



ISSN 1727-1320 (Print),
ISSN 2308-6459 (Online)

ВЕСТНИК ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

PLANT PROTECTION NEWS

2026 TOM 109 ВЫПУСК 2
 VOLUME ISSUE



Санкт-Петербург
St. Petersburg, Russia

МОНИТОРИНГ ВИРУЛЕНТНОСТИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ПОПУЛЯЦИИ *Puccinia trititica* В 2023–2025 ГОДАХ

Е.И. Гультияева*, Е.Л. Шайдаюк

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург

*ответственный за переписку, e-mail: eigulytyaeva@gmail.com

Бурая ржавчина (возбудитель *Puccinia trititica*) – широко распространенное заболевание пшеницы во всех регионах России, включая Северо-Запад. Многолетние популяционно-генетические исследования патогена позволяют оценить динамику изменчивости вирулентности патогена и скорректировать стратегии селекции на устойчивость к бурой ржавчине. Цель данной работы – мониторинг вирулентности и расового состава северо-западной популяции *P. trititica* в 2023–2025 гг. и оценка ее многолетней изменчивости (2001–2025 гг.). Показана высокая эффективность генов *Lr9*, *Lr19*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr41* (= *Lr39*), *Lr42*, *Lr47*, *Lr50*, *Lr51*, *Lr53* и *Lr57* в условиях Северо-Запада. В 2024–2025 гг. в регионе выделены изоляты патогена, вирулентные к носителям ранее высокоэффективного гена *Lr24*. Всего в 2023–2025 гг. в северо-западной популяции определено 17 фенотипов (рас) и только четыре из них были зафиксированы в 2000–2022 гг. Многолетняя изменчивость региональной популяции в 2001–2025 гг. в основном затрагивает варьирование частот вирулентности патогена к линиям Thatcher с генами *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c* и *Lr15*. В 2020–х годах они существенно снизились. Сравнительный анализ северо-западной популяции в 2001–2025 гг. показал ее стабильную последовательную изменчивость. Популяции 2001–2010 гг. умеренно отличались от 2012–2019 гг. и более значимо – от популяций 2020–2024 гг. Коллекция 2025 г. существенно отличалась от анализированных ранее популяций. Также проанализированы урединиообразцы *P. trititica*, собранные на пырее в 2025 г. Показано высокое сходство их профилей вирулентности с образцами, собранными на мягкой пшенице. Это подтверждает, что пырей может являться резерватом инфекции бурой ржавчины для посевов мягкой пшеницы на Северо-Западе и вносить свой вклад в разнообразие региональной популяции патогена.

Ключевые слова: бурая ржавчина, вирулентность, пшеница, расовый состав, *Lr*-гены

Поступила в редакцию: 12.04.2026

Принята к печати: 11.06.2026

Введение

Северо-Западный экономический регион расположен в северной части Нечерноземной зоны Российской Федерации, на Русской (Восточно-Европейской) равнине. Имеет общие внешние границы с Латвией, Эстонией, Белоруссией и Финляндией, и граничит с Центральными районами России. В состав региона входят Ленинградская, Новгородская и Псковская области, а также город федерального значения Санкт-Петербург. Более 70% сельхозпродукции приходится на животноводство, которое значителен здесь определяющей отраслью. Растениеводство представлено производством зерна, картофеля, кормовых культур. Среди зерновых культур в регионе широко возделывается озимая и яровая пшеница, которая преимущественно выращивается на фуражные цели для обеспечения потребности животноводческих хозяйств. В последние годы в регионе также нарастают площади семеноводческих посевов.

Изменения климата и непредсказуемые абиотические и биотические стрессы перманентно создают угрозу для производства зерна в регионе. Поражение культуры фитопатогенами – один из ключевых факторов, влияющих на урожайность. Основной вредоносный комплекс, развивающийся на мягкой пшенице в условиях Северо-Запада, включает возбудителей ржавчины, мучнистой росы и пятнистостей. Среди видов ржавчины – бурая ржавчина (возбудитель *Puccinia trititica* Eriks.) – наиболее распространенное заболевание в регионе. Она появляется в фазы

цветения-молочной спелости, а максимальное развитие наблюдается к концу вегетации культуры (Ишкова и др., 2004; Гультияева и др., 2017). В 2020–х годах значимость бурой ржавчины существенно снизилась. Заболевание традиционно характеризовалось высокой вредоносностью до 2010–х годов. Экстремально жаркие сезоны 2010–2011 гг. были неблагоприятны для развития патогена. С 2012 г. отмечается возобновление сильного развития болезни. В этот же период в регионе стала нарастать значимость гембиотрофных патогенов – возбудителей пятнистостей (септориоза и пиренофороза) (Гультияева и др., 2017; Шпанев и др., 2017). В 2020–х годах они стали доминировать в фитопатогенном комплексе пшеницы на Северо-Западе и в других российских регионах. В 2020–2023 гг. бурая ржавчина в посевах пшеницы отсутствовала или встречалась локально со слабой степенью проявления. Депрессия развития болезни в этот период отмечена во всех российских регионах (Gulytyaeva et al., 2020, 2025) и за рубежом (Aboukhaddour et al., 2019; Hanzalová et al. 2020; McCallum et al. 2021, 2025). В 2024–2025 гг. при ежегодном выездном мониторинге посевов озимой и яровой мягкой пшеницы на Северо-Западе, проводимом Всероссийским институтом защиты растений (ВИЗР), зафиксировано возобновление развития болезни. Бурая ржавчина встречалась на производственных посевах восприимчивых сортов и

коллекционных полях научно-исследовательских учреждений, где представлено широкое разнообразие генотипов.

Инокулом *P. triticina* на Северо-Запад может заноситься воздушными потоками из других российских регионов и приграничных стран Западной Европы, где заболевание проявляется в более ранние сроки. Резерватами инфекции могут служить и дикорастущие злаки. Это предопределяет высокое генетическое разнообразие северо-западной популяции патогена. Большинство российских сортов пшеницы, возделывавшихся на производственных, селекционных и коллекционных посевах до 2010-х гг., было восприимчиво к бурой ржавчине (Мироновская 808, Инна, Московская 39, Ленинградка, Иргина, Ирень, Ленинградская 97, Амир, МИС, Эстер, Лада и др.). С помощью молекулярных маркеров у них были постулированы малоэффективные гены устойчивости к бурой ржавчине (*Lr*-гены) *Lr1*, *Lr3* и *Lr10* (Gulyaeva et al., 2023). В последующий период сортимент возделываемых сортов начал расширяться. В регионе стали возделывать как новые отечественные сорта (Галина, Скипетр, Московская 56, Дарья), так и иностранные (Skigen, Smuga, Balitus, Sonett, Calixo, Тризо, Дарья, Сударыня). Некоторые из этих сортов обладают

различным уровнем устойчивости к бурой ржавчине. Высокоэффективные *Lr*-гены у них не обнаружены, однако показано широкое распространение частично эффективных генов, которые встречаются по отдельности или в различных сочетаниях. Например, у сорта Skigen определены гены *Lr10*, *Lr13*, *Lr17* (Serfling et al., 2011); Скипетр – *Lr10*, *Lr26*; Sonett – *Lr1*, *Lr20*; Московская 56 – *Lr1*; Дарья, Тризо – *Lr20*; Ленинградская 6 – *Lr10* (Gulyaeva et al., 2023). Расширение генетического разнообразия возделываемых сортов пшеницы и занос инфекции из соседних регионов – существенный фактор изменчивости северо-западной популяции *P. triticina* по признаку вирулентности.

Ежегодный мониторинг вирулентности *P. triticina* на Северо-Западе проводится в ВИЗР с 2000 г. (Ишкова и др., 2004; Гультяева и др., 2009; Gulyaeva et al., 2023). Определены временные различия между составом северо-западной популяции в периоды 2001–2010 гг., 2012–2019 гг. и 2020–2021 гг. (Gulyaeva et al., 2023). Цель данной работы – продолжение мониторинга вирулентности и расового состава северо-западной популяции *P. triticina* в 2023–2025 гг. и оценка многолетней динамики ее изменчивости.

Материалы и методы

Инфекционный материал, представленный листьями с урединиопустулами *P. triticina*, был собран на сортах мягкой пшеницы в Ленинградской и Псковской областях в 2023–2025 г. Инокулом собирали на образцах *Triticum aestivum* L., выращиваемых на производственных посевах, коллекционных и селекционных участках научно-исследовательских учреждений и Государственных сортоучастков (ГСУ). В мелкоделяночных опытах (коллекционные или селекционные посевы) с одного сорта собирали по 1–5 пораженных листьев (1 образец популяции). На производственных посевах инфекционный материал собирали с 10–20 растений в нескольких отдаленных точках поля (3–4 образца). Всего в 2023–2025 гг. материал исследований из Ленинградской области был представлен 34 образцами *P. triticina* (2025 г. – 17, 2024 г. – 15, 2023 г. – 2), из Псковской области – 6 образцами (2024 г. – 2, 2025 г. – 4). В 2025 г. при обследовании посевов озимой пшеницы в Ленинградской области было обнаружено несколько растений пырея, пораженных бурой ржавчиной. Для сравнения состава популяций на мягкой пшенице и пырее – возможном резерватре инфекции *P. triticina*, с него был также получен инфекционный материал.

Собранные листья подсушивали и хранили в эксикаторе с силикагелем в холодильнике (температура 2–5 °С). Каждый образец *P. triticina* был размножен и далее клонирован. Для размножения инфекции сухие листья с урединиопустулами привязывали к листьям 8–10 проростков восприимчивого сорта озимой пшеницы Michigan Amber с помощью пищевой пленки. Растения сбрызгивали водой (для создания влажной камеры) и укрывали проволоочными каркасами с полиэтиленом. В течение суток сосуды с растениями выдерживали в темноте при температуре 20–22 °С. На второй день инфекционный материал (сухие листья) снимали. Далее растения инкубировали на свету-установке в контролируемых условиях при температуре 20–22 °С (фотопериод: 16 ч – день, 8 ч – ночь). Симптомы болезни развивались на 7–8 день. Сбор урединиоспор каждого инфекционного образца *P. triticina* проводили

дважды на 9–10 и 15–16 сутки с использованием вакуумного насоса. Для получения монопустульных изолятов использовали листья с отдельно расположенными пустулами. Из одного инфекционного образца, собранного в мелкоделяночных опытах, получали по 1–2 монопустульных изолята, с производственных посевов – по 3–5 изолятов. Для этого вырезали отрезок листа с пустулой и растирали урединиоматериал по поверхности листа (1 пустула – 1 горшок с растением). Последующую инкубацию растений проводили по выше представленным параметрам. Чтобы предотвратить контаминацию между изолятами, сосуды с растениями изолировали каркасами с перфорированным целлофаном.

Для анализа вирулентности использовали сборный инокулом каждого инфекционного образца *P. triticina* и выделенные из него монопустульные изоляты. Сорок почти изогенных *Lr*-линий Thatcher и сортов с генами *Lr1*, *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c*, *Lr3*, *Lr3bg*, *Lr3ka*, *Lr9*, *Lr10*, *Lr11*, *Lr14a*, *Lr14b*, *Lr15*, *Lr16*, *Lr17*, *Lr18*, *Lr19*, *Lr20*, *Lr21*, *Lr23*, *Lr24*, *Lr25*, *Lr26*, *Lr27+Lr31*, *Lr34*, *Lr37*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr30*, *Lr32*, *Lr41* (= *Lr39*), *Lr42*, *Lr44*, *Lr45*, *Lr47*, *Lr48*, *Lr49*, *Lr50*, *Lr51*, *Lr53* и *Lr57* инокулировали сборными образцами *P. triticina*. Отсутствие симптомов поражения (баллы 0, 0;) или устойчивый тип реакции (баллы 1, 2) у линии-тестера ко всем образцам патогена указывали на высокую эффективность несущего его *Lr*-гена.

Анализ вирулентности и расового состава проводили на ограниченном наборе из 20 дифференциаторов, широко используемом во всем мире (Long, Kolmer, 1989; Kolmer, Fajolu, 2022; McIntosh et al., 2025). Инокулировали 8–10-суточные проростки дифференциаторов (фаза 1-го листа). Их опрыскивали суспензией спор (концентрация 10⁴–10⁶ спор/мл) в нетоксичной для растений иммерсионной жидкости 3M™ Novec™ 7100) (3M China Ltd), выдерживали в темной влажной камере 12 часов и далее инкубировали при температуре 20–22 °С (фотопериод 16 ч – день, 8 ч – ночь). Тип реакции каждого из дифференциаторов на заражение *P. triticina* определяли через 9–10 суток по

шкале E.B. Mains и H.S. Jackson, где: балл 0 – отсутствие видимых симптомов (сорт иммунный); балл 0; – гиперчувствительные пятна – мелкие пятна отмершей ткани (пустул не образуется) (сорт высокоустойчивый); балл 1 – мелкие пустулы с некрозом (сорт устойчивый); балл 2 – мелкие, средние пустулы, окруженные некрозом или хлорозом (сорт умеренно устойчивый), балл 3 – пустулы среднего размера без хлороза (сорт восприимчивый); балл 4 – крупные пустулы без хлороза (сорт сильно восприимчивый); балл Х – пустулы на одном и том же листе разных типов, присутствуют хлорозы и некрозы (тип реакции гетерогенный или промежуточный) (сорт умеренно восприимчивый) (McIntosh et al., 1995; Гуляева, Солодухина, 2008). Если реакция на заражение отдельными изолятами (или для некоторых *Lr*-линий) была сомнительной, то эксперимент повторяли.

Обозначение фенотипов (рас) патогена проводили по международной буквенной номенклатуре (Long, Kolmer 1989). Для этого 20 тестеров вирулентности были подразделены на 5 групп – набор 1: *Lr1* (изогенная линия RL6003), *Lr2a* (RL6000), *Lr2c* (RL6047), *Lr3* (RL6002); набор 2: *Lr9* (RL6010), *Lr16* (RL6005), *Lr24* (RL 6064), *Lr26* (RL6078); набор 3: *Lr3ka* (RL6007), *Lr11* (RL6053), *Lr17* (RL6008), *Lr30* (RL6049); набор 4: *Lr2b* (RL6019), *Lr3bg* (RL6042),

Результаты и обсуждение

При инокуляции расширенного набора тестеров вирулентности (40 линий) сборными образцами *P. triticina* устойчивые (0, 0;) и умеренно устойчивые (1, 2) баллы реакции показали линии с генами *Lr9*, *Lr19*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr41* (= *Lr39*), *Lr42*, *Lr47*, *Lr50*, *Lr51*, *Lr53* и *Lr57*, что указывает на их высокую эффективность в регионе. Варьирование реакций (устойчивость/восприимчивость) отмечено на линиях с генами *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c*, *Lr15*, *Lr16*, *Lr21*, *Lr23*, *Lr24*, *Lr44* и *Lr45*. Остальные дифференциаторы показали высокий уровень поражения.

Всего в 2023–2025 гг. получено и проанализировано 96 монопустульных изолятов. Их анализ на международном наборе из 20 дифференциаторов не выявил вирулентность к линиям Thatcher (*TcLr*) с генами *Lr9* и *Lr19* (табл. 1), что согласуется с результатами тестирования сборных образцов *P. triticina*. Эти гены относятся к группе частично эффективных. Они преодолены патогеном в регионах возделывания несущих их сортов (*Lr9* – Западная Сибирь, Урал, *Lr19* – Поволжье) (Мешкова и др., 2012; Сибикеев и др., 2020; Сочалова и др., 2023). При этом они сохранили эффективность на Северо-Западе и в некоторых других российских регионах, например, на Северном Кавказе (Агапова и др., 2020; Gulyaeva et al., 2025). Единичный изолят, вирулентный к ранее эффективному гену *Lr24*, впервые за долгий период времени был обнаружен в 2024 г.; в 2005 г. их число увеличилось до 6 изолятов. Ранее вирулентность к *Lr24* была отмечена в 2007 и 2008 гг. (4% из 139 изолятов и 7% из 69 изолятов соответственно) (Гуляева, 2018). Сорта с *Lr24* на Северо-Западе не возделываются. Предположительно, вирулентные изоляты могли быть занесены из Западной Европы, где коммерческие сорта с *Lr24* представлены широко. Потеря эффективности гена *Lr24* в ряде западноевропейских стран отмечается с середины 2010-х годов (Hanzalová et al. 2020).

Многолетняя изменчивость северо-западной популяции затрагивает вирулентность к линиям *TcLr2a*, *TcLr2b*,

Lr14a (RL6013), *Lr14b* (RL6006); набор 5: *Lr15* (RL60052), *Lr18* (RL RL6009), *Lr19* (RL6040), *Lr20* (RL6092). Первые три группы используются для обозначения рас возбудителя бурой ржавчины во всем мире, другие две включали линии-дифференциаторы, актуальные для тестирования российских популяций (Gulyaeva et al., 2020, 2025).

Оценку внутривидового разнообразия северо-западной популяции *P. triticina* проводили по индексам генетических дистанций: Нея (Nei Diversity, Hs) (разнообразие по частотам аллелей), Шеннона (Sh) (разнообразие по фенотипам) и Космана (Kosman diversity within (KW) (комплексное разнообразие по частотам аллелей и фенотипическому составу). Различия между популяциями оценивали по индексу Нея (Nei distance, N), характеризующему генетическое расстояние по частотам аллелей, индексу Роджерса (Rogers distance, R) – по фенотипическому составу и индексу *Fst*. Для определения буквенного кода фенотипов, вычисления индексов внутривидового разнообразия и различий между популяциями по вирулентности использовали пакет программ Virulence Analysis Tool (VAT) (Kosman et al., 2008), для вычисления *Fst* и построения многомерных диаграмм – пакет GenAlEx (алгоритм AMOVA).

TcLr2c и *TcLr15*. До 2020-х годов частоты вирулентности к каждой из этих линий значимо варьировали (Gulyaeva et al., 2023, 2025): они были ниже к *TcLr2a* и выше – к трем другим линиям (*TcLr2b*, *TcLr2c* и *TcLr15*) (рис. 1). В 2020-х годах для большинства изолятов выявлена ассоциация вирулентности к этим генам, т.е. они были одновременно авирулентны (или вирулентны) к этим четырем линиям (табл. 1). За многолетний период исследований минимальная вирулентность к этой группе генов отмечена в 2025 г. (4%)

Снижение вирулентности в 2020-х годах отмечается и для линии *TcLr16* (0–12.2%) (табл. 1). В предыдущий период (2001–2019 гг.) она составляла 90–100%. Вирулентность ко всем другим линиям-дифференциаторам была стабильно высокой во все годы исследований.

Таблица 1. Вирулентность северо-западной популяции *Puccinia triticina* в 2023–2025 гг.

Table 1. Virulence of the northwestern population of *Puccinia triticina* in 2023–2025

Линия Thatcher с геном <i>Lr</i> Thatcher line with the <i>Lr</i> gene	Частоты вирулентности, % Virulence frequencies, %		
	2023	2024	2025
9, 19	0	0	0
24	0	2.4	12
1	100	97.6	100
2a, 2b, 2c, 15	60	24.4	4
3a, 3bg	100	100	96
3ka	100	100	92
11	100	92.7	96
16	0	12.2	0
20	100	82.9	76
26	100	97.6	100
14a, 14b, 17, 18, 30	100	100	100

Северо-западная популяция в изученный период характеризовалась высоким фенотипическим разнообразием; в ней идентифицировано 17 фенотипов вирулентности (рас) (табл. 2). Фенотип ТСТТR был общим для трех лет исследований. Фенотипы МСТКG и МСТКН отмечены в 2024 и

2025 гг., а фенотип РСТКН – в 2023–2024 гг. Только четыре фенотипа (МСТКН, МНТКН, РНТКН, ТСТТR) отмечались ранее, в 2001–2022 гг.; остальные были уникальными. Показатели внутрипопуляционного разнообразия северо-западной популяции *P. triticina* в 2023–2025 гг.

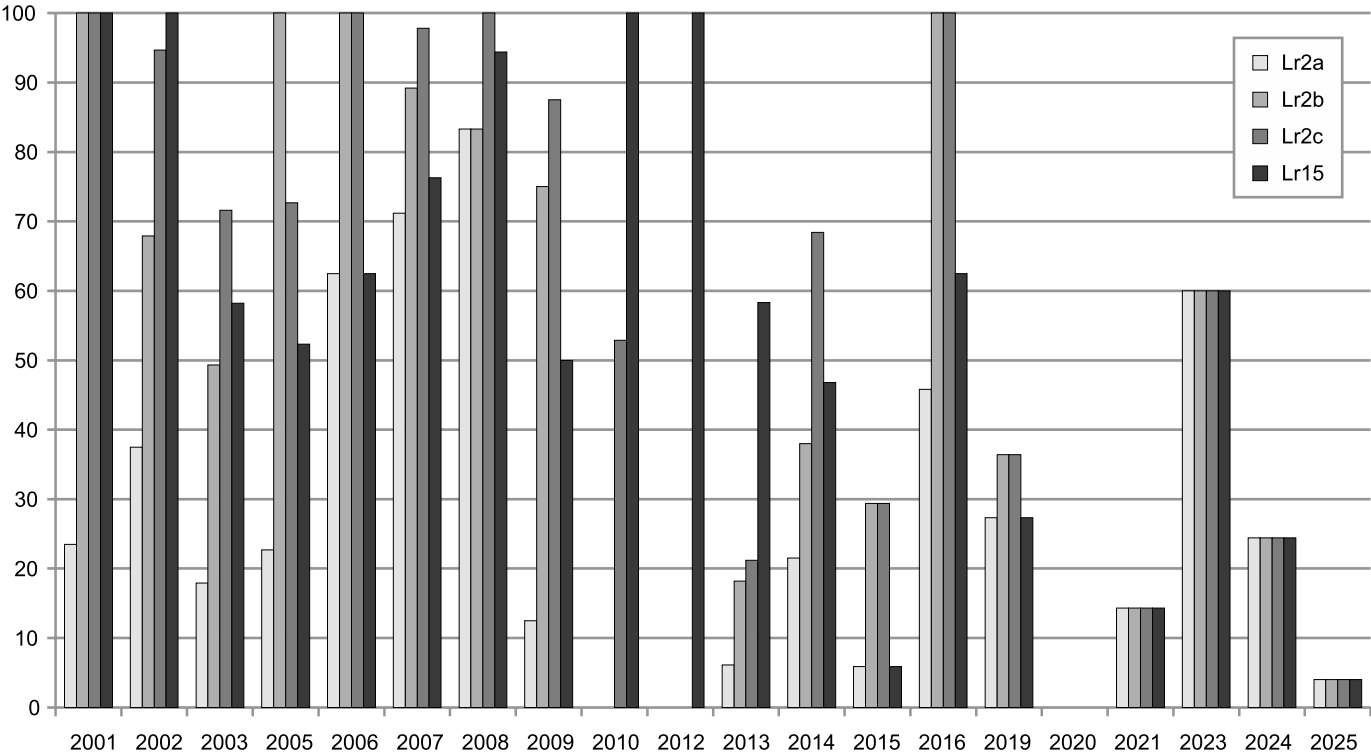


Рисунок 1. Частоты вирулентности к линиям Thatcher с генами *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c* и *Lr15* в северо-западной популяции *Puccinia triticina* в 2001–2025 гг.
Figure 1. Virulence frequencies to Thatcher lines with the *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c*, and *Lr15* genes in the northwestern population of *Puccinia triticina* in 2001–2025

Таблица 2. Фенотипический состав северо-западной популяции *Puccinia triticina* в 2023–2025 гг.
Table 2. Phenotypic composition of the northwestern population of *Puccinia triticina* in 2023–2025

Фенотип Phenotype	Авирулентность к линиям Thatcher с генами <i>Lr</i> * Avirulence to Thatcher lines with genes	Частота (%) Frequency (%)			Частота (%) фенотипа в 2001–2021 гг. Phenotype frequency in 2001–2021
		2023	2024	2025	
ССРКН	1, 2a, 2b, 2c, 9, 11, 15, 16, 19, 24	0	2.4	0	0
ЛСКFG	2a, 2b, 2c, 3, 3ка, 3bg, 9, 15, 16, 19, 20, 24	0	0	4	0
МВТКН	2a, 2b, 2c, 9, 15, 16, 19, 24, 26	0	2.4	0	0
МСПКГ	2a, 2b, 2c, 9, 11, 15, 16, 19, 20, 24	0	0	4	0
МСПКН	2a, 2b, 2c, 9, 11, 15, 16, 19, 24	0	4.9	0	0
МСТКГ	2a, 2b, 2c, 9, 15, 16, 19, 20, 24	0	14.6	12	0
МСТКН	2a, 2b, 2c, 9, 15, 16, 19, 24	0	31.7	64	1 (2007); 4.5 (2019); 100 (2020); 86 (2021)
МФККН	2a, 2b, 2c, 3ка, 9, 15, 16, 19	0	0	4	0
МФТКГ	2a, 2b, 2c, 9, 15, 16, 19, 20	0	0	4	0
МФТКН	2a, 2b, 2c, 9, 15, 16, 19	0	2.4	4	0
МНТКН	2a, 2b, 2c, 9, 15, 19, 24	0	7.3	0	2.9 (2012); 3 (2013); 6 (2014); 41.2 (2015)
РСТКГ	2a, 2b, 9, 15, 16, 19, 20, 24	0	2.4	0	0
РСТКН	2a, 2b, 9, 15, 16, 19, 24	40	4.9	0	0
РНТКН	2a, 2b, 9, 15, 19, 24	0	2.4	0	1.5 (2005); 16.5 (2014)
РСТТR	2c, 9, 16, 19, 24	0	7.3	0	0
РНТТR	2c, 9, 19, 24	0	2.4	0	0
ТСТТR	9, 16, 19, 24	60	14.6	4	2.2 (2007); 41.7 (2016); 22.7 (2019); 14 (2021)

* Анализ вирулентности выполнен при использовании 20 линий-дифференциаторов с генами *Lr1*, *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c*, *Lr3*, *Lr3bg*, *Lr3ka*, *Lr9*, *Lr11*, *Lr14a*, *Lr14b*, *Lr15*, *Lr16*, *Lr17*, *Lr18*, *Lr19*, *Lr20*, *Lr24*, *Lr26*, *Lr30*.
* Virulence analysis was performed using 20 differentiator lines with genes *Lr1*, *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c*, *Lr3*, *Lr3bg*, *Lr3ka*, *Lr9*, *Lr11*, *Lr14a*, *Lr14b*, *Lr15*, *Lr16*, *Lr17*, *Lr18*, *Lr19*, *Lr20*, *Lr24*, *Lr26*, *Lr30*.

представлены в таблице 3. Согласно всем статистическим индексам, более высокое разнообразие отмечено в 2024 г. Наблюдается тенденция снижения среднего числа аллелей вирулентности в 2025 г. (11.8), по сравнению с 2023–2024 гг. и предыдущим двадцатилетним периодом исследований, где минимальное их число (12) отмечено в 2020 г., а максимальное (15.6) – в 2007 г. Общая динамика снижения вирулентности северо-западной популяции прослеживается с 2019 г. (Gultyayeva et al., 2023).

Согласно индексам генетических дистанций Нея (N) и Роджерса (R) умеренным сходством характеризовались образцы северо-западной популяции патогена в 2024 и 2025 гг. (N = 0.01, R = 0.5) и 2023–2024 гг. (N = 0.06, R = 0.8). Ранее нами были определены временные различия в составе северо-западной популяции между периодами 2001–2010 гг., 2012–2019 гг. и 2020–2021 гг. (Gultyayeva et al., 2023). Провели сравнительный анализ образцов

P. triticina, изученных в 2023–2025 гг. с этими периодами. Следует отметить, что в 2023 г. было проанализировано малое количество изолятов *P. triticina*, что было обусловлено слабым развитием болезни в регионе. Было собрано только два урединиобразца, из которых получено пять монопустульных изолятов. Поскольку изоляты 2023 г. характеризовались сходством с 2024 г., для статистического анализа их объединили в единую выборку.

На сводной многомерной диаграмме изученные коллекции объединились в несколько групп (рис. 2). Высоким сходством характеризовались образцы патогена в 2012–2015 и 2016–2019 гг., и в 2020–2024 гг. Материал 2012–2019 гг. умеренно отличался от образцов 2001–2010 гг. и более существенно – от 2020–2024 гг. Коллекция 2025 г. существенно отличалась от изолятов, выделенных в 2001–2024 гг.

Таблица 3. Внутрипопуляционное разнообразие северо-западной популяции *Puccinia triticina* в 2023–2025 гг.

Table 3. Intrapopulation diversity of the northwestern population of *Puccinia triticina* in 2023–2025

Показатель Parameter	2023	2024	2025	2023–2025
Число изолятов / Number of isolates	5	41	50	96
Число фенотипов / Number of phenotypes	2	13	8	17
Относительное число фенотипов ¹ / Relative number of phenotypes ¹	0.4	0.32	0.16	0.18
Частота доминантного фенотипа, % / Dominant phenotype frequency, %	60	31.7	64	46.9
Число редких фенотипов ² / Number of rare phenotypes ²	0	3	4	5
Среднее число аллелей вирулентности (на фенотип) ³ Mean number of virulence alleles (per phenotype) ³	14.5	12.8	11.7	12.3
Показатели внутрипопуляционного разнообразия: / Intrapopulation diversity indices:				
Индекс Нея / Nei's index, Hs	0.07	0.11	0.06	0.1
Индекс Шеннона / Shannon index, Sh	0.42	0.58	0.34	0.43
Индекс Космана / Kosman index, Kw	0.12	0.14	0.07	0.11

¹ Относительное число фенотипов (relative richness): число фенотипов/ число изолятов.

² Фенотип, представленный одним изолятом.

³ При тестировании на 20 линиях-дифференциаторах.

¹ Relative number of phenotypes (relative richness): number of phenotypes/ number of isolates.

² The phenotype represented by a single isolate.

³ When tested on 20 differentiator lines.

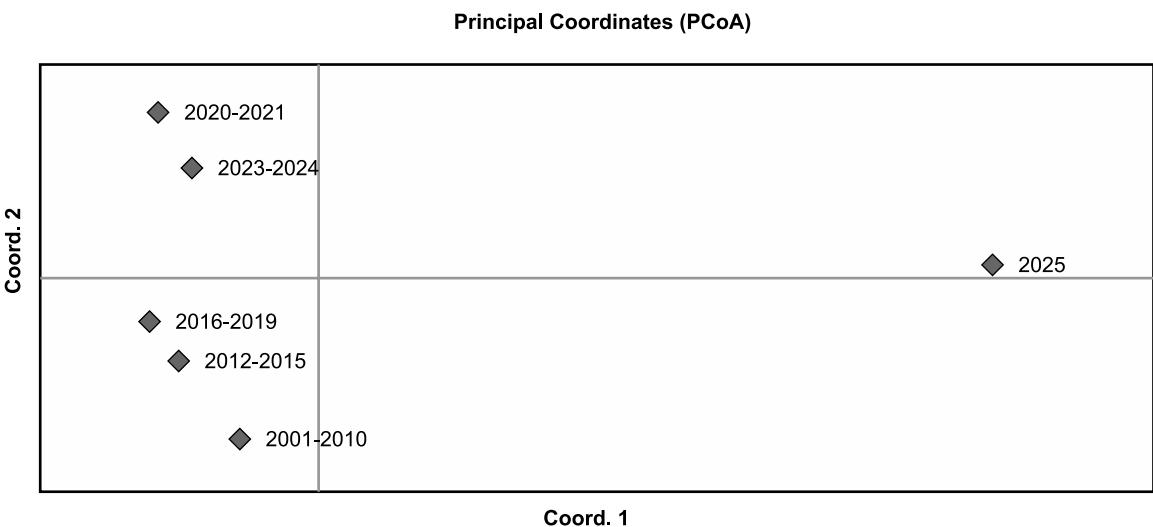


Рисунок 2. Многомерная диаграмма генетических дистанций между образцами северо-западной популяции *Puccinia triticina* по признаку вирулентности в период 2001–2025 гг. (по индексу Fst)

Figure 2. Multidimensional diagram of genetic distances between samples of the northwestern population of *Puccinia triticina* by virulence in the period 2001–2025 (according to the Fst index)

Провели анализ вирулентности образцов *P. triticina*, собранных с пырея в Ленинградской области в 2025 г. Данный инфекционный материал был успешно размножен на восприимчивом сорте мягкой пшеницы Michigan Amber. Анализ монопустульных изолятов; показал, что их вирулентность была сходна с изолятами, полученными с мягкой пшеницы, и все они относились к фенотипу

МФККН, который был обнаружен на мягкой пшенице в 2025 г. (табл. 2). Полученные результаты подтверждают, что пырей и другие дикорастущие злаки могут являться резерватами инфекции *P. triticina* на Северо-Западе и вносить свой вклад в разнообразие региональной популяции патогена.

Заключение

Изучены вирулентность и расовый состав северо-западной популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы в 2023–2025 гг. и проведен анализ ее многолетней изменчивости (2001–2025 гг.). Для популяций ржавчинных грибов известны вариации численности, когда годы умеренного развития болезни сменяются эпифитотиями. Соответственно, популяционные волны, обуславливающие флуктуацию численности популяций патогенов, которые считаются одним из основных эволюционных факторов, могут предопределять изменчивость популяций патогенов по разным признакам, включая вирулентность. Это подтверждается многолетними исследованиями *P. triticina* в Северо-Западном регионе (2000–2025 гг.). Стабильное развитие болезни с перманентными вспышками наблюдали в 2001–2019 гг. Исключением являлись 2010 и 2011 годы, которые характеризовались экстремально высокими температурами. В 2020–2023 гг. на Северо-Западе и в других российских регионах, отмечалось снижение вредности заболевания: оно либо отсутствовало, либо проявлялось локально на отдельных посевах в очень слабой степени. В 2024–2025 гг. зарегистрировано постепенное нарастание распространения болезни. При благоприятных условиях окружающей среды фитосанитарная ситуация с бурой ржавчиной в регионе может измениться в ближайшие годы.

Основная изменчивость северо-западной популяции в 2020–2025 гг. обусловлена уменьшением спектра вирулентности в 2020–х годах по сравнению с предыдущим периодом. Существенно уменьшились частоты вирулентности к линиям *TcLr2a*, *TcLr2b*, *TcLr2c* и *TcLr15*, несмотря на то, что эти гены не представлены в российских сортах

мягкой пшеницы. Отмечаются и значимые изменения фенотипического состава патогена в 2020-х годах. Только четыре фенотипа (расы) текущего периода исследований (2023–2025 гг.) были отмечены в северо-западной популяции в предыдущий 20-летний период исследований. Сравнительный анализ северо-западной популяции в 2001–2025 гг. показал ее стабильную последовательную изменчивость. Популяции 2001–2010 гг. умеренно отличались от популяций 2012–2019 гг. и более значимо – от изученных в 2020–2024 гг. Коллекция 2025 г. существенно отличается от изолятов, выделенных в предыдущие годы исследований.

Показан высокий потенциал эффективности генов *Lr9*, *Lr19*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr41* (= *Lr39*), *Lr42*, *Lr47*, *Lr50*, *Lr51*, *Lr53* и *Lr57* для селекции на устойчивость к *P. triticina* в условиях Северо-Запада. Вирулентность гриба к образцам-носителям этих генов не обнаружена. В 2024–2025 гг. в регионе выделены изоляты патогена, вирулентные к ранее высокоэффективному гену *Lr24*. Поскольку сорта с геном *Lr24* на Северо-Западе, а также в соседних российских регионах не возделываются, вирулентные изоляты могли быть занесены с территории Западной Европы, где этот ген утратил эффективность в середине 2010-х годов (Hanzalová et al. 2020).

Анализ образцов *P. triticina*, собранных на пырее, выявил их сходство по вирулентности с образцами патогена на мягкой пшенице. Полученные результаты указывают на то, что пырей и другие злаковые травы могут являться резерватами инфекции бурой ржавчины для посевов мягкой пшеницы на Северо-Западе и вносить свой вклад в разнообразие региональной популяции патогена.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ФГБНУ ВИЗР (рег. № 125031003376-3, тема FGEU-2025-0005).

The research was carried out within the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation to FSBSI VIZR (state registration No. 125031003376-3, theme No. FGEU-2025-0005).

Библиографический список (References)

- Агапова ВД, Ваганова ОФ, Волкова ГВ (2020) Эффективность ювенильных генов устойчивости к возбудителю бурой ржавчины озимой пшеницы в фазу проростков в условиях юга России. *Международный научно-исследовательский журнал* 8(98):163–167. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.98.8.023>
- Гулятьева ЕИ, Баранова ОА, Дмитриев АП (2009) Вирулентность и структура популяций *Puccinia triticina* в российской федерации в 2007 году. *Вестник защиты растений* 4:33–38
- Гулятьева ЕИ, Гасич ЕЛ, Левитин ММ, Маслова ИВ и др (2017) Болезни зерновых культур и рапса в Северо-Западном регионе в 2016 г. *Защита и карантин растений* 4:27–29
- Гулятьева ЕИ (2018) Генетическая структура популяций *Puccinia triticina* в России и ее изменчивость под влиянием растения-хозяина. *Дисс. ... д.б.н.* Санкт-Петербург. 312 с.
- Гулятьева ЕИ, Солодухина ОВ (2008) Ржавчинные болезни зерновых культур. В сб.: Радченко Е.Е. (ред) Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. М.: РАСХН 5–32
- Ишкова ТИ, Гулятьева ЕИ, Левитин ММ (2004) Грибные болезни зерновых культур на Северо-западе. *Защита и карантин растений* 12:15–18
- Мешкова ЛВ, Россеева ЛП, Коренюк ЕА, Белан ИА (2012) Динамика распространения патотипа возбудителя бурой ржавчины, вирулентного к сортам пшеницы с геном

- Lr9* в Омской области. *Микология и фитопатология* 46(6):397–401
- Сибикеев СН, Конькова ЭА, Салмова МФ (2020) Характеристика вирулентности возбудителя бурой ржавчины мягкой пшеницы в условиях Саратовской области. *Аграрный научный журнал* 9:40–44. <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i9pp40-44>
- Сочалова ЛП, Бойко НИ, Потешкина АА, Пискарев ВВ (2023) Эффективные в Новосибирской области гены устойчивости пшеницы к бурой ржавчине в связи с изменчивостью популяции *Puccinia triticina*. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции* 184(2):235–244. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-2-235-244>
- Шпанев АМ, Лаптиев АБ, Гончаров НР, Голубев АС и др (2017) Система интегрированной защиты посевов озимой пшеницы от вредных организмов в Северо-Западном регионе РФ. СПб: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений. 47 с.
- Aboukhaddour R, Fetch T, McCallum BD, Harding MW et al (2020) Wheat diseases on the prairies: a Canadian story. *Plant Pathol* 69(3):418–432. <https://doi.org/10.1111/ppa.13147>
- Gultyaeva E, Gannibal Ph, Shaydayuk E (2023) Long-term studies of wheat leaf rust in the North-Western Region of Russia. *Agriculture* 13(2):255. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020255>
- Gultyaeva EI, Shaydayuk EL, Kosman E (2025) Structural variability of the wheat leaf rust pathogen *Puccinia triticina* in Russia in 2019–2024. *Plant Pathol* 74(7):2150–2161. <https://doi.org/10.1111/ppa.70014>
- Gultyaeva EI, Shaydayuk EL, Kosman E (2020) Regional and temporal differentiation of virulence phenotypes of *Puccinia triticina* Eriks. from common wheat in Russia during the period 2001–2018. *Plant Pathol* 69:860–871. <https://doi.org/10.1111/ppa.13174>
- Hanzalová A, Dumalasová V, Zelba O (2020) 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 J Genet Plant Breed* 56:87–92. <https://doi.org/10.17221/86/2019-CJGPB>
- Kolmer JA, Fajolu OL (2022) Virulence phenotypes of the wheat leaf rust pathogen, *Puccinia triticina*, in the United States 2018–2020. *Plant Dis* 106(6):1723–1729. <https://doi.org/10.1094/pdis-10-21-2321-re>
- Kosman E, Dinooor A, Herrmann A, Schachtel GA (2008) Virulence Analysis Tool (VAT). User Manual. <https://en-lifesci.tau.ac.il/profile/Kosman> (10.04.2026)
- Long DL, Kolmer JA (1989) A North American system of nomenclature for *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*. *Phytopathology* 79:525–529
- McCallum BD, Reimer E, McNabb W, Foster A et al (2021) Physiologic specialization of *Puccinia triticina*, the causal agent of wheat leaf rust, in Canada in 2015–2019. *Can J Plant Pathol* 43:333–346. <https://doi.org/10.1080/07060666.1.2021.1888156>
- McCallum BD, Reimer E, Miranda D, Dionne N et al (2025) Physiologic specialization of *Puccinia triticina*, the causal agent of wheat leaf rust, in Canada in 2020–2023. *Can J Plant Pathol* 47:54–66. <https://doi.org/10.1080/07060666.2024.2425954>
- McIntosh RA (2025) Wheat Gene Catalogue – Introduction. https://graingenes.org/GG3/sites/default/files/data_downloads/%20Catalogue%20of%20Gene%20Symbols%20for%20Wheat%20-%202017-2024.pdf (10.04.2026)
- McIntosh RA, Wellings CR, Park RF (1995) Wheat rusts. An atlas of resistance genes. CSIRO Australia: Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, the Netherlands.
- Serfling A, Krämer I, Lind V, Schliephake E et al (2011) Diagnostic value of molecular markers for *Lr* genes and characterization of leaf rust resistance of German winter wheat cultivars with regard to the stability of vertical resistance. *Eur J Plant Pathol* 130(4):559–575. <https://doi.org/10.1007/s10658-011-9778-2>

Translation of Russian References

- Agapova VD, Vaganova OF, Volkova GV (2020) [Efficiency of juvenile genes of resistance to the pathogen of leaf rust of winter wheat in the seedling phase under the conditions of the south of Russia]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* 8(98):163–167 (in Russian) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.98.8.023>
- Gultyaeva EI (2018) [Genetic structure of *Puccinia triticina* populations in Russia and its variability under the influence of host plant]. *Doctor of Science Dissertation*. Pushkin-St. Petersburg, Russia: All-Russian Institute of Plant Protection. 312 p (in Russian)
- Gultyaeva EI, Baranova OA, Dmitriev AP (2009) [Virulence and *Puccinia triticina* population structure in the Russian Federation in 2007]. *Vestnik zashchity rasteniy* 4:33–38 (in Russian)
- Gultyaeva EI, Gasich EL, Levitin MM, Maslova IV et al (2017) [Diseases of grain crops and rape in the North-Western region in 2016]. *Zashchita i karantin rasteniy* 4:27–29 (in Russian)
- Gultyaeva EI, Solodukhina OV (2008) [Rust diseases of grain crops]. In: Radchenko EE (eds) [Study of genetic resources of grain crops for resistance to pests]. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences 5–32 (in Russian)
- Ishkova TI, Gultyaeva EI, Levitin MM (2004) [Fungal diseases of grain crops in the Northwest]. *Zashchita i karantin rasteniy* 12:15–18 (in Russian)
- Meshkova LV, Rosseeva LP, Korenyuk EA, Belan IA (2012) Dynamics of distribution of the wheat leaf rust pathotypes virulent to the cultivars with *Lr9* gene in Omsk region. *Mikologiya i fitopatologiya* 46(6):397–401 (in Russian)
- Shpanev AM, Laptyev AB, Goncharov NR, Golubev AS et al (2017) [Integrated system of protection of winter wheat crops from pests in the North-West region of the Russian]. St. Petersburg: All-Russian Research Institute of Plant Protection. 47 p (in Russian)
- Sibikeev SN, Konkova EA, Salmova MF (2020) [Characteristics of the virulence of the causative agent of brown rust of soft wheat in the Saratov region]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* 9:40–44 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i9pp40-44>
- Sochalova LP, Boyko NI, Poteshkina AA, Piskarev VV (2023) Effective leaf rust resistance genes of wheat in Novosibirsk Province in connection with the variability of the *Puccinia triticina* population. *Proc Appl Bot Genet Breed* 184(2):235–244 (in Russian) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-2-235-244>

VIRULENCE MONITORING OF THE NORTHWESTERN POPULATION OF *PUCCINIA TRITICINA* IN 2023–2025

E.I. Gulyaeva*, E.L. Shaydayuk

All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

*corresponding author, e-mail: eigulyaeva@gmail.com

Leaf rust, caused by *Puccinia triticina*, is a widespread disease of wheat in all regions of Russia, including the North-West. Long-term population-genetic studies of the pathogen make it possible to assess the dynamics of pathogen virulence variability and adjust breeding for resistance strategies. The work aimed to monitor the virulence and race composition of the northwestern population of *P. triticina* in 2023–2025 and to assess its long-term variability dynamics (2001–2025). High effectiveness of genes *Lr9*, *Lr19*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr41* (= *Lr39*), *Lr42*, *Lr47*, *Lr50*, *Lr51*, *Lr53* and *Lr57* in the North-West is shown. In 2024–2025, pathogen isolates virulent to carriers of the previously highly effective *Lr24* gene were found. In total, 17 phenotypes (races) were identified in the northwestern population in 2023–2025, and only four of them were recorded in 2000–2023. The long-term variability of the Northwestern population mainly affects the virulence frequency variation of the pathogen to Thatcher lineages by genes *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c* and *Lr15*. It decreased significantly in the 2020s. The northwestern population showed its stable consistent variability in 2001–2025. The 2001–2010 populations differed moderately from 2012–2019 and more significantly from 2020–2024. The 2025 pathogen collection was significantly different from those analyzed previously. Additionally, *P. triticina* collected on wheatgrass in 2025 showed high similarity of virulence to the samples from soft wheat. This confirms that wheatgrass may serve as a reservoir of leaf rust infection for soft wheat crops in the Northwest and contribute to the diversity of the regional pathogen population.

Keywords: leaf rust, virulence, wheat, race composition, *Lr*-genes

Submitted: 12.04.2026

Accepted: 11.06.2026