

Е.С. Земцова¹ ✉Н.А. Боме²В.В. Новохатин³

¹ Тобольская комплексная научная станция
Уральского отделения Российской
академии наук, Тобольск, Россия

² Тюменский государственный
университет, Тюмень, Россия

³ Федеральный исследовательский центр
«Тюменский научный центр Сибирского
отделения Российской академии наук»,
Тюмень, Россия

✉ zemcovaelena@mail.ru

Поступила в редакцию: 07.05.2024

Одобрена после рецензирования: 13.09.2024

Принята к публикации: 27.09.2024

© Земцова Е.С., Боме Н.А., Новохатин В.В.

Elena S. Zemtsova¹ ✉Nina A. Bome²Vladimir V. Novokhatin³

¹ Tobolsk complex scientific station Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, Tobolsk,
Russia

² University of Tyumen, Tyumen, Russia

³ Federal State Institution Federal Research
Centre "Tyumen Scientific Centre of Siberian
Branch of the Russian Academy of Sciences",
Tyumen, Russia

✉ zemcovaelena@mail.ru

Received by the editorial office: 07.05.2024

Accepted in revised: 13.09.2024

Accepted for publication: 27.09.2024

© Zemtsova E.S., Bome N.A., Novokhatin V.V.

Микробиота семян яровой пшеницы, выращенной в контрастных агроклиматических условиях Тюменской области

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Патогенная микробиота семенного зерна может вызывать гибель проростков, корневые гнили, ослабление растений и, как следствие, снижение урожайности. Мониторинг зараженности семян патогенами всегда актуален, поскольку состав микробиоты динамичен из-за влияния природных и антропогенных факторов.

Методы. Проводили фитопатологический анализ семян яровой пшеницы, выращенной на государственных сортоиспытательных участках Тюменской области в контрастные годы: прохладный и избыточно увлажненный в июле 2015 г. и жаркий с умеренным количеством осадков 2016 г. Использовали метод «влажной камеры». Проанализировали 144 образца.

Результаты. Наиболее обильными представителями микробного сообщества зерна были грибы рода *Alternaria*. Средняя по образцам инфицированность семян альтернариозом составила 49,5%, отличий по годам исследования не выявлено. В 2015 г. по сравнению с 2016-м наблюдалась более высокая распространенность в семенном материале грибов рода *Fusarium* (4,8% против 1,6%) и бактерий (5,7% против 0,7%). Максимальные показатели зараженности фузариозом имели образцы с Нижнетавдинского сортоиспытательного участка, расположенного в зоне подтайги — до 30% (сорт Икар). В 2016 г. по сравнению с 2015-м отмечалась более высокая инфицированность семенного материала гелиминтоспориозом (7,1% против 2,6%) и плесневыми грибами (2,3% против 0,2%). Распространенность грибов *Bipolaris sorokiniana* была наибольшей в образцах пшеницы, выращенной в зоне северной лесостепи, особенно в образцах с Ялutorовского сортоиспытательного участка — предельное значение составило 27% (сорт СКЭНТ-3). Вредоносность грибов рода *Alternaria* была значительно ниже по сравнению с другими ключевыми представителями микробиоты зерна — средний балл поражения проростков составил 1,4 против 2,2–2,6, показатели всхожести семян — 94,1% против 53,2–67,4%.

Ключевые слова: яровая пшеница, семена, зараженность болезнями, погодные условия, Тюменская область

Для цитирования: Земцова Е.С., Боме Н.А., Новохатин В.В. Микробиота семян яровой пшеницы, выращенной в контрастных агроклиматических условиях Тюменской области. *Аграрная наука*. 2024; 387(10): 104–110.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-104-110>

Microbiota of spring wheat seeds grown within the contrasting agroclimatic conditions of the Tyumen region

ABSTRACT

Relevance. Pathogenic microbiota of seed grain can cause death of seedlings, root rot, weakening of plants and a decrease in yield. Monitoring of seed grains pathogens infection rate is always relevant because the composition of the microbiota is dynamic due to the influence of natural and anthropogenic factors.

Methods. Phytopathological analysis of spring wheat seeds grown at the state variety testing sites of the Tyumen region was carried out in contrasting years: cool and excessively moist in July 2015 and hot with moderate rainfall in 2016. We used the "wet chamber" method. 144 samples were analyzed.

Results. Fungus of the genus *Alternaria* were the most abundant representatives of the grain microbial community. Average infection rate of seed samples with fungi *Alternaria* spp. was 49.5%. No differences were found by year of the study. In 2015 compared to 2016, higher prevalence of fungus of the genus *Fusarium* (4.8% vs. 1.6%) and bacteria (5.7% vs. 0.7%) was observed in the seed material. The maximum indicators of *Fusarium* infestation were observed in samples from Nizhnetavda variety testing site located in the subtaiga zone – up to 30% (variety Ikar). In 2016 compared to 2015, higher infection of seed material with helminthosporiose (7.1% vs. 2.6%) and mold fungi (2.3% vs. 0.2%) was observed. The prevalence of *Bipolaris sorokiniana* fungi was the highest in wheat samples grown in the northern forest-steppe zone, especially samples from the Yalutorovsky variety testing site — the limit value was 27% (variety SKENT-3). Harmfulness fungus of the genus *Alternaria* was significantly lower compared to other key representatives of grain microbiota. The average score of seedling damage was 1.4 vs. 2.2–2.6, seed germination indices — 94.1% vs. 53.2–67.4%.

Key words: spring wheat, seeds, disease infection, weather conditions, Tyumen region

For citation: Zemtsova E.S., Bome N.A., Novokhatin V.V. Microbiota of spring wheat seeds grown within the contrasting agroclimatic conditions of the Tyumen region. *Agrarian science*. 2024; 387(10): 104–110 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-104-110>

Введение/Introduction

Тюменская область является зернопроизводящим регионом России. В структуре посевов зерновых культур на долю основной продовольственной культуры — яровой пшеницы — приходится 62% (400 тыс. га), на долю ярового ячменя — 20% (130 тыс. га), доля овса составляет 16% (106 тыс. га), значительно меньшие площади занимают озимые: пшеница, рожь и тритикале¹.

Посевы зерновых культур располагаются в южной части области в четырех почвенно-климатических зонах: тайге (I), подтайге (II), северной (III) и южной лесостепи (IV) низменности.

Климат Тюменской области континентальный, характеризуется суровой продолжительной зимой, относительно коротким теплым летом, переходными сезонами (6–7 недель) с поздними весенними и ранними осенними заморозками.

Агрометеорологические параметры значительно варьируют по годам: разница в температуре воздуха вегетационного периода между прохладными и жаркими годами составляет 4–5 °С, количество осадков во влажный и сухой сезоны вегетации различается в 2–5 раз [1, 2]. В соответствии с глобальной тенденцией отмечается потепление климата в регионе [2].

Районы северной лесостепи характеризуются наиболее благоприятными условиями для возделывания зерновых культур. В подтаежной зоне Тюменской области при наличии хорошей влагообеспеченности и освещенности недостаточно содержится в почвах элементов питания, отмечается кислая реакция почвенного раствора, недостаток суммы активных температур.

В южной лесостепи достаточно тепла, однако низкая влагообеспеченность и наличие солонцовых почв затрудняют эффективное возделывание яровой пшеницы [3].

Урожайность сельскохозяйственных культур во многом зависит от качества посевного материала. Важным этапом оценки качества семян является фитопатологическая экспертиза — определение количественного и качественного состава патогенов, передающихся с посевным материалом.

Патогенная микробиота семенного зерна может вызывать гибель проростков и всходов, корневые гнили, уменьшение продуктивной кустистости, ослабление растений и, как следствие, приводит к снижению урожайности и качества зерна нового урожая [4].

Некоторые грибы и бактерии производят токсичные вторичные метаболиты, которые накапливаются в зараженных зернах и сохраняются в продуктах переработки, что приводит к различным проблемам со здоровьем у людей и животных.

Результаты фитопатологической экспертизы, проводимой ежегодно специалистами ФГБУ «Россельхозцентр», показывают, что зараженность болезнями семян зерновых культур в последние годы находится на уровне 32% (среднее 2018–2022 по РФ)². Доля семян, зараженных альтернариозом, составляет в среднем 18,4%, гельминтоспориозом — 5,8%, плесневыми грибами — 3,7%, фузариозом — 2,6%, септориозом — 0,7%, бактериальная инфекция обнаруживается у 0,5% семян. Отмечается инфицированность зерна твердой головней, сетчатой пятнистостью ячменя, красно-бурой пятнистостью овса и др.

Семена яровой пшеницы по сравнению с яровым ячменем и овсом в большей степени подвержены заражению грибами *Fusarium spp.* (3,4% против 1,7% и 2,1%), *Parastagonospora spp.* (0,98% против 0,34% и 0,28%) и *Alternaria spp.* (19,9% против 17,0% и 18,4%); в семенных партиях ярового ячменя относительно яровой пшеницы и овса фиксируется более высокая инфицированность грибами *Bipolaris spp.* (8,4% против 4,7% и 4,3%) и бактериями (0,66% против 0,48% и 0,36%)².

Наблюдается широкий разброс показателей зараженности семян болезнями по субъектам РФ и в различных партиях зерна. В Тюменской области в отдельные годы регистрируются повышенные уровни заражения семян яровой пшеницы альтернариозом (например, в 2022 г. — 47,5%, в 2020-м — 38,0%, в 2018-м — 40,0%). Максимальные показатели зараженности различными болезнями в отдельных партиях зерна могут достигать 90–100%².

Анализ широты экологических ниш разных фитопатогенов на семенах яровой пшеницы по зонам Тюменской области показал, что в подтаежной зоне доминирует заражение семян *Alternaria spp.* (46,4%), затем в убывающем порядке идут *Fusarium spp.* (9,3%), бактериальная микрофлора (4,4%), *Helminthosporium spp.* (2,4%) и плесневые грибы (2,4%).

В лесостепной зоне преобладают *Alternaria spp.* (47,2–54,1%), затем следуют *Helminthosporium spp.* (13,4–29,8%), *Fusarium spp.* (5,3–5,4%), плесневые грибы (3,7–4,7%) и бактерии (2,0–2,8%) [5].

Многолетний опыт проведения микологического анализа зараженности зерна показывает, что грибы рода *Alternaria* всегда были наиболее многочисленными представителями микобиоты во всех зерносеющих регионах страны [4]. При оценке фитосанитарных качеств семян яровой мягкой пшеницы из хозяйств Западной Сибири в 2013–2021 гг. замечена тенденция увеличения доли партий, зараженных видами грибов из рода *Fusarium* [6].

Микроорганизмы, заселяющие зерно, различаются по своей патогенности, поэтому важна не только степень инфицированности, но и состав патогенов. Отмечено, например, что семена, несущие в себе инфекционное начало *Alternaria*, обычно имеют хорошую всхожесть и дают здоровые проростки, в отличие от семян, зараженных грибами других родов (*Fusarium*, *Cochliobolus* и др.) [7]. Иногда отмечается даже слабое положительное влияние видов *Alternaria* на качество семян зерновых культур [8].

В некоторых случаях внутренняя альтернариозная инфекция угнетает прорастание семян, ослабляет всходы или приводит их к гибели. Причиной этого является по-разному, вероятно, из-за того, что грибы этого рода представляют собой неоднородную группу [9]. В случае *Fusarium* такие виды, как *F. graminearum* или *F. culmorum*, считаются более агрессивными, чем *F. roae* [10].

Состав микробного сообщества, колонизирующего зерна пшеницы, динамичен из-за влияния природных и антропогенных факторов. Зачастую решающую роль в том, кто из представителей микобиоты получит преимущество, играют складывающиеся условия окружающей среды [11]. Например, при исследовании распространения *Fusarium spp.* и *Alternaria spp.* на топографически неоднородном поле пшеницы (холмы,

¹ Федеральная служба государственной статистики [официальный сайт]. — URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277>

² Российский сельскохозяйственный центр [официальный сайт]. — URL: <https://rosselhoccenter.ru/obzory-i-prognozy/>

впадины) установлено, что количество спор фузариевых грибов было выше в местах с более влажным и прохладным микроклиматом, отложение же спор *Alternaria* не коррелировало ни с одним из микроклиматических условий и было более равномерным по полю [12].

Сорта пшеницы различаются по устойчивости к фузариозу зерна [13]. В то же время сортовые особенности пшеницы и культура-предшественник практически не влияют на зараженность зерна видами *Alternaria* [9]. Выявление закономерностей заражения растений патогенами в изменяющихся условиях (годовые колебания погодных условий, изменения технологии возделывания культур) является актуальной задачей настоящего времени.

Климатические изменения, участвовавшие в последние годы экстремальные погодные явления, интенсификация сельского хозяйства повлияли не только на адаптацию растений к условиям среды и качество семян, но и привели к негативным фитосанитарным последствиям, ухудшению состояния семенной инфекции. Меняется ареал вредных организмов (продвижение на север), повышается опасность «заселения» фитоценозов биообъектами, которые раньше не могли здесь развиваться [14].

В последние годы на территории Уральского региона отмечено массовое появление одного из наиболее агрессивных патогенов зерновых культур — *F. graminearum* [15].

Сроки проведения фитозащиты зерна влияют на результаты выявления зараженности и видового состава патогенных микромицетов. В процессе хранения происходит естественное оздоровление семян; микотоксины сохраняются в зерне гораздо дольше, чем сам гриб [16].

Экологизированным способом защиты семян пшеницы является использование биофунгицидов, в том числе в сочетании со сниженной нормой химического протравителя. Данный способ позволяет достаточно эффективно предотвратить развитие гелиминтоспориоз-фузариозных корневых гнилей яровой пшеницы [17].

При оценке необходимости предпосевной обработки семян и подборе средств защиты посевов учитывают не

только результаты фитозащиты семян, но и почвенно-климатические особенности региона, систему обработки почвы, предшественник, погодные условия и сроки сева, восприимчивость сорта к конкретным патогенам, экономическую эффективность [18].

Цель исследования — провести анализ микрофлоры семян пшеницы, выращенной в разных агроклиматических условиях Тюменской области, выявить сортовые различия по зараженности болезнями.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Проводили фитопатологическую экспертизу семян яровой мягкой пшеницы, выращенной на шести государственных сортоиспытательных участках (ГСУ) Тюменской области, расположенных в трех почвенно-климатических зонах: Нижнетавдинском, Аромашевском (II зона — подтайга), Ялуторовском, Омутинском, Ишимском (III зона — северная лесостепь), Бердюжском (IV зона — южная лесостепь). Всего проанализированы 78 образцов урожая 2015 года и 66 образцов 2016 года (табл. 1).

Отбор проб проводили по ГОСТ 12036-85³.

Лабораторные анализы выполняли через 9 месяцев после уборки растений, использовали метод влажной камеры⁴. Из среднего образца брали 100 зерен без отбора по внешним признакам. Для удаления поверхностной засоренности зерна тщательно промывали проточной водопроводной водой с добавлением моющего средства (ПАВ), затем стерилизовали в 0,5%-ном растворе КМпО₄ в течение 3 мин. После стерилизации зерна вновь промывали стерильной водой, раскладывали в чашки Петри на увлажненную двухслойную фильтровальную бумагу и помещали в термостат (ТС-1/80 СПУ, Смоленское СКТБ СПУ, Россия).

Чашки с анализируемыми образцами держали 7 сут. при температуре 25 °С, после чего оценивали лабораторную всхожесть семян (%), зараженность семян болезнями (количество инфицированных патогеном зерновок, приходящихся на 100 семян образца (%), поражение проростков по 4-балльной шкале: 1 — здоровый проросток; 2 — точечные некрозы ткани; 3 — сильный некроз,

Таблица 1. Исследованные сортообразцы яровой мягкой пшеницы

Table 1. Studied varieties of spring soft wheat

| Сорт | 2015 г. | | | | | | 2016 г. | | | | | |
|------------------|---------|---|---|---|---|---|---------|---|---|---|---|---|
| | Н | А | Я | О | И | Б | Н | А | Я | О | И | Б |
| АВИАДа | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Икар | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Лютеценс 70 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Рикс | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| СКЭНТ-3 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Тюменская 25 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Тюменская 29 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Омская 36 | + | + | | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Чернява 13 | + | + | + | + | | + | + | + | + | + | + | + |
| Новосибирская 31 | + | + | | + | + | | + | + | + | + | + | + |
| Новосибирская 15 | | | + | | | | + | + | + | + | + | + |
| Тобольская | + | + | + | + | + | + | | | | | | |
| Тюменская 33 | + | + | + | | + | + | | | | | | |
| Казахстанская 10 | | | + | + | + | + | | | | | | |

Примечание: Н — Нижнетавдинский ГСУ, А — Аромашевский ГСУ, Я — Ялуторовский ГСУ, О — Омутинский ГСУ, И — Ишимский ГСУ, Б — Бердюжский ГСУ.

³ ГОСТ 12036-85 Семена сельскохозяйственных культур. Правила приемки и методы отбора проб.

⁴ Практическое руководство по экспертизе зерна. С. 104(36). — URL: <https://http://www.z-i-k-r.ru/interest/fuzarioz.pdf>

значительное отставание в росте; 4 — полная гибель; рассчитывали показатель развития болезни проростков P (%) по ГОСТ 12044-93⁵.

При оценке зараженности зерна фитопатогенами использовали стереомикроскоп (Stemi 508, Carl Zeiss, Германия) и световой микроскоп («Микмед-6», Ломо, Россия).

Статистический анализ данных проводили с использованием пакета Statistica (Stat Soft, США). При проверке статистических гипотез использовали критерий Манна — Уитни (Mann — Whitney U test), критерий Краскела — Уоллиса (Kruskal — Wallis ANOVA).

Критический уровень статистической значимости (p) принимали равным 0,05.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Погодные условия в период исследования были контрастными по тепло- и влагообеспеченности. В 2015 году в летние месяцы средние показатели температуры воздуха были ниже нормативных значений на 0,8 °C, в 2016 г. превысили их на 1,7 °C (рис. 1). Летом 2015 года выпало максимальное количество осадков за 2005–2023 гг. (150% от нормы), наиболее увлажненным был июль. В 2016 году сумма выпавших осадков находилась на уровне среднееголетних значений.

В 2015 году общая зараженность семян болезнями в среднем по всем исследуемым образцам составила 62,9%, показатель развития болезни проростков (P) — 24,9%, лабораторная всхожесть семян — 91,3%.

В 2016 году инфицированность образцов семян патогенными микроорганизмами находилась на уровне 64,3%, P — 27,0%, всхожесть семян — 89,8%.

При сравнении значений данных признаков статистически значимых отличий по годам исследования не выявлено.

Превалирующей болезнью семян являлся альтернариоз — инфицированность семенного материала грибами *Alternaria spp.* в 2015 г. составила 51,4%, в 2016-м — 47,6% (табл. 2), показатели не имели статистически значимых отличий. Частота встречаемости других представителей микробиоты семян была значительно ниже.

В первый год исследования наблюдалась более высокая зараженность исследуемых образцов фузариозом (4,8% против 1,6%) и бактериозом (5,7% против 0,7%), во второй год — гельминтоспориозом (7,1% против 2,6%) и плесневыми грибами (2,3% против 0,2%) (табл. 2).

Семена с альтернариозной инфекцией имели в среднем высокие показатели всхожести (95,4% и 92,8%, соответственно, по годам исследования) и низкий балл поражения проростков (1,3 балла — 2015 г., 1,4 балла — 2016 г.) (табл. 2).

В подавляющем большинстве случаев (76%) ростки и корни были без некротических изменений (рис. 2а, 2б), по длине и массе не отличались от проростков здоровых семян (1 балл) (табл. 3).

У фузариозных, гельминтоспориозных, бактериозных и плесневелых семян поражение проростков в среднем было существенно выше (2,3–2,6 балла — 2015 г., 2,0–2,8 балла — 2016 г.), а показатели всхожести значительно ниже (55,2–65,4% — 2015 г., 51,2–69,3% — 2016 г.) (табл. 2).

Грибы рода *Fusarium*, как правило, быстро росли во влажной камере и имели обильный воздушный

Рис. 1. Многолетняя динамика среднесуточной температуры воздуха (рис. А Т) и суммы выпавших осадков (рис. Б RRR) за летний период в южной части Тюменской области

Fig. 1. Long-term dynamics of the average daily air temperature (Fig. A T) and the amount of precipitation (Fig. B RRR) over the summer period in the southern part of the Tyumen region

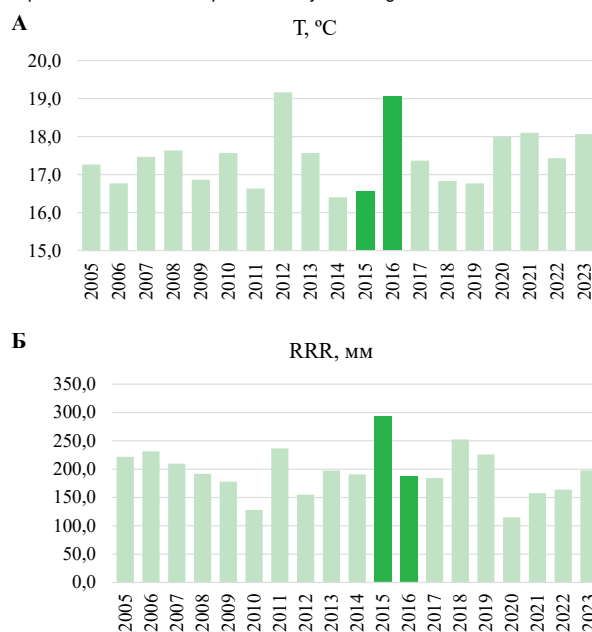


Таблица 2. Результаты фитопатологической экспертизы семян яровой пшеницы, выращенной на ГСУ Тюменской области

Table 2. The results of the phytopathological examination of spring wheat seeds grown at the state variety testing sites of the Tyumen region

| Показатель | Альтернариоз | | Фузариоз | | Гельминтоспориоз | | Бактериоз | | Плесень | |
|---------------------------|--------------|---------|----------|---------|------------------|---------|-----------|---------|---------|---------|
| | 2015 г. | 2016 г. | 2015 г. | 2016 г. | 2015 г. | 2016 г. | 2015 г. | 2016 г. | 2015 г. | 2016 г. |
| Зараженность семян, % | 51,4 | 47,6 | 4,8 | 1,6 | 2,6 | 7,1 | 5,7 | 0,7 | 0,2 | 2,3 |
| Всхожесть семян, % | 95,4 | 92,8 | 64,5 | 63,6 | 62,7 | 64,2 | 55,2 | 51,2 | 65,4 | 69,3 |
| Балл поражения проростков | 1,3 | 1,4 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,4 | 2,8 | 2,3 | 2,0 |

Таблица 3. Распределение семян, зараженных разными патогенами, в зависимости от балла поражения проростков

Table 3. Distribution of seeds infected with different pathogens, depending on the damage score of seedlings

| Возбудитель | Абсолютное (шт.) и относительное (%) число семян | | | | |
|-------------------------|--|------------|-----------|------------|--------------|
| | 1 балл | 2 балла | 3 балла | 4 балла | Всего |
| <i>Alternaria spp.</i> | 2339 76% | 392 13% | 127 4% | 209 7% | 3067 100% |
| <i>Fusarium spp.</i> | 33 28% | 21 17% | 21 17% | 45 38% | 120 100% |
| <i>B. sorokiniana</i> | 148 29% | 80 16% | 99 20% | 174 35% | 501 100% |
| <i>Penicillium spp.</i> | 80 51% | 18 11% | 6 4% | 54 34% | 158 100% |
| <i>Aspergillus spp.</i> | 16 24% | 8 12% | 7 10% | 36 54% | 67 100% |

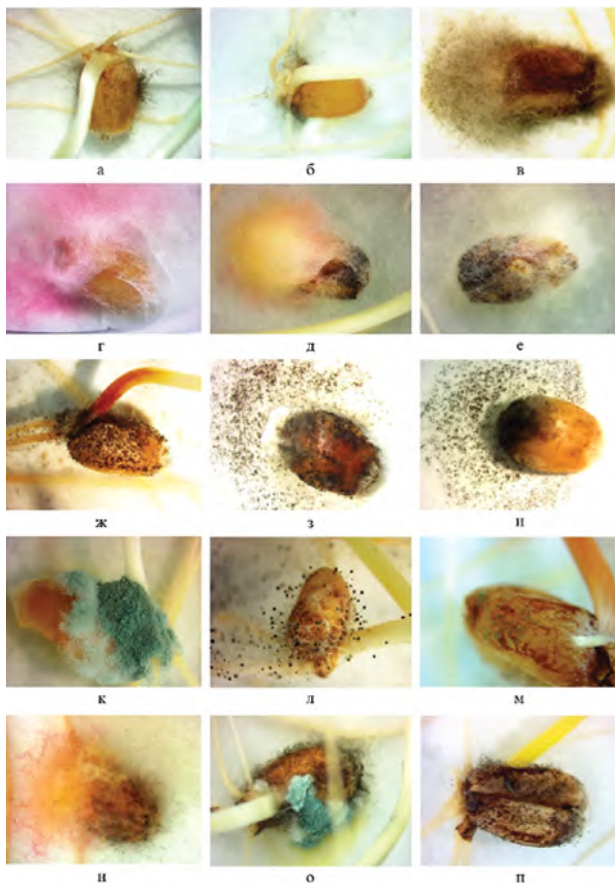
мицелий розового, оранжевого, желтого или белого цвета в зависимости от вида патогена (рис. 2 г — е). Гриб *B. sorokiniana* образовывал компактные черные бархатистые колонии с обильным спороношением, распространяющимся на фильтровальную бумагу (рис. 2 ж — и).

Возбудителями плесневения семян чаще всего (в 64% случаев) являлись грибы рода *Penicillium*,

⁵ ГОСТ 12044-93 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями.

Рис. 2. Семена пшеницы, пораженные грибами *Alternaria* spp. (а — в), *Fusarium* spp. (г — е), *B. sorokiniana* (ж — и), *Penicillium* sp. (к), *Mucor* sp. (л), *Aspergillus* sp. (м), *Fusarium* sp. и *Alternaria* sp. (н), *Alternaria* sp. и *Penicillium* sp. (о), *Alternaria* sp. и *B. sorokiniana* (п) (влажная камера, 8-е сутки инкубации; окраска семян изменена вследствие их стерилизации в растворе KMnO₄)

Fig. 2. Wheat seeds affected by fungi *Alternaria* spp. (a — c), *Fusarium* spp. (d — f), *B. sorokiniana* (g — i), *Penicillium* sp. (j), *Mucor* sp. (k), *Aspergillus* sp. (l), *Fusarium* sp. and *Alternaria* sp. (m), *Alternaria* sp. and *Penicillium* sp. (n), *Alternaria* sp. and *B. sorokiniana* (o) (wet chamber, 8th days of incubation; the color of the seeds was changed due to their sterilization in KMnO₄ solution)



формирующие быстрорастущие на субстрате колонии зеленого цвета (рис. 2к). Реже (в 36% случаев) на увлажненных зернах отмечалось развитие рыхлого зеленого налета грибов рода *Aspergillus* (рис. 2м).

В единичных случаях наблюдалось разрастание во влажной камере мукорового гриба, формирующего шаровидные спорангии, заметные невооруженным глазом (рис. 2л). Изредка из зерновок одновременно вырастали колонии *Fusarium* sp. и *Alternaria* sp. (рис. 2н), *Alternaria* sp. и *Penicillium* sp. (рис. 2о), *Alternaria* sp. и *B. sorokiniana* (рис. 2п).

Доля загнивших семян (4 балла), зараженных грибами рода *Alternaria*, была незначительной (7%) в выборке семян с данной инфекцией (табл. 3). На таких семенах наблюдалось обильное развитие мицелия гриба от светло-серого до темно-оливкового цвета с интенсивным спороношением или без него (рис. 2в).

При инфицировании грибами родов *Fusarium*, *Vipolaris*, *Penicillium* загнивало более трети семян, при бактериозе — более половины. В связи с очень высокой распространенностью альтернариоза абсолютное число загнивших альтернариозных семян превысило показатели, характерные для других семенных инфекций (табл. 3).

Альтернариоз семян встречался во всех исследуемых образцах. Доля семян, зараженных грибами

Таблица 4. Данные о распространенности болезней в образцах семян яровой пшеницы, выращенной на ГСУ Тюменской области
Table 4. Data on the prevalence of diseases in samples of spring wheat seeds grown at state variety testing sites in the Tyumen region

| Болезнь | Показатель | ГСУ | | | | | |
|------------------|------------|------|------|------|------|------|------|
| | | Н | А | Я | О | И | Б |
| 2015 г. | | | | | | | |
| Альтернариоз | М | 48,3 | 46,7 | 45,3 | 53,2 | 63,6 | 51,4 |
| | max | 66,3 | 66,3 | 57,1 | 76,5 | 79,6 | 66,3 |
| Фузариоз | М | 9,6 | 3,9 | 4,4 | 2,8 | 2,7 | 5,3 |
| | max | 29,6 | 10,2 | 9,2 | 7,1 | 10,2 | 12,2 |
| Гельминтоспориоз | М | 2,0 | 1,0 | 1,3 | 1,3 | 5,3 | 4,8 |
| | max | 3,1 | 3,1 | 6,1 | 4,1 | 9,3 | 8,2 |
| Бактериоз | М | 5,1 | 5,3 | 2,2 | 3,3 | 7,1 | 11,5 |
| | max | 22,4 | 11,2 | 8,2 | 10,2 | 16,5 | 22,4 |
| Плесень | М | 0,0 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,0 | 0,4 |
| | max | 0,0 | 2,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 |
| 2016 г. | | | | | | | |
| Альтернариоз | М | 44,8 | 41,4 | 47,3 | 32,9 | 62,6 | 56,6 |
| | max | 69,4 | 57,1 | 55,7 | 43,9 | 72,4 | 69,1 |
| Фузариоз | М | 1,6 | 1,1 | 3,4 | 1,8 | 1,1 | 0,9 |
| | max | 5,1 | 6,1 | 9,2 | 7,1 | 3,5 | 4,1 |
| Гельминтоспориоз | М | 2,3 | 4,9 | 15,7 | 8,1 | 7,5 | 3,6 |
| | max | 2,0 | 8,2 | 26,5 | 16,0 | 11,2 | 6,1 |
| Бактериоз | М | 0,6 | 0,2 | 0,3 | 1,2 | 0,3 | 1,4 |
| | max | 2,0 | 1,0 | 1,0 | 4,1 | 2,0 | 5,2 |
| Плесень | М | 0,5 | 5,4 | 0,3 | 0,5 | 1,9 | 5,3 |
| | max | 2,0 | 23,5 | 1,1 | 2,0 | 5,1 | 15,3 |

Примечание: М, max — среднее и максимальное значение по образцам; ГСУ — государственный сортоиспытательный участок; Н — Нижнетавдинский; А — Аромашевский, Я — Ялуторовский; О — Омутинский; И — Ишимский; Б — Бердюжский ГСУ.

рода *Alternaria*, варьировала от 15,3% (сорт Новосибирская 15 (Аромашевский ГСУ), урожай 2016 г.) до 79,6% (сорт Тюменская 29 (Ишимский ГСУ), урожай 2015 г.). Как в первый, так и во второй год исследования наиболее высокие показатели инфицированности семян альтернариевыми грибами зафиксированы на Ишимском ГСУ (табл. 4).

Фузариоз зерна наблюдался в 80% образцов. Максимальные показатели зараженности семян грибами рода *Fusarium* составили 29,6% (сорт Икар (Нижнетавдинский ГСУ), урожай 2015 г.). Наиболее высокая инфицированность семенного материала фузариевыми грибами (9,6%) зафиксирована в 2015 г. на Нижнетавдинском ГСУ. Сильнее всего поразились фузариозом сортообразцы Икар и Рикс.

Следует отметить, что данные сорта проявили высокую восприимчивость к болезни в условиях искусственного заражения растений [19]. В литературе имеются сведения о выявлении опасных концентраций фузариотоксинов в партиях продовольственного зерна сорта Икар из Тюменской области [20].

Гельминтоспориозом были заражены 86% образцов пшеницы. Предельное значение зараженности образцов грибами *B. sorokiniana* составило 26,5% (сорта Тюменская 29 и СКЭНТ-3 (Ялуторовский ГСУ), урожай 2016 г.).

Наиболее сильная инфицированность семенного материала гельминтоспориевыми грибами наблюдалась на Ялуторовском ГСУ в 2016 г. (средние показатели по исследуемым образцам составили 15,7%).

Бактериальная инфекция встречалась в 67% образцов пшеницы, зараженность семян бактериозом достигала 22,4% (сорт Тюменская 29 (Бердюжский ГСУ), урожай 2015 г.). Наиболее сильное заражение семян бактериями зафиксировано на Бердюжском ГСУ в 2015 г. (11,5%).

Плесневение семян зарегистрировано у 38% исследуемых образцов. Наиболее высокая инфицированность семян плесневыми грибами составила 23,5% (сорт АВИАДа (Аромашевский ГСУ), урожай 2016 г.). Максимальная зараженность отмечена в 2016 году на Бердюжском ГСУ и Аромашевском ГСУ — 5,4% и 5,3% соответственно.

Выводы/Conclusion

1. Соотношение различных фитопатогенов в микробиоте семян яровой пшеницы во многом зависело от погодно-климатических факторов. В прохладных и сильно увлажненных условиях вегетационного периода 2015 г. была выше представленность в семенном материале грибов рода *Fusarium* по сравнению с *B. sorokiniana* (4,8% против 2,6%). В жарких условиях 2016 г. преимущественно получил грибок *B. sorokiniana* перед *Fusarium spp.* (7,1% против 1,6%).

2. Как в 2015-м, так и в 2016 г. в патогенной микробиоте семян наблюдалось существенное доминирование грибов рода *Alternaria*. Средняя по образцам зараженность семян альтернариозом составила 49,5%, максимальная — 80%, статистически значимых

отличий по годам не выявлено. Таким образом, грибы *Alternaria spp.* были менее зависимы от гидротермических условий по сравнению с *Fusarium spp.* и *B. sorokiniana*.

3. Наибольшая инфицированность семян фузариозом наблюдалась в образцах с Нижнетавдинского сортоиспытательного участка, расположенного в подтаежной зоне, характеризующейся более прохладными и влажными условиями. Наиболее сильно фузариозом поражались сорта Икар и Рикс. Зараженность семенного материала гелиминтоспориозом была выше в образцах пшеницы, выращенной в зоне северной лесостепи.

4. Вредоносность грибов рода *Alternaria* была значительно ниже по сравнению с другими микроорганизмами, заселяющими зерно: показатели лабораторной всхожести альтернариозных семян составили в среднем 94,1% против 53,2–67,4%, балл поражения проростков — 1,4 против 2,2–2,6 (по 4-балльной шкале). Однако в связи с очень высокой распространенностью альтернариоза абсолютное число загнивших альтернариозных семян превысило показатели, характерные для других семенных инфекций.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена научно-исследовательским институтом сельского хозяйства Северного Зауралья ТюмНЦ СО РАН в части выполнения работ, предусмотренных государственным заданием Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № FWRZ- 2021-0015.

FUNDING

The research was carried by the Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals of the Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, in part of the work provided for by the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. FWRZ-2021-0015.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Земцова Е.С., Боме Н.А. Анализ структуры урожая яровой мягкой пшеницы в различных погодных условиях Тюменской области. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2021; 16(2): 23–28. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-23-28>
2. Новохатин В.В. Биоклиматические ресурсы Северного Зауралья. *Аграрный вестник Урала*. 2015; (8): 22–28. <https://elibrary.ru/umkwwsh>
3. Логинов Ю.П., Казак А.А., Якубышина Л.И. Яровая пшеница в Тюменской области (биологические особенности роста и развития). Тюмень: *Тюменский аграрный академический союз*. 2012; 116. <https://elibrary.ru/tosidr>
4. Гагкаева Т.Ю., Дмитриев А.П., Павлюшин В.А. Микробиота зерна — показатель его качества и безопасности. *Защита и карантин растений*. 2012; (9): 14–18. <https://elibrary.ru/nodowj>
5. Марченко Л.В. Влияние экологических условий на посевные качества семян сортов яровой пшеницы в Тюменской обл. Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. Тюмень. 2007; 172. <https://www.elibrary.ru/akdpqg>
6. Торопова Е.Ю., Воробьева И.Г., Стецов Г.Я., Казакова О.А., Кириченко А.А. Фитосанитарный мониторинг и контроль фитопатогенов яровой пшеницы. *Достижения науки и техники АПК*. 2021; 35(6): 25–32. <https://www.elibrary.ru/lkysug>
7. Орина А.С., Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю., Ганнибал Ф.Б. Микромикеты *Alternaria spp.* и *Bipolaris sorokiniana* и микотоксины в зерне, выращенном в Уральском федеральном округе. *Микология и фитопатология*. 2020; 54(5): 365–377. <https://doi.org/10.31857/S0026364820050086>
8. Торопова Е.Ю., Кириченко А.А., Казакова О.А., Порсев И.Н. Альтернариоз зерна яровой пшеницы и ячменя в Западной Сибири и Восточном Зауралье. *Защита и карантин растений*. 2015; (1): 20–22. <https://elibrary.ru/thaspz>
9. Ганнибал Ф.Б. Альтернариоз зерна — современный взгляд на проблему. *Защита и карантин растений*. 2014; (6): 11–15. <https://elibrary.ru/sdvvvv>
10. Xu X., Nicholson P. Community Ecology of Fungal Pathogens Causing Wheat Head Blight. *Annual Review of Phytopathology*. 2009; 47: 83–103. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081737>
11. Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Орина А.С., Аблова И.Б., Беспалова Л.А. Маркерные метаболиты грибов *Alternaria*, *Fusarium* и *Microdochium* как инструмент оценки их взаимоотношений в микробиоте зерна пшеницы. *Биотехнология и селекция растений*. 2018; 1(1): 7–15. <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2018-1-7-15>

REFERENCES

1. Zemtsova E.S., Bome N.A. Analysis of the structure of the spring wheat crop in various weather conditions in the Tyumen region. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2021; 16(2): 23–28 (in Russian). <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-23-28>
2. Novohatin V.V. Bioclimatic resources of Northern Trans-Urals. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2015; (8): 22–28 (in Russian). <https://elibrary.ru/umkwwsh>
3. Loginov Yu.P., Kazak A.A., Yakubshina L.I. Spring wheat in the Tyumen region (biological features of growth and development). Tyumen: *Tyumen Agricultural Academic Union*. 2012; 116 (in Russian). <https://elibrary.ru/tosidr>
4. Gagkaeva T.Yu., Dmitriev A.P., Pavlyushin V.A. Grain microbiota — index of its quality and safety. *Plant protection and quarantine*. 2012; (9): 14–18 (in Russian). <https://elibrary.ru/nodowj>
5. Marchenko L.V. The influence of environmental conditions on the sowing qualities of seeds of spring wheat varieties in the Tyumen region. Dissertation for the degree of candidate of agricultural sciences. Thesis. Tyumen. 2007; 172 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/akdpqg>
6. Toropova E.Yu., Vorobyova I.G., Stetsov G.Ya., Kazakova O.A., Kirichenko A.A. Phytosanitary monitoring and control of spring wheat phytopathogens. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2021; 35(6): 25–32 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/lkysug>
7. Orina A.S., Gavrilo O.P., Gagkaeva T.Yu., Gannibal Ph.B. Micromycetes *Alternaria spp.* and *Bipolaris sorokiniana* and mycotoxins in the grain from the Ural region. *Mycology and Phytopathology*. 2020; 54(5): 365–377 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0026364820050086>
8. Toropova E.Yu., Kirichenko A.A., Kazakova O.A., Porsev I.N. Alternaria disease of grain of spring wheat and barley in Western Siberia and Eastern Trans-Urals. *Plant protection and quarantine*. 2015; (1): 20–22 (in Russian). <https://elibrary.ru/thaspz>
9. Gannibal F.B. Alternaria disease of grain — modern view of the problem. *Plant protection and quarantine*. 2014; (6): 11–15 (in Russian). <https://elibrary.ru/sdvvvv>
10. Xu X., Nicholson P. Community Ecology of Fungal Pathogens Causing Wheat Head Blight. *Annual Review of Phytopathology*. 2009; 47: 83–103. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081737>
11. Gagkaeva T.Yu., Gavrilo O.P., Orina A.S., Ablova I.B., Bespalova L.A. Distinctive metabolites of *Alternaria*, *Fusarium* and *Microdochium* fungi as a tool for assessing their relationship in microbiota of wheat grain. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2018; 1(1): 7–15 (in Russian). <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2018-1-7-15>

12. Schiro G., Verch G., Grimm V., Müller M.E.H. *Alternaria and Fusarium Fungi: Differences in Distribution and Spore Deposition in a Topographically Heterogeneous Wheat Field. Journal of Fungi.* 2018; 4(2): 63. <https://doi.org/10.3390/jof4020063>

13. Гагкаева Т.Ю., Орина А.С., Гаврилова О.П., Аблова И.Б., Беспалова Л.А. Характеристика сортов озимой пшеницы по устойчивости к фузариозу зерна. *Вавиловский журнал генетики и селекции.* 2018; 22(6): 685–692 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.18699/VJ18.411>

14. Левитин М.М. Микроорганизмы в условиях глобального изменения климата. *Сельскохозяйственная биология.* 2015; 50(5): 641–647. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.641rus>

15. Гаврилова О.П., Орина А.С., Гогина Н.Н., Гагкаева Т.Ю. Проблема фузариоза зерна в Зауралье: ретроспектива исследований и современная ситуация. *Аграрный вестник Урала.* 2020; (7): 29–40. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-198-7-29-40>

16. Шипилова Н.П. Влияние хранения на зараженность семян зерновых культур грибами рода *Fusarium*. Современная микология в России. *Материалы III Международного микологического форума. М.: Общественная национальная академия микологии.* 2015; 5: 128–129. <https://elibrary.ru/viumwv>

17. Кекало А.Ю. Экологизированный способ защиты семян пшеницы от фитопатогенов. *Аграрная наука.* 2021; (11–12): 129–133. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-129-133>

18. Три вопроса эксперту. Предпосевная обработка семян зерновых — «страховка» урожая. *Аграрная наука.* 2023; (3): 9. <https://www.elibrary.ru/kjoslw>

19. Земцова Е.С., Боме Н.А. Сравнительная характеристика генотипов *Triticum aestivum* L. по устойчивости к фузариозу колоса в условиях искусственного заражения. *Труды Кубанского государственного аграрного университета.* 2022; 96: 100–106. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-96-100-106>

20. Торопова Е.Ю., Воробьева И.Г., Мустафина М.А., Селюк М.П. Мониторинг грибов рода *Fusarium* Link. и их микотоксинов на зерне пшеницы в Западной Сибири. *Агробиология.* 2019; (5): 76–82. <https://www.elibrary.ru/zdeemx>

12. Schiro G., Verch G., Grimm V., Müller M.E.H. *Alternaria and Fusarium Fungi: Differences in Distribution and Spore Deposition in a Topographically Heterogeneous Wheat Field. Journal of Fungi.* 2018; 4(2): 63. <https://doi.org/10.3390/jof4020063>

13. Gagkaeva T.Yu., Orina A.S., Gavrilova O.P., Ablova I.B., Bespalova L.A. Characterization of resistance of winter wheat varieties to *Fusarium* head blight. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding.* 2018; 22(6): 685–692. <https://doi.org/10.18699/VJ18.411>

14. Levitin M.M. Microorganisms and global climate change. *Agricultural Biology.* 2015; 50(5): 641–647. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.641eng>

15. Gavrilova O.P., Orina A.S., Gogina N.N., Gagkaeva T.Yu. The problem of *Fusarium* head blight in the Trans-Urals region: the history and current situation. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2020; (7): 29–40 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-198-7-29-40>

16. Shipilova N.P. The effect of storage on the contamination of grain seeds with fungi of the genus *Fusarium*. *Current Mycology in Russia. Proceedings of the III International Mycological Forum. Moscow: All-Russian National Academy of Mycology.* 2015; 5: 128–129 (in Russian). <https://elibrary.ru/viumwv>

17. Kekalo A.Yu. An eco-friendly way to protect wheat seeds from phytopathogens. *Agrarian science.* 2021; (11–12): 129–133 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-129-133>

18. Three questions for the expert. Pre-sowing treatment of grain seeds is the “insurance” of the harvest. *Agricultural science.* 2023; (3): 9 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/kjoslw>

19. Zemtsova E.S., Bome N.A. Comparative characteristics of *Triticum aestivum* L. genotypes on resistance to *Fusarium* ear blight in conditions of artificial infection. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University.* 2022; 96: 100–106 (in Russian). <https://doi.org/10.21515/1999-1703-96-100-106>

20. Toropova E.Yu., Vorobyova I.G., Mustafina M.A., Selyuk M.P. *Fusarium* Link. fungi on the wheat grains in Western Siberia. *Agricultural Chemistry.* 2019; (5): 76–82 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zdeemx>

ОБ АВТОРАХ

Елена Сергеевна Земцова¹

научный сотрудник химико-экологической лаборатории
zemcovaelena@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0093-9064>

Нина Анатольевна Боме²

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой ботаники, биотехнологии растений и ландшафтной архитектуры
bomena@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5467-6538>

Владимир Васильевич Новохатин³

кандидат сельскохозяйственных наук
tatyanka.leonova.2020@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2191-0420>

¹ Тобольская комплексная научная станция Уральского отделения Российской академии наук, ул. им. академика Юрия Осипова, 15, Тобольск, 626152, Россия

² Тюменский государственный университет, ул. Володарского, 6, Тюмень, 625003, Россия

³ Федеральный исследовательский центр «Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», ул. им. Малыгина, 86, Тюмень, 625501, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Eelena Sergeevna Zemtsova¹

Research Associate at the Chemical and Environmental Laboratory
zemcovaelena@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0093-9064>

Nina Anatolyevna Bome²

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Botany, Plant Biotechnology and Landscape Architecture
bomena@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5467-6538>

Vladimir Vasilyevich Novokhatin³

Candidate of Agricultural Sciences
tatyanka.leonova.2020@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2191-0420>

¹ Tobolsk Complex Scientific Station Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 15 Academician Yuri Osipov Str., Tobolsk, 626152, Russia

² University of Tyumen, 6 Volodarsky Str., Tyumen, 625003, Russia

³ Federal State Institution Federal Research Centre “Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, 86 Malygin Str., Tyumen, 625501, Russia