

Оригинальная статья / Original article

УДК: 632.4.01/.08

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-10



Фитопатологический скрининг и идентификация генов *Lr* в сортах пшеницы и тритикале озимых российской селекции

Валерия Д. Руденко, Галина В. Волкова, Ольга А. Кудинова, Ольга Ф. Ваганова

Федеральный научный центр биологической защиты растений, Краснодар, Россия

Контактное лицо

Валерия Р. Руденко, аспирант, научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням, ФГБНУ ФНЦБЗР; 350040 Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 62.

Тел. +79181486565

Email agapovaleraa@ya.ruORCID <https://orcid.org/0000-0002-7296-3565>

Формат цитирования

Руденко В.Д., Волкова Г.В., Кудинова О.А., Ваганова О.Ф. Фитопатологический скрининг и идентификация генов *Lr* в сортах пшеницы и тритикале озимых российской селекции // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 2. С. 125-139. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-10

Получена 22 марта 2024 г.

Прошла рецензирование 10 июня 2024 г.

Принята 23 сентября 2024 г.

Резюме

Цель – фитопатологическая оценка перспективных сортов пшеницы и тритикале озимых к возбудителю бурой ржавчины и идентификация в них генов устойчивости.

Материалом для исследования являлись 15 сортов пшеницы и тритикале озимых отечественной селекции. Критериями устойчивости к бурой ржавчине служили: тип реакции (балл) и степень поражения (%), площадь под кривой развития болезни (ПКРБ, у.е.) и индекс устойчивости (ИУ). Для идентификации *Lr*-генов использовали фитопатологическое тестирование и молекулярные маркеры.

Сорт тритикале Арго был абсолютно устойчив (0). Высокоустойчивыми являлись сорта тритикале Азнавур и Аргус, а также сорта пшеницы: Богема, Вольный Дон, Жаворонок, Кавалерка, Караван, Секлетия. К умеренно устойчивым отнесли шесть сортов пшеницы: Акапелла, Арсенал, Былина Дона, Вольница, Каролина 5, Корона. Сорта с расспецифическим типом устойчивости составили 73 % изученных. С использованием молекулярных маркеров идентифицировали ген возрастной устойчивости *Lr34* в сорте тритикале Арго и сортах пшеницы: Акапелла, Арсенал, Вольница, Вольный Дон, Жаворонок, Каролина 5, Корона, Секлетия. *Lr18* был найден в двух сортах тритикале (Азнавур и Арго). С помощью фитопатологического тестирования было выявлено большинство неэффективных генов, за исключением *Lr36*, который является эффективным и постулирован в сортах пшеницы Богема, Вольный Дон, Жаворонок, а ген *Lr17* – умеренноэффективным и выявлен в сорте Вольница.

Полученные данные важно учитывать в региональных селекционных программах и применять для научно обоснованного размещения сортов в производственных посевах.

Ключевые слова

Пшеница, тритикале, бурая ржавчина, *Puccinia triticina*, фитопатологическая оценка, идентификация, гены устойчивости, молекулярные маркеры, фитопатологическое тестирование.

Phytopathological screening and identification of *Lr* genes in wheat varieties and winter triticale of Russian selection

Valeria D. Rudenko, Galina V. Volkova, Olga A. Kudinova and Olga F. Vaganova

Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

Principal contact

Valeria R. Rudenko, postgraduate student, researcher, Laboratory of Plant Immunity to Diseases, Federal Research Center of Biological Plant Protection, 62 Kalinina St, Krasnodar, Russia 350040.

Tel. +79181486565

Email agapovaleraa@ya.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7296-3565>

How to cite this article

Rudenko V.D., Volkova G.V., Kudinova O.A., Vaganova O.F. Phytopathological screening and identification of *Lr* genes in wheat varieties and winter triticale of Russian selection. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(2):125-139. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-10

Received 22 March 2024

Revised 10 June 2024

Accepted 23 September 2024

Abstract

Aim. Phytopathological assessment of leaf rust resistance and identification of *Lr* genes in 15 zoned varieties of wheat and winter triticale.

The material for the study was 15 varieties of winter wheat and triticale of domestic selection. The criteria for resistance to leaf rust were: type of reaction (score) and degree of damage (%), area under the disease development curve (ADDC, a.u.) and resistance index (RI). Phytopathological testing and molecular markers were used to identify genes.

The triticale variety Argo was absolutely resistant (0). Triticale varieties Aznavur and Argus were highly resistant, as well as wheat varieties, Bogema, Volny Don, Zhavoronok, Kavalierka, Karavan and Sekletiya. Six wheat varieties were classified as moderately resistant: Akapella, Arsenal, Bylina Dona, Volnitsa, Karolina 5 and Korona. Varieties with a race-specific type of resistance accounted for 73 % of those studied. Using molecular markers, the age resistance gene *Lr34* was identified in the triticale variety Argo and wheat varieties, Akapella, Arsenal, Vol'nica, Vol'nyj Don, Zhavoronok, Karolina 5, Korona and Sekletiya. *Lr18* was found in two triticale varieties, Aznavur and Argo). Using phytopathological testing, most of the ineffective genes were identified under field conditions, with the exception of *Lr36*, which is effective and postulated in the wheat varieties Bogema, Volny Don, Zhavoronok, and the *Lr17* gene is moderately effective and was identified in the Volnitsa variety.

It is important to take the data obtained here into account in regional breeding programmes and apply them for scientifically based placement of varieties in industrial crops.

Key Words

Wheat, triticale, leaf rust, *Puccinia triticina*, phytopathological assessment, identification, resistance genes, molecular markers, phytopathological testing.

ВВЕДЕНИЕ

Буряя ржавчина пшеницы (возбудитель фитопатогенный гриб – *Puccinia tritricina* Erikss.) снижает количество и качество урожая зерна во всем мире. Патоген широко распространен и способен быстро эволюционировать, что приводит к появлению новых вирулентных рас [1]. Сорта, внедряемые в производство, должны иметь разные типы и гены устойчивости, способные снижать скорость роста патогена [2]. В настоящее время в государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию, зарегистрировано более 200 сортов пшеницы озимой и 50 сортов тритикале озимой для районирования в Северо-Кавказском регионе. Несмотря на успехи в селекции на иммунитет, буряя ржавчина пшеницы остается актуальной проблемой [3]. Устойчивость к фитопатогенам – это один из важных признаков конкурентной способности сортов сельскохозяйственных растений [4]. Рациональное применение устойчивых сортов в производственных посевах позволит снизить пестицидную нагрузку, такой прием является экономически и экологически выгодным для защиты сельскохозяйственных культур [5].

Отмечают два вида устойчивости растений к патогенам: расоспецифическую (вертикальную) и общую (горизонтальную, расонеспецифическую). Расоспецифическая устойчивость основана на реакции сверхчувствительности. Расонеспецифическая устойчивость не снижается при появлении новых рас патогена и характеризуется увеличением инкубационного периода, уменьшением спорообразования. Селекция на расоспецифическую устойчивость часто приводит к быстрой ее утрате, в связи с селективным влиянием генотипа сорта на микроэволюционные процессы в популяции патогена. Наиболее предпочтительный генетический способ защиты – это создание сортов с расонеспецифической устойчивостью, особенно если она контролируется несколькими генами. К комбинациям генов приспособление гриба затруднено, и устойчивость сорта будет сохраняться дольше [6].

Также выделяют два наиболее распространенных типа защиты растения-хозяина от ржавчинных заболеваний пшеницы – устойчивость на всех стадиях (ASR – all stage resistance) и устойчивость взрослого растения (APR – adult plant resistance). В отличие от устойчивости по типу ASR, которая эффективна от всходов до стадии взрослых растений, APR-устойчивость активна только на поздних стадиях развития растений [7; 8]. На сегодняшний день в мире зарегистрировано более 80 локализованных *Lr*-генов [9]. Большая часть из них придает устойчивость к бурой ржавчине в ювенильную фазу и зависит от патотипа гриба. За исключением нескольких генов (*Lr34*, *Lr46*, *Lr67*, *Lr68*), которые являются генами устойчивости взрослых растений и не являются расоспецифическими. Комбинация генов устойчивости, как у всходов, так и взрослых растений, способна увеличить устойчивость к бурой ржавчине [10].

Стандартными методами идентификации *Lr*-генов у сортов пшеницы являются: фитопатологическое тестирование, основанное на теории Г. Флора «ген-на-ген» [11], гибридологический анализ и молекулярные маркеры. Постулирование генов

устойчивости с помощью фитопатогического теста достаточно трудоемкий процесс. У данного метода есть свои плюсы и минусы, например, этот способ возможно использовать в случае идентификации генов, для которых ДНК-маркеры не разработаны, но выявление некоторых эффективных генов к *P. tritricina* осложняется ограниченным числом вирулентных изолятов. В результате такого исследования полученные данные не полноценны и их целесообразно дополнять другими методами идентификации генов [12]. Использование молекулярных маркеров – хорошее дополнение к фитопатологическому тестированию, что позволяет сократить время анализа с помощью оптимизированных протоколов. Для большинства известных *Lr*-генов уже подобраны высокоспецифичные ДНК-маркеры [13]. Данные методы идентификации используют большинство научных центров, занимающихся изучением бурой ржавчины пшеницы.

Метод фитопатологического тестирования активно стали использовать с 1993 года в Мексике (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz Y Trigo) [14] и США (Agricultural Research Service, Cereal Disease Laboratory) [15]. В России первые работы с использованием данного метода появились в конце 2000-х годов [16; 17]. В настоящее время многие ученые используют такой подход для идентификации генов устойчивости пшеницы, дополняя его методом молекулярного маркирования, например, в России – Гульяева Е.И., Баранова О. (ФГБНУ ВИЗР, г. Санкт-Петербург) [18; 19], Сколотнева Е.С. (ИЦиГ СО РАН, г. Новосибирск) [20], Жогалева О.С., Вожжова Н.Н. (ФГБНУ «АНЦ «Донской», г. Зерноград) [21], Манукян И.Р. (СКНИИГПСХ ВНИЦ РАН, г. Владикавказ) [22], также в странах ближнего зарубежья Кохметова А.М. (РГП «Институт биологии и биотехнологии растений», Казахстан, г. Алматы) [23]. Аналогичные исследования проводят в Китае [24; 25], Индии [26], Египте [27; 28], Чехии [29], Иране [30], США [31] и других странах.

Идентификация генов устойчивости к возбудителю бурой ржавчины в районированных сортах пшеницы и тритикале чрезвычайно полезна для научно обоснованного размещения в производственных посевах и для селекционных программ.

Цель данной работы: комплексная оценка 15 районированных сортов пшеницы и тритикале озимых по типу устойчивости и наличию в них *Lr*-генов с использованием двух методов идентификации генов (фитопатологического тестирования и молекулярных маркеров).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для исследования послужили 3 сорта тритикале озимой и 12 сортов пшеницы озимой российской селекции (табл. 1). Сорта пшеницы озимой селекции были высеяны на полевом сайте Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР) (г. Краснодар) в 2020–2021 гг. на делянках площадью 1 м кв. в трехкратной повторности.

Погодные условия вегетационного сезона 2020–2021 гг. складывались неблагоприятно для развития бурой ржавчины на зерновых колосовых культурах: наблюдался значительный недостаток влаги в

зимний и весенний период, возвратные заморозки весной, атмосферная и почвенная засуха. Но создание искусственного инфекционного фона заболевания

позволило получить объективные результаты даже в неблагоприятный год.

Таблица 1. Сорта, используемые для исследования

Table 1. Varieties used for the study

Сорт Variety	Оригинатор Originator	Год включения в реестр Year of inclusion in register
Тритикале озимая / Triticale winter		
Азнавур / Aznavur	ФГБНУ ФРАНЦ* / FRARC*	2023
Аргус / Argus	ФГБНУ ФРАНЦ / FRARC	2023
Арго / Argo	ФГБНУ ФРАНЦ / FRARC	2018
Пшеница озимая / Wheat winter		
Акапелла / Akapella	ФГБНУ ФРАНЦ / FRARC	2020
Арсенал / Arsenal	ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»** North Caucasus FSAC**	2019
Богема / Bogema	ФГБНУ ФРАНЦ / FRARC	2021
Былина Дона / Bylina Dona	ФГБНУ ФРАНЦ / FRARC	2020
Вольница / Volnitsa	ФГБНУ «АНЦ «Донской»*** / Donskoy ASC***	2020
Вольный Дон / Volny Don	ФГБНУ «АНЦ «Донской» / Donskoy ASC	2020
Жаворонок / Zhavoronok	ФГБНУ «АНЦ «Донской» / Donskoy ASC	2020
Кавалерка / Kavalerka	ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»**** P.P. Lukyanenko NGC****	2019
Караван / Karavan	ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» P.P. Lukyanenko NGC	2018
Каролина 5 / Karolina 5	ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» North Caucasus FSAC	2017
Корона / Korona	ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» North Caucasus FSAC	2019
Секлетия / Sekletiya	ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» North Caucasus FSAC	2020

Примечание: * – ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр»; ** – ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; *** – ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»;

**** – ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко»

Note: * – Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Rostov Agrarian Research Center»;

** – Federal State Budgetary Scientific Institution «North Caucasus Federal Scientific Agrarian Centre»;

*** – Federal State Budgetary Scientific Institution «Donskoy Agrarian Scientific Centre»;

**** – Federal State Budgetary Scientific Institution «P.P. Lukzenko National Grain Centre»

Основными критериями оценки устойчивости исследуемых сортов являлись: тип реакции и степень поражения, согласно классификации CIMMYT [32]:

O (immunity) – признаки болезни отсутствуют;

R (resistance) – высокая устойчивость, хлоротические пятна занимают до 5–10 % поверхности листьев и стеблей;

MR (moderate resistance) – средняя устойчивость, хлоротические пятна занимают не более 10–25 % поверхности листьев или стеблей;

MS (moderate susceptible) средняя восприимчивость, пустулы мелкие, окружены хлоротичной каймой, занимают до 40–50 % поверхности листьев или стеблей;

S (susceptible) – высокая восприимчивость, пустулы крупные занимают до 50–100 % поверхности листьев или стеблей.

Площадь под кривой развития болезни (ПКРБ, у.е.) и индекс устойчивости (ИУ). ПКРБ определяли по формуле [33]:

$$S = \frac{1}{2}((x_1 + x_2)(t_2 - t_1) + \dots + (x_{n-1} + x_n)(t_n - t_{n-1})),$$

где S – площадь под кривой развития болезни;

x_1 – интенсивность развития болезни на момент первого учета, %;

x_2 – интенсивность развития болезни на момент второго учета, %;

x_n – интенсивность развития болезни на момент последнего учета, %;

$(t_2 - t_1)$ – количество дней между вторым и первым учетом;

$(t_n - t_{n-1})$ – количество дней между последним и предпоследним учетами;

n – количество учетов.

Индекс устойчивости выражается в отношении площади под кривой развития болезни анализируемого сорта к контрольному сорту по восприимчивости:

ИУ = ПКРБ сорта / ПКРБ контроля по восприимчивости.

Полученные данные классифицировали по методу А.А. Макарова с соавторами [34] (таблица 2).

Фитопатологическое тестирование проводили в условиях тепличного комплекса ФГБНУ ФНЦБЗР. Для проведения тестирования были использованы 9 монопустульных изолятов (МПИ) с различными формулами вирулентности (таблица 3).

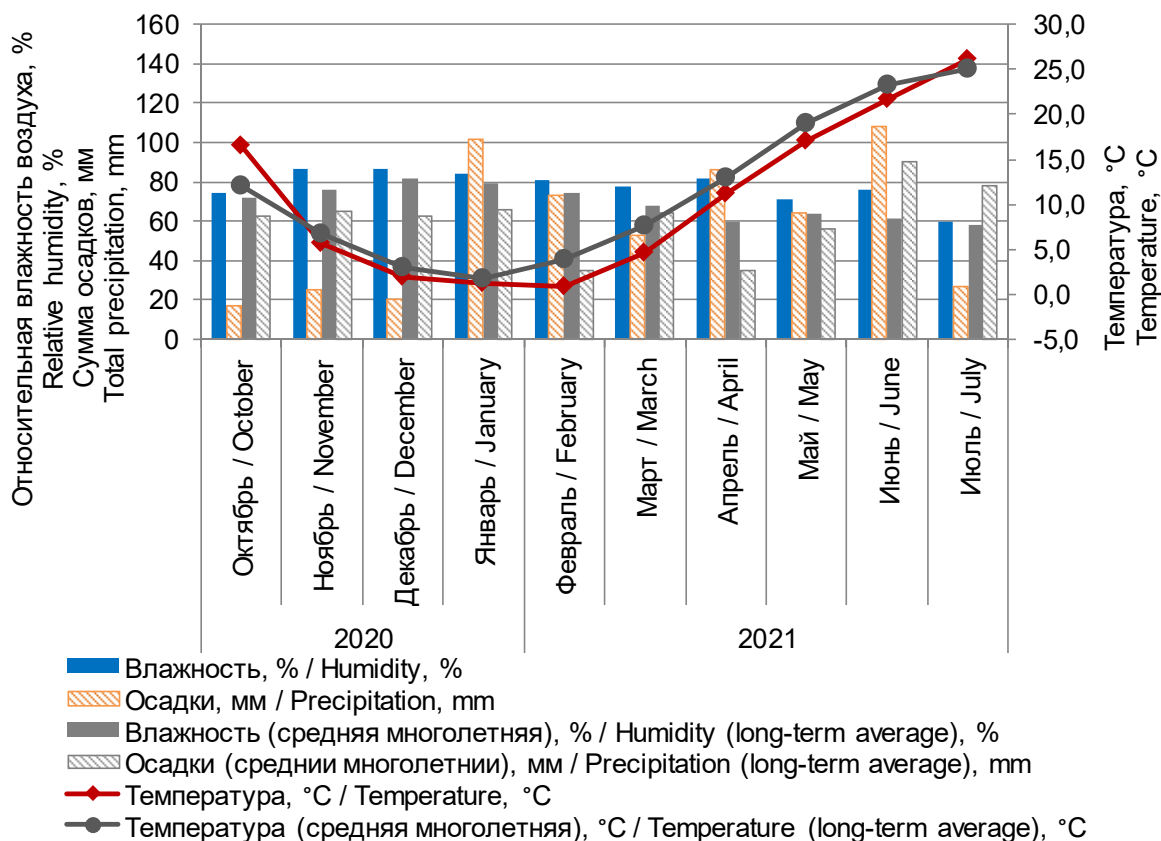


Рисунок 1. Погодные условия по данным метеостанции Круглик, г. Краснодар, 2020–2021 гг.

Figure 1. Weather conditions according to the Kruglik weather station, Krasnodar, 2020–2021

Таблица 2. Классификация сортов растения-хозяина по степени устойчивости к патогену *Puccinia triticina*

Table 2. Classification of varieties of host plant according to the degree of resistance to the pathogen *Puccinia triticina*

Степень устойчивости сорта Degree of resistance of the variety	Относительный показатель индекса устойчивости* Relative sustainability index score*
Восприимчивость Susceptibility	> 0,9
Слабая расонеспецифическая устойчивость Low race-nonspecific resistance	0,7 – 0,9
Умеренная расонеспецифическая устойчивость Moderate race-nonspecific resistance	0,4 – 0,7
Высокая расонеспецифическая устойчивость High race-nonspecific resistance	0,1 – 0,4
Расоспецифическая устойчивость Race-specific resistance	< 0,1

Примечание: * – относительно восприимчивого контроля с индексом, равным 1

Note: * – relative to susceptible control with index equal to 1

Для постулирования генов устойчивости пророщенные семена 15 изучаемых сортов и 43 сортов-дифференциаторов высевали одновременно, выращивали в вазонах (50 мл) на гидропонике с применением питательного раствора. На стадии одного листа проводили инокуляцию спорами отобранных монопустульных изолятов, затем зараженные растения помещали во влажную камеру на 12–16 часов. После чего проростки пшеницы содержали при температуре от +18 до +20 °C, интенсивности освещения до 15 тыс. лк и влажности воздуха 60–70 % [36]. На 10–14-й день фиксировали инфекционные типы по шкале Mains E.E., Jackson H.C. [37]. Растения с типами реакции

0–2 балла, относили к устойчивым, с баллами 3 и 4 – к восприимчивым. Данный подход опирается на теорию Флора – «ген-на-ген» и используется для быстрого определения набора генов устойчивости к бурой ржавчине в ювенильную фазу растений пшеницы [38]. Устойчивые и восприимчивые типы реакций сортов на заражение различными по вирулентности изолятами патогена сравнивали с типами реакции близкородственных линий Thatcher (43 линии, содержащие *Lr*-гены: 1, 2a, 2c, 3, 9, 16, 24, 26, 3ka, 11, 17, 30, B, 10, 14a, 18, 3bg, 14b, 20, 28, 2b, 15, 19, 21, 23, 25, 29, 32, 33, 34, 36, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 50, Exch, Kanr, W), проинокулированных теми же изолятами. Если при

этом наблюдается совпадение восприимчивого типа реакции у сорта и линий *Lr*, то можно постулировать

присутствие в данном сорте соответствующих генов устойчивости.

Таблица 3. Характеристика вирулентности монопустульных изолятов возбудителя бурой ржавчины пшеницы (ФГБНУ ФНЦБЗР, 2020 г.)

Table 3. Characteristics of the virulence of monopustular isolates of the causative agent of brown rust of wheat (FRCBPP, 2020)

Фенотип* МПИ Phenotype* MPI	Вирулентность к линиям Thatcher с генами <i>Lr</i> Virulence to Thatcher lines with <i>Lr</i> genes
МКТТТ	<i>Lr1, Lr3, Lr16, Lr24, Lr26, Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr14a, Lr18, Lr3bg, Lr14b, Lr20, Lr28</i>
РФТТН	<i>Lr1, Lr2c, Lr3, Lr24, Lr26, Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr14a, Lr18, Lr14b, Lr28</i>
NBCFH	<i>Lr1, Lr2c, Lr30, Lr14a, Lr18, Lr14b, Lr28</i>
РСТТН	<i>Lr1, Lr2c, Lr3, Lr26, Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr14a, Lr18, Lr14b, Lr28</i>
PHRTK	<i>Lr1, Lr2c, Lr3, Lr16, Lr26, Lr3ka, Lr11, Lr30, LrB, Lr10, Lr14a, Lr18, Lr14b, Lr20, Lr28</i>
PCGLK	<i>Lr1, Lr2c, Lr3, Lr26, Lr11, LrB, Lr14b, Lr20, Lr28</i>
DKTTR	<i>Lr2c, Lr16, Lr24, Lr26, Lr3ka, Lr11, Lr17, Lr30, LrB, Lr10, Lr14a, Lr18, Lr3bg, Lr14b, Lr28</i>
МКНКС	<i>Lr1, Lr3, Lr16, Lr24, Lr26, Lr11, Lr30, Lr10, Lr14a, Lr18, Lr28</i>
NHHSF	<i>Lr1, Lr2c, Lr16, Lr26, Lr11, Lr30, LrB, Lr10, Lr14a, Lr20, Lr28</i>

Примечание: * – Фенотип изолята определен по североамериканской номенклатуре [35]

Note: * – Phenotype of the isolate according to the North American nomenclature [35]

Идентификацию генов устойчивости с помощью молекулярных маркеров *Lr* выполняли на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр риса» в лаборатории информационных, цифровых и биотехнологий. Для выявления *Lr*-генов с помощью молекулярных маркеров ДНК сортов пшеницы и тритикале озимых выделяли из листьев 7–10-дневных проростков СТАВ-методом. ПЦР проводили согласно предложенным авторами маркеров протоколам, при необходимости модифицированным (таблица 4). Положительным контролем были линии Thatcher, содержащие известные гены устойчивости *Lr*. В качестве отрицательного контроля – восприимчивый сорт Michigan amber. Работу выполняли в

ДНК-амплификаторе «Bio Rad», оптимизировав при этом условия ПЦР. Продукты амплификации разделяли методом электрофореза в 2 %-ном агарозном геле при напряжении 80V [39]. Визуализация результатов продуктов ПЦР проводили с использованием бромистого этидия (BrEt) в УФ свете. Для установления длины амплифицированных фрагментов применяли ДНК маркер Step50 plus «Биолабмикс». Положительное заключение о наличии гена в образце делали с помощью обнаружения в дорожке характерной светящейся полосы определенной молекулярной массы, установленной по линейке молекулярных масс – при идентификации генов устойчивости к ржавчинным заболеваниям.

Таблица 4. Перечень используемых маркеров к генам устойчивости *Lr*

Table 4. List of markers used for *Lr* resistance genes

Ген <i>Lr</i> Gen <i>Lr</i>	SSR-(SCAR) маркер SSR-(SCAR) marker	Последовательность Sequence	Источник Source
29	<i>Lr29F24</i>	GTG ACC TCA GGC AAT GCA CAC AGT GTG ACC TCA GAA CCG ATG TCC ATC	[40]
<i>Lr34-Yr18-Sr57</i>	csLV34 (STS)	GTT GGT TAA GAC TGG TGA TGG TGC TTG CTA TTG CTG AAT AGT	[41]
19	CS265	GGCGGATAAGCAGAGCAGA GGCGGATAAGTGGGTTATGG	[42]
18	wmc75	GTCCGCCGCACACATCTTACTA GTTTGATCCTGCGACTCCCTTG	[43]

В исследованиях использована материально-техническая база Уникальной научной установки (УНУ) «Фитотрон для выделения, идентификации, изучения и поддержания рас, штаммов, фенотипов патогенов» (<https://fncbzh.ru/brk-i-unu/unique-installation-2/>) и объекты биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов» (<https://fncbzh.ru/brk-i-unu/unique-installation-1/>).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате иммунологической оценки районированные сорта пшеницы озимой и тритикале озимой были ранжированы по устойчивости на три группы. В первой группе с абсолютной устойчивостью (отсутствие признаков болезни) выявили один сорт тритикале озимой – Арго. К высоко устойчивым сортам (тип реакции R и MR, степень поражения до 10 % включительно) отнесли три сорта тритикале озимой

(Азнавур, Аргус, Арго) и шесть сортов пшеницы озимой (Богема, Вольный Дон, Жаворонок, Кавалерка, Караван, Секлетия). В группе умеренно устойчивых (степень поражения от 5 %, при типе реакции MS или S или степень поражения больше 10 %, тип реакции R и MR) установлено шесть сортов озимой пшеницы – Акапелла, Арсенал, Былина Дона, Вольница, Каролина 5, Корона.

Также сорта были классифицированы по типам устойчивости. Сорта с типом расоспецифической (ИУ меньше 0,1 у.е.) устойчивости составили большую часть (73 %) изученных сортов, к ним относятся Азнавур, Аргус, Арго, Акапелла, Богема, Вольный Дон,

Жаворонок, Кавалерка, Караван, Каролина 5, Секлетия. Высокая расонеспецифическая устойчивость (ИУ от 0,1 у.е. до 0,4 у.е.) выявлена в четырех сортах: Арсенал, Былина Дона, Вольница, Корона.

Анализ результатов полевых исследований отражает, что показатели ПКРБ и ИУ являются убедительными критериями определения расонеспецифического типа устойчивости и их можно использовать для изучения устойчивости к возбудителю бурой ржавчины пшеницы. Они хорошо дифференцируют разные по восприимчивости генотипы растения-хозяина с учетом вирулентности патогена [44].

Таблица 5. Иммунологическая оценка сортов пшеницы озимой и тритикале озимой по устойчивости к возбудителю бурой ржавчины (инфекционный питомник ФГБНУ ФНЦБЗР, 2021 г.)

Table 5. Immunological assessment of winter wheat and winter triticale varieties for resistance to leaf rust (infections nursery FRCBPP, 2021)

Сорт Variety	Развитие болезни Development of the disease	ПКРБ*, у.е. PKRB*, conv. units	Индекс устойчивости, у.е. Sustainability Index, conv. units	Тип устойчивости Type of resistance
Тритикале озимая / Triticale winter				
Азнавур / Aznavur	3R	20,5	0,02	расоспецифическая / race-specific
Аргус / Argus	5R	35,5	0,03	расоспецифическая / race-specific
Арго / Argo	0	0,0	0	расоспецифическая / race-specific
Пшеница озимая / Wheat winter				
Акапелла / Akapella	7MS	87,5	0,08	расоспецифическая / race-specific
Арсенал / Arsenal	10MS	130,0	0,11	высокая расонеспецифическая / high race-nonspecific
Богема / Bogema	10MR	66,0	0,06	расоспецифическая / race-specific
Былина Дона / Bylina Dona	25MS	163,0	0,14	высокая расонеспецифическая
Вольница / Volnitsa	7MS	115,0	0,10	высокая расонеспецифическая / high race-nonspecific
Вольный Дон / Volny Don	5MR	105,0	0,09	расоспецифическая / race-specific
Жаворонок / Zhavoronok	5R	105,0	0,09	расоспецифическая / race-specific
Кавалерка / Kavalerka	R	5,0	0,004	расоспецифическая / race-specific
Караван / Karavan	10MR	66,0	0,06	расоспецифическая / race-specific
Каролина 5 / Karolina 5	10MS	108,0	0,09	расоспецифическая / race-specific
Корона / Korona	20MS	158,0	0,14	высокая расонеспецифическая / high race-nonspecific
Секлетия / Sekletiya	5MR	35,5	0,03	расоспецифическая / race-specific
Michigan amber*	80S	1140,0	1,0	восприимчивость / susceptibility

Примечание: * – Площадь под кривой развития болезни; ** – Контроль по восприимчивости
Note: * – Area under disease progress curve; ** – Control by susceptibility

С использованием молекулярных маркеров у 15 сортов пшеницы и тритикале озимых провели идентификацию четырех генов устойчивости к бурой ржавчине. В

изученном материале выявлен ген возрастной устойчивости *Lr34* и ювенильной устойчивости растений *Lr18* (рис. 2).

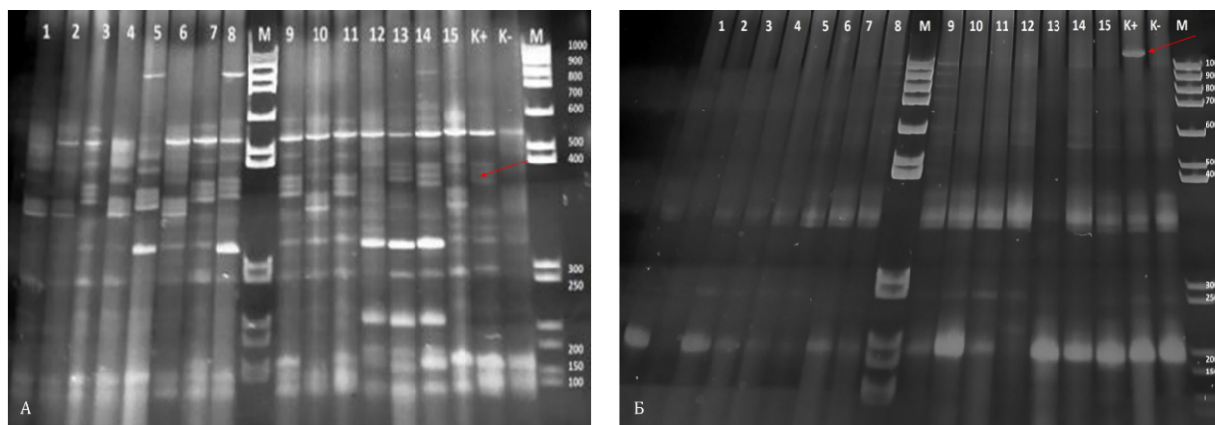


Рисунок 2. Электрофорез в полиакриламидном геле ДНК сортов озимой пшеницы с парами праймеров: А) WMC783 (*Lr18*); Б) Lr29F24 (*Lr29*). 1 – Вольница, 2 – Вольный Дон, 3 – Жаворонок, 4 – Кавалерка, 5 – Караван, 6 – Былина Дона, 7 – Акапелла, 8 – Корона, 9 – Арсенал, 10 – Секлетия, 11 – Каролина, 12 – Аргус, 13 – Азнавур, 14 – Арго, 15 – Богема, К+ – линия Thather, содержащая *Lr18* (или *Lr29*), К- – Michigan Amber (не содержит *Lr18* или *Lr29*), М – маркер молекулярной массы (Gene ruler). Стрелкой обозначены ПЦР-фрагменты, указывающие на наличие гена

Figure 2. Polyacrylamide gel electrophoresis of DNA of winter wheat varieties with primer pairs: А) WMC783 (*Lr18*); Б) Lr29F24 (*Lr29*). 1 – Vol'nitsa, 2 – Vol'nyj Don, 3 – Zhavoronok, 4 – Kavalierka, 5 – Karavan, 6 – Bylina Dona, 7 – Akapella, 8 – Korona, 9 – Arsenal, 10 – Sekletia, 11 – Karolina, 12 – Argus, 13 – Aznavour, 14 – Argo, 15 – Bohemia, K+ – Thather line containing *Lr18* (or *Lr29*), K- – Michigan Amber (does not contain *Lr18* or *Lr29*), M – molecular weight marker (Gene ruler). The arrow indicates PCR fragments indicating the presence of the gene

У большинства изученных сортов обнаружен ген *Lr34* (один сорт тритикале озимой – Арго и восемь сортов пшеницы озимой – Акапелла, Арсенал, Вольница, Вольный Дон, Жаворонок, Каролина, 5, Корона, Секлетия). Фитопатологическое тестирование подтвердило наличие гена *Lr34* в сортах пшеницы озимой – Арсенал, Вольница, Вольный Дон, Жаворонок, Секлетия. Полученные данные согласуются с результатами Гулятьевой Е.И. с соавторами о присутствии данного гена в сортах пшеницы Арсенал, Вольница, Вольный Дон, Жаворонок, Корона и Секлетия [45]. Ген *Lr34* обладает устойчивостью по типу медленного развития (slow rusting), что важно для селекции, поскольку он обеспечивает устойчивость в течение длительного периода времени и эффективен против многих патогенов [46]. Сорта пшеницы Арсенал (10MS), Вольница (7MS) и Корона (20MS) имеют тип высокой расонеспецифической устойчивости в поле.

Ген *Lr34* обеспечивает устойчивость не только к бурой ржавчине, но и к желтой ржавчине (*Yr18*), стеблевой ржавчине (*Sr57*) и мучнистой росе (*Pm38*), устойчивостью этого гена сохранялась более 50 лет. Он широко распространен в пшенице по всему миру [24]. Известно, что этот ген эффективен в фазу взрослого растения (APR), но также он экспрессируется и в ювенильной фазе, когда растения с геном *Lr34* выращивают при низких температурах (примерно при 8 °C) [47]. На юге Западной Сибири данный ген снижал скорость развития болезни при среднесуточной температуре ниже 16 °C, но был мало эффективен при температуре выше 20 °C [48].

С помощью молекулярных маркеров ген *Lr18* был идентифицирован в двух сортах тритикале озимой Азнавур и Арго. Ген устойчивости к бурой ржавчине пшеницы *Lr18* получен из *Triticum timopheevii* Zhuk. и расположен на длинном плече 5В хромосомы.

Устойчивость растений в ювенильной фазе, защищенных *Lr18*, наиболее эффективна при температуре от 15 до 18 °C, а с повышением температуры ген становится менее эффективным, и при 25 °C он становится неэффективным [49].

Высокоэффективные гены *Lr19* и *Lr29* не были обнаружены ни в одном из исследуемых сортов (рис. 3).

По данным Шишкина Н.В. с соавторами, в Ростовской области линии *TcLr18* и *TcLr34* относятся к умеренно восприимчивым со степенью поражения 30–40 % [50]. На территории Краснодарского края в течении десяти лет (2011–2020) линия с геном *Lr18* является умеренно устойчивой (степень поражения болезнью до 10 %), а линия с геном *Lr34* также относится к группе умеренно восприимчивых (в среднем степень поражения 45 %) [51].

С помощью фитопатологического тестирования было постулировано у 15 сортов озимой пшеницы и тритикале российской селекции 19 генов *Lr*: 1, 2b, 3, 3bg, 3ka, 10, 11, 20, 14a, 15, 17, 25, 26, 30, 32, 34, 36, 73, *Kanred* (табл. 6). Выявленные гены устойчивости в большинстве своем неэффективны в защите от северокавказской популяции бурой ржавчины пшеницы, что связано с высокой вирулентностью патогена [52]. Из перечисленных генов ген *Lr36* является эффективным (1R-5R) и постулирован в сортах пшеницы Богема (10MR), Вольный Дон (5MR), Жаворонок (5R), а ген *Lr17* – умеренноэффективным (10MR-20MR) и выявлен в сорте Вольница (7MS). Наличие генов *Lr1*, *Lr10* в сортах пшеницы озимой Кавалерка и *Lr26* в сорте Корона подтверждено в исследованиях с помощью молекулярных маркеров Гулятьевой Е.И. с коллегами [45]. Реакция сортов на заражение 9 разными патотипами северокавказской популяции бурой ржавчины пшеницы представлены в таблице 7.

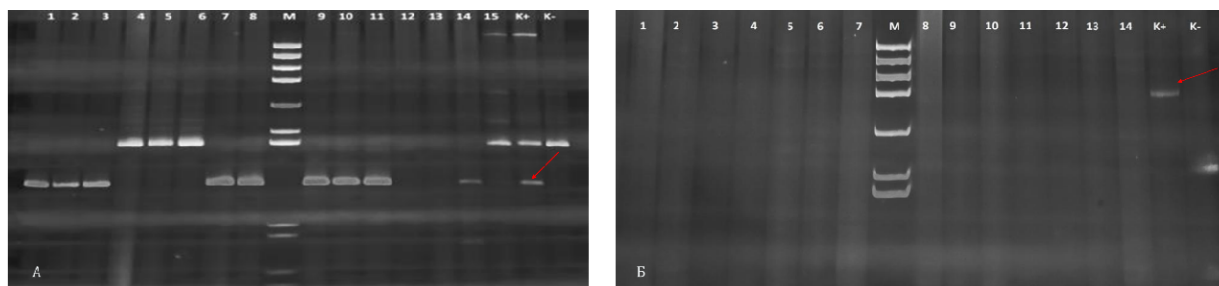


Рисунок 3. Электрофорез в полиакриламидном геле ДНК сортов озимой пшеницы с парами праймеров:

А) csLV34 (*Lr34*); Б) CS265(*Lr19*): 1 – Вольница, 2 – Вольный Дон, 3 – Жаворонок, 4 – Кавалерка, 5 – Караван, 6 – Былина Дона, 7 – Акапелла, 8 – Корона, 9 – Арсенал, 10 – Секлетия, 11 – Каролина, 12 – Аргус, 13 – Азнавур, 14 – Арго, 15 – Богема, К+ – линия Thatcher, содержащая *Lr34* (или *Lr19*), К – Michigan Amber (не содержит *Lr34* или *Lr19*), М – маркер молекулярной массы (Gene ruler). Стрелкой обозначены ПЦР-фрагменты, указывающие на наличие гена

Figure 3. Electrophoresis in polyacrylamide gel of DNA of winter wheat varieties with primer pairs:

А) csLV34 (*Lr34*); Б) CS265(*Lr19*): 1 – Vol'nitsa, 2 – Vol'nyj Don, 3 – Zhavoronok, 4 – Kavalierka, 5 – Karavan, 6 – Bylina Dona, 7 – Akapella, 8 – Korona, 9 – Arsenal, 10 – Sekletia, 11 – Karolina, 12 – Argus, 13 – Aznavour, 14 – Argo, 15 – Bohemia, К+ – Thatcher line containing *Lr34* (or *Lr19*), К – Michigan Amber (does not contain *Lr34* or *Lr19*), М – molecular weight marker (Gene ruler). The arrow indicates PCR fragments indicating the presence of the gene

Таблица 6. Сорта пшеницы и тритикале озимых с идентифицированными генами устойчивости к *P. tritricina* различными методами

Table 6. Wheat and winter triticale varieties with *P. tritricina* resistance genes identified by various methods

Сорт Variety	Постулированные <i>Lr</i> -гены (фитотест) Postulated <i>Lr</i> genes (phytotest)	Выявленные <i>Lr</i> -гены (ПЦР-метод) Identified <i>Lr</i> genes (PCR method)
Тритикале озимая / Triticale winter		
Азнавур / Aznavur	<i>Lr2b, Lr 20</i>	<i>Lr 18</i>
Аргус / Argus	<i>Lr15, Lr20</i>	-
Арго / Argo	-	<i>Lr 18, Lr 34</i>
Пшеница озимая / Wheat winter		
Акапелла / Akapella	<i>Lr10, Lr11, Lr14a, Lr26, Lr30</i>	<i>Lr 34</i>
Арсенал / Arsenal	<i>Lr34</i>	<i>Lr 34</i>
Богема / Bogema	<i>Lr3ka, Lr3bg, Lr36</i>	-
Былина Дона / Bylina Dona	<i>Lr3ka</i>	-
Вольница / Volnitsa	<i>Lr3ka, Lr17, Lr34</i>	<i>Lr 34</i>
Вольный Дон / Volny Don	<i>Lr34 Lr36, Lr73</i>	<i>Lr 34</i>
Жаворонок / Zhavoronok	<i>Lr34, Lr36, Lr73</i>	<i>Lr 34</i>
Кавалерка / Kavalierka	<i>Lr1, Lr10, Lr30</i>	-
Караван / Karavan	<i>Lr3ka, Lr32</i>	-
Каролина 5 / Karolina 5	<i>Lr14a, Lr25</i>	<i>Lr 34</i>
Корона / Korona	<i>Lr3, Lr26</i>	<i>Lr 34</i>
Секлетия / Sekletiya	<i>Lr26, Lr11, Lr34, Lr Kanred</i>	<i>Lr 34</i>

В устойчивых сортах, районированных на территории Северного Кавказа, наблюдается широкое распространение неэффективных генов устойчивости *Lr1*, *Lr3*, *Lr10* и *Lr26*, *Lr34*. По отдельности они потеряли свою эффективность, но в сочетании обеспечивают повышение уровня полевой устойчивости [53]. Известно, что генотипы пшеницы с тремя или более из этих неэффективных генов (*Lr1*, *Lr3*, *Lr10*, *Lr20* и *Lr26*) обладали более высокой устойчивостью в полевых условиях, чем те, у которых был только один или два из этих генов. Присутствие гена устойчивости *Lr34* дополнительно усиливает действие этих ювенильных генов [54]. Например, в сорте Кавалерка постулированы гены устойчивости *Lr1*, *Lr10*, *Lr30* и в полевых условиях

данный сорт является высоко устойчивым (R). В сорте Акапелла были постулированы гены *Lr10*, *Lr11*, *Lr14a*, *Lr26*, *Lr30* методом фитопатологического тестирования и с помощью молекулярного маркера определен ген *Lr34*, в полевых условиях степень поражения не превышала 7 % и болезнь развивалась по типу slow rusting. Также *Lr26* был обнаружен в сортах пшеницы озимой Корона (*Lr3* и *Lr34*), Секлетия (*Lr11*, *Lr34*, *LrKanred*) и по данным литературы в сорте Караван [45]. Широкое использование данного гена может быть связано больше с его адаптивной способностью и высокой урожайностью, а не устойчивостью к болезням [55].

Таблица 7. Реакция сортов пшеницы и тритикале озимых (балл), инокулированных в ювенильной фазе вирулентными изолятами *P. triticina*, 2021 г.**Table 7.** Response of winter wheat and triticale varieties (score) inoculated in the juvenile phase with virulent isolates of *P. triticina*, 2021

Сорт Variety	Фенотип / Phenotype								
	MKTTT	PFTTH	NBCFH	PCTTH	PHRTK	PCGLK	DKTTR	MKHKC	NHHSF
Тритикале озимая / Triticale winter									
Азнавур Aznavor	3	3	0	3	3	3	0	2	3
Аргус / Argus	0	1	0	0	2	3	2	0	3
Арго / Argo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Пшеница озимая / Wheat winter									
Акапелла Akappella	3	3	0	3	1	0;	3	3	3
Арсенал Arsenal	3	3	0	3	3	2	3	2	0
Богема Bogema	3	3	1	0	3	0	3	2	0
Былина Дона Bylina Dona	3	3	0	3	3	0;	3	1	3
Вольница Volnitsa	3	3	2	3	3	0	3	2	0
Вольный Дон Volny Don	3	3	2	3	3	0	2	3	0
Жаворонок Zhavoronok	3	3	2	3	3	0	0	3	0
Кавалерка Kavalerka	3	3	3	0	3	0	3	3	3
Караван Karavan	3	3	1	0	3	1	3	2	0
Каролина 5 Karolina 5	3	3	0	3	3	1	3	3	3
Корона Korona	3	3	0	3	1	3	3	3	0
Секлетия Sekletiya	3	3	0;	3	3	3	3	3	3

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом установлено, что все изученные сорта пшеницы и тритикале являются высоко- и умеренноустойчивыми к бурой ржавчине в полевых условиях. При этом у большей части сортов (73 % от числа изученных) выявлен расоспецифический тип устойчивости (тритикале озимая – Азнавур, Аргус, Арго; пшеница озимая – Акапелла, Богема, Вольный Дон, Жаворонок, Кавалерка, Караван, Каролина 5, Секлетия). Высокий расоспецифический тип устойчивости выявлен в четырех сортах пшеницы озимой: Арсенал, Былина Дона, Вольница, Корона. С помощью молекулярных маркеров установлено, что большинство изученных сортов (тритикале озимая – Арго, пшеница озимая – Акапелла, Арсенал, Вольница, Вольный Дон, Жаворонок, Каролина 5, Корона, Секлетия) содержат ген *Lr34*, который часто используется в селекции. *Lr18* был идентифицирован в двух сортах тритикале – Азнавур и Арго. Тенденция к увеличению частоты вирулентных изолятов к гену *Lr18* на Северном Кавказе [51] требует мониторинга генетики районированных сортов, и анализа вирулентности популяции *P. triticina*. С помощью фитопатологического тестирования постулировано 19 *Lr*-генов, большинство из которых являются неэффективными в полевых условиях, за

исключением эффективного *Lr36* (сорта пшеницы Богема, Вольный Дон, Жаворонок) и умеренноэффективного *Lr17* (сорт пшеницы Вольница). Метод фитотеста является хорошим дополнением к другим методам идентификации генов *Lr* в сортах пшеницы и тритикале.

Полученные результаты указывают на то, что, несмотря на полевую устойчивость к бурой ржавчине изученных сортов, необходим их ежегодный мониторинг, поскольку вирулентные изоляты северокавказской популяции *P. triticina* способны быстро преодолеть расоспецифическую устойчивость сортов. Также важно знание генетики районированных сортов, для эффективной их ротации во времени и пространстве. Своевременная смена генетически защищенных сортов дает возможность снизить вероятность вспышки патогена и стабилизировать популяционный состав возбудителя бурой ржавчины.

БЛАГОДАРНОСТЬ

1. Авторы выражают благодарность д.б.н. Дубине Елене Викторовне и сотрудникам ФГБНУ «Федеральный научный центр риса» за предоставление оборудования для молекулярно-генетических исследований;

сотрудникам ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко», ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» за предоставление семенного материала.

2. Иммунологическая оценка сортов пшеницы озимой и идентификация *Lr*-генов с помощью фитопатологического тестирования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN–2025-0002.

3. Идентификация *Lr*-генов с помощью молекулярных маркеров выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-016-00268.

ACKNOWLEDGMENT

1. The authors express their gratitude to: Dr. Dubina Elena Viktorovna and the staff of State Budgetary Scientific Institution, Federal Rice Science Centre for providing equipment for molecular genetic research; the staff of Federal State Budgetary Scientific Institution, Donskoy Agricultural Research Center, Federal State Budgetary Scientific Institution, P.P. Lukyanenko National Grain Centre; Federal State Budgetary Scientific Institution, North Caucasian Federal Scientific Agrarian Centre, Federal State Budgetary Scientific Institution, Federal Rostov Agrarian Scientific Centre, for the provision of seed material.

2. Immunological evaluation of winter wheat varieties and identification of *Lr* genes by phytopathological testing was carried out in accordance with the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of research on the topic № FGRN–2025-0002.

3. Identification of *Lr* genes by molecular markers was funded by RFBR according to the research project № 20-016-00268.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Prasad P., Savadi S., Bhardwaj S.C., Gupta P.K. The progress of leaf rust research in wheat // *Fungal Biology*. 2020. V. 124(6). P. 537–550. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2020.02.013>
- Волкова Г.В., Кремнева О.Ю., Шумилов Ю.В., Синяк Е.В., Ваганова О.Ф., Сегеда Е.С., Дерова Т.Г. Характеристика сортов и линий озимой пшеницы селекции ВНИИЗК им. И.Г. Калиненко по устойчивости к комплексу возбудителей экономически значимых болезней // *Зерновое хозяйство России*. 2016. N 1. С. 27–32.
- Аблова И.Б., Беспалова Л.А., Колесников Ф.А. Набоков Г.Д., Ковтуненко В.Я., Филобок В.А., Давоян Р.О., Худокормова Ж.Н., Мохова Л.М., Левченко Ю.Г., Тархов А.С. Принципы и методы селекции пшеницы на устойчивость к болезням в КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко // *Зерновое хозяйство России*. 2016. N 5. С. 32–36.
- Афанасенко О.С. Генетическая защита растений: проблемы и перспективы // *Защита и карантин растений*. 2016. N 1. С. 13–16.
- Гвоздева М.С., Волкова Г.В. Влияние различных систем защиты озимой пшеницы сорта Сварог на развитие грибных болезней // *Юг России: экология, развитие*. 2023. T. 18. N 2(67). С. 140–151. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-140-151

6. Манукян И.Р., Абиева Т.С., Догужова Н.Н. Скрининг сортов озимой мягкой пшеницы российской и зарубежной селекции на устойчивость к бурой ржавчине в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа // *Аграрный научный журнал*. 2022. T. 10. С. 55–61.

7. Bikas B., Philomin J., Keshav B., Umisha U. A Review on Major Rust Resistance Gene and Amino Acid Changes on Wheat (*Triticum aestivum* L) // *Advances in Agriculture*. 2022. V. 2022, Article ID: 7419326, 11 p.

<https://doi.org/10.1155/2022/7419326>

8. Bouvet L., Percival-Alwyn L., Berry S., Fenwick P., Mantello C.C., Sharma R., Holdgate S., Mackay I.J., Cockram J. Wheat genetic loci conferring resistance to stripe rust in the face of genetically diverse races of the fungus *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* // *Theoretical and Applied Genetics*. 2022. V. 135. N 1. P. 301–319. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03967-z>

9. McIntosh R.A., Dubcovsky J., Rogers W.J., Xia X.C., Raupp W.J. Catalogue of gene symbols for wheat: 2020 supplement // *Annual Wheat Newsletter*. 2020. V. 66. P. 109–128.

10. Vikas V.K., Pradhan A.K., Budhlakoti N., Mishra D.C., Chandra T., Bhardwaj S.C., Kumar S., Sivasamy M., Jayaprakash P., Nisha R., Shajitha P., Peter J., Geetha M., Mir R.R., Singh K., Kumar S. Multi-locus genome-wide association studies (ML-GWAS) reveal novel genomic regions associated with seedling and adult plant stage leaf rust resistance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Heredity*. 2022. V. 128(6). P. 434–449. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00525-1>

11. Flor H.H. The complementary genetic system in flax and flax rusts // *Advanced Genetics*. 1956. V. 8. P. 29–54.

12. Колесова М.А., Зуева А.А., Тырышкин Л.Г. Ревизия теории флора–“ген-на-ген”–для феноменов взаимодействия проростков зерновых культур с возбудителями ржавчин // *Доклады Российской академии наук. Науки о жизни*. 2021. T. 496. N 1. С. 19–23.

13. Kumar K., Jan I., Saripalli G., Sharma P.K., Mir R.R., Balyan H.S., Gupta P.K. An update on resistance genes and their use in the development of leaf rust resistant cultivars in wheat // *Frontiers in Genetics*. 2022. V. 13. Iss. 816057. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.816057>

14. Singh R.P. Resistance to leaf rust in 26 Mexican wheat cultivars // *Crop Science*. 1993. V. 33.3. P. 633–637.

15. McVey D.V., Long D.L. Genes for leaf rust resistance in hard red winter wheat cultivars and parental lines // *Crop Science*. 1993. V. 33.6. P. 1373–1381.

16. Гайнуллин Н.Р., Лапочкина И.Ф., Жемчужина А.И. Киселева М.И., Коломиец Т.М., Коваленко Е.Д.

Использование фитопатологического и молекулярно-генетического методов для идентификации генов устойчивости к бурой ржавчине у образцов мягкой пшеницы с чужеродным генетическим материалом // *Генетика*. 2007. T. 43. N 8. С. 1058–1064.

17. Анпилогова Л.К., Волкова Г.В., Ваганова О.Ф., Авдеева Ю.В. Идентификация генов ювенильной устойчивости к возбудителю бурой ржавчины у новых отечественных сортов озимой пшеницы // *Вестник защиты растений*. 2011. T. 3. С. 38–40.

18. Гульятеева Е.И., Сибикеев С.Н., Дружин А.Е., Шайдаюк Е.Л. Расширение генетического разнообразия сортов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к бурой ржавчине (*Puccinia triticina* Eriks.) в Нижнем Поволжье // *Сельскохозяйственная биология*. 2020. T. 55(1). С. 27–44. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.1.27rus>

19. Баранова О.А. Молекулярная идентификация генов устойчивости к стеблевой ржавчине у новых допущенных к использованию сортов пшеницы // *Вестник защиты*

- растений. 2020. Т. 103. N 2. С. 113–118.
<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2020-103-2-4936>
20. Сколотнева Е.С., Кельбин В.Н., Шаманин В.П., Бойко Н.И., Апарина В.А., Салина Е.А. Ген Sr38: значение для селекции мягкой пшеницы в условиях Западной Сибири // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25. N 7. С. 740–745. DOI: 10.18699/VJ21.084
21. Жогалева О.С., Вожжова Н.Н., Шумская О.В. Скрининг генов устойчивости к бурой ржавчине (Lr) у селекционных линий озимой мягкой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. N 6. С. 23–28. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-23-28
22. Манукян И.Р., Догужова Н.Н. Селекция озимой мягкой пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине // Аграрный научный журнал. 2022. N 9. С. 38–42.
<https://doi.org/10.28983/asj.y2022i9pp38-42>
23. Кохметова А.М., Атишова М.Н., Галымбек К. Идентификация гермоплазма пшеницы, устойчивой к бурой, желтой и стеблевой ржавчине с использованием молекулярных маркеров // Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. 2020. С. 45–52.
<https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.40>
24. Wu H., Kang Z., Li X., Li Y., Li Y., Wang S., Liu D. Identification of wheat leaf rust resistance genes in Chinese wheat cultivars and the improved germplasm // Plant disease. 2020. V. 104(10). P. 2669–2680.
<https://doi.org/10.1094/PDIS-12-19-2619-RE>
25. Yuan L.I.U., Gebrewahid T.W., Zhang P.P., Li Z.F., Liu D.Q. Identification of leaf rust resistance genes in common wheat varieties from China and foreign countries // Journal of Integrative Agriculture. 2021. V. 20(5). P. 1302–1313.
[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63371-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63371-8)
26. Kumar K., Jan I., Saripalli G., Sharma P.K., Mir R.R., Balyan H.S., Gupta P.K., An update on resistance genes and their use in the development of leaf rust resistant cultivars in wheat // Frontiers in Genetics. 2022. V. 13. P. 816057.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2022.816057>
27. El-Orabey W.M., Mabrouk O.I., Gad M.A., Esmail S.M. Inheritance and detection of leaf rust resistance genes in some Egyptian wheat cultivars // International Journal of Genetics and Genomics. 2020. V. 8(1). P. 1–10. DOI: 10.11648/j.ijgg.20200801.11
28. Omara R.I., Shahin A.A., Ahmed S.M., Mostafa Y.S., Alamri S.A., Hashem M., Elsharkawy M.M. Wheat Resistance to Stripe and Leaf Rusts Conferred by Introgression of Slow Rusting Resistance Genes // Journal of Fungi. 2021. V. 7. P. 622.
<https://doi.org/10.3390/jof7080622>
29. Hanzalová A., Dumaslová V., Zelba O. Wheat leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks.) virulence frequency and detection of resistance genes in wheat cultivars registered in the Czech Republic in 2016–2018 // Czech Journal of Genetics and Plant Breeding. 2020. V. 56. N 3. P. 87–92. DOI: 10.17221/86/2019-CJGPB
30. Talebi R., Mahboubi M., Naji A.M., Mehrabi R. Physiological specialization of *Puccinia triticina* and genome-wide association mapping provide insights into the genetics of wheat leaf rust resistance in Iran // Scientific Reports. 2023. V. 13(1). p. 4398. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31559-y>
31. Kolmer J.A., Fajolu O. Virulence phenotypes of the wheat leaf rust pathogen, *Puccinia triticina*, in the United States from 2018 to 2020 // Plant Disease. 2022. V. 106. N 6. P. 1723–1729. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-21-2321-RE>
32. Дүвейллер Е., Сингх П.К., Меццалама М., Сингх Р.П., Дабабат А. Болезни и вредители пшеницы. Руководство для полевого определения (2-е издание). Анкара, 2018. 147 с.
33. Волкова Г.В., Кремнева О.Ю., Анпилогова Л.К., Шумилов Ю.В., Сняк Е.В. Методические указания по изучению устойчивости сортов пшеницы к комплексу патогенов. 2012. 43 с.
34. Макаров А.А., Коваленко Е.Д., Соломатин Д.А., Маторина Н.М. Методы полевой и лабораторной оценки неспецифической устойчивости растений к болезням // Типы устойчивости растений к болезням: Материалы научного семинара: РАСХН, ВИЗР, Инновационный центр защиты растений. 2003. С. 17–24.
35. Long D.L., Kolmer J.A. A North American system of nomenclature for *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* // Phytopathology. 1989. V. 79. P. 525–529.
36. Волкова Г.В., Кудинова О.А., Гладкова Е.В., Ваганова О.Ф., Данилова А.В., Матвеева И.П. Вирулентность популяций возбудителей ржавчины зерновых колосовых культур. Краснодар : ИП Дедкова С.А., 2018. 38 с.
37. Mains E.B., Jackson H.C. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat: *Puccinia triticina* Erikss. // Phytopathology. 1926. V. 16(1). P. 89–120.
38. Flor H.H. The complementary genetic system in flax and flax rusts // Advanced Genetics. 1956. V. 8. P. 29–54.
39. Поморцев А.А., Лялина Е.В., Животовский Л.А., Калабушкин Б.А., Пухальский В.А. Электрофорез запасных белков как метод сортового контроля у ярового ячменя // Селекция и семеноводство. 2004. N 3. С. 20–28.
40. Procunier J.D. Leaf rust resistance genes Lr29 and Lr25. MAS Wheat. URL: <https://maswheat.ucdavis.edu/protocols/Lr29> (дата обращения 21.12.2024)
41. Soria M.A., Zhang W., Dubcovsky J. Rusts resistance gene Lr34-Yr18-Sr57, powdery mildew resistance gene Pm18. MAS Wheat. URL: <https://maswheat.ucdavis.edu/protocols/Lr34> (дата обращения 21.12.2024)
42. Gupta S.K., Charpe A., Prabhu K.V., Haque Q.M.R. Identification and validation of molecular markers linked to the leaf rust resistance gene Lr19 in wheat // Theoretical and Applied Genetics. 2006. V. 113. P. 1027–1036.
43. Sadeghabad A.A., Dadkhodaie A., Heidari B., Razi H., Mostowfizadeh-Ghalefarsa R. Microsatellite markers for the *Triticum timopheevi*-derived leaf rust resistance gene Lr18 on wheat 5BL chromosome // Breeding science. 2017. V. 67(2). P. 129–134.
44. Зеленева Ю.В., Плахотник В.В., Судникова В.П. Методические подходы к определению расонеспецифической устойчивости к возбудителю *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Erikss. et Henn // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2017. N 2. С. 9–15.
45. Гуляева Е.И., Шайдаюк Е.Л. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у новых российских сортов мягкой пшеницы // Биотехнология и селекция растений. 2021. Т. 4. N 2. С. 15–27. DOI: 10.30901/2658-6266-2021-2-o2
46. Skowrońska R., Kwiatak M., Tomkowiak A., Nawracała J. Development of multiplex PCR to detect slow rust resistance genes Lr34 and Lr46 in wheat // Journal of Applied Genetics. 2019. V. 60. P. 301–304. <https://doi.org/10.1007/s13353-019-00520-z>
47. Brar G.S., Feau N., Gill U.S., Hiebert C., Leboldus J., Park R.F. Surveillance, breeding, and cultural practices to prevent a rust storm on crops and trees // Canadian Journal of Plant Pathology. 2021. V. 43(2). P. S183–S187.
<https://doi.org/10.1080/07060661.2021.1996063>
48. Плотникова Л.Я., Штубей Т.Ю. Эффективность генов возрастной устойчивости пшеницы к бурой ржавчине *Lr22b*, *Lr34*, *Lr37* в Западной Сибири и цитофизиологическая

основа их действия // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014. Т. 16. N 1. С. 123–131.

49. Carpenter N.R., Griffey C.A., Malla S., Chao S., Brown-Guedira G.L. Mapping *Lr18*: A leaf rust resistance gene widely deployed in soft red winter wheat. Identification and Mapping of Resistance to *Puccinia striiformis* and *Puccinia triticina* in Soft Red Winter Wheat. 2017. 88 p.

50. Шишкин Н.В., Дерова Т.Г., Гуляева Е.И., Шайдаук Е.Л. Эффективность генов устойчивости пшеницы к бурой ржавчине в условиях Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2019. N 2. С. 69–73. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-62-2-69-73

51. Volkova G.V., Kudina O.A., Vaganova O.F., Agapova V.D. Effectiveness of Leaf Rust Resistance Genes in the Adult and Juvenile Stages in Southern Russia in 2011–2020 // Plants. 2022. V. 11. N 6. P. 793. DOI: 10.3390/plants11060793

52. Volkova G.V., Vaganova O.F., Kudina O.A. Virulence of *Puccinia triticina* in the North Caucasus region of Russia // Spanish journal of agricultural research. 2020. V. 18. N 1. P. 1001. <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2020181-14749>

53. Gulyaeva E., Shaydayuk E., Gannibal P. Leaf rust resistance genes in wheat cultivars registered in Russia and their influence on adaptation processes in pathogen populations // Agriculture. 2021. V. 11. N 4. P. 319.

<https://doi.org/10.3390/agriculture11040319>

54. Dakouri A., McCallum B.D., Radovanovic N., Cloutier S. Molecular and phenotypic characterization of seedling and adult plant leaf rust resistance in a world wheat collection // Molecular Breeding. 2013. V. 32. P. 663–677.

<https://doi.org/10.1007/s11032-013-9899-8>

55. Pathan A.K., Park R.F. Evaluation of seedling and adult plant resistance to leaf rust in European wheat cultivars // Euphytica. 2006. V. 149. P. 327–342.

<https://doi.org/10.1007/s10681-005-9081-4>

REFERENCES

1. Prasad P., Savadi S., Bhardwaj S.C., Gupta P.K. The progress of leaf rust research in wheat. *Fungal Biology*, 2020, vol. 124(6), pp. 537–550.

<https://doi.org/10.1016/j.funbio.2020.02.013>

2. Volkova G.V., Kremneva O.Yu., Shumilov Yu.V., Sinyak E.V., Vaganova O.F., Segeda E.S., Derova T.G. Characteristics of varieties and lines of winter wheat selected by VNIIZK named after I.G. Kalinenko on resistance to a complex of pathogens of economically significant diseases. *Zernovoe khozyaistvo Rossii* [Grain Economy of Russia]. 2016, no. 1, pp. 27–32. (In Russian)

3. Ablova I.B., Bespalova L.A., Kolesnikov F.A., Nabokov G.D., Kovtunen V.Ya., Filobok V.A., Davoyan R.O., Khudokormova Zh.N., Mokhova L.M., Levchenko Yu.G., Tarkhov A.S. Principles and methods of wheat breeding for disease resistance at the KNIISH named after. P.P. Lukyanenko. *Zernovoe khozyaistvo Rossii* [Grain Economy of Russia]. 2016, no. 5, pp. 32–36. (In Russian)

4. Afanasenko O.S. Genetic plant protection: problems and prospects. *Zashchita i karantin rastenii* [Plant protection and quarantine]. 2016, no. 1, pp. 13–16. (In Russian)

5. Gvozdeva M.S., Volkova G.V. The influence of various protection systems of winter wheat variety Svarog on the development of fungal diseases. *South of Russia: ecology, development*, 2023, vol. 18, no. 2(67), pp. 140–151. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-140-151

6. Manukyan I.R., Abieva T.S., Doguzova N.N. Screening of winter soft wheat varieties of Russian and foreign selection for resistance to leaf rust in the conditions of the foothill zone of the Central Caucasus. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal* [Agricultural scientific journal]. 2022, vol. 10, pp. 55–61. (In Russian)

7. Bikas B., Philomin J., Keshav B., Umisha U. A Review on Major Rust Resistance Gene and Amino Acid Changes on Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Advances in Agriculture*, 2022, vol. 2022, article id: 7419326, 11 p.

<https://doi.org/10.1155/2022/7419326>

8. Bouvet L., Percival-Alwyn L., Berry S., Fenwick P., Mantello C.C., Sharma R., Holdgate S., Mackay I.J., Cockram J. Wheat genetic loci conferring resistance to stripe rust in the face of genetically diverse races of the fungus *Puccinia striiformis* f. sp. *Tritici*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2022, vol. 135, no. 1, pp. 301–319. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03967-z>

9. McIntosh R.A., Dubcovsky J., Rogers W.J., Xia X.C., Raupp W.J. Catalogue of gene symbols for wheat: 2020 supplement. *Annual Wheat Newsletter*. 2020, vol. 66, pp. 109–128.

10. Vikas V.K., Pradhan A.K., Budhlakoti N., Mishra D.C., Chandra T., Bhardwaj S.C., Kumar S., Sivasamy M., Jayaprakash P., Nisha R., Shajitha P., Peter J., Geetha M., Mir R.R., Singh K., Kumar S. Multi-locus genome-wide association studies (ML-GWAS) reveal novel genomic regions associated with seedling and adult plant stage leaf rust resistance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Heredity*, 2022, vol. 128(6), pp. 434–449. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00525-1>

11. Flor H.H. The complementary genetic system in flax and flax rusts. *Advanced Genetics*. 1956, vol. 8, pp. 29–54.

12. Kolesova M.A., Zueva A.A., Tyryshkin L.G. Revision of the flora theory – “gene-for-gene” – for the phenomena of interaction of grain seedlings with rust pathogens. *Doklady Rossiiskoi akademii nauk. Nauki o zhizni* [Reports of the Russian Academy of Sciences. Life Sciences]. 2021, vol. 496, no. 1, pp. 19–23. (In Russian)

13. Kumar K., Jan I., Saripalli G., Sharma P.K., Mir R.R., Balyan H.S., Gupta P.K. An update on resistance genes and their use in the development of leaf rust resistant cultivars in wheat.

Frontiers in Genetics, 2022, vol. 13, iss. 816057.

<https://doi.org/10.3389/fgene.2022.816057>

14. Singh R.P. Resistance to leaf rust in 26 Mexican wheat cultivars. *Crop Science*. 1993, vol. 33.3, pp. 633–637.

15. McVey D.V., Long D.L. Genes for leaf rust resistance in hard red winter wheat cultivars and parental lines. *Crop Science*. 1993, vol. 33.6, pp. 1373–1381.

16. Gainullin N.R., Lapochkina I.F., Zhemchuzhina A.I. Kiseleva M.I., Kolomiets T.M., Kovalenko E.D. Use of phytopathological and molecular genetic methods to identify genes for resistance to leaf rust in bread wheat samples with foreign genetic material. *Genetika* [Genetics]. 2007, vol. 43, no. 8, pp. 1058–1064. (In Russian)

17. Anpilogova L.K., Volkova G.V., Vaganova O.F., Avdeeva Yu.V. Identification of genes for juvenile resistance to the leaf rust pathogen in new domestic varieties of winter wheat. *Vestnik zashchity rastenii* [Bulletin of Plant Protection]. 2011, vol. 3, pp. 38–40. (In Russian)

18. Gulyaeva E.I., Sibikeev S.N., Druzhin A.E., Shaydayuk E.L. Expanding the genetic diversity of spring soft wheat varieties for resistance to leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks.) in the Lower Volga region. *Agricultural Biology*, 2020, vol. 55(1), pp. 27–44. (In Russian)

<https://doi.org/10.15389/agrobiol.2020.1.27rus>

19. Baranova O.A. Molecular identification of genes for resistance to stem rust in new wheat varieties approved for use. *Bulletin of plant protection*, 2020, vol. 103, no. 2, pp. 113–118. (In Russian) <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2020-103-2-4936>

20. Skolotneva E.S., Kelbin V.N., Shamanin V.P., Boyko N.I., Aparina V.A., Salina E.A. Gene Sr38: significance for breeding bread wheat in Western Siberia. *Vavilov Journal of Genetics*

- and Breeding*. 2021, vol. 25, no. 7, pp. 740–745. (In Russian) DOI: 10.18699/VJ21.084
21. Zhogaleva O.S., Vozzhova N.N., Shumskaya O.V. Screening of genes for resistance to leaf rust (Lr) in breeding lines of winter soft wheat. *Grain Economy of Russia*, 2022, vol. 14, no. 6, pp. 23–28. (In Russian) DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-23-28
22. Manukyan I.R., Doguzova N.N. Breeding winter soft wheat for resistance to leaf rust. *Agricultural Scientific Journal*, 2022, no. 9, pp. 38–42. (In Russian) <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i9pp38-42>
23. Kokhmetova A.M., Atishova M.N., Galymbek K. Identification of wheat germplasm resistant to brown, yellow and stem rust using molecular markers. *Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 2020, vol. 2, no. 384, pp. 45–52. (In Russian) <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.40>
24. Wu H., Kang Z., Li X., Li Y., Li Y., Wang S., Liu D. Identification of wheat leaf rust resistance genes in Chinese wheat cultivars and the improved germplasms. *Plant disease*, 2020, vol. 104(10), pp. 2669–2680. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-19-2619-RE>
25. Yuan L.I.U., Gebrewahid T.W., Zhang P.P., Li Z.F., Liu D.Q. Identification of leaf rust resistance genes in common wheat varieties from China and foreign countries. *Journal of Integrative Agriculture*, 2021, vol. 20(5), pp. 1302–1313. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63371-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63371-8)
26. Kumar K., Jan I., Saripalli G., Sharma P.K., Mir R.R., Balyan H.S., Gupta P.K., An update on resistance genes and their use in the development of leaf rust resistant cultivars in wheat. *Frontiers in Genetics*, 2022, vol. 13, pp. 816057. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.816057>
27. El-Orabey W.M., Mabrouk O.I., Gad M.A., Esmail S.M. Inheritance and detection of leaf rust resistance genes in some Egyptian wheat cultivars. *International Journal of Genetics and Genomics*, 2020, vol. 8(1), pp. 1–10. DOI: 10.11648/j.ijgg.20200801.11
28. Omara R.I. Shahin A.A. Ahmed S.M. Mostafa Y.S. Alamri S.A. Hashem M. Elsharkawy M.M. Wheat Resistance to Stripe and Leaf Rusts Conferred by Introgression of Slow Rusting Resistance Genes. *Journal of Fungi*, 2021, vol. 7, pp. 622. <https://doi.org/10.3390/jof7080622>
29. Hanzalová A., Dumalasová V., Zelba O. Wheat leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks.) virulence frequency and detection of resistance genes in wheat cultivars registered in the Czech Republic in 2016–2018. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 2020, vol. 56, no. 3, pp. 87–92. DOI: 10.17221/86/2019-CJGPB
30. Talebi R., Mahboubi M., Naji A.M., Mehrabi R. Physiological specialization of *Puccinia triticina* and genome-wide association mapping provide insights into the genetics of wheat leaf rust resistance in Iran. *Scientific Reports*, 2023, vol. 13(1), pp. 4398. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31559-y>
31. Kolmer J.A., Fajolu O. Virulence phenotypes of the wheat leaf rust pathogen, *Puccinia triticina*, in the United States from 2018 to 2020. *Plant Disease*, 2022, vol. 106, no. 6, pp. 1723–1729. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-21-2321-RE>
32. Duveiller E., Singh P.K., Mezzalama M., Singh R.P., Dababat A. *Bolezni i vrediteli pshenitsy. Rukovodstvo dlya polevogo opredeleniya* [Diseases and pests of wheat. Field Determination Guide]. Ankara, 2018, 2nd ed., 147 p. (In Russian)
33. Volkova G.V., Kremneva O.Yu., Anpilogova L.K., Shumilov Yu.V., Sinyak E.V. *Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu ustoichivosti sortov pshenitsy k kompleksu patogenov* [Guidelines for studying the resistance of wheat varieties to a complex of pathogens]. 2012, 43 p. (In Russian)
34. Makarov A.A., Kovalenko E.D., Solomatin D.A., Matorina N.M. [Methods for field and laboratory assessment of nonspecific plant resistance to diseases]. In: *Tipy ustoichivosti rastenii k bolezniam: Materialy nauchnogo seminar: RASKHN, VIZR, Innovatsionnyi tsentr zashchity rastenii* [Types of plant resistance to diseases: Materials of a scientific seminar: RAAS, VIZR, Innovative Center for Plant Protection]. 2003, pp. 17–24. (In Russian)
35. Long D.L., Kolmer J.A. A North American system of nomenclature for *Puccinia recondita* f. sp. tritici. *Phytopathology*. 1989, vol. 79, pp. 525–529.
36. Volkova G.V., Kudina O.A., Gladkova E.V., Vaganova O.F., Danilova A.V., Matveeva I.P. *Virulentnost' populyatsii vozbuditeli rzhavchiny zernovykh kolosovykh kul'tur* [Virulence of populations of rust pathogens in cereal crops]. Krasnodar, Dedkova S.A. Publ., 2018, 38 p. (In Russian)
37. Mains E.B., Jackson H.C. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat: *Puccinia triticina* Erikss. *Phytopathology*. 1926, vol. 16, no. 1, pp. 89–120.
38. Flor H.H. The complementary genetic system in flax and flax rusts. *Advanced Genetics*. 1956, vol. 8, pp. 29–54.
39. Pomortsev A.A., Lyalina E.V., Zhivotovsky L.A., Kalabushkin B.A., Pukhalsky V.A. Electrophoresis of storage proteins as a method of varietal control in spring barley. *Selektsiya i semenovodstvo* [Breeding and seed production]. 2004, no. 3, pp. 20–28. (In Russian)
40. Procnier J.D. Leaf rust resistance genes Lr29 and Lr25. MAS Wheat. Available at: <https://maswheat.ucdavis.edu/protocols/Lr29> (accessed 21.12.2024)
41. Soria M.A., Zhang W., Dubcovsky J. Rusts resistance gene Lr34-Yr18-Sr57, powdery mildew resistance gene Pm18. MAS Wheat. Available at: <https://maswheat.ucdavis.edu/protocols/Lr34> (accessed 21.12.2024)
42. Gupta S.K., Charpe A., Prabhu K.V., Haque Q.M.R. Identification and validation of molecular markers linked to the leaf rust resistance gene Lr19 in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2006, vol. 113, pp. 1027–1036.
43. Sadeghabad A.A., Dadkhodaie A., Heidari B., Razi H., Mostowfizadeh-Ghalefarsa R. Microsatellite markers for the *Triticum timopheevi*-derived leaf rust resistance gene Lr18 on wheat 5BL chromosome. *Breeding science*. 2017, vol. 67, no. 2, pp. 129–134.
44. Zeleneva Yu.V., Plakhotnik V.V., Sudnikova V.P. Methodological approaches to determining race-nonspecific resistance to the pathogen *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Erikss. et Henn. *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki*. Universitet im. V.I. Vernadskogo [Issues of modern science and practice. University named after V.I. Vernadsky]. 2017, no. 2, pp. 9–15. (In Russian)
45. Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L. Identification of genes for resistance to leaf rust in new Russian varieties of bread wheat. *Biotechnology and plant breeding*, 2021, vol. 4, no. 2, pp. 15–27. (In Russian) DOI: 10.30901/2658-6266-2021-2-o2
46. Skowrońska R., Kwiatek M., Tomkowiak A., Nawracała J. Development of multiplex PCR to detect slow rust resistance genes Lr34 and Lr46 in wheat. *Journal of Applied Genetics*, 2019, vol. 60, pp. 301–304. <https://doi.org/10.1007/s13353-019-00520-z>
47. Brar G.S., Feau N., Gill U.S., Hiebert C., Leboldus J., Park R.F. Surveillance, breeding, and cultural practices to prevent a rust storm on crops and trees. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2021, vol. 43, no. 2, pp. S183–S187. <https://doi.org/10.1080/07060661.2021.1996063>
48. Plotnikova L.Ya., Shtubey T.Yu. Efficiency of wheat age resistance genes to leaf rust Lr22b, Lr34, Lr37 in Western

- Siberia and the cytophysiological basis of their action. Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii [Vavilov Journal of Genetics and Breeding]. 2014, vol. 16, no. 1, pp. 123–131. (In Russian)
49. Carpenter N.R., Griffey C.A., Malla S., Chao S., Brown-Guedira G.L. Mapping *Lr18*: A leaf rust resistance gene widely deployed in soft red winter wheat. Identification and Mapping of Resistance to *Puccinia striiformis* and *Puccinia triticina* in Soft Red Winter Wheat. 2017, 88 p.
50. Shishkin N.V., Derova T.G., Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L. Efficiency of wheat resistance genes to leaf rust under the conditions of the Rostov region. *Grain Economy of Russia*, 2019, no. 2, pp. 69–73. (In Russian) DOI: 10.31367/2079-8725-2019-62-2-69-73
51. Volkova G.V., Kudina O.A., Vaganova O.F., Agapova V.D. Effectiveness of Leaf Rust Resistance Genes in the Adult and Juvenile Stages in Southern Russia in 2011–2020. *Plants*, 2022, vol. 11, no. 6, pp. 793. DOI: 10.3390/plants11060793
52. Volkova G.V., Vaganova O.F., Kudina O.A. Virulence of *Puccinia triticina* in the North Caucasus region of Russia. *Spanish journal of agricultural research*, 2020, vol. 18, no. 1, pp. 1001. <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2020181-14749>
53. Gulyaeva E., Shaydayuk E., Gannibal P. Leaf rust resistance genes in wheat cultivars registered in Russia and their influence on adaptation processes in pathogen populations. *Agriculture*, 2021, vol. 11, no. 4, pp. 319. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040319>
54. Dakouri A., McCallum B.D., Radovanovic N., Cloutier S. Molecular and phenotypic characterization of seedling and adult plant leaf rust resistance in a world wheat collection. *Molecular Breeding*, 2013, vol. 32, pp. 663–677. <https://doi.org/10.1007/s11032-013-9899-8>
55. Pathan A.K., Park R.F. Evaluation of seedling and adult plant resistance to leaf rust in European wheat cultivars. *Euphytica*, 2006, vol. 149, pp. 327–342. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-9081-4>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Валерия Д. Руденко, Ольга А. Кудинова, Ольга А. Ваганова участвовали в сборе и анализе материала, написании работы. Галина В. Волкова корректировала рукопись до подачи в редакцию. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Valeria D. Rudenko, Olga A. Kudina and Olga F. Vaganova participated in collecting and analysing the material and writing the paper. Galina V. Volkova proofread the manuscript before submission to the Editor. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Валерия Д. Руденко / Valeria D. Rudenko <https://orcid.org/0000-0002-7296-3565>
Галина В. Волкова / Galina V. Volkova <https://orcid.org/0000-0002-3696-2610>
Ольга А. Кудинова / Olga A. Kudina <https://orcid.org/0000-0002-0568-4312>
Ольга Ф. Ваганова / Olga F. Vaganova <https://orcid.org/0000-0003-2345-2643>