

## Анализ современного состояния проблемы фузариоза колоса и зерна пшеницы в Российской Федерации

Н. А. Костерина<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Филиал «48 Центрального научно-исследовательского института» Министерства обороны Российской Федерации, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: 47051\_1@mil.ru

**Аннотация.** Целью данной работы являлось изучение и обобщение информации о современных аспектах проблемы фузариоза колоса и зерна пшеницы – стратегически важной сельскохозяйственной культуры в Российской Федерации. **Научная новизна.** В результате анализа данных научной литературы о фузариозе пшеницы выделены следующие основные факторы (особенности), развивающие представления о данной отрасли знаний: биология возбудителей, их экологическая пластичность; сложность визуальной идентификации фитопатогенных микромицетов рода *Fusarium*; специфическая этиология и вредоносность заболевания; недостаточная эффективность мероприятий по защите сельскохозяйственной культуры. **Методы.** В процессе исследований с помощью аналитических и статистических методов проведены сбор, анализ и обобщение информации о биологических свойствах, внутрипопуляционной изменчивости, способности продуцировать опасные для человека и животных микотоксины и других свойствах фитопатогенов рода *Fusarium*. **Результаты.** Систематизирована информация по значимым факторам, обуславливающим поражение фузариозом сельскохозяйственной культуры, и показана актуальность проблемы фузариоза колоса и зерна пшеницы в Российской Федерации. Из анализа полученных сведений следует, что для борьбы с вредоносным заболеванием пшеницы необходимы углубленное изучение особенностей возбудителя, проведение комплекса защитных мероприятий при осуществлении своевременной идентификации фитопатогена. Наличие нерешенных вопросов обуславливает продолжение исследований по разработке генетических методов индикации возбудителей фузариоза, оценке видового состава грибов и методов прогнозирования их эпифитотийного распространения; фунгицидных препаратов с использованием современных достижений биотехнологии, в том числе нанотехнологий и химического синтеза; приборной базы для мониторинга посевов пшеницы на обсеменение возбудителями фузариоза. **Ключевые слова:** фитопатоген, микромицет, пшеница, род *Fusarium*, фузариоз колоса (зерна), микотоксин, защита сельскохозяйственной культуры.

**Для цитирования:** Костерина Н. А. Анализ современного состояния проблемы фузариоза колоса и зерна пшеницы в Российской Федерации // Аграрный вестник Урала. 2023. № 05 (234). С. 49–60. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-234-05-49-60.

**Дата поступления статьи:** 01.02.2023, **дата рецензирования:** 27.02.2023, **дата принятия:** 06.03.2023.

### Постановка проблемы (Introduction)

Основным элементом продовольственной безопасности Российской Федерации является обеспечение внутреннего рынка отечественным зерном<sup>1</sup>. В России пшеница является лидером среди других видов зерновых по засеваемой площади – около 30 млн га [1, с. 2].

Выращивание пшеницы в России возможно практически во всех регионах, ведущими из которых являются Ростовская и Оренбургская области, Краснодарский, Ставропольский и Алтайский края, где площадь посевов составляет от 1,5 до 3 млн га.

<sup>1</sup> Указ Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/3e5/3e5941f295a77fdcfed2014f82ecf37f.pdf> (дата обращения: 10.09.2021).

В Уральском регионе (Курганской и Свердловской областях) под посевы пшеницы отведено около 0,3 млн га. Урожайность пшеницы по стране составляет в среднем от 13,8 до 49,4 ц/га [2, с. 1]. Основной причиной снижения сбора урожая является поражение сельскохозяйственной культуры возбудителями различных заболеваний, в частности, фузариозом колоса и зерна [3, с. 14; 4, с. 40].

Вспышки фузариоза колоса и зерна пшеницы регулярно наблюдаются на Северном Кавказе (в Краснодарском и Ставропольском краях), Ростовской области и на Дальнем Востоке [5, с. 29–30; 6, с. 19]. Некоторые сведения об эпифитотийных вспышках заболевания в России представлены в таблице 1 [6, с. 19; 7, с. 190; 8, с. 1; 9, с. 3; 10, с. 85–91].

Таблица 1

Сведения об эпифитотиях фузариоза колоса и зерна пшеницы в России

Год	География эпифитотии
1923, 1925	Северо-Западный федеральный округ (Республика Карелия, Ленинградская область)
1932–1933	Краснодарский и Ставропольский края, Ростовская область
1952	Республика Северная Осетия-Алания
1986–1989	Южный федеральный округ (особенно в Краснодарском крае)
Начало 1990-х	Северо-Кавказский федеральный округ
1991–1993	Краснодарский край, Республика Адыгея
1992–1993	Северо-Западный федеральный округ
1996, 1998	Дальний Восток (особенно в Приморском крае)
1999	Дальний Восток (Амурская область)
2000–2003	Северо-Западный федеральный округ
2006	Дальний Восток (Хабаровский край)
2014–2017	Ставропольский и Краснодарский края
2019	Дальний Восток (Амурская область)

Биология и биотехнологии

Table 1

Information on epiphytotic of fusarium ear and grain of wheat in Russia

Year	Geography of epiphytotic
1923, 1925	Northwestern Federal District (Republic of Karelia, Leningrad Region)
1932–1933	Krasnodar and Stavropol Territories, Rostov Region
1952	Republic of North Ossetia-Alania
1986–1989	Southern Federal District (especially in the Krasnodar Territory)
Beginning of 1990s	North Caucasian Federal District
1991–1993	Krasnodar Territory, Republic of Adygea
1992–1993	Northwestern Federal District
1996, 1998	Far East (especially in the Primorsky Territory)
1999	Far East (Amur region)
2000–2003	Northwestern Federal District
2006	Far East (Khabarovsk Territory)
2014–2017	Stavropol and Krasnodar Territories
2019	Far East (Amur region)

В результате анализа данных, представленных в таблице 1, следует, что фузариоз колоса и зерна пшеницы – широко распространенное заболевание, эпифитотии которого зафиксированы в основных зерносеющих районах Российской Федерации. Следует отметить, что последствиями вспышек явились высокая степень поражения колоса и зараженности зерна пшеницы (до 80 %), а также контаминация последнего микотоксинами (до 100 %).

Об опасности поражения пшеницы фузариозом свидетельствуют трагические события, последствия которых привели к гибели тысяч людей и животных [8, с. 1]. Первое исторически зафиксированное массовое отравление лошадей в результате скармливания им фузариозного зерна (от еще неизвестного в то время заболевания) произошло в период Русско-турецкой войны в конце XIX века [11, с. 1]. В России фузариоз пшеницы, возникший сначала на Дальнем Востоке (в 1880–1890 гг.), а затем в Центральном регионе и на Южном Урале (в 1930–1950 гг.), привел к заболеваниям при использовании в пищу и на корм некачественного зерна [6, с. 19; 8, с. 1; 12, с. 23; 13, с. 14; 14, с. 202].

Впервые предположение о причине заболевания («пьяный хлеб»), вызываемое фитопатогенным микромицетом *F. graminearum*, а именно, продуктом его метаболизма – токсином дезоксиниваленолом, было высказано российским фитопатологом М. С. Ворониным. Благодаря усилиям советских ученых удалось установить, что вторичные метаболиты фитопатогена *F. sporotrichioides* вызывают алиментарно-токсическую алейкию. Наиболее токсичный компонент (Т-2 токсин) комплекса микотоксинов, вырабатываемого данным возбудителем, был выделен японскими исследователями только в 1968 г. [8, с. 19].

Уже более века в России и за рубежом ведущие ученые и специалисты (микологи, селекционеры, растениеводы, иммунологи и другие) исследуют возбудителей фузариоза зерновых сельскохозяйственных культур. Изучены некоторые морфологические особенности, биология, биохимия, физиология, генетика фитопатогенов рода *Fusarium*, предложены способы выявления путей ограничения их численности в агробиоценозах, снижения вредности и сохранения урожая [8, с. 2]. Однако достигнутые успехи в изучении фитопатогенов рода

*Fusarium* и совершенствование принципов и методов их исследования не привели к реальному снижению масштабов поражения посевов фузариозом колоса и зерна пшеницы и эффективному прогнозированию эпифитотийного развития заболевания [15, с. 6]. Поэтому до сих пор в Российской Федерации проблема фузариоза зерновых культур остается актуальной. В связи с этим целью наших исследований явилось изучение современной ситуации и определение факторов, обуславливающих наличие проблемы фузариоза колоса и зерна пшеницы в Российской Федерации.

#### Методология и методы исследования (Methods)

При изучении проблемы фузариоза колоса и зерна пшеницы с использованием аналитических и статистических методов исследований осуществляли обобщение информации об истории ее развития и степени изученности, а также сбор и анализ сведений с последующей оценкой текущего состояния ситуации по данному заболеванию в Российской Федерации.

#### Результаты (Results)

Фузариоз колоса и зерна является одним из наиболее опасных заболеваний пшеницы [3, с. 14]. Основным признаком его проявления на колосковых чешуйках и на зерне является налет бледно-розового, розово-оранжевого или розовато-красноватого цвета (рис. 1) [12, с. 23; 16, с. 23; 17, с. 41].

Поражение колоса и зерна возможно на всех этапах их формирования. Однако периодом наибольшей восприимчивости сельскохозяйственной культуры к фузариозу является фаза цветения при условиях повышенной (более 70 %) влажности воздуха и температуре 20–28 °С [12, с. 24].

Основными источниками заболевания являются инфицированные семена, растительные остатки и почва. Так, с почвы возбудители фузариоза заносятся ветром или с каплями дождя на колос, заражая его, вновь образуются на пораженных колосковых чешуйках и в дальнейшем разносятся на расстояние до 400 км дождем, ветром или насекомыми [8, с. 2; 12, с. 23; 16, с. 23].

На основании анализа научной литературы сформулированы основные факторы (особенности), обуславливающие поражение колоса и зерна пшеницы фузариозом.

**Биологические особенности возбудителей фузариозов.** Микроскопические грибы рода *Fusarium* существуют в анаморфной (бесполой), а некоторые представители и в телеоморфной (половой или сумчатой) стадии развития, что способствует увеличению генетического разнообразия их популяций [8, с. 3]. Кроме того, наличие половой стадии развития способствует выживанию и лучшей адаптации возбудителей в неблагоприятных и изменяющихся условиях окружающей среды [16, с. 23].

Представители *F. sporotrichioides*, *F. equiseti*, *F. culmorum* могут формировать хламидоспоры, позволяющие им существовать в различных условиях окружающей среды на широком круге растений-хозяев, а также длительно сохранять жизнеспособность в почве и на растительном субстрате [8, с. 3].

Большинство возбудителей фузариоза колоса и зерна образуют микро- и макроконидии. Относительная простота их формирования позволяет фитопатогенам за короткий промежуток времени (например, для *F. graminearum* – на 3 суток) создавать огромное количество инфекционных структур [8, с. 3; 16, с. 26].

Патогены *F. poae*, *F. langsethiae*, *F. sporotrichioides*, *F. tricinctum*, *F. verticillioides*, *F. proliferatum*, способные образовывать микроконидии (быстрорастущие по сравнению с макроконидиями и, как правило, легко распространяющиеся), являются основными возбудителями в период вегетации растений [18, с. 21].

В результате полового размножения фитопатогенов рода *Fusarium* образуются аскоспоры. Их появление возможно в широком диапазоне температур – от 10 до 30 °С. Для прорастания аскоспор достаточно невысокой (около 55 %) относительной влажности воздуха по сравнению с уровнем влажности, необходимой для прорастания конидий (около 80 %) [12, с. 42].



a)



b)

Рис. 1. Поражение пшеницы фузариозом:  
а) колос<sup>2</sup>, б) зерно<sup>3</sup>

Fig. 1. *Fusarium* infestation of wheat:  
a) ear, b) grain

<sup>2</sup> Источник: <https://glavagronom.ru>.

<sup>3</sup> Источник: <https://rosselhoscenter.com>.

В научной литературе имеются сведения, что патогены в форме хламидоспор, склероциев и других покоящихся структур выживают в почве до 15 лет, на остатках пшеницы на поверхности почвы – в течение трех и более лет [18, с. 22].

Сотрудниками ВИЗР в результате изучения штаммов *F. graminearum*, выделенных на территории России, показано, что популяция фитопатогена на Дальнем Востоке более гетерогенна по сравнению с европейской популяцией. На основании мультилокусного анализа ДНК дальневосточных штаммов микромицета выявлены два вида из комплекса FGSC – *F. vorosii*, филогенетически близкий к азиатской группе видов, и *F. ussurianum* [19, с. 8]. Также на территории Сибири выделен вид *F. sibiricum*, морфологически сходный с видами *F. langsethiae* и *F. poae* [20, с. 23].

Вырабатываемые представителями рода *Fusarium* микотоксины подразделяют на хемотипы дезоксиниваленол (ДОН) и ниваленол (НИВ). В свою очередь, продуценты ДОН подразделяются на хемотипы 3-ацетат ДОН и 15-ацетат ДОН. Показано, что хемотипы микроскопического гриба *F. graminearum*, продуцирующие ДОН и НИВ, с различной частотой встречаются на территории Российской Федерации [19, с. 7]. Изоляты российского происхождения такого возбудителя, как *F. culmorum*, отнесены к 3-ацетат ДОН разновидности [21, с. 86].

**Экологическая пластичность фитопатогенов рода *Fusarium*.** В результате внутривидовой изменчивости фитопатогены рода *Fusarium* проявляют высокую экологическую пластичность, обуславливающую широкое распространение и значительное разнообразие видов данного рода во всех зерносеющих регионах России [22, с. 17].

В России до недавнего времени существовали две локальные популяции *F. graminearum* (северокавказская и дальневосточная), расположенные на расстоянии более 6000 км друг от друга. Однако за последние 20 лет наблюдается расширение ареала данного патогена: в 2003 г. возбудитель был обнаружен в северо-западном регионе России (в Ленинградской области) [23, с. 30], в 2007 г. – в Вологодской, Кировской и Новгородской, в 2008 г. – в Калининградской и Псковской областях, а в последние годы присутствует в зерне пшеницы, выращенной в Сибирском и Уральском регионах. Распространение возбудителя в северных областях страны объясняется потеплением климата, что способствует выживанию *F. graminearum* на новых территориях или же происходит адаптация гриба к более холодным условиям обитания [19, с. 9; 24, с. 77].

Другим представителем рода *Fusarium*, обладающим высокой адаптационной способностью к условиям окружающей среды, является микромицет *F. langsethiae*, ареал распространения которого

в начале 2000-х годов был ограничен территорией стран с умеренным климатом (преимущественно на севере Европы). В России впервые *F. langsethiae* обнаружили в 2003 г. в Ленинградской области. Результаты мониторинга зараженности зерна урожая последних лет позволили выявить новые территории распространения *F. langsethiae* – в Уральском федеральном округе (впервые выделен из зерна пшеницы, выращенной в Белоярском районе Свердловской области), на территории Республики Чечня, в Ростовской, Рязанской и Московской областях [14, с. 202].

Следующий вид фитопатогенов рода *Fusarium* – *F. globosum* – впервые выявлен на территории Российской Федерации в 2017–2018 гг. (четвертая находка в мире) в зерне пшеницы из Уральского (Челябинской области) и Западно-Сибирского (Новосибирской области, Алтайского края) регионов России. Данный вид является представителем морфологически сходных видов комплекса *F. fujikuroi* (FFSC) и более близок к штаммам, выделенным в Японии [25, с. 11].

Обнаружение *F. globosum* в географических точках, удаленных на расстояние около 1500 км, за короткий период (в течение двух лет) свидетельствует о том, что самый вероятный путь распространения фитопатогена – перенос возбудителя насекомыми или мигрирующими птицами [8, с. 3]. Биологической особенностью гриба является обильное образование микроконидий, что обеспечивает конкурентные преимущества и адаптивность возбудителя [25, с. 15].

**Специфическая этиология заболевания.** Специфичность возникновения заболевания фузариозной этиологии заключается в том, что развитие патологического процесса у растений вызвано участием комплексов различных видов грибов рода *Fusarium* (таблица 2) [8, с. 1].

Из данных, представленных в таблице 2, видно, что структура патогенных комплексов, формирующихся на зерне пшеницы в основных зерносеющих регионах России, представлена широким набором доминирующих видов рода *Fusarium*, из которых *F. sporotrichioides* и *F. poae* стабильно встречаются во всех указанных регионах.

Следует отметить, что фитопатогены *F. sporotrichioides* и *F. poae* также занимают доминирующее положение в видовом составе грибов рода *Fusarium* на посевах пшеницы в Центрально-Черноземном регионе [4, с. 41], а такие представители, как *F. poae* и *F. Avenaceum*, широко распространены в зерне на территории Уральского региона, в частности, в Курганской области [26, с. 29].

Примером влияния этиологических условий на состав патогенного комплекса грибов рода *Fusarium* служит Амурская область (основной производитель зерна на Дальнем Востоке), тер-

ритория которой регулярно подвергается воздействию опасных природных явлений (например, наводнений). Так, во время эпифитотий фузариоза зерна пшеницы в 1999 г. основными патогенами являлись *F. graminearum*, *F. poae*, *F. avenaceum* и *F. sporotrichioides* (в порядке убывания частоты встречаемости), в 2019 г. – *F. graminearum* и *F. sporotrichioides*, выявлены в 84 и 61 % образцах соответственно, а *F. poae* и *F. avenaceum* встречались с частотой не более 2 % [6, с. 19].

**Вредоносность заболевания.** Вредоносность фузариоза колоса и зерна пшеницы проявляется в снижении урожайности сельскохозяйственной культуры (до 30 % и более) [3, с. 14; 27, с. 11]. Данное обстоятельство обусловлено восприимчивостью зерновой культуры к заболеванию в период, когда происходит формирование будущего урожая, – в фазу цветения – созревания [12, с. 23, 35]. Установлено, что заражение пшеницы на одной из последних стадий роста растений (с уже сформировавшимся колосом) фитопатогеном *F. graminearum* приводит к снижению урожая сельскохозяйственной культуры в среднем на 70 %, а через неделю после цветения – на 55 % [8, с. 4].

Негативное действие заболевания также проявляется утратой всхожести или снижением энергии прорастания семян [8, с. 4; 12, с. 23; 16, с. 22]. Последнее характеризуется развитием слабых с пораженными корневой и прикорневой гнилью проростками [8, с. 4; 17, с. 41].

Вредоносность фузариоза пшеницы выражается не только прямыми потерями урожая, но и ухудше-

нием качества получаемой продукции (загрязнением зерна микотоксинами, ухудшением его биологической ценности, увеличением индекса деформации клейковины, снижением качества хлебопекарных свойств муки) [8, с. 4; 15, с. 7]. Установлено, что поражение токсиногенными грибами рода *Fusarium* 10 % зерна в партии приводит к уменьшению питательной ценности всей партии на 20–25 %. Кроме того, опасность первичного заражения зерна увеличивается при его хранении благодаря способности микромицетов продолжать развитие на зерне (увеличивая поверхностную заспоренность в 30–35 раз, а внутрисеменное заражение – в 3–4 раза) и загрязнять пищевые продукты токсинами на любом этапе их производства [12, с. 23; 17, с. 41].

В настоящее время на территории России (особенно в регионах с теплым и влажным климатом [18, с. 21]) из зерна пшеницы выделяют около 30 видов микромицетов рода *Fusarium*, способных продуцировать более 150 различных по химическому строению токсических соединений, из которых наиболее опасные для здоровья человека и животных: трихотецены, зеараленон, монилиформин и фумозины [17, с. 42]. Из указанных микотоксинов широко распространенными являются трихотецены – группа метаболитов, включающая более 40 соединений. По химическому строению они подразделяются на группу А (Т-2 и НТ-2 токсины, диацетоксисцирпенол, моноацетоксисцирпенол, неосоланиол и другие) и группу В (дезоксиниваленол, ниваленол и их моноацетат и диацетат производные) [15, с. 11, 23].

Таблица 2

**Доминирующие виды грибов рода *Fusarium* в структуре патогенных комплексов в основных зерносеющих регионах Российской Федерации**

Регион	Доминирующий вид (в порядке убывания частоты встречаемости)
Краснодарский край	<i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. langsethiae</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. proliferatum</i>
Ставропольский край	<i>F. culmorum</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. langsethiae</i> , <i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. proliferatum</i>
Алтайский край	<i>F. poae</i> , <i>F. avenaceum</i> , <i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. acuminatum</i>
Ростовская область	<i>F. graminearum</i> , <i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. proliferatum</i>
Оренбургская область	<i>F. poae</i> , <i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. equiseti</i>

Table 2

**Dominant species of fungi of the genus *Fusarium* in the structure of pathogenic complexes in the main grain-growing regions of the Russian Federation**

Region	Dominant species (in descending order of frequency of occurrence)
Krasnodar Territory	<i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. langsethiae</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. proliferatum</i>
Stavropol Territory	<i>F. culmorum</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. langsethiae</i> , <i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. proliferatum</i>
Altai region	<i>F. poae</i> , <i>F. avenaceum</i> , <i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. acuminatum</i>
Rostov region	<i>F. graminearum</i> , <i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. proliferatum</i>
Orenburg region	<i>F. poae</i> , <i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. equiseti</i>

Зеараленон относится к слаботоксичным микотоксинам, но часто встречается совместно с дезоксиниваленолом. Из группы фумозинов в настоящее время идентифицировано 28 токсических соединений, четыре из которых относятся к группе В (В1, В2, В3, В4). Мониторинг монилиформина в нашей стране практически не проводят, но в последнее время интерес к его выявлению в зерне возрастает [6, с. 21].

В Российской Федерации в продовольственном сырье и пищевых продуктах растительного происхождения только для четырех фузариотоксинов определены предельно допустимые концентрации: дезоксиниваленола – 0,7–1 мг/кг (в зерне, используемом на кормовые цели, – 2,0 мг/кг, в продуктах для детского и диетического питания не допускается), Т-2 токсина – 0,1 мг/кг, зеараленона – 5 мг/кг, фумонизинов – 0,2 мг/кг (в детском питании) и 5,0 мг/кг (в кормах) [3, с. 14; 17, с. 42]. К сожалению, в нашей стране к числу регламентированных микотоксинов не относят ниваленол и диацетоксисцирпенол, которые во много раз токсичнее дезоксиниваленола [28, с. 35].

Установлено, что зерно злаковых культур даже с низким или скрытым поражением фузариозом может содержать значительное количество (до 5 предельно допустимых концентраций) опасных фузариотоксинов, таких как дезоксиниваленол и зеараленон. О высоком уровне накопления опасных фузариотоксинов в зерне пшеницы свидетельствуют следующие факты. Так, во время эпифитотии фузариоза в Краснодарском крае в 1987 г. содержание дезоксиниваленола в зерне достигало 6,6 мг/кг. В период эпифитотии в Краснодарском и Ставропольском краях в 1985–1991 гг. уровни накопления ДОН в зерне и зерноотходах достигали 10 мг/кг.

В результате чрезвычайной ситуации по фузариозу пшеницы в Амурской области в 2019 г. содержание дезоксиниваленола в собранном зерне составило в среднем 13 мг/кг (максимальное количество микотоксина, когда-либо выделяемого из зерна на территории России). Наряду с дезоксиниваленолом были обнаружены его производные 3-ацетат ДОН и 15-ацетат ДОН, а также 3-глюкозид ДОН. Кроме того, во всех образцах выявлен зеараленон (до 3,7 мкг/кг) и монилиформин (до 0,2 мг/кг) [6, с. 20].

Употребление продуктов, загрязненных фузариотоксинами, вызывает серьезные заболевания у человека и теплокровных животных (таблице 3) [13, с. 15; 14, с. 22; 15, с. 7, 13; 17, с. 42].

Трихотецены – единственный класс токсинов, которые легко проникают в организм не только через легкие, желудочно-кишечный тракт, слизистые оболочки, но и через неповрежденную кожу. Первые симптомы интоксикации и возможный смертельный исход наступают уже через несколько минут после воздействия токсинов. При этом выявить причину заболевания практически не удается вследствие быстрого превращения фузариотоксинов в организме в сотни других, трудно определяемых токсичных соединений. Фумозины (ФВ1 и ФВ2) способны накапливаться в мясе и обнаруживаются в молоке жвачных животных [29, с. 13, 17, 23, 25].

**Сложность визуальной идентификации возбудителей заболевания.** Даже значительное заражение колоса и зерна сопровождается слабым проявлением признаков заболевания или полным их отсутствием [4, с. 40; 18, с. 22]. Типичную картину поражения колоса и зерна пшеницы наблюдают только при заражении некоторыми видами фитопатогенов рода *Fusarium* (таблица 4) [3, с. 14].

Таблица 3

## Сведения о характере токсического действия фузариотоксинов

Микотоксин	Объект воздействия	Токсическое действие
Дезоксиниваленол	Человек, свиньи, домашняя птица, лошади, жвачные животные	Геморрагическое, лейкопеническое, иммунодепрессивное, дерматотоксическое, тератогенное действие. Поражение центральной нервной и кровеносной систем. Нарушение функции желудочно-кишечного тракта (рвота, отказ от корма, диарея)
Т-2, НТ-2	Человек, свиньи, домашняя птица, лошади, жвачные животные	Дерматотоксическое (нарывы), иммунодепрессивное действие, поражение центральной нервной системы (головокружение, потеря координации), нарушение функции желудочно-кишечного тракта (диарея), боль в глазах, нарушение дыхания
Зеараленон	Свиньи, крупный рогатый скот, овцы, свиньи, цыплята, индейки	Эстрогенное (нарушение способности к оплодотворению, атрофия половых органов, аборт, бесплодие), тератогенное действие
Фумонизины	Человек, лошади, свиньи, крупный рогатый скот, кролики, цыплята	Канцерогенное действие (рак пищевода и печени) энцефаломалиция (разжижающий некроз мозга) у лошадей, отек легких у свиней, нефрит, почечная недостаточность, нарушение опорно-двигательного аппарата у домашней птицы, снижение иммунитета
Монилиформин	Человек, свиньи	Иммунодепрессивное действие, гематологические нарушения, патологические изменения в мышечной ткани сердца, миокардиальная гипертрофия

Table 3

## Information on the nature of the toxic effect of fusariotoxins

<i>Mycotoxin</i>	<i>Object of influence</i>	<i>Toxic effect</i>
<i>Deoxyini-valenol</i>	<i>Man, pigs, poultry, horses, ruminants</i>	<i>Hemorrhagic, leukopenic, immunosuppressive, dermatotoxic, teratogenic action. Damage to the central nervous and hematopoietic systems. Dysfunction of the gastrointestinal tract (vomiting, refusal to feed, diarrhea)</i>
<i>T-2, HT-2</i>	<i>Man, pigs, poultry, horses, ruminants</i>	<i>Dermatotoxic (abscesses), immunosuppressive effect, damage to the central nervous system (dizziness, loss of coordination), dysfunction of the gastrointestinal tract (diarrhea), eye pain, respiratory failure</i>
<i>Zearalenon</i>	<i>Pigs, cattle, sheep, pigs, chickens, turkeys</i>	<i>Estrogenic (impaired fertility, genital atrophy, abortion, infertility), teratogenic action</i>
<i>Fumonisin</i>	<i>Man, horses, pigs, cattle, rabbits, chickens</i>	<i>Carcinogenic effect (cancer of the esophagus and sand) encephalomalacia (diluting brain necrosis) in horses, pulmonary edema in pigs, nephritis, renal failure, musculoskeletal disorders in poultry, decreased immunity</i>
<i>Moniliformin</i>	<i>Man, pigs</i>	<i>Immunosuppressive action, hematological disorders, pathological changes in the muscle tissue of the heart, myocardial hypertrophy</i>

Таблица 4

Способность фитопатогенов рода *Fusarium* вызывать симптомы фузариоза колоса и зерна

Вид фитопатогена	Способность вызывать симптомы заболевания	
	На генеративном органе	На зерне
<i>F. graminearum</i>	++	++
<i>F. culmorum</i>	++	++
<i>F. sporotrichioides</i>	+	–
<i>F. langsethiae</i>	–	–
<i>F. poae</i>	–	–
<i>F. tricinctum</i>	+	–
<i>F. avenaceum</i>	++	+

Примечание. «+» – слабое проявление признаков; «++» – проявление типичной картины; «–» – отсутствие признаков.

Table 4

The ability of phytopathogens of the genus *Fusarium* to cause symptoms of fusarium head and grain

Species of phytopathogen	Ability to cause disease symptoms on	
	generative organ	grain
<i>F. graminearum</i>	++	++
<i>F. culmorum</i>	++	++
<i>F. sporotrichioides</i>	+	–
<i>F. langsethiae</i>	–	–
<i>F. poae</i>	–	–
<i>F. tricinctum</i>	+	–
<i>F. avenaceum</i>	++	+

Note: «+» – weak manifestation of signs; «++» is a typical pattern; «–» – absence of signs.

Из данных, представленных в таблице 4, видно, что способность фитопатогенов рода *Fusarium* вызывать типичные признаки поражения колоса и зерна проявляется только при заражении микромицетами *F. graminearum* и *F. culmorum*. При паразитировании других видов фитопатогена признаки заболевания либо слабо выражены, либо полностью отсутствуют как на генеративных органах, так и на зерне.

В полевых условиях признаки заболевания пшеницы фузариозной этиологии внешне сходны с проявлением септориоза колоса (потемнение колосковых чешуй, наличие небольших штрихов или глазковых пятен) [3, с. 14]. Для микромицета *F. culmorum* характерно образование темно-бурой,

почти черной окраски чешуек и остей, аналогичное проявлению признаков бактериозов [30, с. 89].

Определение фузариевых грибов по морфолого-культуральным признакам также носит проблемный характер. Присущие для представителей данного рода конидии серповидно-веретеновидной формы могут образовывать и некоторые виды родов *Cylindrocarpon*, *Acremonium*, *Gliocladium*, *Microdontium* и других. Например, фитопатоген *Microdontium nivale* (вызывающий снежную плесень зерновых культур) образует серповидные микроконидии, по форме и размерам сходные с таковыми у *F. culmorum*, а *F. langsethiae* имеет морфологическое сходство с *F. poae* [14, с. 201; 23, с. 30].

При исследовании влияния фазы развития колоса на проявление симптомов заболевания фузариозом установлено, что в фазах налива зерна и созревания внешние признаки поражения проявляются значительно слабее, чем в период цветения [3, с. 14]. Также показано, что в климатических условиях средней полосы страны, в том числе Центрально-Черноземного района зараженность колоса и зерна носит скрытый характер и выявляется только при микологическом анализе [4, с. 40; 23, с. 30]. Однако, например, фитопатоген *F. langsethiae* сложно обнаружить в зерне даже микологическими методами вследствие низкой скорости его роста, отсутствия воздушного мицелия и пигментации [14, с. 201].

**Недостаточная эффективность мероприятий по защите сельскохозяйственной культуры.** При возникновении благоприятных для развития грибов рода *Fusarium* погодных условий в период восприимчивости растений к заболеванию даже выполнение полного комплекса защитных мероприятий, включающих агротехнические и оперативные методы (выбор оптимального фунгицида), а также соблюдение севооборота, выбор сорта, улучшение физиологического состояния растений во время вегетации, проведение уборки в оптимальные сроки, качественной послеуборочной доработки зерна при соответствующих условиях его хранения, не способно привести к значительному уменьшению инфицирования пшеницы и снижению загрязнения зерна микотоксинами [18, с. 22]. Кроме того, положение усугубляет отсутствие абсолютно устойчивых к болезни сортов пшеницы [16, с. 28; 17, с. 43; 23, с. 30].

Сложность фунгицидной защиты посевов пшеницы обусловлена:

- ограниченным количеством эффективных препаратов [16, с. 28];
- защитой колоса современными системными химическими препаратами, не превышающей 60–70 % [16, с. 28];
- стимулированием химическими препаратами образования хламидоспор [31, с. 45];
- нецелесообразным применением контактных и биологических средств в борьбе с фузариозом [18, с. 23];
- неэффективностью протравливания семян против фузариоза колоса перед посадкой пшеницы [32], а также лечения при появлении признаков заболевания [3, с. 15];
- ограничением в выборе срока и времени для обработки посевов фунгицидами [16, с. 29];

– необходимостью добавления к фунгицидам прилипателей для более качественного покрытия колоса [16, с. 29];

– вероятностью снижения активности фунгицидов при выпадении осадков после проведения обработки растений [33, с. 3];

– риском развития резистентности у возбудителей заболевания при систематическом применении одного и того же фунгицида (например, препаратов на основе триазолов) [18, с. 21].

### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Фузариоз колоса и зерна пшеницы является одним из широко распространенных и вредоносных заболеваний в зернопроизводящих регионах России. До настоящего времени проблема снижения потерь урожая и контаминации зерна опасными для здоровья человека и животных фузариотоксинами не решена. Данное обстоятельство обусловлено рядом факторов и связано с биологическими особенностями возбудителей заболевания, их экологической пластичностью, участием в развитии патологического процесса у растений одновременно нескольких видов микроскопических грибов рода *Fusarium*, способных продуцировать различные по химическому строению токсические соединения. Вследствие недостаточного контроля содержания фузариотоксинов в продуктах питания и *продовольственном сырье существует* реальная угроза вспышек микотоксикозов человека и теплокровных животных с возможным летальным исходом. Кроме того, осложняет ситуацию по фузариозу колоса и зерна пшеницы трудность визуальной идентификации и обнаружения микологическими методами возбудителей данного заболевания, а также недостаточная эффективность мероприятий по защите от фузариоза сельскохозяйственных культур.

Таким образом, наличие нерешенных вопросов обуславливает необходимость продолжения исследований по проблеме фузариоза колоса и зерна пшеницы, а именно разработки:

- генетических методов индикации возбудителей фузариоза и методов прогнозирования их эпифитотийного распространения;
- фунгицидных препаратов с использованием нанотехнологий (обеспечивающих эффективность их применения) и химического синтеза (для качественной послеуборочной обработки зерен);
- приборной базы для мониторинга посевов пшеницы на обсеменение возбудителями фузариоза.

### Библиографический список

1. Антошин А. Зерновые культуры в России: ставка на качество // Защита растений. 2020. № 2 (291). С. 2–6.
2. Посевная площадь сельхозугодий в России [Электронный ресурс]. URL: <https://сельхозпортал.рф> (дата обращения: 15.09.2021).
3. Мустафина М. А., Таракановский А. Н. Защита от фузариоза колоса – определяющий фактор качества зерна // Защита и карантин растений. 2018. № 5. С. 14–16.

4. Корабельская О. И., Чекмарев В. В. Разнообразие грибов рода *Fusarium* на посевах зерновых культур в Центрально-черноземном регионе // *Colloquium-journal*. 2019. № 16 (40). С. 39–41.
5. Кремнева О. Ю., Кудинова О. А., Волкова Г. В. Эффективность фунгицида «Фалькон», КЭ против фузариоза колоса пшеницы в условиях Краснодарского края // *Современные подходы и методы в защите растений: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Екатеринбург, 2018. С. 29–31.
6. Гагкаева Т. Ю., Гаврилова О. П., Орина А. С., Гогина Н.Н. Чрезвычайная ситуация 2019 г. и болезни зерна в Амурской области // *Защита и карантин растений*. 2020. № 8. С. 19–21.
7. Назаренко Н. Н., Башкин А. В. Сорная растительность, болезни и вредители как факторы голода 1932–1933 годов // *Самарский научный вестник*. 2019. Т. 8. № 1 (26). С. 186–193. DOI: 10.24411/2309-4370-2019-11210.
8. Соколова Т. К. Фузариоз колоса озимой пшеницы [Электронный ресурс] // *Студенческий научный форум – 2017: материалы IX Международной студенческой научной конференции*. 2017. URL: <https://scienceforum.ru/2017/article/2017040164> (дата обращения: 03.10.2021).
9. Технология «Августа» против фузариоза // *Агропромышленная газета юга России*. 2018. № 13–14 (496–497). С. 3.
10. Седова И. Б., Захарова Л. П., Киселева М. Г., Чалый З. А., Тимонин А. Н., Аристархова Т. В., Кравченко Л. В., Тутьельян В. А. Дезоксиниваленол как фактор риска загрязнения продовольственного зерна: мониторинг урожаев 1989–2018 гг. в Российской Федерации // *Анализ риска здоровью*. 2021. № 3. С. 85–98. DOI: 10.21668/health.risk/2021.3.08.
11. Фузариотоксикоз [Электронный ресурс]. URL: <https://maxpark.com/community/8225/content/6335311> (дата обращения: 03.10.2021).
12. Кекало А. Ю., Немченко В. В., Заргарян Н. Ю., Цыпышева М. Ю. Защита зерновых культур от болезней. Куртамыш: ООО «Куртамышская типография», 2017. 172 с.
13. Закладной Г. А. Избегайте плесневения зерна. Оно становится токсичным // *Защита и карантин растений*. 2019. № 11. С. 14–15.
14. Гаврилова О. П., Гагкаева Т. Ю. Новые сведения о распространении на территории России гриба *Fusarium langsethiae*, продуцирующего Т-2 и НТ-2 токсины // *Вестник защиты растений*. 2020. № 103 (3). С. 201–206. DOI: 10.31993/2308-6459-2020-103-3-13282.
15. Попов В. С., Самбуров Н. В., Воробьева Н. В. Проблемы микотоксикозов в современных условиях и принципы профилактических решений: монография. Курск: Планета плюс, 2018. 158 с.
16. Карайванов П. Фузариоз – опаснейшее заболевание зерновых и кормовых культур // *Защита растений*. 2020. № 2 (291). С. 22–29.
17. Павлюшин В. А. Фузариоз зерновых культур и опасность микотоксинов в России // *Агроснабфорум*. 2017. № 3 (151). С. 41–43.
18. Торопова Е. Ю., Воробьева И. Г., Мустафина М. А., Селюк М. П. Грибы рода *Fusarium* на зерне пшеницы в Западной Сибири // *Защита и карантин растений*. 2019. № 1. С. 21–23.
19. Левитин М. М., Афанасенко О. С., Гагкаева Т. Ю., Ганнибал Ф. Б., Гульятеева Е. И., Мироненко Н. В. Популяционные исследования грибов – возбудителей болезней зерновых культур // *Вестник защиты растений*. 2019. № 4 (102). С. 5–16. DOI: 10.31993/2308-6459-2019-4-102-5-16.
20. Литовка Ю. А. Эколого-биологические особенности и биоконтроль грибов рода *Fusarium*, распространенных в наземных экосистемах Средней Сибири: дис. ... д-ра биол. наук. Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2018. 497 с.
21. Стахеев А. А., Самохвалова Л. В., Микитюк О. Д., Завриев С. К. Филогенетический анализ и молекулярное типирование трихотеценпродуцирующих грибов рода *Fusarium* из Российских коллекций // *Acta Naturae*. 2018. Т. 10. № 2 (37). С. 85–99.
22. Жевнова Н. А. Биоэкологическое обоснование применения новых штаммов бактерий *Bacillus subtilis* для защиты озимой пшеницы от фузариозных корневых гнилей и желтой пятнистости листьев: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2019. 25 с.
23. Бучнева Г. Н. Гриб *Fusarium langsethiae* на зерне пшеницы в Тамбовской области // *Colloquium-journal*. 2019. № 16 (40). С. 30–31.
24. Торопова Е. Ю., Воробьева И. Г., Мустафина М. А., Салюк М. П. Мониторинг грибов рода *Fusarium* Link и их микотоксинов на зерне пшеницы в Западной Сибири // *Агрохимия*. 2019. № 5. С. 76–82. DOI: 10.1134/S0002188119050119.
25. Гагкаева Т. Ю., Гаврилова О. П., Орина А. С. Первое обнаружение гриба *Fusarium globosum* в микобиоте зерновых культур на территории Урала и Сибири // *Вестник защиты растений*. 2019. № 1 (99). С. 10–18. DOI: 10.31993/2308-6459-2019-1(99)-10-18.

26. 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. № 07 (198). С. 29–40. DOI: 10.32417/1997-4858-2020-198-7-29-40.
27. Санин С. С., Ибрагимов Т. З., Стрижекозин Ю. А. Метод расчета потерь урожая пшеницы от болезней // Защита и карантин растений. 2018. № 1. С. 11–15.
28. Загоскин М. А. Взаимное влияние цианобактерий и микромицета *Fusarium culmorum* на концентрацию продуктов их метаболизма // Химия: достижения и перспективы: сборник научных статей по материалам V Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых. Ростов-на-Дону; Таганрог, 2020. С. 35–38.
29. Соколова О. Н. Микотоксины в силосованных кормах и методы их нейтрализации: дис. ... канд. с-х. наук. Москва: Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева, 2018. 140 с.
30. Лазарев А. М., Мыслик Е. Н., Варицев Ю. А., Зайцев И. А., Кожемяков А. П., Попов Ф. А., Волгарев С. А., Чеботарь В. К. Ареалы и зоны вредоносности основных бактериозов растений на территории России и сопредельных стран. Санкт-Петербург: ВИЗР, 2017. № 241. 36 с. (Приложения к журналу «Вестник защиты растений»). DOI: 10.5281/zenodo.1018613.
31. Коваль Е. В. Влияние цианобактерий на жизнедеятельность ячменя в условиях загрязнения метилфосфоновой кислотой: дис. ... канд. биол. наук. Киров: Вятский государственный университет, 2019. 147 с.
32. Фузариоз колоса зерновых культур [Электронный ресурс]. URL: <https://glavagronom.ru/articles/fuzarioz-kolosa-zernovyh-kultur> (дата обращения: 03.10.2021).
33. Шаповалова Н. Погодные условия и эффективность пестицидов // Поле Августа. 2020. № 6 (200). С. 8.

**Об авторе:**

Наталья Александровна Костерина<sup>1</sup>, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0002-0164-7776, AuthorID 1164754; +7 (343) 255-99-88, 47051\_1@mil.ru

<sup>1</sup> Филиал «48 Центрального научно-исследовательского института» Министерства обороны Российской Федерации, Екатеринбург, Россия

## Analysis of the current state of the problem of fusarium ear and grain of wheat in the Russian Federation

N. A. Kosterina<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Branch of the “48 Central Scientific Research Institute” of the Ministry of Defence of the Russian Federation, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail: 47051\_1@mil.ru

**Abstract.** The aim of the article was to study and summarize the information about modern aspects of fusarium ear and grain of wheat, strategically important crop in the Russian Federation. **Scientific novelty.** As a result of analysis of scientific literature data on fusarial ear blight, the following main factors (features) were identified that develop ideas about this branch of knowledge: the biology of pathogens, their ecological plasticity; the difficulty of visual identification of phytopathogenic micromycetes of the *Fusarium* genus; specific etiology and harmfulness of the disease; insufficient effectiveness of measures to protect crop. **Methods.** In the process of research, by using analytical and statistical methods, the collection, analysis and generalization of information on biological properties, intrapopulation variability, the ability to produce mycotoxins dangerous for humans and animals, and other properties of phytopathogens of the *Fusarium* genus were carried out. **Results.** The information about significant factors causing the spoiling of an agricultural crop was systematized, and the urgency of the problem of fusarium ear and grain of wheat in the Russian Federation was shown. From the analysis of the data obtained, it follows that to control the destructive disease of wheat, it is necessary to study in depth the characteristics of the pathogen, and carry out a set of protective measures with timely identification of the phytopathogen. The presence of unresolved issues causes the continuation of research on the development of genetic methods of fusarium pathogen indication, assessment of the species composition of fungi and methods of forecasting their epiphytotic distribution; fungicide preparations using modern achievements of biotechnology, including nanotechnology and chemical synthesis; instrumental base for monitoring wheat crops for seeding with fusarium pathogens.

**Keywords:** phytopathogen, micromycete, wheat, *Fusarium* genus, fusarium ear blight (grain), mycotoxin, crop protection.

**For citation:** Kosterina N. A. Analiz sovremennogo sostoyaniya problemy fuzarioza kolosa i zerna pshenitsy v Rossiyskoy Federatsii [Analysis of the current state of the problem of fusarium ear and grain of wheat in the Russian Federation] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 05 (234). Pp. 49–59. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-234-05-49-60. (In Russian.)

**Date of paper submission:** 01.02.2023, **date of review:** 27.02.2023, **date of acceptance:** 06.03.2023.

### References

1. Antoshin A. Zernovye kul'tury v Rossii: stavka na kachestvo [Cereals in Russia: a stake on quality] // Plant protection. 2020. No. 2 (291). Pp. 2–6. (In Russian.)
2. Sowing area of agricultural land in Russia [e-resource]. URL: <https://selkhozportal.rf> (date of reference: 15.09.2021). (In Russian.)
3. Mustafina M. A., Tarakanovskiy A. N. Zashchita ot fuzarioza kolosa – opredelyayushchiy faktor kachestva zerna [Protection against fusarium spike is a determining factor in grain quality] // Zashchita i karantin rastenii. 2018. No. 5. Pp. 14–16. (In Russian.)
4. Korabel'skaya O. I., Chekmarev V. V. Raznoobrazie gribov roda *Fusarium* na posevakh zernovykh kul'tur v Tsentral'no-chernozemnom regione [Diversity of fungi of the genus *Fusarium* on grain crops in the Central black earth region] // Colloquium-journal. 2019. No. 16 (40). Pp. 39–41. (In Russian.)
5. Kremneva O. Yu., Kudinova O. A., Volkova G. V. Effektivnost' fungitsida "Fal'kon", KE protiv fuzarioza pshenitsy v usloviyakh Krasnodarskogo kraya [The effectiveness of the fungicide "Falcon", EC against fusarium ear of wheat in the Krasnodar Territory] // Sovremennye podkhody i metody v zashchite rasteniy: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Ekaterinburg, 2018. Pp. 29–31. (In Russian.)
6. Gagkaeva T. Yu., Gavrilova O. P., Orina A. S., Gogina N. N. Chrezvychainaya situatsiya 2019 g. i bolezni zerna v Amurskoy oblasti [Emergency situation in 2019 and grain diseases in the Amur region] // Zashchita i karantin rastenii. 2020. No. 8. Pp. 19–21. (In Russian.)
7. Nazarenko N. N., Bashkin A. V. Sornaya rastitel'nost', bolezni i vrediteli kak factory goloda 1932–1933 godov [Weed vegetation, diseases and pests as factors of hunger in 1932–1933] // Samara Scientific Bulletin. 2019. Vol. 8. No. 1 (26). Pp. 186–193. DOI: 10.24411/2309-4370-2019-11210. (In Russian.)
8. Sokolova T. K. Fusarium ear of winter wheat [e-resource] // Studencheskiy nauchnyy forum – 2017: materialy IX Mezhdunarodnoy studencheskoy nauchnoy konferentsii. URL: <https://scienceforum.ru/2017/article/2017040164> (date of reference: 03.10.2021). (In Russian.)
9. Teknologiya "Avgusta" protiv fuzarioza [Technology "Augusta" against fusarium] // Agroindustrial newspaper of the south of Russia. 2018. No. 13–14 (496–497). P. 3. (In Russian.)
10. Sedova I. B., Zakharova L. P., Kiseleva M. G., Chaly Z. A., Timonin A. N., Aristarkhova T. V., Kravchenko L. V., Tutelyan V. A. Dezoksinivalenol kak faktor riska zagryazneniya prodovol'stvennogo zerna: monitoring urozhayev 1989–2018 gg. v Rossiyskoy Federatsii [Deoxynivalenol as a risk factor for contamination of food grains: monitoring the harvests of 1989–2018. in the Russian Federation] // Health Risk Analysis. 2021. No. 3. Pp. 85–98. DOI: 10.21668/health.risk/2021.3.08. (In Russian.)
11. Fusariotoxicosis [e-resource]. URL: <https://maxpark.com/community/8225/content/6335311> (date of reference: 03.10.2021).
12. Kekalo A. Yu., Nemchenko V. V., Zargaryan N. Yu., Tsypysheva M. Yu. Zashchita zernovykh kul'tur ot bolezney [Protection of grain crops from diseases]. Kurtamysh: OOO "Kurtamyshskaya tipografiya", 2017. 172 p. (In Russian.)
13. Zakladnoi G. A. Izbegayte plesneveniya zerna. Ono stanovitsya toksichnym [Avoid grain mold. It becomes toxic] // Zashchita i karantin rastenii. 2019. No. 11. Pp. 14–15. (In Russian.)
14. Gavrilova O. P., Gagkaeva T. Yu. Novye svedeniya o rasprostraneni na territorii Rossii griba *Fusarium langsethiae*, produtsiruyushchego T-2 i NT-2 toksiny [New information on the distribution of the fungus *Fusarium langsethiae*, which produces T-2 and NT-2 toxins, in Russia] // Bulletin of plant protection. 2020. No. 103 (3). Pp. 201–206. DOI: 10.31993/2308-6459-2020-103-3-13282. (In Russian.)
15. Popov V. S., Samburov N. V., Vorob'eva N. V. Problemy mikotoksinov v sovremennykh usloviyakh I principy profilakticheskikh resheniy: monografiya [Problems of mycotoxins in modern conditions and the principles of preventive solutions: monograph]. Kursk: Planeta Plyus, 2018. 158 p. (In Russian.)
16. Karaivanov P. Fuzarioz – opasneisheye zabolevanie zernovykh kul'tur [Fusarium – the most dangerous disease of grain and forage crops] // Plant protection. 2020. No. 2 (291). Pp. 22–29. (In Russian.)
17. Pavlyushin V. A. Fuzarioz zernovykh kul'tur i opasnost' mikotoksinov v Rossii [Fusarium disease of grain crops and the danger of mycotoxins in Russia] // Agrosnabforum. 2017. No. 3 (151). Pp. 41–43. (In Russian.)

18. Toropova E. Yu., Vorobieva I. G., Mustafina M. A., Selyuk M. P. Griby roda *Fusarium* na zerne pshenitsy v Zapadnoy Sibiri [Fungi of the genus *Fusarium* on wheat grain in Western Siberia] // Zashchita i karantin rastenii. 2019. No. 1. Pp. 21–23. (In Russian.)
19. Levitin M. M., Afanasenko O. S., Gagkaeva T. Yu., Hannibal F. B., Gulyaeva E. I., Mironenko N. V. Populyacionny'e issledovaniya gribov – vzbuditeley bolezney zernovykh kul'tur [Population studies of fungi – causative agents of diseases of grain crops] // Bulletin of plant protection. 2019. No. 4 (102). Pp. 5–16. DOI: 10.31993/2308-6459-2019-4-102-5-16. (In Russian.)
20. Litovka Yu. A. Ekologo-biologicheskiye osobennosti i biokontrol' gribov roda *Fusarium*, rasprostranennykh v nazemnykh ekosistemakh Sredney Sibiri: dis. ... d-ra biol. nauk [Ecological and biological characteristics and biocontrol of fungi of the genus *Fusarium* widespread in terrestrial ecosystems of Central Siberia: dissertation ... doctor of biological sciences. Tomsk: National Research Tomsk State University, 2018. 497 p. (In Russian.)
21. Stakheev A. A., Samokhvalova L. V., Mikityuk O. D., Zavriev S. K. Filogeneticheskiy analiz i molekulyarnoye tipirovaniye trikhoteetsenproduktiruyushchikh gribov roda *Fusarium* iz Rossiyskikh kollektsey [Phylogenetic analysis and molecular typing of trichothecene-producing fungi of the genus *Fusarium* from Russian collections] // Acta Naturae. 2018. Vol. 10. No. 2 (37). Pp. 85–99. (In Russian.)
22. Zhevnova N. A. Bioekologicheskoye obosnovaniye primeneniya novykh shtammov bakteriy: dis. ... kand. biol. nauk [Bioecological substantiation of the use of new strains of bacteria *Bacillus subtilis* to protect winter wheat from fusarium root rot and yellow leaf spot: author. dis. ... cand. biol. Sciences]. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2019. 25 p. (In Russian.)
23. Buchneva G. N. *Fusarium langsethiae* mushroom on wheat grain in the Tambov region // Colloquium-journal. 2019. No. 16 (40). Pp. 30–31. (In Russian.)
24. Toropova E. Yu., Vorobieva I. G., Mustafina M. A., Saluk M. P. Monitoring of fungi of the genus *Fusarium* Link and their mycotoxins on wheat grain in Western Siberia // Agrochemistry. 2019. No. 5. Pp. 76–82. DOI: 10.1134/S0002188119050119. (In Russian.)
25. Gagkaeva T. Yu., Gavrilova O. P., Orina A. S. The first detection of the fungus *Fusarium globosum* in the mycobiota of grain crops in the Urals and Siberia // Bulletin of plant protection. 2019. No. 1 (99). Pp. 10–18. DOI: 10.31993/2308-6459-2019-1(99)-10-18. (In Russian.)
26. Gavrilova O. P., Orina A. S., Gogina N. N., Gagkaeva T. Yu. The problem of grain fusarium in the Trans-Urals: a retrospective of research and the current situation // Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. No. 07 (198). Pp. 29–40. DOI: 10.32417/1997-4858-2020-198-7-29-40. (In Russian.)
27. Sanin S. S., Ibragimov T. Z., Strizhekozin Yu. A. Method for calculating wheat yield losses from diseases // Plant protection and quarantine. 2018. No. 1. Pp. 11–15.
28. Zagoskin M. A. Mutual influence of cyanobacteria and micromycete *Fusarium culmorum* on the concentration of their metabolic products // Khimiya: dostizheniya i perspektivy: sbornik nauchnykh statey po materialam V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov i molodykh uchenykh. Rostov-on-Don; Taganrog, 2020. Pp. 35–38. (In Russian.)
29. Sokolova O. N. Mikotoksiny v silosovannykh kormakh i metody ikh neytralizatsii: dis. ...kand. s-kh. nauk [Mycotoxins in silo fodder and methods of their neutralization: dis. ... candidate of agricultural sciences]. Moscow: Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2018. 140 p. (In Russian.)
30. Lazarev A. M., Mysnik E. N., Varitsev Yu. A., Zaitsev I. A., Kozhemyakov A. P., Popov F. A., Volgarev S. A., Chebotar V. K. Areal and Zones of Severity of the Main Bacterioses of Plants on the Territory of Russia and Neighboring Countries. Saint Petersburg: VIZR, 2017. No. 241. 36 p. (Supplements to the journal “Plant Protection Bulletin”). DOI: 10.5281/zenodo.1018613. (In Russian.)
31. Koval' E. V. Vliyaniye tsianobakteriy na zhiznedeyatel'nost' yachmenya v usloviyakh zagryazneniya metilfosfonovoy kislotoy: dis. ... kand. biol. nauk [Influence of cyanobacteria on the vital activity of barley in conditions of contamination with methylphosphonic acid: dissertation ... candidate of biological sciences]. Kirov: Vyatka State University, 2019. 147 p. (In Russian.)
32. Fuzarioz kolosa zernovykh kul'tur [Fusarium ear of grain crops] [e-resource]. URL: <https://glavagronom.ru/articles/fuzarioz-kolosa-zernovykh-kul'tur> (date of reference: 10.03.2021). (In Russian.)
33. Shapovalova N. Pogodnye usloviya i effektivnost' pestitsidov [Weather conditions and effectiveness of pesticides] // Field of August. 2020. No. 6 (200). P. 8. (In Russian.)

**Author's information:**

Natalya A. Kosterina<sup>1</sup>, senior researcher, ORCID 0000-0002-0164-7776, AuthorID 1164754;  
+7 (343) 255-99-88, 47051\_1@mil.ru

<sup>1</sup>Branch of the “48 Central Scientific Research Institute” of the Ministry of Defence of the Russian Federation, Ekaterinburg, Russia