stb* genes.

Keywords: *Triticum aestivum* L., *Zymoseptoria tritici*, resistance genes, degree of damage

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (topic No. FNWE-2025-0001).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert assessment of this work.

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

For citation: Kharina A. V., Novoselova N. V., Pakholkova E. V. Search for donors of *Stb* genes for resistance to septoria among collection samples of spring soft wheat. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1298–1308. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1298-1308>

Received: 26.05.2025

Accepted for publication: 21.10.2025

Published online: 26.12.2025

Мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) является основной продовольственной культурой в Российской Федерации. Согласно данным Росстата, в 2024 г. сборы пшеницы в РФ составили 82419,3 тыс. тонн, что на 11,2 % меньше, чем в предыдущем. Это произошло как за счет уменьшения площади посева, так и снижения урожайности (на 7,9 %)¹, которая во многом определяется погодными условиями периода вегетации в регионах возделывания. Однако вредоносность патогенов, повреждающих растения, также существенно влияет на уровень урожайности культуры. Снижение урожая пшеницы от болезней во многом зависит от сортовых особенностей и погодных условий в период вегетации [1].

Одной из распространенных и вредоносных болезней яровой пшеницы является септориоз, вызванный анаморфными, несовершенными грибами рода *Zymoseptoria*. Наиболее распространенный вид *Zymoseptoria tritici* (Desm.) Quaedv. et Crous поражает листовую поверхность растений [2, 3]. Потери урожая от этой болезни составляют 15–30 % и при эпифитотиях достигают 35–50 % [4]. Кроме того, снижается содержание белка, клейковины и ухудшается всхожесть семян [5].

В настоящее время молекулярно-генетически идентифицирован и описан 21 ген устойчивости к септориозной пятнистости листьев STB (*Septoria tritici blotch*), используемых в селекции. В генотипе большинства изученных в Великобритании и континентальной Европе сортов встречается ген *Stb6*, снижающий симптомы поражения растений

в полевых условиях. С устойчивостью растений в стадии проростков связан ген *Stb15*, распространенный в европейских сортах, а также *Stb18* и *Stb19*. Устойчивость некоторых сортов пшеницы в США продолжительное время обеспечивают гены *Stb1* и *Stb4* [6].

На территории регионов России, где используется целенаправленная селекция на иммунитет к возбудителю листовой септориозной пятнистости – *Z. tritici*, с высокой частотой встречаются гены вирулентности *Stb1*, *Stb5* и *Stb7*, эффективными являются *Stb2*, *Stb3* и *Stb4*. Против изолятов из Центрально-Черноземного района эффективностью обладали гены *Stb1*, *Stb4*, *Stb5* и *Stb7*, менее результативны – *Stb2* и *Stb3* [2]. В полевых условиях резистентность к STB обычно проявляется как количественный признак, контролируемый олиго- или полигенной системой. Для создания сортов, сохраняющих устойчивость продолжительное время, необходимо сочетание в селекционном материале нескольких наиболее эффективных генов (пирамидирование) [7].

Успех селекции в создании устойчивых к септориозу сортов зависит от выбора исходного материала. Поиск новых источников и доноров устойчивости возможен среди ресурсов мирового генофонда и образцов из различных генетических коллекций [8].

Цель исследований – поиск доноров *Stb*-генов и источников устойчивости среди коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы.

¹Федеральная служба государственной статистики (Росстат) [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 16.04.2025).

Научная новизна – определение влияния молекулярно-генетически идентифицированных генов устойчивости к септориозу листьев в генотипах коллекционных сортов яровой мягкой пшеницы на резистентность к штаммам *Z. tritici* из коллекции Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии (ВНИИФ).

Материал и методы. Объектом исследований служили 146 сортов яровой мягкой пшеницы из коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (г. Санкт-Петербург), изученные по хозяйственно ценным признакам в лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы Федерального аграрно-научного центра Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого (г. Киров) в 2022–2024 гг. Исходя из имеющейся материально-технической базы, для молекулярно-генетической

идентификации были выбраны гены: *Stb2* возрастной устойчивости; *Stb9*, *Stb11* и *Stb13*, связанные с устойчивостью проростков.

ДНК выделены из 5-дневных проростков методом СТАВ [9]. Для идентификации *Stb*-генов использовали SSR-маркеры, взятые из базы данных GrainGenes². В качестве положительного контроля служили сорта: Epos (*Stb2*), Tonic (*Stb9*), Терция (*Stb11*) и Ble seigle (*Stb13*) [10].

Для определения наличия гена возрастной устойчивости к септориозу *Stb2* использовали маркеры Xgwm389 и Xgwm533, для идентификации генов *Stb11* и *Stb13* – маркеры Xbarc008 и Xwmc396 соответственно [10].

С целью поиска маркера Xwmc317, связанного с геном *Stb9*, идентифицировали ампликон размером 139 пар нуклеотидов (табл. 1).

**Таблица 1 – SSR-маркеры, использованные для выявления *Stb*-генов /
Table 1 – SSR markers used to identify *Stb*-genes**

| Ген / Gene | Маркер / Marker | Праймеры, нуклеотидная последовательность (5'-3') / Primer, nucleotide sequence (5'-3') | Источ- ник / Source | Программа для амплификации / Program for amplification |
|---------------|--------------------|---|---------------------------|---|
| <i>Stb2</i> | Xgwm389 | F: ATCATGTCGATCTCCTTGACG R: TGCCATGCACATTAGCAGAT | [11] | I – 95 °C – 5 мин; II – 35 циклов: 95 °C – 30 с, 72 °C – 2 мин; III – 72 °C – 10 мин / I – 95 °C – 5 min; II – 35 cycles: 95 °C – 30 s, 72 °C – 2 min; III – 72 °C – 10 min |
| | Xgwm533 | F: AAGGCAGAATCAAACGGAATA R: GTTGCTTTAGGGGAAAGCC | | I – 94 °C – 3 мин; II – 45 циклов: 94 °C – 1 мин, 60 °C – 1 мин, 72 °C – 2 мин; III – 72 °C – 10 мин / I – 94 °C – 3 min; II – 45 cycles: 94 °C – 1 min, 60 °C – 1 min, 72 °C – 2 min; III – 72 °C – 10 min |
| <i>Stb9</i> | Xwmc317 | F: TGCTAGCAATGCTCCGGGTAAC R: TCACGAAACCTTTCTCCTCC | [12] | I – 95 °C – 5 мин; II – 35 циклов: 95 °C – 1 мин, 65 °C – 50 с, 72 °C – 1 мин; III – 72 °C – 7 мин / I – 95 °C – 5 min; II – 35 cycles: 95 °C – 1 min, 65 °C – 50 s, 72 °C – 1 min; III – 72 °C – 7 min |
| <i>Stb11</i> | Xbarc008 | F: GCGGGAATCATGCATAGGAAAACAGAA R: GCGGGGGCGAAACATACACATAAAAACA | [12] | I – 95 °C – 3 мин; II – 35 циклов: 95 °C – 45 с, 61 °C – 45 с, 72 °C – 45 с; III – 72 °C – 10 мин / I – 95 °C – 3 min; II – 35 cycles: 95 °C – 45 s, 61 °C – 45 s; III – 72 °C – 10 min |
| <i>Stb13</i> | Xwmc396 | F: TGCACGTGTTTACCTTCACGGA R: CAAAGCAAGAACCCAGAGCCACT | [13] | I – 95 °C – 2 мин; II – 35 циклов: 95 °C – 1 мин, 61 °C – 50 с, 72 °C – 1 мин; III – 72 °C – 5 мин / I – 95 °C – 2 min; II – 35 cycles: 95 °C – 1 min; 61 °C – 50 s, 72 °C – 1 min; III – 72 °C – 5 min |

²GrainGenes. A database for Triticeae and Avena. Albany, CA, 2021. [Электронный ресурс].
URL: <https://wheat.pw.usda.gov> (дата обращения: 12.01.2022).

Состав реакционной смеси на 10 мкл: ДНК – 2 мкл (50 нг), 10 x ПЦР-буфер – 1 мкл («СибЭнзим», Россия); смесь dNTPs (4mM) – 0,5 мкл («СибЭнзим», Россия); по 1 мкл прямого и обратного праймера 10pM (Синтол, Россия); Таq-полимераза – 3,75 ед/мкл («СибЭнзим», Россия); 3,75 мкл – ddH₂O. В буфер вносили MgCl₂ (1,5 mM).

ПЦР выполнены на амплификаторе ТП4-ПЦР-01-«Терцик» («НПО ДНК-технология», Россия). ПЦР-продукты были разделены в процессе вертикального электрофореза в полиакриламидном геле и окрашены бромистым этидием.

Результаты электрофореза документировали с помощью видеосистемы «Взгляд» и ПО IC Measure («Компания Хеликон», Россия). Размер амплифицированных фрагментов определяли с использованием 100bp+2Kb+3Kb ДНК-маркеров веса («СибЭнзим», Россия).

Оценку сортов по степени поражения септориозом проводили на отрезках листьев, используя методику Г. В. Пыжиковой [14]. Растения выращивали в камерах искусственного климата до фазы полностью развернувшегося 3-го листа. Отрезки листовой пластинки длиной 10 см раскладывали в поддоны на фильтровальную бумагу, закрывая срезы ватой, смоченной раствором бензимидазола (0,4 г/л). Для заражения использовали смесь 5 штаммов *Z. tritici* (НН 2-2, НН 4-1, НН 4-4, НН 4-5 и НН 4-7) различной степени патогенности, выделенных с пораженных растений озимой пшеницы сорта Скипетр в Нижегородской области. Штаммы возбудителя получены из Государственной коллекции фитопатогенных микроорганизмов, созданной на базе ФГБНУ ВНИИ фитопатологии. Суспензию спор в кон-

центрации 10⁷ наносили на отрезки листьев пшеницы. Повторность 10-кратная.

По степени поражения септориозом образцы классифицировали на следующие группы:

RR – очень высокая и высокая устойчивость (поражение от 0 до 5,0 %);

R – устойчивость (от 6,0 до 15,0 %);

M – умеренная восприимчивость (от 16,0 до 25,0 %);

S – восприимчивость (от 26,0 до 65,0 %);

SS – высокая и очень высокая восприимчивость (от 66,0 до 100 %) [15].

Оценку проводили в динамике через каждые 5 дней до полной гибели образцов.

Для оценки скорости развития инфекции на листовой пластинке рассчитывали показатель ИУ (индекс устойчивости) как соотношение площади под кривой развития болезни (ПКРБ) у изучаемого сорта и восприимчивого контроля (сорт Баженка). Особый интерес представляют сорта с замедленным развитием болезни, то есть с высоким (0,10–0,35) и средним (0,36–0,65) ИУ [16].

Хозяйственно полезные признаки образцов яровой мягкой пшеницы изучали в естественных полевых условиях в 2022–2024 гг. в двукратной повторности на делянках площадью 1,0 м².

Полученные данные обрабатывали методом вариационной статистики с использованием пакета программы Agros 2.07.

Результаты и их обсуждение. В ходе исследований изучено 146 сортов яровой мягкой пшеницы на наличие генов *Stb2*, *Stb9*, *Stb11* и *Stb13*. Среди изученных сортов *Stb*-гены при встречаемости 57,5 % идентифицированы у 84 (табл. 2).

**Таблица 2 – Сорта яровой мягкой пшеницы с *Stb*-генами /
Table 2 – Spring soft wheat cultivars with *Stb* genes**

| Ген / Gene | Cultivar / Cultivar | Степень поражения, % / Degree of damage, % |
|--------------|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| <i>Stb2</i> | Sable, Bowie, Tercie, Diamant, Nova Prata, №1 мутант остистый, Агата, Бисерт, Юлия, Мерцана / ‘Sable’, ‘Bowie’, ‘Tercie’, ‘Diamant’, ‘Nova Prata’, №1 mutant ostisty’, ‘Agata’, ‘Bisert’, ‘Yuliya’, ‘Mertsana’ | 29,0...84,0 |
| <i>Stb9</i> | Диаблон, Tonic / ‘Diablon’, ‘Tonic’ | 18,2; 22,0 |
| <i>Stb11</i> | Алтайская Жница, Женис, T9111, Sinton / ‘Altayskaya Zhnitsa’, ‘Zhenis’, T9111, ‘Sinton’ | 19,0...78,0 |

Продолжение табл. 2

| 1 | 2 | 3 |
|------------------------|--|-------------|
| <i>Stb13</i> | Оренбургская 22, Ингала, Кинельская Юбилейная, Сибирская 21, Памяти Юдина, Tian Xuan 16, Shen 68-71 / ‘Orenburgskaya 22’, ‘Ingala’, ‘Kinelsraya Yubileynaya’, ‘Sibirskaya 21’, ‘Pamyati Yudina’, ‘Tian Xuan 16’, ‘Shen 68-71’ | 0,09...42,0 |
| <i>Stb2, 9, 11, 13</i> | Тепсей, Eminent / ‘Tepsey’, ‘Eminent’ | 40,0; 74,0 |
| <i>Stb9, 11, 13</i> | Сибирский Альянс, Красноуфимская 100, Икар, Памяти Леонтьева, Омская 41, Екатерина, Тулайковская 10, Тюменская 30, Воронежская 18, Экада 70, Тобольская, Ульяновская 101, Злата, Московская 35, Курская 2038, Альмата, Черноземоуральская 2, Dian 662-525-2, Hong Mai 5, BL 1530, Liao Chun 6, Korinta, Naxos, Yun Mai 27, Bonpain, Hua Mai 10, Mao Ying A Fu, Qing Chun 25, Combination X, W 3534, KWS Torridon, Dai Chun 2, Long Chun 8, Yanzhan №1 / ‘Sibirskiy Alyans’, ‘Krasnoufimskaya 100’, ‘Ikar’, ‘Pamyati Leontyeva’, ‘Omskaya 41’, ‘Ekaterina’, ‘Tulaykovskaya 10’, ‘Tyumenskaya 30’, ‘Voronezhskaya 18’, ‘Ekada 70’, ‘Tobolskaya’, ‘Ulyanovskaya 101’, ‘Zlata’, ‘Moskovskaya 35’, ‘Kurskaya 2038’, ‘Almata’, ‘Chernozemouralskaya 2’, ‘Dian 662-525-2’, ‘Hong Mai 5’, ‘BL 1530’, ‘Liao Chun 6’, ‘Korinta’, ‘Naxos’, ‘Yun Mai 27’, ‘Bonpain’, ‘Hua Mai 10’, ‘Mao Ying A Fu’, ‘Qing Chun 25’, ‘Combination X’, W 3534, ‘KWS Torridon’, ‘Dai Chun 2’, ‘Long Chun 8’, ‘Yanzhan №1’ | 4,0...86,0 |
| <i>Stb11, 13</i> | Уралосибирская, Бурятская 551, Хуторянка, Ульяновская 105, Воронежская 20, Дуэт, Добрыня, Красноярская 12, Сигма, Курагинская 2, Зауралочка, Рима, Канюк, Да 742, Mellisos, Yun Mai 35 / ‘Uralosibirskaya’, ‘Buryatskaya 551’, ‘Hutoryanka’, ‘Ulyanovskaya 105’, ‘Voronezhskaya 20’, ‘Duet’, ‘Dobrynya’, ‘Krasnoyarskaya 12’, ‘Sigma’, ‘Kuraginskaya 2’, ‘Zauralochka’, ‘Rima’, ‘Kanyuk’, ‘Da 742’, ‘Mellisos’, ‘Yun Mai 35’ | 11,0...90,0 |
| <i>Stb9, 13</i> | Амир, Тюменская 29, Кинельская 2010, Уральская Кукушка, Волошинка, Чайка, Веста, Лада / ‘Amir’, ‘Tyumenskaya 29’, ‘Kinelskaya 2010’, ‘Uralskaya Kukushka’, ‘Voloshinka’, ‘Chayka’, ‘Vesta’, ‘Lada’ | 2,0...78,0 |
| <i>Stb9, 11</i> | Экада 109 / ‘Ekada 109’ | 34,0 |

Ген *Stb2* идентифицирован у 14,3 % образцов (рис. 1).

Распространенность в генотипах изученного коллекционного материала яровой пшеницы генов *Stb9*, *Stb11* и *Stb13* составила 55,9; 67,9 и 79,8 % соответственно. Электро-

форограммы поиска некоторых образцов представлены на рисунках 2, 3 и 4. Сочетание всех четырех генов отмечено у сортов Тепсей и Eminent. Наиболее часто (у 40,5 % сортов) в генотипах совместно встречались гены *Stb9*, *Stb11* и *Stb13*.

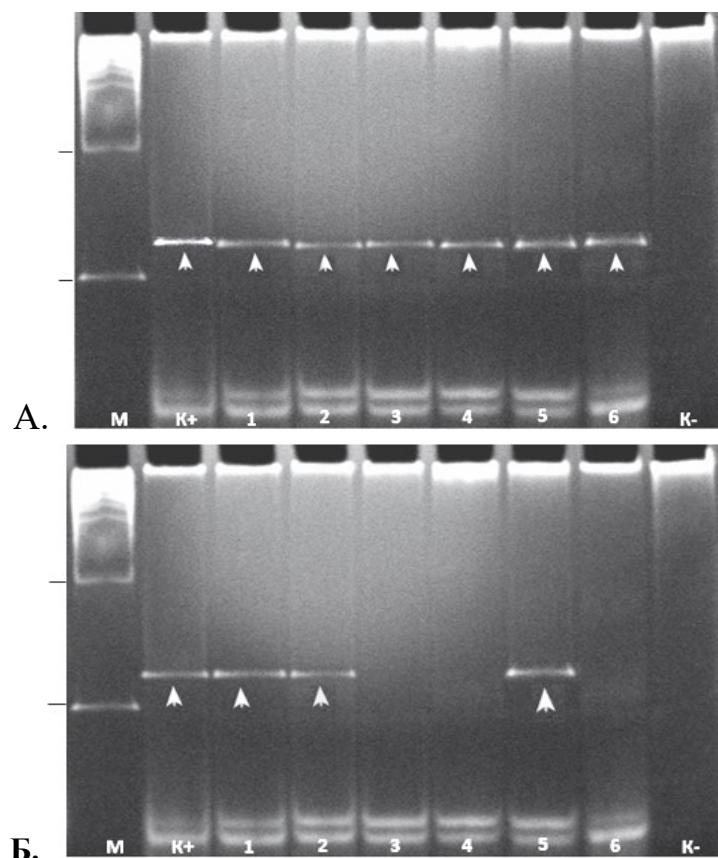


Рис. 1. Гель-электрофорез продуктов амплификации с праймерами к маркеру Xgwm 389 (*Stb2*) в 8% полиакриламидном геле (ПААГ) – А: 1 – Sable; 2 – Agata; 3 – Bowie; 4 – Bisert; 5 – Tercie; 6 – Julia; Б: 1 – №1 Мутант остисты; 2 – Diamant; 3 – Злата; 4 – Лада; 5 – Мерзана; 6 – Веста; K+ – положительный контроль (сорт Epos); K- – отрицательный контроль; М – маркер молекулярного веса (размер бэндов снизу вверх: 100, 200 п. н.). Стрелкой обозначен целевой ампликон (120 п. н.) /

Fig. 1. Gel electrophoresis of amplification products with primers for the Xgwm 389 (*Stb2*) marker in 8% polyacrylamide gel (PAAG) – A: 1 – ‘Sable’; 2 – ‘Agata’; 3 – ‘Bowie’; 4 – ‘Bisert’; 5 – ‘Tercie’; 6 – ‘Julia’; B: 1 – No. 1 Mutant Ostisty; 2 – ‘Diamant’; 3 – ‘Zlata’; 4 – ‘Lada’; 5 – ‘Merzana’; 6 – ‘Vesta’; K+ – positive control (cultivar ‘Epos’); K- – negative control; M – molecular weight marker (band size from bottom to top: 100, 200 p. n.). The arrow indicates the target amplicon (120 p. n.)

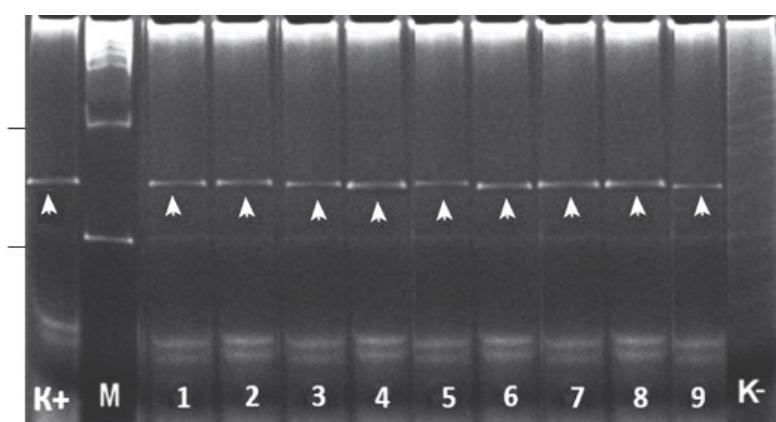


Рис. 2. Гель-электрофорез продуктов амплификации с праймерами к маркеру Xwmc 317 (*Stb9*) в 8% ПААГ: 1 – Диаблон; 2 – Тепсей; 3 – Амир; 4 – Икар, 5 – Уральская Кукушка; 6 – Курская 2038; 7 – Eminent; 8 – Dai Chun 2; 9 – Yanzhan №1; K+ – положительный контроль (сорт Tonic); K- – отрицательный контроль; М – маркер молекулярного веса (размер бэндов снизу вверх: 100, 200 п. н.). Стрелкой обозначен целевой ампликон (139 п. н.) /

Fig. 2. Gel electrophoresis of amplification products with primers for the Xwmc 317 (*Stb9*) marker in 8% PAAG: 1 – ‘Diablon’; 2 – ‘Tepsey’; 3 – ‘Amir’; 4 – ‘Ikar’, 5 – ‘Uralskaya Kukushka’; 6 – ‘Kurskaya 2038’; 7 – ‘Eminent’; 8 – ‘Dai Chun 2’; 9 – ‘Yanzhan No.1’; K+ – positive control (cultivar ‘Tonic’); K- – negative control; M – molecular weight marker (band size from bottom to top: 100, 200 p. n.). The arrow indicates the target amplicon (139 p. n.)

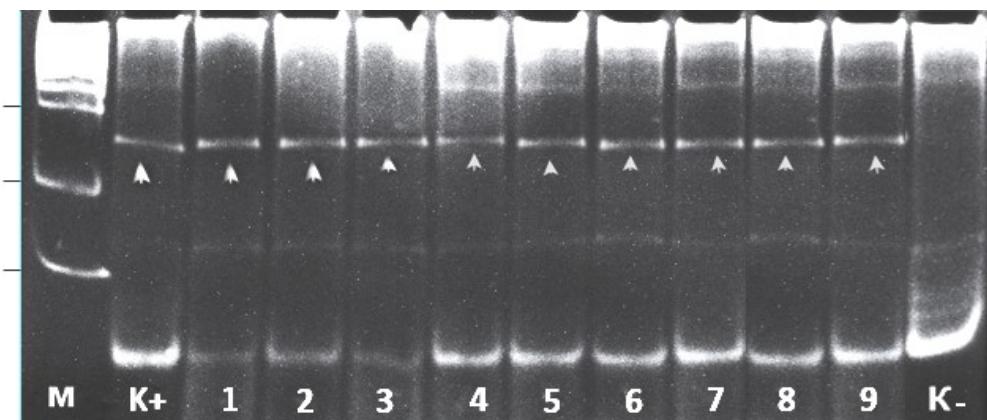


Рис. 3. Гель-электрофорез продуктов амплификации с праймерами к маркеру Xbarc 008 (*Stb11*) в 7% ПААГ: 1 – Алтайская Жница; 2 – Красноярская 12; 3 – Екатерина; 4 – Дuet, 5 – Sinton; 6 – Женис; 7 – Т9111; 8 – Naxos; 9 – Mao Ying A Fu; K+ – положительный контроль (сорт Терция); K- – отрицательный контроль; M – маркер молекулярного веса (размер бэндов снизу вверх: 100, 200, 300 п. н.). Стрелками обозначен целевой ампликон (245 п. н.) /

Fig. 3. Gel electrophoresis of amplification products with primers for the marker Xbarc 008 (*Stb11*) in 7% PAAG: 1 – ‘Altayskaya Zhnitca’; 2 – ‘Krasnoyarskaya 12’; 3 – ‘Ekaterina’; 4 – ‘Duet’; 5 – ‘Sinton’; 6 – ‘Zhenis’; 7 – T9111; 8 – ‘Naxos’; 9 – ‘Mao Ying A Fu’; K+ – positive control (cultivar ‘Terciya’); K- – negative control; M – molecular weight marker (band size from bottom to top: 100, 200, 300 p. n.). The arrows indicate the target amplicon (245 p. n.)

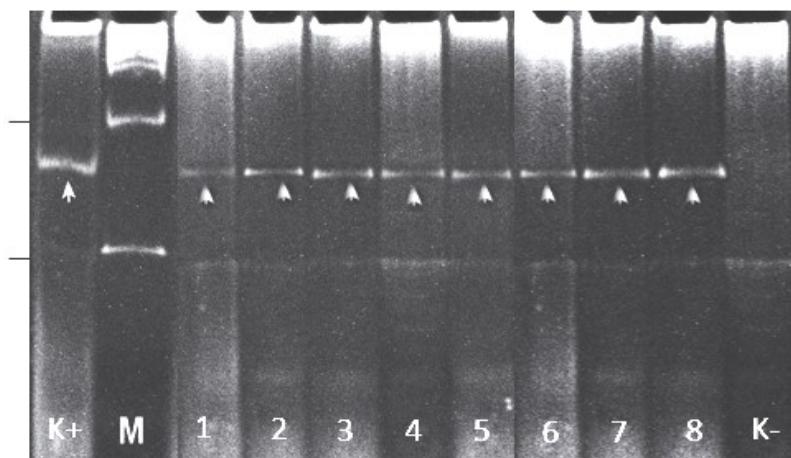


Рис. 4. Гель-электрофорез продуктов амплификации с праймерами к маркеру Xwmc 396 (*Stb13*) в 8% ПААГ: 1 – Оренбургская 22; 2 – Ингала; 3 – Кинельская Юбилейная; 4 – Сибирская 21, 5 – Памяти Юдина; 6 – Рима; 7 – Tian Xuan 16; 8 – Shen 68-71; K+ – положительный контроль (сорт Ble seigle); K- – отрицательный контроль; M – маркер молекулярного веса (размер бэндов снизу вверх: 100, 200 п. н.). Стрелкой обозначен целевой амплион (146 п. н.) /

Fig. 4. Gel electrophoresis of amplification products with primers for marker Xwmc 396 (*Stb13*) in 8% PAAG: 1 – ‘Orenburgskaya 22’; 2 – ‘Ingala’; 3 – ‘Kinelskaya Yubileynaya’; 4 – ‘Sibirskaya 21’, 5 – ‘Pamyati Yudina’; 6 – ‘Rima’; 7 – ‘Tian Xuan 16’; 8 – ‘Shen 68-71’; K+ – positive control (cultivar ‘Ble seigle’); K- – negative control; M – molecular weight marker (band size from bottom to top: 100, 200 p. n.). The arrow indicates the target amplicon (146 p. n.)

В лабораторных условиях заражали только сорта с идентифицированными генами устойчивости к септориозу. В результате оценки сортов в лаборатории при заражении отрезков листьев смесью штаммов *Z. tritici* средняя степень поражения составила 43,5 %. Выделено 4 высокоустойчивых (степень поражения не более 5,0 %) образца: Кинельская Юбилейная,

Ингала, Веста, Hua Mai 10. Устойчивостью характеризовались сорта: Экада 70, Уральская Кукушка, Памяти Юдина, Хуторянка, Ульяновская 105, Красноярская 12, Волошинка, Лада, Dai Chun 2, Yanzhan №1, Long Chun 8, степень поражения листа у которых не превысила 15,0 % (табл. 3).

Таблица 3 – Коллекционные образцы яровой мягкой пшеницы, выделенные по степени поражения септориозом листьев (среднее за 2022–2024 гг.) /
Table 3 – Collection samples of spring wheat, isolated by the degree of damage of leaf septoria (average for 2022–2024)

| <i>Cорт / Cultivar</i> | <i>Stb</i> | <i>Номер каталога ВИР / VIR catalog number</i> | <i>Страна происхождения / Country of origin</i> | <i>Степень поражения, % / Degree of damage, %</i> | <i>ИУ*/ SI</i> | <i>Масса зерна с 1 м², г / Grain weight per 1 m², g</i> |
|---|------------|--|---|---|----------------|---|
| Баженка – стандарт / 'Bazhenka' – st. | - | 64780 | Россия / Russia | 54,0 | 0,76 | 373 |
| Кинельская Юбилейная / 'Kinelskaya Yubileynaya' | 13 | 66270 | "- | 0,4 | 0,01 | 486 |
| Ингала / 'Ingala' | 13 | 66420 | "- | 2,0 | 0,15 | 547 |
| Веста / 'Vesta' | 9, 13 | 64491 | "- | 2,0 | 0,04 | 537 |
| Экада 70 / 'Ekada 70' | 9, 11, 13 | 64547 | "- | 8,8 | 0,06 | 518 |
| Уральская Кукушка / 'Uralskaya Kukushka' | 9, 13 | 66276 | "- | 11,4 | 0,13 | 411 |
| Памяти Юдина / 'Pamyati Yudina' | 13 | 65243 | "- | 10,0 | 0,09 | 354 |
| Хуторянка / 'Khutoryanka' | 11, 13 | 65845 | "- | 13,0 | 0,12 | 396 |
| Ульяновская 105 / 'Ulyanovskaya 105' | 11, 13 | 66011 | "- | 13,0 | 0,12 | 604 |
| Красноярская 12 / 'Krasnoyarskaya 12' | 11, 13 | 65562 | "- | 11,0 | 0,10 | 253 |
| Волошинка / 'Voloshinka' | 9, 13 | 66437 | "- | 12,0 | 0,16 | 466 |
| Лада / 'Lada' | 9, 13 | 59389 | Беларусь / Belarus | 12,0 | 0,23 | 385 |
| Dai Chun 2 | 9, 11, 13 | 65848 | Китай / China | 8,5 | 0,17 | 270 |
| Yanzhan №1 | 9, 11, 13 | 65890 | "- | 15,0 | 0,18 | 291 |
| Long Chun 8 | 9, 11, 13 | 65881 | "- | 10,4 | 0,22 | 283 |
| Hua Mai 10 | 9, 11, 13 | 65865 | "- | 4,0 | 0,01 | 270 |
| Среднее по опыту / Average over the experiment | | | | 43,5 | 0,45 | 279 |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | | | | 18,1 | - | 118,2 |

* ИУ – индекс устойчивости / SI – sustainability index

Максимальная доля устойчивых сортов (50,0 %) отмечена в группе образцов с идентифицированными генами *Stb9* и *Stb13*. Также высокая доля устойчивых сортов (42,9 %) обнаружена в группе образцов с геном *Stb13*. Таким образом, все сорта с устойчивостью разной степени содержали в своем генотипе *Stb13* ген, что может свидетельствовать о его эффективности против изученных штаммов *Z. tritici* в фазу проростков.

Средневосприимчивые сорта (степень поражения от 16,0 до 25,0 %) составляли 19,0 %

от всего изученного материала. Больше всего образцов яровой пшеницы изученного генома (44,0 %) характеризовались как восприимчивые со степенью поражения листа от 26,0 до 65,0 %. К высоковосприимчивым (от 66,0 до 90,0 %) отнесены 19,1 % изученных коллекционных образцов.

Площадь инфекционного пятна в среднем по изученным образцам составила 13,5 mm², варьируя от 1,5 у сорта Уральская Кукушка до 47,5 – Терсие. У всех устойчивых и средневосприимчивых сортов площадь пятна не превы-

шала 20,0 мм^2 . У китайского сорта Hua Mai 10 пятна отсутствовали, наблюдали небольшой хлороз листовой пластиинки, что свидетельствует о частичной устойчивости. В генотипе данного сорта идентифицированы гены ювенильной устойчивости *Stb9*, *Stb11* и *Stb13*.

Для характеристики степени нарастания инфекции использовали показатель индекс устойчивости (ИУ), который в среднем по сортам составил 0,45. Наибольший интерес для селекции представляют сорта (табл. 3), характеризующиеся замедленным развитием болезни (ИУ – не более 0,35) и степенью поражения не выше 16,0 %.

Важное значение для селекции имеет уровень урожайности изученных сортов, которая в среднем по опыту с 1 м^2 составила 279,0 г. Достоверная прибавка урожайности к стандарту отмечена у сортов Ингала (174 $\text{г}/\text{м}^2$), Веста (164 $\text{г}/\text{м}^2$), Экада 70 (145 $\text{г}/\text{м}^2$) и Ульяновская 105 (231 $\text{г}/\text{м}^2$). У сортов Уральская Кукушка, Хуторянка, Волошинка и Лада отмечено несущественное превышение по урожайности стандартного сорта Баженка на 12–93 $\text{г}/\text{м}^2$.

Заключение. Среди изученного коллекционного материала яровой мягкой пшеницы у 57,7 % сортов с помощью ПЦР идентифицированы гены устойчивости к септориозу: *Stb2*, *Stb9*, *Stb11* и *Stb13*.

Ген *Stb13* наиболее часто встречается в генотипах, устойчивых к использованным для заражения штаммам *Z. tritici*.

В результате лабораторной оценки при искусственном заражении выделено 4 высокостойких (Кинельская Юбилейная, Ингала (Россия), Веста (Беларусь), Hua Mai 10 (Китай)) и 11 устойчивых (Экада 70, Уральская Кукушка, Памяти Юдина, Хуторянка, Ульяновская 105, Красноярская 12, Волошинка, Лада (Россия), Dai Chun 2, Yanzhan №1, Long Chun 8 (Китай)) сортов с замедленным развитием болезни, 8 (Ингала, Веста, Экада 70, Ульяновская 105, Уральская Кукушка, Хуторянка, Волошинка, Лада) из которых показали прибавку урожайности с 1 м^2 к стандартному сорту. Эти образцы яровой мягкой пшеницы могут быть вовлечены в селекционный процесс как доноры идентифицированных *Stb*-генов, а также как перспективные сорта для сельскохозяйственного производства в Кировской области.

Список литературы

1. Крупенько Н. А. Влияние гидротермических условий на развитие септориоза листьев озимой пшеницы. Защита растений. 2018;(42):109–115. Режим доступа: <https://plants.belal.by/jour/article/view/119> EDN: HKRGBG
2. Пахолкова Е. В., Сальникова Н. Н., Куркова Н. А. Генетическая структура региональных популяций *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) – возбудителя септориоза пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Сельскохозяйственная биология. 2016;51(5):722–730. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.722rus> EDN: WZJQMF
3. Зеленева Ю. В., Конькова Е. А. Сорта мягкой пшеницы, возделываемые в Саратовской области и их устойчивость к септориозной пятнистости. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2023;27(6):582–590. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJGB-23-70> EDN: PJPYLM
4. Patial M., Navathe S., He X., Kamble U., Kumar M., Joshi A. K., Singh P. K. Novel resistance loci for quantitative resistance to *Septoria tritici* blotch in Asian wheat (*Triticum aestivum*) via genome-wide association study. BMC Plant Biology. 2024;24(1):846. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05547-x>
5. Лукманова А. А., Кадырова Ф. З. Оценка устойчивости сортов яровой мягкой пшеницы к септориозу листьев и эффективность защиты растений от патогенов в условиях предкамской зоны Республики Татарстан. Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2023;(3(7)):18–24. DOI: <https://doi.org/10.12737/2782-490X-2023-18-24> EDN: ORINQR
6. Бакулина А. В., Харина А. В., Широких И. Г. Септориоз листьев и колоса пшеницы: генетический контроль устойчивости хозяина (обзор). Теоретическая и прикладная экология. 2020;(2):26–35. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-2-026-035> EDN: TELANX
7. Харина А. В., Савинцева Л. С. Применение методов МАС в селекции пшеницы на устойчивость к септориозу. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024;54(4):94–103. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-4-11> EDN: MMFGWS
8. Коломиц Т. М., Пахолкова Е. В., Сальникова Н. Н., Панкратова Л. Ф., Моргунов А. И., Шаманин В. П. Отбор устойчивых к септориозу сортов яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) из Международного питомника КАСИБ 20. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2023;(2(50)):33–47. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54112560> EDN: RVFWWL
9. Murray M. G., Thompson W. F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. Nucleic acids research. 1980;8(19):4321–4325. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/8.19.4321>

10. Новоселова Н. В., Харина А. В., Бессолицына Е. А., Савинцева Л. С. Скрининг Stb генов устойчивости к септориозу у сортов мягкой пшеницы. Зерновое хозяйство России. 2023;15(2):57–62.
DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-85-2-57-62> EDN: PXSFRG
11. Mekonnen T., Haileselassie T., Kaul T., Sharma M., Geleta B., Tesfaye K. Molecular screening of Zymoseptoria tritici resistance genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) using tightly linked simple sequence repeat markers. European Journal of Plant Pathology. 2019;155(2):593–614.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01795-y>
12. Somers D. J., Isaac P., Edwards K. A high-density microsatellite consensus map for bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Theoretical and applied genetics. 2004;109:1105–1114.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-004-1740-7>
13. Rogers S. O., Bendich A. J. Extraction of DNA from milligram amounts of fresh, herbarium and mummified plant tissues. Plant Molecular Biology. 1985;5:69–76. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF0002008>
14. Пыжикова Г. В., Карасева Е. В. Методика изучения возбудителей септориоза на изолированных листьях пшеницы. Сельскохозяйственная биология. 1986;21(12):112–114.
15. Коломиец Т. М., Пахолкова Е. В., Панкратова Л. Ф., Скатенок О. О. Роль генетических коллекций в селекции яровой пшеницы на иммунитет к септориозу. Успехи современной науки. 2017;2(9):130–137. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29905688> EDN: ZELBVR
16. Коломиец Т. М., Панкратова Л. Ф., Пахолкова Е. В. Сорта пшеницы (*Triticum* L.) из коллекции GRIN (США) для использования в селекции на длительную устойчивость к септориозу. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(3):561–569. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.561rus> EDN: YZKJZ

References

1. Krupenko N. A. Influence of hydrothermal conditions on septoria leaf spot severity in winter wheat. *Zashchita rasteniy = Plant Protection*. 2018;(42):109–115. (In Russ.). URL: <https://plants.belal.by/jour/article/view/119>
2. Pakholkova E. V., Salnikova N. N., Kurkova N. A. Genetic structure of regional populations of *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*), the septoria leaf blotch agent of wheat. *Selskokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2016;51(5):722–730. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.722rus>
3. Zeleneva Yu. V., Konkova E. A. Soft wheat cultivars grown in the saratov region and their resistance to septoria blotch. *Vavilovsky zhurnal genetiki i selektsii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;27(6):582–590. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJGB-23-70>
4. Patial M., Navathe S., He X., Kamble U., Kumar M., Joshi A. K., Singh P. K. Novel resistance loci for quantitative resistance to *Septoria tritici* blotch in Asian wheat (*Triticum aestivum*) via genome-wide association study. *BMC Plant Biology*. 2024;24(1):846. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05547-x>
5. Lukmanova A. A., Kadirova F. Z. Assessment of the resistance of spring common wheat varieties to septoria leaf blight and the effectiveness of protecting plants from pathogens in the conditions of the predkama zone of the Republic of Tatarstan. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2023;(3(7)):18–24. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.12737/2782-490X-2023-18-24>
6. Bakulina A. V., Kharina A. V., Shirokikh I. G. Septoria tritici and *Stagonospora nodorum* blotch of wheat: genetic control of host resistance (review). *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*. 2020;(2):26–35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-2-026-035>
7. Kharina A. V., Savintseva L. S. Application of MAC methods in wheat breeding for resistance to Septoria blight. *Sibirsky vestnik selskokhozyaystvennoy nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*. 2024;54(4):94–103. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-4-11>
8. Kolomietz T. M., Pakholkova E. V., Salnikova N. N., Pankratova L. F., Morgunov A. I., Shamanin V. P. Screening of septoria-resistant cultivars of spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) from the international nursery KASIB 20. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Omsk SAU*. 2023;(2(50)):33–47. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54112560>
9. Murray M. G., Thompson W. F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic acids research*. 1980;8(19):4321–4325. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/8.19.4321>
10. Novoselova N. V., Kharina A. V., Bessolitsina E. A., Savintseva L. S. Screening of Stb leaf blotch resistance genes of the common wheat varieties. *Zernovoe khozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2023;15(2):57–62. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-85-2-57-62>
11. Mekonnen T., Haileselassie T., Kaul T., Sharma M., Geleta B., Tesfaye K. Molecular screening of Zymoseptoria tritici resistance genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) using tightly linked simple sequence repeat markers. European Journal of Plant Pathology. 2019;155(2):593–614.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01795-y>
12. Somers D. J., Isaac P., Edwards K. A high-density microsatellite consensus map for bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Theoretical and applied genetics. 2004;109:1105–1114. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-004-1740-7>

13. Rogers S. O., Bendich A.J. Extraction of DNA from milligram amounts of fresh, herbarium and mummified plant tissues. *Plant Molecular Biology*. 1985;5:69–76. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00020088>
14. Pizhikova G. V., Karaseva E. V. Methodology for studying the causative agents of septoria on isolated wheat leaves. *Selskokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 1986;21(12):112–114. (In Russ.).
15. Kolomiets T. M., Pakholkova E. V., Pankratova L. F., Skatenok O. O. The role of genetic collections in the breeding of spring wheat for immunity to septoriosis. *Uspekhi sovremennoy nauki*. 2017;2(9):130–137. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=2990568>
16. Kolomiets T. M., Pankratova L. F., Pakholkova E. V. Wheat (*Triticum L.*) cultivars from grin collection (USA) selected for durable resistance to *Septoria tritici* and *Stagonospora nodorum* blotch. *Selskokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(3):561–569. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.561rus>

Сведения об авторах

✉ **Харина Анастасия Владимировна**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0554-5814>, e-mail: Khavchas@yandex.ru

Новоселова Нина Владиславовна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166 а, Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0638-4258>

Пахолкова Елена Васильевна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник отдела микологии и иммунитета, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии», ул. Институт, вл. 5, р. п. Большие Вяземы, Одинцовский р-он, Московская область, Российская Федерация, 143050, e-mail: vniif@vniif.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8661-6572>

Information about the authors

✉ **Anastasia V. Kharina**, PhD in Agricultural Science, researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166-a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0554-5814>, e-mail: Khavchas@yandex.ru

Nina V. Novoselova, junior researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166-a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0638-4258>

Elena V. Pakholkova, PhD in Biological Science, senior researcher, the Department of Mycology and Immunity, All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology, Institut str., 5, Bolshie Vyazemy village, Odintsovo district, Moscow region, Russian Federation, 143050, e-mail: vniif@vniif.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8661-6572>

✉ – Для контактов / Corresponding author