

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.564-576>  
УДК 632.4.01/.08



## Оптимизация методов оценки озимой ржи на устойчивость к снежной плесени в условиях естественных и искусственных инфекционных фонов

© 2025. М. А. Пономарева , С. Н. Пономарев, Г. С. Маннапова, С. Ю. Павлова, И. О. Иванова

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», г. Казань, Российская Федерация

Снежная плесень – экономически значимое и прогрессирующее заболевание озимой ржи, вызываемое различными видами низкотемпературных грибов (аскомицетами и базидиомицетами) и грибоподобными организмами (оомицетами), потери урожая от которого могут достигать 30–50 %. Цель данной работы – совершенствование методов полевой оценки устойчивости озимой ржи к снежной плесени как при искусственном заражении, так и в естественных условиях. Исследования проводили в 2019–2024 годах в условиях Республики Татарстан. С 2021 года для искусственного заражения использовали наиболее агрессивные штаммы возбудителей розовой (*Microdochium nivale*), серой (*Typhula incarnata*) и крапчатой (*T. ishikariensis*) снежной плесени, собранные в Приволжском федеральном округе. В эксперимент включено 60 образцов озимой ржи, в том числе сорта селекции ТамНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН. Для более точной оценки степени поражения и выявления устойчивых генотипов разработана детализированная 9-балльная шкала, где 1 балл означает отсутствие поражения, 9 – полное поражение. В естественных условиях средний балл поражения варьировал от 2,41 до 5,15, а при искусственном заражении был значительно выше – от 4,48 до 8,40. В течение четырех из пяти лет наблюдений большинство сортов озимой ржи показали умеренный или умеренно-восприимчивый тип реакции на естественном фоне. Частота образцов с восприимчивой реакцией на искусственном инфекционном фоне в 2024 году достигла 96 %. Использование искусственных инфекционных фонов позволяет проводить оценку поражения снежной плесенью независимо от погодных условий и ускоряет селекционный процесс, обеспечивая объективную оценку устойчивости генотипов. В результате исследований оптимизирована методика создания автономных инфекционных фонов. Она включает выбор участка с продолжительным периодом таяния снега и ровным рельефом, использование инокулята, содержащего вирулентные штаммы патогенов, характерные для данного региона, и специальный метод внесения инфекционного агента.

**Ключевые слова:** возбудители снежной плесени, восприимчивость, естественный фон, создание искусственного инфекционного фона, шкала учета поражения растений

**Благодарности:** исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда № 24-16-00183, <https://rscf.ru/project/24-16-00183/>

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликтов интересов.

**Для цитирования:** Пономарева М. Л., Пономарев С. Н., Маннапова Г. С., Павлова С. Ю., Иванова И. О. Оптимизация методов оценки озимой ржи на устойчивость к снежной плесени в условиях естественных и искусственных инфекционных фонов. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2025;26(3):564-576. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.564-576>

Поступила: 14.04.2025

Принята к публикации: 06.06.2025

Опубликована онлайн: 30.06.2025

## Optimization of methods for assessing the resistance of winter rye to snow mold in natural and artificial infection backgrounds

© 2025. Mira L. Ponomareva , Sergey N. Ponomarev, Gulnaz S. Mannapova, Svetlana Yu. Pavlova, Irina O. Ivanova

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Kazan, Tatarstan, Russian Federation

Snow mold is an economically important and progressive disease of winter rye caused by several species of low temperature fungi (ascomycetes and basidiomycetes) and fungal-like organisms (oomycetes), with yield losses of up to 30–50 %. The aim of this work is to improve methods for field evaluation of winter rye resistance to snow mold, both under artificial infestation and natural conditions. The research was carried out in 2019–2024 in the Republic of Tatarstan. Since 2021, the most aggressive strains of pink (*Microdochium nivale*), grey (*Typhula incarnata*) and speckled (*T. ishikariensis*) snow mold pathogens collected

in the Volga Federal District have been used for artificial infection. The experiment involved 60 winter rye samples, including cultivars bred by Tatar Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center of RAS. For a more accurate assessment of the degree of damage and identification of resistant genotypes, a detailed 9-point scale was developed, with 1 – no damage and 9 – complete damage. Under natural conditions, the average damage point ranged from 2.41 to 5.15, while under artificial infestation it was significantly higher, from 4.48 to 8.40. Most winter rye cultivars showed a moderate to moderately susceptible type of reaction on a natural background in four out of 5 years of observation. The frequency of susceptible samples on the artificial infection background reached 96 % in 2024. The use of artificial infection backgrounds allows snow mold damage to be assessed independently of weather conditions and speeds up the breeding process, providing an objective assessment of genotype resistance. As a result of research, the methodology for establishing autonomous infection backgrounds has been optimized. It involves the selection of a site with a long snowmelt period and flat relief, the use of inoculum containing virulent strains of pathogens characteristic of the region and a special method of introducing the pathogen.

**Keywords:** snow mold pathogens, susceptibility, natural background, creation of artificial infectious background, plant damage accounting scale

**Acknowledgements:** the research was supported by the Russian Science Foundation No. 24-16-00183, <https://rscf.ru/project/24-16-00183/>

The authors thank the reviewers for their contributions to the peer review of this work.

**Conflict of interest:** authors declared no conflicts of interest.

**For citation:** Ponomareva M. L., Ponomarev S. N., Mannapova G. S., Pavlova S. Yu., Ivanova I. O. Optimization of methods for assessing the resistance of winter rye to snow mold in natural and artificial infection backgrounds. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):564–576. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.564-576>

Received: 14.04.2025

Accepted for publication: 06.06.2025

Published online: 30.06.2025

Озимая рожь в Российской Федерации является не просто второй по значимости хлебной культурой, но и социально важным и здоровым продуктом питания для населения. Ценность ржи для растениеводства России определяется не только ее пищевой и сырьевой ценностью, но и агротехническими, экономическими и экологическими преимуществами, которые она обеспечивает в большинстве регионов страны, особенно на территориях со сложными почвенно-климатическими условиями. Ядро возделывания культуры – Приволжский федеральный округ, где в 2024 г. высевалось 72,6 % всех посевных площадей ржи в России (589,8 тыс. га). По данным АБ-Центр<sup>1</sup>, лидером по сбору ржи в РФ в 2024 г. является Республика Татарстан – 144,3 тыс. тонн, или 12,4 % от общего объема по стране.

В числе основных лимитирующих факторов получения высоких урожаев качественной продукции озимой ржи остаются болезни растений. Рожь считается культурой более выносливой к грибным заболеваниям, чем пшеница или ячмень, при этом некоторые патогены могут значительно снизить ее урожайность. Одной из таких экономически значимых, распространенных и вредоносных болезней является снежная плесень, ущерб от которой в зависимости от устойчивости сорта и складывающихся погодных условий может достигать 30–50 % [1].

На основании многочисленных исследований в настоящее время установлено, что

снежную плесень зерновых культур вызывает комплекс низкотемпературных фитопатогенов, относящихся к разным таксонам [2], таких как *Microdochium nivale* (ранее именуемый *Fusarium nivale*) и *M. majus*, *Typhula incarnata* и *T. Ishicariensis*, *Sclerotinia* sp. [1]. Всех их объединяет способность расти при низких температурах (психрофильность и психротолерантность). Имеются сведения и о других возбудителях, симптомы которых схожи с вышеперечисленными видами – *Pythium* sp. [3], *Phoma sclerotoides* [4, 5], *Coprinus psychromorbidus* [6] и другие. Поэтому считается, что термин «снежная плесень» – это собирательное название заболеваний, вызываемых грибами (аскомицетами и базидиомицетами) и грибоподобными организмами (оомицетами). Возбудители снежной плесени благодаря своей экстремофильности способны расти под снежным покровом или в прохладную погоду при температуре 0–5 °С и высокой влажности воздуха [7].

Чаще всего доминирующим видом является *Microdochium nivale*, особенность которого – неспособность продуцировать микотоксины [8]. Для него характерно ежегодное распространение во всех регионах возделывания озимых зерновых культур, а вредоносность варьирует от низкой до высокой в зависимости от складывающихся агрометеорологических условий [9]. Оптимальный рост *M. nivale* происходит при умеренных температурах холодного сезона и в период оттепелей. В отличие от других

<sup>1</sup>АБ-Центр – экспертно-аналитический центр агробизнеса. [Электронный ресурс].

URL: <https://ab-centre.ru/news/rozh-ploschadi-sbory-i-urozhaynost-v-2024-godu> (дата обращения 10.01.2025)

возбудителей снежной плесени этот патоген может вызывать заболевание, даже при отсутствии снежного покрова. Он проявляет активность в более широком диапазоне температур и встречается в самых разных эколого-географических зонах [10].

Возбудители серой и крапчатой снежной плесени (*T. ishkariensis*, *T. incarnata*) до настоящего времени остаются недостаточно изученными. Максимальная активность этих патогенов наблюдается в период начала таяния снега, когда верхний слой почвы насыщен влагой. Сведений о частоте встречаемости видов *Typhula* spp. в патогенезе снежной плесени нет, практически все исследования, посвященные тифулам, сосредоточены на их экологических характеристиках и таксономии. Работы, направленные на оценку устойчивости различных сортов озимой ржи к этим патогенам, отсутствуют. В связи с этим проблема требует серьезного внимания, особенно учитывая, что ведущие специалисты Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений (ВИЗР) включили данные заболевания в число экономически значимых болезней пшеницы, широко распространенных как в России, так и за рубежом [9].

Вредоносность снежной плесени, помимо снижения урожайности, проявляется в невыполненности колоса и щуплости зерна, а при интенсивном поражении – в изреженности и гибели посевов. Наиболее эффективную защиту обеспечивают устойчивые к снежной плесени сорта, однако выявление и передача генов устойчивости к заболеванию новым сортам затруднена, поскольку устойчивость имеет полигенную природу [1], а развитие снежной плесени в значительной степени зависит от условий окружающей среды и требует нескольких лет полевых испытаний.

По мнению Э. П. Урбан с соавт. (2022) [11], до сих пор не удалось создать сорта ржи с высокой устойчивостью к снежной плесени, однако выявлены сорта с низкими показателями степени поражения и гибели растений. Имеются примеры получения толерантных сортов путем многократного индивидуального отбора на искусственном инфекционном фоне *M. nivale*: Снежана (2004 г.); Рушник (2008 г.); Графиня (2012 г.) [12]. Проблема устойчивости растений к снежной плесени требует приоритетного решения при создании гибридной ржи, т. к. инбредные линии и гибриды поражаются этой болезнью сильнее, чем популяционные сорта [13].

**Цель работы** – усовершенствовать полевые методы оценки восприимчивости селекционного материала озимой ржи к снежной плесени на искусственных и естественных инфекционных фонах.

**Научная новизна** – в селекционной практике использованы автономные инфекционные питомники с искусственным внесением специально подобранных изолятов основных возбудителей снежной плесени (*Microdochium nivale*, *Typhula ishkariensis*, *Typhula incarnata*) для синхронной фенотипической оценки селекционного материала на устойчивость к заболеванию, предложена оптимизированная шкала оценки степени поражения растений.

**Материал и методы.** Для выявления наиболее патогенных и дифференцирующих штаммов грибов-возбудителей снежной плесени в 2020–2022 гг. были собраны образцы пораженных растений с экспериментальных полей ФИЦ КазНЦ РАН, районов Республики Татарстан и сопредельных регионов, входящих в Приволжский федеральный округ. Вирулентные изоляты сохраняются в коллекции фитопатогенных грибов лаборатории инфекционных заболеваний растений ФИЦ КазНЦ РАН.

Фенотипическую оценку коллекционного и селекционного материала озимой ржи проводили на экспериментальных полях ТагНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН (Лаишевский р-н, Республика Татарстан) в течение 5 лет как на естественном фоне, так и при искусственном заражении одним из возбудителей. Начиная с 2021 г., для тестирования образцов озимой ржи на устойчивость к снежной плесени для искусственного инфицирования использовали возбудителей розовой снежной плесени (*M. nivale*, изоляты 559, 556, 516, 550, 244, 520, 221, 493), серой снежной плесени (*T. incarnata*, изоляты 180, 337) и крапчатой снежной плесени (*T. ishkariensis*, изоляты 206, 637, 758). Для поддержания инфекционных фонов каждый год на отдельный участок вносили смесь мицелия перечисленных изолятов каждого из возбудителей, создавая автономный инфекционный фон. Грибы, вызывающие снежную плесень, выращивали в стерильных условиях на среде КСА (картофельно-сахарозный агар) и КСС (картофельно-сахарозная среда). Затем с края колоний пробочным сверлом делали вырубку диаметром 8 мм и вносили по 5 вырубков соответствующего изолята в стеклянные трехлитровые колбы, наполовину заполненные стерильным дробленным зерном ячменя. Агрессивные изоляты *M. nivale*, отобранные для полевого эксперимента, куль-

тивировали в течение 16 дней при температуре 20 °С и 16-часовом световом режиме при регулярном перемешивании субстрата. Изоляты *T. incarnata* и *T. ishikariensis* также выращивали на автоклавированном дробленном зерне ярового ячменя в течение 6 недель при 5 °С в темноте. Дробленное зерно получали на зерносортировальных машинах при сходе с решета В (подсеивное). К моменту внесения колбы полностью зарастали грибами, а их содержимое представляло собой плотную массу с высокой концентрацией гриба. Непосредственно перед внесением в почву инфицированное зерно, содержащее мицелий различных изолятов одного и того же патогена, тщательно перемешивали. Полученную смесь вносили в стерильный, автоклавированный зерновой субстрат ячменя в соотношении 1:3 (установлено экспериментально). Этот прием позволял увеличить объем и однородность инфекционного материала, необходимого для оценки значительного числа тестируемых образцов, а также снизить инфекционную нагрузку ввиду высокой агрессивности используемых изолятов. Подготовленный инокулом вручную равномерно распределяли по экспериментальному участку (между рядами возле растений из расчета 200 г на 1 кв. м.) после того, как растения достигли стадии трех настоящих листьев (фаза 13 по шкале Цадокса). Для предотвращения перекрестной контаминации штаммами возбудителей разные инфекционные питомники друг от друга отстояли на 4 м и засевались озимым рожком.

В исследование было включено 60 сортообразцов озимой ржи, включая сорта селекции ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН, 66 % изученного материала представлены образцами российского происхождения, остальная часть – образцы из 12 стран (Беларусь, Польша, Латвия, Германия, Испания, Аргентина, Китай, США, Канада, Украина, Финляндия).

Инфекционный участок, где размещались автономные инфекционные питомники, располагался вне селекционного севооборота и был с трех сторон защищен лесополосами, что способствовало естественному снегозадержанию и провокации проявления снежной плесени. Предшественник – чистый пар. Изучаемые образцы на инфекционных фонах высевали сеялкой ССФК в двукратной повторности на делянках площадью 2,0 м<sup>2</sup>, расстояние между рядками – 15 см. Участок предварительно был выровнен по инфекционному фону уравнивательным посевом сидеральной культуры – озимого рожка.

После снеготаяния визуально оценивали пораженность растений по состоянию и проценту выживших растений по 9-балльной шкале, описанной ниже (первая оценка). Через 2 недели по той же шкале учета проводили бонитировку регенерации растений после пика развития болезни (вторая оценка).

На основании полученных результатов первой оценки тестируемые образцы классифицировали на 4 категории: устойчивые (R) – поражение составляло 1,0–2,9 балла; умеренно устойчивые (MR) – 3,0–4,9 балла; умеренно восприимчивые (MS) – 5,0–6,9 балла; восприимчивые (S) – 7,0–9,0 баллов.

Для расчета статистических характеристик и визуализации полученных данных использовали пакеты программ Microsoft Office Excel 2007 и XLSTAT 2019.2.2.59614. Оценки пораженности снежной плесенью каждого образца усредняли по двум полевым повторностям. Статистическая значимость признака – \*при  $p \leq 0.05$ ; \*\* при  $p \leq 0.01$ ; \*\*\* при  $p \leq 0.001$ .

**Результаты и их обсуждение.** В последние годы уровень естественного развития снежной плесени в центральной полосе России регулярно превышает эпифитотийный порог, равный 20 %, что связано с мягкими зимами и положительными температурными аномалиями; при этом вызывающие это заболевание грибы адаптируются к более теплomu климату не только этих территорий, но и юга России [14], Западной и Восточной Европы.

В зоне наших исследований в 2020-2021 гг. наблюдалось минимальное количество оттепелей и более низкая температура в сравнении со среднемноголетними показателями (-9,4 °С и -7,5 °С) при снежном покрове 78 см (табл. 1). В 2023-2024 гг. отмечена рекордная высота снежного покрова (95 см) и большое количество осадков (310 мм) при слабом промерзании почвы.

Средние показатели поражения растений в естественных условиях варьировали от 2,41±1,04 до 5,15±1,08 балла, тогда как на искусственном фоне (ИФ) они неизменно были выше – от 4,48±1,70 до 8,40±0,72 (рис. 1). Результаты фенотипической оценки сортов озимой ржи показали, что только в 2020 г. на естественном фоне (ЕФ) сорта имели относительно низкий балл поражения снежной плесенью – в пределах 1–4 баллов (в среднем 2,24 балла). В остальные годы на естественном фоне поражаемость

варьировала в среднем от 3,67 (ЕФ21) до 5,14 балла (ЕФ-22), а у отдельных образцов достигала 7,5 балла. На искусственном инфекцион-

ном фоне во все годы наблюдали более интенсивное проявление снежной плесени, особенно на ИФ-21, ИФ-22 и ИФ-24.

**Таблица 1 – Метеопараметры зимнего этапа вегетационного периода и поражение снежной плесенью на естественном и искусственном фонах развития инфекции (2019–2024 гг.) / Table 1 – Meteorological parameters of the winter stage of the growing season and snow mold damage on the natural and artificial background of infection development (2019–2024)**

Показатель / Indicator	2019-2020 гг.	2020-2021 гг.	2021-2022 гг.	2022-2023 гг.	2023-2024 гг.
Продолжительность холодного периода, дни / Duration of cold period, days	110	136	144	126	128
Длительность залегания снежного покрова, дни / Snow cover duration, days	102	149	153	128	136
Количество оттепелей, дни / Number of thaws, days	40	10	52	30	34
Максимальная высота снежного покрова, см / Maximum snow cover height, cm	35	78	74	57	95
Высота снежного покрова на 31 марта, см / Snow cover height as of March 31, cm	0	57	38	0	30
Максимум глубины промерзания почвы, см / Maximum soil freezing depth, cm	37	63	46	33	7
Глубина промерзания почвы на 31 марта, см / Soil freezing depth as of March 31, cm	0	35	37	0	0
Средняя температура воздуха за холодный период, °С (ноябрь – март) / Average air temperature for the cold period, °С (November – March)	-2,4	-9,4	-5,7	-6,3	-7,5
Сумма осадков за холодный период, мм (ноябрь – март) / Precipitation amount for the cold period, mm (November – March)	135	163	254	228	310
Поражение снежной плесенью на естественном фоне*, балл / Snow mold damage on a natural background, point	2,41±1,04	3,67±1,39	5,15±1,08	3,72±0,82	4,53±1,13
Поражение снежной плесенью на искусственном инфекционном фоне к <i>Microdochium nivale</i> , балл / Snow mold damage on artificial infection background to <i>Microdochium nivale</i> , point	4,48±1,70	6,78±0,91	7,23±0,77	4,52±0,81	8,40±0,72

\* Среднее значение по 60 образцам озимой ржи / \* Average data for 60 winter rye samples

На естественном фоне уровень поражения преимущественно зависел от складывающихся погодных условий. Например, за последний десятилетний период количество оттепелей и высота снежного покрова на 31 марта проявили сильную положительную корреляцию с поражением снежной плесенью ( $r = 0,82^*$  и  $r = 0,73^*$  при  $r_{крит.} = 0,632$ ), и, наоборот, глубина промерзания почвы имела отрицательную связь с этим показателем ( $r = -0,69^*$ ), что совпадает с данными других исследований [10].

В зимний период 2023–2024 гг. в результате сильных снегопадов сформировался значительный снежный покров высотой 95 см, средний балл поражения растений достиг максимальной отметки 8,40 балла. Анализ показал статистически значимые различия (за исклю-

чением 2023 г.) и более высокие значения степени поражения растений на искусственном фоне по сравнению с естественным, подтверждая его эффективность для выявления восприимчивых образцов. В то же время устойчивость растений на естественном фоне зависела от их способности адаптироваться к специфическим полевым условиям. Несмотря на относительную простоту и невысокую затратность такого подхода, он обладает рядом ограничений: влияние неконтролируемых погодных факторов и неравномерное распределение инфекционной нагрузки. Например, в местах с низким микрорельефом или поблизости от лесополос поражение растений больше, чем на возвышенных участках или в удалении от посадок. Комбинированное использование анализа естественного

и искусственного фонов позволяет получить наиболее точную оценку устойчивости растений

и выделить ценные источники полезных признаков для селекционной работы.

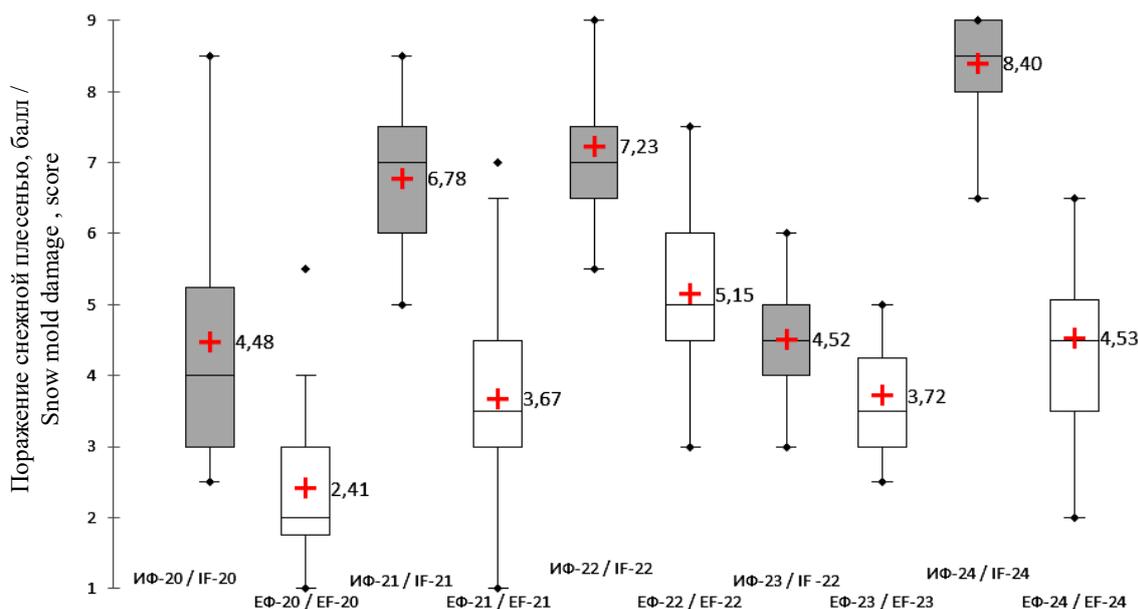


Рис. 1. Степень поражения образцов озимой ржи снежной плесенью на естественном и искусственном инфекционном фонах (2020–2024 гг.): темные боксы представляют оценку на искусственном фоне (ИФ); белые боксы – на естественном фоне развития заболевания (ЕФ). Ячейки представляют 50 %, усы – 95 % наблюдений за поражением, плюс показывает среднее значение, горизонтальные линии внутри ячеек – медиану, открытые точки – выбросы. В 2021–2024 гг. представлены данные по ИФ *M. nivale* /

Fig. 1. The degree of snow mold damage of winter rye samples on natural and artificial infection backgrounds (2020–2024): dark boxes represent estimates against an artificial background (IF) and white boxes represent estimates against a natural background (EF). Boxes represent 50 % and whiskers represent 95 % of damage observations, plus indicates the mean, horizontal lines within boxes represent the median, and open dots represent outliers. In 2021–2024, data on *M. nivale* IF are presented.

В целом нами выявлен умеренный (до 5 баллов) и умеренно-восприимчивый тип реакции сортов озимой ржи на ЕФ развития заболевания в четыре из пяти лет изучения.

В ходе проведенных экспериментов на естественном фоне фиксировались сорта с типами реакции R, MR, MS, а доля восприимчивых образцов составила лишь 2 % в 2021 г. и 3 % – в 2022 г. (рис. 2). Доля умеренно-восприимчивых сортов в 2023 г. составила 69 %, в 2020 г. преобладали резистентные сорта (63 %).

Наибольшее поражение снежной плесенью на инфекционном фоне зарегистрировано в 2024 г., когда частота образцов с восприимчивой реакцией достигла 96 %. В 2021, 2022 и 2023 гг. образцы показали только два типа реакции на поражение, тогда как в 2020 г. были выявлены все четыре типа.

Большой размах варьирования признака у сортов озимой ржи, полученный на ЕФ-24, можно объяснить сложившимися благоприятными условиями для развития возбудителя. Продолжительность холодного этапа перезимовки составила 128 дней, тогда как длитель-

ность залегания снежного покрова на ЕФ – 138 дней, а на инфекционных фонах – 148 дней (табл. 1). Высокий снежный покров при слабом промерзании почвы (1–7 см) создали исключительно благоприятный фон для эпифитотийного развития снежной плесени.

Сравнение степени поражённости сортов на автономных инфекционных питомниках различными патогенами-возбудителями показало интенсивное развитие заболеваний в 2024 г. Поражённость достигала максимальных баллов: 6,5–9,0 баллов для инфекционного питомника *M. nivale*; 6,0–9,0 баллов – для *T. Incarnata*; 8,0–9,0 баллов – для *T. ishikariensis* при сравнении с показателями в естественных условиях, которые варьировали в пределах от 2,0 до 7,8 балла (рис. 3).

Исследуемая панель была представлена значительным генетическим разнообразием включенных в опыт образцов, которые демонстрировали широкую вариацию признака. Коэффициент вариации поражённости на инфекционных фонах изменялся в диапазоне CV = 3,0–9,1 %, на естественном фоне (ЕФ)

этот показатель достигал 26,9 %. Средний уровень поражения для образцов в инфекционных питомниках составил 8,55; 8,17 и 8,86 балла для инфекционных фонов с патогенами *M. nivale*, *T. incarnata* и *T. ishikariensis* соответственно, что вдвое превышало среднюю поражённость

на естественном фоне (4,73 балла) (рис. 3). Эти данные указывают на интенсивное развитие снежной плесени на искусственных инфекционных фонах и умеренное её проявление в природных условиях 2024 г.

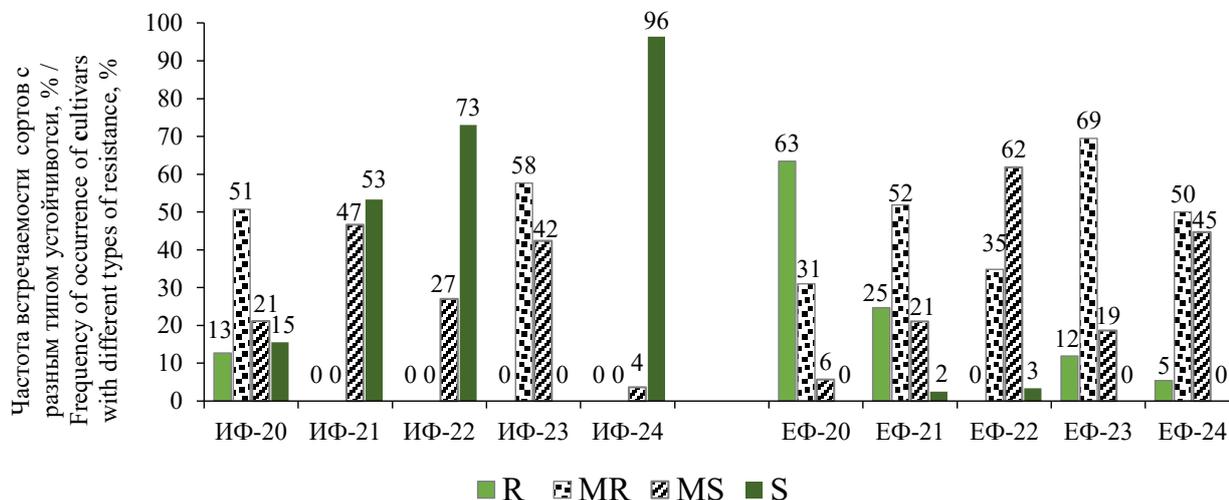


Рис. 2. Распределение образцов озимой ржи по типам реакции на поражение снежной плесенью на естественном и искусственном инфекционном фонах, % (2020–2024 гг.): R – устойчивые; MR – умеренно устойчивые; MS – умеренно восприимчивые; S – восприимчивые /

Fig. 2. Distribution of winter rye samples by snow mold damage response types on natural background and on artificial infectious background, % (2020–2024): R – resistant; MR – moderately resistant; MS – moderately susceptible; S – susceptible

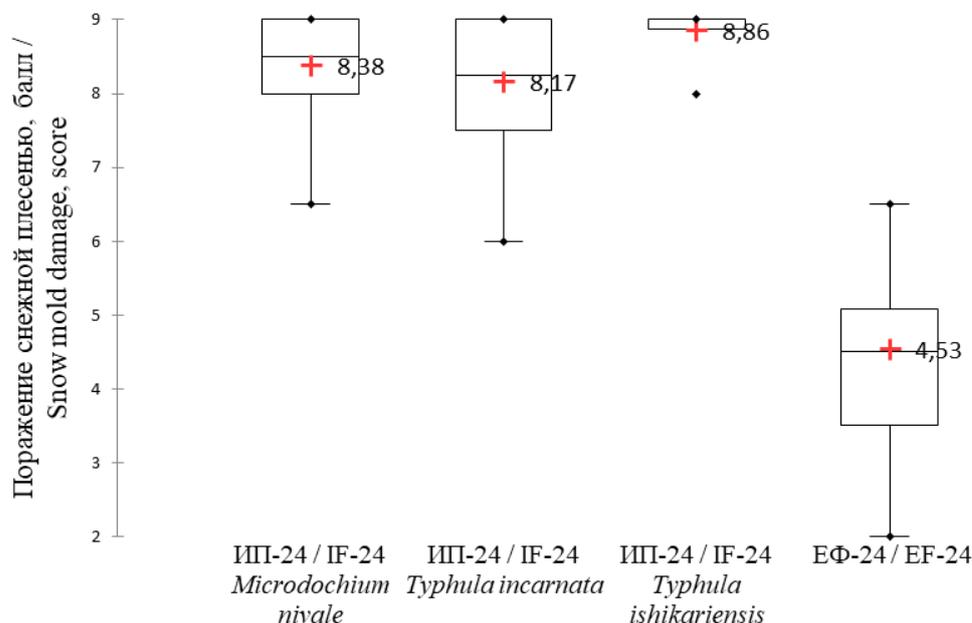


Рис. 3. Поражение образцов озимой ржи снежной плесенью, балл (2024 г.). Количество сортов во всех питомниках одинаковое (n = 60) /

Fig. 3. Snow mold infestation of winter rye samples, score (2024). The number of cultivars in all nurseries is the same (n = 60)

Кроме того, была выявлена значительная положительная сопряженность между степенью поражения снежной плесенью и гибелью

растений ( $r = 0,672^{***} \pm 0,097$ ). Этот результат говорит о высокой перспективности применения методов скрининга селекционного мате-

риала на инфекционном фоне для отбора устойчивых линий.

Следует подчеркнуть, что диагностика грибных заболеваний и оценка уровня поражения растений патогенами проводятся, как правило, по визуальным симптомам с использованием стандартизированных шкал учёта. Методы оценки устойчивости сортов и селекционного материала к снежной плесени существенно различаются по срокам проведения и применяемым шкалам. В РФ традиционно использовалась шкала, предложенная Госсорткомиссией по испытанию сортов сельхозкультур (1989 г.)<sup>2</sup>. С момента её издания прошло более 40 лет, и в актуальной версии методики (2019 г.)<sup>3</sup> оценка устойчивости к снежной плесени вообще не упоминается, что вынуждает исследователей применять устаревшие рекомендации. Согласно имеющимся методикам, учёты рекомендуется проводить в динамике в три этапа: осенью (в конце сентября); зимой (сбор монолитов и их проращивание в лабораторных условиях в январе – феврале); ранней весной.

Однако данный методологический подход недостаточно эффективен для оценки большого объёма генетических ресурсов и проведения скрининга линий, необходимых для геномной селекции. В условиях ограниченного объёма семенного материала и малых размеров экспериментальных делянок чаще всего применяется единичная визуальная оценка растений весной, после схода снежного покрова.

В селекционно-генетических исследованиях оценка поражения посевов снежной плесенью (*M. nivale*) долгое время осуществлялась на основе метода, разработанного В. К. Неофитовой (1976)<sup>4</sup> и изложенного в руководствах Е. И. Андреевой и О. Ю. Молчанова (1977)<sup>5</sup>. Анализ устойчивости сортов предлагалось проводить весной через 10 дней после схода снега, используя шестибалльную шкалу: 0 баллов – соответствует полному отсутствию

признаков поражения на растениях; 1 балл – поражено до 10 % площади листьев; 2 балла – от 10 до 25 % площади листьев; 3 балла – до 50 % площади листьев; 4 балла – свыше 50 % площади листьев, но 1-2 центральных листа живы, и узел кущения не затронут болезнью; 5 баллов – растение погибло. В ряде исследований применялась альтернативная пятибалльная шкала для учета уровня развития снежной плесени: 0 – отсутствие поражения; 1 – поражено до 10 % листьев; 2 – до 30 % листьев; 3 – до 70 % листьев; 4 – все листья и побеги поражены, растения погибли.

Подобный подход был отражён в работах М. Прончук, Л. Мадей (М. Pronczuk, Л. Madej (1996)) [15], а также в трудах отечественных авторов, включая С. Д. Здрожевскую и соавт. (2007)<sup>6</sup> и О. М. Касынкину и соавт. (2017) [16]. Однако вышеупомянутые шкалы полевой оценки устойчивости к снежной плесени, считающиеся приемлемыми в условиях умеренного развития заболевания, оказались недостаточно информативными для наших задач.

Во-первых, их использование оказалось неприменимым для работы на фоне искусственного заражения или в годы интенсивных естественных эпифитотий, которые фиксировались практически ежегодно на протяжении последнего десятилетия. Во-вторых, максимальный балл оценки не в полной мере отражал наблюдаемую степень вредоносности патогена, а также не обеспечивал достаточной дифференциации исследуемого селекционного материала по уровням поражения снежной плесенью.

Мы сосредоточили внимание на исследованиях, где применяется более детализированная девятибалльная шкала оценки устойчивости сортов к снежной плесени на основе степени поражения. Среди таких подходов выделяется адаптированная шкала Л. Т. Бабаянц и коллег (1988)<sup>7</sup>. В зарубежной практике используемые шкалы порой имеют существенные

<sup>2</sup>Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1989. 194 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://gossortrf.ru/publication/metodiki-po-ksi.php> (дата обращения 10.01.2025).

<sup>3</sup>Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 2019. 329 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://gossortrf.ru/publication/metodiki-po-ksi.php> (дата обращения 10.04.2025).

<sup>4</sup>Неофитова В. К. Методы полевой оценки устойчивости сортов озимых зерновых культур к снежной плесени. Минск: БелНИИЗР. 1976. С. 4

<sup>5</sup>Андреева Е. И., Молчанов О. Ю. Снежная плесень озимых зерновых. М.: НИИТЭХИМ. 1987. С. 45

<sup>6</sup>Здрожевская С.Д. и др. Болезни зерновых культур. Методические указания по регистрационному испытанию фунгицидов в сельском хозяйстве. Под ред. С. Ф. Буга. Несвиж: укрупн. тип. им. С. Будного, 2007. С. 61–101.

<sup>7</sup>Бабаянц Л.Т., Мештерхази А., Вехтер Ф. и др. Методы селекции и оценки устойчивости пшеницы и ячменя к болезням в странах-членах СЭВ. Прага. 1988. С. 321

различия. Так, в работе Э. Б. Крузе с соавт. (E. B. Kruse et al. (2017)) [17] снежная плесень оценивалась в полевых условиях по шкале от 0 (0 % живой растительной массы, обильное заболевание и отсутствие восстановления) до 10 (100 % живой растительной массы, практически полное отсутствие заболевания и быстрое восстановление). И, наоборот, в ряде работ [18] использована шкала оценки от 1 до 9 баллов, где «1» – соответствует отсутствию признаков поражения, «9» – 100%-му поражению.

В наших исследованиях для полного охвата фенотипической изменчивости симптомов заболевания, характеризующих степень устойчивости/восприимчивости растений, была разработана и в течение нескольких сезонов апробирована более подробная девятибалльная шкала, которая применялась в работе [19] и используется по настоящее время. Точное полевое фенотипирование по разработанной шкале стало важной основой для применения передовых геномных технологий, таких как анализ геномных ассоциаций (GWAS) для выявления генов устойчивости [20].

Для повышения эффективности тестирования селекционного материала нами предложена 9-балльная шкала. Соответствие баллов поражения наблюдаемым симптомам устойчивых/восприимчивых фенотипов, а также степени поражения отдельного растения и всего посева приведены в таблице 2. Оценка проводится в 2 этапа (1-я оценка, фиксирующая степень поражения снежной плесенью, 2-я оценка, регистрирующая отставание в развитии в ходе регенерации после острой фазы заболевания). Согласно предложенной методике, первая оценка проводится сразу после таяния снега и позволяет идентифицировать наиболее восприимчивые образцы. У этих растений поражение проявляется не только в отмирании листьев, но также побегов и узлов кущения. Повторная оценка выполняется через 10–25 дней (в зависимости от погодных условий) и дает возможность выявить задержку развития растений после активной фазы заболевания.

Этот этап учитывает окончательное отмирание пораженных побегов, замедление роста оставшихся и восстановление листовой массы в ходе регенерации. Такой подход позволяет оценить потенциал генотипа к сопротивлению болезни (толерантность), а также измерить степень редукции числа побегов, сформированных с осени, что может служить косвенным индикатором ожидаемой продуктивности.

Отставание развития растений определяется по той же девятибалльной шкале (1–9), где «1» – обозначает отсутствие видимых симптомов инфекции, «9» – растения полностью мертвые, без признаков отрастания листьев.

**Заключение.** Таким образом, результаты экспериментов, полученные при естественном заражении, играют важную роль для оценки уровней устойчивости, так как они отражают реальные процессы распространения и развития снежной плесени в природных условиях. Анализ поражения сортообразцов в условиях искусственных инфекционных фонов, использованных в работе, имитирует эпифитотии, что позволяет более надежно выявлять устойчивые генотипы. Искусственное заражение дополняет данные, полученные в естественных условиях, ускоряя селекционный процесс. Одним из главных преимуществ использования инфекционных фонов – объективная оценка болезнеустойчивости изучаемых генотипов и значительно меньшая зависимость проявления болезней от складывающихся погодных условий. Использование инфекционных фонов позволяет сократить на несколько лет селекционный процесс.

Создание исходного болезнеустойчивого селекционного материала представляет собой сложный процесс, требующий решения множества сопутствующих задач. Среди них выделяются вопросы разработки методики закладки инфекционных фонов, проведения шкалирования и фенотипической оценки. В ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН было создано несколько инфекционных фонов, каждый из которых предназначен для изучения воздействия конкретного возбудителя снежной плесени. Также были разработаны методики инфицирования и визуальной оценки растений, которые позволяют отбраковать на самых ранних этапах селекционной работы заведомо бесперспективные формы, восприимчивые к возбудителям данного заболевания, а в селекционную программу включать генотипы, относящиеся к категориям «устойчивые» (R) и «умеренно устойчивые» (MR), характеризующиеся наименьшими баллами поражения.

Для увеличения качества скрининга селекционного материала озимой ржи на устойчивость к возбудителям снежной плесени и повышения точности фенотипирования растений нами была усовершенствована шкала его оценки на естественном и искусственном инфекционном фонах.

Таблица 2 – Соответствие симптомов поражения посева, единичного побега и площади поражённых частей растений озимой ржи баллам поражения снежной плесенью (оригинальная методика) /  
Table 2 – Correlation of crop damage symptoms, single shoot and area of damaged plant parts with snow mold damage score (original method)

Тип устойчивости / Type of sustainability	Балл поражения / Damage score, points	Площадь поражения посева, % / Area of damage to the crop, %	Признаки поражения посева / Symptoms of crop damage	Признаки поражения листьев / Symptoms of leaf damage	Признаки поражения побегов кукушки / Symptoms of damage to tillering shoots
Устойчивый (R) / Resistant	1	0-0,1	Отсутствуют признаки поражения посева / No signs of crop damage	Все листья зеленые / All leaves are green	Побеги и узлы кукушки здоровые / Healthy shoots and tillering nodes
	2	До 1 / Up to 1	Единичное поражение отдельных растений / Single damage of individual plants	Большая часть листьев зеленые. Частичное поражение нижних листьев в виде пятен светло-коричневого цвета / Most of the leaves are green. Partial damage on lower leaves in the form of light brown spots	Побеги и узлы кукушки здоровые / Healthy shoots and tillering nodes
Умеренно устойчивый (MR) / Moderately resistant	3	До 10 / Up to 10	Поражение растений на площади до 10 % / Plant damage on an area of up to 10%	Частичное поражение и усыхание нижних и верхних листьев в виде пятен, редкий налет мицелия / Partial damage and desiccation of lower and upper leaves in the form of spots, sparse mycelial plaque	Побеги кукушки зеленого цвета. Тургор тканей не нарушен / The tillering shoots are green. Turgor of tissues is not disturbed
	4	До 20 / Up to 20	Отдельные пятна поражённых растений на площади до 20 % / Individual spots of affected plants on an area of up to 20%	Поражение нижних и части верхних листьев. На поверхности листьев налет розового цвета / Lower and part of upper leaves are affected. Pink-coloured plaque on the leaf surface	Единичные побеги погибают, узлы кукушки не повреждены / Single shoots are dead, tillering nodes are not damaged
Умеренно восприимчивый (MS) / Moderately susceptible	5	До 30 / Up to 30	Пораженные растения занимают треть площади / Affected plants occupy one third of the area	Листья зеленого цвета всех ярусов встречаются на 50 % и более площади посева. На листьях встречается паутинистый налет розового цвета. Листья и листовые влагалища приобретают цвет от светло- до темно-коричневого, быстро усыхают / Green-coloured leaves of all tiers occur in 50% or more of the sown area. Pink-coloured spider webs occur on leaves. Leaves and leaf sheaths become light to dark brown and quickly shrivel up	Боковые побеги светло-коричневого цвета, тургор тканей частично нарушен. Узлы кукушки не повреждены / Lateral shoots are light brown in colour, tissue turgor is partially disturbed. The tillering nodes are not damaged
	6	До 60 / Up to 60	Поражение растений на площади до 60 % / Plant damage on an area of up to 60%	Пораженные листья главных и боковых побегов более чем на половине растений. На листьях налет розового или серого цвета. Зеленые листья встречаются только на центральных побегах / Affected leaves of main and lateral shoots on more than half of the plants. Leaves have pink or grey plaque on them. Green leaves are found only on central shoots	Повреждение и отмирание боковых побегов кукушки. Побеги светло-коричневого цвета, тургор тканей частично нарушен / Damage and death of lateral tillering shoots. Shoots are light brown in colour, tissue turgor is partially disturbed
Восприимчивый (S) / Susceptible	7	До 80 / Up to 80	Отмечается частичная гибель растений / There is partial death of plants	Значительное поражение и усыхание листьев, ткани разрушены. На листьях налет розового или серого цвета. Зелеными остаются единичные листья / Significant leaf damage and desiccation, tissues destroyed. Leaves are covered with pink or grey plaque. Only a few leaves remain green	Единичные побеги кукушки зеленого цвета. Значительная часть побегов светло-коричневого цвета, тургор тканей частично нарушен / Single tillering shoots are green in colour. Significant part of shoots is light brown in colour, tissue turgor is partially disturbed
	8	До 90 / Up to 90	Значительная гибель растений. Отмирание боковых побегов кукушки. Отмирание части главных побегов кукушки / Significant plant death. Die-off of lateral shoots of tillering.	Сильное поражение листьев, ткани разрушены. Сильный склеивающий налет мицелия розового или серого цвета / Severe leaf lesions, tissues destroyed. Strong adhesive mycelial plaque, pink or grey in colour	Побеги загнивают и прибрегают коричневый цвет, тургор тканей нарушен. Частичное отмирание корней / Shoots rot and turn brown, tissue turgor is disturbed. Partial root death
9	95-100	Практически полная гибель растений / Almost complete plant death	Все листья поражены, ткани разрушены и высохли. На листьях почти сплошной налет мицелия / All leaves are affected, the tissues are destroyed and dried out. The leaves have an almost continuous coating of mycelium	Листовые влагалища, узлы кукушки и корни отмирают / Leaf sheaths, tillering nodes and roots die off	

Разработанная и оптимизированная модель использования искусственного инфекционного фона включает следующие ключевые элементы:

1. Подбор экспериментального участка, который характеризуется длительным периодом таяния снега и равномерным микрорельефом, что обеспечивает стабильный и высокий уровень развития заболевания.

2. Использование тщательно подготовленного инокулята, обогащенного наиболее вирулентными изолятами возбудителей розовой снежной плесени (*Microdochium nivale*), серой снежной плесени (*Typhula incarnata*) и крапчатой снежной плесени (*Typhula ishikariensis*), характерными для конкретного региона.

3. Применение специального метода внесения инфекционного агента в агроценоз с помощью носителя. Для этого используется предварительно автоклавированное дробленое зерно ярового ячменя, на котором в течение 2–4 недель готовится мицелиальная суспензия. Затем инокулят вносится в почву на опытные делянки в оптимальный период инфицирования растений, соответствующий фазе трех настоящих листьев (шкала Цадокса 13).

4. Разработка более детализированной шкалы учета поражения растений, что позволяет проводить точную дифференциацию селекционного материала по степени поражения и эффективно выделять устойчивые генотипы.

#### Список литературы

1. Ponomareva M. L., Gorskov V. Y., Ponomarev S. N., Korzun V., Miedaner Th. Snow mold of winter cereals: A complex disease and a challenge for resistance breeding. *Theoretical and Applied Genetics*. 2021;134(2):419–433. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-020-03725-7> EDN: THTTUN
2. Hoshino T., Xiao N., Tkachenko O. B. Cold adaptation in the phytopathogenic fungi causing snow molds. *Mycoscience*. 2009;50(1):26–38. DOI: <https://doi.org/10.1007/S10267-008-0452-2>
3. Белошапкина О. О., Савоськина О. А., Чебаненко С. И., Тараканов Р. И., Джалилов Ф. С.-У. Развитие снежной плесени озимой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья с учетом технологий обработки почвы и погодных условий разных лет. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2023;(4):47–57. DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-4-47-57> EDN: AKTMRE
4. Smith J. D., Jackson N., Woolhouse A. R. *Fungal Diseases of Amenity Turfgrass*. London: E&F.N. Spon Ltd., 1989. 401 p.
5. Sakhabutdinov I. T., Chastukhina I. B., Ryazanov E. A., Ponomarev S. N., Gogoleva O. A., Balkin A. S., et al. Variability of microbiomes in winter rye, wheat, and triticale affected by snow mold: predicting promising microorganisms for the disease control. *Environmental Microbiome*. 2025;20(1):3. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40793-025-00665-x>
6. Ткаченко О. Б. Снежные плесени: история изучения, возбудители, их биологические особенности. М.: РАН, 2017. 71 с.
7. Hockemeyer K., Gonzalez Vazquez A., Koch P. L. Persistence of fungicides applied to control snow mold of turfgrass as influenced by snow cover and antitranspirants. *Plant Disease*. 2024;108(7):2034–2045. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-23-0948-RE>
8. Gagkaeva T. Y., Orina A. S., Gavrilova O. P., Gorina N. N. Evidence of *Microdochium* fungi associated with cereal grains in Russia. *Microorganisms*. 2020;8(3):340. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8030340>
9. Ганнибал Ф. Б., Гагкаева Т. Ю., Гомжина М. М., Полуэктова Е. В., Гультяева Е. И. Ассоциированные с пшеницей микромицеты и их значимость как возбудителей болезней в России. *Вестник защиты растений*. 2022;105(4):164–180. DOI: <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-4-16116> EDN: KLHPMB
10. Tredway L. P., Tomaso-Peterson M., Kerns J. P., Clarke B. B. *Compendium of turfgrass diseases*. USA: APS Press, 2023. 4th ed.
11. Урбан Э. П., Гордей С. И., Артюх Д. Ю., Гордей И. С. Направления, методы и результаты селекции ржи (*Secale cereale* L.) в Беларуси. *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук*. 2022;60(2):160–170. DOI: <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-2-160-170> EDN: VTNHNC
12. Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К., Уткина Е. И. Иммунологическая структура и урожайность сортов озимой ржи селекции Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024;25(2):172–180. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.172-180> EDN: EWZDJW
13. Miedaner T., Laidig F. Hybrid breeding in rye (*Secale cereale* L.). In Al-Khayri J. M., Jain S. M., Johnson D. V. (Eds.), *Advances in plant breeding strategies: Cereals*. Springer, Cham, 2019. Pp. 343–372. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23108-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23108-8_9)
14. Волкова Г. В., Яхник Я. В., Жуковский А. Г. Чувствительность северокавказской и белорусской популяций *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & Hallet к фунгицидам. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2022;52(6):42–50. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-6-5> EDN: WZLYBG
15. Pronczuk M., Madej L. J. Evaluation of *Microdochium nivale* infection on rye genotypes using different methods. *Vortraege fuer Pflanzenzuechtung (Germany)*. 1996;35:190–192.
16. Касынкина О. М., Орлова Н. С., Каневская И. Ю. Оценка озимых сортов тритикале на устойчивость к болезням. *Аграрный научный журнал*. 2017;(8):7–10. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29907362> EDN: ZEMAPN

17. Kruse E. B., Carle S. W., Wen N., Skinner D. Z., Murray T. D., Garland-Campbell K. A., Carter A. H. Genomic regions associated with tolerance to freezing stress and snow mold in winter wheat. *G3: Genes, Genomes, Genetics*. 2017;7(3):775–780. DOI: <https://doi.org/10.1534/g3.116.037622>
18. Miedaner T., Höxter H., Geiger H. H. Development of a resistance test for winter rye to snow mold (*Microdochium nivale*) under controlled environment conditions in regard to field inoculations. *Canadian Journal of Botany*. 1993;71(1):136–144. DOI: <https://doi.org/10.1139/b93-015>
19. Aamlid T. S., Landschoot P. J., Huff D. R. Tolerance to simulated ice encasement and *Microdochium nivale* in USA selections of greens-type *Poa annua*. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B–Soil and Plant Science*. 2009;59(2):170–178. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710802093854>
20. Ponomareva M., Gorshkov V., Ponomarev S., Mannapova G., Askhadullin D., Askhadullin D., et al. Resistance to snow mold as a target trait for rye breeding. *Plants*. 2022;11(19):2516. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11192516>

### References

1. Ponomareva M. L., Gorskov V. Y., Ponomarev S. N., Korzun V., Miedaner Th. Snow mold of winter cereals: A complex disease and a challenge for resistance breeding. *Theoretical and Applied Genetics*. 2021;134(2):419–433. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-020-03725-7>
2. Hoshino T., Xiao N., Tkachenko O. B. Cold adaptation in the phytopathogenic fungi causing snow molds. *Mycoscience*. 2009;50(1):26–38. DOI: <https://doi.org/10.1007/S10267-008-0452-2>
3. Beloshapkina O. O., Savos'kina O. A., Chebanenko S. I., Tarakanov R. I., Dzhalilov F. S.-U. Development of snow mold of winter wheat in the conditions of the central Non-chernozem region with regard to tillage technologies and weather conditions of different years. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2023;(4):47–57. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-4-47-57>
4. Smith J. D., Jackson N., Woolhouse A. R. Fungal Diseases of Amenity Turfgrass. London: E&F.N. Spon Ltd., 1989. 401 p.
5. Sakhabutdinov I. T., Chastukhina I. B., Ryazanov E. A., Ponomarev S. N., Gogoleva O. A., Balkin A. S., et al. Variability of microbiomes in winter rye, wheat, and triticale affected by snow mold: predicting promising microorganisms for the disease control. *Environmental Microbiome*. 2025;20(1):3. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40793-025-00665-x>
6. Tkachenko O. B. Snow molds: history of study, pathogens, their biological features. Moscow: RAS, 2017. 71 p.
7. Hockemeyer K., Gonzalez Vazquez A., Koch P. L. Persistence of fungicides applied to control snow mold of turfgrass as influenced by snow cover and antitranspirants. *Plant Disease*. 2024;108(7):2034–2045. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-23-0948-RE>
8. Gagkaeva T. Y., Orina A. S., Gavrilova O. P., Gorina N. N. Evidence of *Microdochium* fungi associated with cereal grains in Russia. *Microorganisms*. 2020;8(3):340. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8030340>
9. Gannibal F. B., Gagkaeva T. Yu., Gomzhina M. M., Poluektova E. V., Gulyaeva E. I. Micromycetes associated with wheat and their significance as pathogens in Russia. *Vestnik zashchity rasteniy* = *Plant Protection News*. 2022;105(4):164–180. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-4-16116>
10. Tredway L. P., Tomaso-Peterson M., Kerns J. P., Clarke B. B. *Compendium of turfgrass diseases*. USA: APS Press, 2023. 4th ed.
11. Urban E. P., Gordey S. I., Artyukh D. Yu., Gordey I. S. Directions, methods and results of rye (*Secale cereale* L.) breeding in Belarus. *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnykh nauk* = *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*. 2022;60(2):160–170. (In Belarus). DOI: <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-2-160-170>
12. Shchekleina L. M., Sheshhegova T. K., Utkina E. I. Immunological structure and yield of winter rye varieties bred by the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024;25(2):172–180. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.172-180>
13. Miedaner T., Laidig F. Hybrid breeding in rye (*Secale cereale* L.). In Al-Khayri J. M., Jain S. M., Johnson D. V. (Eds.), *Advances in plant breeding strategies: Cereals*. Springer, Cham, 2019. Pp. 343–372. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23108-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23108-8_9)
14. Volkova G. V., Yakhnik Ya. V., Zhukovskiy A. G. Sensitivity of the north caucasian and belarusian populations of *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & Hallet to fungicides. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2022;52(6):42–50. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-6-5>
15. Pronczuk M., Madej L. J. Evaluation of *Microdochium nivale* infection on rye genotypes using different methods. *Vortraege fuer Pflanzenzuechtung* (Germany). 1996;35:190–192.
16. Kasynkina O. M., Orlova N. S., Kanevskaya I. Yu. Evaluation of winter varieties of triticale on disease resistance. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = *The Agrarian Scientific Journal*. 2017;(8):7–10. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29907362>
17. Kruse E. B., Carle S. W., Wen N., Skinner D. Z., Murray T. D., Garland-Campbell K. A., Carter A. H. Genomic regions associated with tolerance to freezing stress and snow mold in winter wheat. *G3: Genes, Genomes, Genetics*. 2017;7(3):775–780. DOI: <https://doi.org/10.1534/g3.116.037622>
18. Miedaner T., Höxter H., Geiger H. H. Development of a resistance test for winter rye to snow mold (*Microdochium nivale*) under controlled environment conditions in regard to field inoculations. *Canadian Journal of Botany*. 1993;71(1):136–144. DOI: <https://doi.org/10.1139/b93-015>

19. Aamlid T. S., Landschoot P. J., Huff D. R. Tolerance to simulated ice encasement and *Microdochium nivale* in USA selections of greens-type *Poa annua*. Acta Agriculturae Scandinavica Section B–Soil and Plant Science. 2009;59(2):170–178. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710802093854>

20. Ponomareva M., Gorshkov V., Ponomarev S., Mannapova G., Askhadullin D., Askhadullin D., et al. Resistance to snow mold as a target trait for rye breeding. Plants. 2022;11(19):2516. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11192516>

**Сведения об авторах**

✉ **Пономарева Мира Леонидовна**, доктор биол. наук, профессор, главный научный сотрудник, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Оренбургский тракт, 48, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420059, e-mail: [tatniva@mail.ru](mailto:tatniva@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1648-3938>, e-mail: [smponomarev@yandex.ru](mailto:smponomarev@yandex.ru)

**Пономарев Сергей Николаевич**, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Оренбургский тракт, 48, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420059, e-mail: [tatniva@mail.ru](mailto:tatniva@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8898-4435>

**Маннапова Гульназ Сулеймановна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Оренбургский тракт, 48, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420059, e-mail: [tatniva@mail.ru](mailto:tatniva@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9097-783X>

**Павлова Светлана Юрьевна**, аспирант, младший научный сотрудник, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Оренбургский тракт, 48, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420059, e-mail: [tatniva@mail.ru](mailto:tatniva@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6806-800X>

**Иванова Ирина Олеговна**, аспирант, младший научный сотрудник, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Оренбургский тракт, 48, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420059, e-mail: [tatniva@mail.ru](mailto:tatniva@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0084-3254>

**Information about the authors**

✉ **Mira L. Ponomareva**, DSc in Biological Science, professor, chief researcher, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Orenburg tract, 48, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420059, e-mail: [tatniva@mail.ru](mailto:tatniva@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1648-3938>, e-mail: [smponomarev@yandex.ru](mailto:smponomarev@yandex.ru)

**Sergey N. Ponomarev**, DSc in Agricultural Science, chief researcher, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Orenburg tract, 48, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420059, e-mail: [tatniva@mail.ru](mailto:tatniva@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8898-4435>

**Gulnaz S. Mannapova**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Orenburg tract, 48, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420059, e-mail: [tatniva@mail.ru](mailto:tatniva@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9097-783X>

**Svetlana Yu. Pavlova**, postgraduate student, junior researcher, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Orenburg tract, 48, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420059, e-mail: [tatniva@mail.ru](mailto:tatniva@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6806-800X>

**Irina O. Ivanova**, postgraduate student, junior researcher, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Orenburg tract, 48, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420059, e-mail: [tatniva@mail.ru](mailto:tatniva@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0084-3254>

✉ – Для контактов / Corresponding author