

Оригинальная статья / Original article  
УДК 632.4 (632.9)  
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-79-87

# Изучение влияния комбинированного фунгицида Абакус Ультра на структуру популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы

Мария С. Гвоздева, Галина В. Волкова

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений», Краснодар, Россия

## Контактное лицо

Мария С. Гвоздева, аспирант, н.с. лаб. иммунитета растений к болезням, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039 Россия, Краснодарский край, г. Краснодар, п/о 39.  
Тел. +79189791801  
Email [maria-v23@mail.ru](mailto:maria-v23@mail.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9141-6647>

## Формат цитирования

Гвоздева М.С., Волкова Г.В. Изучение влияния комбинированного фунгицида Абакус Ультра на структуру популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 4. С. 79-87. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-79-87

Получена 6 августа 2022 г.  
Прошла рецензирование 20 сентября 2022 г.  
Принята 25 октября 2022 г.

## Резюме

**Цель.** Изучить изменчивость внутривидовой структуры возбудителя бурой ржавчины пшеницы (*Puccinia triticina* Erikss.) по признакам патогенности под воздействием комбинированного фунгицида Абакус Ультра, СЭ.

**Материал и методы.** Исследования проводили в тепличном комплексе ФГБНУ ФНЦБЗР на восприимчивом к бурой ржавчине сорте озимой пшеницы Краснодарская 99. Материалом исследования являлся комбинированный фунгицид Абакус Ультра, СЭ с нормами применения 0,75; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75 л/га. Работа выполнена по общепринятым методикам.

**Результаты.** Установлено влияние разных норм применения фунгицида Абакус Ультра, СЭ на вирулентность популяции *P. triticina*. Показатель варьировал от 40,0% (контроль (без обработки)) до 19,5% (норма применения фунгицида 1,75 л/га). Изменился фенотипический состав популяции гриба. Выявлено 5 различных фенотипов. Установлено снижение жизнеспособности спор *P. triticina* с увеличением нормы применения фунгицида. Показатель изменялся от 69,1% (0,75 л/га) до 29,2% (1,75 л/га). Отмечено снижение агрессивности популяции возбудителя бурой ржавчины с увеличением нормы применения препарата. Биологическая эффективность фунгицида Абакус Ультра, СЭ против патогена составила 95,3–97,8% при рекомендованной норме применения 1,0–1,5 л/га.

**Заключение.** Исследование показало, что популяция возбудителя бурой ржавчины, подвергавшаяся обработке химическим фунгицидом Абакус Ультра, СЭ, характеризуется изменением структуры по агрессивности и вирулентности, при этом чувствительность остается высокой за счет комбинации в препарате действующих веществ пираклостробин и эпоксиконазол с различным механизмом действия.

## Ключевые слова

Озимая пшеница, бурая ржавчина, патогенность, фунгицид, пираклостробин, эпоксиконазол, эффективность, чувствительность, резистентность.

# Study of the effect of the combined fungicide Abacus Ultra on the population structure of the wheat leaf rust pathogen

Maria S. Gvozdeva and Galina V. Volkova

Federal Research Center of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

## Principal contact

Maria S. Gvozdeva, PhD student, Researcher, Laboratory of Plant Immunity to Diseases, Federal Research Center of Biological Plant Protection; p/o 39, Krasnodar, Krasnodar Territory, Russia 350039

Tel. +79189791801

Email [maria-v23@mail.ru](mailto:maria-v23@mail.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9141-6647>

## How to cite this article

Gvozdeva M.S., Volkova G.V. Study of the effect of the combined fungicide Abacus Ultra on the population structure of the wheat leaf rust pathogen. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 4, pp. 79-87. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-79-87

Received 6 August 2022

Revised 20 September 2022

Accepted 25 October 2022

## Abstract

**Aim.** To study the variability of the intrapopulation structure of the causative agent of wheat leaf rust (*Puccinia triticina* Erikss.) on the basis of pathogenicity under the influence of the combined fungicide Abacus Ultra, SE.

**Material and Methods.** The studies were carried out in the greenhouse complex of the Federal Research Center of Biological Plant Protection on the winter wheat variety Krasnodarskaya 99 which is susceptible to leaf rust. The material studied was the combined fungicide Abacus Ultra, SE with application rates of 0.75; 1.0; 1.25; 1.5; 1.75 l/ha. The work was carried out according to generally accepted methods.

**Results.** The influence of the impact of different rates of application of the fungicide Abacus Ultra, SE on the average virulence of the *P. triticina* population was established, this indicator varying from 40.0% (control [without treatment]) to 19.5% (fungicide application rate 1.75 l/ha). As a result of the analysis of the phenotypic composition of the population, 5 phenotypes were identified. A decrease in the viability of spores of the fungus *P. triticina* with an increase in the rate of application of the fungicide was established, this indicator varying from 69.1% (0.75 l/ha) to 29.2% (1.75 l/ha). A decrease in the aggressiveness of the population of the causative agent of leaf rust with an increase in the rate of application of the drug was established. The biological effectiveness of the fungicide Abacus Ultra, SE against the pathogen was 95.3–97.8% at the recommended application rate of 1.0–1.5 l/ha.

**Conclusion.** The study showed that the population of the leaf rust pathogen treated with the chemical fungicide Abacus Ultra, SE is characterised by a change in structure in terms of aggressiveness and virulence, while the sensitivity remains high due to the combination of the active substances pyraclostrobin and epoxiconazole with a different mechanism of action in the preparation.

## Key Words

Winter wheat, leaf rust, pathogenicity, fungicide, pyraclostrobin, epoxiconazole, efficiency, sensitivity, resistance.

## ВВЕДЕНИЕ

Возбудитель бурой ржавчины листьев (*Puccinia triticina* Erikss.) является одним из вредоносных заболеваний пшеницы, потери урожая при эпифитотийном развитии могут достигать 20% и более [1; 2]. Ежегодно на территории РФ патоген встречается на площади более 500 тыс. га, а в ЮФО в последние годы распространение варьирует от 13 тыс. га (2019 г.) до 144 тыс. га (2017 г.) [3].

Регламентированное применение химических средств защиты позволяет оперативно и качественно сдерживать развитие заболевания. В государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, зарегистрированы более 130 фунгицидов против возбудителя бурой ржавчины пшеницы [4].

Ежегодно обработки против болезней зерновых культур проводятся на площади более 15 млн. га [3]. В число наиболее расходуемых вошли Фалькон, КЭ (спироксамин 250 г/л + тебуконазол 167 г/л + триадименол 43 г/л) – 1,1 тыс. тонн, Абакус Ультра, СЭ (пираклостробин 62,5 г/л + эпоксиконазол 62,5 г/л) – 0,93 тыс. тонн, Колосаль Про, КМЭ (пропиконазол 300 г/л + тебуконазол 200 г/л) – 0,73 тыс. тонн, Альто Супер, КЭ (пропиконазол 250 г/л + ципроконазол 80 г/л) – 0,56 тыс. тонн, Солигор, КЭ (спироксамин 224 г/л + тебуконазол 148 г/л + протиоконазол 53 г/л) – 0,47 тыс. тонн, Амистар Экстра, СК (азоксистробин 200 г/л + ципроконазол 80 г/л) – 0,34 тыс. тонн. Из биологических фунгицидов наиболее востребованными были БФТИМ КС-2, Ж – 0,36 тыс. тонн, Псевдобактерин-2, Ж – 0,18 тыс. тонн, Ризоплан, Ж – 0,18 тыс. тонн, Алирин-Б, СП – 0,16 тыс. тонн, Фитоспорин-М, Ж – 0,14 тыс. тонн [5].

Применение фунгицидов способствует сохранению потенциального урожая зерна, но все чаще при выращивании сельскохозяйственных культур производители отмечают снижение биологической эффективности препаратов против фитопатогенов. Это обусловлено снижением чувствительности возбудителя заболевания за счет точковой мутации гена, на который направлено действие моносайтовых фунгицидов [6].

В мире зарегистрирована резистентность у более чем 250 видов фитопатогенов к 30 фунгицидам из химических классов органофосфатов, бензимидазолов, азанафталенов, триазолов, фенилпирролов, стробилуринов, ацилаланилов и др. [7]. За период с 1964 по 2019 годы случаи развития резистентности к фунгицидам были выявлены у 17 видов фитопатогенов [8].

В Европе подтверждены мутации у возбудителя сетчатой пятнистости ячменя (*Pyrenophora teres*) и септориоза листьев пшеницы (*Septoria tritici*) под действием седаксана, но эффективность в полевых условиях остается высокой. Мутации у возбудителя рамуляриоза ячменя (*Ramularia collo-cygni*) в отдельных районах сопровождаются снижением биологической эффективности [9]. Сообщалось об устойчивости возбудителя фузариоза колоса (*Fusarium graminearum*) к изопиразаму, карбендазиму, тебуконазолу и прохлоразу [10].

Уже известны случаи снижения биологической эффективности фунгицида триазолового класса против

*P. triticina* [11]. Обусловлено это влиянием токсиканта на структуру популяции, что подтверждает важность перманентного изучения изменчивости структуры популяции под действием фунгицидов [12].

Целью нашего исследования являлось изучение изменчивости внутривидовой популяционной структуры возбудителя бурой ржавчины пшеницы под воздействием комбинированного фунгицида Абакус Ультра, СЭ в контролируемых условиях теплицы.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в тепличном комплексе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР), где были организованы оптимальные условия для роста растений озимой пшеницы и развития фитопатогена: продолжительность светового дня 16 часов, интенсивность освещения 13–15 тыс. люкс, температура 20–22°C, относительная влажность воздуха 60–70% [13].

Изучение изменчивости внутривидовой популяционной структуры возбудителя бурой ржавчины пшеницы проводили на высокопродуктивном сорте озимой пшеницы Краснодарская 99. Сорт устойчив к стеблевой и желтой ржавчине, среднеустойчив к септориозу и мучнистой росе, восприимчив к фузариозу колоса и бурой ржавчине. Включен в Государственный реестр для производства на территории РФ с 2003 года.

Материалом исследования являлся комбинированный фунгицид Абакус Ультра, СЭ. В составе два действующих вещества с различным механизмом действия: пираклостробин 62,5 г/л (стробилурины), эпоксиконазол 62,5 г/л (триазолы). Препарат защитного и лечащего действия, зарегистрирован на озимой пшенице для борьбы с бурой и стеблевой ржавчиной, пиренофорозом, мучнистой росой, септориозом листьев и колоса, темно-бурой пятнистостью [4].

Для проведения опыта в фазу всходов растения озимой пшеницы сорта Краснодарская 99 инфицировали северокавказской популяцией возбудителя бурой ржавчины. После инокуляции растения выдерживали во влажной камере 16 ч при температуре 20–22°C [13]. Обработку фунгицидом проводили по первым признакам заболевания с нормами применения 0,75; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75 л/га. Рекомендуемая норма против патогена составляет 1,0–1,5 л/га [4]. Биологическую эффективность определяли через 7 дней после обработки по количеству пустул патогена на листе, расчет проводили по формуле Аббота на листе [14]. Уровень чувствительности патогена определяли по количеству пустул на лист с типом реакции 3, 4 балла [15] по показателям СК<sub>50</sub> и СК<sub>95</sub> [16] путем построения пробит – регрессии с использованием программного обеспечения Statgraphics 19.

Собранные уединеноспоры *P. triticina* с обработанных растений размножали на восприимчивом сорте Краснодарская 99 по общепринятой методике [13]. Для определения агрессивности возбудителя бурой ржавчины пшеницы, обработанной разными нормами применения

фунгицида, были взяты показатели жизнеспособность, длительность латентного периода, спорулирующая способность и длительность споруляции. Жизнеспособность спор, заранее помещенных во влажную камеру, проверяли под микроскопом марки Микмед-5, увеличение 40х/0,65, путем подсчета общего количества спор и числа проросших спор. Длительность латентного периода считали с момента инокуляции до появления первых признаков заболевания [17]. Длительность споруляции определяли с начала раскрытия пустул до завершения споруляции [18]. Спорулирующую способность рассчитывали путем отношения количества пустул к массе собранного биоматериала [18].

Вирулентность образцов урединиоспор возбудителя бурой ржавчины пшеницы и фенотипический состав определяли по реакции 20 близкородственных линий сорта Thatcher с известными генами устойчивости [13]. Среднюю вирулентность определяли по Мартенсу [19]. Различия между изолятами популяции по фенотипическому составу и частоте аллелей вирулентности выявляли по индексу Нея [20].

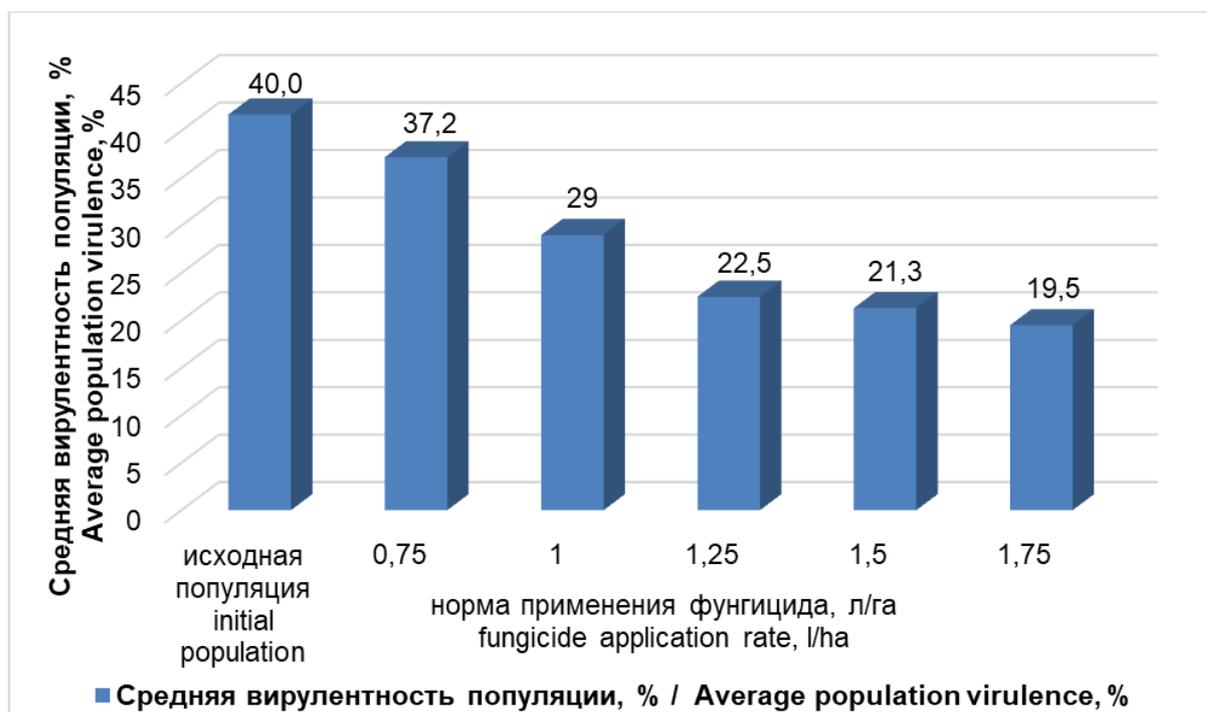
В исследованиях использована материально-техническая база УНУ «Фитотрон для выделения, идентификации, изучения и поддержания рас, штаммов, фенотипов патогенов» (<https://skp-rf.ru/usu/671925/>) и объекты биоресурсной коллекции ФГБУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов» ([https://skp-rf.ru/usu/585858/?sphrase\\_id=5369152](https://skp-rf.ru/usu/585858/?sphrase_id=5369152)).

#### ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Несоблюдение регламента применения химических средств защиты пшеницы против заболеваний приводит к снижению чувствительности фитопатогенов к токсикантам. Происходит это за счет отбора и накопления устойчивых изолятов возбудителя в популяции гриба при снижении эффективности фунгицида [10].

В ходе исследования было установлено влияние воздействия разных норм применения комбинированного фунгицида Абакус Ультра, СЭ на изменчивость внутривидовой структуры возбудителя бурой ржавчины пшеницы.

Средняя вирулентность популяции *P. triticina* в контроле (без обработки) составила 40,0% (рис. 1).



**Рисунок 1.** Средняя вирулентность популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы под воздействием разных норм применения фунгицида Абакус Ультра, СЭ, тепличный комплекс ФГБУ ФНЦБЗР

**Figure 1.** Average virulence of the wheat leaf rust pathogen population under the influence of different norms for the use of the fungicide Abacus Ultra, SE in the greenhouse complex of the Federal Research Center of Biological Plant Protection

С увеличением нормы применения фунгицида этот показатель резко снижался и в варианте с максимальной нормой (1,75 л/га) составил 19,5%.

При статистической обработке результатов, согласно индексу Нея ( $N=0,094$  у.е.), максимальные различия по частоте изолятов, вирулентных к линиям с генами *Lr*, были получены между исходной популяцией (контроль (без обработки)) и вариантом с

пониженной нормой применения фунгицида (0,75 л/га). С увеличением нормы применения значение индекса Нея составило 0,039 у.е. (1,0 л/га); 0,076 у.е. (1,25 л/га); 0,077 у.е. (1,5 л/га) и 0,057 у.е. (1,75 л/га).

Проведена оценка влияния разных норм применения фунгицида Абакус Ультра, СЭ на изменение фенотипического состава возбудителя бурой ржавчины пшеницы (табл. 1).

Под воздействием фунгицида тип поражения линии с геном устойчивости *Lr24* снижался с 2 баллов до 1 и 0. При норме применения Абакус Ультра, СЭ 1,5 л/га на линии, несущей ген *Lr3bg*, и норме 0,75 л/га на линии, несущей ген *Lr14a*, тип поражения изменялся с 3 баллов до 2. На линии, несущей ген устойчивости *Lr18*, при нормах применения от 0,75 л/га до 1,5 л/га тип реакции изменялся с 3 баллов до 2. В варианте с использованием норм применения фунгицида 1,25 л/га и 0,75 л/га тип реакции линии с геном устойчивости *Lr2c* увеличивался с 2 баллов до 3. Тип поражения линий пшеницы, несущих гены устойчивости *Lr1*, *Lr2a*, *Lr3*, *Lr9*, *Lr16*, *Lr26*, *Lr3ka*, *Lr11*, *Lr17*, *Lr30*, *LrB*, *Lr10*, *Lr14b*, оставался на уровне исходной популяции (не обработанной фунгицидом).

В результате анализа фенотипического состава популяции возбудителя бурой ржавчины выявлено 5 различных фенотипов: PHQQQ (норма применения 0,75 л/га), MHQSQ (1,0 л/га), PHQSQ (1,25 л/га), MHQSG (1,5 л/га), MHQTQ (1,75 л/га), MHQTQ (без обработки).

Установлено влияние разных норм применения фунгицида на жизнеспособность спор гриба *P. triticina*. В контроле (без обработки) этот показатель был принят за 100%. В варианте с рекомендуемой нормой фунгицида (1,0–1,5 л/га) жизнеспособность составила 61,7–40,3%, при снижении нормы применения до

0,75 л/га – 69,1%, при повышении до 1,75 л/га – 29,2% (рис. 2).

Была проведена оценка влияния разных норм применения фунгицида на показатели агрессивности гриба *P. triticina* (рис. 3). С увеличением нормы препарата длительность споруляции сокращалась от 14 суток (контроль (без обработки)) до 5 суток (1,75 л/га), а спорулирующая способность снижалась от 0,07 мг (контроль (без обработки)) до 0,01 мг (1,75 л/га). Длительность латентного периода, напротив, возрастала с увеличением нормы применения фунгицида, этот показатель варьировал от 6,5 суток в (контроле (без обработки)) до 10,5 суток (норма применения 1,75 л/га).

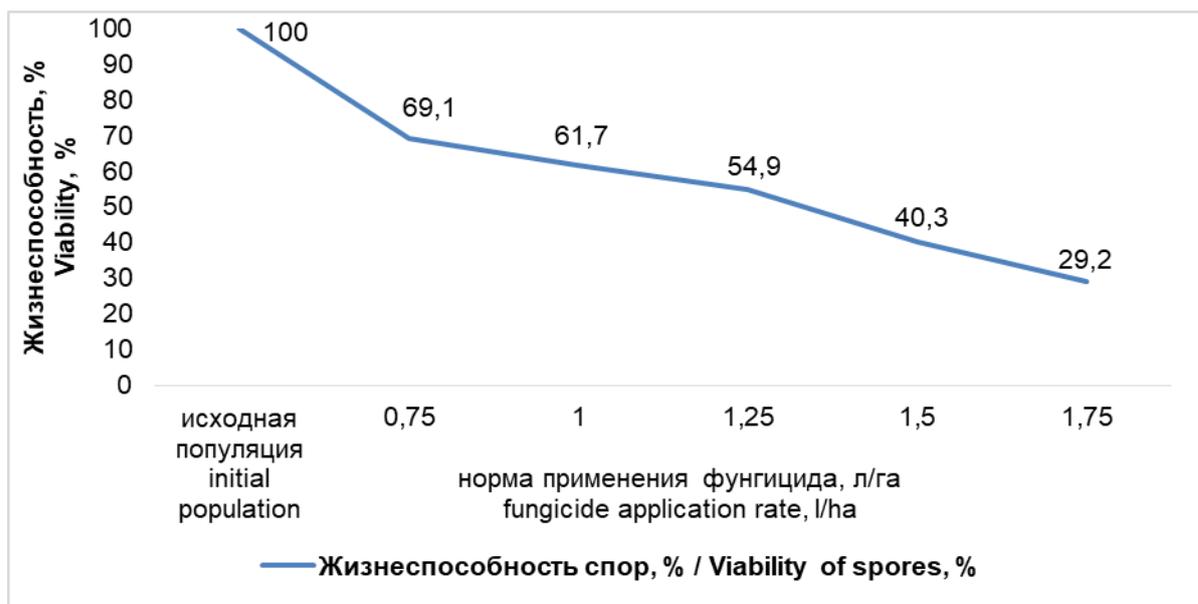
Подобные результаты получены в работе Кан Чжао с соавторами [21]. Учеными установлены случаи резистентности изолятов *Rhizoctonia* spp. к флутоланилу, характеризующихся более медленной скоростью роста мицелиальных клеток и снижением вирулентности в сравнении с чувствительной популяцией.

В работе, выполненной нами ранее [11], было установлено изменение в структуре популяции по показателям агрессивности под влиянием разных норм применения фунгицида Колосаль, КЭ (тебуконазол, 250 г/л), вследствие чего отмечалось снижение биологической эффективности фунгицида.

**Таблица 1.** Изменение фенотипического состава возбудителя бурой ржавчины пшеницы под влиянием различных норм применения фунгицида Абакус Ультра, СЭ, тепличный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР

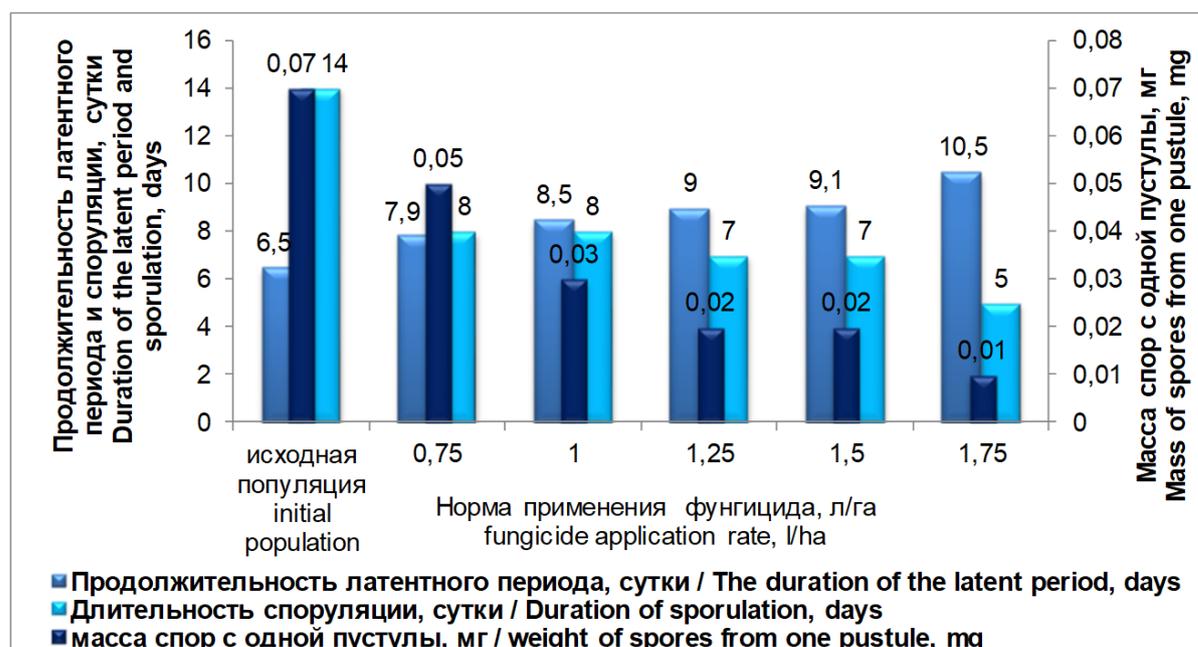
**Table 1.** Changes in the phenotypic composition of the causative agent of wheat leaf rust under the influence of various norms for the use of the fungicide Abacus Ultra, SE, in greenhouse complex of the Federal Research Center of Biological Plant Protection

Ген <i>Lr</i> Gene <i>Lr</i>	Норма применения фунгицида, л/га Fungicide application rate, l/ha					
	Исходная популяция Initial population	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75
Тип реакции сортов на заражение, балл Type of response of varieties to infection, score						
1	3	3	3	3	3	3
2a	2	2	2	2	2	2
2c	2	3	2	3	2	2
3	3	3	3	3	3	3
9	0	0	0	0	0	0
16	3	3	3	3	3	3
24	2	1	1	0	1	1
26	3	3	3	3	3	3
3ka	3	3	3	3	3	3
11	3	3	3	3	3	3
17	2	2	2	2	2	2
30	2	2	2	2	2	2
B	3	3	3	3	3	3
10	3	3	3	3	3	3
14a	3	2	3	3	3	3
18	3	2	2	2	2	3
3bg	3	3	3	3	2	3
14b	3	3	3	3	3	3
20	1	0;	0;	0;	1	1
28	0;	0;	0;	1	0;	0;
Фенотип Phenotype	MHQTQ	PHQQQ	MHQSQ	PHQSQ	MHQSG	MHQTQ



**Рисунок 2.** Влияние разных норм применения фунгицида Абакус Ультра, СЭ на жизнеспособность спор бурой ржавчины, тепличный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР

**Figure 2.** The influence of different norms for the use of the fungicide Abacus Ultra, SE on the viability of leaf rust spores, in the greenhouse complex of the Federal Research Center of Biological Plant Protection



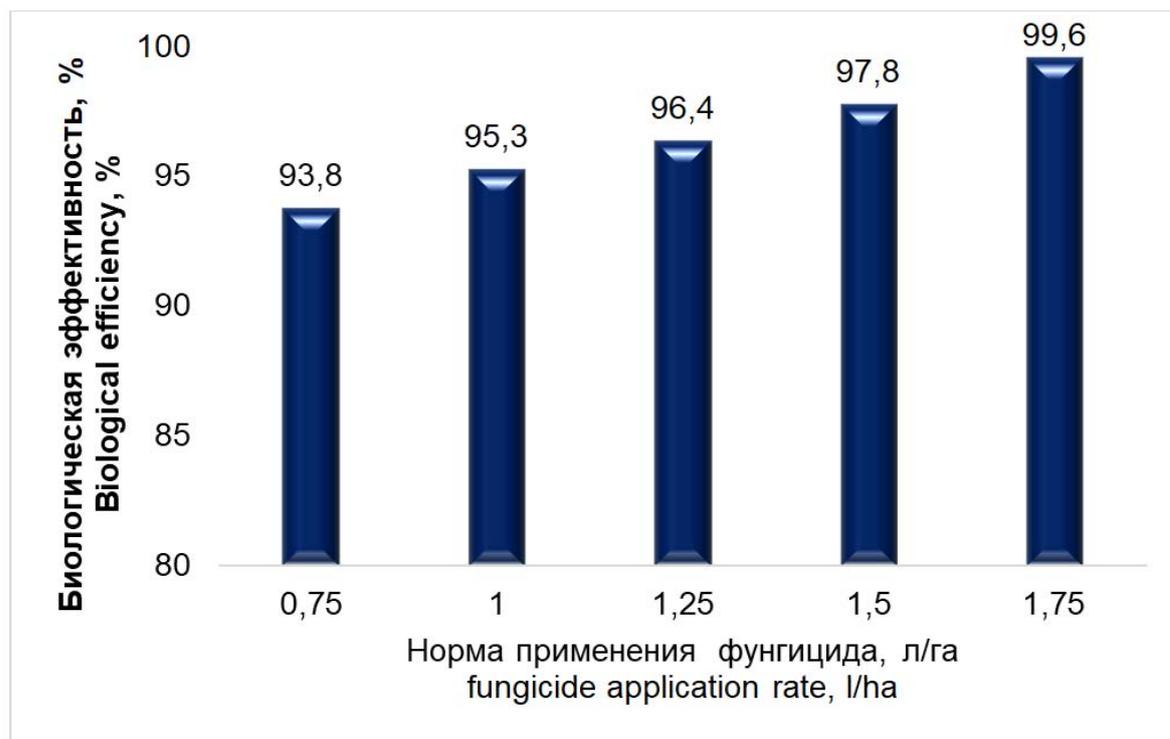
**Рисунок 3.** Влияние разных норм применения фунгицида Абакус Ультра, СЭ на показатели агрессивности возбудителя бурой ржавчины пшеницы, тепличный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР

**Figure 3.** The effect of different application rates of the fungicide Abacus Ultra, SE on the indicators of the aggressiveness of the wheat leaf rust pathogen, in the greenhouse complex of the Federal Research Center of Biological Plant Protection

В опыте с использованием фунгицида Абакус Ультра, СЭ биологическая эффективность варьировала от 93,8% (0,75 л/га) до 99,6% (1,75 л/га) (рис. 4). В варианте с применением рекомендованной нормы эффективность была высокой и составила 95,3–97,8%. Полученный результат обусловлен содержанием в фунгициде действующих веществ пираклостробин и эпоксиконазол из разных химических классов с различным механизмом действия. В работах других ученых доказана высокая эффективность фунгицидов,

содержащих пираклостробин, против возбудителей ржавчинных заболеваний пшеницы [22; 23].

Оценку чувствительности возбудителя бурой ржавчины пшеницы к фунгициду проводили путем расчета  $CK_{50}$  и  $CK_{95}$ . Так, в опыте эти показатели составили 61,7 мг/мл и 128,4 мг/мл соответственно, что близко к значениям рекомендованной концентрации в рабочем растворе (65,7 мг/мл и 125 мг/мл) и доказывает высокую чувствительность популяции возбудителя к токсиканту.



**Рисунок 4.** Биологическая эффективность разных норм применения фунгицида Абакус Ультра, СЭ против *P. triticina*, тепличный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР

**Figure 4.** Biological efficiency of different norms for the use of the fungicide Abacus Ultra, SE against *P. triticina*, in greenhouse complex of the Federal Research Center of Biological Plant Protection

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено влияние воздействия разных концентраций комбинированного фунгицида Абакус Ультра, СЭ на изменчивость внутрипопуляционной структуры возбудителя бурой ржавчины пшеницы. Средняя вирулентность популяции *P. triticina* с увеличением нормы применения фунгицида снижалась от 40,0% (контроль (без обработки)) до 19,5% (1,75 л/га). Максимальные различия ( $N=0,094$  у.е.) по частоте изолятов, вирулентных к линиям с генами *Lr*, были получены между исходной популяцией (контроль (без обработки)) и вариантом с пониженной нормой применения фунгицида (0,75 л/га).

В результате анализа фенотипического состава популяции возбудителя бурой ржавчины под влиянием разных норм фунгицида выявлено 5 фенотипов: PHQQQ (норма применения 0,75 л/га), MHQSQ (1,0 л/га), PHQSQ (1,25 л/га), MHQSQ (1,5 л/га), MHQTQ (1,75 л/га), MHQTQ (контроль (без обработки)).

Установлено снижение жизнеспособности спор гриба *P. triticina* с увеличением нормы применения фунгицида. Показатель изменялся от 69,1% (0,75 л/га) до 29,2% (1,75 л/га).

Выявлено снижение агрессивности популяции возбудителя бурой ржавчины с увеличением нормы применения фунгицида. Так, отмечено снижение спорулирующей способности от 0,07 мг (контроль (без обработки)) до 0,01 мг (1,75 л/га) и длительности споруляции от 14 суток (контроль (без обработки)) до 5 суток (1,75 л/га). Длительность латентного периода возрастала от 6,5 суток в (контроле (без обработки)) и до 10,5 суток (1,75 л/га).

Биологическая эффективность комбинированного фунгицида Абакус Ультра, СЭ против

возбудителя бурой ржавчины остается на высоком уровне и составляет 95,3–97,8% при рекомендованной норме применения 1,0–1,5 л/га. Показатели  $СК_{50}$  и  $СК_{95}$  в опыте составили 61,7 мг/мл и 128,4 мг/мл соответственно, что близко к значениям рекомендованной концентрации в рабочем растворе (65,7 мг/мл и 125 мг/мл) и доказывает высокую чувствительность популяции возбудителя к токсиканту.

Таким образом, исследование показало, что популяция возбудителя бурой ржавчины, подвергавшаяся обработке химическим фунгицидом Абакус Ультра, СЭ, характеризуется изменением структуры по агрессивности и вирулентности. Несмотря на то, что чувствительность патогена к препарату остается высокой за счет комбинации действующих веществ с различным механизмом действия, необходимо строго соблюдать регламент применения фунгицида для снижения риска возникновения резистентности.

#### БЛАГОДАРНОСТЬ

Изучение патогенности популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы выполнено согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGРН-2022-0004. Изучение вирулентности и чувствительности популяции патогена выполнено при финансовой поддержке гранта КНФ № Н-21.1/48.

#### ACKNOWLEDGMENT

The study of the pathogenicity of the wheat leaf rust pathogen population was carried out in accordance with the State Order of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework

of research work on topic No. FGRN-2022-0004. The study of the virulence and sensitivity of the pathogen population was carried out with the financial support of KNF grant No. Н-21.1/48.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волкова Г.В., Кудинова О.А., Ваганова О.Ф. Использование сортосмешанных посевов в защите озимой пшеницы от бурой ржавчины // Земледелие. 2020. N 5. С. 38–40.
2. Гуляева Е.И., Беспалова Л.А., Аблова И.Б., Шайдаюк Е.Л., Худокормова Ж.Н., Яковлева Д.Р., Титова Ю.А. Злаковые травы – резерваторы инфекции видов ржавчины для озимой мягкой пшеницы на Северном Кавказе России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25. N 6. С. 638–646.
3. Говоров Д.Н., Живых А.В., Шабельникова Е.С., Никулин А.Н., Умников В.И., Долгов А.И., Волков И.А., Машенцев И.В., Ступаков А.И., Чернявский В.С. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2020 году и прогноз развития вредных объектов в 2021 году / Под ред. Говорова Д.Н., Живых А.В. М.: ФГБУ РСЦ, 2021. 912 с.
4. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации (Минсельхоз России) Издание официальное МОСКВА 2022. URL: <https://www.agroxxi.ru/goshandbook> (дата обращения: 17.05.2022).
5. Страновой обзор производства и использования особо опасных пестицидов в России. Москва, Россия, 2020. URL: [https://ipen.org/sites/default/files/documents/final\\_russia\\_hhp\\_country\\_situation\\_report\\_ru\\_and\\_en\\_14\\_may\\_2020.pdf](https://ipen.org/sites/default/files/documents/final_russia_hhp_country_situation_report_ru_and_en_14_may_2020.pdf) (дата обращения: 1.06.2022).
6. Мироненко Н. В. Пластичность генома фитопатогенных грибов // Микология и фитопатология. 2019. Т. 53. N 3. С. 133–139. DOI: 10.1134/S0026364819030085
7. Damicone J.P. Fungicide resistance management. Oklahoma cooperative extension. URL: [https://shareok.org/bitstream/handle/11244/319916/oksa\\_ep\\_r\\_7663\\_2014-02.pdf?sequence=1](https://shareok.org/bitstream/handle/11244/319916/oksa_ep_r_7663_2014-02.pdf?sequence=1) (дата обращения: 17.05.2022)
8. Сухорученко Г.И. Резистентность вредных организмов к пестицидам в России // Защита и карантин растений. 2020. N 1. С. 14–18.
9. Fungicide resistance management in cereals FRAG-UK. Kenilworth. 2019. 28 p.
10. Соколова Г.Д., Глинушкин А.П. Механизмы устойчивости к фунгицидам фитопатогенного гриба *Fusarium graminearum* // Микология и фитопатология. 2020. Т. 54. N 6. С. 391–403. DOI: 10.31857/S0026364820060112
11. Гвоздева М.С., Волкова Г.В. Влияние фунгицида колосаль на структуру популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы по признакам патогенности и чувствительности // Микология и фитопатология. 2022. Т. 56. N 1. С. 52–63. DOI: 10.31857/S0026364822010044
12. Жемчужина Н.С., Киселева М.И., Коломиец Т.М., Аблова И.Б., Глинушкин А.П., Елизарова С.А. Выявление разнообразия микромицетов рода *Fusarium* в агроэкосистемах равнинной части Северного Кавказа для пополнения государственной коллекции фитопатогенных микроорганизмов ФГБНУ ВНИИФ // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25. N 8. С. 874–881.
13. Анпилогова Л.К., Волкова Г.В. Методы создания искусственных инфекционных фонов и оценки сортообразцов пшеницы на устойчивость к вредоносным

- болезням (фузариозу колоса, ржавчинам, мучнистой росе). Рекомендации. Краснодар. 2000. 28 с.
14. Методические указания по регистрационному испытанию фунгицидов в сельском хозяйстве / под ред. В. И. Долженко Санкт-Петербург: ВИЗР, 2009. 377 с.
  15. Mains E.B., Jackson H.S. Physiological specialization in leaf rust of wheat, *Puccinia triticina* Erikss. // Phytopathology. 1926. V. 16. N 1. P. 89–120.
  16. Лапач С.Н., Чубенко А.В., Бабиц П.Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel. Киев: Морион, 2000. 320 с.
  17. Пыжикова Г.В. Влияние температуры на инфекцию и развитие желтой ржавчины пшеницы // Микология и фитопатология. 1972. Т. 6. N 3. С. 51–53.
  18. Санин С.С. Методы определения количества спор, образуемых ржавчинными и другими фитопатогенными грибами // Микология и фитопатология. 1975. Т. 9. N 3. С. 443–445.
  19. Михайлова Л.А., Гуляева Е.И., Мироненко Н.В. Методы исследования структуры популяций возбудителя бурой ржавчины пшеницы *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f.sp. tritici. Иммуногенетические методы создания устойчивых к вредным организмам сортов. СПб: ВИЗР, 2003. 26 с.
  20. Nei M. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals // Genetics. 1978. V. 89. N 3. P. 583–590.
  21. Zhao C., Zhang X., Hua H. et al. Sensitivity of *Rhizoctonia* spp. to flutolanil and characterization of the point mutation in succinate dehydrogenase conferring fungicide resistance // Eur J Plant Pathol. 2019. N 155. P. 13–23. DOI: 10.1007/s10658-019-01739-6
  22. Kang Zh., Li X., Wan A., Wang M., Chen X. Differential sensitivity among *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* isolates to propiconazole and pyraclostrobin fungicides // Canadian Journal of Plant Pathology. 2019. V. 41. N 3. P. 415–434. DOI: 10.1080/07060661.2019.1577301
  23. Sacon D., Netto A., Gallina A., Tonello E.S., Milanese P.M. Association of fungicides on *Puccinia triticina* and wheat // Communications in Plant Sciences. 2019. N 9. P. 88–92. DOI: 10.26814/cps2019015

#### REFERENCES

1. Volkova G.V., Kudinova O.A., Vaganova O.F. The use of variety mixed crops in the protection of winter wheat from leaf rust. Zemledelie [Agriculture]. 2020, no. 5, pp. 38–40. (In Russian)
2. Gul'tyaeva E.I., Bepalova L.A., Ablova I.B., Shaidayuk E.L., Khudokormova Zh.N., Yakovleva D.R., Titova Yu.A. Cereal grasses – reserve infection of rust species for winter soft wheat in the North Caucasus of Russia. Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii [Vavilov Journal of Genetics and Breeding]. 2021, vol. 25, no. 6, pp. 638–646. (In Russian)
3. Govorov D.N., Zhivykh A.V., Shabelnikova E.S., Nikulin A.N., Umnikov V.I., Dolgov A.I., Volkov I.A., Mashentsev I.V., Stupakov A.I., Chernyavsky V.S. *Obzor fitosanitarnogo sostoyaniya posevov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v Rossiiskoi Federatsii v 2020 godu i prognoz razvitiya vrednykh ob'ektov v 2021 godu* [Review of the phytosanitary state of agricultural crops in the Russian Federation in 2020 and the forecast for the development of harmful objects in 2021]. Moscow, FGBU RSC Publ., 2021, 912 p. (In Russian)
4. *Gosudarstvennyi katalog pestitsidov i agrokhimikatov, razreshennykh k primeneniyu na territorii Rossiiskoi Federatsii* [State catalog of pesticides and agrochemicals permitted for use on the territory of the Russian Federation]. Moscow, 2022. Available at: <https://www.agroxxi.ru/goshandbook> (accessed: 05.17.2022)
5. *Stranovoi obzor proizvodstva i ispol'zovaniya osobopasnykh pestitsidov v Rossii* [Country overview of production

- and use of highly hazardous pesticides in Russia]. Moscow, 2020. Available at: [https://ipen.org/sites/default/files/documents/final\\_russia\\_hhp\\_country\\_situation\\_report\\_ru\\_and\\_en\\_14\\_may\\_2020.pdf](https://ipen.org/sites/default/files/documents/final_russia_hhp_country_situation_report_ru_and_en_14_may_2020.pdf) (accessed: 1.06.2022)
6. Mironenko N.V. Plasticity of the genome of phytopathogenic fungi. *Mycology and Phytopathology*, 2019, vol. 53, no. 3, pp. 133–139. (In Russian) DOI: 10.1134/S0026364819030085.
  7. Damicone J.P. Fungicide resistance management. Oklahoma cooperative extension. Available at: [https://shareok.org/bitstream/handle/11244/319916/oksa\\_ep\\_7663\\_2014-02.pdf?sequence=1](https://shareok.org/bitstream/handle/11244/319916/oksa_ep_7663_2014-02.pdf?sequence=1) (accessed 17.05.2022)
  8. Sukhoruchenko G.I. Resistance of harmful organisms to pesticides in Russia. *Zashchita i karantin rastenii* [Protection and quarantine of plants]. 2020, no. 1, pp. 14–18. (In Russian)
  9. Fungicide resistance management in cereals FRAG-UK. Kenilworth. 2019. 28 p.
  10. Sokolova G.D., Glinushkin A.P. Mechanisms of resistance to fungicides of the phytopathogenic fungus *Fusarium graminearum*. *Mycology and Phytopathology*, 2020, vol. 54, no. 6, pp. 391–403. (In Russian) DOI: 10.31857/S0026364820060112
  11. Gvozdeva M.S., Volkova G.V. Influence of the fungicide colosal on the structure of the population of the causative agent of wheat leaf rust on the basis of pathogenicity and sensitivity. *Mykology and Phytopathology*, 2022, vol. 56, no. 1, pp. 52–63. (In Russian) DOI: 10.31857/S0026364822010044
  12. Zhemchuzhina N.S., Kiseleva M.I., Kolomiets T.M., Ablova I.B., Glinushkin A.P., Elizarova S.A. Identification of the diversity of micromycetes of the genus *Fusarium* in the agroecosystems of the plains of the North Caucasus to replenish the state collection of phytopathogenic microorganisms of the VNIIF. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii* [Vavilov Journal of Genetics and Breeding]. 2021, vol. 25, no. 8, pp. 874–881. (In Russian)
  13. Anpilogova L.K., Volkova G.V. *Metody sozdaniya iskusstvennykh infektsionnykh fonov i otsenki sortoobrazstvov pshenitsy na ustoichivost' k vredonosnym bolezniam (fuzariozu kolosa, rzhavchinam, muchnistoi rose)* [Methods for creating artificial infectious backgrounds and assessing wheat varieties for resistance to harmful diseases (head fusarium, rust, powdery mildew)]. Krasnodar, 2000, 28 p. (In Russian)
  14. Dolzhenko V.I., ed. *Metodicheskie ukazaniya po registratsionnym ispytaniyam fungitsidov v sel'skom khozyaistve* [Guidelines for registration testing of fungicides in agriculture]. St. Petersburg, VIZR Publ., 2009, 377 p. (In Russian)
  15. Mains E.B., Jackson H.S. Physiological specialization in leaf rust of wheat, *Puccinia triticina* Erikss. *Phytopathology*. 1926, vol. 16, no. 1, pp. 89–120.
  16. Lapach S.N., Chubenko A.V., Babich P.N. *Statisticheskie metody v mediko-biologicheskikh issledovaniyakh s ispol'zovaniem Excel* [Statistical methods in biomedical research using Excel]. Kyiv, Morion Publ., 2000, 320 p. (In Russian)
  17. Pyzhikova G.V. Influence of temperature on the infection and development of wheat yellow rust. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mykology and Phytopathology]. 1972, vol. 6, no. 3, pp. 51–53. (In Russian)
  18. Sanin S.S. Methods for determining the number of spores formed by rust and other phytopathogenic fungi. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mykology and Phytopathology]. 1975, vol. 9, no. 3, pp. 443–445. (In Russian)
  19. Mikhailova L.A., Gulyaeva E.I., Mironenko N.V. *Metody issledovaniya struktury populyatsii vzbudatelya buroi rzhavchiny pshenitsy Puccinia recondita Rob. ex Desm. f.sp. tritici. Immunogeneticheskie metody sozdaniya ustoichivyykh k vrednym organizmam sortov* [Methods for studying the structure of wheat leaf rust pathogen *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f.sp. tritici. Immunogenetic methods for creating varieties resistant to pests. (Guidelines)]. St. Petersburg, VIZR Publ., 2003, 26 p. (In Russian)
  20. Nei M. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics*. 1978, vol. 89, no. 3, pp. 583–590.
  21. Zhao C., Zhang X., Hua H. et al. Sensitivity of *Rhizoctonia* spp. to flutolanil and characterization of the point mutation in succinate dehydrogenase conferring fungicide resistance. *Eur J Plant Pathol*. 2019, no. 155, pp. 13–23. DOI: 10.1007/s10658-019-01739-6
  22. Kang Zh., Li X., Wan A., Wang M., Chen X. Differential sensitivity among *Puccinia striiformis* f. sp. tritici isolates to propiconazole and pyraclostrobin fungicides. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2019, vol. 41, no. 3, pp. 415–434. DOI: 10.1080/07060661.2019.1577301
  23. Sacon D., Netto A., Gallina A., Tonello E.S., Milanese P.M. Association of fungicides on *Puccinia triticina* and wheat. *Communications in Plant Sciences*, 2019, no. 9, pp. 88–92. DOI: 10.26814/cps2019015

**КРИТЕРИИ АВТОРСТВА**

Мария С. Гвоздева, Галина В. Волкова в равной степени выполняли все работы в ходе исследования. Оба автора в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**AUTHOR CONTRIBUTIONS**

Maria S. Gvozdeva and Galina V. Volkova equally contributed to all the work during the study. Both authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

**NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION**

The authors declare no conflict of interest.

**ORCID**

Мария С. Гвоздева / Maria S. Gvozdeva <http://orcid.org/0000-0002-9141-6647>

Галина В. Волкова / Galina V. Volkova <http://orcid.org/0000-0002-3696-2610>