

Научная статья/Research Article

УДК 632

DOI: 10.36718/1819-4036-2026-6-118-129

Кристина Владимировна Кукушкина

КрасГАУ, Красноярск, Россия

Красноярский НИИ СХ – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

kristina_fenix92@mail.ru

СОРТОВЫЕ РАЗЛИЧИЯ В ВОСПРИИМЧИВОСТИ МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ К ГРИБНОЙ ИНФЕКЦИИ СЕМЯН

Цель исследования – определить сортовую специфику восприимчивости восьми районированных в Красноярском крае сортов мягкой яровой пшеницы к возбудителям грибной инфекции семян. Объекты исследования – сорта мягкой яровой пшеницы Канская, Свирель, Красноярская 12, Алтайская 70, Курагинская 2, Новосибирская 31, Лидер 80, Бейская. Зерно отличалось высокой распространенностью внутренней инфекции, которая в среднем по сортам составила 66,6 %. Инфекция была представлена фитопатогенными грибами *Fusarium sporotrichioides* Sherb. (возбудитель фузариоза колоса) и *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (возбудитель корневой гнили, листовой пятнистости и «черного зародыша»). Средняя по сортам распространенность *F. sporotrichioides* составила 13,4 %, варьируя от 3 % у сорта Красноярская 12 до 20 % у сорта Новосибирская 31. При этом сорт Красноярская 12 статистически значимо ($p < 0,05$) уступал остальным сортам по распространенности *F. sporotrichioides*, в то время как статистически значимых различий между сортами Канская, Свирель, Алтайская 70, Курагинская 2, Новосибирская 31, Лидер 80 и Бейская по данному показателю не выявлено. Средняя распространенность *B. sorokiniana* составила 53,3 %, варьируя от 0 % у сорта Красноярская 12 до 87 % у сорта Алтайская 70. По распространенности *B. sorokiniana* сорта образуют две четко обособленные группы. Первую группу составляют сорта Канская, Свирель и Красноярская 12 со средней по группе распространенностью 4,3 %. Вторую группу составляют сорта Алтайская 70, Курагинская 2, Новосибирская 31, Лидер 80 и Бейская со средней по группе распространенностью 82,7 %. Сорт Красноярская 12 может рассматриваться как источник повышенной выносливости к *F. sporotrichioides* и *B. sorokiniana*, а сорта Канская и Свирель – как источник повышенной выносливости к *B. sorokiniana*.

Ключевые слова: мягкая яровая пшеница, грибная инфекция семян пшеницы, *Fusarium sporotrichioides*, *Bipolaris sorokiniana*, сортовая специфика пшеницы

Для цитирования: Кукушкина К.В. Сортные различия в восприимчивости мягкой яровой пшеницы к грибной инфекции семян // Вестник КрасГАУ. 2026. № 6. С. 118–129. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-6-118-129.

Кристина Владимировна Кукушкина

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture – separate division of the FRC KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

kristina_fenix92@mail.ru

VARIETAL DIFFERENCES IN SOFT SPRING WHEAT SUSCEPTIBILITY TO SEEDS FUNGAL INFECTION

The objective of the study is to determine the varietal specificity of susceptibility of eight soft spring wheat varieties zoned in the Krasnoyarsk Region to pathogens causing fungal seed infections. The objects of the study were the following soft spring wheat varieties: Kanskaya, Svirel, Krasnoyarskaya 12,

*Altayskaya 70, Kuraginskaya 2, Novosibirskaya 31, Lider 80, and Beyskaya. The grain was characterized by a high prevalence of internal infection, which averaged 66.6 % across varieties. The infection was represented by the phytopathogenic fungi *Fusarium sporotrichioides* Sherb. (the causative agent of fusarium head blight) and *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (the causative agent of root rot, leaf spot, and black bud). The average prevalence of *F. sporotrichioides* across varieties was 13.4 %, varying from 3 % for the Krasnoyarskaya 12 variety to 20 % for the Novosibirskaya 31 variety. At the same time, the Krasnoyarskaya 12 variety was statistically significantly ($p < 0.05$) inferior to other varieties in the prevalence of *F. sporotrichioides*, while no statistically significant differences were found between the Kanskaya, Svirel, Altayskaya 70, Kuraginskaya 2, Novosibirskaya 31, Lider 80 and Beyskaya varieties in this indicator. The average prevalence of *B. sorokiniana* was 53.3 %, ranging from 0 % for the Krasnoyarskaya 12 cultivar to 87 % for the Altayskaya 70 cultivar. Based on the prevalence of *B. sorokiniana*, the cultivars form two clearly distinct groups. The first group consists of the Kanskaya, Svirel, and Krasnoyarskaya 12 cultivars, with an average prevalence of 4.3 %. The second group consists of the Altayskaya 70, Kuraginskaya 2, Novosibirskaya 31, Lider 80, and Beyskaya cultivars, with an average prevalence of 82.7 %. The Krasnoyarskaya 12 cultivar can be considered a source of increased tolerance to *F. sporotrichioides* and *B. sorokiniana*, while the Kanskaya and Svirel cultivars can be considered a source of increased tolerance to *B. sorokiniana*.*

Keywords: soft spring wheat, fungal infection of wheat seeds, *Fusarium sporotrichioides*, *Bipolaris sorokiniana*, wheat varietal specificity

For citation: Kukushkina KV. Varietal differences in soft spring wheat susceptibility to seeds fungal infection. *Bulletin of KSAU*. 2026;6:118-129. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-6-118-129.

Введение. Пшеница является ведущей зерновой культурой в мире, селекционная работа по которой ведется постоянно и сохраняет свою актуальность. Селекция пшеницы направлена на повышение урожайности, адаптацию к различным условиям среды, улучшение качества семян и устойчивость к болезням и вредителям [1–3]. При возделывании пшеницы одной из проблем является происходящее в процессе вегетации заражение семян фитопатогенными грибами р.р. *Fusarium* [4–6] и *Bipolaris* [7, 8]. Эти грибы способны вызывать инфекционные заболевания у широкого спектра сельскохозяйственных растений, из зерновых культур им больше всего подвержена пшеница [9].

Заболевания, вызываемые грибами р. *Fusarium*, называются фузариозами. У пшеницы фузариоз может проявляться в виде корневой гнили, листовой пятнистости, поражения колоса и семян. Кроме экономических потерь, фузариозы могут приводить к ухудшению качества зерна и накоплению микотоксинов. Продуцируемые грибами р. *Fusarium* микотоксины способны вызывать нарушения работы сердечно-сосудистой, нервной систем, желудочно-кишечного тракта [10–13]. Например, содержание в зерне 0,1 мг/кг токсина Т-2, основными продуцентами которого являются *F. sporotrichioides*, *F. langsethiae*, *F. acuminatum* и *F. poae*, способно сделать его полностью непригодным для использования.

Грибы р. *Bipolaris* вызывают корневые гнили, листовые пятнистости, а также «черный зародыш» семян. Инфицирование семян этими патогенами приводит к снижению их качества и всхожести, а также накоплению микотоксинов. Один из микотоксинов, который может производиться грибами р. *Bipolaris*, является стеригматоцистин (СТЦ), обладает мутагенными, токсическими и тератогенными свойствами. Основным органом-мишенью является печень. При употреблении даже в малых дозах стеригматоцистин может способствовать развитию злокачественных опухолей печени и пищевода; кроме этого, он вызывает снижение иммунитета [15, 16].

Для борьбы с грибными инфекциями применяют фунгициды, однако селекция более устойчивых сортов – стратегический подход, так как химические средства не всегда способны обеспечивать полную защиту [17, 18]. Устойчивость сортов к инфекции является относительным признаком. При теплой и влажной погоде в период цветения количество устойчивых линий может снижаться, а сорта могут демонстрировать разную сортовую восприимчивость к данным патогенам. Сортные различия в восприимчивости играют ключевую роль в стратегии защиты посевов и обеспечении продовольственной безопасности [19, 20].

Современный ассортимент сортов пшеницы различен по сортовой восприимчивости к гриб-

ным инфекциям семян. Сорта можно разделить на классы в зависимости типа устойчивости к данному заболеванию. А. Местерхази (Á. Mes-terházy) еще в 1997 г. выделил пять классов по типу устойчивости: устойчивость к проникновению патогена в ткани растения, устойчивость к распространению патогена по колосу, устойчивость зерен к заражению патогеном, толерантность к инфекции, то есть способность растения сохранять урожайность при заражении, и устойчивость к накоплению микотоксинов [21, 22].

В России опубликованы многочисленные исследования по сортовой восприимчивости пшеницы к грибным инфекциям семян. Это и характеристика устойчивых сортов к фузариозу, и результаты многолетних наблюдений за устойчивостью сортов пшеницы в различных регионах, и результаты оценки сортов мягкой пшеницы на устойчивость к фузариозу колоса [23–25], и оценка сортов пшеницы различного происхождения с комплексной устойчивостью к фузариозу и другим болезням, и оценка сортовой восприимчивости пшеницы в Центральном, Северо-Западном, Южном и Сибирском федеральных округах, и исследования подходов защиты пшеницы от фузариоза, включая селекцию устойчивых сортов [26–28], и обзоры стратегий защиты пшеницы от фузариоза с акцентом на селекцию устойчивых сортов, и результаты многолетних испытаний сортов пшеницы с выявлениями сортов с повышенной устойчивостью к фузариозу колоса, и проведение сравнительной оценки сортов яровой пшеницы по устойчивости к *B. sorokiniana*, и изучение влияния агротехнологий на развитие гелиминтоспориозной корневой гнили на сортах яровой пшеницы [29–31]. Однако данные по восприимчивости сортов пшеницы к грибным инфекциям в лесостепной зоне Красноярского края малочисленны [32, 33], хотя данная зона является одной из перспективных по возделыванию пшеницы [34]. Настоящая работа призвана расширить знания о сортовых различиях в восприимчивости пшеницы к грибным инфекциям семян в лесостепной зоне Красноярского края.

Цель исследования – определить сортовую специфику восприимчивости восьми районированных в Красноярском крае сортов мягкой яровой пшеницы к возбудителям грибной инфекции семян.

Объекты и методы. Объект исследования – зерно восьми сортов мягкой яровой пшеницы селекции Красноярского научно-исследовательского института сельского хозяйства – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН (Красноярский НИИ СХ): Свирель, Канская, Красноярская 12, Бейская, Курагинская 2; селекции Сибирского научно-исследовательского института растениеводства и селекции – филиала Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук (СИБ НИИ РС – филиал ИЦИГ СО РАН): Новосибирская 31; селекции Федерального Алтайского научного центра агrobiотехнологий (ФАНЦА): Алтайская 70, Лидер 80. В исследовании использовали зерно урожая 2024 г., полученное в ОПХ «Минино» Емельяновского района (лесостепная зона Красноярского края).

Для выявления внутренней инфекции предварительно продезинфицированное зерно (100 зерен каждого сорта) раскладывали в чашки Петри на агаризованную среду Чапека – Докса [35]. Для предотвращения бактериального роста в среду добавляли ципрофлоксацин в количестве 5 мг/л. Инкубирование проводили в течение 7 сут при температуре $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ в соответствии с ГОСТ Р 52325–2005 «Семена сельскохозяйственных растений. Сортотипы и посевные качества. Общие технические условия». Видовую идентификацию выделенных из семян грибов проводили по культурально-морфологическим признакам [36, 37]. Статистическую значимость различий между сортами по распространенности инфекции определяли тестом χ^2 с использованием пакета STATISTICA 10.

Результаты и их обсуждение. При визуальной оценке семян изучаемых сортов были выявлены семена с характерными признаками фузариоза и «черного зародыша» (рис. 1), у отдельных сортов такие семена составляли 90 %. В среднем, доля семян с признаками «черного зародыша» составила 53 % от общего числа проанализированных экземпляров.

Микробиологический анализ показал, что по распространенности внутренней инфекции семян сорта существенно различаются (рис. 2).



Рис. 1. Семена пшеницы: 1 – здоровые семена; 2 – с признаками «черного зародыша»;
3 – с признаками фузариоза
Wheat seeds: 1 – healthy seeds; 2 – with signs of "black germ"; 3 – with signs of Fusarium infection

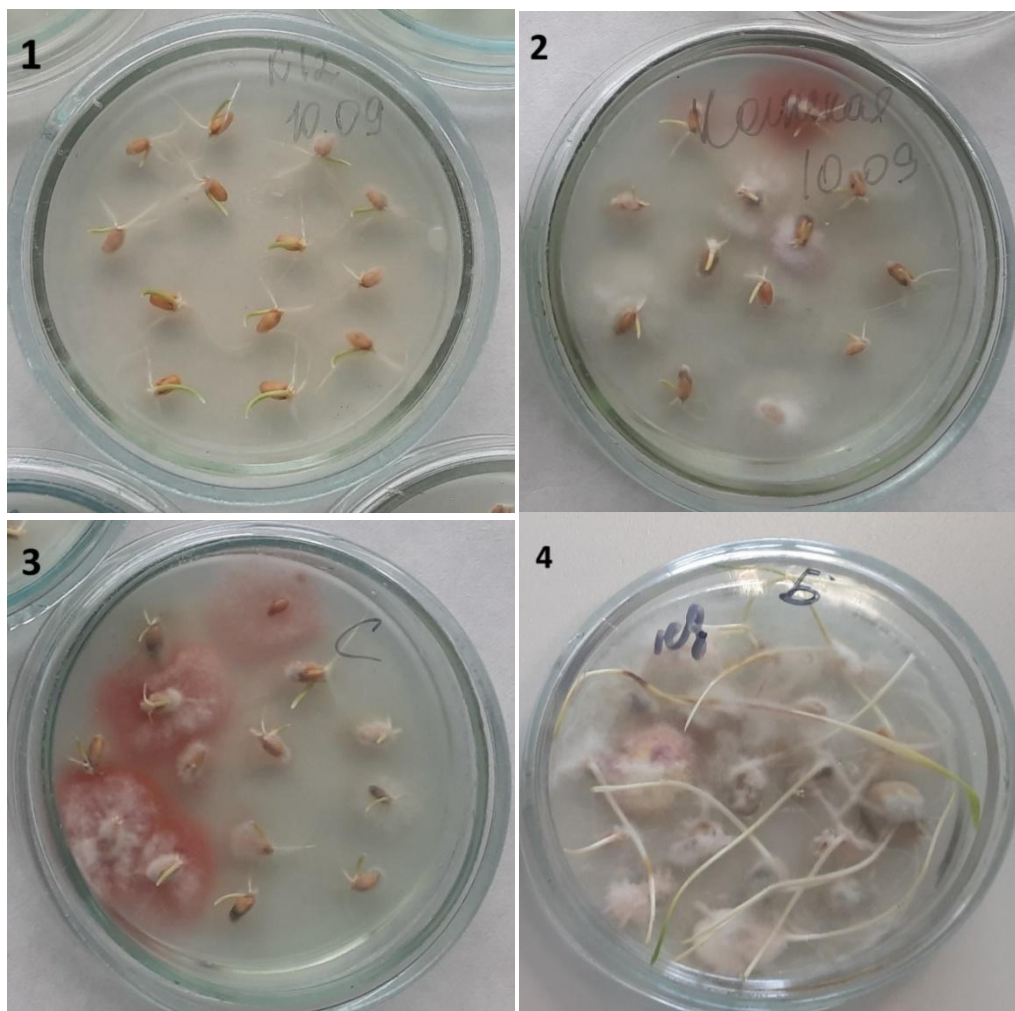


Рис. 2. Семена пшеницы с разным уровнем внутренней инфекции после 7 сут инкубирования
на среде Чапека-Докса при температуре $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$.
1 – Красноярская 12; 2 – Канская; 3 – Свирель; 4 – Бейская
Wheat seeds with varying levels of internal infection after 7 days of incubation on Czapek-Dox medium
at $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$. 1 – Krasnoyarskaya 12; 2 – Kanskaya; 3 – Svirel'; 4 – Beyskaya

Патогенный комплекс был представлен фитопатогенными грибами *Fusarium sporotrichioides* Sherb. (возбудитель фузариоза колоса) и

Bipolaris sorokiniana (Sacc.) Shoemaker (возбудитель корневой гнили, листовой пятнистости и «черного зародыша») (рис. 3, 4).



Рис. 3. Конидии изолята *B. sorokiniana*, выделенного из изучаемых семян
Conidia of a *B. sorokiniana* isolate obtained from the seeds under study

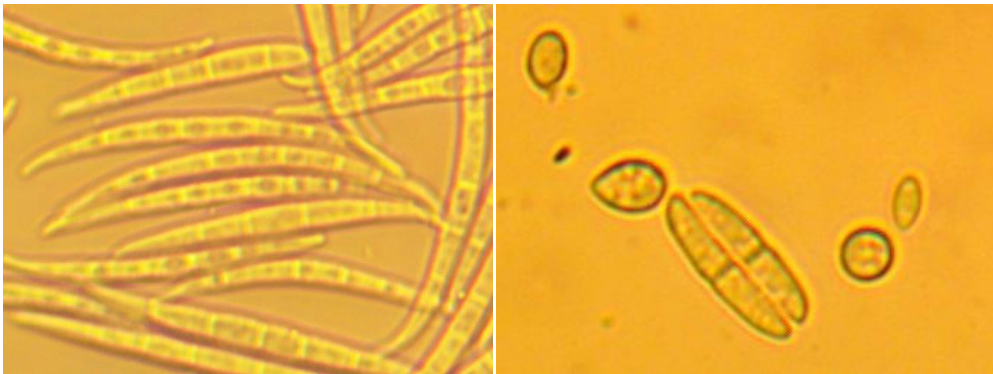


Рис. 4. Микроконидии (слева) и макроконидии (справа) изолята *F. sporotrichioides*, выделенного из изучаемых семян
Microconidia (left) and macroconidia (right) of an *F. sporotrichioides* isolate obtained from the seeds under study

В среднем по сортам распространенность внутренней инфекции семян составила 66,6 %, при этом представители *B. sorokiniana* статистически значимо ($p < 0,001$) преобладали в патогенном комплексе. Так, если средняя по сортам распространенность *F. sporotrichioides* составила 13,4 %, варьируя от 3 % у сорта Красноярская 12 до 20 % у сорта Новосибирская 31, то средняя распространенность *B. sorokiniana* была 53,3 %, варьируя от 0 % у сорта Красноярская 12 до 87 % у сорта Алтайская 70. При этом в целом по сортам наблюдаются статистически значимые ($p < 0,001$) различия как по общей распространенности, так и по таксономическому составу семенной инфекции. Так, сорт Крас-

ноярская 12 статистически значимо ($p < 0,05$) уступал остальным сортам по распространенности *F. sporotrichioides*, в то время как статистически значимых различий между сортами Канская, Свирель, Алтайская 70, Курагинская 2, Новосибирская 31, Лидер 80 и Бейская по данному показателю не выявлено. По распространенности *B. sorokiniana* сорта образуют две четко обособленные группы. Первую группу составляют сорта Канская, Свирель и Красноярская 12 со средней по группе распространенностью 4,3 %. Вторую группу составляют сорта Алтайская 70, Курагинская 2, Новосибирская 31, Лидер 80 и Бейская со средней по группе распространенностью 82,7 % (рис. 5).

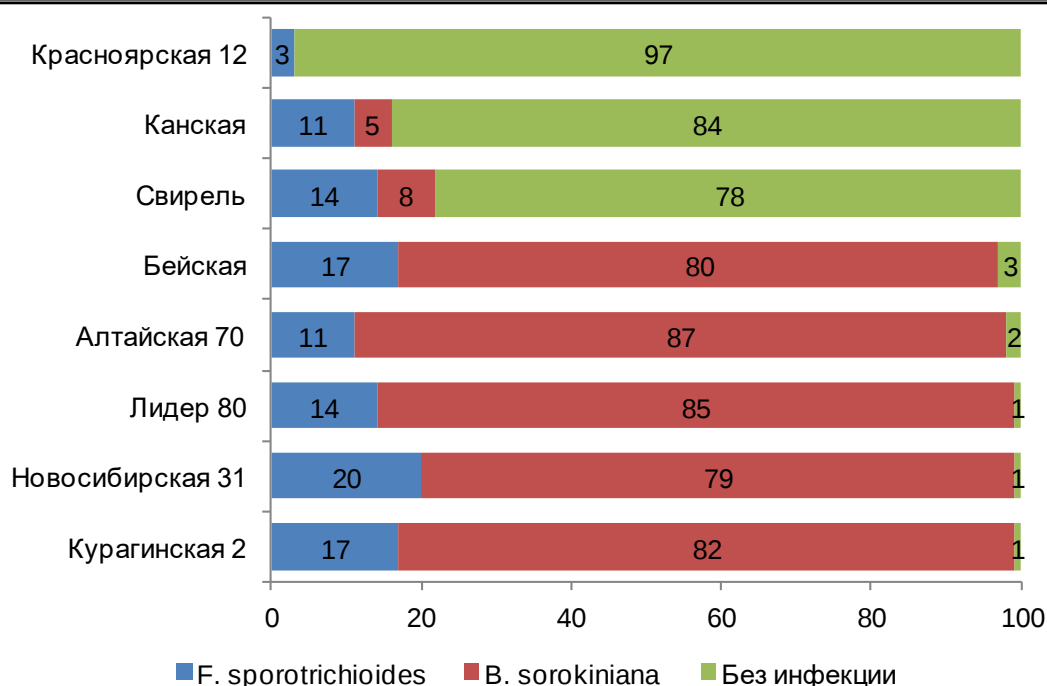


Рис. 5. Таксономический состав и распространенность семенной инфекции у исследуемых сортов, %

Taxonomic composition and prevalence of seed infection in the studied cultivars, %

Из восьми сортов Красноярская 12 продемонстрировала минимальную распространенность внутренней инфекции семян, максимальную устойчивость к возбудителям семенной инфекции. Следует отметить, что в 2023 г. в ОПХ «Минино» данный сорт также показал низкий уровень заражения семян как представителями р. *Fusarium*, так и к другим фитопатогенным грибам. На втором месте по устойчивости к инфекции семян находится сорт Канская, на третьем – сорт Свирель. Замыкают список по устойчивости сорта Алтайская 70, Курагинская 2, Новосибирская 31, Лидер 80 и Бейская с распространенностью семенной инфекции в пределах 97–99 %, что в первую очередь объясняется их высокой чувствительностью к поражению *B. sorokiniana*. При этом наши данные по сорту Новосибирская 31 согласуются с результатами ранее проведенных исследований по сортовой восприимчивости яровой пшеницы к представителям р. *Fusarium* [38] и изучению таксономического состава фитопатогенов в лесостепной зоне Красноярского края [39]. Во всех указанных работах сорт Новосибирская 31 идентифицирован как один из наименее устойчивых, или самый восприимчивый. Это подчеркивает необходимость ограничения возделывания данного сорта в зонах с высоким инфекционным фоном,

проведения обязательного протравливания семян перед посевом и мониторинга фитосанитарного состояния посевов.

Заключение. Проведенные исследования показали высокие и статистически значимые различия между изучаемыми сортами по восприимчивости к семенной инфекции. На основе полученных результатов сорт Красноярская 12 можно рекомендовать как источник повышенной выносливости к *F. sporotrichioides* и *B. sorokiniana*, а сорта Канская и Свирель – как источник повышенной выносливости к *B. sorokiniana*. Следует также рекомендовать ограничить возделывание сортов Алтайская 70, Курагинская 2, Новосибирская 31, Лидер 80 и Бейская в районах с высоким инфекционным фоном, отдавая предпочтение сортам Красноярская 12, Канская и Свирель, либо применять усиленные меры защиты, такие как протравливание семян перед посевом, соблюдение севооборота, использование фунгицидов в период вегетации.

Можно также отметить существенные изменения в видовом составе доминирующих фитопатогенных грибов рода *Fusarium*, произошедшие в районе проведения исследований. Согласно работам 80-х гг. XX в., для данной местности были характерны *F. avenaceum* и *F. gibbosum*, он же *F. acuminatum*. Данные исследо-

ваний 2001 и 2004 гг. фиксируют в этой зоне присутствие *F. oxysporum* и комплекса видов *Fusarium oxysporum* (FOSC), а также *F. graminearum* (в составе комплекса FSAMSC) [40–42]. Примечательно, что в более ранних работах [43] данные виды были типичны для зон тайги, подтайги и степи. Согласно публикации 2008 г., в рассматриваемой зоне доминировали представители комплексов видов *F. tricinctum* (FTSC) и *F. sambucinum*, (FSAMSC) [43]. Наши исследования показали абсолютное преобладание вида *F. sporotrichioides*, также относящегося к комплексу видов FSAMSC. Идентификация нами *F. sporotrichioides* согласуется с выводами исследователей [43–45], показавших, что для Сибири, наряду с другими комплексами видов р. *Fusarium*, характерно

распространение именно представителей комплекса FSAMSC, в котором отмечены *F. poae*, *F. sibiricum*, *F. culmorum*, а *F. sporotrichioides* по культурально-морфологическим и молекулярно-генетическим признакам встречается более чем в 70 % случаях изученных образцов [45]. Следует отметить, что *F. sporotrichioides* является продуцентом целого комплекса микотоксинов: Т-2 и HT-2 токсины, диацетоксискирпенол (DAS) и неосоланиол (NEO) [46]. С учетом выявленного доминирования *F. sporotrichioides* в лесостепной зоне Сибири, а также его повышенной опасности как продуцента микотоксинов, необходим регулярный мониторинг фитосанитарного состояния посевов и семенного материала, а также разработка целенаправленных мер борьбы с данным патогеном.

Список литературы

1. Ляпунова О.А. Селекция твёрдой пшеницы в Италии // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 5, № 1. С. 19–34. DOI: 10.18699/Letters2019-5-3. EDN: BHKILC.
2. Babalola K.O., Monacelli N., Gozzi M., et al. Genetic diversity and climate change adaptation in wheat: a systematic review of landraces, composite cross populations, and evolutionary populations // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2025. Vol. 9. Art. 1504922. DOI: 10.3389/fsufs.2025.1504922.
3. Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г. Развитие селекции яровой твёрдой пшеницы в России (странах бывшего СССР), результаты и перспективы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2023. Т. 27, № 6. С. 591–608. DOI: 10.18699/VJGB-23-71. EDN: BLYSRY.
4. Gebeyaw M. Review on: Impact of seed-borne pathogens on seed quality // American Journal of Plant Biology. 2020. Vol. 5, N 4. P. 77–81.
5. Alconada T.M., Moure M.C., Ortega L.M. *Fusarium* infection in wheat, aggressiveness and changes in grain quality: a review // Vegetos. 2019. Vol. 32, N 4. P. 441–449.
6. Kotowicz N.K., Fraç M., Lipiec J. The importance of *Fusarium* fungi in wheat cultivation – pathogenicity and mycotoxins production: a review // Journal of Animal and Plant Science. 2014. Vol. 21, № 2. P. 3326–3343.
7. Al-Sadi A.M. *Bipolaris sorokiniana*-induced black point, common root rot, and spot blotch diseases of wheat: a review // Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. 2021. Vol. 11. Art. 584899.
8. Орина А.С., Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю., и др. 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. EDN: UREAXE.
9. Ганнибал Ф.Б., Гагкаева Т.Ю., Гомжина М.М., и др. Ассоциированные с пшеницей микромицеты и их значимость как возбудителей болезней в России // Вестник защиты растений. 2022. Т. 105, № 4. С. 164–180. DOI: 10.31993/2308–6459-2022-105-4-15508. EDN: KLHPMB.
10. Haidukowski M., Somma S., Ghionna V., et al. Deoxynivalenol and T-2 Toxin as Major Concerns in Durum Wheat from Italy // Toxins (Basel). 2022. Vol. 14, N 9. Art. 627. DOI: 10.3390/toxins14090627.
11. Gagkaeva T., Gavrilova O., Orina A., et al. Analysis of toxigenic *Fusarium* species associated with wheat grain from three regions of Russia: Volga, Ural, and West Siberia // Toxins. 2019. Vol. 11, N 5. Art. 252. DOI: 10.3390/toxins11050252. EDN: LOIBQD.

12. Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю., Орина А.С. Разнообразие грибов рода *Fusarium* и их микотоксинов в зерне из азиатской части России // Микология и фитопатология. 2022. Т. 56, № 3. С. 194–206. DOI: 10.31857/S0026364822030035. EDN: DOHXYT.
13. Bakker M.G., Brown D.W., Kelly A.C., et al. *Fusarium* mycotoxins: A trans-disciplinary overview // Canadian Journal of Plant Pathology. 2018. Vol. 40, N 2. P. 161–171. DOI: 10.1080/07060661.2018.1433720.
14. Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю. Новые сведения о распространении на территории России гриба *Fusarium langsethiae*, продуцирующего Т-2 и HT-2 токсины // Вестник защиты растений. 2020. Т. 103, № 3. С. 201–206. DOI: 10.31993/2308–6459-2020-103-3-13282. EDN: XTMMCY.
15. Берестецкий А.О., Далинова А.А., Дубовик В.Р., и др. Анализ и выделение вторичных метаболитов гриба *Bipolaris sorokiniana* различными методами хроматографии и спектр их биологической активности // Прикладная биохимия и микробиология. 2020. Т. 56, № 5. С. 483–496. DOI: 10.31857/S0555109920050050. EDN: ZMIWHR.
16. Седова И.Б., Киселёва М.Г., Захарова Л.П., и др. Токсиколого-гигиеническая характеристика микотоксина стеригматоцистина и методы его определения в пищевых продуктах // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98, № 1. С. 105–117. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-1-105-117. EDN: YWANJJ.
17. Tang X., Yangjing G., Zhuoma G., et al. Biological characterization and in vitro fungicide screenings of a new causal agent of wheat *Fusarium* head blight in Tibet, China // Frontiers in Microbiology. 2022. Vol. 13. Art. 941734. DOI: 10.3389/fmicb.2022.941734.
18. Гагкаева, Т.Ю., Орина А.С., Гаврилова О.П., и др. Характеристика сортов озимой пшеницы по устойчивости к фузариозу зерна // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22, № 6. С. 617–624.
19. Конкова, О.В., Костина М.И., Костин В.И. Оценка устойчивости сортов мягкой пшеницы к *Bipolaris sorokiniana* в Нижневолжском регионе // Агрохимия. 2023. № 1. С. 82–88.
20. Zhang Y.A. Novel effector, CsSp1, from *Bipolaris sorokiniana*, is essential for colonization in wheat and is also involved in triggering host immunity // Mol. Plant Pathol. 2022. Vol. 23, N 1. P. 123–134. DOI: 10.1111/mp.13155.
21. Шашко Ю.К. Методические аспекты оценки устойчивости пшеницы к фузариозу колоса в селекционном процессе // Земледелие и защита растений. 2016. № 5. С. 21–24. EDN: YXSPKF.
22. Mesterházy Á. Methodology of resistance testing and breeding against *Fusarium* head blight in wheat and results of the selection // Cereal Research Communications. 1997. Vol. 25. P. 631–637. DOI: 10.1007/BF03543801.
23. Gagkaeva T.Yu., Orina A.S., Gavrilova O.P., et al. Characterization of resistance of winter wheat varieties to *Fusarium* head blight // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018. Vol. 22, N 6. P. 685–692. DOI: 10.18699/VJ18.411. EDN: XYZCJF.
24. Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Левитин М.М. Фузариоз зерновых культур // Защита и карантин растений. 2011. № 3. С. 12–16.
25. Жалнина Л.Д., Илюшко М.В., Клыков А.Г. Устойчивость сортов мягкой пшеницы Приморского НИИСХ к фузариозу колоса // Дальневосточный аграрный вестник. 2018. № 2. С. 32–38.
26. Коновалова И.В., Клыков А.Г., Муругова Г.А. Оценка устойчивости сортов пшеницы к фузариозу в условиях Дальнего Востока // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55, № 4. С. 789–800.
27. Левитин М.М., Иващенко В.Г., Шипилова Н.П., и др. Распространение и вредоносность фузариоза колоса на пшенице в России // Микология и фитопатология. 2004. Т. 38, вып. 5. С. 5–13.
28. Новожилов К.В., Левитин М.М. Интегрированная защита растений от болезней: фузариоз колоса зерновых культур // Вестник защиты растений. 2010. № 1. С. 3–12.
29. Соколов М.С., Глинушкин А.П., Торопова Е.Ю. Фузариоз колоса: стратегия защиты // Защита и карантин растений. 2016. № 5. С. 15–19.
30. Юрасова И.А., Гагкаева Т.Ю., Орина А.С. Устойчивость сортов пшеницы к фузариозу в условиях Центрального Черноземья // Вестник РАСХН. 2019. № 4. С. 45–49.

31. Конькова Э.А., Лящева С.В., Зеленева Ю.В. и др. Характеристика перспективных сортов пшеницы (*Triticum aestivum* L.), допущенных к возделыванию в Нижневолжском регионе, по устойчивости к возбудителям пиренофорозной и тёмно-бурой пятнистости // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58, № 5. С. 852–863.
32. Кекало А.Ю., Немченко В.В., Заргарян Н.Ю., и др. Защита зерновых культур от болезней. — Куртамыш: Куртамышская типография, 2017. 172 с.
33. Хижняк С.В., Мучкина Е.Я. Сортовая специфика восприимчивости яровой пшеницы к токсикогенным грибам, влияющим на качество и экологическую безопасность зерна // Вестник КрасГАУ. 2014. № 10. С. 88–92.
34. Келер В.В., Овсянкина С.В., Щеклеин Д.М., и др. Сортовая специфика восприимчивости пшеницы к семенной инфекции в Красноярском крае // Вестник КрасГАУ. 2021. № 8. С. 3–10. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-8-3-10. EDN: DTKWHB.
35. Мозговой С.С., Пантюхов И.В., Келер В.В. Экологическая пластичность сортов яровой пшеницы в лесостепи Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2020. № 9 (162). С. 121–128. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-9-121-128. EDN FRKNID.
36. Кукушкина К.В. Влияние состава питательной среды на образование конидий грибами р. *Fusarium* // Вестник КрасГАУ. 2025. № 3. С. 52–61. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-3-52-61.
37. Leslie J.F., Summerell B.A. The *Fusarium* Laboratory Manual. Australia: Blackwell Publishing, 2006. 388 p.
38. Gerlach W., Nirenberg H. The genus *Fusarium* — a pictorial atlas // Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem. Berlin; Hamburg: Parey, 1982. 406 p.
39. Кукушкина К.В. Определение сорта мягкой яровой пшеницы с низкой внутренней инфекцией // Фитосанитария. Карантин растений. 2024. № S4-1. С. 42. EDN: JXYSIF.
40. Кукушкина К.В., Овсянкина С.В., Келер В.В., и др. Таксономический состав и распространённость фитопатогенных грибов на корнях мягкой яровой пшеницы в Канско-Красноярской лесостепи // АгроЭкоИнфо. 2021. № 2. DOI: 10.51419/20212222. EDN: CVIZHA.
41. Чулкина В.А., Коняева Н.М., Кузнецова Т.Т. Борьба с болезнями сельскохозяйственных культур в Сибири. М.: Россельхозиздат, 1987. 252 с.
42. Шипилова Н.П., Иващенко В.Г. Систематика и диагностика грибов рода *Fusarium* на зерновых культурах. СПб.: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений РАСХН, 2008. 84 с. EDN: TUTOFH.
43. Малиновская Л.С., Пирязева Е.А., Кислякова О.С. Выявление доминантных видов рода *Fusarium* в зерне из различных регионов РФ // Успехи медицинской микологии. 2004. № 3. С. 278–280.
44. Литовка Ю.А. Ареал и видовой состав грибов рода *Fusarium* в наземных экосистемах Средней и Южной Сибири. В сб.: Международный микологический форум «Современная микология в России» (Москва, 13–14 апреля 2015 г.). М., 2015. Т. 4. С. 227.
45. Литовка Ю.А. Видовой состав и представленность грибов рода *Fusarium* на зерновых культурах (пшеница и ячмень), выращиваемых в условиях Средней Сибири // Вестник КрасГАУ. 2017. № 6 (129). С. 140–149.
46. Kokkonen M., Jestoi M., Laitila A. Mycotoxin production of *Fusarium langsethiae* on cereal-based substrates // Mycotoxin Research. 2012. Vol. 28, N 1. P. 25–35. DOI: 10.1007/s12550-011-0113-8.

References

1. Lyapunova OA. Selection of durum wheat in Italy. *Letters to the Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;5(1):19-34. DOI: 10.18699/Letters2019-5-3. EDN: BHKILC.
2. Babalola KO, Monacelli N, Gozzi M, et al. Genetic diversity and climate change adaptation in wheat: a systematic review of landraces, composite cross populations, and evolutionary populations. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2025;9:1504922. DOI: 10.3389/fsufs.2025.1504922.

3. Malchikov PN, Myasnikova, M. G. Development of spring durum wheat breeding in Russia (former USSR countries): results and prospects. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;27(6):591-608. DOI: 10.18699/VJGB-23-71. EDN: BLYSRY.
4. Gebeyaw, M. Review on impact of seed - borne pathogens on seed quality. *American Journal of Plant Biology*. 2020;5(4):77-81.
5. Alconada TM, Moure MC, Ortega LM. *Fusarium* infection in wheat, aggressiveness and changes in grain quality: a review. *Vegetos*. 2019;32(4):441-449.
6. Kotowicz NK, Fraç M, Lipiec J. The importance of *Fusarium* fungi in wheat cultivation – pathogenicity and mycotoxins production: a review. *Journal of Animal and Plant Science*. 2014;21(2):3326-3343.
7. Al-Sadi AM. *Bipolaris sorokiniana* – induced black point, common root rot, and spot blotch diseases of wheat: a review. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2021;11:584899.
8. Orina AS, Gavrilova OP, Gagkaeva TYu, et al. Micromycetes *Alternaria* spp. and *Bipolaris sorokiniana* and mycotoxins in grain grown in the Ural Federal District. *Mycology and Phytopathology*. 2020;54(5):365-377. DOI: 10.31857/S0026364820050086. EDN: UREAXE.
9. Gannibal FB, Gagkaeva TYu, Gomzhina MM, et al. Wheat-associated micromycetes and their significance as plant pathogens in Russia. *Plant Protection News*. 2022;105(4):164-180. DOI: 10.31993/2308-6459-2022-105-4-15508. EDN: KLHPMB.
10. Haidukowski M, Somma S, Ghionna V, et al. Deoxynivalenol and T-2 toxin as major concerns in durum wheat from Italy. *Toxins (Basel)*. 2022;14(9):627. DOI: 10.3390/toxins14090627.
11. Gagkaeva T. Analysis of toxigenic *Fusarium* species associated with wheat grain from three regions of Russia: Volga, Ural, and West Siberia. *Toxins*. 2019;11(5):252. DOI: 10.3390/toxins11050252. EDN: LOIBQD.
12. Gavrilova OP. Diversity of *Fusarium* fungi and their mycotoxins in grain from the Asian part of Russia. *Mycology and Phytopathology*. 2022;56(3):194-206. DOI: 10.31857/S0026364822030035. EDN: DOHXYT.
13. Bakker MG. *Fusarium* mycotoxins: a trans-disciplinary overview. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 2018;40(2):161-171. DOI: 10.1080/07060661.2018.1433720.
14. Gavrilova OP. New data on the distribution of the fungus *Fusarium langsethiae* (producer of T-2 and HT-2 toxins) in Russia. *Plant Protection News*. 2020;103(3):201-206. DOI: 10.31993/2308-6459-2020-103-3-13282. EDN: XTMMCY.
15. Berestetskii AO. Analysis and isolation of secondary metabolites of the fungus *Bipolaris sorokiniana* by various chromatography methods and the spectrum of their biological activity. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2020;56(5):483-496. DOI: 10.31857/S0555109920050050. EDN: ZMIWHR.
16. Sedova IB. Toxicological and hygienic characteristics of the mycotoxin sterigmatocystin and methods for its determination in food products. *Hygiene and Sanitation*. 2019;98(1):105-117. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-1-105-117. EDN: YWAHJJ.
17. Tang X. Biological characterization and in vitro fungicide screenings of a new causal agent of wheat *Fusarium* head blight in Tibet, China. *Frontiers in Microbiology*. 2022;13:941734. DOI: 10.3389/fmicb.2022.941734.
18. Gagkaeva TYu. Characterization of winter wheat varieties for resistance to grain *Fusarium*. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(6):617-624.
19. Konkova OV. Kostina Assessment of soft wheat varieties' resistance to *Bipolaris sorokiniana* in the Lower Volga region. *Agrochemistry*. 2023;1:82-88.
20. Zhang YA. Novel effector, CsSp1, from *Bipolaris sorokiniana*, is essential for colonization in wheat and is also involved in triggering host immunity. *Molecular Plant Pathology*. 2022;23(1):123-134. DOI: 10.1111/mpp.13155.
21. Shashko YuK. Methodological aspects of assessing wheat resistance to *Fusarium* head blight in the breeding process. *Agriculture and Plant Protection*. 2016;5:21-24. EDN: YXSPKF.
22. Mesterházy Á. Methodology of resistance testing and breeding against *Fusarium* head blight in wheat and results of the selection. *Cereal Research Communications*. 1997;25:631-637. DOI: 10.1007/BF03543801.

23. Gagkaeva TYu. Characterization of resistance of winter wheat varieties to *Fusarium* head blight. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(6):685-692. DOI: 10.18699/VJ18.411. EDN: XYZCJF.
24. Gagkaeva TYu. *Fusarium* diseases of cereal crops. *Plant Protection and Quarantine*. 2011;3:12-16.
25. Zhalnina LD. Resistance of soft wheat varieties from the Primorsky Research Institute of Agriculture to *Fusarium* head blight. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2018;2:32-38.
26. Konovalova IV. Assessment of wheat varieties' resistance to *Fusarium* under Far Eastern conditions. *Agricultural Biology*. 2020;55(4):789-800.
27. Levitin MM. Distribution and harmfulness of *Fusarium* head blight on wheat in Russia. *Mycology and Phytopathology*. 2004;38(5):5-13.
28. Novozhilov KV. Integrated plant protection against diseases: *Fusarium* head blight of cereal crops. *Plant Protection News*. 2010;1:3-12.
29. Sokolov MS. *Fusarium* head blight: protection strategy. *Plant Protection and Quarantine*. 2016;5:15-19.
30. Yurasova IA. Wheat varieties' resistance to *Fusarium* under conditions of the Central Chernozem Region. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2019;4:45-49.
31. Konkova EA, Lyashcheva SV, Zeleneva YuV. Characterization of promising wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) approved for cultivation in the Lower Volga region for resistance to pathogens causing pyrenophora leaf spot and dark brown spot. *Agricultural Biology*. 2023;58(5):852-863.
32. Kekalo Ayu, Nemchenko VV, Zargaryan NYu. *Protection of grain crops from diseases*. Kurtamysh: Kurtamysh Printing House; 2017. 172 p.
33. Khizhnyak SV, Muchkina EYa. Varietal specificity of spring wheat susceptibility to toxigenic fungi affecting grain quality and ecological safety. *Bulletin of KSAU*. 2014;10:88-92.
34. Keler VV, Ovsyankina SV, Shcheklein DM. Varietal specificity of wheat susceptibility to seed-borne infection in the Krasnoyarsk Territory. *Bulletin of KSGAU*. 2021;8:3-10. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-8-3-10. EDN: DTKWHB.
35. Mozgovoy SS, Pantukhov IV, Keler VV. Ecological plasticity of spring wheat varieties in the forest-steppe of the Krasnoyarsk Territory. *Bulletin of KSAU*. 2020;9:121-128. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-9-121-128. EDN: FRKNID.
36. Kukushkina K.V. Effect of nutrient medium composition on conidia formation by fungi of the genus *Fusarium*. *Bulletin of KSAU*. 2025;3:52-61. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-3-52-61.
37. Leslie JF, Summerell BA. *The Fusarium Laboratory Manual*. Australia: Blackwell Publishing; 2006. 388 p.
38. Gerlach W, Nirenberg H. The genus *Fusarium* — a pictorial atlas. In: *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem*. Berlin; Hamburg: Parey; 1982. 406 p.
39. Kukushkina KV. Identification of a soft spring wheat variety with low internal infection. *Phytosanitary. Plant Quarantine*. 2024;S4-1:42. EDN: JXYSIF.
40. Kukushkina KV, Ovsyankina SV, Keler VV, et al. Taxonomic composition and prevalence of phytopathogenic fungi on the roots of soft spring wheat in the Kansk-Krasnoyarsk Forest-steppe. *AgroEcolInfo*. 2021;2:222. DOI: 10.51419/20212222. EDN: CVIZHA.
41. Chulkina VA, Konyaeva NM, Kuznetsova TT. *Control of crop diseases in Siberia*. Moscow: Rosselkhozizdat; 1987. 252 p.
42. Shipilova NP, Ivashchenko NP. *Systematics and diagnostics of fungi of the genus Fusarium on grain*. Saint Petersburg: All-Russian Research Institute of Plant Protection, Russian Academy of Agricultural Sciences; 2008. 84 p. EDN: TUTOFH.
43. Malinovskaya LS, Piryazeva EA, Kislyakova OS. Identification of dominant species of the genus *Fusarium* in grain from various regions of the RF. *Advances in Medical Mycology*. 2004;3:278-280.
44. Litovka YuA. Distribution area and species composition of fungi of the genus *Fusarium* in terrestrial ecosystems of Central and Southern Siberia. *Modern Mycology in Russia: Proceedings of the International Mycological Forum*. Moscow, 13–14 Apr 2015. Moscow, 2015. Vol. 4. P. 227.

45. Litovka YuA. Species composition and occurrence of fungi of the genus *Fusarium* on grain crops (wheat and barley) grown under conditions of Central Siberia. *Bulletin of KSAU*. 2017;6:140-149.
46. Kokkonen M, Jestoi M, Laitila A. Mycotoxin production of *Fusarium langsethiae* on cereal-based substrates. *Mycotoxin Research*. 2012;28(1):25-35. DOI: 10.1007/s12550-011-0113-8.

Статья принята к публикации 05.05.2026 / The article accepted for publication 05.05.2026

Информация об авторах:

Кристина Владимировна Кукушкина, аспирант кафедры экологии и природопользования, младший научный сотрудник лаборатории физиологии и биотехнологии

Information about the authors:

Kristina Vladimirovna Kukushkina, Postgraduate student at the Department of Ecology and Nature Management, Junior Researcher at the Laboratory of Physiology and Biotechnology

