

УДК 632.4:633.11“324”

ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ НАКОПЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ФУЗАРИЕВ НА ЗЕРНЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ХОЗЯЙСТВАХ ЮГА РОССИИ (2014–2020 гг.)

© 2022 г. Н. И. Будынков^{1,*}, С. Н. Михалева¹¹ Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
143050 Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Большие Вяземы, ул. Институт, влад. 5, Россия

*E-mail: oranzar@yandex.ru

Поступила в редакцию 06.08.2021 г.

После доработки 16.08.2021 г.

Принята к публикации 15.10.2021 г.

Многолетний мониторинг микробиоты семенного и продовольственного зерна озимой пшеницы в хозяйствах юга России показал, что их в основном колонизирует ограниченный круг опасных микробиот: доминирующие патогены – *Alternaria alternata*, *Fusarium moniliforme*, значительно реже на зерне присутствуют *Bipolaris sorokiniana*, *F. semitectum*, *F. solani*, *F. cerealis*, *F. heterosporum*, *F. gibbosum*, *Ascochyta gramionicola*, *Epicoccum* sp. и др., часто встречаются патогены-токсиканты – *F. sporotrichiella*, реже – *F. poae*, часто отмечены возбудители плесени зерна – *Mucor* spp., *Rhizopus nigricans*, *Penicillium* spp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus glaucus*, *Aspergillus flavus*, реже – *Cladosporium herbarum*. За период 2014–2020 гг. отмечено нарастание уровня зараженности зерна опасным патогенным грибом *F. moniliforme*, продуцентом микотоксинов из группы фумонизинов, возбудителем корневых и прикорневых гнилей: в Курской обл. – 2.3-кратное (до уровня 7%), в Волгоградской – 3.7-кратное (до уровня 11%), в Ростовской обл. – 8.7-кратное (до уровня 22–26%), в Ставропольском крае – 5.4-кратное (до уровня 25–27%). Весьма вероятные последствия этого – накопление микотоксинов на продовольственном и фуражном зерне и серьезные фитосанитарные проблемы во время вегетации пшеницы при развитии гнилей и сосудистых заболеваний. Наименьший уровень колонизации зерна *F. sporotrichiella* отмечен в Волгоградской обл. – на уровне 1–2% в течение всего 7-летнего периода. Аналогичная тенденция прослежена до 2016 г. в Ростовской обл., но затем наблюдали 2-летнее повышение колонизации в 2.0–2.5 раза, и относительная стабилизация в 2019–2020 гг. на уровне 2–3%. Наибольшую нестабильность колонизации зерна грибом *F. sporotrichiella* с амплитудой 1–6% наблюдали в Ставропольском крае: к 2015 г. отмечено 4-кратное увеличение уровня колонизации в сравнении с уровнем 2014 г., в 2015–2017 гг. – стабилизация на уровне 3–4%, затем – резкое уменьшение показателя с 4 до 1% в 2017–2018 гг., 6-кратный рост к 2019 г. и уменьшение до 4% к 2020 г. Стабильно высоким (7–8%) за период 2014–2020 гг. был уровень колонизации зерна грибом *F. sporotrichiella* в Курской обл. Вероятно, этот регион может быть критическим по загрязненности зерна озимой пшеницы Т-2 токсином. Учет максимальных уровней колонизации зерна озимой пшеницы грибами *F. moniliforme* и *F. sporotrichiella* еще более реально продемонстрировал наличие опасной ситуации с патогенами и, потенциально, микотоксинами на озимой пшенице в регионах юга России. Максимальная колонизация отдельных партий зерна грибами *F. moniliforme* за годы изучения достигала 7% в Курской обл., 46 – в Волгоградской, 65 – в Ростовской и 57% – в Ставропольском крае. Судя по уровню колонизации зерна озимой пшеницы продуцентом, вероятность получения загрязненных Т-2 токсином (продуцент *F. sporotrichiella*) партий зерна в Волгоградской обл. гораздо меньше, чем в Курской, Ростовской обл. и Ставропольском крае. Судя по литературным данным, с 2004 по 2020 г. на юге России произошло многократное нарастание зараженности зерна озимой пшеницы опасными фузариями *F. moniliforme* и *F. sporotrichiella*, возросла опасность развития сосудистых заболеваний и гнилей, а также загрязненности зерна микотоксинами из группы фумонизинов и Т-2 токсином.

Ключевые слова: озимая пшеница, культура-предшественник, факультативные паразиты грибной природы, колонизация, патогены, возбудители болезней, микотоксины, севооборот, агроценоз.

DOI: 10.31857/S0002188122010057

ВВЕДЕНИЕ

Технологические и агрохимические изменения в процессе выращивания растений, минимализация обработки почвы, в частности, прекра-

щение пахоты, увеличение доз удобрений и пестицидной нагрузки на посевы дали сильный толчок к изменениям структуры полевых агроценозов и далеко не всегда позитивным. Скорость

развития многих негативных процессов относительно невысокая, но, если своевременно не проводить компенсирующих мероприятий, — стабильная. В итоге — эпифитотии фузариоза колоса озимой пшеницы развивались в 2014, 2016, 2017 гг. на Северном Кавказе, эпифитотии вирусных болезней озимой пшеницы в 2018–2020 гг. в Нижнем Поволжье и на Северном Кавказе, практически повсеместно — гнили, листовые пятнистости яровой и озимой пшеницы, ячменя, фузариоз, пероноспороз и аскохитоз зернобобовых культур во всех зонах выращивания, спорадические вспышки бурой, желтой, стеблевой ржавчины на пшенице, горохе и других культурах. В почве и на растительных остатках происходило накопление опасной микробиоты — факультативных паразитов грибной природы, которая была источником заражения полевых культур, ежегодно вызывала их активное заболевание, что являлось существенным фактором снижения урожайности пшеницы, ячменя, сои, нута на юге России, значительного ухудшения качества продукции — продовольственного, семенного, фуражного зерна. На зерне озимой пшеницы традиционно встречались возбудители пыльной и твердой, иногда — карликовой головни, которые в отсутствие должного контроля при нескольких посевах наносили значительный ущерб посевам, снижали качество продукции [1]. Нежелательным повсеместно было присутствие в партиях зерна зерновок с “черным зародышем”.

В разных регионах Евразии особо опасными считаются возбудители головневых заболеваний [2]. Пристальное внимание в Европе уделяют также фузариевым болезням колоса и зерна, возбудители которых *Fusarium graminearum*, реже — *F. culmorum*, *F. poae*, *F. avenaceum*, *F. tritinctum* [3–6] являются также продуцентами микотоксинов — дезоксиниваленола, Т-2 токсина, монилиформина и др.

В более засушливых условиях российского Среднего Поволжья данные фузариевые патогены для колоса и зерна менее опасны и, помимо головневых, при фитоэкспертизе семян внимание обращают на различные менее опасные виды фузариев (*Fusarium* spp.), виды альтернарии и ризоктонии [7]. Для Казахстана и российской Восточной Сибири наиболее часто встречающимися на семенах пшеницы опасными патогенами считаются *Bipolaris sorokiniana*, *Alternaria* spp. — возбудители “черного зародыша”, черни, а также — виды фузариев (*Fusarium* spp.) [2, 8].

В условиях стран Южной Азии (Непал, Индия, Пакистан) на зерне доминирует *Bipolaris sorokiniana*, уступают ему по встречаемости

F. moniliforme, *F. graminearum*, не менее вредоносные [9, 10], а также возбудители головневых заболеваний [11]. При более тщательном изучении плесневых грибов, наряду с *Bipolaris sorokiniana* здесь были в значительном количестве обнаружены высокопатогенные для злаков виды *Curvularia lunata* и *Drechslera australiensis* [10].

В Юго-Западной Азии опасными, переносимыми на зерне грибными патогенами являются, помимо головневых, *F. graminearum*, *Bipolaris sorokiniana*, *Microdochium nivale*, *F. culmorum*, *Curvularia* spp., *Alternaria* spp., *Fusarium* spp. [12–14].

Зараженное факультативными паразитами грибной природы из рода *Fusarium* зерно накапливает микотоксины, опасные для потребителей зернопродукции, а также является звеном в передаче инфекции посевам последующих вегетационных сезонов. По этой причине мониторинг опасной микробиоты, контроль болезней зерновых культур, восстановление микробиологической структуры полевых агроценозов должны стать важнейшими звеньями выращивания полевых культур [15, 16]. Только уровень колонизации зерна пшеницы микотоксикантами и патогенами, загрязненности микотоксинами, оцененный с помощью микробиологических и приборных токсикологических анализов, должен быть показателем его пригодности для пищевых и фуражных целей, а также в качестве семенного материала.

Цель работы — оценка результатов мониторинга многолетней динамики возбудителей болезней и микотоксикантов из рода *Fusarium* на зерне озимой пшеницы в хозяйствах Нижнего Поволжья, Черноземной зоны, Северного Кавказа, оценка опасности и причин сложившихся негативных тенденций, возможности их контроля.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на образцах зерна озимой пшеницы, выращенной на производственных полях Волгоградской, Курской, Ростовской обл. и Ставропольского края в лаборатории ВНИИФ в 2014–2020 гг. Образцы зерна отбирали на токах и из зернохранилищ хозяйств.

Микробиологические анализы в условиях лаборатории ВНИИФ проводили по методике с использованием искусственной питательной среды Чапека [1, 16, 18]. Зерновки озимой пшеницы закладывали на питательную среду с целью оценки уровня их колонизации микроорганизмами грибной природы. Анализ видового состава микробиоты *in vitro* проводили на 7-е сут инкубации. Видовую принадлежность образующихся на питательной среде колоний микромицетов опреде-

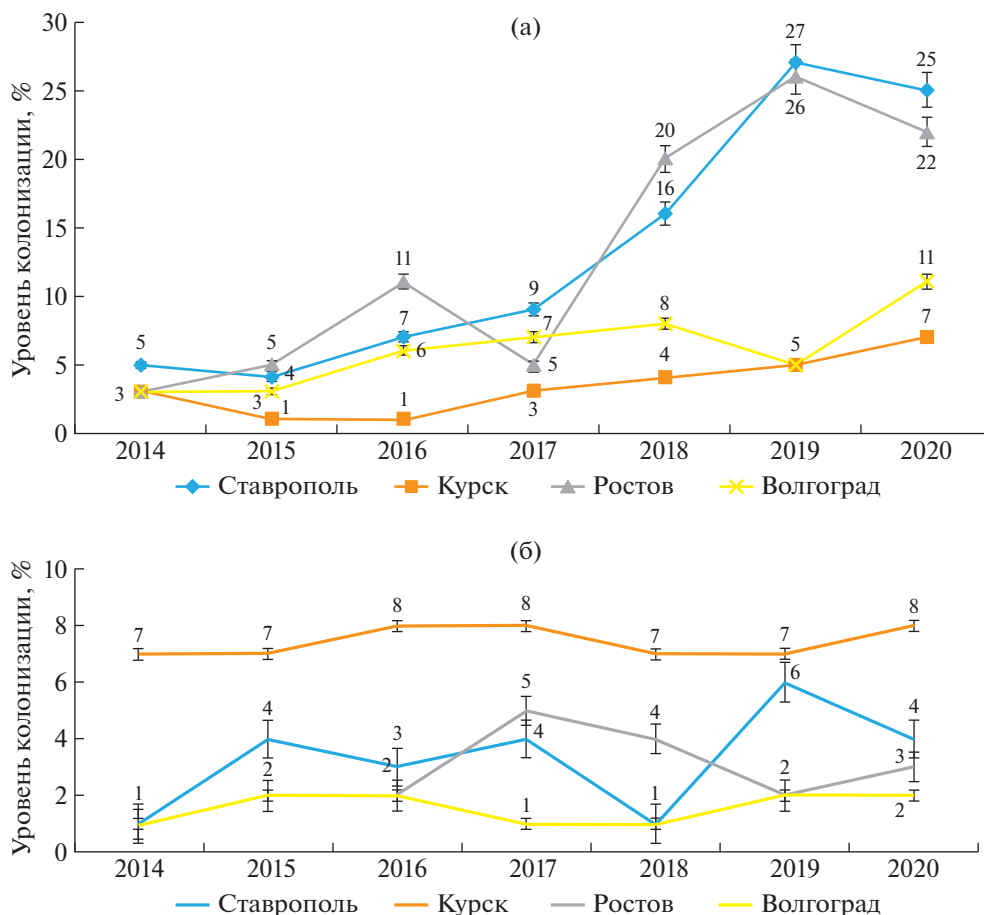


Рис. 1. Уровень колонизации зерна озимой пшеницы патогенными грибами в регионах России: (а) – *Fuzarium moniliforme*, (б) – *F. sporotrichiella*.

ляли по форме органов споруляции (конидиеносцев, конидий, асков, спор и др.) под микроскопом [1, 16–18].

Учитывали количество колоний микроорганизмов разных видов, выделенных *in vitro*, далее вычисляли долю (в %) каждого выделенного микроорганизма относительно числа зерновок, размещенных на питательной среде, проводили также подсчет доли зерновок с колонизацией тем или иным микроорганизмом. При обработке результатов учитывали также количество образцов зерна без инфицирования доминирующими патогенами и токсикантами.

В статье приведены результаты оценки уровня колонизации зерна наиболее часто встречающимися опасными грибными патогенами пшеницы: *Fusarium moniliforme* (sin. *F. verticillioides*) – сильный патоген, возбудитель гнилей, сосудистых заболеваний, продуцент микотоксинов из группы фумонизинов, а также *F. sporotrichiella* (sin. *F. sporotrichioides*) – относительно слабый патоген, продуцент Т-2 микотоксина.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ежегодные оценки микробиоты семенного и продовольственного зерна озимой пшеницы в хозяйствах юга России показали, что их в основном колонизировал ограниченный круг опасных микробиот. Это доминирующие патогены *Alternaria alternata*, *Fusarium moniliforme*, значительно реже на зерне присутствовали *Bipolaris sorokiniana*, *F. semitectum*, *F. solani*, *F. cerealis*, *F. heterosporum*, *F. gibbosum*, *Ascochyta gramionicola*, *Epicoccum* sp. и др. Часто встречались патогены-токсиканты – *F. sporotrichiella*, реже – *F. poae*, возбудители плесени зерна – *Mucor* spp., *Rhizopus nigricans*, *Penicillium* spp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus glaucus*, *Aspergillus flavus*, реже – *Cladosporium herbarum*.

Лабораторная оценка колонизации зерна озимой пшеницы грибным патогеном *Fusarium moniliforme* в 2014–2020 гг. в зернопроизводящих хозяйствах Северного Кавказа (Ставропольский край, Ростовская обл.), Черноземной зоны (Курская обл.) и Нижнего Поволжья (Волгоградская обл.) показала следующие результаты (рис. 1а).

Наиболее стабильной и относительно позитивной ситуация оказалась в Курской обл. Частоты встречаемости *F. moniliforme* на зерне в период 2014–2017 гг. находились в этом случае в пределах 1–3%. В 2018–2019 гг. отмечено ежегодное увеличение частот на ~1% – до 5, в 2020 г. – до 7%. В итоге, с 2014 по 2020 гг. в хозяйствах Курской обл. произошло заметное увеличение частоты встречаемости зерна, колонизированного *F. moniliforme* – в 2.3 раза.

В условиях Волгоградской обл. исходный уровень колонизации зерна *F. moniliforme* (2014 г.) также был на уровне, близком к 3%. Таким он сохранялся и в 2015 г. В 2016 г. произошло удвоение количества зерновок с данным патогеном. В 2017–2018 гг. наблюдали ежегодное ~1%-ное нарастание количества колонизированных зерен. Повышение инфицированности зерна, возможно, было обусловлено небывалым для области количеством осадков за вегетационный период и увеличением с 2016 г. массы растительных остатков – субстрата для накопления инфекции [16]. Острая засуха в период налива зерна в 2019 г. сопровождалась заметным снижением уровня патогенной колонизации. На фоне относительно благополучной ситуации с осадками, в сезоне 2020 г. снова был отмечен скачок встречаемости *F. moniliforme* – с 5 в 2019 г. до 11% в 2020 г. За 7 лет (2014–2020 гг.) уровень колонизации зерна озимой пшеницы данным патогеном в Волгоградской обл. вырос в 3.7 раза.

Стартовая точка зараженности зерна озимой пшеницы в Ростовской обл. находилась в 2014 г. также на ~3%-ном уровне. Однако в 2015 и 2016 гг. наблюдали резкое повышение уровня колонизации зерна грибом *F. moniliforme* – до 5 и 11% соответственно. В 2017 г. отмечено более чем 2-кратное снижение встречаемости патогена на зерне, а затем его многократный рост: в 2018 г. по сравнению с 2017 г. – в 4 раза, в 2019 г. – в 5.2 раза, до 26%. Таким образом, в 2020 г. инфекция *F. moniliforme* присутствовала в среднем на каждом 4-м зерне, в связи с этим следовало ожидать заметного накопления на фуражном и продовольственном зерне пшеницы микотоксинов из группы фумонизинов, продуцентом которых данный гриб является, а в случае использования такого зерна в качестве семенного – поражения растений гнилью на узле кущения и гибели продуктивных стеблей на развивающихся растениях озимой пшеницы, снижения урожая на 13–15% только из-за сильной зараженности семенного материала данным опасным фузариумом. За 7 лет (2014–2020 гг.) уровень колонизации зерна озимой пшеницы грибом *F. moniliforme* в Ростовской обл. вырос в 7 раз.

В хозяйствах Ставропольского края в 2014–2017 гг. шло относительно плавное нарастание уровня колонизации зерна данным патогеном с 5 до 11%, а затем с 2017 по 2019 г. отмечен экспоненциальный рост уровня колонизации – с 9 до 27%. В 2020 г. выявлено некоторое снижение уровня колонизации зерна грибом *F. moniliforme*, но он продолжал оставаться недопустимо высоким. За 7 лет (2014–2020 гг.) данный показатель для озимой пшеницы в Ставропольском крае вырос в 5.0–5.4 раза.

Таким образом, за период 2014–2020 гг. отмечено нарастание уровня зараженности зерна опасным патогенным грибом *F. moniliforme*, продуцентом микотоксинов из группы фумонизинов, возбудителем корневых и прикорневых гнилей: в Курской обл. – 2.3-кратное, в Волгоградской – 3.7-кратное, в Ростовской – 8.7-кратное, в Ставропольском крае – 5.4-кратное. Весьма вероятные последствия этого – накопление фумонизиновых микотоксинов на продовольственном и фуражном зерне и серьезные фитосанитарные проблемы во время вегетации пшеницы по причине развития фузариозных корневых и прикорневых гнилей, гибели продуктивных стеблей [16]. Уровень колонизации зерна озимой пшеницы относительно слабым патогеном, но опасным микотоксикантом *Fusarium sporotrichiella*, был в период исследования во всех регионах меньше, чем *F. moniliforme*, и в среднем за год не превышал 8% (рис. 16).

Наименьшая колонизация зерна *F. sporotrichiella* отмечена в Волгоградской обл. – она стабильно находилась на уровне 1–2% в течение всего 7-летнего периода мониторинга. Аналогичная тенденция прослежена до 2016 г. и в Ростовской обл., но затем наблюдали 2-летнее увеличение колонизации в 2.0–2.5 раза и относительную стабилизацию этого процесса в 2019–2020 гг. на уровне 2–3%. Наибольшая нестабильность колонизации зерна грибом *F. sporotrichiella* с амплитудой 1–6% отмечена в Ставропольском крае: к 2015 г. произошло 4-кратное увеличение уровня колонизации в сравнении с 2014 г., в 2015–2017 гг. – стабилизация на уровне 3–4%, затем – резкое уменьшение показателя с 4 до 1% в 2017–2018 гг., затем 6-кратный рост в 2019 г. и его уменьшение до 4% к 2020 г. Стабильно высоким (7–8%) за период 2014–2020 гг. был уровень колонизации зерна грибом *F. sporotrichiella* в Курской обл. Вероятно, этот регион можно считать критическим по загрязненности зерна озимой пшеницы T-2 токсином.

При прорастании зерновок семенного материала, колонизированных *F. moniliforme* и другими возбудителям корневой и прикорневой гнили, часть семян остается непроросшей, часть – прорастает, но затем происходит гибель проростков и

Таблица 1. Максимальные показатели уровня колонизации зерна озимой пшеницы грибами *F. moniliforme* и *F. sporotrichiella* (2014–2020 гг.)

Уровень колонизации зерна фузариями, %				
Год	<i>F. moniliforme</i>		<i>F. sporotrichiella</i>	
Ставропольский край				
	максимум	средние	максимум	средние
2014	20	5	27	1
2015	13	4	17	4
2016	20	7	26	3
2017	38	9	20	4
2018	40	16	12	1
2019	57	27	30	6
2020	53	25	16	4
Курская обл.				
2014	16	3	29	7
2015	4	1	21	7
2016	5	1	23	8
2017	5	3	8	8
2018	4	4	13	7
2019	7	5	14	7
2020	7	7	17	8
Ростовская обл.				
2014	9	3	5	1
2015	17	5	12	2
2016	18	11	10	2
2017	17	5	10	5
2018	56	20	13	4
2019	65	26	17	2
2020	61	22	24	3
Волгоградская обл.				
2014	8	3	4	1
2015	7	3	7	2
2016	17	6	7	2
2017	20	7	2	1
2018	19	8	4	1
2019	11	5	8	2
2020	46	11	7	2

молодых растений, на развивающихся растениях главный побег зачастую оказывается колонизированным данным патогеном и без адекватной фунгицидной защиты нередко отмирает. Боковые продуктивные стебли (подгоны) обычно при невысокой продуктивной кустистости формируют меньше половины урожая растения [19]. Таким образом, судя по уровню колонизации зерна *F. moniliforme* 22–27%, в Ростовской обл. и Ставропольском крае при планировании выращивания озимой пшеницы без фунгицидной защиты в

фазе кущения, еще до посева следует учитывать вероятность снижения с 2019 г. урожая на 10–15% и загрязнения зерна будущего урожая фумонизинами. В Курской и Волгоградской обл. этот показатель вероятен на уровне 4–6%.

Выше были приведены средние уровни колонизации зерна озимой пшеницы патогенными грибами *F. moniliforme* и *F. sporotrichiella* в 4-х регионах Юга России за 2014–2020 гг. Разброс показателей колонизации образцов для каждого региона и для каждого года был широким – от нуля и до нескольких десятков процентов в наиболее зараженных образцах, уровень колонизации образцов с наибольшим заражением мог в несколько раз превосходить средние показатели за год.

В табл. 1 приведены ежегодные максимальные и средние показатели колонизации зерна указанными патогенами в 4-х регионах России. Между максимальными и средними показателями колонизации отмечены значительные различия для обоих патогенов во всех 4-х регионах. Например, в условиях Ставрополя за 2014–2020 гг. уровень колонизации зерна грибом *Fusarium moniliforme* по величине средних показателей составлял 4–27%, максимальных – 13–57% (рис. 2а, табл. 1). Основные тенденции многолетней динамики сохранялись. Наименьший уровень (13–20%) для максимальных и 4–7% – для средних показателей приходился на 2014–2017 гг., наибольший (53–57% и 25–27% соответственно) – на 2019–2020 гг.

Больше половины зерновок в отдельных образцах зерна озимой пшеницы были колонизированы высокопатогенным грибом *Fusarium moniliforme*. Это следует учитывать при использовании данных партий зерна в качестве семян из-за опасности развития фузариозных гнилей и сосудистых заболеваний и в качестве.

Средний уровень колонизации зерна грибом *Fusarium sporotrichiella* в 2014–2020 гг. составлял в Ставрополье 1–6, максимальный – 12–30% (рис. 2б). Основные тенденции многолетней динамики средних и максимальных показателей колонизации в этом случае заметно отличались. Наименьшие величины (12, 17 и 16%) максимальных показателей приходились соответственно на 2018, 2015 и 2020 гг., наибольшие (27, 26 и 30%) – на 2016, 2014 и 2019 гг. Нередко рост среднего показателя между годами сопровождался снижением его максимальных величин. Например, в 2014–2015 гг. отмечали некоторый рост средних величин колонизации зерна грибом *Fusarium sporotrichiella* и 10%-ное снижение максимальных. В 2015–2016 гг. выявлено некоторое снижение средних показателей и 9%-ный рост – максимальных. Не совпадали данные тенденции в период 2016–2017 гг. и лишь в 2017–2020 гг. на Став-

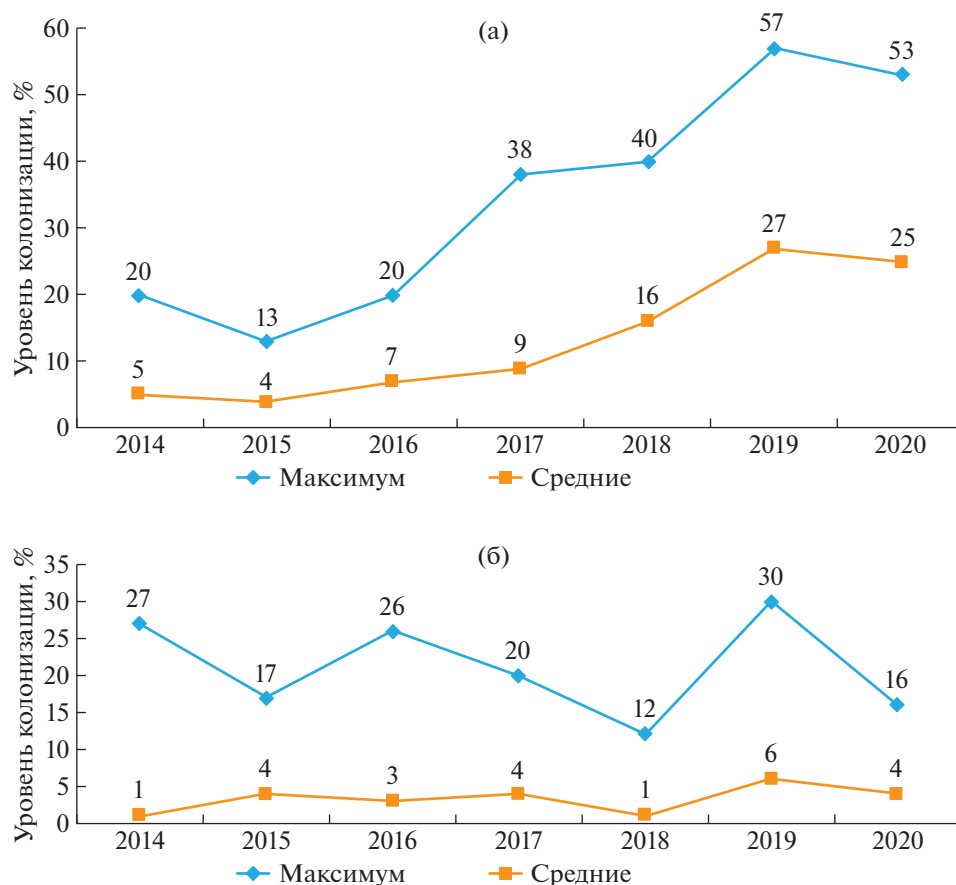


Рис. 2. Уровень колонизации зерна озимой пшеницы патогенными грибами в Ставропольском крае: (а) – *Fusarium moniliforme*, (б) – *F. sporotrichiella*.

рополье отмечали совпадение роста–снижения показателей колонизации зерна *F. sporotrichiella*.

В условиях Курской обл. за 2014–2020 гг. средний уровень колонизации зерна грибом *Fusarium moniliforme* составил 3–7, максимальный – 4–16% (рис. 3а). Основные тенденции многолетней динамики в основном сохранялись. Наименьшие уровни колонизации (4–5%) для максимальных показателей и 1–4% – для средних приходились на 2015–2018 гг., наибольшие – 7 и 16% соответственно – на 2019–2020 и 2014 гг. Масштаб заражения зерновок в образцах озимой пшеницы высокопатогенным грибом *Fusarium moniliforme* в 2015–2020 гг. был относительно невысоким: опасность накопления фумонизинов в этом случае видимо была гораздо ниже, чем на Ставрополье, но протравливание семян противофузариевыми протравителями было также необходимо, чтобы избежать распространения болезни от источника инфекции – семян.

Средний уровень колонизации зерна грибом *Fusarium sporotrichiella* в 2014–2020 гг. в Курской обл. составлял 7–8, максимальный – 8–29% (рис. 3б, табл. 1). Средние многолетние уровни

колонизации отличались довольно высокой стабильностью, в то же время максимальные показатели уменьшались с 2014 до 2016 г. относительно не сильно (с 29 до 23%), а с 2016 по 2017 г. – резко (с 23 до 8%). В 2017 г. начался плавный рост показателя с 8 до 17% в 2020 г (рис. 3б). Учитывая высокий уровень токсичности Т-2 токсина, в Курской обл. следует обратить серьезное внимание на микотоксикологическую оценку зерна озимой пшеницы и контроль токсиканта.

В условиях Ростовской обл. за 2014–2020 гг. средний уровень колонизации зерна грибом *Fusarium moniliforme* составлял 3–26, максимальный – 9–65% (рис. 4а). Основные тенденции к изменению многолетней динамики средних и максимальных показателей сохранялись: наименьшие величины (9–17%) максимальных и 3–11% – средних показателей приходились на 2014–2017 гг., наибольшие – 56–65 и 20–26% соответственно – на 2018–2020 гг. Больше половины зерновок в отдельных образцах зерна озимой пшеницы было колонизировано в 3 последних года высокопатогенным грибом *Fusarium moniliforme*. Это следует учитывать при использовании данных партий

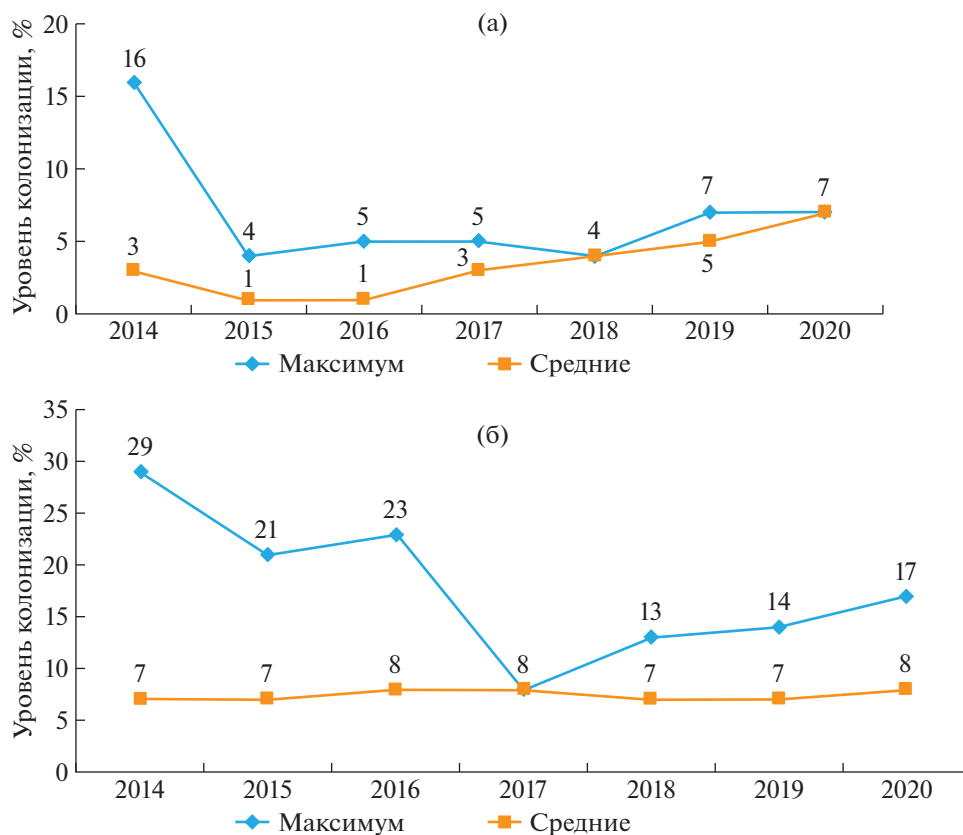


Рис. 3. Уровень колонизации зерна озимой пшеницы патогенными грибами в Курской обл.: (а) – *Fusarium moniliforme*, (б) – *F. sporotrichiella*.

зерна в качестве семян из-за опасности развития на полях, засеянных подобными семенами, фузариозных гнилей и сосудистых заболеваний, и в качестве продовольствия – из-за угрозы накопления фумонизинов.

Средний уровень колонизации зерна грибом *Fusarium sporotrichiella* в 2014–2020 гг. в Ростовской обл. составил 1–5, максимальный – 5–24% (рис. 4б). Основные тенденции многолетней динамики средних и максимальных уровней колонизации в этом случае зачастую не совпадали. Наименьший уровень (5%) максимальных показателей приходился на 2014 г., наибольший (17 и 24%) – на 2019 и 2020 гг. Не совпадали тенденции роста–снижения уровня колонизации в 2015–2019 гг. Лишь в 2019–2020 гг. отмечали общий их рост на 1% – средних и на 7% – максимальных уровней.

В условиях Волгоградской обл. за 2014–2020 гг. средний уровень колонизации зерна грибом *Fusarium moniliforme* составил 3–11%, максимальный – 7–46% (рис. 5а). Основные тенденции многолетней динамики роста–уменьшения уровней средней и максимальной колонизации в этом случае совпадали: наименьшие величины (7–8%) макси-

мальных и 3% – средних показателей приходились на 2014–2015 гг., наибольшие (17–46 и 6–11% соответственно) – на 2019–2020 гг. Почти половина зерновок в отдельных образцах зерна озимой пшеницы в 2020 г. была колонизирована высокопатогенным грибом *Fusarium moniliforme*. Возможно, это было связано с острой засухой, на фоне которой не были проведены противофузариевые фунгицидные обработки в завершающие этапы вегетации растений озимой пшеницы. Высокие уровни колонизации зерна высокопатогенным грибом *F. moniliforme* следует учитывать при использовании партий зерна в качестве семян из-за опасности развития фузариозных гнилей и сосудистых заболеваний, в качестве продовольствия и фуража – из-за угрозы накопления фумонизинов. Однозначна целесообразность проведения токсикологической оценки подобных партий зерна перед использованием их в качестве продовольствия и фуража.

Средний уровень колонизации зерна грибом *Fusarium sporotrichiella* в 2014–2020 гг. в Волгоградской обл. составил 1–2, максимальный – 2–8% (рис. 5б). Основные тенденции многолетней динамики средних и максимальных уровней коло-

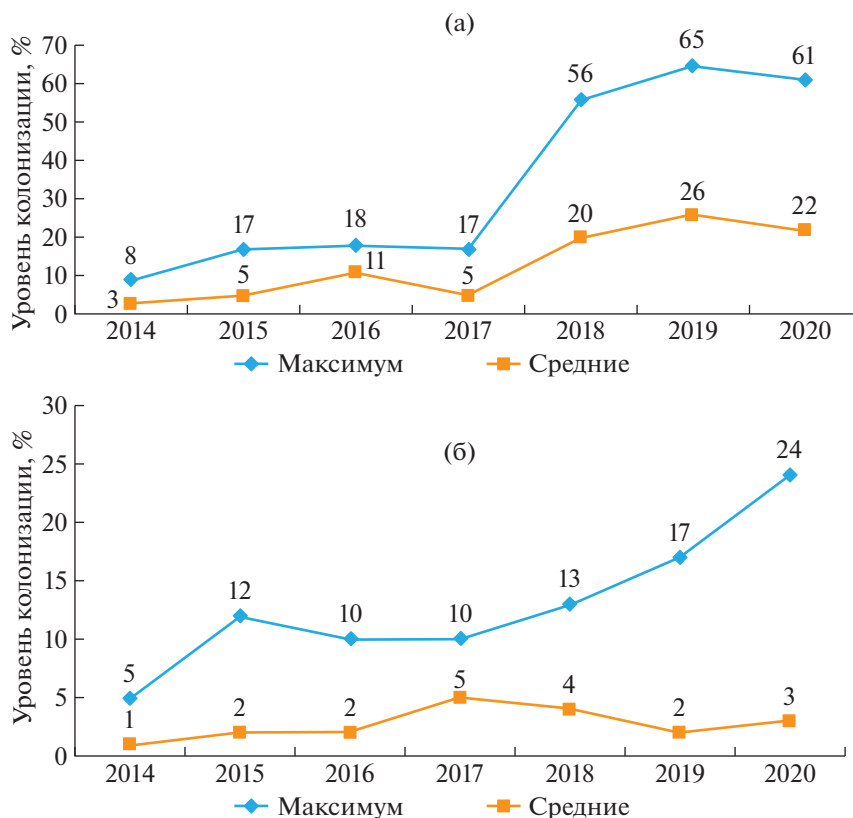


Рис. 4. Уровень колонизации зерна озимой пшеницы патогенными грибами в Ростовской обл.: (а) — *Fuzarium moniliforme*, (б) — *F. sporotrichiella*.

низации в этом случае также зачастую совпадали. Наименьшая величина (2%) максимальных показателей приходилась на 2017 г., наибольшая — 7–8% — на 2015, 2016, 2019 и 2020 гг. Судя по уровню колонизации зерна озимой пшеницы продуцентом Т-2 токсина *F. sporotrichiella*, вероятность получения загрязненных данным микотоксином партий зерна в Волгоградской обл. гораздо меньше, чем в Курской, Ростовской обл. и Ставропольском крае.

Данные о зараженности зерна пшеницы в регионах России, представленные сотрудниками ВИЗР [20] за 2004–2006 гг., заметно отличались от полученных данных в 2014–2020 гг. как по средним, так и по максимальным показателям (табл. 2).

По величине средней зараженности (10–18%) в 2004–2006 гг. лидировали Воронежская и Ленинградская обл., Хабаровский край, Республика Северная Осетия, по максимальной — те же регионы с показателями 28–41%. Волгоградская, Ростовская обл. и Ставропольский край заметно отставали от них со средней зараженностью соответственно 0, 1, 1 и максимальной — 0, 2, 2%.

За последующие 10–17 лет произошли заметные изменения зараженности зерна фузариями

(табл. 3). В Волгоградской обл. при нулевой зараженности зерна всем комплексом фузариевых грибов в 2004–2006 гг. отмечен рост средних уровней зараженности *F. moniliforme* до 6, максимальных уровней — до 18% за 2014–2020 гг., максимальных за 2020 г. — до 46%, *F. sporotrichiella*: средних — до 2, максимальных — до 5, максимальных за 2020 г. — до 7%.

В Ростовской обл. при 1–2%-ной зараженности зерна всем комплексом фузариевых грибов в 2004–2006 гг. отмечен рост средних уровней зараженности *F. moniliforme* до 12, максимальных — до 35% за 2014–2020 гг., максимальных за 2020 г. — до 61%, *F. sporotrichiella*: средних — до 3, максимальных — до 13, максимальных за 2020 г. — до 24%.

В Ставропольском крае при 1–2%-ной зараженности зерна всем комплексом фузариевых грибов в 2004–2006 гг. отмечен рост средних уровней зараженности *F. moniliforme* до 13, максимальных — до 34% за 2014–2020 гг., максимальных за 2020 г. — до 53%, *F. sporotrichiella*: средних — до 3, максимальных — до 21, максимальных за 2020 г. — до 16%.

В Курской обл. при 2–5%-ной зараженности зерна всем комплексом фузариевых грибов в 2004–2006 гг. отмечен рост среднего уровня зара-

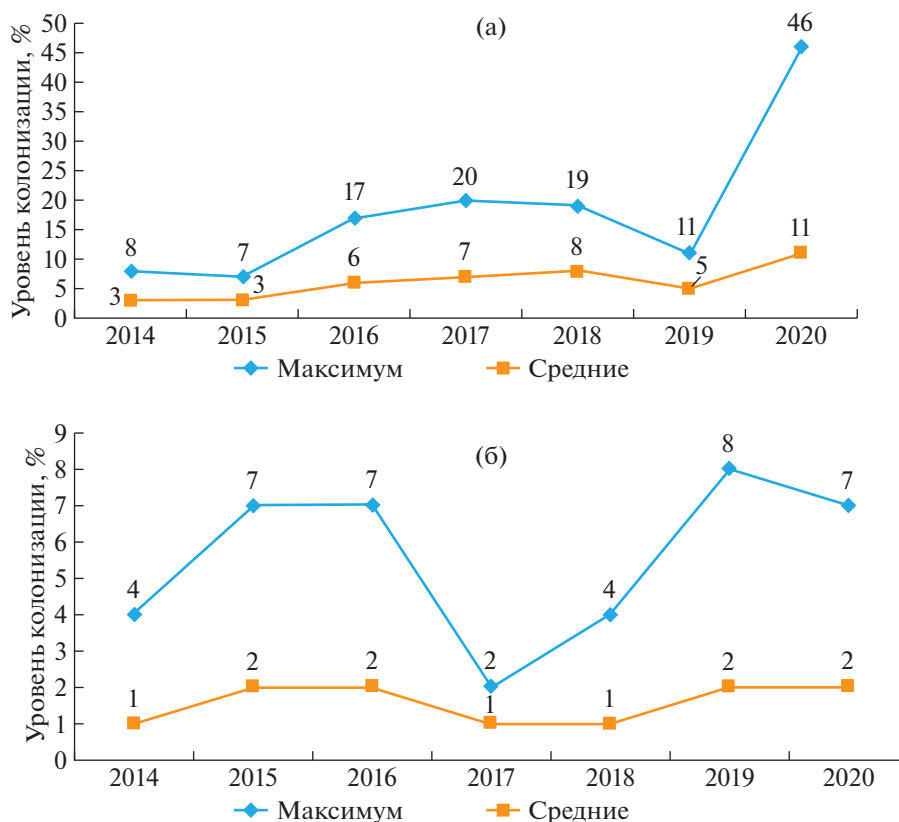


Рис. 5. Уровень колонизации зерна озимой пшеницы патогенными грибами в Волгоградской обл.: (а) – *Fuzarium moniliforme*, (б) – *F. sporotrichiella*.

женности *F. moniliforme* до 3, максимального – до 7%, в 2020 г. максимального – до 7%: *F. sporotrichiella*: в 2014–2020 гг. среднего – до 8%, максимального – до 18%, максимального – до 17%.

Таким образом, в большинстве зернопроизводящих регионов юга европейской территории России наблюдали многократное усиление зараженности зерна озимой пшеницы опасными фузариевыми грибами *F. moniliforme* и *F. sporotrichiella* – патогенами и микотоксикантами.

Также изучили зараженность зерна наиболее распространенными в последние годы видами фузариев. При оценке сравнительной опасности грибов *F. moniliforme* и *F. sporotrichiella*, надо учитывать высокую патогенность первого и способность продуцировать фумонизины. В то же время ПДК фумонизина, продуцируемого *F. moniliforme*, составляет 2 мг/кг зерна, Т-2 токсина, продуцируемого *F. sporotrichiella* – 100 мкг/кг, т.е. в 20 раз меньше. Для Ставропольского края, Ростовской и Волгоградской обл., видимо, в настоящее время большую опасность для озимой пшеницы представляет широко распространенный *F. moniliforme*, для Курской обл., где распространение *F. moniliforme* пока не очень сильное, но стабильно высока многолетняя зараженность зерна

F. sporotrichiella, есть опасения, что он опаснее, особенно для продовольствия и фуража, в связи с очень высокой опасностью Т-2 токсина.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, многолетний мониторинг микробиоты семенного и продовольственного зерна озимой пшеницы в хозяйствах юга России показал, что их в основном колонизирует ограниченный круг опасных микромицетов: доминирующие патогены – *Alternaria alternata*, *Fusarium moniliforme*, значительно реже на зерне присутствуют *Bipolaris sorokiniana*, *F. semitectum*, *F. solani*, *F. cerealis*, *F. heterosporum*, *F. gibbosum*, *Ascochyta gramionicola*, *Epicoccum* sp. и др., часто встречающиеся патогены-токсиканты – *F. sporotrichiella*, реже – *F. Poae*, часто встречающиеся возбудители плесени зерна – *Mucor* spp., *Rhizopus nigricans*, *Penicillium* spp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus glaucus*, *Aspergillus flavus*, реже – *Cladosporium herbarum*.

За период 2014–2020 гг. отмечено нарастание уровня зараженности зерна опасным патогенным грибом *F. moniliforme*, продуцентом микотоксинов из группы фумонизинов, возбудителем корневых

Таблица 2. Зараженность зерна пшеницы грибами р. *Fusarium* в областях РФ в 2004–2006 гг.

Область (край)	Число анализированных образцов (шт.)	Доля образцов с фузариозной инфекцией (%)	Средняя зараженность (%)	Пределы зараженности (%)
Центральный регион				
Тульская	17	35	2	1–10
Рязанская	17	71	4	1–14
Брянская	15	71	5	1–20
Орловская	37	89	6	1–23
Липецкая	3	33	1	1–2
Тамбовская	6	50	2	1–6
Курская	6	50	2	1–5
Московская	31	84	5	1–25
Центрально-Черноземный регион				
Воронежская	11	91	10	1–28
Белгородская	10	40	1	1–5
Поволжский регион				
Саратовская	19	31	1	1–4
Волгоградская	2	0	0	0
Северо-Кавказский регион				
Северная Осетия	14	100	15	3–41
Краснодарский	18	72	2	1–7
Ростовская	12	42	1	1–2
Ставропольский	5	40	1	1–2

Таблица 3. Максимальные и средние показатели уровня колонизации зерна озимой пшеницы фузариями (2004–2006 и 2014–2020 гг.)

Регион	Организация	Патоген	Зараженность, %		
			средняя	максимальная	максимальная в 2020 г.
Волгоградская обл.	ВИЗР*	Все фузарии	0	0	–
	ВНИИФ**	<i>F. moniliforme</i>	6	18	46
	ВНИИФ**	<i>F. sporotrichiella</i>	2	5	7
Ростовская обл.	ВИЗР	Все фузарии	1	2	–
	ВНИИФ	<i>F. moniliforme</i>	12	35	61
	ВНИИФ	<i>F. sporotrichiella</i>	3	13	24
Ставропольский край	ВИЗР*	Все фузарии	1	2	–
	ВНИИФ**	<i>F. moniliforme</i>	13	34	53
	ВНИИФ**	<i>F. sporotrichiella</i>	3	21	16
Курская обл.	ВИЗР*	Все фузарии	2	5	–
	ВНИИФ**	<i>F. moniliforme</i>	3	7	7
	ВНИИФ**	<i>F. sporotrichiella</i>	8	18	17

*2004–2006 гг. **2014–2020 гг.

и прикорневых гнилей: в Курской обл. отмечено 2.3-кратное (до уровня 7%) увеличение, в Волгоградской обл. – 3.7-кратное (до уровня 11%), в Ростовской обл. – 8.7-кратное (до уровня 22–

26%), в Ставропольском крае – 5.4-кратное (до уровня 25–27%). Весьма вероятные последствия этого – накопление микотоксинов в продовольственном и фуражном зерне и серьезные фитоса-

нитарные проблемы во время вегетации пшеницы по причине развития гнилей и сосудистых заболеваний.

Наименьшие уровни колонизации зерна *F. sporotrichiella* отмечены в Волгоградской обл. — на уровне 1–2% в течение всего 7-летнего периода исследования. Аналогичная тенденция прослежена до 2016 г. в Ростовской обл., но затем наблюдали 2-летнее увеличение колонизации в 2.0–2.5 раза и ее относительную стабилизацию в 2019–2020 гг. на уровне 2–3%.

Наибольшая нестабильность колонизации зерна грибом *F. sporotrichiella* с амплитудой 1–6% отмечена в Ставропольском крае: к 2015 г. показано 4-кратное увеличение уровня колонизации в сравнении с 2014 г., в 2015–2017 гг. — стабилизация на уровне 3–4%, затем — резкое уменьшение показателя с 4% до 1% в 2017–2018 гг., шестикратный рост к 2019 г. и уменьшение до 4% к 2020 г.

Стабильно высоким (7–8%) за период 2014–2020 гг. был уровень колонизации зерна грибом *F. sporotrichiella* в Курской обл. Вероятно, этот регион может быть критическим по загрязненности зерна озимой пшеницы Т-2 токсином.

Учет максимальных уровней колонизации зерна озимой пшеницы грибами *F. moniliforme* и *F. sporotrichiella* еще более реально демонстрировал наличие опасной ситуации с патогенами и потенциально — микотоксинами зерна озимой пшеницы в регионах юга России. Максимальные уровни колонизации отдельных партий зерна грибами *F. moniliforme* за годы исследования достигали 7% в Курской обл., 46% — в Волгоградской, 65% — в Ростовской и 57% — в Ставропольском крае. Судя по уровню колонизации зерна озимой пшеницы продуцентом, вероятность получения загрязненных Т-2 токсином (продуцент *F. sporotrichiella*) партий зерна в Волгоградской обл. гораздо меньше, чем в Курской, Ростовской обл. и Ставропольском крае.

Судя по литературным данным, с 2004 по 2020 г. на юге России произошло многократное нарастание зараженности зерна озимой пшеницы опасными фузариями *F. moniliforme* и *F. sporotrichiella*, возросла опасность развития сосудистых заболеваний и гнилей растений, а также загрязненности зерна микотоксинами из группы фумонизинов и Т-2 токсином.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наумова Н.А. Анализ семян на грибную и бактериальную инфекцию. М., 1951. 140 с.
2. Койшыбаев М. Болезни пшеницы. Анкара: ФАО, 2018. 366 с.

3. Rózewicz M., Wyzinska M., Grabinski J. The Most important fungal diseases of cereals — problems and possible solutions // *Agronomy*. 2021. V. 11. № 714. P. 2–12. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040714>, <https://www.mdpi.com/journal/agronomy> 3
4. Timmermans B.D.H., Osman A.M. Differences between spring wheat cultivars emergence and early development after seed infection with *Fusarium culmorum* // 3rd QLIF Congress, Hohntim, Germany, March 20–23, 2007. Archived at http://orgrprints.org/view/projects/int_conf_qlif2007.html 4
5. Majumder D., Rajesh T., Suting E.G., Debbarma A. Detection of seed borne pathogens in wheat: recent trends // *Austral. J. Crop. Sci. (AJCS)*. 2013. № 7 (4). P. 500–507.
6. Nedelnik J., Moravcova H., Hajslova J., Lancova K., Vanova M., Salava J. *Fusarium* spp. in wheat grain in the Czech Republic analysed by PCR method // *Plant Protect Sci.* 2007. V. 43. P. 135–137.
7. Кинчарова М.Н., Кинчаров А.И., Абдряев М.Р., Маслова Г.Я., Шаранов И.И., Константинова П.Н. Фитозэкспертиза семян в селекционном процессе озимой пшеницы // *Inter. J. Humanit. Nat. Sci. (Сел.-хоз. науки)*. 2019. V. 11–2 (38). P. 120–124.
8. Торопова Е.Ю., Чулкина В.А., Стецов Г.Я., Павлова О.И. Эпи-фитотиологические основы эффективного применения фунгицидов в Сибири // *Защита и карантин растений*. 2009. № 4. С. 20–23.
9. Adhikari P., Khatri-Chhetri G.B., Shrestha S.M., Marahatta S. *In vitro* study on prevalence of mycoflora in wheat seeds // *J. Inst. Agric. Anim. Sci.* 2015. V. 33–34. pp. 27–34.
10. Pathak N., Zaidi R.K. Fungi associated with wheat seed discolouration and abnormalities in *in vitro* study // *Agricult. Sci.* 2013. V. 4. № 9. P. 516–520. <https://doi.org/10.4236/as.2013.49069>
11. Rangaswamy G., Mahadevan A. *Diseases of crop plants in India*. 4th ed. New Delhi: Prentice Hall of India Pvt. Ltd.; 2008. 607 p.
12. Hajihassani M., Hajihassani A., Khaghani S. Incidence and distribution of seed-borne fungi associated with wheat in Markazi Province, Iran // *Afric. J. Biotechnol.* 2012. V. 11. № 23. P. 6290–6295. DOI: <http://www.academicjournals.org/AJB> <https://doi.org/10.5897/AJB11.3838>
13. Shahidul Islam Md., Islam Sarker Md.N., Arshad Ali Md. Effect of seed borne fungi on germinating wheat seed and their treatment with chemicals // *Inter. J. Nat. Soc. Sci.* 2015. V. 2. P. 28–32.
14. Khazaei F., Alikhani M. A., Zare L., Mobasser S., Ali Mohammad S., Sanavy M., Mokhtassi-Bidgoli Ali, Hashemi-fesharaki S. Seed borne disease in formal and informal wheat (*Triticum aestivum* L.) seed production systems in three provinces of Iran // *Inter. J. Biosci.* 2014. V. 5. № 1. P. 381–388. <http://www.innsplib.net>
15. Будынков Н.И., Михалева С.Н., Проскурин А.В. Микробиологическая деградация агроценозов и возможность ее предотвращения. Растительные остатки // Эволюция и деградация почвенного покрова. Сб. научн. ст. по мат-лам V Международ.

- научн. конф. 19–22 сентября 2017 г., Ставрополь: Ставрополь. ГАУ, 2017. С. 10–13.
16. Будынков Н.И., Михалева С.Н., Проскурин А.В. Динамика факультативных паразитов грибной природы в полевых агроценозах с минимальной обработкой почвы в западной части Волгоградской области // *Агрохимия*. 2021. № 1. С. 64–71.
 17. Кузьмичев А.А., Монастырская Э.И., Соколова Н.К., Фиссюра Н.И. Рекомендации по снижению вредности фузариоза колоса озимой пшеницы. Краснодар: ВНИИБЗР, 1993. 16 с.
 18. Будынков Н.И., Михалева С.Н. Болезни нута на юге европейской территории России. Семенная инфекция // *Достиж. науки и техн. АПК*. 2018. Т. 32. № 7. С. 31–35.
 19. Рейтц Л.П., Моррис Е.Р., Сирс Э.Р. Пшеница и ее улучшение. М.: Колос, 1970. 520 с.
 20. Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Левитин М.М., Новожилов К.В. Фузариоз зерновых культур // *Защита и карантин раст.* Прилож. к журн. серии “Библиотечка по защите растений”. 2011. № 5. С. 70–120.

Progressive Accumulation of Dangerous Fusariums on Winter Wheat Grain in Farms in the South of Russia (2014–2020)

N. I. Budynkov^{a,#} and S. N. Mikhaleva^a

^aAll-Russian Research Institute of Phytopathology
ul. Institut, vlad. 5, Moscow region, Odintsovo district, p. Bolshye Vyazemy 143050, Russia

[#]E-mail: oranzar@yandex.ru

Long-term monitoring of the microbiota of seed and food grains of winter wheat in farms in southern Russia has shown that they are mainly colonized by a limited range of dangerous micromycetes: the dominant pathogens are *Alternaria alternata*, *Fusarium moniliforme*, much less often *Bipolaris sorokiniana*, *F. semitectum*, *F. solani*, *F. cerealis*, *F. heterosporum*, *F. gibbosum*, *Ascochyta gramionicola*, *Epicoccum* sp. and others, pathogenotoxicants are often found – *F. sporotrichiella*, less often – *F. poae*, grain mold pathogens are often noted – *Mucor* spp., *Rhizopus nigricans*, *Penicillium* spp., *Aspergillus niger*, *A. glaucus*, *A. flavus*, less often – *Cladosporium herbarum*. During the period 2014–2020, an increase in the level of grain contamination with the dangerous pathogenic fungus *F. moniliforme*, a producer of mycotoxins from the group of fumonisins, a causative agent of root and root rot was noted: in the Kursk region – 2.3-fold (up to 7%), in the Volgograd region – 3.7-fold (up to 11%), in the Rostov region – 8.7-fold (up to 22–26%), in the Stavropol Territory – 5.4-fold (up to 25–27%). Very likely consequences of this are the accumulation of mycotoxins on food and feed grains and serious phytosanitary problems during the growing season of wheat with the development of rot and vascular diseases. The lowest level of colonization of *F. sporotrichiella* grain was observed in the Volgograd region – at the level of 1–2% during the entire 7-year period. A similar trend was traced until 2016 in the Rostov region, but then a 2-year increase in colonization by 2.0–2.5 times was observed, and relative stabilization in 2019–2020 at the level of 2–3%. The greatest instability of grain colonization by mushroom *F. sporotrichiella* with an amplitude of 1–6% was observed in the Stavropol Territory: by 2015, there was a 4-fold increase in the level of colonization compared to the level of 2014, in 2015–2017, stabilization at the level of 3–4%, then a sharp decrease from 4 to 1% in 2017–2018, a 6-fold increase by 2019 and a decrease to 4% by 2020. The level of colonization of grain by the fungus *F. sporotrichiella* in the Kursk region was consistently high (7–8%) for the period 2014–2020. Probably, this region can be critical for the contamination of winter wheat grain with T-2 toxin. Taking into account the maximum levels of colonization of winter wheat grains by fungi *F. moniliforme* and *F. sporotrichiella* even more realistically demonstrated the presence of a dangerous situation with pathogens and, potentially, mycotoxins on winter wheat in the regions of southern Russia. The maximum colonization of individual grain batches by *F. moniliforme* mushrooms over the years of study reached 7% in the Kursk region, 46% – in the Volgograd region, 65% – in the Rostov Region and 57% – in the Stavropol Territory. Judging by the level of colonization of winter wheat grains by the producer, the probability of obtaining contaminated T-2 toxin (producer *F. sporotrichiella*) grain shipments in the Volgograd region are much smaller than in the Kursk, Rostov region and Stavropol Territory. Judging by the literature data, from 2004 to 2020 in the south of Russia there was a multiple increase in the contamination of winter wheat grain with dangerous fusariums *F. moniliforme* and *F. sporotrichiella*, the risk of vascular diseases and rot increased, as well as grain contamination with mycotoxins from the fumonisin group and T-2 toxin.

Key words: winter wheat, precursor crop, facultative parasites of fungal nature, colonization, pathogens, pathogens, mycotoxins, crop rotation, agroecology.