АГРОХИМИЯ, 2019, № 5, с. 76–82

УДК 632.04.01/08:631.576.331.2:633.11(571.1)

МОНИТОРИНГ ГРИБОВ РОДА *Fusarium* Link. И ИХ МИКОТОКСИНОВ НА ЗЕРНЕ ПШЕНИЦЫ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© 2019 г. Е. Ю. Торопова[1,2,*], И. Г. Воробьева[3], М. А. Мустафина[4], М. П. Селюк[1,2,]**

[1] *Новосибирский государственный аграрный университет*
630039 Новосибирск, ул. Добролюбова 160, Россия

[2] *Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии*
143050 Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, влад. 5, Россия

[3] *Центральный Сибирский ботанический сад СО РАН*
630090 Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, Россия

[4] *ООО "Сингента"*
115114 Москва, ул. Летниковская, 2, стр. 3, Россия

**E-mail: 89139148962@yandex.ru*

***E-mail: mpselyuck@inbox.ru*

Поступила в редакцию 18.11.2018 г.
После доработки 28.11.2018 г.
Принята к публикации 10.02.2019 г.

Изучили распространенность и вредоносность грибов рода *Fusarium* на семенном зерне из регионов Западной Сибири, а также выявили наличие фузариотоксинов в партиях продовольственного зерна. Исследование проводили в Новосибирской, Томской, Кемеровской, Тюменской, обл., Алтайском и Красноярском краях в течение 6-ти лет (2012–2017 гг.). Ежегодно анализировали 70–80 партий семенного зерна общепринятыми методами. Показано высокое, близкое к 100% распространение грибов рода *Fusarium* в семенном и продовольственном зерне яровой пшеницы в Западной Сибири. Зараженность партий достигала 70% и ≈половина партий были инфицированы >10%. Из семян яровой пшеницы выделяли следующие виды грибов рода *Fusarium*: *F. sporotrichioides* Sherb., *F. poae* (Peck) Wollenw., *F. equiseti* (Corda) Sacc., *F. oxysporum* Schltdl., *F. culmorum* (W.G.Sm.) Sacc., *F. solani* Koord., *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. incarnatum* (Desm.) Sacc., *F. heterosporum* Nees, *F. acuminatum* Ellis&Everh. и др. Коэффициенты корреляции между зараженностью семян грибами рода *Fusarium* и распространением корневой гнили проростков составили $r = 0.511–0.615$. Максимальный уровень инфицирования колосьев фузариевыми грибами был отмечен на фоне высоких температур, превышающих на 3–5°С средние многолетние показатели последней декады июля и всего августа 2011–2016 гг., сопровождавшихся обильными осадками. Коэффициенты корреляции степени инфицирования зерновок пшеницы грибами рода *Fusarium* и суммы осадков за август составили $r = 0.721–0.869$. При заражении колосьев в фазах колошения–цветения вероятность проникновения грибов в зародыш повышалась в 2 раза, в эндосперм – в 7.5 раза по сравнению с фазой налива зерна. Проникновение грибов рода *Fusarium* в эндосперм и зародыш в 1.4 раза снижало всхожесть зерна. Увеличение площадей под озимой пшеницей привело к расширению ареала *F. graminearum* Schwabe, вызывавшем типичные симптомы фузариоза колоса, распространенность которых в регионах Сибири на данный момент составляет до 15%. Образцы зерна пшеницы и ячменя урожая 2017 г. содержали микотоксины ДОН, Т-2, зеараленон. По частоте встречаемости в зерне преобладал микотоксин Т-2, выявленный в 54.3%, микотоксин ДОН был обнаружен в 22.9% из 35 исследованных партий зерна. Превышение ПДК микотоксинов Т-2 и ДОН выявлено в зерне из Исетского р-на Тюменской обл. и из Каратузского р-на Красноярского края.

Ключевые слова: мониторинг, грибы рода *Fusarium* Link., микотоксины, зерно, пшеница, Западная Сибирь.

DOI: 10.1134/S0002188119050119

ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг вредных организмов яровой пшеницы в течение последних 10–15 лет свидетельствует о постепенных изменениях численности популяций, характера и размеров экологических ниш, смене доминирующих видов в сообществах, повышении агрессивности ранее не встречавшихся или малопатогенных групп организмов [1–6]. Например, в Западной Сибири и Зауралье, начиная с 2007–2008 гг. произошла

смена доминирования фитопатогенов на подземных органах пшеницы, в результате которой грибы рода *Fusarium* заняли преобладающее положение над ранее доминировавшим *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem. [7]. Заселенность *Fusarium* spp. подземных органов зерновых культур в 2007–2016 гг. превышала численность *B. sorokiniana* в 2.5–8.0 раз. Самая высокая частота встречаемости на подземных органах пшеницы и ячменя была отмечена у *F. equiseti*, *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. subglutinans*, *F. poae* и *F. sporotrichioides* [7–9]. Среди факторов, обеспечивших доминирование фузариевых грибов в патокомплексе корневых гнилей зерновых культур, следует отметить усиление засушливости климата, минимизацию обработки почвы, ежегодное протравливание семян триазольными препаратами, снижение супрессивности почвы к грибам рода *Fusarium,* засоренность почв семенами сорняков [10–12].

Экологические ниши фитопатогенных грибов рода *Fusarium* включают не только подземные органы растений, но и генеративные органы, которые они заражают при благоприятных гидротермических условиях. Заражение колоса может происходить по сосудам или воздушно-капельным путем [13]. Интенсивность заражения колоса фитопатогенными фузариями определяется рядом абиотических и биотических факторов, среди которых существенную роль играют сортовые особенности культуры, фитосанитарное состояние почвы, конкуренция с другими фитопатогенами, погодные условия [13–16].

При заражении фузариевыми грибами продовольственного зерна главной опасностью становится способность возбудителей фузариозов синтезировать микотоксины [17–19]. Грибы р. *Fusarium* продуцируют ряд токсических соединений, крайне опасных для здоровья человека и животных. Среди них – зеараленон и трихотеценовые микотоксины. При употреблении загрязненных этими микотоксинами продуктов возникают серьезные заболевания человека и животных [20, 21].

Многие виды *Fusarium*, поражающие зерновые культуры, продуцируют фузариотоксины дезоксиниваленол (**ДОН**), ниваленол (**НИВ**), зеараненон (**ЗЕА**), **Т-2** токсин, а также фумонизины, вызывающие онкологические заболевания [22]. Например, основной возбудитель фузариоза колоса озимой пшеницы токсинопродуцирующий вид *F. graminearum* Schwabe синтезирует ДОН и его ацетатные производные, а также НИВ [23]. Фузариотоксины обладают нефротоксичными, иммуносупрессивными и канцерогенными свойствами [24, 25]. Токсинообразующие виды грибов рода *Fusarium* больше приурочены к теплым и влажным регионам. Стойкие популяции вида *F. graminearum* существуют в Приморском крае и на Северном Кавказе, откуда в период локальных погодных изменений происходит периодическое расселение патогена с семенами или воздушными течениями на новые участки, где складываются благоприятные для него климатические условия. Например, на северо-западе России *F. graminearum* зарегистрирован с 2003 г. Возможно, отмеченное потепление климата, особенно в зимние месяцы, способствовало выживанию *F. graminearum* на новых территориях, или же гриб адаптируется к более холодным условиям обитания [3, 4].

Проявление микотоксикозов, вызванных грибами рода *Fusarium*, периодически отмечали и в Западно-Сибирском регионе. На Алтае потребление в пищу зерна с высокой зараженностью грибами рода *Fusarium*, вероятно, было причиной высокой частоты проявления у новорожденных детей “затяжной желтухи” [20]. По данным лаборатории микологии и фитопатологии ВИЗР, зерно из Алтайского края характеризовалось высокой, более 40%, зараженностью *F. poae, F. equiseti, F. sporotrichioides*, что отражало общую скрытую зараженность растений региона фузариевыми грибами. В этой связи в работе [20] Алтайский край отнесен “в группу фузариоопасных микотоксикологических регионов России”. Со времени указанной публикации ситуация с фузариевыми грибами в регионе значительно обострилась [12]. По данным исследований 2006–2016 гг., грибы р. *Fusarium* являются основными в комплексе патогенов на семенах яровой пшеницы, превышение их пороговых количеств (10%) выявлено в большинстве семенных партий [26].

Цель работы – изучение распространенности и вредоносности грибов рода *Fusarium* на семенном зерне из регионов Западной Сибири, а также выявление наличия в партиях продовольственного зерна фузариотоксинов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в Новосибирской, Томской, Кемеровской, Тюменской обл., Алтайском и Красноярском краях в течение 6-ти лет (2012–2017 гг.). Ежегодно анализировали 70–80 партий семенного зерна методом влажных рулонов по ГОСТ 12044-93, микологический анализ зерна проводили на агаре Чапека (ЧА) и картофельно-декстрозном агаре (КДА) по стандартной методике [27]. Динамику заселения колосьев яровой пшеницы грибами рода *Fusarium* изучали в северной лесостепи Приобья в 2011–2013 гг. на районированных сортах Новосибирская 31, Омская

Таблица 1. Распространенность грибов рода *Fusarium* на семенном зерне яровой пшеницы (Западная Сибирь), %

Год получения семян	Число партий	Распространение в партиях	Зараженность партий		Доля партий с зараженностью >10%
			лимиты	среднее	
2012	76	80.0	0–13	5.2	20.0
2013	71	87.3	0–56	15.5	50.3
2014	73	89.0	0–36	9.9	43.7
2015	70	97.1	0–46	10.1	49.2
2016	72	100	1–71	13.8	48.6
2017	82	100	1–66	13.9	55.0

36, Баганская 95, Алтайская 70, которые высевали на делянках площадью 5.0–10 м^2 в четырехкратной повторности. Начиная с фазы колошения и до фазы полного созревания зерна еженедельно колосья пшеницы помещали в бумажные изоляторы по 10 шт. в десятикратной повторности. Перед уборкой колосья срезали и проводили микологический анализ семян и органов зерновки на КДА. Разделение зерновок на органы проводили вручную скальпелем и пинцетом после их стерилизации в 0.05%-ном растворе перманганата калия ($KMnO_4$) и замачивания на 2 ч в стерильной воде. В каждом варианте анализировали по 50 зерновок. Для идентификации микромицетов использовали классические определители [28, 29]. Содержание микотоксинов в зерне определяли методом непрямого конкурентного иммуноферментного анализа (**ИФА**) с чувствительностью 4 мкг/кг (Т-2 токсин), 20 мкг/кг (зеараленон), 50 мкг/кг (дезоксиниваленол) в соответствие с наставлениями по применению тест-систем, утвержденными Департаментом ветеринарии Минсельхоза России 11.07.2002 г., ГОСТ Р 52471-2005 и ГОСТ 31653-2012.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты многолетнего мониторинга распространения грибов рода *Fusarium* на семенном зерне представлены в табл. 1. Анализ данных показал постоянное и значительное распространение грибов рода *Fusarium* на семенном зерне яровой пшеницы Западной Сибири. В настоящее время все партии зерна в той или иной степени инфицированы грибами рода *Fusarium,* причем зараженность около половины партий была больше пороговой (10%) величины. Зараженность отдельных партий была катастрофической, многократно (в 7 раз) превышала порог вредоносности и соответствовала уровню сильной эпифитотии.

Из семян яровой пшеницы выделяли следующие виды грибов рода *Fusarium,* представленные в порядке убывания частоты встречаемости: *F. sporotrichioides* Sherb., *F. poae* (Peck) Wollenw., *F. equiseti* (Corda) Sacc., *F. oxysporum Schltdl., F. culmorum* (W.G.Sm.) Sacc., *F. solani* Koord., *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. incarnatum* (Desm.) Sacc., *F. heterosporum* Nees. Единично в образцах зерна отмечены также *F. acuminatum* Ellis&Everh., *F. subglutinans* Wollenw.&Reinking и др.

Зараженность семенного зерна фузариевыми грибами снижала его посевные качества. Коэффициенты корреляции между зараженностью семян грибами рода *Fusarium* и распространением корневой гнили проростков на рулонах составили за указанный период $r = 0.511–0.615$ и были достоверными при 1%-ном уровне значимости.

Передача грибов рода *Fusarium* с семенами приводила к формированию новых очагов фитопатогенов в почве или усугубляла уже существующие, замедляла ростовые процессы проростков и всходов, изреживала их за счет активного старта эпифитотического процесса корневых гнилей с начала вегетации растений [9]. Применение протравителей семян не обеспечило радикального оздоровления растений по причине низкой чувствительности фузариевых грибов к фунгицидам и высокой заселенности зональных почв фитопатогенами, достигавшей 7 и более экономических порогов вредоносности (**ЭПВ**) [7, 12].

Сезонная динамика грибов рода *Fusarium* на колосе яровой пшеницы зависела от погодных условий года. Чем выше была температура на фоне достаточного (ГТК > 1) увлажнения, тем более стабильно эти микромицеты занимали свою дополнительную экологическую нишу в пределах колоса пшеницы. Максимальный, близкий к 100% уровень инфицирования колосьев фузариевыми грибами отмечен на фоне высоких температур, которые превышали на 3–5°С средние многолетние показатели последней декады июля и всего августа и сопровождались обильными осадками. Коэффициенты корреляции степени ин-

Таблица 2. Влияние срока инфицирования колосьев яровой пшеницы на зараженность органов зерновки и вредоносность грибов рода *Fusarium*

Показатель	Срок инфицирования колосьев		$НСР_{05}$ частных средних
	колошение–цветение	налив зерна	
Инфицированые органы зерновки, %			
зародыш	23.6	11.2	9.3
эндосперм	67.2	9.0	
оболочка	77.1	26.2	
Лабораторная всхожесть семян, %	70.3	96.5	8.9

фицирования зерновок пшеницы грибами рода *Fusarium* и суммы осадков за август составили по годам $r = 0.721–0.869$.

Показано (табл. 2), что вредоносность грибов рода *Fusarium* при передаче с семенами зависела от срока инфицирования колосьев: чем раньше происходило заражение, тем выше была вероятность проникновения фитопатогенов в зародыш и эндосперм, где при прорастании семян нового урожая действие токсинов наиболее губительно сказывалось на развитии проростков пшеницы.

При заражении колосьев в фазах колошения–цветения вероятность проникновения грибов в зародыш повышалась в 2 раза, в эндосперм – в 7.5 раза по сравнению с фазой налива зерна. Это связано с повышенной проницаемостью оболочек зерновок на начальных этапах их формирования, что облегчает проникновение фитопатогенов. В период налива жесткость оболочек зерновки постепенно возрастает, зерновка постепенно теряет влагу, что затрудняет проникновение микромицетов в ее внутренние структуры. Проникновение грибов рода *Fusarium* в эндосперм, а особенно в зародыш на ранних этапах формирования зерновок, значительно, в 1.4 раза, снижало в дальнейшем их всхожесть.

Инфицированные грибами рода *Fusarium* колосья яровой пшеницы в большинстве случаев имели нормальный вид, но периодически отмечали симптомы “белоколосости”, при избыточном увлажнении колосья покрывались розоватым мицелием.

В последние 3–5 лет в связи с умеренными зимними температурами значительно расширились площади под озимой пшеницей во всех регионах Сибири, ее общая площадь в настоящее время по экспертным оценкам составляет 300–320 тыс. га. Наряду с сортами сибирской селекции (Зимушка, Метелица, Жатва Алтая, Сибирская нива, Новосибирская 51, Новосибирская 40 и др.), достаточно широко возделывают и европейские сорта озимой пшеницы, в частности, сорт Скипетр [10]. Нередкими на полях Сибири стали и немецкие сорта озимой пшеницы, в частности, Торрилд и Скаген.

Расширение площадей под озимой пшеницей способствовало росту ареалов приуроченных к ней вредных организмов – возбудителей склеротиниоза, снежной плесени, тифулеза, а также клопа вредной черепашки, хлебного жука-кузьки и др.

В последние годы в агроценозах озимой пшеницы стали проявляться и типичные симптомы фузариоза колоса. Пораженные колосья, их части или отдельные колоски сначала светлели, затем приобретали красно-коричневый оттенок. Очаги “типичного” фузариоза колоса отмечены в Алтайском крае, Новосибирской, Омской, Тюменской и Кемеровской обл., а также в Красноярском крае. Площади с “типичными” симптомами фузариоза колоса пока не велики, и распространенность болезни можно считать умеренной, не превышающей 15%.

Микологический анализ зерна из колосьев с типичными симптомами фузариоза показал наличие комплекса видов рода *Fusarium*, в том числе и *F. graminearum*, ареал распространения которого ранее не включал территорию Сибири [3, 4]. Микромицет формировал типичные по морфологическим признакам колонии и макроконидии. Исследование грибных изолятов из колосьев с симптомами фузариоза методом ПЦР в реальном времени подтвердило их вероятную принадлежность к виду *F. graminearum*. Генетический анализ показал высокую вероятность заноса этого вида из европейской части Российской Федерации с семенами озимых культур. Погодные условия Западной Сибири последних лет, по-видимому, оказались в пределах адаптационных возможностей *F. graminearum*. Поэтому весьма велика вероятность образования сибирской популяции этого чрезвычайно опасного фитопатогена.

Одним из доказательств резкого обострения проблемы фузариоза колоса в Уральском и Сибир-

Таблица 3. Содержание микотоксинов в продовольственном зерне злаковых культур из регионов Сибири и Урала (2017 г.)

Область, край	Район	Содержание микотоксина, мкг/кг			Культура, сорт
		Т-2 токсин	Дезоксиниваленон (ДОН)	Зеараленон	
Омская	Марьяновский	11	–	–	Яровая пшеница сорта ОмГАУ-90
		6	560	–	Яровая пшеница сорта Элемент-22
Тюменская	Исетский	5	330	–	Яровая пшеница сорта Икар
		40	–	–	
		225	315	–	
		23	1250	–	
Челябинская	Варненский	22	–	–	Яровая пшеница сорта Дуэт
	Варненский	63	–	–	Яровая пшеница сорта Дуэт
	Октябрьский	50	–	–	Яровая пшеница сорта Любава
Новосибирская	Красноозерский	33	–	–	Яровая пшеница сорта Омская 18
		18	–	–	Яровой ячмень сорта Квенч
		5	–	–	Яровая пшеница сорта Омская 36
		6	–	–	Яровая пшеница сорта Баганская 95
		24	–	–	Яровой ячмень Квенч
	Кожевниковский	27	–	–	Озимая пшеница сорта Скипетр
	Коченовский	20	50	–	Яровая пшеница сорта Новосибирская 31
Красноярский	Каратузский	4	1070	39	Яровая пшеница сорта Ветлужанка
		4	3300	215	
		180	3160	90	

ском регионах стало обнаружение фузариотоксинов в продовольственном зерне урожая 2017 г. Выборочная оценка 35 партий зерна пшеницы и ячменя из Новосибирской, Омской, Тюменской, Челябинской областей и одного района Красноярского края в 19 случаях выявила наличие в них опасных микотоксинов – Т-2, ДОН и ЗЕА (табл. 3).

По результатам проведенных исследований, микотоксин Т-2 был обнаружен в 54.3% проанализированных партий зерна. Предельно допустимые концентрации (**ПДК**) в зерне пшеницы данного токсина составляют 100 мкг/кг (Регламент Таможенного союза ТР ТС 015/2011 с изменениями на 15.09.2017). Превышение ПДК Т-2 токсина отмечены в 2-х случаях: в 2.3 раза – в Исетском р-не Тюменской обл. и в 1.8 раза – в Каратузском р-не Красноярского края. ДОН обнаружен в 22.9% партий и наиболее часто – в зерне из Тюменской обл. и Красноярского края.

ПДК ДОН для пшеницы составляет 700 мкг/кг, ее превышение выявлено в 3-х случаях: в 1.7 раза – в зерне пшеницы из Исетского р-на Тюменской обл. и в 1.5–4.7 раза – в зерне пшеницы из Каратузского р-на Красноярского края. ЗЕА обнаружен только в зерне пшеницы из Красноярского края и его количество было в пределах ПДК (1000 мкг/кг).

Систематический массовый контроль содержания микотоксинов в продовольственном зерне и пшеничной муке в Сибирском регионе пока не проводят [30]. Эта ситуация в самое ближайшее время должна быть исправлена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Доминирование грибов рода *Fusarium* на подземных органах зерновых культур способствовало их широкому, близкому к 100% распространению и на семенном зерне в регионах Сибири. Зараженность партий семян фузариозом достигала 70% и около половины партий были инфицированы больше 10%. На семенах яровой пшеницы постоянно присутствовал достаточно широкий набор видов рода *Fusarium*, среди которых с разной частотой отмечены *F. sporotrichioides*, *F. poae*, *F. equiseti, F. oxysporum, F. culmorum*, *F. solani*, *F. avenaceum*, *F. incarnatum*, *F. heterosporum*, *F. acumina-*

tum, F. solani и др. Посевные качества инфицированных семян значительно снижались ($r = 0.511–0.615$). Вредоносность фитопатогенов усугублялась при раннем, в период колошения, инфицировании зерновок. Распространению и развитию патогена способствовали высокие температуры в последней декаде июля и в августе, превышающие средние многолетние показатели на 3–5°С, а также обильные осадки. Коэффициенты корреляции степени инфицирования зерновок пшеницы грибами рода *Fusarium* и суммы осадков за август составили $r = 0.721–0.869$.

С расширением площадей под озимой пшеницей и завозом семян из европейской части страны возможен рост биологического разнообразия фузариевых грибов. В 2016 г. на территории Сибири выявлен вид *F. graminearum*, вызывавший типичные симптомы поражения зерновых культур фузариозом колоса.

Фузариоз колоса индуцирует загрязнение фузариотоксинами продовольственного зерна. В настоящее время в зерне пшеницы и ячменя из ряда регионов Сибири выявлены микотоксины: ДОН – в 22.9%, Т-2 – в 54.3%, зеараленон – в 8.6% исследованных партий. Превышение ПДК Т-2 токсина и ДОН выявлено в зерне из Тюменской обл. и Красноярского края. Эти данные свидетельствуют об острой необходимости оперативного введения массового контроля содержания микотоксинов в продовольственном зерне и муке санитарно-гигиенической службой Сибирского региона. Актуальна также научно обоснованная корректировка зональных систем защиты растений по оздоровлению почвы от фузариевых грибов за счет повышения ее супрессивности и подбора фитосанитарных предшественников, а также включения в технологии приемов оперативной защиты колосьев от фузариоза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Garrett K.A., Dendy S.P., Frank E.E.* Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems // Annu. Rev. Phytopathol. 2006. V. 44. P. 489–509.
2. *Magan N., Medina A., Aldred D.* Possible climate-change effects on mycotoxin contamination of food crops pre and postharvest // Plant Pathol. 2011. V. 60. № 1. P. 150–163.
3. *Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Левитин М.М.* Фузариоз зерновых культур // Прилож. к журн. “Защита и карантин растений”. 2011. № 5. С. 70–112.
4. *Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Левитин М.М.* Биоразнообразие и ареалы основных токсинопродуцирующих грибов рода *Fusarium* // Биосфера. 2014. Т. 6. № 1. С. 36–45.
5. *Левитин М.М.* Микроорганизмы в условиях глобального изменения климата // Сел.-хоз. биол. 2015. Т. 50. № 5. С. 641–647.
6. *Toropova E.Yu., Glinushkin A.P., Selyuk M.P., Kazakova O.A., Ovsyankina A.V.* Development of soil-borne infections in spring wheat and barley as influenced by hydrothermal stress in the forest-steppe conditions of Western Siberia and the Urals // Rus. Agricult. Sci. 2018. № 44 (3). P. 241–244.
7. *Торопова Е.Ю., Казакова О.А., Воробьева И.Г., Селюк М.П.* Фузариозные корневые гнили зерновых культур в Западной Сибири и Зауралье // Защита и карантин растений. 2013. № 9. С. 23–26.
8. *Казакова О.А.* Экологическая оценка патогенного микоценоза семян ячменя в лесостепи Западной Сибири и Восточного Зауралья: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2013. 18 с.
9. *Торопова Е.Ю., Соколов М.С., Глинушкин А.П.* Индукция супрессивностии почв – важнейший фактор лимитирования вредоносности корневых инфекций // Агрохимия. 2016. № 8. С. 46–57.
10. *Doohan F.M., Brennan J., Cooke B.M.* Influence of climatic factors on *Fusarium* species pathogenic to cereals // Europ. J. Plant Pathol. 2003. V. 109. № 7. P. 755–768.
11. *Dixon G.R., Tilston E.L.* Soil-borne pathogens and their interactions with the soil environment // Soil Microbiol. Sustain. Crop Product. 2010. P. 197–271.
12. *Торопова Е.Ю., Селюк М.П., Казакова О.А.* Факторы доминирования грибов рода *Fusarium* в патокомплексе корневых гнилей зерновых культур // Агрохимия. 2018. № 5. С. 73–82.
13. *Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я., Чулкина В.А.* Эпифитотиология / Под ред. Соколова М.С., Чулкиной В.А. Новосибирск, 2011. 711 с.
14. *Аблова И.Б., Беспалова Л.А., Колесников Ф.А., Набоков Г.Д., Ковтуненко В.Я., Филобок В.А., Давоян Р.О., Худокормова Ж.Н., Мохова Л.М., Левченко Ю.Г., Тархов А.С.* Принципы и методы селекции пшеницы на устойчивость к болезням в КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко // Зерн. хоз-во России. 2016. № 5. С. 32–36.
15. *Казакова О.А., Торопова Е.Ю., Воробьева И.*Г. Взаимоотношения фитопатогенов семян ячменя в Западной Сибири // АПК России. 2016. Т. 23. № 5. С. 931–934.
16. *Манукян И.Р., Басиева М.А.* Селекция озимой пшеницы на устойчивость к фузариозу колоса для условий предгорной зоны Северного Кавказа // Вестн. АПК Ставрополья. 2016. № 3 (23). С. 194–196.
17. *Bacon C.W., Yates I.E.* Endophytic root colonization by fusarium species: histology, plant interactions, and toxicity: Microbial root endophytes // Soil Biol. 2006. V. 9. P. 133–152.
18. *Bernhoft A., Torp M., Clasen P.E., Loes A.K., Kristoffersen A.B.* Influence of agronomic and climatic factors on *Fusarium* infestation and mycotoxin contamination of cereals in Norway // Food Addit. Contamin. 2012. Part A. P. 1–12.
19. *Монастырский О.А.* Микотоксины – глобальная проблема безопасности продуктов питания и кормов // Агрохимия. 2016. № 6. С. 67–71.

20. *Левитин М.М.* Микотоксины фитопатогенных грибов и микотоксикозы человека // Усп. мед. микол. 2003. Т. 1. № 1. С. 148–149.

21. *Мазыгула Е.Д., Харламова М.Д.* Оценка токсичности и экологической опасности сырья и кормов, содержащих микотоксины // Вестн. Рос. ун-та дружбы народов. Сер. экол. и безопасность жизнедеятельности. 2015. № 1. С. 50–56.

22. *Weidenborner M.* Encyclopedia of food micotoxins. Berlin: Springer, 2001. 194 p.

23. *Miller J.D.* Aspects of the ecology of *Fusarium* toxins in cereals // Mycotoxins and Food Safety: Adv. Experiment. Med. and Biol. 2002. V. 504. P. 19–27.

24. *Саркисов А.Х.* Избр. тр. Микология. Микотоксикозы. Дерматомикозы. М., 2000. 400 с.

25. *Hussein H.S., Brasel J.M.* Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on humans and animals // Toxicology. 2001. V. 167 (2). P. 101–134.

26. *Торопова Е.Ю., Захаров А.Ф.* Предпосевная подготовка семян яровой пшеницы в условиях ресурсосберегающих технологий // Защита и карантин растений. 2017. № 3. С. 28–32.

27. *Чулкина В.А., Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я., Кириченко А.А., Мармулева Е.Ю., Гришин В.М., Казакова О.А., Селюк М.П.* Фитосанитарная диагностика агроэкосистем / Под ред. Тороповой Е.Ю. Барнаул, 2017. 210 с.

28. *Билай В.И.* Фузарии. Киев: Наукова думка, 1977. 443 с.

29. *Gerlach W., Nirenberg H.* The genus *Fusarium* – a pictorial atlas. Berlin–Dahlem: Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstw, 1982. 406 p.

30. *Торопова Е.Ю., Селюк М.П., Казакова О.А., Соколов М.С., Глинушкин А.П.* Факторы индукции супрессивности почв агроценозов // Агрохимия. 2017. № 4. С. 58–71.

Fusarium Link. Fungi on the Wheat Grains in Western Siberia

E. Yu. Toropova[a,b,#], I. G. Vorob'eva[c], M. A. Mustafina[d], and M. P. Selyuk[a,b,##]

[a] *Novosibirsk State Agrarian University*
ul. Dobrolyubova 160, Novosibirsk 630039, Russia

[b] *All-Russian Research Institute of Phytopathology*
ul. Institute, bld. 5, Moscow region, Odintsovsky district, r.p. Bolshiye Vyazemy 143050, Russia

[c] *Central Siberian Botanical Garden SB RAS*
Zolotodolinskaya ul. 101, Novosibirsk 630090, Russia

[d] *"Syngenta" AG*
ul. Letnikovskaya 2, p. 3, Moscow 115114, Russia

[#]*E-mail: 89139148962@yandex.ru*

[##]*E-mail: mpselyuck@inbox.ru*

The purpose of this work was to investigate the *Fusarium* fungi prevalence on the cereal crops seeds from the Western Siberia regions, as well as the fusariotoxins content study in the food grain samples. Studies were conducted in the Novosibirsk, Tomsk, Kemerovo, Tyumen, Altai and Krasnoyarsk regions for 6 years (2012–2017). Each year, 70–80 seed and grains samples were analyzed by conventional methods. Studies showed a high, close to 100% *Fusarium* fungi distribution in the seed and food spring wheat grains in the Western Siberia. The contagion reached 71% and more than, the samples half were infected above 10%. From the spring wheat seeds, the following *Fusarium* species were isolated: *F. sporotrichioides* Sherb., *F. poae* (Peck) Wollenw., *F. equiseti* (Corda) Sacc., *F. oxysporum* Schltd., *F. culmorum* (WGSm.) Sacc., *F. solani* Koord., *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. incarnatum* (Desm.) Sacc., *F. heterosporum* Nees, *F. acuminatum* Ellis &Everh., etc. The correlation coefficients between the seed infection with *Fusarium* fungi and the sprouts root rot spread were r = 0.511–0.615. The maximal ears infection level with *Fusarium* fungi was noted when temperatures exceeding by 3–5°C the average long-term data in the last decade of July and August in 2011–2016, accompanied by heavy rainfall. Correlation coefficients of the wheat grains *Fusarium* infection degree and the precipitation sum in August were r = 0.721–0.869. When the ears were infested in the earing – flowering phases, the fungi penetration probability into the embryo increased 2 times, and into the endosperm – by 7.5 times compared with the ears loading phase. *Fusarium* fungi penetration into seed endosperm and embryo reduced their germination 1.4-fold. The expansion areas under winter wheat led to the expansion *F. graminearum* Schwabe area, which caused typical *Fusarium* spike symptoms, which prevalence in the regions of Siberia at the moment is 15%. The wheat and barley grainsamples in 2017 contained mycotoxins DON, T-2, zearalenone. In the grain samples mycotoxin T-2 prevailed, detected in 54.3%, mycotoxin DON was found in 22.9% of the 35 investigated grain samples. The excess of T-2 toxin and DON MPC was detected in grain from Isetsky district of Tyumen region and from Karatuzsky district of Krasnoyarsk region.

Key words: Fusarium Link. fungi, wheat, grain, Western Siberia.