https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.18-27
УДК 633.111."321": 632.485.12

(cc) BY

Устойчивость к пыльной головне и адаптивность сортов яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР

© 2020. А. В. Харина ✉, О. С. Амунова
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В условиях Кировской области в 2013-2019 гг. были изучены по устойчивости к пыльной головне, пластичности и стабильности урожайности 178 сортов яровой мягкой пшеницы коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Среди изученных сортов выявлено 36 иммунных и 12 практически иммунных к поражению пыльной головнёй. Они могут быть использованы как источники устойчивости в селекции. Наилучшие условия для заражения растений яровой мягкой пшеницы пыльной головнёй формируются с начала цветения до налива зерна. Чем выше температура воздуха и количество осадков в данный период, тем выше процент пораженных растений пшеницы этой болезнью. При повышении процента поражённых пыльной головнёй стеблей наблюдалось увеличение общих потерь урожая (r = 0,99). Стандартный сорт Баженка (Россия) существенно превысили по урожайности на инфекционном фоне 19 сортов яровой пшеницы. Выделены 5 средневосприимчивых сортов (Тулайковская Надежда (Россия), Самгау, Достык, Карабалыкская 91 (Казахстан) и Виза (Беларусь)), проявивших толерантность к болезни. Наиболее высокой и стабильной урожайностью по годам отличались сорта Степная 50, Достык (Казахстан), Казанская Юбилейная, Нива 2, Провинция, Эгисар 29, Сударушка, Тулайковская Надежда (Россия), Hoffman (Канада), UL Pettit (США) и Leguan (Чехословакия). К сортам интенсивного типа были отнесены: Тюменская 26, Елизавета, Мария 1, Мелодия, Нива 2 (Россия), Харьковская 10 (Украина), Самгау (Казахстан), Виза (Беларусь), американские Ranger и UL Pettit (b_i >1). Сорта Ranger и UL Pettit показывали высокую урожайность в благоприятных условиях выращивания. Сорта Мажор (Украина), Фаворит (Россия) и Карабалыкская 91 (Казахстан) (b_i<1) лучше использовать на экстенсивном фоне. При ухудшении условий возделывания урожайность этих сортов снижалась незначительно. Установлена взаимосвязь урожайности и параметров адаптивности (b_i, Hom). Высокоурожайные сорта характеризовались как более пластичные (r = 0,69) и устойчивые к стрессам (r = 0,73).

Ключевые слова: *Triticum aestivum L., Ustilago tritici, иммунитет, толерантность, потери урожая, гомеостатичность, уровень и стабильность урожайности, экологическая пластичность*

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (тема № 0528-2019-0008).

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Харина А. В., Амунова О. С. Устойчивость к пыльной головне и адаптивность сортов яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(1):18-27. https://doi.org/10.30766/2072-9081. 2020.21.1.18-27

Поступила: 30.10.2019 Принята к публикации: 05.02.2020 Опубликована онлайн: 28.02.2020

Loose smut resistance and adaptability of spring soft wheat varieties of VIR collection

© 2020. Anastasiya V. Kharina ✉, Oksana S. Amunova
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

In 2013-2019 in the conditions of Kirov region 178 varieties of spring soft wheat from the collection of the Federal Research Center of N.I.Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) were studied according to loose smut resistance, plasticity and yield stability. Among studied varieties 36 immune and 12 practically immune to loose smut infestation samples have been revealed. They can be used as sources of resistance in selection. The most favourable conditions for infestation of spring soft wheat plants with loose smut develop since the beginning of blossoming till grain filling. The higher the air temperature and the amount of precipitation during this period, the higher is the percentage of wheat plants affected with this disease. As the percentage of the stems affected by loose smut increased, total yield losses grew as well (r = 0.99). Nineteen varieties of spring wheat significantly exceeded the standard variety Bazhenka (Russia) in yield on an infection background. Five mid-susceptible varieties which showed tolerance to the disease have been selected. They are Tulaykovskaya Nadezhda (Russia), Samgau, Dostyk, Karabalykskaya 91 (Kazakhstan) and Visa (Belarus). During the years the following varieties revealed the highest and stable productivity: Stepnaya 50, Dostyk (Kazakhstan), Kazanskaya Yubileynaya, Niva 2, Provincia, Egisar 29, Sudarushka, Tulaykovskaya Nadezhda (Russia), Hoffman (Canada), UL Pettit

(USA) and Leguan (Czechoslovakia). The following varieties were designated as the intensive type: Tyumenskaya 26, Elizaveta, Maria 1, Melodiya, Niva 2 (Russia), Kharkovskaya 10 (Ukraine), Samgau (Kazakhstan), Visa (Belarus), and American varieties Ranger and UL Pettit ($b_i > 1$). Varieties Ranger and UL Pettit showed high productivity in favorable cultivation conditions. Varieties Mazhor (Ukraine), Favorit (Russia) and Karabalykskaya 91(Kazakhstan) ($b_i<1$) should be used on an extensive background. By deterioration of cultivation conditions the productivity of these varieties decreased insignificantly. The relationship between productivity and adaptability parameters has been established (b_i, Hom). The high-yielding varieties have been characterized as more plastic (r = 0.69) and stress resistant (r = 0.73).

Keywords: *Triticum aestivum L., Ustilago tritici, immunity, tolerance, yield losses, homeostaticity, level and stability of productivity, ecological plasticity*

***Acknowledgement*:** the research was carried out within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0528-2019-0008).

***Conflict of interest*:** the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Kharina A. V., Amunova O. S. Loose smut resistance and adaptability of spring soft wheat varieties of VIR collection. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(1):18-27. (In Russ.). https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.18-27

Received: 30.10.2019 Accepted for publication: 05.02.2020 Published online: 28.02.2020

Яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – это зерновая культура с большим потенциалом, обеспечивающая производство стабильных урожаев зерна высокого качества в нашей стране. Культура коммерчески привлекательна и перспективна для зарубежного рынка [1]. Она поражается более чем 200 видами возбудителей заболеваний и вредителей. В последнее время всё чаще посевы пшеницы поражаются пыльной головней, возбудителем которой является гриб *Ustilago tritici* (Pers.)Jens. Патоген вызывает полное разрушение колоса растения, уменьшая тем самым урожай в среднем на 5-15 % [2, 3]. Кроме того, снижается всхожесть и качество зараженных семян, что приводит к скрытым потерям урожая. Таким образом, урожай зерна может снизиться на 20-40 % и более. Самым быстрым способом избавиться от поражения растений пыльной головнёй является применение химических препаратов на посевах яровой пшеницы. Однако данный метод отрицательно влияет на экологию, а также является дорогостоящим. Поэтому создание устойчивых к заболеванию сортов пшеницы – наиболее предпочтительный и экологически безопасный метод защиты посевов. Чтобы эффективнее бороться с возбудителем этого заболевания, необходимо знать пути и условия заражения растений, генетическое разнообразие по адаптивности, источники устойчивости, методы ускоренного создания сортов с наиболее надежной генетической защитой от него [4].

На данный момент времени генетическое разнообразие сортов пшеницы представлено двенадцатью генами устойчивости к пыльной головне [5]. В мировой коллекции генов устойчивости чаще всего представлен ген Ut1[1]. Устойчивость яровой пшеницы чаще всего обусловлена двумя-тремя основными генами в генотипе сорта в зависимости от расового состава патогена в определённом регионе возделывания [6]. Сорта яровой пшеницы, несущие в своём генотипе данные гены, являются донорами устойчивости к пыльной головне и представляют особый интерес для селекции.

Кроме генов, на устойчивость сортов яровой пшеницы к пыльной головне оказывают влияние метеорологические условия в период роста и развития растений. Они также влияют и на урожай сортов пшеницы [7, 8]. Для определения оптимального экотипа необходимо учитывать влияние экологических факторов на продуктивность растений [9, 10]. Поэтому на современном этапе селекции приоритетным стало адаптивное направление. Оно необходимо для создания сортов с максимальным уровнем продуктивности в определённых экологических условиях. В связи с этим при оценке новых сортов и селекционных линий важно знать не только уровень устойчивости растений к той или иной болезни, но и стабильность их урожайности [11].

Цель исследований – определить уровень устойчивости сортов мягкой яровой пшеницы коллекции ВИР к пыльной головне в условиях Кировской области, степень влияния температуры воздуха и количества осадков на развитие болезни, величину потерь урожая и охарактеризовать новые устойчивые сорта по параметрам пластичности и стабильности урожайности.

[1]Genetic resources information system for wheat. [Электронный ресурс]. URL: https://wheat.pw.

Материал и методы. Исследования проводили в 2013-2019 гг. на территории инфекционного питомника ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров). Объектом исследований были 178 сортов яровой мягкой пшеницы коллекции ВИР. Площадь делянки составляла 0,45 м^2, повторность – двукратная. В качестве стандартного взят сорт Баженка (Россия), сорта-индикатора – высоковосприимчивый сорт Aletch (Чехословакия).

Все образцы изучены на искусственном инфекционном фоне пыльной головни (*Ustilago tritici*), для создания которого пользовались методикой Э. Э. Гешеле[2]. В фазу цветения индивидуально в каждый цветок с помощью шприца вносили суспензию пыльной головни (0,5 г на 1 л воды).

Для характеристики образцов по устойчивости к пыльной головне использовали шкалу В. И. Кривченко[3]. Вычисление общих потерь урожая от головни определяли по формуле К. М. Степанова и А. Е. Чумакова[4]:

$$У = 5,89 + 0,79x,$$

где x – процент поражённых пыльной головней стеблей.

Расчёт параметров экологической пластичности выполнен по методике S. A. Eberhart и W. A. Russel в изложении В. З. Пакудина и Л. М. Лопатиной[5]. Показатель уровня и стабильности урожайности сортов (ПУСС) определяли согласно методике Э. Д. Неттевича[6], гомеостатичность (Hom) – по формуле В. В. Хангильдина[7]. Для статистической обработки полученных данных использовали методы дисперсионного и корреляционного анализов по Б. А. Доспехову[8].

Результаты и их обсуждение. В результате проведенных исследований среди изученных 178 сортов яровой мягкой пшеницы было обнаружено 36 иммунных (0 % пораженных стеблей) и 12 практически иммунных (до 5,0 % пораженных стеблей) к пыльной головне (табл. 1). Среди этих сортов чуть больше половины (52,1 %) выведены в России.

Иммунные и практически иммунные сорта представляют наибольший интерес в селекции на устойчивость к пыльной головне и могут быть использованы как источники устойчивости. Слабой восприимчивостью (5,0-25,0 % поражённых стеблей) характеризовались 50, средней восприимчивостью (25-50 %) – 54 и сильной восприимчивостью (более 50 %) – 26 сортов.

Поражение стеблей яровой пшеницы пыльной головнёй составило в среднем за годы исследований 25,7 %, варьируя от 13,0 в 2014 г. до 38,8 % в 2017 г. Значительная изменчивость признака (V = 48,4 %) свидетельствует о сильной зависимости инфекционного процесса от условий среды.

В ходе корреляционного анализа выявлена существенная зависимость интенсивности поражения растений пшеницы пыльной головнёй от температуры воздуха (r = 0,88) и количества осадков (r = 0,96) в период «цветение-начало налива зерна», т. е. когда происходит инфицирование завязи цветка (табл. 2). Это согласуется с данными других исследователей [5], в т. ч. зарубежных [12].

Нами установлено, что наиболее благоприятными условиями заражения яровой пшеницы телиоспорами *U. tritici* пыльной головни является температура 20-25 °С и влажность около 95 % в период цветения растений.

Исследования учёных также показали, что поражение растений пыльной головней существенно увеличивает потери урожая [13]. В наших исследованиях зависимость потерь урожая пшеницы от поражения пыльной головней составила r = 0,99.

Недобор урожая зерна пшеницы от пыльной головни складывается из явных и скрытых потерь. В наших исследованиях наблюдалось значительное снижение продуктивности растений на инфекционном фоне по отношению к контролю (естественный фон). Это увеличивало потери урожая, которые в среднем составили 27,2 % (табл. 3)

---

[2]Гешеле Э. Э. Основы фитопатологической оценки в селекции растений. М., 1978. С. 139-140.
[3]Кривченко В. И. Изучение устойчивости зерновых культур и расового состава возбудителей головнёвых болезней. Методические указания. Л., 1978. С. 61-62.
[4]Степанов К. М., Чумаков А. Е. Прогноз болезней сельскохозяйственных растений. Л., 1972. С. 64.
[5]Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Методы оценки экологической пластичности сортов сельскохозяйственных растений. М., 1971. С. 113-121.
[6]Неттевич Э. Д., Моргунов А. И., Максименко М. И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность урожайности и качества зерна. Вестник сельскохозяйственной науки. 1985;(1):66-73.
[7]Хангильдин В. В. О принципах моделирования сортов интенсивного типа. Генетика количественных признаков сельскохозяйственных растений. М., 1978. С.111-116.
[8]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1968. 335 с.

Таблица 1 – **Характеристика сортов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к поражению пыльной головнёй (инфекционный фон, 2013-2019 гг.) /**
Table 1 – **Characteristic of spring wheat varieties by resistance to loose smut infestation (an infection background, 2013-2019)**

Сорт / Variety	*Поражение пыльной головнёй, % / Loose smut infestation %*
Сударушка, Монастырская, Елизавета, Казанская юбилейная, Мелодия, Нива 2, Тарская 10, Обская 14, Провинция, Тюменская 99, Речка, Тулайковская 105, ФПЧ-Ppd-m, ФПЧ-Ppd-m0, ФПЧ-Ppd-w, ФПЧ-Ppd-s, ФПЧ-Ppd-so, Эритроспермум 2945, Памяти Вавенкова, Тюменская 26 (Россия), Степная 50 (Казахстан), Ажурная, Соломия, Тайна (Украина), КВС Аквилон, Schenk (Германия), Hoffman (Канада), Noroeste 66, Hybrid (МГ-6) (Мексика), Crim, Rick, SSL 19-24, Ranger, UL Pettit (США), Hja 22141 (Финляндия), Leguan (Чехословакия) / Sudarushka, Monastyrskaya, Elizaveta, Kazanskaya Yubileinaya, Melodia, Niva 2, Tarskaya 10, Obskaya 14, Provincia, Tyumenskaya 99, Rechka, Tulaykovskaya 105, FPCh-Rrd-m, FPCh-Rrd-m0, FPCh-Rrd-w, FPCh-Rrd-s, FPCh-Rrd-so, Eritrospermum 2945, Pamyaty Vavenkova, Tyumenskaya 26 (Russia), Stepnaya 50 (Kazakhstan), Azhurnaya, Solomiya, Taina (Ukraine), KVS Akvilon, Schenk (Germany), Hoffman (Canada), Noroeste 66, Hybrid (MG-6) (Mexico), Crim, Rick, SSL 19-24, Ranger, UL Pettit (USA), Hja 22141 (Finland), Leguan (Czechoslovakia)	0
Ветлужанка, Мария 1, ФПЧ-Ppd-w0, Фаворит, Эгисар 29 (Россия), Мажор, Харьковская 10 (Украина), Musket (Англия), AC Corinne, AC Taho, СДС Merlin (Канада), SSL 84-85 (США) / Vetluzhanka, Maria 1, FPCh-Rrd-w0, Favourit, Egisar 29 (Russia), Mazhor, Kharkovskaya 10 (Ukraine), Musket (England), AC Corinne, AC Taho, SDS Merlin (Canada), SSL 84-85 (USA)	0-5
Симбирцит, Экада 97, Маргарита, ЛТ-1, Саратовская 29, Росинка 2, Терция, Биора, Степная 1, Челяба 2, ЮВ-3, Памяти Афродиты, Спрут, Геракл, Волхитка, Омская 23, Боевчанка, Новосибирская 31, Сибирская 14, Струна мироновская, Серебристая, Тарская 8, Ольга, Ульяновка 13, (Россия), Ghurab 2 (Сирия), К-65113 (Египет), Харьковская 30 (Украина), AC Majestic, CB 163-1, (Канада), Natassa (Сербия), Cahuide (Перу), Димитровка 5-14 ИЗР, Димитровка 5-2 ИЗР (Болгария), Aurore (Франция), Kitt, И-485788 (США), Мутант Л-3-24 (Эстония), Jaral F-66, Jahuara F-77, Hybrid (47719), Hybrid (47719),), Hybrid (47841), Hybrid (48658), Sibia, Sasia (Мексика), Yan Shi 4, Jin Mai 71 (Китай), Кайыр (Казахстан), Zebra (Швеция), Jara (Чехословакия) / Simbirtsit, Ekada 97, Margarita, LT-1, Saratovskaya 29, Rosinka 2, Tertsia, Biora, Stepnaya 1, Chelyaba 2, UV-3, Pamyati Aphrodity, Sprut, Heracles, Volkhitka, Omskaya 23, Boyevchanka, Novosibirskaya 31, Sibirskaya 14, the Struna mironovskaya, Serebristaya, Tarskaya 8, Olga, Ulyanovka 13, (Russia), Ghurab 2 (Syria), K-65113 (Egypt), Kharkovskaya 30 (Ukraine), AC Majestic, CB 163-1, (Canada), Natassa (Serbia), Cahuide (Peru), Dimitrovka 5-14 IZR, Dimitrovka 5-2 IZR (Bulgaria), Aurore (France), Kitt, I-485788 (USA), Mutant L-3-24 (Estonia), Jaral F-66, Jahuara F-77, Hybrid (47719), Hybrid (47719)), Hybrid (47841), Hybrid (48658), Sibia, Sasia (Mexico), Yan Shi 4, Jin Mai 71 (China), Kayyr (Kazakhstan), Zebra (Sweden), Jara (Czechoslovakia)	6-25
Баженка, Новосибирская 20, Радуга, Аншлаг, Омская 37, Фора, Ирменка 1, Уйская, Удача, Туринская, Алтайская 70, ЛТ-3, ЛТ-6, Лютесценс 121, Новосибирская 18, Оренбургская 23, Тулайковская надежда, Лавруша, МИС, АНК-4, Светланка, Ростань (Россия), Вишиванка, Кворум, Харьковская 28, Стависька (Украина), Виза (Беларусия), Э-737, Карабалыкская 91, Ишимская 98, Самгау, Достык (Казахстан), Bombona (Польша), Josselin (Франция), Triso, Epos (Германия), Jasna (Польша), AC Pollet, AC Gabriel, Oslo (Канада), ПХРСВ 02, UL Alta Blanca, Waverly, SSL 25-26, SSL 46-50, Adams, Lee (США), Taava (Финляндия), WW 17310, Varvete 11691, SW Vinjett (Швеция), Hybrid (МГ-12) (Мексика), Mian Young № 1 (Китай), Venera (Югославия) / Bazhenka, Novosibirskaya 20, Raduga, Anshlag, Omskaya 37, Fora, Irmenka 1, Uyskaya, Udacha, Turinskaya, Altayskaya 70, LT-3, LT-6, Lutescent 121, Novosibirskaya 18, Orenburgskaya 23, Tulaykovsky nadezhda, Lavrusha, MIS, ANK-4, Svetlanka, Rostan (Russia), Vishivanka, Qvorum, Harkovskaya 28, Staviska (Ukraine), Visa (Belarus), E-737, Karabalykskaya 91, Ishimskaya 98, Samgau, Dostyk (Kazakhstan), Bombona (Poland), Josselin (France), Triso, Epos (Germany), Jasna (Poland), AC Pollet, AC Gabriel, Oslo (Canada), PHRSV 02, UL Alta Blanca, Waverly, SSL 25-26, SSL 46-50, Adams, Lee (USA), Taava (Finland), WW 17310, Varvete 11691, SW Vinjett (Sweden), Hybrid (MG-12) (Mexico), Mian Young No. 1 (China), Venera (Yugoslavia)	26-50
Алтайская 81, Воронежская 8, Скала, Баганская 93, Краса 2, Линия 166, Люба, Сурента 5, Б-1592, Тулунская 12, N-480, Лютесценс 3869/а831, (Россия), Байтерек (Казахстан), К-58019 (Колумбия), Дарья (Беларусь), Та 3332 (Финляндия), Klein Vencedor (Аргентина), NOS Norko, Amaretto (Германия), WW 17272, Pompe (Швеция), Peak 72 (США), И-469103 (Мексика), Long Chun 7, Pin Chun 11 (Китай), Aletch (Чехословакия) / Altayskaya 81, Voronezhskaya 8, Scala, Baganskaya 93, Krasa 2, Line 166, Liouba, Surenta 5, B-1592, Tulunskaya 12, N-480, Lutescent 3869/a831, (Russia), Bayterek (Kazakhstan), K-58019 (Colombia), Darya (Belarus), Ta 3332 (Finland), Klein Vencedor (Argentina), NOS Norko, Amaretto (Germany), WW 17272, Pompe (Sweden), Peak 72 (USA), I-469103 (Mexico), Long Chun 7, Pin Chun 11 (China), Aletch (Czechoslovakia)	>50

Таблица 2 – **Корреляционные связи показателей /**
Table 2 – **Correlation relations of indicators**

Показатель / Indicator	*Коэффициент корреляции / Correlation coefficient*				
	потери урожая, % / yield losses, %	*колошение – начало цветения / heading – beginning of blossoming*		*цветение – начало налива зерна / blossoming – beginning of grain filling*	
		температура воздуха, °С / air temperature, °С	*сумма осадков, мм / total precipitation, mm*	*температура воздуха, °С / air temperature, °С*	*сумма осадков, мм / total precipitation, mm*
Поражение растений пыльной головнёй, % / Loose smut infestation of plants, %	0,99*	0,68	0,71	0,88*	0,96*

*значимо при P≤0,001 % ; * significantly at P≤0.001 %

Таблица 3 – **Урожайность сортов яровой мягкой пшеницы, устойчивых к пыльной головне (инфекционный фон, 2013-2019 гг.) /**
Table 3 – **Productivity of spring soft wheat varietie resistant to loose smut (infection background, 2013-2019)**

Сорт / Variety	*Происхождение / Origin*	*Поражение стеблей, % / Stem affection %*	*Урожайность / Yield*		*Общие потери урожая, % / Total yield losses, %*
			с 1 м², г / per 1 m², g	*% к стандарту / % to standard*	
Баженка – стандарт / Bazhenka - standard	Кировская обл./ Kirov region	40,9	174,4	100	41,7
Aletch – индикатор / indicator	Чехословакия / Czechoslovakia	66,8	77,0	-55,8	66.8
Елизавета / Elizaveta	Хабаровский край/ Khabarovski Krai	0	297,8	+70,8	0
Провинция / Provincia	Сиб. НИИСХ / Sib SRIA	0	325,5	+86,6	0
Мария 1 / Maria 1	Кемеровская обл./ Kemerovo Region	1,2	321.6	+84,4	2,9
Мелодия / Melodiya	Омская обл. / Omsk Region	0	358,9	+105,8	0
Сударушка / Sudarushka	-«-	0	383,7	+120,0	0
Нива 2 / Niva 2	-«-	0,7	379,4	+117,5	2,5
Тюменская 26 / Tyumenskaya 26	Тюменская обл. / Tyumen Region	0	356,7	+104,5	0
Фаворит / Favorit	Саратовская обл. / Saratov Region	2,0	273.6	+56,9	5,5
Эгисар 29 / Egisar 29	-«-	2,6	325,4	+86,6	4,9
ФПЧ-Ppdm / FPCh-Rrdm	Ленинградская обл. / Leningrad Region	0	274.4	+57,3	0
Казанская юбилейная / Kazanskaya Yubileynaya	Татарстан / Tatarstan	0	326,3	+87,1	0
КВС Аквилон / KVS Akvilon	Германия / Germany	0	299,2	+71,6	0
Степная 50 / Stepnaya 50	Казахстан / Kazakhstan	0	379,1	+117,4	0
Харьковская10/ Kharkovskaya10	Украина / Ukraine	1,6	295,7	+69,6	4,2
Мажор / Mazhor	-«-	2,5	271,2	+55,5	3,9
Hoffman	Канада / Kanada	0	367,4	+110,7	0
Leguan	Чехословакия/ Czechoslovakia	0	298,1	+70,9	0
Ranger	США / USA	0	284,5	+63,1	0
UL Pettit	-«-	0	306,7	+75,9	0
Среднее по опыту / Average by experiment		25,7	186,3	+6,8	27,2
$НСР_{05}$ / LSD_{05}		16,8	84,8	-	16,1

Урожайность изучаемых сортов в среднем за годы исследований составила 265,8 г/м^2, изменяясь от 149,3 в 2013 г. до 373,7 г/м^2 в 2017 г. Варьирование средней урожайности по сортам на естественном фоне составило 117,3…442,2 г/м^2, на инфекционном фоне пыльной головни – 20,4…389,1 г/м^2.

Среди иммунных и практически иммунных сортов яровой пшеницы (табл. 3) 19 существенно превысили по урожайности на инфекционном фоне стандартный сорт Баженка. Прибавка урожая составила от 55,5 (сорт Мажор) до 120 % (сорт Сударушка).

В селекции на устойчивость к болезням, в том числе и к пыльной головне, определённую ценность имеют толерантные формы, которые при относительно сильном поражении сохраняют достаточно высокий уровень урожайности. В наших исследованиях этим свойством отличались 5 средневосприимчивых сортов (табл. 4). Они достоверно превышали или были на уровне стандартного сорта Баженка по урожайности зерна с 1 м^2. Прибавка урожая к стандарту составила от 40,9 до 62,3 %. При этом потери урожая были ниже или на уровне его (29,0-42,8 %).

Таблица 4 – **Сорта яровой мягкой пшеницы, толерантные к поражению пыльной головней (инфекционный фон, 2013-2019 гг.) /**
Table 4 – ***S*pring soft wheat varieties tolerant to loose smut infestation (infection background, 2013-2019)**

Сорт / Variety	*Происхождение / Origin*	*Поражение стеблей, % / Stem affection, %*	*Урожайность / Yield*		*Общие потери урожая, % / Total yield losses, %*
			с 1 м^2, г / per 1 m^2, g	*% к стандарту / % to standard*	
Баженка – стандарт / Bazhenka – standard	Кировская обл./ Kirov region	40,9	174,4	100	41,7
Aletch – индикатор / indicator	Чехословакия/ Czechoslovakia	66,8	77,0	-55,8	66,8
Тулайковская надежда / Tulaykovskaya nadezhda	Самарская обл. / Samara Region	34,6	283,0*	+62,3	36,0
Карабалыкская 91 / Karabalykskaya 91	Казахстан / Kazakhstan	35,3	245,7	+40,9	35,9
Самгау / Samgau	-//-	42,8	260,7*	+49,5	42.8
Достык / Dostyk	-//-	28,7	261,1*	+49,7	29,0
Виза / Visa	Беларусь / Belarus	33,1	250,6	+43,7	33,1
Среднее по опыту / Average by experiment		25,7	186,3	+6,8	27,2
НСР$_{05}$/ LSD$_{05}$		16,8	84,8	-	16,1

*достоверно к стандарту Баженка / statistically significant to the Bazhenka standard variety

Следует отметить, что на продуктивный потенциал генотипа и его иммунный статус, особенно в отношении неспецифической устойчивости, значимое влияние оказывают факторы среды, и в меняющихся агроэкологических условиях вегетации растений эти признаки весьма подвижны. Поэтому оценка сортов по пластичности, фенотипической стабильности и гомеостазу является важным этапом в определении адаптивных свойств.

Пластичность – это способность генотипа приспосабливаться к постоянно меняющимся условиям среды[9]. Обычно пластичные сорта интенсивного типа хорошо отзываются на высокий агрофон. Пластичность оценивается по коэффициенту линейной регрессии (b_i), величина и значимость которого показывает на сколько изменится уровень признака при изменении комплекса условий.

[9]Корзун О. С., Бруйло А. С. Адаптивные особенности селекции и семеноводства сельскохозяйственных растений: пособие. Гродно: ГГАУ, 2011. С. 7-9.

Были проанализированы параметры адаптивности у иммунологически исследуемых ценных сортов яровой пшеницы. Коэффициент вариации, характеризующий изменчивость урожайности по годам, составил от 16,8 (Казанская юбилейная) до 54,9 % (Мария 1) (табл. 5). Это свидетельствует о различной пластичности изучаемых сортов. Средней изменчивостью урожайности по Б. А. Доспехову[10] характеризовались сорта: Leguan (16,9 %), Провинция (18,2 %), Степная 50, Эгисар 29 (20,2 %), Тулайковская Надежда (20,3 %).

Таблица 5 – **Параметры адаптивности сортов яровой мягкой пшеницы по урожайности на инфекционном фоне пыльной головни (2013-2019 гг.) /**
Table 5 – **Adaptability parameters of spring soft wheat varieties by productivity on loose smut infection background (2013-2019)**

Сорт /Variety	*Средний урожай, г/м² / Average yield, g/m²*	*V, %*	b_i	*ПУСС / ILSV*	*Hom*
Баженка – стандарт / Bazhenka – standard	174,4	33,2	0,7	100,0%	22,0
Елизавета / Elizaveta	297,8	41,4	1,5*	229,6	8,8
Провинция / Provincia	325,5	18,2	0,7	623,8	3,0
Мария 1 / Maria 1	321,6	54,9	1,7*	219,1	5,3
Мелодия / Melodiya	358,9	43,9	1,7*	314,5	7,8
Сударушка / Sudarushka	383,7	36,2	1,3	435,9	10,6
Нива 2 / Niva 2	379,4	54,6	1,8*	645,5	12,7
Тюменская 26 / Tyumenskaya 26	356,7	39,3	1,4*	346,9	9,7
Фаворит / Favorit	273,6	73,3	0,4*	131,7	2,9
Эгисар 29 / Egisar 29	325,4	20,2	1,3	571,2	12,6
ФПЧ-Ppdm / FPCh-Rrdm	274,4	40,9	1,0	197,3	9,0
Казанская юбилейная / Kazanskaya Yubileynaya	326,3	16,8	0,6	653,3	6,3
КВС Аквилон / KVS Akvilon	299,2	48,4	1,2	202,1	8,5
Степная 50 / Stepnaya 50	379,1	20,2	1,3	777,1	4,9
Харьковская10 / Kharkovskaya10	295,7	37,0	1,4*	258,2	20,8
Мажор / Mazhor	271,2	41,3	0,3*	201,2	8,6
Hoffman	367,4	32,8	0,7	441,1	13,9
Leguan	298,1	16,9	1,0	333,7	7,2
Ranger	284,5	49,8	1,8*	291,0	22,5
UL Pettit	306,7	57,7	1,9*	370,9	26,1
Тулайковская надежда / Tulaykovskaya nadezhda	283,0	20,3	1,2	356,6	4,8
Карабалыкская 91 / Karabalykskaya 91	245,7	39,6	0,4*	164,0	9,6
Самгау / Samgau	260,7	33,2	1,6*	219,7	18,2
Достык / Dostyk	261,1	21,0	1,2	354,5	7,8
Виза / Visa	250,6	38,1	1,7*	172,6	13,8

*-значимо по t-критерию на 5 %-ном уровне / *-significantly by t-criterion at the 5 % level

[10]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1979. С. 190.

При оценке изучаемого генофонда по критерию b_i отечественные сорта Тюменская 26, Харьковская 10, Елизавета, Самгау, Виза, Мария 1, Мелодия, Нива 2, американские Ranger и UL Pettit можно отнести к группе интенсивных (b_i>1).

У сортов Мажор, Фаворит и Карабалыкская 91 коэффициент регрессии достоверно ниже 1, что указывает на их слабую реакцию на изменения условий выращивания. Эти сорта лучше использовать на экстенсивном фоне. В таких условиях от них можно ожидать высоких урожаев, затрачивая при этом минимум средств. Остальные 12 сортов относятся к полуинтенсивному типу.

Критерий адаптивности ПУСС характеризует одновременно уровень и стабильность признака (урожайность) по отношению к стандарту и определяет селекционную ценность сорта. Чем он выше, тем ценнее генотип. Наиболее высокие значения ПУСС и урожайности получены у сортов Степная 50, Казанская Юбилейная, Нива 2, Провинция и Эгисар 29 (ПУСС = 777,1; 653,3; 645,5; 623,8 и 571,2 соответственно). Также высокая и стабильная урожайность отмечена у сортов Hoffman, Сударушка, UL Pettit, Тулайковскаая Надежда, Достык и Leguan (ПУСС = 444,1; 435,9; 370,9; 356,6; 354,5 и 333,7 соответственно).

Для адаптивной селекции особое значение имеют сорта с высокой способностью противостоять стрессам, обеспечивая высокий урожай в изменяющихся условиях выращивания. Лишь у двух сортов Ranger и UL Pettit значения Hom превзошли стандарт Баженка и составили 22,5 и 26,1. Они способны сочетать высокую потенциальную урожайность в благоприятных условиях с незначительным её снижением в неблагоприятных условиях выращивания.

Несмотря на то, что параметры экологической пластичности и стабильности дают всестороннюю оценку изучаемым сортам, они несколько сложны для восприятия. Поэтому далее были проанализированы взаимосвязи параметров адаптивности между собой и с урожайностью (табл. 6).

Таблица 6 – **Взаимосвязь урожайности и параметров адаптивности /**
Table 6 – **Interrelation of productivity and adaptability parameters**

Параметры / Parameters	*Коэффициент корреляции / Correlation coefficient*			
	V, %	b_i	*Hom*	*ПУСС / ILSV*
Урожайность, г/м^2 / Productivity, g/m2	0,05	0,69*	0,73**	-0,39
Коэффициент вариации (V) / Variation coefficient(V)	-	0,17	-0,48**	0,22
Коэффициент регрессии (b_i) / Regression coefficient(b_i)	-	-	-0,01	-0,18
Гомеостатичность (*Hom*) / Homeostaticity (*Hom*)	-	-	-	-0,23

*, ** – значимо на 5 и 1 %-ном уровнях /*, ** – significant on 5 and 1 % levels

Коэффициент регрессии тесно связан с урожайностью (r = 0,69), т. е. сорта, обладающие высоким уровнем признака, характеризуются как более пластичные. Урожайность также тесно коррелирует с гомеостатичностью (r = 0,73), т. е. высокая урожайность подразумевает высокую устойчивость к стрессам (в нашем случае – пыльной головне).

Коэффициент вариации наиболее простой в определении показатель и хорошо согласовывается с показателем гомеостатичности. Как наиболее простой в определении параметр, он может использоваться для оценки адаптивности сорта в многолетних испытаниях.

Выводы. Среди изученных 178 сортов яровой мягкой пшеницы выделено 36 иммунных и 12 практически иммунных к пыльной головне. Выявлена существенная зависимость интенсивности поражения растений пшеницы пыльной головнёй от температуры воздуха и количества осадков в период, когда происходит инфицирование завязи.

Наблюдалось снижение продуктивности сортов на инфекционном фоне пыльной головни при увеличении поражения растений, что привело к росту общих потерь урожая. Среди иммунных и практически иммунных сортов яровой пшеницы 19 существенно превысили по урожайности на инфекционном фоне стандартный сорт Баженка. Толерантными к болезни оказались 5 средневосприимчивых сортов.

К сортам интенсивного типа были отнесены: Тюменская 26, Харьковская 10, Елизавета, Самгау, Виза, Мария 1, Мелодия, Нива 2 и американские сорта Ranger и UL Pettit.

Сорта Мажор, Фаворит и Карабалыкская 91 слабо реагировали на изменение условий произрастания. Их лучше использовать на экстенсивном фоне. В данных условиях можно получить максимальный урожай, потратив минимум усилий. Наиболее высокой и стабильной урожайностью по годам отличались сорта Степная 50, Казанская Юбилейная, Нива 2, Провинция и Эгисар 29. Сорта Ranger и UL Pettit показывают высокую урожайность в благоприятных условиях выращивания. При ухудшении условий возделывания урожайность этих сортов снижается незначительно.

Для оценки адаптивности сорта в многолетних испытаниях наиболее простым параметром является коэффициент вариации.

Список литературы

1. Румянцев А. В., Глуховцев В. В., Кукушкина Л. А. Научные достижения в селекции сортов яровой мягкой пшеницы. Зернобобовые и крупяные культуры. 2015;(2):58-63. Режим доступа: https://elibrary.ru /item.asp?id=23572880

2. Дружин А. Е., Крупнов В. А. Пшеница и пыльная головня. Саратов: Изд-во Сарат. инс-та, 2008. 164 с.

3. Шешегова Т. К. Анализ фитосанитарного состояния посевов яровых зерновых культур в Кировской области (аналитический обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015;5(48)):10-14. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=24113596

4. Кинчаров А. И., Дёмина Е. А., Муллаянова О. С., Таранова Т. Ю. Актуальные проблемы адаптивной селекции яровой мягкой пшеницы в среднем Поволжье и пути их решения. Известия Самарского научного центра РАН. 2018;20(2-3(82)):459-463. Режим доступа: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/ 2018/2018_2_459_463.pdf

5. Нешумаева Н. А., Сидоров А. В., Голубев С. С. Селекция яровой пшеницы на устойчивость к пыльной головне. Достижения науки и техники АПК. 2016;30(6):22-24. Режим доступа: https://cyberle-ninka.ru/ article/n/selektsiya-yarovoy-pshenitsy-na-ustoychivost-k-pylnoy-golovne

6. Сюков В. В., Поротькин С. Е. Генетика устойчивости мягкой пшеницы (Triticum aestivum L.) к пыльной головне (Ustilago tritici (Pers.)Jens) (Обзор). Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014;18(3):517-522. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=22479659

7. Жученко А. А. Возможности создания сортов и гибридов растений с учётом изменения климата. Стратегия адаптивной селекции полевых культур в связи с глобальным изменением климата. Саратов: ООО «Сателит», 2004. С. 10-16.

8. Fowler D. B. Winter wheat production manual. Crop development centre University of Saskatchewan, 2018. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.usask.ca/agriculture/plantsci/winter_cereals/winter-wheat-production-manual/chapter-11.php (Дата обращения: 22.12.2019)

9. Курылёва А. Г. Пластичность, стабильность и адаптивность сортов яровой пшеницы в условиях Удмуртской Республики. Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2015;(3(3)):28-31. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=24898441

10. Волкова Л. В., Гирёва В. М. Оценка сортов яровой мягкой пшеницы по урожайности и адаптивным свойствам. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(4(59)):19-23. Режим доступа: https://elibrary.ru/ item.asp?id=29739671

11. Плиско Л. Г., Пакуль В. Н. Адаптивная способность и стабильность сортов яровой пшеницы в условиях Западной Сибири. Международный научно-исследовательский журнал. 2017;(12-1(54)):140-144. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=27534552

12. James G. Menzies, Denis Gaudet. The surprising bunts and smuts. Agriculture and agri-food Canada, 2010. Режим доступа: http://umanitoba.ca/faculties/afs/agronomists_conf/media/Dec_15pm_4_Menzies_presentation.pdf

13. Кекало А. Ю., Немченко В. В., Заргарян Н. Ю., Цыпышева М. Ю. Защита зерновых культур от болезней. Куртамыш: ООО «Куртамышская типография», 2017. 172 с. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=29053721

References

1. Rumyantsev A. V., Glukhovtsev V. V., Kukushkina L. A. *Nauchnye dostizheniya v selektsii sortov yarovoy myagkoy pshenitsy*. [Scientific advances inbreeding varieties of spring wheat]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury =* Legumes and Groat Crops. 2015;(2):58-63. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=23572880

2. Druzhin A. E., Krupnov V. A. *Pshenitsa i pyl'naya golovnya*. [Wheat and loose smut]. Saratov: *Izd-vo Sarat. ins-ta*, 2008. 164 p.

3. Sheshegova T. K. *Analiz fitosanitarnogo sostoyaniya posevov yarovykh zernovykh kul'tur v Kirovskoy oblasti (analiticheskiy obzor)*. [Analysis of a phytosanitary condition of sowings of spring grain crops in the Kirov

region (Analytical review)]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2015;5(48)):10-14. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=24113596

4. Kincharov A. I., Demina E. A., Mullayanova O. S., Taranova T. Yu. *Aktual'nye problemy adaptivnoy selektsii yarovoy myagkoy pshenitsy v srednem Povolzh'e i puti ikh resheniya*. [Actual problems of adaptive breeding of spring soft wheat in the middle volga region and their solutions]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2018;20(2-3(82)):459-463. (In Russ.). URL: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2018/2018_2_459_463.pdf

5. Neshumaeva N. A., Sidorov A. V., Golubev S. S. *Selektsiya yarovoy pshenitsy na ustoychivost' k pyl'noy golovne*. [Breeding of spring wheat for resistange to head smut]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2016;30(6):22-24. (In Russ.). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/selektsiya-yarovoy-pshenitsy-na-ustoychivost-k-pylnoy-golovne

6. Syukov V. V., Porot'kin S. E. *Genetika ustoychivosti myagkoy pshenitsy (Triticum aestivum L.) k pyl'noy golovne (Ustilago tritici (Pers.)Jens) (Obzor)*. [Genetics of common wheat (*Triticumaestivum* L.) resistance to loose smut (Ustilago tritici (Pers.) Jens.) (Review)]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*. 2014;18(3):517-522. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=22479659

7. Zhuchenko A. A. *Vozmozhnosti sozdaniya sortov i gibridov rasteniy s uchetom izmeneniya klimata. Strategiya adaptivnoy selektsii polevykh kul'tur v svyazi s global'nym izmeneniem klimata*. [Possibilities of creating varieties and hybrids of plants taking into account climate change. Strategy for adaptive selection of field crops in response to global climate change]. Saratov: OOO «Satelit», 2004. pp. 10-16.

8. Fowler D. B. Winter wheat production manual. Crop development centre University of Saskatchewan, 2018. Available at: https://www.usask.ca/agriculture/plantsci/winter_cereals/winter-wheat-production-manual/ chapter-11. php (accessed: 22.12.2019)

9. Kuryleva A. G. *Plastichnost', stabil'nost' i adaptivnost' sortov yarovoy pshenitsy v usloviyakh Udmurtskoy Respubliki*. [Plasticity, stability and adaptability of cultivars of spring wheat cultivated in the conditions of the Udmurt Republic]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sel'skokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki* = Vestnik of the Mari State University Chapter «Agriculture. Economics». 2015;(3(3)):28-31. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=24898441

10. Volkova L. V., Gireva V. M. *Otsenka sortov yarovoy myagkoy pshenitsy po urozhaynosti i adaptivnym svoystvam*. [Estimation of spring soft wheat varieties by yield and adaptive properties]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(4(59)):19-23. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=29739671

11. Plisko L. G., Pakul' V. N. *Adaptivnaya sposobnost' i stabil'nost' sortov yarovoy pshenitsy v usloviyakh Zapadnoy Sibiri*. [Adaptive ability and stability of grades of spring-sown soft field in the conditions of Western Siberia]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* = International Research Journal. 2017;(12-1(54)):140-144. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=27534552

12. James G. Menzies, Denis Gaudet. The surprising bunts and smuts. Agriculture and agri-food Canada, 2010. Режим доступа: http://umanitoba.ca/faculties/afs/agronomists_conf/media/Dec_15pm_4_Menzies_presentation.pdf

13. Kekalo A. Yu., Nemchenko V. V., Zargaryan N. Yu., Tsypysheva M. Yu. *Zashchita zernovykh kul'tur ot bolezney*. [Protection of grain crops from diseases]. Kurtamysh: OOO «Kurtamyshskaya tipografiya», 2017. 172 p. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=29053721

Сведения об авторах

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

Амунова Оксана Сергеевна, кандидат биол. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166-а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8560-840X**

Information about the autors

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

Oksana S. Amunova, PhD in Biology, researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8560-840X

✉ – Для контактов / Corresponding author