



# Устойчивость к листовым фитопатогенам гибридных ( $F_4$ , $F_5$ ) форм яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в различных эколого-географических условиях

Е.И. Рипбергер<sup>1</sup>✉, Н.А. Боме<sup>1</sup>, Д. Траутц<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный университет», Тюмень, Россия

<sup>2</sup> Университет прикладных наук города Оснабрюк, Оснабрюк, Германия

Поиск и создание исходного материала, устойчивого к неблагоприятным факторам окружающей среды и адаптированного к меняющимся погодным условиям, – одно из перспективных направлений селекции сельскохозяйственных растений. В статье представлены результаты изучения устойчивости гибридов ( $F_4$ ,  $F_5$ ) яровой мягкой пшеницы к основным листовым фитопатогенам (*Erysiphe graminis* DC. f. sp. *tritici* Em. Marchal, *Alternaria* spp., *Helminthosporium* spp. и *Puccinia recondita* Rob. ex. Desm f. sp. *tritici* Eriks) в различных почвенно-климатических условиях. Испытания проводились в течение двух вегетационных периодов (2013–2014 гг.) в трех географических пунктах: Тюменская область (Россия), Земля Баден-Вюртемберг (Германия) и Земля Нижняя Саксония (Германия), существенно различавшихся по природно-климатическим условиям в указанные годы. Оценка устойчивости гибридов к листовым заболеваниям проводили на естественном инфекционном фоне. Показано влияние комплекса абиотических факторов на распространенность фитопатогенных грибов в пунктах исследования. Выделены гибридные комбинации, менее восприимчивые по сравнению с другими гибридами к мучнистой росе, бурой ржавчине и пятнистостям, а также гибриды, обладающие устойчивостью к комплексу идентифицированных фитопатогенов. Отмечено, что проходившие экологическое испытание гибридные формы имели различные показатели биологической устойчивости растений в географических пунктах исследований. Гибрид ♀Cara × ♂Лютесценс 70 в обоих пунктах Германии имел относительно высокий показатель биологической устойчивости растений и обладал, согласно данным полевых исследований, во всех географических пунктах устойчивостью к комплексу идентифицированных фитопатогенов. Экологическое испытание новых генотипов растений в значительно различающихся по комплексу биотических и абиотических факторов условиях среды является одним из методов выявления устойчивости к фитопатогенам и выделения форм культурных растений с высокой адаптацией.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L.; фитопатогенные грибы; экологические факторы; устойчивость к болезням.

## Resistance of hybrid ( $F_4$ , $F_5$ ) forms of the spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) to leaf phytopathogens under different ecological and geographical conditions

E.I. Ripberger<sup>1</sup>✉, N.A. Bome<sup>1</sup>, D. Trautz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tyumen State University, Tyumen, Russia

<sup>2</sup> University of Osnabrueck, Osnabrueck, Germany

The search for and creation of the initial material steady against adverse environmental factors and adapted to constantly changing weather conditions have always been some of the most promising directions of selection of agricultural plants. Results of studying the resistance of spring soft wheat ( $F_4$ ,  $F_5$ ) hybrids to the main leaf phytopathogens (*Erysiphe graminis* DC. f. sp. *tritici* Em. Marchal, *Alternaria* spp., *Helminthosporium* spp. and *Puccinia recondita* Rob. ex. Desm f. sp. *tritici* Eriks) under different soil and climatic conditions are presented. Tests were carried out within two vegetative periods (2013–2014) in three geographic locations: Tyumen region (Russia), Baden-Württemberg (Germany) and Lower Saxony (Germany). These areas significantly differed in climatic conditions during the study years. The assessment of resistance to leaf diseases in the hybrids was carried out in the settings of natural infection. The influence of a complex of abiotic factors on the prevalence of phytopathogenic fungi at the study sites has been demonstrated. Hybrid combinations that were less susceptible to powdery mildew, brown rust and spot blotch than other hybrids have been identified, and so have been the hybrids that have resistance to all the phytopathogens identified. It was noted that the hybrid forms under the ecological test had different indicators of biological resistance of plants across the geographic study sites. The ♀Cara × ♂Lutescents 70 hybrid at both German sites had rather a high index of biological resistance of plants and possessed, according to field data, complex resistance to the main phytopathogenic fungi at all geographic sites.

Ecological testing of new plant genotypes under environmental conditions strongly differing in biotic and abiotic factors is one of effective methods to reveal resistance to phytopathogens and to identify highly adapted cultured plants.

Key words: *Triticum aestivum* L.; phytopathogenic fungi; environmental factors; resistance to diseases.

#### КАК ЦИТИРОВАТЬ ЭТУ СТАТЬЮ:

Рипбергер Е.И., Боме Н.А., Траутц Д. Устойчивость к листовым фитопатогенам гибридных ( $F_4$ ,  $F_5$ ) форм яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в различных эколого-географических условиях. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016;20(5):629-635. DOI 10.18699/VJ16.184

#### HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Ripberger E.I., Bome N.A., Trautz D. Resistance of hybrid ( $F_4$ ,  $F_5$ ) forms of the spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) to leaf phytopathogens under different ecological and geographical conditions. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2016;20(5):629-635. DOI 10.18699/VJ16.184

Пшеница (*Triticum* L.) – одна из основных культур мирового рынка зерна, характеризующаяся высокой экологической пластичностью и занимающая площадь 218,6 млн га (Phillips, Norton, 2012). По данным С.Н. Богословского (2008), в Российской Федерации на пищевые цели расходуется 17,5–18,0 млн т зерна, на семена – 11–12 млн т, на корм скоту и птице – 36–40 млн т. При этом ежегодные мировые потери урожая зерна пшеницы от грибных болезней в среднем составляют 20 % (Кольес и др., 2006; Генетические основы..., 2008). Применение химических средств защиты сельскохозяйственных растений в агроценозах приводит к накоплению пестицидов в цепях питания и появлению толерантных форм фитопатогенов. Поэтому особое значение в обеспечении населения страны безопасной и качественной продукцией, а также в направленном развитии экологически ориентированного сельского хозяйства имеет создание сортов и выделение форм, обладающих генетической устойчивостью к неблагоприятным биотическим стрессорам (Макарова, 2012; Нуриева, Исаев, 2013; Павлюшин, 2013). Ускорению селекционного процесса, направленного на выявление доноров устойчивости к фитопатогенным грибам, может способствовать экологическое испытание отобранного материала в существенно различных условиях среды.

Цель исследования – изучение устойчивости гибридов ( $F_4$ ,  $F_5$ ) яровой мягкой пшеницы к основным грибным болезням в различных почвенно-климатических условиях.

#### Материалы и методы

Объекты исследования – растения четырех гибридных комбинаций ( $F_4$ ,  $F_5$ ) яровой мягкой пшеницы: ♀Сага × ♂Скэнт 1, ♀Сага × ♂Лютесценс 70, ♀Hybrid × ♂Лютесценс 70 и ♀Сага × ♂Скэнт 3. Гибриды получены в 2009 г. с использованием модели неполных диаллельных скрещиваний (Griffing, 1956a, b) методом принудительного опыления (Дорофеев и др., 1990) на экспериментальном участке биостанции «Озеро Кучак» Тюменского государственного университета. Родительские формы представлены пятью образцами из мировой коллекции ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (ВИР): сорта отечественной селекции Скэнт 1 и Скэнт 3 (Россия, Тюменская область, var. *lutescens*), сорта иностранной селекции Сага (Мексика, var. *erythrosperrum*) и Лютесценс 70 (Казахстан, var.

*lutescens*), а также константный гибрид (обозначен как Hybrid, Мексика, var. *ferrugineum*). Сорта, отобранные по результатам предварительного изучения в Тюменском опорном пункте ВИР, различались по проявлению селекционно ценных признаков (продолжительность вегетационного периода, высота растений, устойчивость к полеганию, болезням, зерновая продуктивность). Мексиканский сорт Сага, по данным GRIS (Genetic Resources Information System for Wheat and Triticale), является носителем гена устойчивости *Lr13* в «устойчивом» аллельном состоянии. По результатам многолетней оценки в Тюменском опорном пункте ВИР, устойчивость сортов Сага и Hybrid к фитопатогенным грибам варьировала от очень высокой до низкой.

Испытание созданных гибридов проводили в трех географических пунктах. Первый располагался в России (Тюменская область, экспериментальный участок биостанции «Озеро Кучак» Тюменского государственного университета), а два других – в Германии (Земля Баден-Вюртемберг, экспериментальный участок Вальдорфской школы и Земля Нижняя Саксония, опытная станция Waldhof). Пункты исследований находились на значительном расстоянии друг от друга и, следовательно, различались по основным эколого-географическим характеристикам (Рипбергер и др., 2014, 2015; Боме и др., 2015).

Закладку полевых опытов во всех пунктах исследований проводили по единой методике, составленной на основании методических указаний Всероссийского НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова (Градчанинова и др., 1987) и Б.А. Доспехова (1985). Растения выращивали на делянках площадью 1 м<sup>2</sup>, количество высеванных семян 600 шт., междурядья 15 см, глубина посева 5–6 см, повторность опыта четырехкратная.

Для изучения устойчивости образцов к листовым грибным болезням (мучнистая роса, бурая листовая ржавчина и пятнистости) использовали комплексный способ оценки. В полевых условиях на естественном инфекционном фоне в течение всего вегетационного периода (с появления первых симптомов заболевания до усыхания листьев) по методическим указаниям (Гриценко и др., 2005) определяли: распространенность ( $P$ , %), индекс развития заболевания ( $R$ , %) и степень поражения растений. Устойчивость образцов пшеницы к болезням определяли по шкале: 1 – очень низкая; 3 – низкая; 5 – средняя; 7 – высокая; 9 – очень высокая (Международный клас-

## Hydrothermal conditions in research sites

Index	Month	Research site					
		LK		WS		WH	
		2013	2014	2013	2014	2013	2014
Daily average temperature, °C	April	–	–	11.00	12.50	8.30	11.80
	May	9.70	12.90	12.70	13.80	11.90	19.40
	June	17.30	16.60	17.90	16.70	15.70	16.00
	July	19.10	14.70	22.90	20.10	19.70	18.10
	August	17.20	18.10	20.60	15.40	18.70	16.70
	September	10.20	8.50	–	–	–	–
	Total	73.50	70.80	85.10	78.50	74.30	82.00
Precipitation, mm	April	–	–	46.90	96.80	23.00	54.00
	May	63.40	60.90	144.50	79.40	61.30	109.00
	June	4.10	25.50	41.80	44.60	42.20	83.50
	July	126.70	122.40	168.00	256.30	15.40	175.00
	August	37.60	37.80	129.90	192.70	72.10	108.10
	September	36.30	24.80	–	–	–	–
	Total	268.10	271.40	531.10	669.80	214.00	529.60
HTC		1.19	1.23	2.31	2.69	0.64	2.02
Mean value		1.21		2.50		1.33	

Note: LK, Lake Kuchak biological research station; WS, experimental site of the Waldorf school; WH, Waldhof experimental station; HTC, hydrothermal coefficient.

сификатор... (1984). Идентификацию патогенов по морфологическим признакам (Методы..., 1982) выполняли с помощью микроскопической техники и влажной камеры в лаборатории биотехнологических и микробиологических исследований кафедры ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры Института биологии ТюмГУ (Попкова и др., 2005).

В качестве стандартов взяты сорта мягкой яровой пшеницы, допущенные к использованию в каждом пункте исследований: Россия, Тюменская область – Новосибирская 15, Иргина; Германия, Земля Баден-Вюртемберг – Ashby, Scirocco; Германия, Земля Нижняя Саксония – Eminent, Granus.

Гидротермические условия в годы исследований (2013–2014) в географических пунктах были контрастными (см. таблицу). Так, при оценке уровня влагообеспеченности территории с использованием гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова экспериментальный участок Вальдорфской школы по усредненным данным за два вегетационных периода характеризовался избыточным увлажнением (ГТК = 2,50), а экспериментальные участки в Западной Сибири и опытной станции Waldhof были слабозасушливыми (ГТК 1,21 и 1,33 соответственно).

Описание погодных условий выполнено с использованием данных официальных интернет-ресурсов и метеостанции, расположенной недалеко от экспериментального участка опытной станции Waldhof (Погода и климат, 2014; Proplanta..., 2014). Расчет и интерпретацию гидротермического коэффициента увлажнения Селянинова проводили по методическим указаниям Н.Ф. Белова и И.А. Смирнова (2006), с учетом даты начала и окончания вегетационного периода.

## Результаты и обсуждение

Н.И. Вавилов (1918) неоднократно подчеркивал, что введение в культуру сортов, полученных в результате скрещиваний исходных форм с различной степенью устойчивости к патогенам, является наиболее эффективным средством борьбы с инфекционными болезнями (ржавчина, мучнистая роса и пятнистости). Большое внимание он уделял изучению устойчивости злаков к болезням в разных эколого-географических условиях. По мнению Г.Ф. Говоровой (2011), проведение экологического испытания позволяет оценить восприимчивость созданного материала к другим расам патогенов, тем самым значительно сокращая продолжительность селекционного процесса.

На территории Германии ряд исследователей (Hoffmann, Schmutterer, 1999; Mebrate et al., 2008; Miedaner, Kozzun, 2012) идентифицируют у сортов мягкой пшеницы гены устойчивости к возбудителям мучнистой росы (*Pm1*, *Pm3a*, *Pm3b*, *Pm3c*, *Pm5*, *Pm6*, *Pm9* и их комплексы *Pm3d+4b*) и бурой ржавчины (*Lr9*, *Lr18*, *Lr20*, *Lr21*, *Lr23* и *Lr34*). В Западной Сибири хорошую защиту яровой пшеницы от рас бурой листовой ржавчины обеспечивали ювенильные (*Lr23* в комбинации с *Lr2a*, *Lr10*, *Lr16*, а также *Lr26* и *Lr19*) и возрастные (*Lr13*, *Lr34*, *Lr35*, *Lr37* по отдельности и в сочетании с другими генами) гены устойчивости (Сочалова, Лихенко, 2013). Авторы также указывают, что сорта яровой пшеницы иностранной селекции (США, Германия, Эстония и Швеция) являются носителями генов устойчивости (*Pm1*, *Pm2*, *Pm3d*, *Pm4b*, *Pm5*, *Pm6+2*, *Pm9m*) к распространенным в Западной Сибири расам мучнистой росы. По мнению Е.И. Гулятьевой (2013), наиболее эффективными генами устойчивости по отношению к возбудителю бурой листовой ржавчины

пшеницы в большинстве регионов России остаются *Lr24*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr41*, *Lr45* и *Lr47*.

Возникновение и развитие патологического процесса инфекционных заболеваний растений в полевых условиях определяется комплексом абиотических факторов: степенью увлажненности территории, ее температурными условиями и световой энергией (Черемисинов, 1973). Поскольку распространение фитопатогенных грибов в значительной степени зависит от условий окружающей среды, фитопатогенная активность в географических пунктах наших исследований была неодинакова.

Так, поражение мучнистой росой (*Erysiphe graminis* DC.) гибридных ( $F_4$ ) форм в вегетационный период 2013 г. отмечалось только на опытном участке Waldhof. Распространенность болезни изменялась от 15 (♀Сага × ♂Скэнт 1) до 50 % (♀Сага × ♂Лютесценс 70, ♀Hybrid × ♂Лютесценс 70, ♀Сага × ♂Скэнт 3), индекс развития болезни – от 5 (♀Сага × ♂Скэнт 3) до 15 % (♀Сага × ♂Лютесценс 70). На экспериментальных участках биостанции «Озеро Кучак» и Вальдорфской школы в рассматриваемый период симптомов болезни не обнаружено.

В 2014 г. пораженные растения выявлены во всех пунктах исследования, максимальная (100 %) распространенность патогена – эпифитотия – отмечена на экспериментальном участке биостанции «Озеро Кучак». Индекс развития заболевания мучнистой росой у гибридов здесь изменялся от 25 (♀Сага × ♂Скэнт 1) до 50 % (♀Сага × ♂Скэнт 3). Наименьшая распространенность болезни в вегетационный период 2014 г. у гибридных ( $F_5$ ) форм была зарегистрирована на экспериментальном участке Вальдорфской школы – от 3 (♀Сага × ♂Скэнт 1) до 10 % (♀Hybrid × ♂Лютесценс 70). На растениях гибридной комбинации (♀Сага × ♂Скэнт 3) и стандартных сортов признаков поражения не обнаружено. На опытной станции Waldhof в 2014 г. распространенность заболевания мучнистая роса варьировала от 10 (сорта Granus, Eminent и гибрид ♀Сага × ♂Скэнт 1) до 50 % (♀Hybrid × ♂Лютесценс 70), индекс развития болезни – от 0 (стандарт Eminent и гибрид ♀Сага × ♂Скэнт 1) до 30 % (♀Сага × ♂Лютесценс 70) (рис. 1).

Наибольшая распространенность заболевания отмечена в слабозасушливых и очень засушливых условиях, сложившихся на экспериментальном участке биостанции «Озеро Кучак» в 2014 г. (ГТК = 1,23) и на опытной станции Waldhof в 2013 г. (ГТК = 0,64). Сумма осадков при температуре выше 10 °C составила там 197,4 и 101,9 мм соответственно. Причиной активного распространения фитопатогена при дефиците влаги могло стать снижение тургора в листьях растений пшеницы (Черемисинов, 1973). Э. Гойман (1954) отмечал, что прорастание конидий *E. graminis* происходит с максимальной скоростью при низких температурах – от 6–10 °C. В наших исследованиях периодам максимального распространения патогена способствовало понижение температуры по сравнению со средними многолетними значениями: на экспериментальном участке биостанции «Озеро Кучак» – в 2014 г. в июне (на 0,5 °C) и июле (на 4,1 °C); на опытной станции Waldhof – в 2013 г. в мае (на 1,9 °C) и июне (на 0,8 °C).

**Поражение листьев пятнистостями** в годы исследований выявлено на экспериментальных участках био-

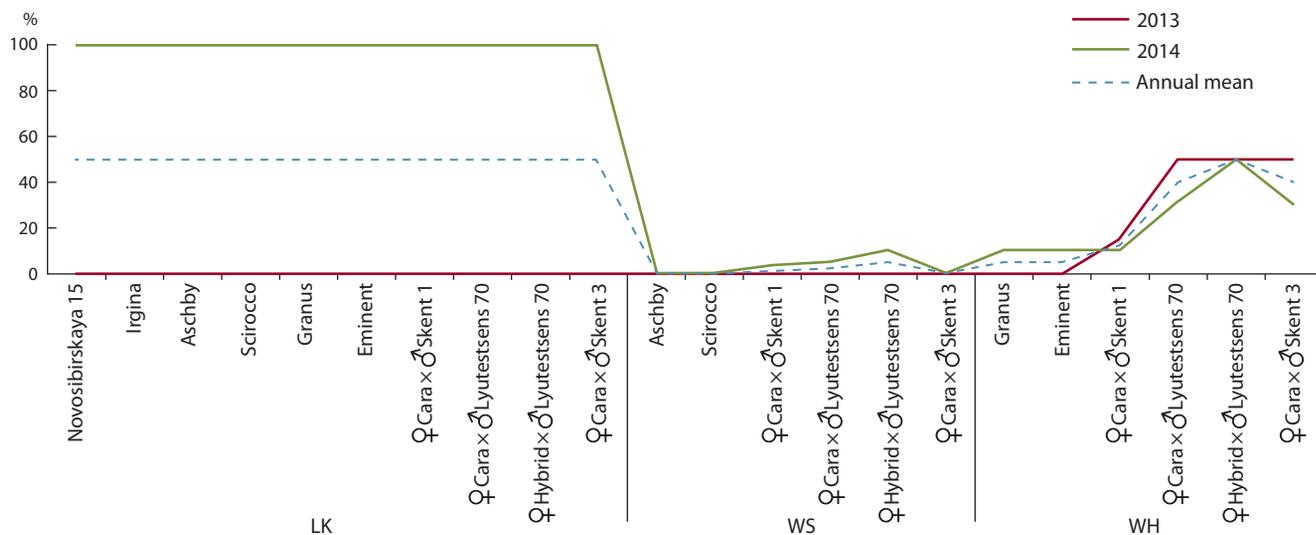
станции «Озеро Кучак» и Вальдорфской школы. Распространенность данного заболевания в Западной Сибири в 2013 г. у гибридов варьировала от 3 (♀Сага × ♂Лютесценс 70) до 30 % (♀Hybrid × ♂Лютесценс 70), у сортов – от 3 (Granus) до 25 % (Новосибирская 15), что значительно ниже по сравнению с 2014 г.: от 5 (♀Сага × ♂Скэнт 3) до 30 % (♀Сага × ♂Скэнт 1) и от 5 (Scirocco) до 100 % (Ashby, Granus). Средняя интенсивность поражения ( $R$ ) у гибридов в оба года исследований изменялась здесь от 5 (♀Сага × ♂Скэнт 1, ♀Сага × ♂Лютесценс 70) до 15 % (♀Hybrid × ♂Лютесценс 70 в 2013 г., ♀Сага × ♂Скэнт 3 в 2014 г.).

На экспериментальном участке Вальдорфской школы распространенность пятнистостей в 2013 г. изменялась у гибридов от 3 (♀Сага × ♂Лютесценс 70) до 15 % (♀Сага × ♂Скэнт 3), у сортов от 2 (Ashby) до 15 % (Scirocco); в 2014 г. – у гибридов от 0 (♀Hybrid × ♂Лютесценс 70, ♀Сага × ♂Скэнт 3) до 10 % (♀Сага × ♂Лютесценс 70), а у стандартных сортов показатель не превышал 10 %. При этом гибридные комбинации ♀Сага × ♂Скэнт 1 и ♀Сага × ♂Лютесценс 70 в оба года исследований на экспериментальном участке в Земле Баден-Вюртемберг характеризовались очень высокой устойчивостью ( $R_{2013} = 5\%$ ,  $R_{2014} = 5\%$  и  $R_{2013} = 10\%$ ,  $R_{2014} = 5\%$  соответственно). На опытной станции Waldhof признаков поражения растений пятнистостями в оба вегетационных периода не отмечено (рис. 2).

Идентификация возбудителей листовых пятнистостей в лабораторных условиях на растительном материале из микологического гербария методом влажной камеры показала, что в обоих пунктах исследований (экспериментальные участки биостанции «Озеро Кучак» и Вальдорфской школы) возбудителями являлись *Alternaria* spp. и *Helminthosporium* spp. Особенно подвержены заболеванию ослабленные растения (Hoffmann, Schmutterer, 1999). Следует отметить, что значительная распространенность патогенов зарегистрирована на листьях сортов немецкой селекции (Ashby и Granus) в 2014 г. на экспериментальном участке биостанции «Озеро Кучак». Возможно, повышенная восприимчивость растений к заболеванию связана с благоприятными для патогенов погодными условиями вегетационного периода и генотипическими особенностями сортов.

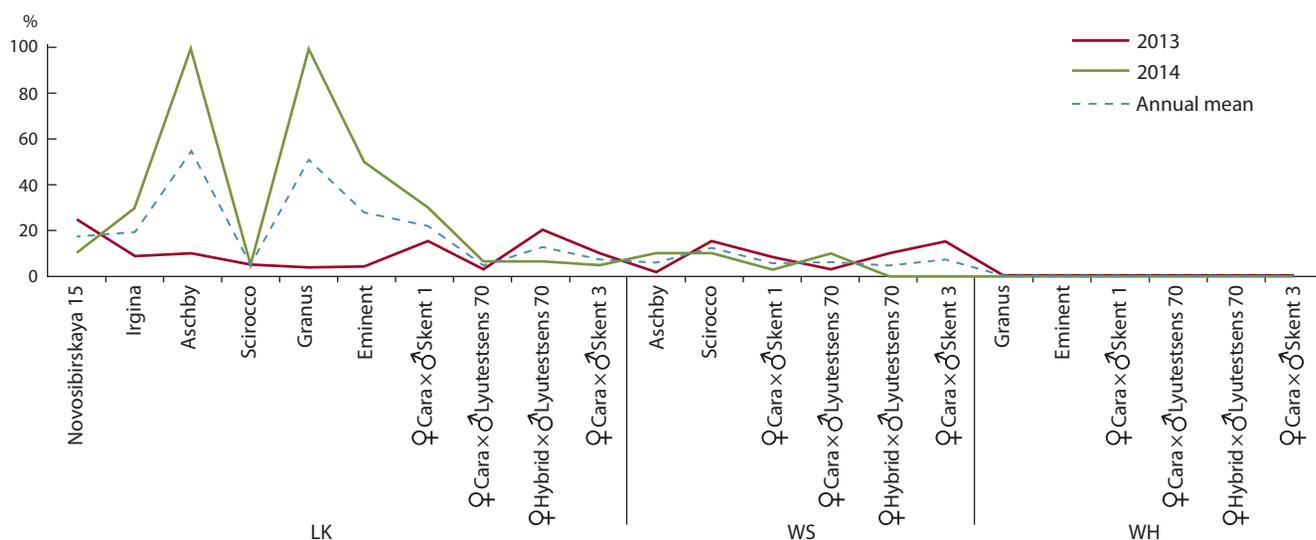
Максимальная **распространенность бурой листовой ржавчины** наблюдалась на посевах биостанции «Озеро Кучак» в 2014 г. Как у гибридов ( $F_5$ ), так и у сортов данный показатель варьировал от 10 (♀Сага × ♂Лютесценс 70, ♀Hybrid × ♂Лютесценс 70; Ashby) до 100 % (♀Сага × ♂Скэнт 3; Новосибирская 15, Иргина, Granus). Индекс развития болезни изменялся от 5 (♀Сага × ♂Лютесценс 70, ♀Hybrid × ♂Лютесценс 70; Granus, Eminent) до 25 % (♀Сага × ♂Скэнт 3; Иргина). Причинами высокой активности патогена в вегетационный период 2014 г. мог стать недостаток влаги в июне (46,4 % относительно нормы), что значительно ослабило ювенильные растения пшеницы, но способствовало лучшему распространению уредоспор.

В многолетних (2001–2012 гг.) испытаниях Т.С. Маркеловой с соавторами (2013) при изучении биологических особенностей бурой ржавчины пшеницы в Нижнем По-



**Fig. 1.** Prevalence (%) of powdery mildew (*Erysiphe graminis* DC. f. sp. *tritici* Em. Marchal) on leaves of hybrid (F<sub>4</sub>, F<sub>5</sub>) forms and cultivars of soft spring wheat under different ecological and geographical conditions.

Hereafter: LK, Lake Kuchak biological research station; WS, experimental site of the Waldorf school; WH, Waldhof experimental station.



**Fig. 2.** Prevalence (%) of spot blotch of wheat (*Alternaria* spp., *Helminthosporium* spp.) on leaves of hybrid (F<sub>4</sub>, F<sub>5</sub>) forms and cultivars of soft spring wheat under different ecological and geographical conditions.

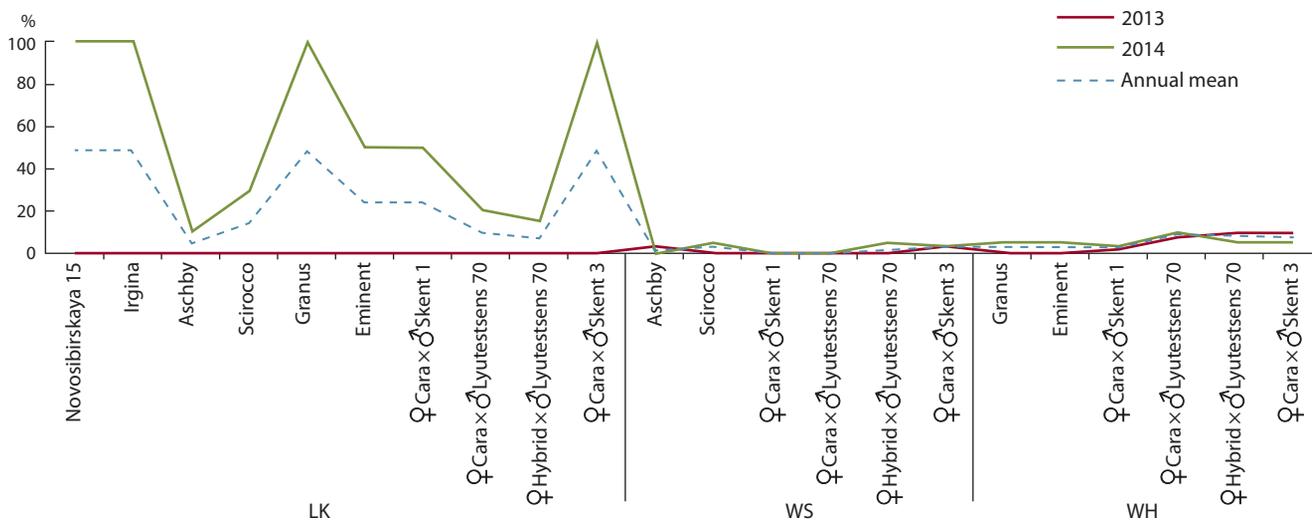
волжье в засушливом 2010 г. также была отмечена 100 % пораженность весенних посевов озимой пшеницы в июле–августе. По мнению Э. Гоймана (1954) и Н.А. Черемисинова (1973), в сухую и ветреную погоду распространение спор фитопатогенных грибов происходит более интенсивно, чем в дождливую. Прорастание спор фитопатогенных грибов в таких условиях возможно за счет различной гигроскопичности субстрата и кутикулярной, а также устойчивой транспирации, вследствие чего плотность пара в прилегающем к листьям слое воздуха несколько выше, чем в окружающем пространстве (Гойман, 1954).

В Германии за время исследований зарегистрирована незначительная пораженность растений пшеницы бурой листовой ржавчиной. В среднем за два года на экспериментальном участке Вальдорфской школы распростра-

ненность этого патогена у гибридов не превышала 3 % (♀Cara × ♂Скэнт 3), у сорта Scirocco – 2,5 %. На опытном участке Waldhof данный показатель у гибридных комбинаций не превышал 9 % (♀Cara × ♂Лютесценс 70), у стандартов – 2,5 % (рис. 3). В обоих пунктах гибриды характеризовались высокой и очень высокой устойчивостью ( $R_{2013-2014} = 0-25$  %).

Различная реакция гибридных форм и сортов по отношению к рассмотренным фитопатогенным грибам в контрастных природно-климатических условиях объясняется особенностями абиотических факторов и генотипа исследуемого материала.

По мнению Н.Г. Ведрова (1984), более комплексным показателем устойчивости растений к биотическим и абиотическим стрессорам в течение всего периода онто-



**Fig. 3.** Prevalence (%) of brown rust (*Puccinia recondita* Rob. ex. Desm f. sp. *tritici* Eriks (= *P. triticina* Eriks.)) on leaves of hybrid (F<sub>4</sub>, F<sub>5</sub>) forms and cultivars of soft spring wheat under different ecological and geographical conditions.

генеза является выживаемость растений, рассчитанная как отношение сохранившихся к уборке растений к высеянному семенам. В работе Ю.Л. Гужова с соавторами (1999) этот показатель рассматривается как биологическая устойчивость растений, в работе В.Т. Васьюко (2004) – как коэффициент адаптации. По нашим данным, в среднем за 2013–2014 гг. в географических пунктах исследования доля растений, сохранившихся к концу вегетационного периода, у гибридов изменялась в широких пределах: от 31,0 (♀Сага × ♂Скэнт 1 – экспериментальный участок Вальдорфской школы) до 73,8 % (♀Сага × ♂Лютеценс 70 – опытная станция Waldhof). Для гибрида ♀Сага × ♂Лютеценс 70 отмечена в пунктах Германии и России относительно высокая выживаемость растений. Достоверной корреляции пораженности идентифицированными фитопатогенными грибами с выживаемостью растений не выявлено.

### Заключение

Анализ устойчивости гибридных форм (F<sub>4</sub> и F<sub>5</sub>) к основным фитопатогенным грибам в контрастных эколого-географических условиях позволил выделить гибриды с высокой устойчивостью:

- к мучнистой росе (*E. graminis* DC.) – ♀Сага × ♂Скэнт 1 и ♀Сага × ♂Лютеценс 70;
- к пятнистостям (*Alternaria* spp. и *Helminthosporium* spp.) – ♀Сага × ♂Скэнт 1, ♀Сага × ♂Лютеценс 70, ♀Гибрид × ♂Лютеценс 70 и ♀Сага × ♂Скэнт 3;
- к бурой листовой ржавчине (*P. recondita* Rob. ex. Desm f. sp. *tritici* Eriks (= *P. triticina* Eriks.)) – ♀Сага × ♂Скэнт 1, ♀Сага × ♂Лютеценс 70, ♀Гибрид × ♂Лютеценс 70 и ♀Сага × ♂Скэнт 3;
- к комплексному воздействию патогенов – ♀Сага × ♂Скэнт 1 и ♀Сага × ♂Лютеценс 70.

В результате расширенного экологического испытания была выделена гибридная комбинация ♀Сага × ♂Лютеценс 70, характеризовавшаяся низкой восприимчивостью ко всем идентифицированным фитопатогенным грибам

и относительно высоким коэффициентам адаптации в двух географических пунктах Германии (экспериментальный участок Вальдорфской школы и опытная станция Waldhof).

Полученные гибридные формы являются ценным материалом для адаптивной селекции мягкой яровой пшеницы.

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

### References

Belov N.F., Smirnova I.A. Metodicheskie ukazaniya po discipline «Prikladnaya meteorologiya – optimizacija upravljajushih reshenij» dlja vysshih uchebnyh zavedenij [Methodical guidelines for the course “Applied Meteorology – Optimization of Managing Decisions” for higher educational institutions]. Saint Petersburg, Publishing Russian State Hydrometeorological University, 2006. (in Russian)

Bogoslovsky S.N. Stages of technologically complete “production-realization” chain for wheat grain. Nauchnyy zhurnal KubSAU = Scientific Journal of KubSAU. 2008;37(3):71-92. (in Russian)

Bome N.A., Ripberger E.I., Trautz D. Variability of productivity indices of the spike of *Triticum aestivum* L. hybrid forms as the way of adaptation to various ecological and geographical conditions. Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ecologia i prirodopolzovanie = Tyumen State University Herald. Natural resource use and ecology. 2015;1(1):98-106. (in Russian)

Cheremisinov N.A. Obschaya patologiya rasteniy [General Pathology of Plants]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1973. (in Russian)

Dorofeev V.F., Laptsev Ja.P., Chekalin N.M. Tsvetenie, opylenie i gibridizatsiya rasteniy [Flowering, Pollination, and Hybridization of Plants]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1990. (in Russian)

Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki issledovaniy) [Technique of the Field Experiment (with Fundamentals of the Statistical Evaluation of Results)]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. (in Russian)

Govorova G.F. Metody otsenki selskokhozyaystvennykh kultur pri selektsii na immunitet [Methods of Crop Assessment in Breeding for Immunity]. Moscow, RGAU-MSKha Publ., 2011. (in Russian)

Goyman E. Infektsionnye bolezni rasteniy [Infectious Diseases of Plants]. Moscow, Izdatelstvo inostrannoy literatury Publ., 1954. (in Russian)

- Gradchaninova O.D., Filatenko A.A., Rudenko M.I. Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu mirovoy kollektzii pshenitsy [Methodical Guidelines for Studying the World Collection of Wheat]. Leningrad, VIR Publ., 1987. (in Russian)
- Griffing B.A. A generalized treatment of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity*. 1956a;10:31-50.
- Griffing B.A. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Austr. J. Biol. Sci.* 1956b;9(4):463-493.
- Gritsenko V.V., Orekhov D.A., Popov S.Ya., Stroykov Yu.M., Tretyakov N.N., Shkalikov V.A. Zashchita rasteniy [Protection of Plants]. Moscow, Mir Publ., 2005. (in Russian)
- Gul'tyaeva E.I. Modern research of the wheat leaf rust agent in the Laboratory of Mycology and Plant Pathology, All-Russia Research Institute of Plant Protection. Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Problemy mikologii i fitopatologii v XXI veke" [Proc. Int. Sci. Conf. "Problems of mycology and plant pathology in the XXI century"]. Saint-Petersburg, 2013;67-69. (in Russian)
- Guzhov Yu.L., Fuks A., Valichek P. Seleksiya i semenovodstvo kulturnykh rasteniy [Crop Breeding and Seed Farming]. Moscow, RUDN Publ., 1999. (in Russian)
- Hoffmann G.M., Schmutterer H. Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Stuttgart: Ulmer, 1999.
- Kilchevskiy A.V., Khotyleva L.V. (Sci. Eds.) Geneticheskie osnovy seleksii rasteniy. Nauch. red. A.V. Kilchevskiy, L.V. Khotyleva [Genetic Bases of Plant Breeding]. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2008. (in Russian)
- Koles O.E., Lozhkina N.S., Prokuratova A.S., Kalinenko N.A. Development of leaf diseases in grain crops at prolonged use of chemicals in the southern forest steppe of West Siberia. *Fundamentalnye issledovaniya = Fundamental research*. 2006;8:66-67. (in Russian)
- Makarova M.A. Phytopathological evaluation of resistance to fungal diseases in grain crops grown in the middle reaches of the Amur. *Dalnevostochnyy agrarnyy vestnik = Far East Agrarian Bulletin*. 2012;3:75-78. (in Russian)
- Markelova T.S., Ivanova O.V., Naryshkina E.A., Baukenova E.A. Biological features of brown rust of wheat in the Lower Volga region and the structure of population. Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Problemy mikologii i fitopatologii v XXI veke" [Proc. Int. Sci. Conf. "Problems of mycology and plant pathology in the XXI century"]. Saint-Petersburg, 2013;177-179. (in Russian)
- Mebrate S.A., Dehne H.W., Pillen K., Oerke E.C. Postulation of seedling leaf rust resistance genes in selected Ethiopian and German bread wheat cultivars. *Crop Science*. 2008;48:507-516. DOI 10.2135/cropsci2007.03.0173.
- Metody eksperimentalnoy mikologii [Methods of Experimental Mycology]. Kiev: Naukova dumka Publ., 1982. (in Russian)
- Mezhdunarodnyy klassifikator SEV roda *Triticum* L. [CMEA International Classification Code of the *Triticum* L. Genus]. Leningrad, VIR Publ., 1984. (in Russian)
- Miedaner T., Korzun V. Marker-assisted selection for disease resistance in wheat and barley breeding. *Phytopathology*. 2012;12:560-566.
- Nuriyeva S.A., Isayev B.G. Phytopathological evaluation of the resistance to fungal diseases in bread wheat (*Triticum aestivum*) varieties in Azerbaijan. Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Problemy mikologii i fitopatologii v XXI veke" [Proc. Int. Sci. Conf. "Problems of mycology and plant pathology in the XXI century"]. Saint-Petersburg, 2013;198-199. (in Russian)
- Pavlyushin V.A. Management strategies in crop protection. Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Problemy mikologii i fitopatologii v XXI veke" [Proc. Int. Sci. Conf. "Problems of mycology and plant pathology in the XXI century"]. Saint-Petersburg, 2013;202-205. (in Russian)
- Phillips S., Norton R. Global wheat production and fertilizer user. *Better Crops*. 2012;96(3):4-6.
- Pogoda i klimat [Weather and climate]. Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php> (accessed October 4, 2014). (in Russian)
- Popkova K.V., Shkalikov V.A., Stroykov Yu.M., Lekomtseva S.N., Skvortsova I.N. Obshchaya fitopatologiya [General Plant Pathology]. Moscow, Drofa Publ., 2005. (in Russian)
- Proplanta. Das Informationszentrum für die Landwirtschaft. Available at <http://www.proplanta.de/Agrar-Wetter/Deutschland/> (accessed 10 October 2014).
- Ripberger E.I., Bome N.A., Trautz D. Study of the germination capacity of seeds of hybrids of soft spring wheat (*Triticum aestivum* L.) under various ecological and geographical conditions. *V mire nauchnykh otkrytiy = In the World of Scientific Discoveries*. 2014;8(56):148-168. (in Russian)
- Ripberger E.I., Bome N.A., Trautz D. Variability of plant height in hybrid forms of spring common wheat (*Triticum aestivum* L.) under different ecological and geographical conditions. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(2):185-190. (in Russian)
- Sochalova L.P., Likhenko I.E. The gene pool of the sources of resistance of the spring wheat to the leaf diseases. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*. 2013;6:3-6. (in Russian)
- Umweltanalytische Produkte GmbH. Available at <http://www.upgmbh-logstar.de/> (accessed 10 October 2014).
- Vasko V.T. Teoreticheskie osnovy rastenievodstva [Theoretical Fundamentals of Plant Growing]. Saint-Petersburg, PROFI-INFORM Publ., 2004. (in Russian)
- Vavilov N.I. Immunity of plants to infectious diseases. *Izvestiya Petrovskoy selskokhozyaystvennoy akademii = Bulletin of the Petrovsk Agricultural Academy*. 1918. (in Russian)
- Vedrov N.G. Seleksiya i semenovodstvo yarovoy pshenitsy v ekstremalnykh usloviyakh [Breeding and seed farming of spring wheat under extreme conditions]. Krasnoyarsk, Krasnoyarsk State University Publ., 1984. (in Russian)