

Корневая гниль яровой пшеницы в условиях Зауралья, варианты оперативной защиты

А. Ю. Кекало[✉], В. В. Немченко

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

[✉]E-mail: alena.kekalo@mail.ru

Аннотация. Корневая гниль – это вредоносное и широко распространенное заболевание злаковых культур. В условиях Урала, Сибири, Северного Казахстана ее возбудителями являются различные виды грибов рода *Fusarium* и гриб *Bipolaris sorokiniana*. Цель данного исследования – сравнительное определение эффективности микробиологической, химической и комбинированной защиты семян пшеницы яровой. Полевые эксперименты проводились на опытном поле Курганского НИИСХ – филиала ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН (Курганская область РФ, южная лесостепь) в 2019, 2021, 2022 гг. Научная новизна заключается в определении конкурентоспособности различных способов защиты семян пшеницы яровой в условиях Зауралья в рамках современной технологии возделывания. Методики использованы общепринятые в РФ. Результаты. В условиях практически ежегодного проявления негативных природных явлений для роста и развития растений (засухи, заморозки, резкие перепады температурного режима, суховеи и др.) использование протравителей семян бывает дополнительным стрессом для растений, наличие эффекта укорачивания подземного междоузлия может негативно сказаться на полевой всхожести культуры. Для снижения этих рисков, а также пестицидной нагрузки рекомендуем использование комбинированного метода защиты семян. Он включает в себя применение смеси бактериального фунгицида на основе *Bacillus subtilis* с химическим протравителем в половинной норме расхода. При этом сохраняется уровень контроля фитопатогенов, отсутствует ретардантный эффект и хозяйственная эффективность не уступает уровню применения двухкомпонентного химического протравителя семян (113–114 %). Химзащита семян снижала развитие возбудителей корневой гнили на 63–72 %. Использование комбинированной защиты обеспечило хороший контроль фитопатогенов, в том числе доминирующих фузариевых грибов. Преобладающими видами из рода *Fusarium* являлись высокоопасные *F. oxysporum*, *F. graminearum*, *F. sporotrichioides*.

Ключевые слова: корневая гниль, фитопатогены, яровая пшеница, фунгициды, микробиологические препараты, биологическая эффективность

Благодарности. Исследования выполнены в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования по теме № 0532-2021-0002.

Для цитирования: Кекало А. Ю., Немченко В. В. Корневая гниль яровой пшеницы в условиях Зауралья, варианты оперативной защиты // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 08. С. 981–993. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-08-981-993>.

Дата поступления статьи: 12.02.2024, **дата рецензирования:** 02.05.2024, **дата принятия:** 28.05.2024.

Root rot of spring wheat in the Trans-Ural region, options for operational protection

A. Yu. Kekalo✉, V. V. Nemchenko

Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail: alena.kekalo@mail.ru

Агротехнологии

Abstract. Root rot is a harmful and widespread disease of cereal crops. In the conditions of the Urals, Siberia, and Northern Kazakhstan, its causative agents are various species of fungi of the genus *Fusarium* and the fungus *Bipolaris sorokiniana*. **The purpose** of this study was to comparatively determine the effectiveness of microbiological, chemical and combined protection of spring wheat seeds. Field experiments were carried out on the experimental field of the Kurgan Scientific Research Institute of Agriculture – branch of the Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Kurgan SRIA – branch of FSBSI UrFASRC, UrB of RAS) in 2019, 2021, 2022. **Scientific novelty** lies in the determining the competitiveness of various methods of protecting spring wheat seeds in the conditions of the Trans-Urals within the framework of modern cultivation technology. **The methods** used are generally accepted in the Russian Federation. **Results.** In conditions of almost annual occurrence of negative natural phenomena for the growth and development of plants (droughts, frosts, sudden changes in temperature, dry winds, etc.), the use of seed treaters can be an additional stress for plants; the presence of the effect of shortening the underground internode can negatively affect field germination culture. To reduce these risks, as well as the pesticide load, we recommend using a combined method of seed protection. It involves the use of a mixture of a bacterial fungicide based on *Bacillus subtilis* with a chemical disinfectant at half the consumption rate. At the same time, the level of control of phytopathogens is maintained, there is no retardant effect, and economic efficiency is not inferior to the level of using a two-component chemical seed protectant (113–114 %). Chemical protection of seeds reduced the development of root rot pathogens by 63–72 %. The use of combined protection provided good control of phytopathogens, including the dominant fungi *Fusarium*. The predominant species from the genus *Fusarium* were the highly dangerous *F. oxysporum*, *F. graminearum*, *F. sporotrichioides*.

Keywords: root rot, phytopathogens, spring wheat, fungicides, microbiological preparations, biological effectiveness

Acknowledgments. The research was carried out within the framework of the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education on topic No. 0532-2021-0002.

For citation: Kekalo A. Yu., Nemchenko V. V. Root rot of spring wheat in the Trans-Ural region, options for operational protection. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (08): 981–993. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-08-981-993>. (In Russ.)

Date of paper submission: 12.02.2024, **date of review:** 02.05.2024, **date of acceptance:** 28.05.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

По площадям заражения фитопатогенами яровых зерновых культур в последнее десятилетие корневая гниль занимала второе место в Уральском ФО (105–233 тыс. га – по данным Россельхозцентра РФ), уступая только бурой ржавчине, и четвертое место в России (556–945 тыс. га) [1].

Ситуация с почвенными фитопатогенами особенно неблагоприятна в регионах, подверженных гидротермическим стрессам, которые снижают устойчивость растений к инфицированию микромицетами, угнетают супрессирующую активность почвенной микробиоты [2; 3]. По результатам наших ранее проведенных исследований потери уро-

жая пшеницы от корневой гнили в годы с острой засухой (ГТК вегетационного периода 0,32–0,34) составили 22 %, а при умеренно-засушливых и удовлетворительных условиях периода вегетации (ГТК 0,7–1,1) – 11–13 % [4].

Корневая гниль – это хроническая форма заболевания, главный «дом» возбудителей этой болезни – почва, а семена – дополнительный фактор передачи. В условиях УрФО, Сибири, Северного Казахстана распространена гельминтоспориозно-фузариозная корневая гниль, первичными возбудителями являются различные виды грибов рода *Fusarium* и гриб *Bipolaris sorokiniana* [4–7].

Поскольку факторами передачи возбудителей корневой гнили пшеницы являются не только почва, но и семена, их необходимо подвергать фитопатологической экспертизе [8].

По данным Россельхозцентра, многолетние результаты фитоэкспертизы свидетельствуют о том, что в нашей стране 98 % семян зерновых яровых культур заражены в той или иной степени грибами и бактериями (от 2171 до 2983 тыс. тонн в период с 2019 по 2022 гг.). Общий средневзвешенный процент заражения семян зерновых культур составил 32. Кариопсы злаковых культур были заражены фузариозом на 50 %, гельминтоспориозом – на 67 %, бактериозом – на 15 %, септориозом – на 13 %. Факультативными сапрофитами грибами рода *Alternaria* и плесенями заселено 89 и 64 % обследованных семян соответственно [1].

Обязательным и часто сложным объектом контроля являются грибы рода *Fusarium*. Большинство их могут существовать как сапротрофы и на живых растениях, и на их растительных остатках. Данные микромицеты играют важную роль в биоценоотическом круговороте, участвуя в процессах деградации целлюлозы, лигнина и других субстратов. Однако растительные остатки всех культур на поверхности почвы, которые восприимчивы к ним, являются одним из основных источников инфекции [9–12].

По данным ВИЗР, в Уральском регионе доминирующими видами в комплексе грибов рода *Fusarium* на зерновых злаковых культурах являются *F. sporotrichioides*, *F. avenaceum*, *F. poae* и *F. anguoides*. Они являются токсинопродуцентами (НИВ, ДАС, Т-2, МОН, ФУМ) и требуют пристального внимания и контроля. *Fusarium graminearum* и его микотоксин дезоксиниваленол (ДОН) часто встречаются в микобиоте зерна зерновых культур на территории, как Урала, так и Западной Сибири. Обнаружены также редкие на азиатской территории России виды грибов (*F. langsethiae* и *F. sibiricum*) в Курганской и Кемеровской областях [8].

Профессор Е. Ю. Торопова с соавторами указывают на то, что в семенном и продовольственном зерне яровой пшеницы в Западной Сибири выявлено высокое (близкое к 100 %) распространение грибов рода *Fusarium*. Из семян яровой пшеницы выделяли следующие виды грибов этого рода: *F. sporotrichioides*, *F. equiseti*, *F. oxysporum*, *F. culmorum*, *F. solani*, *F. heterosporum*, *F. acuminatum* и др. Около половины партий были инфицированы более критичных 10 % [11].

В составе патоконплекса корневой гнили пшеницы находится также гриб *Bipolaris sorokiniana*. Тяжелые инфекции этого патогена в корнях и стебле проростков могут привести к гибели растений. Он может вызывать также пятнистости листьев, увядание, черноту зародыша у культур. Гриб имеет очень широкий спектр хозяев, поскольку может поражать

пшеницу, ячмень, кукурузу, рис – всего более 60 видов мятликовых. Этот фитопатоген накапливает несколько токсинов, убивающих или ослабляющих клетки растений [13].

Постоянным представителем микробиоты зерновок злаковых культур являются грибы рода *Alternaria*. Отношение к ним специалистов по защите растений неоднозначное, но в целом большинство экспертов сходятся во мнении, что мониторинг заражения зерна грибами *Alternaria* всегда актуален, поскольку эти организмы способны продуцировать микотоксины, негативно влияющие на потребителей зерна. Учитывая это, следует брать во внимание данный род грибов как потенциально вредоносный [14; 15].

Практически всегда на кариопсах пшеницы присутствуют, помимо грибов, также бактерии. Они могут быть как патогенными, так и симбиотическими. Опасными для злаковых растений являются возбудители базального и черного бактериоза (*Pseudomonas syringae* pv. *atrovaciens*, *Xanthomonas campestris* pv. *translucens*) [8].

Контроль развития и распространения корневой гнили в настоящее время основан на химическом методе, в частности протравливании семенного материала фунгицидными препаратами. Перечень их, разрешенных к применению в РФ, достаточно широк. Только на основе тебуконазола (в соло-варианте и в многосоставных препаратах) более 50 торговых марок [16].

По данным Л. Д. Гришечкиной с соавторами, эффективность современных протравителей семян против корневых гнилей (как однокомпонентных препаратов, так и многосоставных) находится в пределах 50–75 %, а контроль плесневения – до 50 % [17]. В исследованиях В. В. Чекмарева с соавторами установлено, что наибольшей (91,5 %) биологической эффективностью в отношении корневых гнилей, вызываемых видами грибов *Microdochium nivale*, *Fusarium oxysporum*, *F. sambucinum*, *F. semitectum* и *F. tricinctum*, обладал препарат «Кинто дуо». Препараты «Виал ТТ», «Витарос», «Иншур Перформ», «Максим», «Максим экстрим», «Премис Двести», «Раксил» и «Систива» снижали уровень развития корневых гнилей на 72,8–83,6 %. Эффективность фунгицидов «Винцит», «Витавакс 200 ФФ», «Дивиденд стар» и «Фундазол» составила 64,1–69,4 %. Развитие корневых гнилей в контроле варьировало от 45,0 до 57,5 %. Существует необходимость дальнейшего проведения скрининга фунгицидов и их баковых композиций для выявления наиболее эффективных средств для контроля развития фузариозов зерновых культур [18].

Заразное начало часто преобладающих грибов рода *Fusarium* сохраняется в почве, на растительных остатках, семенах. Полностью устойчивых к данному заболеванию сортов пшеницы пока не

создано. Научные данные в различных регионах нашей страны свидетельствуют о том, что не все протравители семян способны полностью ингибировать развитие фузариевых грибов, вызывающих корневую гниль пшеницы [19].

Значительное применение пестицидов в современных технологиях возделывания пшеницы имеет, помимо положительных результатов, также негативные экологические последствия. Поэтому современные тенденции развития области защиты растений направлены на использование препаратов на основе живых культур микроорганизмов. Обладающие данными свойствами препараты наравне с химическими должны быть востребованы в современных технологиях интенсивного растениеводства с включением адаптивно-интегрированной системы защиты растений [20–23].

Микробиологические препараты позиционируются как относительно безопасные для окружающей среды по сравнению с продуктами химической природы, используемыми для защиты растений. Кроме того, биопрепараты, как правило, дешевле, что делает их привлекательнее для растениеводов. Однако следует учитывать, что результативность биологического метода не столь явна и стабильна, как химзащиты. Применение биосредств требует четкого соблюдения определенных условий для проявления их положительного действия и обязательно системного подхода.

Наиболее жизнеспособным вариантом защиты растений считаем комбинированное использование методов био- и химзащиты с базированием на агротехническом и иммунологическом методах системы контроля вредных организмов. Целью данного исследования являлось сравнительное определение эффективности микробиологической, химической и комбинированной защиты семян пшеницы яровой.

Методология и методы исследования (Methods)

Лабораторные исследования проводили в Курганском НИИСХ – филиале ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Использовали естественно зараженные семена яровой пшеницы сорта Омская 36. Варианты с фунгицидными композициями включали биофунгицид «Фитоспорин-М, Ж» 1 л/т (*Bacillus subtilis*, штамм 26Д); однокомпонентные протравители «Бункер» 0,5 л/т (тебуконазол 60 г/л), «Премис Двести» 0,2 л/т (трипиконазол 200 г/л), «Максим» 2 л/т (флудиоксонил 25 г/л), ТМТД 3 л/т (тирам 400 г/л), «Зим 500» 1,2 л/т (карбендазим 500 г/л); двухкомпонентные препараты «Дивиденд Экстрим» 0,8 л/т (дифеноконазол 92 г/л + мефеноксам 23 г/л), «Ламадор» 0,2 л/т (протиоконазол 250 г/л + тебуконазол 150 г/л), «Скарлет» 0,4 л/т (имазалил 100 г/л + тебуконазол 60 г/л), «Виал траст» 0,4 л/т (тиабендазол 80 г/л + тебуконазол 60 г/л), «Иншур перформ» 0,5 л/т (трипиконазол 80 г/л + пиракло-

стробин 40 г/л), «Оплот» 0,6 л/т (дифеноконазол 90 г/л + тебуконазол 45 г/л), а также контроль без обработки семенного материала. Семена на варианте комбинированной защиты протравливались баковой смесью препаратов «Фитоспорин-М, Ж» 1 л/т + «Бункер» 0,25 л/т.

Методики фитопатологических лабораторных и полевых исследований использованы стандартные. Фитопатологическая экспертиза семян – по ГОСТ 12044-93, методом рулонной культуры [24]. Биометрические показатели роста надземных органов и зародышевых корней определялись по методике Е. Ю. Тороповой [25]. Для проведения микологического анализа на органах яровой пшеницы образцы растений отбирали в фазе кущения и молочной спелости зерна с последующей инкубацией на среде Чапека. Идентификацию микроорганизмов проводили по культурально-морфологическим признакам. Для микроскопирования препаратов использовали оптический микроскоп «Биометод-2» (Camera Levenhuk C 310 NG).

Учеты развития корневой гнили в полевых опытах проводили летом в фазу 25 (середина кущения), пользуясь методикой В. А. Чулкиной, по 6-балльной шкале [25].

Почва опытного участка, на котором возделывали яровую пшеницу, – чернозем выщелоченный маломощный тяжелосуглинистый с $pH_{\text{вод}}$ от 5,5 до 5,7 и содержанием гумуса 4,8–5,7 %. Содержание подвижного P_2O_5 (по Чирикову) – 69–77 мг/кг почвы, обменного K_2O – 107–126 мг/кг почвы, нитратного азота $N-NO_3$ – от 13,2 до 15,9 мг/кг почвы.

Агротехника в опытах – широко используемая для возделывания яровой пшеницы в условиях южного Зауралья. Опыты закладывали на пшенице по пару в рамках трехпольного зернопарового севооборота. Повторность четырехкратная, размер опытных делянок составлял 20–22 м². Протравливание семян осуществляли из расчета 10 л рабочего раствора на тонну семян вручную. Сев яровой пшеницы проводился дисковой сеялкой ССФК-6, норма высева – 5,0 млн всхожих зерен на 1 га, способ посева рядовой, ширина междурядий – 21 см. Срок посева 22–28 мая. Уход за посевом в течение вегетации заключался в проведении химпрополки в фазу кущения культуры, фолиарной обработки фунгицидом, инсектицидом по необходимости. Убирали яровую пшеницу прямым поделяночным комбайнированием селекционным комбайном Sampo-130. Биологическую эффективность препаратов рассчитывали по формуле Аббота, хозяйственную эффективность – на основе величины сохраненного урожая в сравнении с контролем без обработки семян.

Полученные данные обрабатывались методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [26].

Влияние различных протравителей семян на состав микробиоты кариопсов пшеницы яровой, 2019, 2021, 2022 гг. (перед посевом, весна)

Вариант	Показатель	Микроорганизмы, заселяющие зерновку пшеницы							
		<i>Fusarium spp.</i>	<i>Bipolaris sorokiniana</i>	<i>Parastagonospora nodorum</i>	<i>Pseudomonas spp.</i>	<i>Penicillium spp.</i>	<i>Alternaria spp.</i>	Всего фитопатогенов	Всего прочих
Контроль без обработки семян	Процент зараженности семян	11,6	0,4	2,9	4,6	10,4	21,7	19,5	21,3
Биологический фунгицид*	Процент зараженности семян	11,3	0,0	1,3	1,3	11,7	21,7	13,9	19,5
	Биологическая эффективность, %	3	100	55	77	-13	0	29	9
1/2 нормы расхода химического препарата + биофунгицид на основе сенной палочки	Процент зараженности семян	2,0	0,0	1,0	1,8	3,9	11,6	4,8	15,5
	Биологическая эффективность, %	82	100	97	76	63	47	75	27
Однокомпонентные химические препараты**	Процент зараженности семян	3,5	0,0	0,9	3,6	6,0	5,9	7,2	12,7
	Биологическая эффективность, %	70	100	70	22	42	73	63	40
Двухкомпонентные химические препараты***	Процент зараженности семян	2,1	0,0	1,4	3,2	3,0	4,8	6,7	7,8
	Биологическая эффективность, %	82	100	52	30	71	78	66	63

Примечание. * «Фитоспорин-М, Ж» 1 л/т; ** среднее по препаратам «Бункер» 0,5 л/т, «Максим» 2 л/т; ТМТД 3 л/т, «Зим 500» 1,2 л/т; *** среднее по препаратам «Дивиденд Экстрим» 0,8 л/т, «Ламадор» 0,2 л/т, «Скарлет» 0,4 л/т, «Виал траст» 0,4 л/т, «Иншур перформ» 0,5 л/т, «Оплот» 0,6 л/т.

Table 1
The influence of various disinfectant on the composition of the microbiota of spring wheat caryops, 2019, 2021, 2022 (before sowing, spring)

Option	Index	Microorganisms colonizing wheat grains							
		<i>Fusarium spp.</i>	<i>Bipolaris sorokiniana</i>	<i>Parastagonospora nodorum</i>	<i>Pseudomonas spp.</i>	<i>Penicillium spp.</i>	<i>Alternaria spp.</i>	Total phytopathogens	All others
Control without seed treatment	Percentage of seed contamination	11.6	0.4	2.9	4.6	10.4	21.7	19.5	21.3
Biological fungicide*	Percentage of seed contamination	11.3	0.0	1.3	1.3	11.7	21.7	13.9	19.5
	Biological effectiveness, %	3	100	55	77	-13	0	29	9
1/2 the consumption rate of a chemical product + biofungicide	Percentage of seed contamination	2.0	0.0	1.0	1.8	3.9	11.6	4.8	15.5
	Biological effectiveness, %	82	100	97	76	63	47	75	27
One-component chemical disinfectant**	Percentage of seed contamination	3.5	0.0	0.9	3.6	6.0	5.9	7.2	12.7
	Biological effectiveness, %	70	100	70	22	42	73	63	40
Two-component chemical disinfectant***	Percentage of seed contamination	2.1	0.0	1.4	3.2	3.0	4.8	6.7	7.8
	Biological effectiveness, %	82	100	52	30	71	78	66	63

Note. * «Fitosporin-M, Zh» 1 l/t; ** average for the preparations «Bunker» 0.5 l/t, «Maksim» 2 l/t; TMTD 3 l/t, «Zim 500» 1.2 l/t; *** average for the disinfectant «Dividend Extrim» 0.8 l/t, «Lamador» 0.2 l/t, «Skarlet» 0.4 l/t, «Vial trast» 0.4 l/t, «Inshur perform» 0.5 l/t, «Oplot» 0.6 l/t.

Результаты (Results)

В лабораторных условиях проводилось определение эффективности химических и биологических препаратов для предпосевной обработки семян, впоследствии исследуемые объекты оценивались в полевых условиях.

В среднем за годы исследований зараженность элитных семян яровой пшеницы возбудителями корневой гнили составила 19,5 %, преобладали фузариевые грибы. Условно патогенными грибами из рода *Alternaria* было заражено 21,7 % кариопсов, плесенями – 10,4 % (таблица 1).

Химзащита семян снижала развитие фитопатогенов на 63–66 %. Условно-патогенные грибы рода *Alternaria* контролировались на 73–78 %. При использовании однокомпонентных фунгицидов был ослаблен контроль плесневых грибов (биоэффективность – 42 %), обработка семян двухкомпонентными продуктами была результативнее (71 %).

Фузариевые грибы угнетались фунгицидами химической природы на 70–82 %, также лучше при обработке препаратами на основе двух действующих веществ. Биологический фунгицид на основе сенной палочки был малоэффективен в условиях

лаборатории (29 % по группе фитопатогенов). Использование бактериального препарата совместно с половинной нормой химического протравителя обеспечило дополнительную защиту семени, в том числе от доминирующих фузариевых грибов. Он также достаточно результативно сдерживал бактериальную инфекцию (77 %), вызывающую загнивание проростков. Для химических фунгицидов бактерии не являются целевым объектом, только у некоторых из них может отмечаться бактерицидное действие (тирам, например). В нашем исследовании химические препараты в среднем не оказывали значимого влияния на данный компонент микробиоты зерна (22–30 %).

Лабораторная всхожесть семян составила на контроле 87,8 %. Увеличение показателя на 5,6 процентных пункта (п. п.) отмечалось на варианте с биозащитой и на 2,8 п. п. – при использовании смеси биологического и химического фунгицидов. Обработка однокомпонентными химическими препаратами снизила показатель на 2,7 п. п., фунгициды на основе двух действующих веществ не оказали влияния на показатель (таблица 2).

Таблица 2
Влияние изучаемых препаратов на биометрические параметры корневой системы и роста пшеницы яровой в лабораторных условиях, 2019, 2021, 2022 гг.

Вариант	Всхожесть, %	Корень		Колеоптиле		Росток	
		Количество, шт.	Длина, см	Длина, см	+/- к контролю	Длина, см	+/- к контролю
Контроль без обработки	87,8	4,7	9,8	5,2	–	10,3	–
Биофунгицид	93,4	4,8	12,2	5,7	0,5	11,9	1,6
1/2 нормы расхода химического препарата + биофунгицид	90,6	4,7	9,9	4,1	-1,0	10,4	0,1
Однокомпонентный химический фунгицид	85,1	4,7	10,3	4,4	-0,8	10,3	0,0
Двухкомпонентный химический фунгицид	88,7	4,7	9,1	3,9	-1,3	9,6	-0,7
НСР ₀₅		0,86	2,03		1,03		0,97

Table 2
The influence of the studied disinfectant on the biometric parameters of the root system and seedlings of spring wheat in laboratory conditions, 2019, 2021, 2022

Option	Seed germination, %	Root		Coleoptile		Wheat sprout	
		Quantity	Length, cm	Length, cm	+/- to control	Length, cm	+/- to control
Control without seed treatment	87.8	4.7	9.8	5.2	–	10.3	–
Biological fungicide	93.4	4.8	12.2	5.7	0.5	11.9	1.6
1/2 the consumption rate of a chemical product + biofungicide	90.6	4.7	9.9	4.1	-1.0	10.4	0.1
One-component chemical disinfectant	85.1	4.7	10.3	4.4	-0.8	10.3	0.0
Two-component chemical disinfectant	88.7	4.7	9.1	3.9	-1.3	9.6	-0.7
Smallest significant difference	–	0.86	2.03		1.03		0.97

Влияние протравителей семян на параметры корневой системы пшеницы яровой в фазу кущения, 2019, 2021, 2022 гг.

Вариант	Средняя длина корней, см	Масса корней с растения	
		Граммов	% к контролю
Контроль без обработки семян	8,1	0,18	–
Биофунгицид	7,3	0,22	22
1/2 нормы расхода химического препарата + биофунгицид	7,6	0,21	17
Однокомпонентный фунгицид	8,4	0,22	19
Двухкомпонентный фунгицид	8,5	0,22	19

Table 3

The influence of disinfectants on the parameters of the root system of spring wheat during the tillering phase, 2019, 2021, 2022

Option	Average root length, cm	Weight of roots per plant	
		Grams	% to control
Control without seed treatment	8.1	0.18	–
Biological fungicide	7.3	0.22	22
1/2 the consumption rate of a chemical product + biofungicide	7.6	0.21	17
One-component chemical disinfectant	8.4	0.22	19
Two-component chemical disinfectant	8.5	0.22	19

Определение биометрических параметров проростков пшеницы в лабораторных условиях показало, что химические препараты вызывали укорачивание coleoptile на 0,8–1,3 см, при использовании для обработки семян биологического фунгицида такого не наблюдалось (таблица 2). Прирост линейных размеров надземной и подземной частей пшеницы обеспечил только биофунгицид.

Поскольку возбудители корневой гнили – это почвенные обитатели, то важно знать фитосанитарный статус пахотного слоя на поле, где возделываются восприимчивые культуры. Для установления статуса почвы опытного участка были отобраны почвенные образцы в слое 0–10 см.

Результаты учета распространения почвенных микроорганизмов показали, что микробоценоз чернозема выщелоченного был представлен различными группами микроскопических организмов: грибы – 5,5 тыс. КОЕ/г почвы, бактерии – 2,2 млн КОЕ/г почвы. Среди грибов присутствовали представители родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, преобладали плесени. Супрессивность почвы в отношении *Bipolaris sorokiniana* составила 52 %, а фузариевых грибов – 55 %. Почву можно характеризовать, как среднесупрессивную по шкале профессора Е. Ю. Тороповой, представленную в работе Ю. Я. Спиридонова с соавторами [27].

Экологическая ниша грибов рода *Fusarium spp.* на зерновых культурах достаточно широка, затрагивает надземные, подземные, генеративные органы и почву, что дает возможность поддерживать стабильно высокую популяцию. По данным сибирских ученых, на зерновых культурах ежегодно паразитируют более 10 видов рода *Fusarium spp.*, среди которых наиболее распространены *F. equiseti*,

F. oxysporum, *F. solani*, *F. sporotrichioides* [12]. По данным специалистов ВИЗР, в Уральском регионе доминирующими видами в комплексе грибов рода *Fusarium* на зерновых злаковых культурах являются *F. sporotrichioides*, *F. poae* и *F. avenaceum* [8].

По итогам нашего исследования на яровой пшенице в фазе кущения основным видом из рода *Fusarium* был возбудитель трахеомикозного увядания культур *F. oxysporum* (98 %), встречались также *F. sporotrichioides*, *F. graminearum* (34, 40 %), *F. poae*, *F. proliferatum*, *F. heterosporum*, *F. avenaceum* (6–12 %). В фазе молочно-восковой спелости представленность видов уменьшилась, но преобладающими остались также высоко опасные *F. oxysporum*, *F. graminearum*, *F. sporotrichioides* (встречаемость 65, 34 и 7 % соответственно).

В годы исследований развитие растений в полевых условиях проходило при различных уровнях влагообеспеченности и температурных режимах, что влияло на уровень поражения корневой гнилью. В 2019 году кущение пшеницы проходило при пониженных температурах (–2,3 °С) и увлажнении ниже нормы. Развитие корневой гнили составило до 32,3 %, признаки поражения наблюдались у 96 % растений. Погодные условия вегетации 2021 года характеризовались крайне неравномерным распределением гидротермических ресурсов и в целом были малоблагоприятны для роста и развития растений. В мае и июне практически не было продуктивных осадков (ГТК 0,02 и 0,14 соответственно), что привело к угнетению растений и поражению их почвенными фитопатогенами (до 12,1 %). Погодные условия в мае 2022 года были близкими к среднегодовым значениям. Июнь отличался недобором тепла, колебаниями дневных и ноч-

ных температур воздуха и хорошим увлажнением (82,6 мм, или 169 %), поражение растений коревой гнилью не превышало 6,5 %.

Влияние протравителей семян на биометрические показатели растений пшеницы в фазу кущения представлено в таблице 3. Масса корней увеличивалась при использовании мер защиты семян на 17–22 %, результативнее на варианте с биопрепаратом. При этом средняя длина корней была меньше на вариантах с биосредствами (–0,5...–0,8 к контролю).

В развитии надземной части растений пшеницы на вариантах с обработкой семян отмечались положительные изменения в высоте растений, длине и ширине листьев, а также в увеличении массы. Защищенные растения формировали на 19–34 % большую массу, особенно выделялся вариант с биологическим фунгицидом (таблица 4).

Степень поражения пшеницы болезнью в условиях естественного инфекционного фона при посеве непротравленными семенами (контроль) составляла в среднем за годы исследований 20 %, признаки поражения наблюдались у 69 % растений (таблица 5). Распространенность корневой гнили на вариантах с мерами защиты снижалась до 30–46 %, результативнее при использовании химического метода.

Полевая всхожесть семян пшеницы яровой на контроле без обработки составила 68 %, что на 19,8 п. п. меньше, чем лабораторный показатель. Негативно сказались как малоблагоприятные ги-

дротермические условия периодов прорастания (особенно в 2019 и 2021 гг.), так и зараженность фитопатогенами. На вариантах с мерами защиты отмечено повышение показателя до 72–73 %.

Показатели контроля корневой гнили пшеницы имели отличия при использовании разных методов защиты (химического, биологического, комбинированного). Биологическая эффективность химических протравителей семян составила 60–72 %, выше при использовании поликомпонентных препаратов. На варианте биологической защиты семян снижение развития корневой гнили составило 63 %, что на уровне с однокомпонентными химическими фунгицидами и вариантом со смесью бактериального препарата и половинной нормы расхода химического протравителя (таблица 5).

Урожайность яровой пшеницы на контроле без средств защиты за годы исследований составила 18,3 ц/га. Теснота корреляционной зависимости между развитием корневой гнили и урожайностью пшеницы яровой характеризовалась по шкале Чеддока как высокая обратная ($r = -0,908$).

Обработка семенного материала фунгицидами способствовала достоверному сохранению 1,5–2,5 ц/га урожая культуры (таблица 6). По хозяйственной эффективности биофунгицид был равнозначен с однокомпонентным химическим протравителем (108–109 %), а применение комбинированного метода защиты семян – двухкомпонентному протравителю (113–114 %).

Таблица 4
Влияние протравителей семян на рост и развитие надземной части пшеницы в фазу кущения, 2019, 2021, 2022 гг.

Вариант	Высота растения, см	Средняя длина листа, см	Средняя ширина листа, см	Масса надземной части растения	
				Граммов	% к контролю
Контроль без обработки семян	35,1	18,4	0,5	1,35	–
Биофунгицид	36,3	18,7	0,6	1,80	34
1/2 нормы расхода химического препарата + биофунгицид	36,0	19,3	0,6	1,63	21
Однокомпонентный фунгицид	39,3	19,5	0,6	1,63	21
Двухкомпонентный фунгицид	37,5	19,0	0,6	1,61	19

Table 4
The influence of disinfectants on the growth and development of the aboveground part of wheat during the tillering phase, 2019, 2021, 2022

Option	Plant height, cm	Average leaf length, cm	Average sheet width, cm	Weight of the above-ground part of the plant	
				Grams	% to control
Control without seed treatment	35.1	18.4	0.5	1.35	–
Biological fungicide	36.3	18.7	0.6	1.80	34
1/2 the consumption rate of a chemical product + biofungicide	36.0	19.3	0.6	1.63	21
One-component chemical disinfectant	39.3	19.5	0.6	1.63	21
Two-component chemical disinfectant	37.5	19.0	0.6	1.61	19

Таблица 5

Влияние фунгицидных протравителей семян на полевую всхожесть и пораженность растений пшеницы яровой корневой гнилью в фазу кущения, 2019, 2021, 2022 гг.

Показатели	Вариант				
	Контроль без обработки	Биофунгицид	Биофунгицид + ½ нормы хим. препарата	Однокомпонентный фунгицид	Двухкомпонентный фунгицид
Полевая всхожесть, %	68	73	72	73	72
Развитие корневой гнили, %	20,0	7,5	7,4	8,1	5,6
Биологическая эффективность препарата, %	–	63	63	60	72
Распространенность корневой гнили, %	69	46	46	40	35

Table 5

The influence of fungicidal disinfectants on field germination and infection of wheat plants by spring root rot during the tillering phase, 2019, 2021, 2022

Indicators	Option				
	Control without seed treatment	Biological fungicide	1/2 the consumption rate of a chemical product + biofungicide	One-component chemical disinfectant	Two-component chemical disinfectant
Field germination, %	68	73	72	73	72
Development of root rot, %	20,0	7,5	7,4	8,1	5,6
Biological effectiveness, %	–	63	63	60	72
Prevalence of root rot, %	69	46	46	40	35

Таблица 6

Влияние фунгицидных различных протравителей семян на урожайность пшеницы яровой, 2019, 2021, 2022 гг.

Показатели	Вариант				
	Контроль без обработки	Биофунгицид	биофунгицид + ½ нормы химпрепарата	Однокомпонентный фунгицид	Двухкомпонентный фунгицид
Урожайность, ц/га	18,3	20,0	20,7	19,8	20,8
Прибавка урожайности к контролю, ц/га	–	1,7	2,4	1,5	2,5
Хозяйственная эффективность препарата, %	–	109	113	108	114
НСР ₀₅	1,17				

Table 6

The influence of fungicidal seed protectants on the yield of spring wheat, 2019, 2021, 2022

Indicators	Option				
	Control without seed treatment	Biological fungicide	Biofungicide + 1/2 the consumption rate of a chemical product	One-component chemical drugs	Two-component chemical drugs
Productivity, dt/ha	18.3	20,0	20,7	19,8	20,8
Yield increase, dt/ha	–	1,7	2,4	1,5	2,5
Drug effectiveness, %	–	109	113	108	114
LSD ₀₅	1.17				

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Возбудителями корневой гнили пшеницы в условиях южной лесостепи Зауралья являлись грибы, преимущественно из рода *Fusarium*, а также *Bipolaris sorokiniana*. Семенной материал пшеницы яровой был заражен ими на 19,5 %, условно-патогенными грибами из рода *Alternaria* – на 21,7 %, плесенями – на 10,4 %.

Лабораторная всхожесть семян существенно увеличивалась на вариантах с биологической и комбинированной защитой (+5,6 и 2,8 п. п. соответственно). Обработка однокомпонентными химическими препаратами снизила показатель на 2,7 п. п., фунгициды на основе двух действующих веществ не оказали влияния на показатель. В полевых условиях густота всходов увеличивалась с 68 % на контроле до 72–73 % на вариантах с мерами защиты.

Химические протравители семян способствовали укорачиванию coleoptile на 0,8–1,3 см, при использовании для обработки семян биологического фунгицида такого не наблюдалось. Прирост линейных размеров надземной и подземной частей пшеницы обеспечил только биофунгицид на основе сенной палочки.

Показатели контроля корневой гнили пшеницы в полевых условиях имели отличия при использовании разных методов защиты (химического, биологического, комбинированного). Биологическая эффективность химических протравителей семян составила 60–72 %, выше при использовании поликомпонентных препаратов. На варианте биологи-

ческой защиты семян снижение развития корневой гнили составило 63 %, что на уровне с однокомпонентными химическими фунгицидами и со смесью бактериального препарата с половинной нормой расхода химического протравителя.

В фазе кущения на яровой пшенице основным видом из рода *Fusarium* был возбудитель трахеомикозного увядания культур *F. oxysporum* (98 %). В фазе молочно-восковой спелости представленность видов уменьшилась, но преобладающими остались также высокоопасные *F. oxysporum*, *F. graminearum*, *F. sporotrichioides*.

В условиях южной лесостепи Зауралья практически ежегодно отмечаются негативные для роста и развития растений природные явления (засухи, заморозки, резкие перепады температурного режима и др.). Использование протравителей семян бывает дополнительным стрессом для растений, наличие эффекта укорачивания подземного междоузлия может негативно сказаться на полевой всхожести культуры. Для снижения этих рисков, а также пестицидной нагрузки рекомендуем использование комбинированного метода защиты семян, включающего в себя применение смеси фунгицида на основе бактерии *Bacillus subtilis* с химическим протравителем в половинной норме расхода. При этом определено, что сохраняется уровень контроля фитопатогенов, отсутствует ретардантный эффект, хозяйственная эффективность не уступает уровню применения двухкомпонентного химического протравителя семян (113–114 %).

Библиографический список

1. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в РФ [Электронный ресурс]. URL: <https://rosselhoscenter.com> (дата обращения: 15.12.2023).
2. Торопова Е. Ю., Кудрявцев А. Е., Стецов Г. Я., Селюк М. П. Фактологические критерии оценки здоровья сибирских почв // Агрохимия. 2020. № 5. С. 3–11. DOI: 10.31857/S0002188120050166.
3. Toropova E. Yu., Glinushkin A. P., Insebaeva M. K., Stetsov G. Ya. The conidia *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem. distribution in the soil of Altai and Kazakhstan arid regions // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1942. Article number 012078. DOI: 10.1088/1742-6596/1942/1/012078.
4. Кекало А. Ю., Немченко В. В., Заргарян Н. Ю., Филиппов А. С., Козлова Т. А. Современный подход к вопросу защиты пшеницы от болезней и вредителей // Земледелие. 2020. № 5. С. 41–45.
5. Торопова Е. Ю., Воробьева И. Г., Мустафин М. А., Селюк М. П. Грибы рода *Fusarium* в Западной Сибири // Защита и карантин растений. 2019. № 1. С. 20–23.
6. Торопова Е. Ю., Воробьева И. Г., Стецов Г. Я. [и др.] Фитосанитарный мониторинг и контроль фитопатогенов яровой пшеницы // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35, № 6. С. 25–32. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10605.
7. Здрожевская С. Д., Гришечкина Л. Д. Влияние погодных условий на эффективность протравителей // Защита и карантин растений. 2019. № 2. С. 11–12.
8. Гаврилова О. П., Гагкаева Т. Ю., Орина А. С., Гогина Н. Н. Разнообразие грибов рода *Fusarium* и их микотоксинов в зерне из азиатской части России // Микология и фитопатология. 2022. Т. 56, № 3. С. 194–206.
9. Гаврилова О. П., Орина А. С., Гогина Н. Н., Гагкаева Т. Ю. Проблема фузариоза зерна в Зауралье: ретроспектива исследований и современная ситуация // Аграрный вестник Урала. 2020. № 7 (198). С. 29–40. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-198-7-29-40.
10. Домрачева Л. И., Фокина А. И., Скугорева С. Г., Ашихмина Т. Я. Почвенные грибы рода *Fusarium* и их метаболиты: опасность для биоты, возможность использования в биотехнологии (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 1. С. 6–15.

11. Торопова Е. Ю., Воробьева И. Г., Мустафина М.А., Селюк М. П. Мониторинг грибов рода *Fusarium* Link. и их микотоксинов на зерне пшеницы в Западной Сибири // *Агрехимия*. 2019. № 5. С. 76–82.
12. Торопова Е. Ю., Селюк М. П., Воробьева И. Г. Динамика и механизмы колонизации колосьев яровой пшеницы фитопатогенными микромицетами // *Успехи медицинской микологии*. 2023. Т. 25. С. 448–452.
13. Торопова Е. Ю., Сухомлинов В. Ю., Кириченко А. А., Пискарев В. В. Паразитирование *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem. в системе органов сортов яровой пшеницы в северной лесостепи Приобья // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2022. № 1 (62). С. 76–87. DOI: 10.31677/2072-6724-2022-62-1-76-87.
14. Орина А. С., Гаврилова О. П., Гагкаева Т. Ю., Ганнибал Ф. Б. Микромицеты *Alternaria* spp. и *Bipolaris sorokiniana* и микотоксины в зерне, выращенном в Уральском федеральном округе // *Микология и фитопатология*, 2020. Т. 54, № 5. С. 365–377. DOI: 10.31857/S0026364820050086.
15. Орина А. С., Гаврилова О. П., Гагкаева Т. Ю., Гогина Н. Н. Контаминация зерна в Западной Сибири грибами *Alternaria* и их микотоксинами // *Вестник защиты растений*. 2021. Т. 104, № 3. С. 153–162. DOI: 10.31993/2308-6459-2021-104-3-15019.
16. Список пестицидов и агрохимикатов разрешенных к применению на территории Российской Федерации 2022 год // Приложение к журналу «Защита и карантин растений». 2022. № 4.
17. Гришечкина Л. Д. Фунгициды для защиты пшеницы яровой от семенной и почвенной инфекции // *Защита и карантин растений*. 2022. № 3. С. 13–17. DOI: 10.47528/1026-8634_2022_3_13.
18. Чекмарев В. В., Бучнева Г. Н., Корабельская О. И., Дубровская Н. Н., Гусев И. В. Влияние фунгицидов на развитие возбудителей корневых гнилей пшеницы фузариозной этиологии в условиях *in vivo* // *Advances in Science and Technology: сборник статей XV международной научно-практической конференции*. Москва, 2018. 272 с.
19. Чекмарев В. В. Фузариозная корневая гниль пшеницы и контроль развития заболевания // *The Scientific Heritage*. 2020. № 57-1. С. 18–19. DOI: 10.24412/9215-0365-2020-57-1-18-19.
20. Tariq M., Khan A., Asif M., Khan F., Ansari T., Shariq M., Siddiqui M. Biological control: a sustainable and practical approach for plant disease management // *Acta Agriculturae Scandinavica B – Soil & Plant Science*. 2020. No. 70 (6). Pp. 507–524. DOI: 10.1080/09064710.2020.1784262.
21. Санин С. С. Защита растений и устойчивое земледелие в XXI столетии // *Защита и карантин растений*. 2020. № 4. С. 9–16.
22. Павлюшин В. А., Новикова И. И., Бойкова И. В. Микробиологическая защита растений в технологиях фитосанитарной оптимизации агроэкосистем: теория и практика // *Сельскохозяйственная биология*. 2020. № 3. С. 421–438 DOI: 10.15389/agrobiology.2020.3.421rus.
23. Власенко Н. Г., Павлюшин В. А., Теплякова О. И. Эффективность защиты яровой пшеницы биопрепаратами и фунгицидами в лесостепи Приобья: I. Первые результаты в экстремальных погодных условиях // *Вестник защиты растений*. 2021. № 4. С. 202–212. DOI: 10.31993/2308-6459-2021-104-4-15029.
24. ГОСТ 12044-93. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями. Москва: Стандартинформ, 2011. 209 с.
25. Фитосанитарная диагностика агроэкосистем: учебно-практическое пособие / В. А. Чулкина, Е. Ю. Торопова, Г. Я. Стецов [и др.] Барнаул: ГРАФИКС, 2017. 210 с.
26. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Альянс, 2011. 350 с.
27. Спиридонов Ю. Я. [и др.] Адаптивно-интегрированная защита растений. Москва: Печатный Город, 2019. 626 с.

Об авторах:

Алена Юрьевна Кекало, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-0802-1722, AuthorID 341054. *E-mail: alena.kekalo@mail.ru*

Владимир Васильевич Немченко, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-5324-6309, AuthorID 160275. *E-mail: nem.cad@mail.ru*

References

1. *Review of the phytosanitary state of agricultural crops in the Russian Federation* [Internet] [cited 2023 Dec 15]. Available from: <https://rosselhoscenter.com>. (In Russ.)

2. Toropova E. Yu., Kudryavtsev A. E., Stetsov G. Ya., Selyuk M. P. Factual criteria for assessing the health of Siberian soils. *Agrochemistry*. 2020; 5: 3–11. (In Russ.)
3. Toropova E. Yu., Glinushkin A. P., Insebaeva M. K., Stetsov G. Ya. The conidia *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem. distribution in the soil of Altai and Kazakhstan arid regions. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021; 1942: 012078. DOI: 10.1088/1742-6596/1942/1/012078.
4. Kekalo A. Yu., Nemchenko V. V., Zargaryan N. Yu., Filippov A. S., Kozlova T. A. A modern approach to the wheat protection from diseases and pests. *Zemledelie*. 2020; 5: 41–45. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10511. (In Russ.)
5. Toropova E. Yu., Vorob'eva I. G., Mustafina M. A., Selyuk M. P. Fungi of fusarium genus on wheat grains in Western Siberia. *Plant Protection and Quarantine*. 2019; 1: 20–23. (In Russ.)
6. Toropova E. Yu., Vorob'eva I. G., Stetsov G. Ya. Phytosanitary monitoring and control of spring wheat phytopathogens. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2021; 35 (6): 25–32. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10605. (In Russ.)
7. Zdrozhevskaya S. D., Grishechkina L. D. The influence of weather conditions on the effectiveness of disinfectants. *Plant Protection and Quarantine*. 2019; 2: 11–12. (In Russ.)
8. Gavrilova O. P., Gagkaeva T. Yr., Orina A. S., Gogina N. N. Diversity of Fusarium Species and Their Mycotoxins in Cereals Grain from the Asian Territory of Russia. *Mycology and Phytopathology*. 2022; 56 (3): 194–206. (In Russ.)
9. Gavrilova O. P., Orina A. S., Gogina N. N., Gagkaeva T. Yu. The problem of Fusarium head blight in the Trans-Urals region: the history and current situation. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020; 7: 29–40. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-198-7-29-40. (In Russ.)
10. Domracheva L. I., Fokina A. I., Skugoreva S. G., Ashihmina T. Ya. Two sides of soil fungi of the genus Fusarium and their metabolites: danger to biota and the possibility of use in biotechnology (review). *Theoretical and Applied Ecology*. 2021; 1: 6–15. (In Russ.)
11. Toropova E. Yu., Vorob'eva I. G., Mustafina M. A., Selyuk M. P. Monitoring of fungi of the genus Fusarium Link. and their mycotoxins on wheat grain in Western Siberia. *Agrochemistry*. 2019; 5: 76–82. (In Russ.)
12. Toropova E. Yu., Selyuk M. P., Vorob'eva I. G. Dynamics and mechanisms of colonization of spring wheat ears by phytopathogenic micromycetes. *Advances in Medical Mycology*. 2023; 25: 448–452. (In Russ.)
13. Toropova E. Yu., Sukhomlinov V. Yu., Kirichenko A. A., Piskarev V. V. Parasitization of *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem. in the organ system of spring wheat varieties in the northern forest-steppe of Priobye region. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2022; 1 (62): 76–87. DOI: 10.31677/2072-6724-2022-62-1-76–87. (In Russ.)
14. Orina A. S., Gavrilova O. P., Gagkaeva T. Yu., Gannibal F. B. Micromycetes *Alternaria* spp. and *Bipolaris sorokiniana* and Mycotoxins in the Grain from the Ural Region. *Mycology and Phytopathology*. 2020; 54 (5): 365–377. DOI: 10.31857/S0026364820050086. (In Russ.)
15. Orina A. S., Gavrilova O. P., Gagkaeva T. Yu., Gogina N. N. Contamination of grain in West Siberia by *Alternaria* fungi and their mycotoxins. *Plant Protection News*. 2021; 104 (3): 153–162. DOI: 10.31993/2308-6459-2021-104-3-15019. (In Russ.)
16. List of pesticides and agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation in 2022. *Supplement to the magazine Plant Protection and Quarantine*. 2022; 4. (In Russ.)
17. Grishechkina L. D. Fungicides for protecting spring wheat from seed and soil infections. *Plant Protection and Quarantine*. 2022; 3: 13–17. DOI: 10.47528/1026-8634_2022_3_13. (In Russ.)
18. Chekmarev V. V., Buchneva G. N., Korabel'skaya O. I., Dubrovskaya N. N., Gusev I. V. The influence of fungicides on the development of root rot pathogens of fusarium wheat under in vivo conditions. *Advances in Science and Technology: collection of articles from the XV international scientific and practical conference*. Moscow, 2018. 272 p. (In Russ.)
19. Chekmarev V. V. Fusarium root rot of wheat and disease development control. *The Scientific Heritage*. 2020; 57-1: 18–19. DOI: 10.24412/9215-0365-2020-57-1-18-19. (In Russ.)
20. Tariq M., Khan A., Asif M., Khan F., Ansari T., Shariq M., Siddiqui M., et al. Biological control: a sustainable and practical approach for plant disease management. *Acta Agriculturae Scandinavica B – Soil & Plant Science*. 2020; 70 (6): 507–524. DOI: 10.1080/09064710.2020.1784262.
21. Sanin S. S. Plant protection and sustainable agriculture in the XXI century. *Plant Protection and Quarantine*. 2020; 4: 9–16. (In Russ.)
22. Pavlyushin V. A., Novikova I. I., Bojkova I. V. Microbiological control in phytosanitary optimization technologies for agroecosystems: research and practice (review). *Agricultural Biology*. 2020; 3: 421–438. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.3.421rus. (In Russ.)

23. Vlasenko N. G., Pavlyushin V. A., Teplyakova O. I. Protection of spring wheat with biopreparations and fungicides in the forest steppe of Priobye: I. First results in extreme weather conditions. *Plant Protection News*. 2021; 4: 202–212. DOI: 10.31993/2308-6459-2021-104-4-15029. (In Russ.)

24. *GOST 12044-93. Agricultural seeds. Methods for Determining Disease Infestation*. Moscow: Standartinform, 2011. 209 p. (In Russ.)

25. Chulkina V. A., Toropova E. Yu., Stetsov G. Ya., et al. *Phytopathological Diagnostics of Agroecosystems*. Barnaul: GRAFIKS, 2017. 210 p. (In Russ.)

26. Dospekhov B. A. *Methodology of Field Experience (with the basics of statistical processing of research results)*. Moscow: Al'yans, 2011. 350 p. (In Russ.)

27. Spiridonov Yu. Ya., et al. *Adaptive-Integrated Plant Protection*. Moscow: Pechatnyy Gorod, 2019. 626 p. (In Russ.)

Authors' information:

Alena Yu. Kekalo, candidate of agricultural sciences, leading researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-0802-1722, AuthorID 1291-6540. *E-mail: alena.kekalo@mail.ru*

Vladimir V. Nemchenko, doctor of agricultural sciences, professor, chief researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-5324-6309, AuthorID 160275. *E-mail: nem.cad@mail.ru*