

Перевод на английский язык <https://vavilov.elpub.ru/jour>

## Изучение устойчивости к бурой ржавчине, урожайности и качества зерна у образцов коллекции мягкой пшеницы в экологических условиях Новосибирской области

Л.П. Сочалова<sup>1</sup>, В.А. Апарина<sup>1</sup>, Н.И. Бойко<sup>1</sup>, Е.В. Зуев<sup>3</sup>, Е.В. Морозова<sup>1</sup>, К.К. Мусинов<sup>1</sup>, Н.А. Виниченко<sup>2</sup>, И.Н. Леонова<sup>2,4</sup>, В.В. Пискарев<sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup> Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, р.п. Краснообск, Новосибирская область, Россия

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

✉ piskaryov\_v@mail.ru

**Аннотация.** К основным факторам, влияющим на формирование высокого урожая, относятся связь генотипа сорта с условиями произрастания и фитопатогенная нагрузка, что необходимо учитывать в селекции для поиска доноров устойчивости и высокой выраженности ценных признаков. Изучение устойчивости 49 образцов мягкой пшеницы к поражению бурой ржавчиной проведено в полевых условиях естественного инфекционного фона и в лабораторных условиях к монопустьным изолятам с вирулентностью к генам *Lr9* и *Lr24*. Показано, что сорта, несущие чужеродные гены *Lr6Agi2* (Тулайковская 10) и *Lr6Agi1* (Воевода), устойчивы к поражению бурой ржавчиной как в полевых условиях, так и при заражении в лаборатории. Сорта KWS Buran, KWS Akvilon, KW 240-3-13 и Этюд, которые формировали урожайность от 417 до 514 г/м<sup>2</sup> – на уровне лучшего стандарта Сибирской 17, целесообразно использовать в условиях Западной Сибири в качестве доноров гена устойчивости *Lr24*. Донором генов устойчивости *Lr19* и частично эффективного *Lr26* может служить сорт Омская 44, характеризующийся урожайностью 440 г/м<sup>2</sup>. Сорта Тулеевская и Алтайская 110, в геноме которых содержится ген *Lr9*, рекомендуется использовать при создании генотипов с пирамидой генов устойчивости. Наиболее высокие показатели содержания белка и клейковины выявлены у образца CS2A/2M, наименьшие – у сортообразцов KWS Buran, Алтайская 110, Волгоуральская и KWS Akvilon. Сравнение коллекции образцов мягкой пшеницы по микро- (Cu, Mn, Zn, Fe) и макроэлементам (Ca, Mg, K) продемонстрировало наиболее высокие показатели у группы, состоящей из образцов CS2A/2M, Тулайковская 10, Равон и Тулеевская. Наименьшие показатели большинства элементов определены у сортов KWS Buran, Новосибирская 15 и Волгоуральская. Озимые сорта, характеризующиеся устойчивостью к поражению бурой ржавчиной в условиях инфекционного фона, как правило, несут возрастные гены устойчивости (*Lr34*, *Lr12* и *Lr13*), в том числе в сочетании с ювенильным геном *Lr26*. У линии с озимым типом развития (KS 93 U 62) выявлен ген *Lr41*, благодаря чему линия сохраняла устойчивость к поражению клоном патогена бурой ржавчины kLr24, несмотря на наличие в ее генотипе гена *Lr24*. Сорта Дока и Чешская 17 могут быть донорами генов устойчивости *Lr26 + Lr34* и *Lr9 + Lr12 + Lr13 + Lr34* и источниками короткостебельности без снижения зимостойкости и урожайности в условиях Западной Сибири.

Ключевые слова: пшеница мягкая; бурая ржавчина; популяция; изолят; вирулентность; ген устойчивости; урожайность; микроэлемент; макроэлемент; белок; клейковина.

**Для цитирования:** Сочалова Л.П., Апарина В.А., Бойко Н.И., Зуев Е.В., Морозова Е.В., Мусинов К.К., Виниченко Н.А., Леонова И.Н., Пискарев В.В. Изучение устойчивости к бурой ржавчине, урожайности и качества зерна у образцов коллекции мягкой пшеницы в экологических условиях Новосибирской области. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2023;27(8):988-999. DOI 10.18699/VJGB-23-114

## Studying a collection of common-wheat varieties for leaf rust resistance, crop yield and grain quality in the environmental conditions of Novosibirsk region

L.P. Sochalova<sup>1</sup>, V.A. Aparina<sup>1</sup>, N.I. Boyko<sup>1</sup>, E.V. Zuev<sup>3</sup>, E.V. Morozova<sup>1</sup>, K.K. Musinov<sup>1</sup>, N.A. Vinichenko<sup>2</sup>, I.N. Leonova<sup>2,4</sup>, V.V. Piskarev<sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup> Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

<sup>2</sup> Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

<sup>3</sup> Federal Research Center the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia

<sup>4</sup> Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

✉ piskaryov\_v@mail.ru

**Abstract.** The relationship between a variety's genotype, environmental conditions and phytopathogenic load are the key factors contributing to high yields that should be taken into account in selecting donors for resistance and high manifestation of valuable traits. The study of leaf rust resistance in 49 common wheat varieties was carried out in the field against the natural pathogen background and under laboratory conditions using single-pustule isolates with virulence to *Lr9* and *Lr24*. It has been shown that the varieties carrying alien genes *Lr6Agi2* (Tulaikovskaya 10) and *Lr6Agi1* (Voevoda) were resistant to leaf rust infection both in the field and in the laboratory. Varieties KWS Buran, KWS Akvilon, KW 240-3-13, and Etyud producing crop yields from 417 to 514 g/m<sup>2</sup> comparable to the best standard variety Sibirskaya 17 can be reasonably used as *Lr24* resistance gene donors under West Siberian conditions. Omskaya 44 variety showing crop yield of 440g/m<sup>2</sup> can be used as a donor for *Lr19* and partially effective *Lr26*. Varieties Tuleevskaya and Altayskaya 110 with *Lr9* in their genomes are recommended for the development of resistance gene-pyramided genotypes. The highest protein and gluten contents were observed in the CS2A/2M sample, while KWS Buran, Altayskaya 110, Volgouralskaya, and KWS Akvilon showed the lowest values. Varieties CS2A/2M, Tulaikovskaya 10, Pavon, and Tuleevskaya were ranked the highest in micro- (Cu, Mn, Zn, Fe) and macronutrient (Ca, Mg, K) contents among the common wheat samples from the collection, while the lowest values for most elements were observed in KWS Buran, Novosibirskaya 15, and Volgouralskaya. Winter varieties demonstrating leaf rust resistance against the infectious background typically carry adult plant resistance genes (*Lr34*, *Lr12*, and *Lr13*), particularly combined with the juvenile *Lr26* gene. The presence of *Lr41* in a winter type line (KS 93 U 62) allowed it to maintain resistance against a leaf rust pathogen clone kLr24, despite the presence of *Lr24* in the genotype. Varieties Doka and Cheshskaya 17 may act as donors of resistance genes *Lr26 + Lr34* and *Lr9 + Lr12 + Lr13 + Lr34*, as well as sources of dwarfing without losses in winter hardiness and yield under West Siberian conditions.

Key words: common wheat; leaf rust; population; isolate; virulence; resistance gene; yield; microelement; macroelement; protein; gluten.

**For citation:** Sochalova L.P., Aparina V.A., Boyko N.I., Zuev E.V., Morozova E.V., Musinov K.K., Vinichenko N.A., Leonova I.N., Piskarev V.V. Studying a collection of common-wheat varieties for leaf rust resistance, crop yield and grain quality in the environmental conditions of Novosibirsk region. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;27(8):988-999. DOI 10.18699/VJGB-23-114

## Введение

Пшеница мягкая (*Triticum aestivum* L.) – основная продовольственная культура во всем мире. Культура характеризуется сбалансированным составом белка, крахмала, клетчатки, жира, минеральных элементов, содержит витамины группы С, В, А, бета-каротин, Е, Д, К (Roshan et al., 2016), а также отличается приспособленностью к условиям произрастания (Прянишников, 2018). По данным Росстата за 2022 г., яровые сорта пшеницы в Новосибирской области занимают 222,808 га посевных площадей с урожайностью 21 ц/га. Озимые сорта выращивают на площади около 34,000 га с урожайностью 28 ц/га. К основными факторам, влияющим на формирование высокого урожая, относятся связь генотипа сорта с условиями произрастания (Мальчиков, Мясникова, 2012) и фитопатогенная нагрузка на сорт. Для создания высокоурожайного сорта необходимо учитывать эти факторы и вести поиск доноров устойчивости и высокой выраженности хозяйственно ценных признаков (Волкова и др., 2016).

Одним из главных заболеваний, поражающих посевы мягкой пшеницы в Западной Сибири, является возбудитель бурой ржавчины пшеницы, поражающий как озимые, так и яровые формы, что снижает урожайность в годы эпифитотий до 15–40 % (Kolmer et al., 2015). При создании и использовании доноров генов устойчивости предъявляются определенные требования, поскольку применение идентичных генов у яровых и озимых сортов для защиты от поражения может привести к сильным эпифитотиям в случае преодоления патогеном защитных механизмов, определяемых наличием гена (Волкова и др., 2016; Пожерукова и др., 2019). В связи с этим для защиты от поражения патогеном озимых и яровых сортов необходимо использовать различные эффективные гены устойчивости

или их сочетания, что подразумевает постоянный поиск новых генов устойчивости.

В мире идентифицировано более 80 *Lr*-генов, и около 50 % из них относятся к чужеродным<sup>1</sup>. В коммерческих сортах мягкой пшеницы используют гены *Lr9*, *Lr19*, *Lr21*, *Lr23*, *Lr24*, *Lr26*, *Lr28*, *Lr37*, *Lr39* (Aktar-Uz-Zaman et al., 2017; Леонова, 2018), *Lr6Agi1*, *Lr6Agi2* (Sibikeev et al., 2017) и *LrSp2* (Adonina et al., 2018). В России представляют практический интерес для селекции образцы, несущие частично эффективные (*Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr25*, *Lr26*, *Lr6Agi1*, *Lr6Agi2*) и высокоэффективные (*Lr28*, *Lr29*, *Lr39*, *Lr42*, *Lr45*, *Lr47*, *Lr50*, *Lr51*, *Lr66*, *LrSp2*) для защиты от поражения гены (Гультяева, Шайдаюк, 2021; Сочалова и др., 2022).

Используя в гибридизации сорта пшеницы, несущие гены устойчивости от родственных видов (*Aegilops*, *Agropyron*, *Secale cereale* и др.), можно расширить разнообразие генов устойчивости, при этом такие гены часто связаны с факторами, снижающими урожайность или ухудшающими ее качество (Маркелова, 2007; Крупин и др., 2019). Выявлено, что наличие фрагмента, несущего ген *Lr9* (перенесен от *Aegilops umbellulata*), снижает урожайность в условиях США (Friebe et al., 1996), при этом в России имеются коммерческие сорта с этим геном (Гультяева, Шайдаюк, 2021). Наличие чужеродного материала (ген *Y*, детерминирующий увеличение синтеза желтого пигмента в эндосперме), сцепленного с геном *Lr19* (перенесен от *Agropyron elongatum*), снижало ценность первых доноров с этим геном (Knott, 1968). Позже локус, несущий *Lr19/Sr25* и ген *Y*, удалось разделить при использовании

<sup>1</sup> Komugi – wheat genetic resources database. Доступно: <https://shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/symbolClassListAction.do?geneClassificationId=89> (дата обращения 09.03.2023).

делеционных по локусу *ph1b* линий (Marais, 1992; Zhang et al., 2005). При этом сегмент хромосомы, несущий ген *Lr19*, положительно влияет на урожайность (Singh et al., 1998), и в России ряд сортов с ним (Гультяева, Шайдаюк, 2021) выращивается в производстве. Наличие в геноме пшеницы фрагмента генома, несущего ген *Lr38* (от *Thimopyrum intermedium*), приводит к значительному снижению урожайности (Mebrate et al., 2008), как и наличие сегмента хромосомы, содержащего ген *Lr47* (от *Aegilops speltoides*), который дополнительно негативно сказывается на качестве (Brevis et al., 2008). Введение в сорта пшенично-ржаной транслокации 1В.1R, несущей гены *Lr26*, *Pm8*, *Sr31*, приводит к ухудшению качества муки и хлеба (Kumlay et al., 2003). Значительно упрощает работу селекционера использование уже существующих линий или сортов мягкой пшеницы с чужеродными транслокациями без получения нового селекционного материала с первичным переносом от родственных видов (Тимонова и др., 2012). Это можно объяснить тем, что не все первичные переносы оказываются успешными, часть транслокаций теряется у потомства при последующей репродукции (Давоян и др., 2015).

Один из принципов подбора пар для скрещивания основан на эколого-географических различиях, что объясняется большим разнообразием генотипов, получаемых в результате трансгрессий в расщепляющихся поколениях при скрещивании двух сортообразцов, созданных и адаптированных к различным условиям (Вьюшков, 2004). При этом необходимо выявлять адаптивность инорайонных образцов к местным условиям (Давыдова, Казаченко, 2013), так как привлечение экологически отдаленных образцов с низкой адаптивностью приводит к появлению в потомстве значительного количества генотипов с низкой продуктивностью, что затрудняет создание коммерческих сортов (Souza, Sorrells, 1991). Использование в качестве доноров стародавних сортов осложняется их малой изученностью, а также полиморфностью, так как они создавались как популяции и являются многолинейными. Поэтому в качестве исходного материала лучше применять современные сорта инорайонной и иностранной селекции после предварительного всестороннего изучения в той местности, для которой планируется вести селекцию.

В связи с вышеизложенным считаем, что поиск доноров генов устойчивости к бурой ржавчине пшеницы остается актуальным в тесной связи с почвенно-климатическими условиями, для которых будут создаваться сорта, и типом развития. Цель исследования заключалась в комплексном изучении коллекционных образцов мягкой пшеницы в Новосибирской области для выявления доноров эффективных генов устойчивости к поражению *Puccinia triticina* Erikss.

## Материалы и методы

Материалом исследования служили коллекционные образцы мягкой пшеницы – 24 яровой и 25 озимой, из них 41 образец из мировой коллекции ВИР и 8 новых яровых сортов, в последние годы испытываемых на госсортоучастках Новосибирской области.

Полевая устойчивость образцов к поражению распространенными в регионе листовыми патогенами была изу-

чена в условиях естественного распространения инфекции по методике ВИР (Мережко и др., 1999) и искусственно усиленного инфекционного фона (посев восприимчивых сортов озимой пшеницы, опрыскивание посевов в ранние утренние часы водой и смесью урединиоспор при появлении заболевания). Оценку урожайности образцов и ее составляющих (масса 1000 зерен, масса зерна колоса, число зерен колоса) проводили в течение 2–4 лет (в годы изучения образцов в коллекционных питомниках в 2015–2020 гг.) по методике ВИР, разработанной для изучения новых поступлений (Мережко и др., 1999). Устойчивость образцов к поражению бурой ржавчиной пшеницы в ювенильной стадии (фаза 1-го листа) изучали в лабораторных условиях СибНИИРС (р.п. Краснообск) на отсеченных отрезках листьев (Михайлова, Квитко, 1979). Инокуляцию проводили водной суспензией урединиоспор местной (Новосибирская область) популяции *P. triticina*, собранных в 2020 г. с сортов пшеницы, выращиваемых в естественных условиях на полях СибНИИРС (вирулентность для сортов и линий с генами *Lr1*, *Lr2a*, *Lr2c*, *Lr3a*, *Lr9*, *Lr16*, *Lr3ka*, *Lr11*, *Lr17*, *Lr30*, *Lr2b*, *Lr3bg*, *Lr14a*, *Lr14b*, *Lr15*, *Lr18*, *Lr20*; авирулентность – *Lr24*, *Lr19*, *Lr41*, *Lr45*, *Lr47*, *Lr28*, *Lr6Agil*, *Lr6Agil2*, *LrSp2* и *Lr26*) и двумя тест-клонами: кLr24 (вирулентность – *Lr1*, *Lr2a*, *Lr2c*, *Lr3*, *Lr3ka*, *Lr11*, **Lr24**, *Lr17*, *Lr30*, *Lr2b*, *Lr3bg*, *Lr14a*, *Lr14b*, *Lr15*, *Lr18*, *Lr20*; авирулентность – *Lr9*, *Lr16*, *Lr26*, *Lr19*) и кLr9 (вирулентность – *Lr1*, *Lr2a*, *Lr2c*, *Lr3*, **Lr9**, *Lr16*, *Lr3ka*, *Lr11*, *Lr17*, *Lr30*, *Lr2b*, *Lr3bg*, *Lr14a*, *Lr14b*, *Lr15*, *Lr18*, *Lr20*; авирулентность – *Lr24*, *Lr26*, *Lr19*). Клон с вирулентностью *p24* был выделен с сорта Новосибирская 15 при изучении расового состава популяции Куйбышевского района Новосибирской области. Клон с вирулентностью *p9* выделен с сорта Челябинка 2 (*Lr9*), выращиваемого в коллекционном питомнике в р.п. Краснообск. Тест-сортами на заражение являлись Agent (с *Lr24*) и Удача (с *Lr9*). Тип реакции на заражение патогеном определяли на 8–10-й день после инокуляции по шкале Е.В. Mains и Н.С. Jackson (1926). Реакции 0, 1, 2 – устойчивые, 3, 4 – восприимчивые, X – гетерогенные (Mains, Jackson, 1926). Вирулентность популяции и клонов установлена на изогенных линиях Thatcher и сортах, несущих известные гены. Поражение образцов в условиях усиленного инфекционного фона определяли в процентах по количественной шкале R.F. Peterson и коллег (1948). В качестве контроля реакции восприимчивости в поле и лаборатории использовали сорт Новосибирская 15.

Суммарную ДНК выделяли из 5–7-дневных проростков по методу J. Plaschke и коллег (1995). Генотипирование сортов пшеницы проводили с применением ДНК-маркеров, разработанных для генов устойчивости к бурой ржавчине пшеницы (Приложение 1<sup>2</sup>). Содержание белка и клейковины определяли на инфракрасном экспресс-анализаторе OmegaAnalyzer G (Bruins Instruments, Германия). Содержание макро- и микроэлементов оценивали методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе ContrAA 800 D (Analytik Jena, Германия).

Статистическая обработка результатов выполнена с использованием пакета программ Statistica 10.0 и MS Excel.

<sup>2</sup> Приложения 1 и 2 см. по адресу:  
<https://vavilovj-icg.ru/download/pict-2023-27/appx33.pdf>

## Результаты

В результате оценки поражения сортообразцов пшеницы бурой ржавчиной на инфекционном фоне в 2020 г. были выделены 20 яровых и 21 озимый образец, поражение которых не превышало 10 % (табл. 1). Сорта Зауралочка, Удача, Алтайская 110 и Тулеевская, несущие ген *Lr9*, в условиях инфекционного участка поразились до 100 % на уровне стандарта восприимчивости (сорт Новосибирская 15). При этом в условиях естественного распространения инфекции почти все характеризовались как среднеустойчивые (5 баллов) в годы с максимальным распространением патогена (табл. 2). В ювенильной фазе устойчивость к поражению популяцией *P. tritricina* сохраняли 20 яровых и лишь 10 озимых сортообразцов пшеницы (Amigo, KS 93 U 50, KS 90 WGRC 10, KS 93 U 40, KS 93 U 62, Поэма, Айвина, Коллега, Первица, Восторг), что предполагает наличие генов возрастной устойчивости у остальных 11 озимых форм (Княгиня Ольга, Дока, Лебедь, Кума, Батько, Гром, Лидия, СО 07 W 245, Ritter, Чешская 16 и Чешская 17 (см. табл. 1).

По результатам молекулярного тестирования сортов с использованием маркеров, разработанных для генов устойчивости *Lr1*, *Lr9*, *Lr10*, *Lr12*, *Lr13*, *Lr16*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr26*, *Lr28*, *Lr34*, *Lr41* и *Lr47*, подтверждено наличие постулированных по литературным данным генов у большей части изученных сортов. Кроме того, нами установлено, что сорта KWS Buran и KW 240-3-13, изучаемые в коллекционных питомниках, как и другие современные сорта из Евросоюза (KWS Akvilon и KWS Torridon), несут ген *Lr24*. Стоит отметить, что сорт KW 240-3-13 был поражен клоном *kLr9*, но не заразился клоном *kLr24* (2 балла, тип реакции – умеренно устойчивый), тогда как сорт KWS Buran характеризовался гетерогенным поражением при заражении клоном *kLr24* и был устойчив к поражению клоном *kLr9*.

Сорта саратовской селекции Тулайковская 10 и Воевода, несущие чужеродные гены *Lr6Agi2* и *Lr6Agi1*, сохраняли устойчивость к поражению в полевых условиях (в том числе на инфекционном фоне) и при заражении клоном с вирулентностью к гену *Lr24*. В открытых литературных источниках нами не найдена информация о генах устойчивости к бурой ржавчине пшеницы, которые несет сорт Н 15-3, при этом он характеризовался иммунитетом как на инфекционном фоне, так и при лабораторном тестировании. По результатам генотипирования этого сорта с использованием молекулярных ДНК-маркеров выявлены гены устойчивости *Lr12 + Lr16 + Lr26 + Lr34*.

В геномах озимых линий Канзасского университета (США) (KS 90 WGRC 10 и KS 93 U 62) обнаружен ген *Lr41*. Его наличие позволяет сохранять устойчивость линии KS 93 U 62 к поражению клоном *kLr24*, несмотря на то что линия кроме данного гена несет ген *Lr24*. Линия KS 93 U 40, характеризующаяся наличием двух *Lr*-генов (*Lr19 + Lr24*), также сохраняла устойчивость к поражению клоном *kLr24*, как и яровые сорта, несущие ген *Lr19* (Юлия, Волгоуральская, Добрыня). При этом линия KS 93 U 50, у которой, по литературным данным, выявлены гены *Lr26* и *Lr24*, была восприимчива к клону *kLr24*, но сохраняла устойчивость к поражению в условиях инфекционного фона при заражении как естественной по-

пуляцией, так и клоном *kLr9*. Гены *Lr19* и *Lr26* в генотипе ярового сорта Омская 44 также эффективно защищали растения от поражения бурой ржавчиной как клонами, так и природной популяцией.

Любопытные результаты получены для сортообразцов с озимым типом развития, характеризующимся различными сочетаниями генов устойчивости. Так, сочетание гена возрастной устойчивости *Lr34* с геном ювенильной устойчивости *Lr26* у сортов Коллега, Поэма, Айвина и Дока позволяет им сохранять устойчивость как в условиях инфекционного фона, так и при заражении клонами (см. табл. 1). При этом сорт Лебедь, дополнительно несущий к генам *Lr26* и *Lr24* ген *Lr13* (возрастной устойчивости), поражен клонами и популяцией в ювенильной стадии и был устойчив к поражению патогеном в условиях инфекционного фона в поле. Схожая реакция наблюдалась у сортов Лидия, Чешская 16 и СО 07 W 245, в геноме которых выявлены два гена возрастной устойчивости (*Lr13 + Lr34*).

Эффективное использование доноров устойчивости предполагает их приспособленность к условиям региона. Поэтому нами проведен анализ урожайности и выраженности количественных признаков ряда сортов, которые испытывались в различных опытах в разные годы. Для анализа взяты сорта и линии, которые были изучены не менее двух лет. По результатам полевой оценки хозяйственно ценных признаков выделялись образцы яровой пшеницы с высокой урожайностью: Воевода (509.8 г/м<sup>2</sup>), KW 240-3-13 (514.1 г/м<sup>2</sup>) и Алтайская 110 (580.0 г/м<sup>2</sup>) (см. табл. 2). Сорта Воевода и Алтайская 110, кроме того, формировали высокопродуктивный колос (1.69 и 2.00 г) и большое количество зерен в колосе (41.4 и 48.5 шт. соответственно). Сорт KW 240-3-13 формировал крупное зерно с высокой массой 1000 зерен (45.1 г). Также выделялись сорта Волгоуральская (высокая озерненность колоса – 39.1 шт.) и Челябинка 75 (масса 1000 зерен – 45.3 г). При высокой интенсификации земледелия особое внимание уделяют низкостебельным сортам. Для использования в селекции при создании сортов интенсивного типа в сочетании с устойчивостью к бурой ржавчине пшеницы можно рекомендовать сорта Этюд, KWS Akvilon, KWS Torridon и Тулайковская 10, которые кроме устойчивости к патогену характеризовались низкостебельностью (62.1–83.8 см) и формировали урожайность на уровне лучшего стандарта – Сибирской 17 (517.1 г/м<sup>2</sup>). У сортов Этюд, KWS Akvilon, KW 240-3-13, Омская 44 и Тулайковская 10 определена высокая устойчивость (7–99 баллов) к поражению мучнистой росой и септориозом в годы сильного развития патогена, высокая устойчивость к поражению только септориозом отмечена у сортообразцов Н 15-3 (9 баллов), Cunningham и Pavon (7 баллов), сорта Воевода, Тулеевская и KWS Torridon были устойчивыми к поражению мучнистой росой (7 баллов), что служит дополнительным важным признаком при подборе пар для скрещивания.

Среди озимых сортов, устойчивых к поражению патогеном, высокую урожайность формировали сорта Дока (589.2 г/м<sup>2</sup>) и Чешская 17 (547.7 г/м<sup>2</sup>), которые также характеризовались низкорослостью (66.5 и 80.0 см соответственно) и зимостойкостью на уровне стандарта – сорта Новосибирская 40 (4.1 балла) (табл. 3). Кроме того, сорт

**Таблица 1.** Оценка поражения сортообразцов мягкой пшеницы с установленными *Lr*-генами устойчивости

| Сорт                    | Ген по данным литературы /<br>установлен методом ПЦР | Оценка<br>на инфекционном<br>фоне, % | Заражение в лаборатории |      |           | Литературный<br>источник    |
|-------------------------|--|--------------------------------------|-------------------------|------|-----------|-----------------------------|
|                         |  |                                      | кLr24                   | кLr9 | Популяция |                             |
| Яровые сорта            |  |                                      |                         |      |           |                             |
| <b>Agent</b>            | <b>Lr24/Lr24</b>                                     | 0                                    | 3                       | 0    | 1–2       | GRIS, 2022                  |
| KWS Akvilon             | Lr24/Lr24  | 0                                    | 3                       | 1    | 1–2       | Гуляева, 2018               |
| Квинтус                 | Lr24, Lr1/Lr24                                       | 0                                    | 3                       | 2    | 1         |                             |
| KWS Torridon            | Lr24/Lr24  | 0                                    | 1–2                     | 0    | 1         |                             |
| KWS Buran               | LrU/Lr24   | 0                                    | X                       | 1    | 1–2       |                             |
| KW 240-3-13             | LrU/Lr24   | 0                                    | 2                       | 3    | 1         |                             |
| Cunningham              | Lr24/Lr24  | 0                                    | 3                       | 0    | 0         | GRIS, 2022                  |
| Этюд                    | Lr24+Lr26/Lr24                                       | 0                                    | 3                       | 0    | 1–2       | Гриб, 2019                  |
| <b>Удача</b>            | <b>Lr9/Lr9</b>                                       | 80–100                               | 0                       | 3    | 3         | Гуляева, 2016               |
| Зауралочка              | Lr9/Lr9  | 80–100                               | 0                       | 3    | 3         |                             |
| Алтайская 110           | Lr9+Lr10+Lr1/Lr9+Lr10+Lr1                            | 70–100                               | 0                       | 3    | 3         |                             |
| Тулеевская              | Lr9/Lr9  | 70–100                               | 0                       | 3    | 3         | GRIS, 2022                  |
| Юлия                    | Lr19/Lr19  | 0                                    | 1                       | 1    | 0         |                             |
| Волгоуральская          | Lr19/Lr19  | 0                                    | 1                       | 1    | 0         |                             |
| Добрыня                 | Lr19/Lr19  | 0                                    | 0                       | 1    | 0         |                             |
| Тулайковская 10         | Lr6Agi2/–  | 0                                    | 0                       | 0    | 0         |                             |
| Воевода                 | Lr6Agi1/–  | 0                                    | 0                       | 0    | 0         |                             |
| Челяба 75               | LrSp2/–  | 0                                    | 0                       | 0    | 0         | Adonina et al., 2018        |
| Одинцовская             | LrU/–*   | 0                                    | 0                       | 0    | 0         |                             |
| Омская 44               | Lr19+Lr26/Lr1+Lr19+Lr26                              | 0                                    | 0                       | 0    | 0         | Мешкова и др., 2021         |
| Н 15-3                  | LrU/Lr12+Lr16+Lr26+Lr34                              | 0                                    | 0                       | 0    | 0         |                             |
| CS2A/2M                 | Lr28/Lr28  | 0                                    | 0                       | 0    | 0         | Гуляева, 2012               |
| Равон                   | Lr47/Lr47  | 0                                    | 0                       | 0    | 0         | Гуляева, 2016               |
| <b>Новосибирская 15</b> | <b>Lr10+Lr1/Lr10</b>                                 | 100                                  | 3                       | 3    | 3         |                             |
| Озимые сорта            |  |                                      |                         |      |           |                             |
| Amigo                   | Lr24+Lr26/Lr24                                       | 0                                    | 3                       | 1    | 1         | GRIS, 2022                  |
| KS 93 U 50              | Lr42 или Lr24+Lr26/Lr24                              | 0                                    | 3                       | 0    | 0         | Germplasm releases..., 2022 |
| KS 90 WGRC 10           | Lr41+Lr26/Lr41                                       | 0                                    | 0                       | 0    | 0         |                             |
| KS 93 U 40              | LrU/Lr19+Lr24  | 0                                    | 0                       | 0    | 0         |                             |
| KS 93 U 62              | Lr41/Lr24+Lr41                                       | 0                                    | 0                       | 0    | 0         | Germplasm releases..., 2022 |
| Поэма                   | LrU/Lr26+Lr34  | 0                                    | 0                       | 0    | 0         |                             |
| Айвина                  | Lr10, Lr26, Lr34/Lr10, Lr26, Lr34                    | 0                                    | 1                       | 1    | 1–2       | GRIS, 2022                  |
| Коллега                 | Lr10, Lr26/Lr10, Lr26, Lr34                          | 0                                    | 1                       | 0    | 1         |                             |
| Княгиня Ольга           | Lr24+Lr1+Lr34/Lr1+Lr34, нет Lr24                     | 1                                    | 3                       | 1    | 3         |                             |
| Первица                 | Lr26/Lr26+Lr1  | 0                                    | 3                       | 1    | 1–2       |                             |
| Дока                    | Lr26+Lr34/Lr26+Lr34                                  | 5                                    | 2                       | 2    | X         |                             |
| Восторг                 | Lr26+Lr34/Lr26+Lr34                                  | 5                                    | 1–2                     | X    | 1         |                             |
| Лебедь                  | LrU/Lr1+Lr13+Lr26+Lr34                               | 0                                    | 3                       | 3    | 3         |                             |
| Кума                    | Lr34/Lr34  | 10                                   | 3                       | 3    | 3         | GRIS, 2022                  |
| Батько                  | Lr10+LrU/Lr10+Lr1                                    | 0                                    | 3                       | X    | 3         |                             |
| Гром                    | Lr10+Lr1+LrU/Lr1+Lr34                                | 0                                    | 3                       | X    | 3         |                             |
| Лидия                   | Lr34+Lr3+LrU/Lr34+Lr13                               | 0                                    | 3                       | 3    | 3         | Шишкин и др., 2018          |
| CO 07 W 245 (Antero)    | LrU/Lr13+Lr34  | 0                                    | 3                       | 3    | 3         |                             |
| Ritter                  | LrU/нет Lr24   | 5                                    | 3                       | 0    | 3         |                             |
| Чешская 16              | LrU/Lr13+Lr34  | 5                                    | 3                       | X    | 3         |                             |
| Чешская 17              | LrU/Lr9+Lr12+Lr13+Lr34                               | 10                                   | 0                       | X    | 3         |                             |

Примечание. Красным цветом выделены гены устойчивости, представленные по данным литературы.

\* По родословной предполагается наличие гена *LrSp2*, прочерк означает, что идентификацию наличия гена с использованием метода ПЦР не проводили.

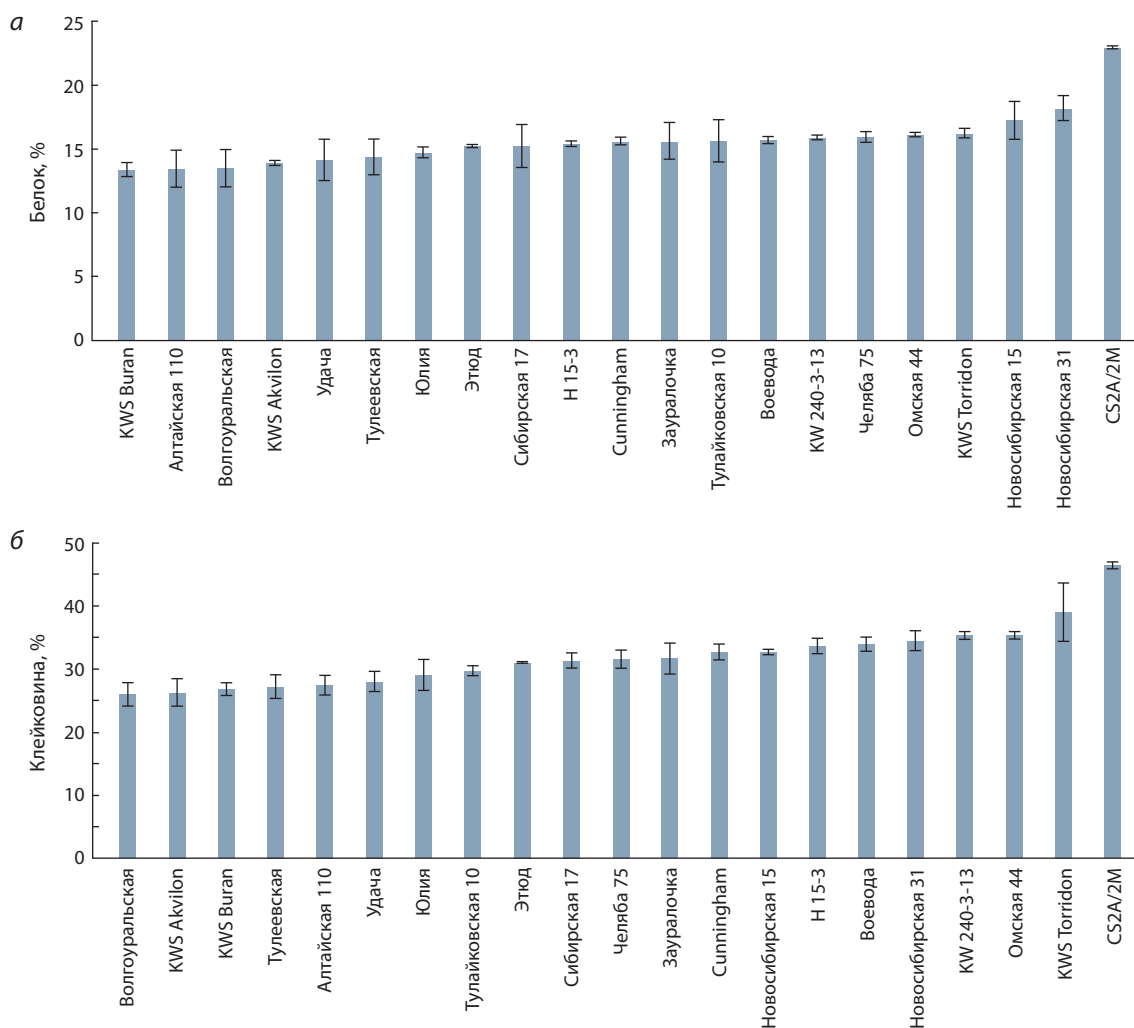
**Таблица 2.** Результаты полевого изучения сортов мягкой яровой пшеницы

| Сортообразец           | Происхождение  | Средние значения за годы изучения |                               |                     |                       |                    | Устойчивость в условиях естественного распространения инфекции (минимальное значение за годы изучения), баллы |                |                |           |
|------------------------|----------------|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|---|----------------|----------------|-----------|
|                        |                | Веgetационный период, дни         | Урожайность, г/м <sup>2</sup> | Высота растения, см | Масса зерна колоса, г | Число зерен колоса | Масса 1000 зерен, г   | Мучнистая роса | Бурая ржавчина | Септориоз |
| Новосибирская 15       | Россия         | 70.0                              | 408.7                         | 86.8                | 0.91                  | 25.9               | 34.8  | 3              | 1              | 3         |
| Новосибирская 31       | Россия         | 73.4                              | 444.8                         | 94.2                | 1.02                  | 29.1               | 35.0  | 3              | 3              | 3         |
| Сибирская 17           | Россия         | 80.2                              | <b>517.1</b>                  | 103.4               | 1.22                  | 32.4               | 37.7  | 5              | 7              | 5         |
| Этюд                   | Украина        | 75.0                              | 428.0                         | 60.0                | 0.95                  | 25.8               | 36.8  | 7              | 99             | 5         |
| CS2A/2M                | Австралия      | 79.0                              | 125.0                         | 70.0                | 0.29                  | 15.6               | 19.0  | 9              | 99             | –         |
| KWS Akvilon            | Германия       | 77.5                              | 417.2                         | 62.1                | 1.16                  | 32.1               | 35.2  | 99             | 99             | 7         |
| KW 240-3-13            | Германия       | 83.1                              | <b>514.1</b>                  | 92.0                | 1.48                  | 32.5               | <b>45.1</b>   | 7              | 99             | 7         |
| KWS Buran              | Германия       | 78.8                              | 473.3                         | 86.0                | 1.33                  | 32.3               | 41.5  | 5              | 99             | 3         |
| KWS Torridon           | Великобритания | 82.3                              | 366.5                         | 83.8                | 1.33                  | 34.0               | 38.9  | 7              | 9              | 5         |
| Cunningham             | Австралия      | 85.0                              | 242.4                         | 69.0                | 1.23                  | 33.1               | 37.2  | 5              | 99             | 7         |
| Зауралочка             | Россия         | 76.8                              | 356.9                         | 93.4                | 1.02                  | 29.9               | 33.9  | 1              | 5              | 3         |
| Удача                  | Россия         | 83.0                              | 377.0                         | 67.3                | 0.75                  | 25.5               | 29.2  | 5              | 5              | –         |
| Тулеевская             | Россия         | 83.0                              | 424.8                         | 66.7                | 0.83                  | 28.6               | 28.6  | 7              | 5              | –         |
| Алтайская 110          | Россия         | 84.0                              | <b>580.0</b>                  | 100.0               | <b>2.00</b>           | <b>48.5</b>        | 41.2  | 1              | 3              | –         |
| Юлия                   | Россия         | 86.5                              | 391.6                         | 86.0                | 1.14                  | 28.2               | 39.2  | 5              | 9              | 3         |
| Волгоуральская         | Россия         | 83.0                              | 380.0                         | 98.0                | 1.51                  | <b>39.1</b>        | 38.6  | 5              | 9              | 3         |
| Воевода                | Россия         | 87.0                              | <b>509.8</b>                  | 103.0               | <b>1.69</b>           | <b>41.4</b>        | 40.8  | 99             | 99             | 5         |
| Челяба 75              | Россия         | 81.0                              | 404.4                         | 103.0               | 1.34                  | 29.6               | <b>45.3</b>   | 3              | 99             | 3         |
| Омская 44              | Россия         | 81.3                              | 440.8                         | 87.5                | 1.41                  | 37.9               | 37.6  | 7              | 99             | 7         |
| Н 15-3                 | Германия       | 92.0                              | 251.0                         | 65.0                | 1.10                  | 35.7               | 30.8  | 5              | 99             | 9         |
| Тулайковская 10        | Россия         | 92.5                              | 405.3                         | 79.9                | 1.14                  | 31.9               | 34.6  | 9              | 99             | 7         |
| Равон                  | Мексика        | 96.0                              | 130.0                         | 60.0                | 0.59                  | 15.9               | 30.0  | 3              | 99             | 7         |
| Среднее                |                | 82.3                              | 390.4                         | 82.6                | 1.16                  | 31.1               | 36.0  | –              | –              | –         |
| Стандартное отклонение |                | 6.2                               | 115.4                         | 15.1                | 0.37                  | 7.4                | 6.0   | –              | –              | –         |

\* В годы изучения образца устойчивость к септориозу не оценивали.

**Таблица 3.** Результаты полевого изучения сортов мягкой озимой пшеницы

| Сорт                   | Происхождение | Средние значения за годы изучения |                     |                               |                     |                       |                    |                     |
|------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
|                        |               | Веgetационный период, дни         | Зимостойкость, балл | Урожайность, г/м <sup>2</sup> | Высота растения, см | Масса зерна колоса, г | Число зерен колоса | Масса 1000 зерен, г |
| Новосибирская 40, ст.  | Россия        | 319.5                             | 4.1                 | 396.5                         | 107.0               | 1.66                  | 86.5               | 27.3                |
| Коллега                | Россия        | 320.5                             | 3.3                 | 274.1                         | 67.5                | 2.12                  | 85.9               | 26.5                |
| Дока                   | Россия        | 316.8                             | 4.5                 | 589.2                         | 66.5                | 1.58                  | 100.6              | 31.9                |
| Чешская 17             | Чехия         | 321.5                             | 3.8                 | 547.7                         | 80.0                | 1.61                  | 72.4               | 24.8                |
| Чешская 16             | Чехия         | 321.5                             | 4.5                 | 348.3                         | 71.8                | 1.46                  | 75.8               | 24.9                |
| Стандартное отклонение |               | 1.7                               | 0.7                 | 80.5                          | 13.7                | 0.21                  | 10.2               | 4.7                 |



Содержание белка (а) и клейковины (б) в зерне яровых сортообразцов мягкой пшеницы.

Дока формировал высокое количество зерен в колосе (100.6 шт.).

Содержание белка варьировало от 13.4 до 22.95 %, клейковины – от 25.94 до 46.33 %, при этом наиболее высокие показатели выявлены у образца CS2A/2M ( $p < 0.001$ ) (рисунок, Приложение 2). Сорта KWS Buran, Алтайская 110, Волгоуральская и KWS Akvilon характеризовались наименьшим содержанием белка, которое составило менее 14 %, и наиболее низкими показателями содержания клейковины.

Анализ содержания нутриентов в зерне изученной коллекции представлен в Приложении 2. Сравнение содержания в сортообразцах как микро- (Cu, Mn, Zn, Fe), так и макроэлементов (Ca, Mg, K) продемонстрировало наиболее высокие показатели у группы, состоящей из образцов CS2A/2M, Тулайковская 10, Ravon, Тулеевская. Наименьшие показатели большинства элементов отмечены у сортов KWS Buran, Новосибирская 15 и Волгоуральская.

## Обсуждение

Основным способом создания новых сортов пшеницы, несмотря на значительные достижения в области биотехнологии, до сих пор остается гибридизация исходных ро-

дительских форм с последующим отбором интересующих селекционера морфотипов (Гуляева и др., 2020; Марченко и др., 2020), в том числе с использованием методов маркер-вспомогательной селекции (Стасюк и др., 2017; Gulyaeva et al., 2018). Одним из широко распространенных заболеваний у мягкой пшеницы в Западной Сибири является бурая ржавчина, которая может поражать как озимые сорта, так и яровые, что обязует селекционеров для предотвращения эпифитотий с резким снижением урожайности яровых сортов использовать для защиты от поражения заболеванием озимых и яровых сортов различные эффективные гены устойчивости или их сочетания (Крупин и др., 2019). Также важно в подборе доноров устойчивости учитывать их адаптивность к условиям, в которых планируется выращивать сорта, так как зачастую донорами генов устойчивости выступают сорта иностранной селекции (Грязнов, Пигорев, 2019; Конькова и др., 2022) или изогенные линии, также полученные на основе иностранных сортов (Койшыбаев, 2019), генотипы которых могут резко снизить урожайность в наших условиях из-за низкой адаптивности к неблагоприятным абиотическим факторам среды. В данном исследовании мы провели комплексную оценку сортов, характеризующихся

устойчивостью к бурой ржавчине пшеницы. Так, из набора яровых сортов, несущих ген *Lr24*, в условиях Западной Сибири целесообразно использовать в качестве доноров сорта немецкой селекции (KWS Buran, KWS Akvilon) английский сорт KWS Torrignon или украинский сорт Этюд, нежели австралийский сорт Cunningham, так как данный сорт формирует значительно меньшую ( $242.4 \text{ г/м}^2$ ), чем у сортов-стандартов, урожайность (минимальная урожайность у стандарта Новосибирская 15 –  $408.7 \text{ г/м}^2$ ). Данное снижение урожайности никак не связано с наличием чужеродной транслокации от *Thinopyrum elongatum* (*Lr24/Sr24*), а скорее обусловлено низкой адаптивностью генотипа в целом, что может повлиять на эффективность отбора высокопродуктивных форм при использовании сорта Cunningham в качестве донора гена *Lr24*.

Эффективность гена *Lr19*, распространенного в сортах российской селекции (Гулятьева, Шайдаюк, 2021), в защите сортов пшеницы от поражения бурой ржавчиной все еще высокая на территории Западной и Восточной Сибири (Gulyaeva et al., 2018; Мешкова и др., 2019), несмотря на преодоление устойчивости в европейской части России (Гулятьева и др., 2020). В качестве доноров для переноса данного гена устойчивости можно использовать сорт Омская 44 ( $440.8 \text{ г/м}^2$ ), так как сорт характеризовался урожайностью на уровне лучшего стандарта Сибирская 17 ( $517.1 \text{ г/м}^2$ ), кроме того, сорт также может быть донором гена *Lr26*, частично эффективного в защите пшеницы от поражения бурой ржавчиной в Западной (Gulyaeva et al., 2018) и Восточной (Мешкова и др., 2019) Сибири.

Сорта, несущие ген *Lr9*, несмотря на поражение в условиях инфекционного фона, также представляют интерес для селекции, так как на естественном фоне распространения инфекции данный ген защищает растения от сильного поражения. Сорта с этим геном (кроме сорта Алтайская 110) характеризуются как умеренно устойчивые в годы с максимальным поражением. Доноры гена *Lr9* могут быть использованы в создании сортов с пирамидой генов устойчивости, что позволит «продлить срок жизни» данного гена.

Селекционная ценность доноров генов устойчивости, перенесенных от *Aegilops speltoides* *Lr28* (CS2A/2M) и *Lr47* (Pavon), в Западной Сибири вызывает сомнения, так как их адаптивность к нашим условиям крайне низкая, что сказывается на урожайности ( $125.0$  и  $130.0 \text{ г/м}^2$  соответственно). Кроме того, по результатам оценки селекционного материала, отобранного из гибридных популяций  $F_3$  и  $BC_1F_3$ , полученных нами ранее на основе двух коммерческих сортов и доноров генов *Lr28*, *Lr47* (Пискарев и др., 2021), выявлено значительное увеличение продолжительности вегетационного периода (+ 6.3 дня) в сравнении с сортом-реципиентом Сибирская 17 (44.2 дня) и высоты растения (+ 11.4 см). Также отмечены негативные эффекты урожайности, числа зерен колоса и длины стебля у рекомбинантов, несущих ген *Lr47*, полученных на основе обоих коммерческих сортов.

Несмотря на относительно высокую урожайность сорта Челябинка 75 ( $404.4 \text{ г/м}^2$ ), несущего ген *LrSp2* от *Aegilops speltoides* Tausch, сцепленный с гаметоцидным геном (Adonina et al., 2018), что, несомненно, селекционно значимо в условиях Западной Сибири, нам не удалось по-

лучить сорт, превосходящий стандарты и несущий данный ген, даже с учетом большого объема исходного материала (более 4000 линий от скрещивания сортов Новосибирская 15, Новосибирская 31, Удача и Сибирская 17), изученного с 2015 г.

Устойчивость сорта Одинцовская (отбор из популяции Челябинка 75 × АНК-17В) к поражению бурой ржавчиной пшеницы может контролироваться геном *LrSp2*, перенесенным от сорта Челябинка 75, который сцеплен с гаметоцидным геном (Adonina et al., 2018), так как поражение отсутствует и продукты амплификации маркеров, сцепленных с другими генами устойчивости, не обнаружены. У сорта Омская 44, кроме выявленных Л.В. Мешковой с коллегами (2021) генов *Lr19* и *Lr26*, в результате генотипирования нами выявлен ген *Lr1*.

Сорта Воевода и Тулайковская 10 представляют интерес для создания сортов с комплексной устойчивостью к поражению листовыми патогенами в условиях Западной Сибири. Данные сорта ( $509.8 \text{ г/м}^2$  у Воеводы и  $405.3 \text{ г/м}^2$  у Тулайковской 10) формируют урожайность не ниже лучшего стандарта, кроме того, сорт Тулайковская 10 характеризуется укороченным стеблем (79.9 см), а Воевода – высокой массой и числом зерен в колосе. С использованием сорта Тулайковская 10 уже был создан и передан с 2017 г. на госсортоиспытание сорт яровой мягкой пшеницы Новосибирская 61, который снят с испытания в связи с отсутствием преимущества перед стандартами на госсортоучастках Западной Сибири. Также при включении сорта Тулайковская 10 в гибридизацию мы получили уменьшение продолжительности вегетации линий, отобранных из комбинаций со среднепоздним сортом Сибирская 17 (Leonova et al., 2019). Сорт Воевода не привлекался к гибридизации.

При рассмотрении результатов генотипирования образцов обращает на себя внимание, что озимые сорта пшеницы, характеризующиеся устойчивостью к поражению бурой ржавчиной в условиях инфекционного фона, как правило, несут гены возрастной устойчивости (*Lr34*, *Lr12* и *Lr13*), в том числе в сочетании с геном ювенильной устойчивости *Lr26*, тогда как яровые формы в основном представлены донорами генов ювенильной устойчивости, как и в исследовании Е.И. Гулятьевой и Е.Л. Шайдаюк (2021). Мы считаем, что данные механизмы защиты сортов с различным типом развития наиболее приемлемы для региона, так как до фазы колошения озимых сортов в Западной Сибири поражение бурой ржавчиной пшеницы не отмечено и это затрудняет переход патогена с озимых сортов на яровые.

Результаты изучения выраженности количественных признаков и урожайности озимых сортообразцов в нашем исследовании более скромные, так как коллекционные образцы часто характеризуются низкой зимостойкостью в наших условиях, что позволяет дать оценку лишь устойчивости к поражению заболеваниями в условиях инфекционного фона. При этом только в озимых линиях выявлен ген *Lr41* (KS 90 WGRС 10, KS 93 U 62), который позволяет сохранять устойчивость линии KS 93 U 62 к поражению клоном *kLr24*, несмотря на наличие в ее генотипе гена *Lr24*. Кроме того, сорта Дока (высота растения 66.5 см, урожайность  $589.2 \text{ г/м}^2$ ) и Чешская 17 (80.0 см,  $547.7 \text{ г/м}^2$ )



могут быть не только донорами комплекса эффективных генов устойчивости (*Lr26 + Lr34* и *Lr9 + Lr12 + Lr13 + Lr34*), но и источником генов короткостебельности, которые не снижают зимостойкость и урожайность в условиях Западной Сибири.

## Заключение

Сорта пшеницы, несущие чужеродные гены *Lr6Agi2* (Тулайковская 10) и *Lr6Agi1* (Воевода), устойчивы к поражению бурой ржавчиной как в полевых условиях, так и при заражении в лаборатории. Из всего изученного набора яровых сортов, несущих ген *Lr24*, в условиях Западной Сибири целесообразно использовать в качестве доноров сорта KWS Buran, KWS Akvilon, KW 240-3-13 и Этюд, которые формировали урожайность (417.2–514.1 г/м<sup>2</sup>) на уровне лучшего стандарта – Сибирской 17 (517.1 г/м<sup>2</sup>). Донором гена устойчивости *Lr19* может служить сорт Омская 44 (440.8 г/м<sup>2</sup>), характеризующийся урожайностью на уровне лучшего стандарта, при этом сорт также несет ген *Lr26* (частично эффективный в Западной и Восточной Сибири). Доноры гена *Lr9* (Тулеевская и Алтайская 110) рекомендуется использовать в создании сортов с пирамидой генов устойчивости. Селекционная ценность доноров генов устойчивости, перенесенных от *Aegilops speltoides* *Lr28* (CS2A/2M) и *Lr47* (Pavon), в Западной Сибири низкая в связи с отсутствием адаптивности образцов к нашим условиям. Озимые сорта пшеницы, характеризующиеся устойчивостью к поражению бурой ржавчиной в условиях инфекционного фона, как правило, несут возрастные гены устойчивости (*Lr34*, *Lr12* и *Lr13*), в том числе в сочетании с ювенильным геном *Lr26*. В линии с озимым типом развития (KS 93 U 62) выявленный ген *Lr41* позволял сохранять устойчивость к поражению клоном *kLr24*, несмотря на наличие в ее генотипе гена *Lr24*. Сорта Дока (высота растения 66.5 см, урожайность 589.2 г/м<sup>2</sup>) и Чешская 17 (80.0 см, 547.7 г/м<sup>2</sup>) могут быть донорами генов устойчивости (*Lr26 + Lr34* и *Lr9 + Lr12 + Lr13 + Lr34*) и источниками короткостебельности, не снижающей зимостойкость и урожайность в условиях Западной Сибири.

## Список литературы / References

Волкова Г.В., Кремнева О.Ю., Шумилов Ю.В., Гладкова Е.В., Ваганова О.Ф., Митрофанова О.П., Лысенко Н.С., Чикида Н.Н., Хакимова А.Г., Зуев Е.В. Иммунологическая оценка образцов пшеницы, ее редких видов, эгилопса из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова и отбор источников с групповой устойчивостью. *Вестник защиты растений*. 2016;89(3):38-39  
[Volkova G.V., Kremneva O.Yu., Shumilov Yu.V., Gladkova E.V., Vaganova O.F., Mitrofanova O.P., Lysenko N.S., Chikida N.N., Hakimova A.G., Zuev E.V. Immunological assessment of wheat samples, its rare species, Aegilops from the collection Federal research center "Vavilov All-Russian Institute Of Genetic Resources" and selection of sources with group resistance. *Vestnik Zashchity Rasteniy = Plant Protection News*. 2016;89(3):38-39 (in Russian)]  
Вьюшков А.А. Селекция яровой пшеницы в Среднем Поволжье. Самара, 2004  
[Vyushkov A.A. Breeding of spring wheat in the Middle Volga region. Samara, 2004 (in Russian)]  
Гриб С.И. Стратегия и приоритеты селекции полевых культур в Беларуси. Материалы Междунар. конф. «Оптимизация селек-

ционного процесса – фактор стабилизации и роста продукции растениеводства Сибири». Красноярск: ИФ ФИЦ КНЦ СО РАН, 2019;23-28.

[Grib S.I. Strategy and priorities of crop breeding in Belarus. Proceedings of the International Conference "Breeding process optimization: factor of the stabilization and increase of plant production in Siberia". Krasnoyarsk, Kirenskiy Institute of Physics, 2019;23-28 (in Russian)]  
Грязнов А.А., Пигорев И.Я. Исходный материал для селекции яровой пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019;5:45-52  
[Gryaznov A.A., Pigorev I.Ya. Source material for breeding spring wheat for leaf rust resistance. *Vestnik Kurskoy Gosudarstvennoy Sel'skhozaystvennoy Akademii = Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2019;5:45-52 (in Russian)]  
Гультяева Е.И. Методы идентификации генов устойчивости пшеницы к бурой ржавчине с использованием ДНК-маркеров и характеристика эффективности *Lr*-генов. СПб: ВНИИЗР, 2012  
[Gulyaeva E.I. Methods for identifying wheat resistance genes to leaf rust using DNA markers and characterizing the effectiveness of *Lr*-genes. St. Petersburg: VNIIZR Publ., 2012 (in Russian)]  
Гультяева Е.И. Разнообразие российских сортов мягкой пшеницы по генам устойчивости к бурой ржавчине. Материалы IV Междунар. конф. «Современные проблемы иммунитета растений к вредным организмам». СПб.: ВНИИЗР, РАСХН, 2016;24.  
[Gulyaeva E.I. The diversity of Russian soft wheat varieties in genes for brown rust. Proceedings of the International Conference "Current issues in plant immunity against pests". St. Petersburg: All-Russia Plant Protection Institute, 2016;24 (in Russian)]  
Гультяева Е.И. Генетическая структура популяций *Puccinia triticina* в России и ее изменчивость под влиянием растения-хозяина: Дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 2018.  
[Gulyaeva E.I. The genetic structure of *Puccinia triticina* populations in Russia and its variability induced by the host plant. Doct. Biol. Sci. Diss. St. Petersburg, 2018 (in Russian)]  
Гультяева Е.И., Шайдаюк Е.Л. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у новых российских сортов мягкой пшеницы. *Биотехнология и селекция растений*. 2021;4(2):15-27. DOI 10.30901/2658-6266-2021-2-02  
[Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L. Identification of leaf rust resistance genes in the new Russian varieties of common wheat. *Biotechnologiya i Seleksiya Rasteniy = Plant Biotechnology and Breeding*. 2021;4(2):15-27. DOI 10.30901/2658-6266-2021-2-02 (in Russian)]  
Гультяева 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;55(1):27-44. DOI 10.15389/agrobiology.2020.1.27rus  
[Gulyaeva E.I., Sibikeev S.N., Druzhin A.E., Shaydayuk E.L. Enlargement of genetic diversity of spring bread wheat resistance to leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks.) in Lower Volga region. *Sel'skhozaystvennaya Biologiya = Agricultural Biology*. 2020;55(1):27-44. DOI 10.15389/agrobiology.2020.1.27rus (in Russian)]  
Давыдова Н.В., Казаченко А.О. Особенности подбора исходного материала для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях центрального Нечерноземья. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2013;103(5):5-9  
[Davydova N.V., Kazachenko A.O. Peculiarities of selection of initial material for selection of spring soft wheat in the conditions of the Central Non-Chernozem Region. *Vestnik Altayskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta = Bulletin of Altai State Agrarian University*. 2013;103(5):5-9 (in Russian)]  
Давоян Р.О., Бебякина И.В., Давоян Э.Р., Зинченко А.С., Зубанова Ю.С., Миков Д.С. Интрогрессивные линии мягкой пшеницы с генетическим материалом *Agropyron glaucum*. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015;19(1):83-90. DOI 10.18699/VJ15.010

- [Davoyan R.O., Bebyakina I.V., Davoyan E.R., Zinchenko A.S., Zubanova Yu.S., Mikov D.S. Introgressive lines of common wheat with the genetic material of *Agropyron glaucum*. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(1):83-90. DOI 10.18699/VJ15.010 (in Russian)]
- Койшыбаев М. Реакция изогенных линий пшеницы Thatcher на североказахстанскую популяцию *Puccinia triticina* и устойчивость сортов к патогену. *Микология и фитопатология*. 2019;53(3):162-169. DOI 10.1134/S0026364819030073
- [Koyshybaev M. Reaction of isogenes thatcher wheat lines on the North-Kazakhstan population of *Puccinia triticina* and resistance of wheat cultivars. *Mikologiya i Fitopatologiya = Mycology and Phytopathology*. 2019;53(3):162-169. DOI 10.1134/S0026364819030073 (in Russian)]
- Конькова Э.А., Лящева С.В., Сергеева А.И. Скрининг мировой коллекции озимой мягкой пшеницы по устойчивости к листовым болезням в условиях Нижнего Поволжья. *Зерновое хозяйство России*. 2022;14(2):36-40. DOI 10.31367/2079-8725-2022-80-2-36-40
- [Kon'kova E.A., Lyashcheva S.V., Sergeeva A.I. Screening of the world winter bread wheat collection for leaf-stem disease resistance in the Lower Volga region. *Zernovoe Hozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2022;14(2):36-40. DOI 10.31367/2079-8725-2022-80-2-36-40 (in Russian)]
- Крупин П.Ю., Дивашук М.Г., Карлов Г.И. Использование генетического потенциала многолетних дикорастущих злаков в селекционном улучшении пшеницы. *Сельскохозяйственная биология*. 2019;54(3):409-425. DOI 10.15389/agrobiology.2019.3.409rus
- [Krupin P.Yu., Divashuk M.G., Karlov G.I. Gene resources of perennial wild cereals involved in breeding to improve wheat crop. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya = Agricultural Biology*. 2019; 54(3):409-425. DOI 10.15389/agrobiology.2019.3.409rus (in Russian)]
- Леонова И.Н. Влияние чужеродного генетического материала на проявление хозяйственно важных признаков мягкой пшеницы (*T. aestivum* L.). *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018; 22(3):321-328. DOI 10.18699/VJ18.367
- [Leonova I.N. Influence of alien genetic material on the manifestation of agronomically important traits of common wheat (*T. aestivum* L.). *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(3):321-328. DOI 10.18699/VJ18.367 (in Russian)]
- Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г. Относительное развитие признаков продуктивности твердой пшеницы в процессе селекции. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2012;16(4/2):987-997
- [Mal'chikov P.N., Myasnikova M.G. Relative development of durum wheat productivity traits in the breeding process. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2012;16(4/2):987-997 (in Russian)]
- Маркелова Т.С. Использование диких видов и сородичей пшеницы для интрогрессии генов устойчивости к болезням. *АГРО XXI*. 2007;4-6:16-18
- [Markelova T.S. Use of wild wheat species and relatives for introgression of disease resistance genes. *AGRO XXI*. 2007;4-6:16-18 (in Russian)]
- Марченко Д.М., Иванисов М.М., Рыбась И.А., Некрасов Е.И., Романюкина И.В., Чухненко Ю.Ю. Итоги селекционной работы по озимой мягкой пшенице для непаровых предшественников в аграрном научном центре «Донской». *Зерновое хозяйство России*. 2020;72(6):3-9. DOI 10.31367/2079-8725-2020-72-6-3-9
- [Marchenko D.M., Ivanisov M.M., Rybas' I.A., Nekrasov E.I., Roman'yukina I.V., Chuhnenko Yu.Yu. The results of breeding work with the winter bread wheat for non-fallow forecrops in the Agricultural Research Center "Donskoy". *Zernovoe Khozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2020;72(6):3-9. DOI 10.31367/2079-8725-2020-72-6-3-9 (in Russian)]
- Мережко А.Ф., Удачин Р.А., Зуев В.Е., Филатенко А.А., Сербин А.А., Ляпунова О.А., Косов В.Ю., Куркиев У.К., Охотников Т.В., Наврузбеков Н.А., Богуславский Р.Л., Абдулаева А.К., Чикида Н.Н., Митрофанова О.П., Потокина С.А. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале. Санкт-Петербург: ВИР, 1999
- [Merezhko A.F., Udachin R.A., Zuev V.E., Filatenko A.A., Serbin A.A., Lyapunova O.A., Kosov V.Yu., Kurkiev U.K., Okhotnikova T.V., Navruzbekov N.A., Boguslavskiy R.L., Abdulaeva A.K., Chikida N.N., Mitrofanova O.P., Potokina S.A. Replenishment, preservation in live form and study the world collection of wheat, triticale and Aegilops. St.Peterburg: VIR Publ., 1999 (in Russian)]
- Мешкова Л.В., Росеева Л.П., Сидоров А.В., Сабаяева О.Б., Зверовская Т.С., Белан И.А. Физиологическая специализация возбудителя бурой ржавчины пшеницы в Красноярском крае. *Вестник КрасГАУ*. 2019;142(1):29-36
- [Meshkova L.V., Rosseeva L.P., Sidorov A.V., Sabaeva O.B., Zverovskaya T.S., Belan I.A. Physiological specialization of brown rust pathogen on the wheat in Krasnoyarsk region. *Vestnik KrasGAU = Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2019;142(1): 29-36 (in Russian)]
- Мешкова Л.В., Росеева Л.П., Шмакова О.А., Белан И.А. Влияние сортов мягкой яровой пшеницы с геном *Lr26* на вирулентность возбудителя бурой ржавчины в Омской области. *Успехи современного естествознания*. 2021;10:20-25. DOI 10.17513/use.37693
- [Meshkova L.V., Rosseeva L.P., Shmakova O.A., Belan I.A. Influence of varieties of soft spring wheat with gene *Lr26* on the virulence of the agent of brown rust in the Omsk region. *Uspekhi Sovremenno Estestvoznaniya = Successes of Modern Natural Science*. 2021;10:20-25. DOI 10.17513/use.37693 (in Russian)]
- Михайлова Л.А., Квитко К.В. Лабораторные методы культивирования возбудителя бурой ржавчины *Puccinia recondita* Rob. ex. Desm. f. tritici. *Микология и фитопатология*. 1979;4(3):269-273
- [Mihaylova L.A., Kvitko K.V. Laboratory methods for cultivation of the leaf rust pathogen *Puccinia recondita* Rob. ex. Desm. f. tritici. *Mikologiya i Fitopatologiya = Mycology and Phytopathology*. 1979; 4(3):269-273 (in Russian)]
- Пискарев В.В., Апарина В.А., Бойко Н.И., Морозова Е.В., Тимофеев А.А. Влияние транслокаций от *Secale cereale* и *Aegilops speltoides* на проявление хозяйственно-ценных признаков пшеницы мягкой яровой. В: АГРОБИОТЕХНОЛОГИЯ-2021. Сборник статей международной научной конференции. М.: Российский государственный аграрный университет, 2021;778-782
- [Piskarev V.V., Aparina V.A., Boyko N.I., Morozova E.V., Timofeev A.A. Influence translocation from *Secale cereale* and *Aegilops speltoides* to agronomic traits of spring wheat breeding lines. In: AGROBIOTECHNOLOGY-2021. Collection of articles of the international scientific conference. Moscow: Russian State Agrarian University Publ., 2021;778-782 (in Russian)]
- Пожерукова В.Е., Шаманин В.П., Гладких М.С., Чурсин А.С., Гультяева Е.И. Оценка коллекции сортов сети КАСИБ в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Вестник Омского ГАУ*. 2019;33(1):30-37
- [Pozherukova V.E., Shamanin V.P., Gladkih M.S., Chursin A.S., Gul'tyaeva E.I. Evaluation of the collection of varieties of the KASIB network in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia. *Vestnik Omskogo GAU = Bulletin of the Omsk State Agrarian University*. 2019;33(1):30-37 (in Russian)]
- Прянишников А.И. Научные основы адаптивной селекции в Поволжье. М.: РАН, 2018
- [Pryanishnikov A.I. Scientific foundations of adaptive breeding in the Volga region. Moscow: RAS Publ., 2018 (in Russian)]
- Сколотнева Е.С., Леонова И.Н., Букатич Е.Ю., Салина Е.А. Методические подходы к идентификации эффективных генов, определяющих устойчивость пшеницы к комплексу грибных заболеваний. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017;21(7):862-869. DOI 10.18699/VJ17.307

- [Skolotneva E.S., Leonova I.N., Bukatich E.Yu., Salina E.A. Methodical approaches to identification of effective wheat genes providing broad-spectrum resistance against fungal diseases. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(7):862-869. DOI 10.18699/VJ17.307 (in Russian)]
- Сочалова Л.П., Мусинов К.К., Пискарев В.В. Генофонд источников устойчивости яровой и озимой мягкой пшеницы к грибным фитопатогенам. В: Генофонд и селекция растений. Сборник материалов 6-й Международной конференции. Новосибирск, 2022;187-191
- [Sochalova L.P., Musinov K.K., Piskarev V.V. Gene pool of spring and winter soft wheat resistance sources to fungal phytopathogens. In: Gene pool and plant breeding. Materials of the 6th International Conference. Novosibirsk, 2022;187-191 (in Russian)]
- Стасюк А.И., Леонова И.Н., Салина Е.А. Проявление хозяйственно важных признаков у яровых гибридов мягкой пшеницы, отобранных с помощью MAS-технологии при скрещивании озимых сортов с яровыми донорами устойчивости к бурой ржавчине. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(3):526-534. DOI 10.15389/agrobiology.2017.3.526rus
- [Stasyuk A.I., Leonova I.N., Salina E.A. Variability of agronomically important traits in spring wheat hybrids obtained by marker-assisted selection from crosses of winter wheat with spring wheat donors of resistance genes. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya = Agricultural Biology*. 2017;52(3):526-534. DOI 10.15389/agrobiology.2017.3.526rus (in Russian)]
- Тимонова Е.М., Леонова И.Н., Белан И.А., Росеева Л.П., Салина Е.А. Влияние отдельных участков хромосом *Triticum timopheevii* на формирование устойчивости к болезням и количественные признаки мягкой пшеницы. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2012;16(1):142-159
- [Timonova E.M., Leonova I.N., Belan I.A., Rosseeva L.P., Salina E.A. Influence of individual regions of *Triticum timopheevii* chromosomes on the formation of resistance to diseases and quantitative traits of common wheat. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2012;16(1):142-159 (in Russian)]
- Шишкин Н.В., Дерова Т.Г., Гуляева Е.И., Шайдаюк Е.Л. Определение генов устойчивости к бурой ржавчине у сортов озимой мягкой пшеницы с использованием традиционных и современных методов исследований. *Зерновое хозяйство России*. 2018; 59(5):63-67
- [Shishkin N.V., Derova T.G., Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L. Determination of leaf rust resistance genes in winter soft wheat varieties using traditional and modern research methods. *Zernovoe Khozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2018;59(5):63-67 (in Russian)]
- Aktar-Uz-Zaman M., Tuhina-Khatun M., Hanafi M.M., Sahebi M. Genetic analysis of rust resistance genes in global wheat cultivars: an overview. *Biotechnol. Biotechnol. Equip.* 2017;31(3):431-445. DOI 10.1080/13102818.2017.1304180
- Adonina I.G., Bukatich E.Y., Salina E.A., Piskarev V.V., Tyunin V.A., Shreyder E.R. Inheritance of the translocation in chromosome 2D of common wheat from *Aegilops speltoides* Tausch with leaf rust resistance gene. *Russ. J. Genet.* 2018;54(8):989-993. DOI 10.1134/S1022795418080021
- Brevis J.C., Chicaiza O., Khan I.A., Jackson L., Morris C.F., Dubcovsky J. Agronomic and quality evaluation of common wheat near-isogenic lines carrying the leaf rust resistance gene *Lr47*. *Crop Sci.* 2008;48(4):1441-1451. DOI 10.2135/cropsci2007.09.0537
- Chelkowski J., Golka L., Stepień Ł. Application of STS markers for leaf rust resistance genes in near-isogenic lines of spring wheat cv. Thatcher. *J. Appl. Genet.* 2003;44(3):323-338
- Friebe B., Jiang J., Raupp W.J., McIntosh R.A., Gill B.S. Characterization of wheat-alien translocations conferring resistance to diseases and pests: current status. *Euphytica*. 1996;91:59-87. DOI 10.1007/BF00035277
- Germplasm releases from the wheat genetics resource center. Available: [https://www.k-state.edu/wgrc/genetic\\_resources/germ\\_plasm\\_releases\\_from\\_the\\_wgrc.html](https://www.k-state.edu/wgrc/genetic_resources/germ_plasm_releases_from_the_wgrc.html) (Accessed 07.10.2022).
- GRIS. Genetic Resources Information System for Wheat and Triticale. Available: <http://www.wheatpedigree.net/> (Accessed 07.10.2022).
- Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L., Shamanin V.P., Akhmetova A.K., Tyunin V.A., Shreyder E.R., Kashina I.V., Eroshenko L.A., Sereida G.A., Morgunov A.I. Genetic structure of Russian and Kazakhstani leaf rust causative agent *Puccinia triticina* Erikss. populations as assessed by virulence profiles and SSR markers. *Agric. Biol.* 2018;53(1):85-95. DOI 10.15389/agrobiology.2018.1.85eng
- Imbaby I.A., Mahmoud M.A., Hassan M.E.M., Abd-El-Aziz A.R.M. Identification of leaf rust resistance genes in selected Egyptian wheat cultivars by molecular markers hindawi publishing corporation. *Sci. World J.* 2014;2014:574285. DOI 10.1155/2014/574285
- Knott D.R. Translocations involving *Triticum* chromosomes and *Agropyron* chromosomes carrying leaf rust resistance. *Can. J. Genet. Cytol.* 1968;10(3):695-696. DOI 10.1139/g68-087
- Kolmer J.A., Kabdulova M.G., Mustafina M.A., Zhemchuzhina N.S., Dubovoy V. Russian populations of *Puccinia triticina* in distant regions are not differentiated for virulence and molecular genotype. *Plant Pathol.* 2015;64(2):328-336. DOI 10.1111/ppa.12248
- Kumlay A.M., Baenziger P.S., Gill K.S., Shelton D.R., Graybosch R.A., Lukaszewski A.J., Wesenberg D.M. Understanding the effect of rye chromatin in bread wheat. *Crop Sci.* 2003;43(5):1643-1651. DOI 10.2135/cropsci2003.1643
- Leonova I.N., Piskarev V.V., Boiko N.I., Stasyuk A.I., Adonina I.G., Salina E.A. Development and study of new spring wheat lines containing alien genetic material from *Th. intermedium* and *Ae. Speltoides*. In: Current Challenges in Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology. Proceedings of the Fifth International Scientific Conference PlantGen2019. Novosibirsk: ICG SB RAS, 2019; 61-63
- Mains E.B., Jackson H.S. Physiologic specialization in leaf of wheat *Puccinia triticina* Erikss. *Phytopathology*. 1926;1(16):89-120
- Marais G.F. The modification of a common wheat-*Thinopyrum distichum* translocated chromosome with a locus homeoallelic to *Lr19*. *Theor. Appl. Genet.* 1992;85(1):73-78. DOI 10.1007/BF00223847
- Mebrate S.A., Oerke E.C., Dehne H.W., Pillen K. Mapping of the leaf rust resistance gene *Lr38* on wheat chromosome arm 6DL using SSR markers. *Euphytica*. 2008;162:457-466. DOI 10.1007/s10681-007-9615-z
- Peterson R.F., Cambell A.B., Hannah A.E. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. *Can. J. Res.* 1948;26(5):496-500. DOI 10.1139/cjr48c-033
- Plaschke J., Ganai M.W., Röder M.S. Detection of genetic diversity in closely related bread wheat using microsatellite markers. *Theor. Appl. Genet.* 1995;91(6-7):1001-1007. DOI 10.1007/BF00223912
- Qiu J.W., Schürch A.C., Yahiaoui N., Dong L.L., Fan H.J., Zhang Z.J., Keller B., Ling H.Q. Physical mapping and identification of a candidate for the leaf rust resistance gene *Lr1* of wheat. *Theor. Appl. Genet.* 2007;115(2):159-168. DOI 10.1007/s00122-007-0551-z
- Roshan K., Rathore K.S., Bharkatiya M., Goel P.K., Naruka P.S., Saubrah S.S. Therapeutic potential of *Triticumaestivum* Linn. (Wheat Grass or Green Blood Therapy) in the treatment and prevention of Chronic and Acute Diseases: an overview. *PharmaTutor*. 2016;4(2): 19-27
- Schachermayr G., Siedler H., Gale M.D., Winzeler H., Winzeler M., Keller B. Identification and localization of molecular markers linked to the *Lr9* leaf rust resistance gene of wheat. *Theor. Appl. Genet.* 1994;88(1):110-115. DOI 10.1007/BF00222402
- Sibikeev S.N., Druzhin A.E., Badaeva E.D., Shishkina A.A., Dragovich A.Y., Gulyaeva E.I., Kroupin P.Y., Karlov G.I., Khuat T.M., Divashuk M.G. Comparative analysis of *Agropyron intermedium* (host) beav *6Agi* and *6Agi2* chromosomes in bread wheat cultivars and lines with wheat-wheatgrass substitutions. *Russ. J. Genet.* 2017; 53(3):314-324. DOI 10.1134/S1022795417030115

Singh R.P., Huerta-Espino J., Rajaram S., Crossa J. Agronomic effects from chromosome translocations 7DL.7Ag and 1BL.1RS in spring wheat. *Crop Sci.* 1998;38(1):27-33. DOI 10.2135/cropsci1998.0011183X003800010005x

Singh S., Bowden R.L. Molecular mapping of adult-plant race-specific leaf rust resistance gene *Lr12* in bread wheat. *Mol. Breed.* 2011;28: 137-142. DOI 10.1007/s11032-010-9467-4

Souza E., Sorrells M.E. Prediction of progeny variation in oat from parental genetic relationships. *Theor. Appl. Genet.* 1991;82(2):233-241. DOI 10.1007/BF00226219

Tomkowiak A., Skowrońska R., Buda A., Kurasiak-Popowska D., Nawracała J., Kowalczewski P.L., Pluta M., Radzikowska D. Identification of leaf rust resistance genes in selected wheat cultivars and development of multiplex PCR. *Open Life Sci.* 2019;14:327-334. DOI 10.1515/biol-2019-0036

Zhang W., Lukaszewski A.J., Kolmer J., Soria M.A., Goyal S., Dubcovsky J. Molecular characterization of durum and common wheat recombinant lines carrying leaf rust resistance (*Lr19*) and yellow pigment (*Y*) genes from *Lophopyrum ponticum*. *Theor. Appl. Genet.* 2005;111(3):573-582. DOI 10.1007/s00122-005-2048-y

---

#### ORCID

L.P. Sochalova orcid.org/0000-0002-4674-6639  
V.A. Aparina orcid.org/0000-0003-2714-7216  
N.I. Boyko orcid.org/0000-0002-5026-4907  
E.V. Zuev orcid.org/0000-0001-9259-4384

E.V. Morozova orcid.org/0000-0001-9439-9785  
K.K. Musinov orcid.org/0000-0002-4500-836X  
I.N. Leonova orcid.org/0000-0002-6516-0545  
V.V. Piskarev orcid.org/0000-0001-9225-5227

**Благодарности.** Изучение образцов яровой мягкой пшеницы по признакам качества и содержанию микро- и макроэлементов выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 23-16-00041, <https://rscf.ru/project/23-16-00041/>). Генотипирование и оценка поражения образцов бурой ржавчиной проведены при поддержке бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН (FWNR-2022-0037).

**Прозрачность финансовой деятельности.** Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 17.05.2023. После доработки 19.07.2023. Принята к публикации 19.07.2023.