

 pismavavilov.ru

DOI 10.18699/letvjgb-2024-10-19

Оригинальное исследование

Динамика развития основных грибных болезней твердой пшеницы в условиях южной лесостепи Омской области

М.Г. Евдокимов , Л.В. Мешкова , В.С. Юсов 

Аннотация: В Западно-Сибирском регионе наиболее распространены грибные болезни твердой яровой пшеницы: *Puccinia triticina*, *P. graminis*, *Erisiphe graminis*, *Tilletia caries*, *Ustilago tritici*. Сравнительный анализ поражения проведен по сортам Алмаз, Омский рубин, Ангел, Омская янтарная. Выявлено некоторое преимущество сортов Ангел и Омская янтарная по устойчивости к бурой и стеблевой ржавчине, мучнистой росе, пыльной головне. Динамика поражения возбудителями болезней (бурой, стеблевой ржавчиной, мучнистой росой, твердой головней) представлена на примере сортов Алмаз за 1981–2022 гг. и Омский рубин за 1984–2022 гг. Динамика поражения возбудителем пыльной головни для этих же сортов представлена за 1981–2012 и 1984–2012 гг. соответственно. Прослеживаются тенденции увеличения поражения бурой и стеблевой ржавчиной, мучнистой росой и снижения – твердой головней. Выявлена отрицательная связь развития возбудителя бурой ржавчины с температурой июня и суммой активных температур. С осадками и гидротермическим коэффициентом (ГТК) отмечена положительная корреляция в июне только в первой декаде, отрицательная – с температурой первой декады июля и второй декады августа. Зависимость проявления стеблевой ржавчины от метеорологических факторов наблюдалась в основном в июле: положительная корреляция – с осадками, относительной влажностью воздуха и ГТК, отрицательная – с суммой эффективных температур. В августе связь с температурой воздуха и суммой температур становится положительной, а с относительной влажностью воздуха – отрицательной со второй декады. Поражение твердой головней определяется метеорологическими условиями в мае. Обнаружена отрицательная корреляция между степенью поражения и температурой воздуха и суммой активных температур, проявляющаяся в третьей декаде мая. По пыльной головне в мае (третья декада) отмечена положительная связь с температурой воздуха и отрицательная – с относительной влажностью. В июне связь с температурой отрицательная, особенно во второй декаде, и положительная – с относительной влажностью воздуха и ГТК. В первой декаде июля (стадия колошения) связь с температурой воздуха становится положительной, а с относительной влажностью воздуха – отрицательной. Мучнистая роса в сильной степени зависит в июне от осадков и относительной влажности воздуха. В июле отрицательная связь наблюдалась с температурой воздуха и суммой эффективных температур. В августе отмечена слабая положительная связь с осадками, ГТК и отрицательная – с суммой эффективных температур. Изменения климатических условий в южной лесостепи Омской области в некоторой степени повлияли на снижение развития твердой головни пшеницы и на рост поражения мучнистой росой, бурой и стеблевой ржавчиной, пыльной головней.

Ключевые слова: бурая ржавчина; стеблевая ржавчина; мучнистая роса; твердая головня; пыльная головня; поражение; температура воздуха; осадки; относительная влажность воздуха.

Для цитирования: Евдокимов М.Г., Мешкова Л.В., Юсов В.С. Динамика развития основных грибных болезней твердой пшеницы в условиях южной лесостепи Омской области. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2024;10(3):166-176. DOI 10.18699/letvjgb-2024-10-19

Original article

Dynamics of development of the main fungal diseases of durum wheat in the conditions of the southern forest-steppe of the Omsk region

M.G. Evdokimov , L.V. Meshkova , V.S. Yusov 

Abstract: In the West Siberian region, the most common diseases of durum spring wheat are: *Puccinia triticina*, *P. graminis*, *Erisiphe graminis*, *Tilletia caries*, *Ustilago tritici*. A comparative analysis of the lesion was carried out for the varieties Almaz, Omski rubin, Angel, Omskaya jantarnay. Some advantage of the varieties Angel, Omskaya jantarnay in terms of resistance to leaf, stem rust, powdery

Омский аграрный научный центр, Омск, Россия
Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, Russia

 misha-emg@rambler.ru

 © Евдокимов М.Г., Мешкова Л.В., Юсов В.С., 2024

mildew, loose smut has been revealed. The dynamics of disease (leaf rust, stem rust, powdery mildew, bunt smut) damage is presented on the example of Almaz varieties for 1981–2022 and Omski rubin for 1984–2022; the dynamics of loose smut damage is presented for the same varieties for 1981–2012, and 1984–2012, respectively. At the same time, there is a clear tendency to increase the degree of damage for leaf and stem rust, powdery mildew, and a decrease for bunt smut. A negative relationship between the development of leaf rust and the June temperature and the sum of active temperatures was revealed. With precipitation and HTC, a positive correlation was noted in June only in the 1st decade, negative with the temperature of the 1st decade of July, 2nd decade of August. The dependence of stem rust on meteorological factors manifests itself mainly in July. The correlation is positive with precipitation, with relative humidity, with HTC and negative with the sum of effective temperatures. In August, the relationship with the air temperature and the sum of the temperatures becomes positive, and with the relative humidity of the air negative from the second decade. Bunt smut infestation is determined by meteorological conditions in May. There is negative correlation between the degree of damage and the air temperature and the sum of active temperatures; this dependence manifested itself in the 3rd decade of May. On the loose smut in May (3rd decade), there is a positive relationship with air temperature and a negative relationship with relative humidity. In June, the relationship with temperature is negative, especially in the 2nd decade, and positive with relative humidity and HTC. In the 1st decade of July (earing stage), the relationship with air temperature becomes positive and negative with relative humidity. Powdery mildew is strongly dependent on precipitation and relative humidity in June. In July, a negative relationship was observed with the air temperature and the sum of effective temperatures. In August, there was a weak positive relationship with precipitation, HTC and a negative relationship with the sum of effective temperatures. Changes in climatic conditions to some extent affected the decline in the development of bunt smut in durum wheat and the increase in damage by of powdery mildew, leaf and stem rust, loose smut.

Key words: leaf rust; stem rust; powdery mildew; bunt smut; loose smut; lesion; air temperature; precipitation; relative humidity.

For citation: Evdokimov M.G., Meshkova L.V., Yusov V.S. Dynamics of development of the main fungal diseases of durum wheat in the conditions of the southern forest-steppe of the Omsk region. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2024;10(3):166-176. DOI 10.18699/letvjgb-2024-10-19 (in Russian)

Введение

Болезни и вредители – основные биотические факторы, ограничивающие рост урожайности зерновых культур в России и мире. В условиях Западной Сибири наибольшее распространение имеют следующие возбудители грибных заболеваний на пшенице: бурая и стеблевая ржавчины, мучнистая роса, твердая и пыльная головня (Орлова, Бехтольд, 2019; Юсов и др., 2022).

Возбудителем стеблевой ржавчины пшеницы является грибок (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Eriks. & E. Henn.), возбудителем мучнистой росы – *Erisiphe graminis* f. sp. *tritici* É.J. Marchal (син. *Blumeria graminis* (DC) Speer f. sp. *tritici* É.J. Marchal). Твердая (обыкновенная) головня представлена двумя видами: *Tilletia caries* (DC) Tul. & C. Tul. и *T. foetida* J.G. Kühn (син. *Tilletia levis* J.G. Kühn). Симптомы болезни этих двух видов одинаковы, они различаются только по морфологии спор и по области распространения, с преобладанием *T. caries* (Василова и др., 2017; Койшибаев, 2018). Возбудителем пыльной головни является грибок *Ustilago tritici* (Pers.) Jens.

Недобор урожая пшеницы от этих болезней велик. Возбудитель бурой ржавчины поражает в основном листья растения, что приводит к потере урожая (вследствие снижения фотосинтетической способности листьев) до 20–30 % (Дерова и др., 2022). В годы эпифитотийного развития возбудителя бурой ржавчины потери урожая мягкой пшеницы составляют 30–50 % (Воронкова, 1980; Плотникова и др., 2018). Сильное поражение пшеницы возбудителем бурой ржавчины отрицательно сказывается на урожайности, качестве зерна и на выходе и всхожести семян (Мешкова, Россеева, 2016).

Более высокий урон урожаю может наносить возбудитель стеблевой ржавчины пшеницы. В условиях эпифитотийного развития этой болезни потери урожая мягкой пшеницы могут достигать 50–80 % и более (Дьяков и др., 1976; Койшибаев, 2018; Лапочкина и др., 2018).

Потери урожая во многом зависят от степени поражения различными болезнями и развития патогена на определенных фазах развития растений. По данным (Roelfs et al., 1992), 100 % поражение бурой ржавчиной в период выхода в трубку–колошения снижает урожай на 50 %, в период цветения – на 35 %, молочной спелости – на 20 %. По стеблевой ржавчине: в колошении – на 82 %, цветении – 80 %, молочной спелости – на 73 %. С.С. Санин с коллегами (2018) предложили шкалу определения потерь урожая от бурой ржавчины и мучнистой росы по степени поражения в период молочной спелости, с помощью которой можно заранее спрогнозировать уровень снижения урожайности.

В России возбудитель мучнистой росы распространен повсеместно и относится к эпифитотийно опасным болезням. Потери урожая пшеницы могут достигать 30–35 % (Simeone et al., 2020; Зеленева, 2021).

Возбудитель твердой головни – особо опасная болезнь, так как, наряду с потерями урожая до 30–40 % и более (Шишкин и др., 2015), при сильном поражении зерно становится вредным для употребления животными и человеком (Зеленева, 2021). Токсические алкалоиды головни нарушают обмен веществ, сердечную деятельность, функцию печени, почек.

Пыльная головня может привести к полной потере продуктивности колоса, поскольку еще до выхода из влагалища верхних листьев все органы колоса, за исключением стержня, превращаются в черную массу телиоспор. Недобор урожая, с учетом скрытых потерь, достигает 20–40 % (Харина, Амунова, 2020).

В настоящее время во многих регионах земного шара отмечается тенденция к изменению климата, которая может привести к глобальному потеплению (Бондаренко и др., 2018). В Западно-Сибирском регионе последние десятилетия также наблюдается постепенное повышение среднесуточных температур воздуха в вегетационный период (Шама-

нин и др., 2015; Паромов и др., 2017) и, особенно, в период колошения–созревания (Евдокимов и др., 2021). Различия дневных и ночных температур в это время очень велики, и в последние годы, по нашим наблюдениям, происходит увеличение количества дней с росами и туманами. Это в значительной мере способствует развитию листовых болезней. При этом надо иметь в виду, что развитие каждой болезни определяется специфическими климатическими условиями. Основные факторы, определяющие развитие ржавчины, – влажность и температура воздуха. Прорастание спор протекает при наличии капельно-жидкой влаги (роса, дождевые капли) и относительной влажности воздуха 60–70%. Для развития бурой ржавчины оптимальная температура воздуха 15–25 °С, для стеблевой ржавчины – 18–28 °С (Койшибаев, 2018). Оптимальная температура воздуха для развития мучнистой росы 18–20 °С, относительная влажность 96–98% (Кекало и др., 2017). Твердая головня хорошо развивается при относительно прохладной и влажной погоде. Благоприятные условия – температура 5–10 °С, относительная влажность почвы 40–60% ПВ после посева пшеницы (Зеленева, 2021). Заражение пыльной головней происходит в период цветения. Повышенная влажность воздуха и температура 18–24 °С в этот период обуславливают высокую зараженность растений (Кривченко, Хохлова, 2008).

Вместе с тем известно, что климатические изменения оказывают влияние на видовой состав патогенов, характер течения болезней и их вредоносность (Рейтер, Леонтьев, 1972; Колесников и др., 2009; West et al., 2012; Левитин, 2016; Колесар и др., 2017). Кроме того, экспрессивность генов устойчивости (к мучнистой росе, бурой и стеблевой ржавчине) различается в разных условиях внешней среды (Сочалова, Пискарев, 2017). В связи с этим изучение характера влияния климатических изменений на развитие основных болезней яровой пшеницы имеет существенное значение для разработки многолетнего прогноза и стратегии селекции на устойчивость к биотическим факторам.

Цель данной работы – выявление динамики развития возбудителей бурой и стеблевой ржавчины, мучнистой росы, твердой и пыльной головни на сортах твердой пшеницы омской селекции в зависимости от метеорологических факторов южной лесостепи Омской области.

Материалы и методы

Исследования проведены в 1981–2022 гг. в условиях южной лесостепной зоны Омской области на посевах в стационаре лаборатории иммунитета растений СибНИИСХ (ныне Омский аграрный научный центр) на естественном инфекционном фоне по возбудителям бурой и стеблевой ржавчины, мучнистой росы (с сортами-ловушками Саратовская 29, Памяти Азиева). На искусственном фоне исследования выполнены по возбудителю твердой и пыльной головни соответственно.

Объектом изучения служили сорта твердой яровой пшеницы Алмаз, Омский рубин, Ангел, Омская янтарная. Более длительный срок испытывались Алмаз (1981–2022 гг.) и Омский рубин (1984–2022 гг.), поэтому динамика поражения болезнями показана по этим сортам. С 1985 г. для сравнения были добавлены сорта Ангел и Омская янтарная. Сорта оце-

нивались в полевых условиях на устойчивость к бурой ржавчине (*P. tritricina*), стеблевой ржавчине (*P. graminis* f. sp. *tritici*) и мучнистой росе (*E. graminis* f. sp. *tritici*), твердой (*T. caries*) и пыльной (*U. tritici*) головне.

Степень поражения листьев растений возбудителем бурой и стеблевой ржавчины (в %) оценивали по шкале, предложенной R.F. Peterson с коллегами (1948), мучнистой росой – по шкале Э.Э. Гешеле (1978). Интенсивность поражения твердой и пыльной головней определяли по методикам, предложенным А.И. Широковым, Б.Г. Рейтером (1981) и В.И. Кривченко, А.П. Хохловой (2008).

При анализе метеозаписей использовали данные Омской ГМС (Агрометеорологический бюллетень, 1981–2020). В основу были взяты параметры осадков, среднесуточной температуры воздуха, относительной влажности воздуха по декадам и месяцам вегетационного периода.

Гидротермический коэффициент (ГТК) определяли по Т.Т. Селянинову (1928).

Расчеты линейной парной корреляции проводили в пакете программ Microsoft Office Excel 2019.

Результаты

Во время проведения исследований погодные условия значительно варьировали по годам и не всегда были благоприятными для роста и развития твердой яровой пшеницы и грибных инфекций. Отмечены отклонения в количестве осадков, выпавших в период вегетации растений, и температурном режиме.

По значениям ГТК за вегетационный период очень засушливыми (ГТК 0.40–0.64) были 1984, 1988, 1998, 1999, 2004, 2010, 2012 и 2014 гг., засушливыми (ГТК 0.70–0.97) – 1981, 1983, 1985, 1992, 1997, 2000, 2008, 2017 и 2019 гг. Достаточно увлажненными были 1982, 1986, 1987, 1989–1991, 1995, 1996, 2001, 2002, 2005, 2006, 2011, 2013, 2015, 2016, 2018, 2020 гг., сильно увлажненными (ГТК 1.78–2.67) – 1993, 1994, 2003, 2007 и 2009 гг. (рис. 1).

Урожайность зерна сорта твердой пшеницы Алмаз по чистому пару в годы с высоким значением ГТК была намного выше средней многолетней, значение которой составляло 25.4 ц/га, за исключением 1991, 1994 и 2003 гг. В то же время в отдельные годы (1990, 1999, 2004) при низких показателях ГТК урожайность была высокой (33.1–39.5 ц/га). Это свидетельствует о том, что на уровень урожайности влияют и другие климатические факторы, например кратковременные воздушные засухи, распределение осадков в критические периоды развития растений и др. Определенное влияние оказывают и биотические факторы, в том числе поражение грибными болезнями.

Для того чтобы проследить динамику поражения растений, необходимо иметь четкую картину изменений метеозаписей в условиях южной лесостепи Омской области за время исследований. Сравнение средних показателей температуры, относительной влажности воздуха и количества осадков за 1981–2000 и 2001–2020 гг. показало, что среднесуточная температура воздуха в мае повысилась на 0.8 °С, в июне – на 0.2 °С, в августе – на 0.3 °С, а в июле наблюдалось снижение на 0.6 °С (рис. 2). Количество осадков в мае понизилось с 36.7 до 31.8 мм (на 4.9 мм), в июне повысилось на

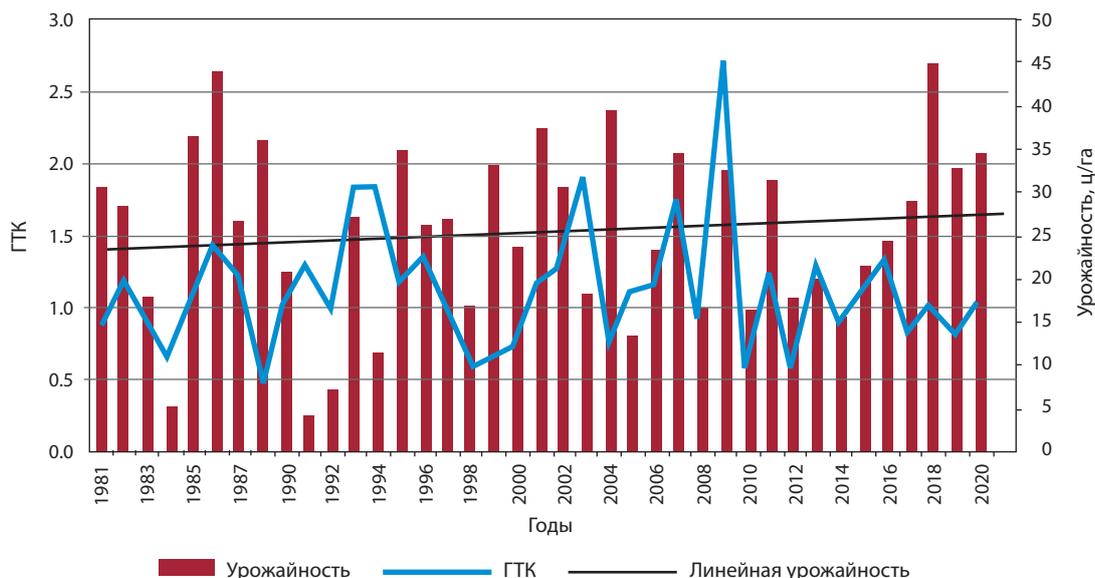


Рис. 1. Гидротермический коэффициент (ГТК) за вегетационный период и урожайность сорта Алмаз, 1981–2020 гг.

Fig. 1. Hydrothermal coefficient (HTC) for the growing season and yield of the Almaz variety, 1981–2020

18.6 мм; в июле и августе увеличение количества осадков было незначительным – 0.7 и 2.1 мм соответственно (рис. 3).

Относительная влажность воздуха в 2001–2020 гг. превысила показатели 1981–2000 гг.: в мае – на 2.6 %, июне – 4.4 %, июле – 2.1 %, августе – на 1.1 % (рис. 4). ГТК в мае понизился с 1.13 до 0.93, в остальные месяцы вегетационного периода наблюдалось его повышение: в июне – с 0.82 до 1.11, июле – с 1.10 до 1.25, в августе – с 1.03 до 1.07 (рис. 5).

Динамика поражения бурой и стеблевой ржавчиной, твердой головней и мучнистой росой представлена на примере сортов Алмаз (за 1981–2022 гг.) и Омский рубин (1984–2022), пыльной головней – приведена по сортам Алмаз (1981–2012) и Омский рубин (1984–2012).

По бурой ржавчине в период с 1981 по 2000 г. поражение сорта Алмаз было минимальным, в последующие годы оно постепенно повышалось и в отдельные годы доходило до 80 % (рис. 6).

Стеблевая ржавчина проявлялась в 1981–1995 гг., в отдельные годы (1983, 1984, 1988, 1994) поражение заболеванием достигало 100 %. В 1996–2010 гг. поражения практически не наблюдалось, а в последующем, особенно с 2015 г., оно ежегодно составляло 80–100 %.

Твердая головня с 1981 по 1995 г. проявлялась от 0 до 40 %, в 1996–2005 гг. была ниже 10 %, позднее – преимущественно ниже 10 %, с поражением до 30–50 % в 2007 и 2014 гг.

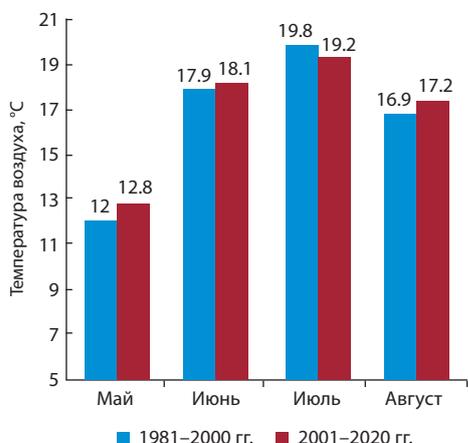


Рис. 2. Среднесуточная температура воздуха в периоды 1981–2000 и 2001–2020 гг.

Fig. 2. Average daily air temperature in the periods 1981–2000 and 2001–2020

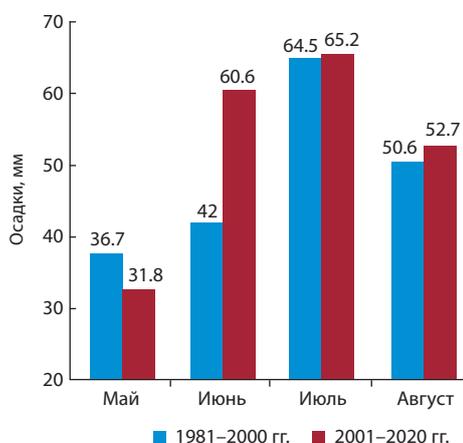


Рис. 3. Осадки в периоды 1981–2000 и 2001–2020 гг.

Fig. 3. Precipitation in the periods 1981–2000 and 2001–2020

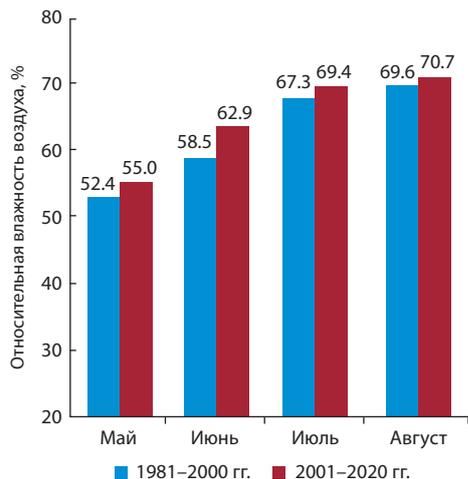


Рис. 4. Относительная влажность воздуха в периоды 1981–2000 и 2001–2020 гг.

Fig. 4. Relative humidity in the periods 1981–2000 and 2001–2020

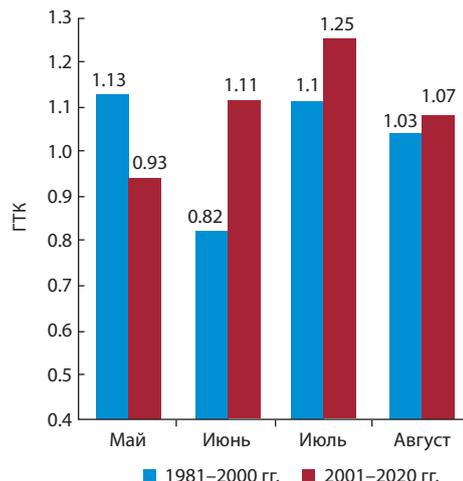


Рис. 5. Гидротермический коэффициент (ГТК) в периоды 1981–2000 и 2001–2020 гг.

Fig. 5. Hydrothermal coefficient (HTC) in the periods 1981–2000 and 2001–2020

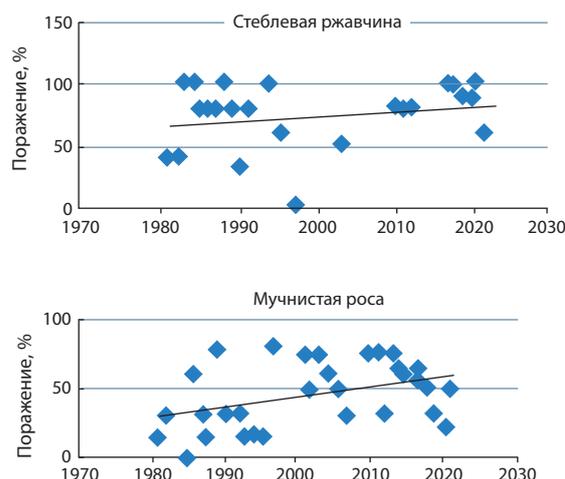
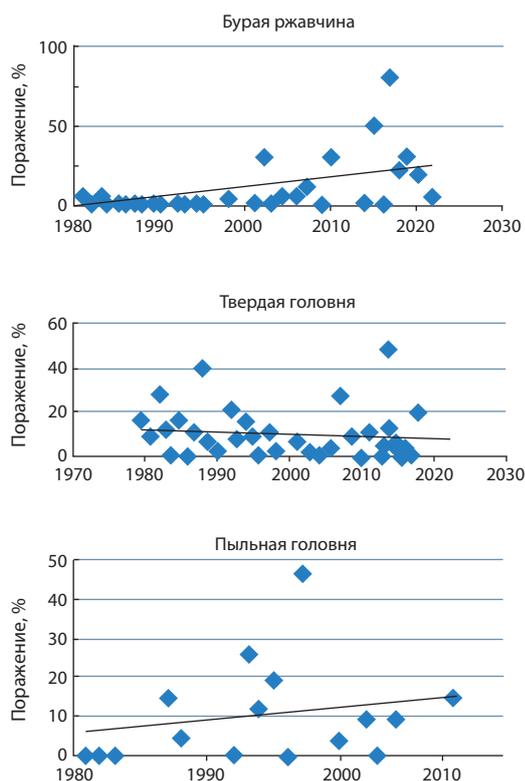


Рис. 6. Динамика поражения сорта Алмаз возбудителями грибных болезней

Fig. 6. Dynamics of damage to the Almaz variety by pathogens of fungal diseases

По мучнистой росе до 1995 г. степень поражения составляла менее 30 %, в дальнейшем возросла до 50–80 %, за исключением четырех лет (2007, 2012, 2019, 2020).

При этом четко прослеживаются тенденции увеличения степени поражения по бурой и стеблевой ржавчине, мучнистой росе, пыльной головне и снижением – по твердой головне (см. рис. 6).

Аналогичная картина поражения болезнями отмечена и для сорта Омский рубин: четко прослеживаются тенденции увеличения степени поражения по бурой и стеблевой ржав-

чине, мучнистой росе, пыльной головне и снижением – по твердой головне (рис. 7).

Сравнительная оценка поражения сортов Алмаз, Омский рубин, Ангел, Омская янтарная за 1985–2022 гг. листовыми и колосовыми болезнями представлена в табл. 1. Поражение бурой ржавчиной в среднем за этот период было ниже у сортов Омская янтарная и Ангел (8.8–9.0 %), чем у Омского рубина и Алмаза (15.5–16.8 %), при максимальном поражении 80–90 %. По стеблевой ржавчине средний уровень поражения был высоким у всех сортов: от 50.6 % у Омской

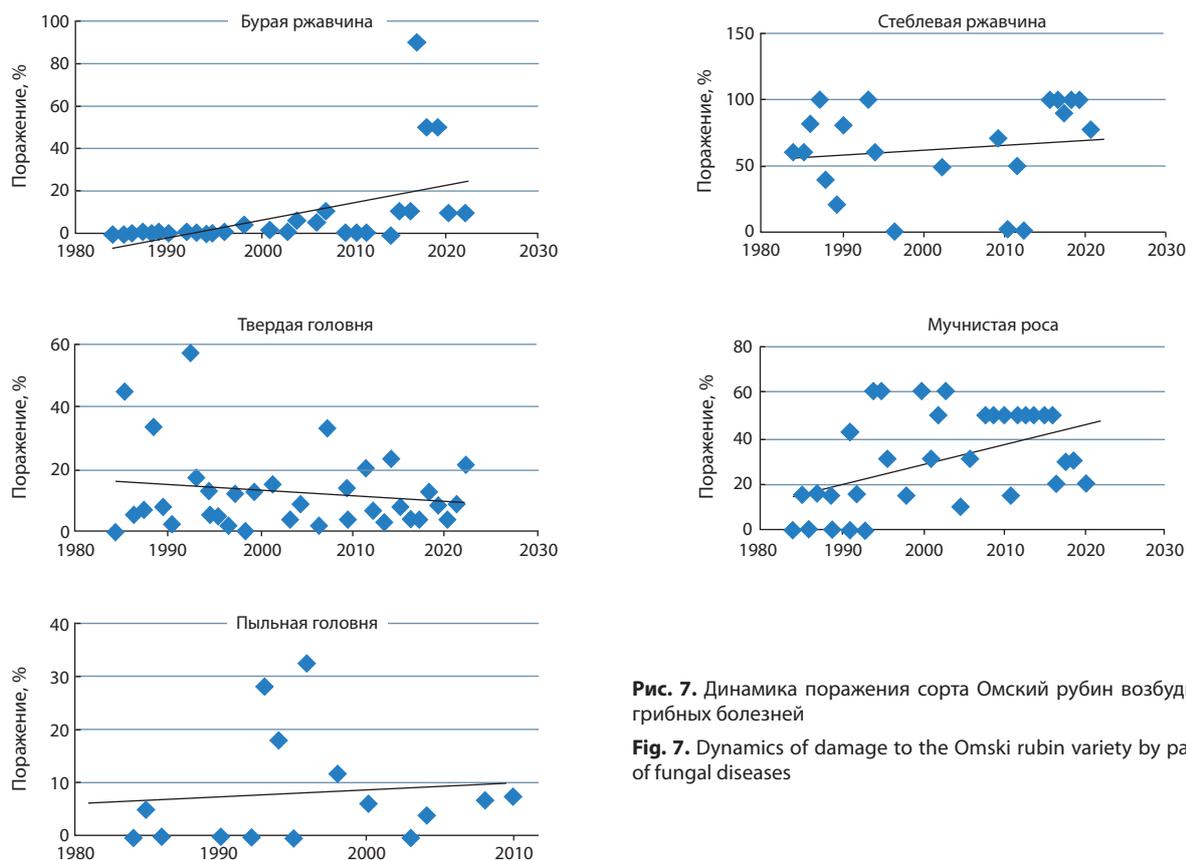


Рис. 7. Динамика поражения сорта Омский рубин возбудителями грибных болезней

Fig. 7. Dynamics of damage to the Omski rubin variety by pathogens of fungal diseases

янтарной до 75.5 % у Алмаза. Максимальное значение у всех сортов достигало 100 %. Поражение пыльной головней у сорта Омская янтарная проявилось на уровне 7.4 %, у остальных сортов – 10.5–13.8 %. Степень поражения твердой головней была близкой у сортов Алмаз, Омский рубин и Ангел (7.9–9.6 %); у сорта Омская янтарная она составила 16.6 % с максимальным значением 49.1 %. Средняя степень поражения мучнистой росой варьировала от 35.6 % (Омская янтарная) до 54.5 % (Алмаз) при максимальной величине 60–80 %. Коэффициенты вариации по всем болезням у сортов очень высокие, особенно по бурой ржавчине.

Обсуждение

Урожайность сорта Алмаз очень сильно варьирует по годам за период наблюдений (см. рис. 1). Во многих случаях отмечен низкий уровень урожайности в годы с высоким значением ГТК. Корреляционная связь с ГТК за период вегетации отсутствует ($r = 0.01$) и проявляется только с ГТК первой декады июля ($r = 0.31$). Ранее нами была показана зависимость урожайности от осадков первой декады июля и отмечено, что в большей мере она зависит от относительной влажности воздуха (Евдокимов и др., 2020).

Сравнительная оценка по степени поражения болезнями (см. табл. 1) показала, что сорта Алмаз и Омский рубин существенно не различаются. Это подтверждает адекватность графического сопоставления их динамики. Сорта последующей селекции имеют некоторое преимущество: Ангел и Омская янтарная – по бурой и стеблевой ржавчине, мучнистой росе, Омская янтарная – по пыльной головне. Вариабель-

ность поражения у всех сортов к изученным болезням была очень высокой.

Расчеты коэффициентов корреляции на основе многолетних наблюдений по сортам Алмаз, Омский рубин, Ангел, Омская янтарная не выявили существенных связей развития бурой ржавчины с метеоусловиями, поскольку в период с 1981 по 2000 г. поражения практически не было, хотя на стандарте восприимчивости (сорт мягкой яровой пшеницы Саратовская 29) развитие болезни проявлялось. Это объясняется тем, что твердая пшеница более устойчива к данной болезни. Видовой особенностью большинства сортов и селекционных линий твердой пшеницы (как озимой, так и яровой) является их устойчивость к бурой ржавчине, что подтверждается как более в ранних (Широков и др., 1977), так и в более поздних сообщениях (Самофалова и др., 2018).

С 2001 г. во всех регионах России, где возделываются злаковые культуры (Гуляева, 2018), на всей территории Западной Сибири (Мешкова, Россеева, 2016), а также за ее пределами наблюдалось возрастание в разной мере степени поражения вследствие изменения популяционного состава и появления более агрессивных биотипов. С 1998 по 2009 г. отмечено сильное изменение популяции бурой ржавчины, поражающей листовую аппарат твердой пшеницы во Франции (Goureau et al., 2012).

И только в годы постепенного повышения поражения сортов твердой пшеницы бурой ржавчиной была выявлена связь с температурой июня ($r = -0.471$) и суммой активных температур ($r = -0.474$). С осадками и ГТК отмечена

Таблица 1. Средние значения и вариабельность поражения сортов твердой пшеницы омской селекции грибными болезнями в 1985–2022 гг.**Table 1.** Mean values and variability of fungal diseases in durum wheat varieties in 1985–2022

Заболевание	Алмаз	Омский рубин	Ангел	Омская янтарная
Среднее поражение, %				
Бурая ржавчина	16.80	15.53	9.03	8.83
Стеблевая ржавчина	75.45	66.67	57.37	50.55
Пыльная головня*	12.57	10.45	13.78	7.35
Твердая головня	7.92	9.57	8.99	16.57
Мучнистая роса	54.47	39.55	37.52	35.60
Лимиты, %				
Бурая ржавчина	0–80	0–90	0–80	0–60
Стеблевая ржавчина	0–100	0–100	0–100	0–100
Пыльная головня*	0–46.2	0–32.5	0–29.5	0–39.5
Твердая головня	0–48.3	0–32.7	0–31.7	0–49.1
Мучнистая роса	15–80	0–60	5–60	0–75
Стандартное отклонение				
Бурая ржавчина	22.04	26.34	18.89	15.82
Стеблевая ржавчина	29.79	36.51	44.15	29.95
Пыльная головня*	13.29	11.23	8.62	10.10
Твердая головня	11.51	7.92	7.97	14.27
Мучнистая роса	20.61	18.32	18.86	18.45
Коэффициент вариации, %				
Бурая ржавчина	131.2	169.6	209.3	179.0
Стеблевая ржавчина	39.5	54.8	77.0	59.2
Пыльная головня*	105.7	107.5	62.6	137.4
Твердая головня	145.4	82.7	88.6	86.1
Мучнистая роса	37.8	46.3	50.3	51.8

* Пыльная головня 1985–2012 гг.

положительная корреляция только в первой декаде июня ($r = 0.493$ и $r = 0.393$), отрицательная ($r = -0.320$ и $r = -0.391$) – с температурой первой декады июля и второй декады августа соответственно (табл. 2). Б.Г. Рейтером, С.И. Леонтьевым (1972) ранее было показано, что в условиях Омска за 1951–1970 гг. существенная положительная связь проявлялась между развитием бурой ржавчины на мягкой пшенице и ГТК июня, июля ($r = 0.513$ и $r = 0.500$), суммой осадков за вегетационный период ($r = 0.659$) и тесная отрицательная – с суммой температур в июле ($r = -0.629$). Ослабление связи в июле в последние годы, в сравнении с этим периодом, вызвано изменением погодных условий: наблюдается снижение температуры на 0.6 °С, повышение ГТК с 1.10 до 1.25.

Развитие стеблевой ржавчины на твердой пшенице было отмечено с 1981 по 1995 г., в последующем (1996–2010) она практически не фиксировалась. С 2010 г., особенно с 2016, наблюдалось поражение растений (см. рис. 6). Такая динамика связана, вероятно, с изменением расового состава (Рсалиев А.С., Рсалиев Ш.С., 2018; Сколотнева и др., 2020).

Кроме того, оказывают влияние климатические изменения. Зависимость проявления стеблевой ржавчины от метеорологических факторов отмечается в основном в июле. Корреляция положительная – с осадками ($r = 0.356$), относительной влажностью воздуха ($r = 0.471$), ГТК ($r = 0.451$), отрицательная – с суммой эффективных температур ($r = -0.605$). В августе связь с температурой воздуха и суммой температур становится положительной ($r = 0.486$ и $r = 0.309$), а с относительной влажностью воздуха – отрицательной со второй декады ($r = -0.430$).

Поражение твердой головней определяется метеорологическими условиями в мае. Коэффициент корреляции между степенью поражения и температурой воздуха составил -0.366 , с суммой активных температур – -0.351 . В основном эта корреляция проявляется в третьей декаде мая и в зависимости от сортов колеблется от -0.333 до -0.458 . Динамика развития болезни с тенденцией понижения степени поражения растений (см. рис. 2), по-видимому, обусловлена повышением среднесуточной температуры воздуха в мае

Таблица 2. Корреляционная связь между поражением грибными болезнями и метеорологическими факторами
Table 2. Correlation between fungal diseases and meteorological factors

Месяц	Фактор	Коэффициенты корреляции*				
		Ржавчина		Головня		Мучнистая роса
		бурая	стеблевая	твердая	пыльная	
Май	Температура			-0.366	0.392	
	Осадки					
	Относительная влажность				-0.384	
	Сумма эффективных температур			-0.351		
	ГТК					
Июнь	Температура	-0.471			-0.691 (2-я декада)	
	Осадки	0.493 (1-я декада)				0.420
	Относительная влажность				0.421	0.402
	Сумма эффективных температур	-0.474				
	ГТК	0.393 (1-я декада)			0.320	
Июль	Температура	-0.320 (1-я декада)			0.562 (1-я декада)	-0.477
	Осадки		0.356			
	Относительная влажность		0.471		-0.567	
	Сумма эффективных температур		-0.605			-0.433
	ГТК		0.451			
Август	Температура	-0.391 (2-я декада)	0.486			
	Осадки					0.276
	Относительная влажность		-0.430 (2-я декада)			
	Сумма эффективных температур		0.309			-0.425
	ГТК					0.295

* Критическое значение коэффициента корреляции 0.288.

на 0.8 °С, поскольку основным фактором в развитии твердой головни является температура почвы на глубине 5 см в период посева–прорастания семян (Василова и др., 2017).

Проявление пыльной головни в большей мере зависит от погодных условий. Это связано с тем, что болезнь имеет двухгодовой цикл развития. Первый этап проходит от момента попадания телейтоспор в цветок до проникновения мицелия в зародыш семени, который длится в течение трех недель (Дружин, Крупнов, 2008). Дальнейшее развитие гриба происходит на следующий год при прорастании зерновки в почве и связано с ростом растения до колошения. В мае (третья декада) проявляется положительная связь с температурой воздуха ($r = 0.392$) и отрицательная – с относительной влажностью воздуха ($r = -0.384$). В июне связь с температурой отрицательная, особенно во второй декаде (-0.691), и положительная – с относительной влажностью воздуха ($r = 0.421$) и ГТК ($r = 0.320$). В первой декаде июля (стадия выколашивания) связь с температурой воздуха становится положительной (0.562), а с относительной влажностью воздуха – отрицательной (-0.567).

Развитие мучнистой росы в сильной степени зависит в июне от осадков ($r = 0.420$) и относительной влажности воздуха ($r = 0.402$). В июле наблюдалась отрицательная связь с температурой воздуха ($r = -0.477$) и суммой эффективных температур ($r = -0.433$). В августе отмечена слабая положительная связь с осадками ($r = 0.276$), ГТК ($r = 0.295$) и отрицательная – с суммой эффективных температур ($r = -0.425$).

Таким образом, прослеживается различная зависимость изученных болезней твердой пшеницы от метеоусловий, т. е. для каждой болезни требуются свои условия для оптимального развития. Это подтверждает более ранее данные, приведенные по мягкой пшенице (Широков и др., 1977; Койшибаев, 2002; Кривченко, Хохлова, 2008; Кекало и др., 2017; Зеленева, 2021). Коэффициенты корреляции между развитием изученных болезней свидетельствуют о том, что проявляется отрицательная связь между бурой ржавчиной и твердой головней, стеблевой ржавчиной и твердой и пыльной головней, мучнистой росой и пыльной и твердой головней (рис. 8). В то же время прослеживается положительная связь между бурой и стеблевой ржавчиной,

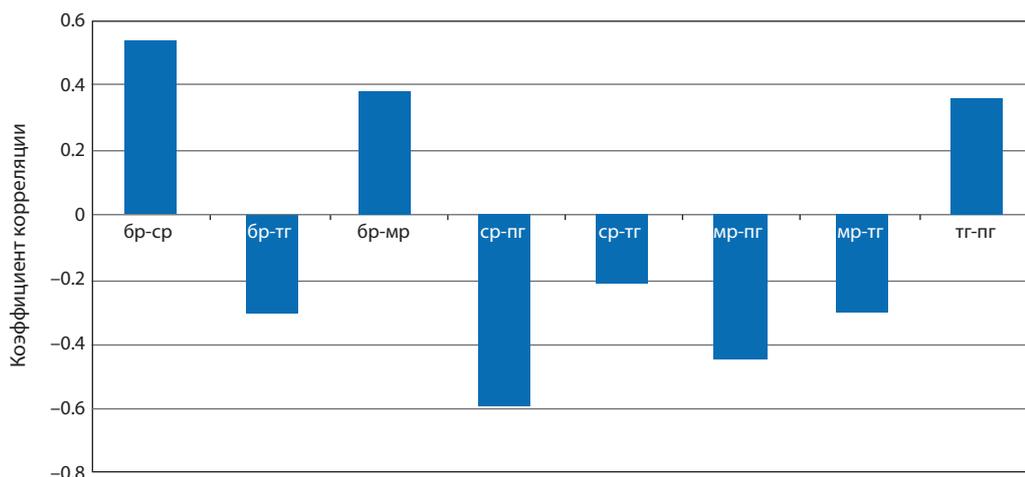


Рис. 8. Коэффициенты корреляции между болезнями по степени поражения.

Бр – бурая ржавчина, ср – стеблевая ржавчина, пг – пыльная головня, тг – твердая головня, мр – мучнистая роса

Fig. 8. Correlation coefficients between diseases by the degree of damage

бурой ржавчиной и мучнистой росой, твердой и пыльной головней. Эта информация имеет значение для селекции при создании комплексно устойчивых сортов, поскольку количество сортов твердой пшеницы с комплексной устойчивостью к ржавчинным и головневым болезням довольно ограничено (Юсов и др., 2022).

Изменения климатических условий в некоторой степени повлияли на снижение развития на твердой пшенице твердой головни; произошел сдвиг зависимости развития стеблевой ржавчины с июля на июнь. Наряду с эволюцией расового состава возбудителей, отмечено влияние климата на рост поражения мучнистой росой, бурой ржавчиной, пыльной головней. Эти изменения носят региональный характер; например, проведенный анализ агроклиматических условий в Предкамье свидетельствует об устойчивой тенденции увеличения засушливости в мае и июне, что способствует росту поражения растений септориозом листьев, корневыми гнилями и болезнями колоса. Для бурой листовой ржавчины и мучнистой росы отмечена тенденция стабильного снижения поражения (Колесар и др., 2017).

Заключение

Проведенный анализ метеорологических факторов в условиях лесостепи Омской области за 1981–2020 гг. показал, что в этот период произошло повышение среднесуточной температуры воздуха в мае на 0.8 °С, относительная влажность воздуха увеличилась на 2.6 %, но с понижением количества осадков на 4.9 мм. В июне наблюдалось превышение по всем параметрам – соответственно на 0.2 °С, 4.4 % и 18.6 мм. В июле зафиксировано снижение температуры воздуха на 0.6 °С, влажность воздуха стала на 2.6 % выше. В августе температура воздуха увеличилась на 0.3 °С, а влажность – на 1.1 %. Значение ГТК в мае понизилось с 1.13 до 0.93, в июне возросло с 0.82 до 1.11, июле – с 1.10 до 1.25, в августе не изменилось.

Изменения степени поражения были следующими: наблюдалась тенденция увеличения инфицирования возбу-

дителем бурой и стеблевой ржавчины, пыльной головней и понижения по возбудителю твердой головни.

При этом отмечена зависимость степени поражения болезнями от метеорологических элементов. На проявление листостебельных болезней оказывают положительное влияние осадки: бурой ржавчины и мучнистой росы – в июне, стеблевой ржавчины – в июле и августе. Отрицательное влияние оказывает температура воздуха: в июне – на бурую ржавчину, в июле – на возбудителя бурой ржавчины и мучнистой росы, во второй декаде августа – на бурую ржавчину. Сумма эффективных температур июля связана со стеблевой ржавчиной и мучнистой росой.

Влияние погодных условий на головневые болезни сильно различается. По твердой головне отмечена только отрицательная корреляция со среднесуточной температурой и суммой эффективных температур мая. Поражение пыльной головней определяется положительной связью с температурой воздуха в третьей декаде мая, относительной влажностью в первой декаде июня и с температурой первой декады июля. Отрицательная связь наблюдается с относительной влажностью мая и июля, температурой второй декады июня.

Изменения климатических условий повлияли на снижение развития возбудителя твердой головни, а также на степень поражения стеблевой ржавчиной, мучнистой росой, пыльной головней в сторону увеличения. Произошел сдвиг зависимости от температуры воздуха и осадков с июля на июль бурой ржавчины.

Список литературы / References

- Агrometeorологический бюллетень. Омск: Омский ЦГМС, 1981–2020 гг.
[Agrometeorological Bulletin. Omsk: Omsk CGMS, 1981–2020 (in Russian)]
- Бондаренко Л.В., Маслова О.В., Белкина А.В., Сухарева К.В. Глобальное изменение климата и его последствия. *Вестн. Рос. экон. ун-та им. Г.В. Плеханова*. 2018;2:84-93
[Bondarenko L.V., Maslova O.V., Belkina A.V., Sukhareva K.V. Global climate change and its consequences. *Vestnik Rossijskogo Ekonom.*

- cheskogo Universiteta Imeni G.V. Plekhanova = Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics. 2018;2:84-93 (in Russian)]
- Василова Н.З., Асхадуллин Д.Ф., Асхадуллин Д.Ф., Зайцева Т.В., Багавиева Э.З., Тазутдинова М.Р., Хусаинова И.И., Насихова Г.Р. Восприимчивость яровой пшеницы к татарской популяции твердой головни. *Зерн. хоз-во России*. 2017;5(53):8-11 [Vasilova N.Z., Askhadullin D.F., Askhadullin D.F., Zaytseva T.V., Bagavieva E.Z., Tazutdinova M.R., Khusainova I.I., Nasikhova G.R. The susceptibility of spring soft wheat to smut of Tatarstan origin. *Zernovoe Khozjaistvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2017;5(53):8-11 (in Russian)]
- Воронкова А.А. Генетико-иммунологические основы селекции пшеницы на устойчивость к ржавчине. М.: Колос, 1980 [Voronkova A.A. Genetic-immunological Foundations of Wheat Breeding for Rust Resistance. Moscow: Kolos Publ., 1980 (in Russian)]
- Гешеле Э.Э. Основы фитопатологической оценки в селекции растений. М.: Колос, 1978 [Geshele E.E. Fundamentals of Phytopathological Assessment in Plant Breeding. Moscow: Kolos Publ., 1978 (in Russian)]
- Гультяева Е.И. Генетическая структура популяций *Puccinia triticina* в России и ее изменчивость под влиянием растения-хозяина: Дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 2018 [Gultyayeva E.I. Genetic Structure of *Puccinia triticina* Populations in Russia and its Variability under the Influence of the Host Plant. Diss. Dr. Biol. Sciences. St. Petersburg, 2018 (in Russian)]
- Дерова Т.Г., Шишкин Н.В., Кононенко О.С., Самофалова Н.Е. Устойчивость сортов озимой твердой пшеницы к бурой ржавчине (*Puccinia triticina*) и мучнистой росе (*Blumeria graminis*) в Аграрном научном центре «Донской». *Зерн. хоз-во России*. 2022;14(2):89-94. DOI 10.31367/2079-8725-2022-80-2-89-94 [Derova T.G., Shishkin N.V., Kononenko O.S., Samofalova N.E. Brown rust (*Puccinia triticina*) and powdery mildew (*Blumeria graminis*) resistance of the winter durum wheat varieties at ARC "Donskoy". *Zernovoe Khozjaistvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2022;14(2):89-94. DOI 10.31367/2079-8725-2022-80-2-89-94 (in Russian)]
- Дружин А.Е., Крупнов В.Л. Пшеница и пыльная головня. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2008 [Druzhin A.E., Krupnov V.L. Wheat and Dust Smut. Saratov: Saratov University Publ., 2008 (in Russian)]
- Дьяков Ю.Т., Семенкова И.Г., Успенская Г.Д. Общая фитопатология с основами иммунитета. М.: Колос, 1976 [Dyakov Yu.T., Semenkova I.G., Uspenskaya G.D. General Phytopathology with the Basics of Immunity. Moscow: Kolos Publ., 1976 (in Russian)]
- Евдокимов М.Г., Юсов В.С., Пахотина И.В. Зависимость урожайности и качества зерна твердой яровой пшеницы от метеорологических факторов в южной лесостепи Западной Сибири *Зерн. хоз-во России*. 2020;5(71):26-31. DOI 10.31367/2079-8725-2020-71-5-26-31 [Evdokimov M.G., Yusov V.S., Pakhotina I.V. Correlation between productivity and grain quality of spring durum wheat and meteorological factors in the southern forest-steppe of the Western Siberia. *Zernovoe Khozjaistvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2020;5(71):26-31. DOI 10.31367/2079-8725-2020-71-5-26-31 (in Russian)]
- Евдокимов М.Г., Юсов В.С., Пахотина И.В. Основные тенденции урожайности и качества зерна твердой яровой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Вестн. КрасГАУ*. 2021;4:33-41 [Evdokimov M.G., Yusov V.S., Pakhotina I.V. Main trends in the yield and quality of durum spring wheat grain in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia. *Vestnik KrasGAU = Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2021;4:33-41 (in Russian)]
- Зеленева Ю.В. Выявление источников и доноров устойчивости к вредоносным болезням пшеницы в условиях Центрально-Черноземного региона. Тамбов: Принт-Сервис, 2021 [Zeleneva Y.V. Identification of Sources and Donors of Resistance to Damage Diseases of Wheat in the Conditions of the Central Black Earth Region. Tambov: Print-Service Publ., 2021 (in Russian)]
- Кекало А.Ю., Немченко В.В., Заргарян Н.Ю., Цыпышева М.Ю. Защита зерновых культур от болезней. Куртамыш: Куртамышская тип., 2017 [Kekalo A.Yu., Nemchenko V.V., Zargaryan N.Yu., Tsyppysheva M.Y. Protection of Grain Crops from Diseases. Kurtamysh: Kurtamyshskaya Tipografiya, 2017 (in Russian)]
- Койшибаев М. Болезни зерновых культур. Алматы: Бастау, 2002 [Koishibaev M. Diseases of Grain Crops. Almaty: Bastau Publ., 2002 (in Russian)]
- Койшибаев М. Болезни пшеницы. Анкара, 2018 [Koishibaev M. Diseases of Wheat. Ankara, 2018 (in Russian)]
- Колесар В.А., Зиганшин А.А., Сафин Р.И. Оценка влияния агроклиматических изменений на развитие болезней яровой пшеницы в Предкамье Республики Татарстан. *Зерн. хоз-во России*. 2017;2(50):45-47 [Kolesar V.A., Ziganshin A.A., Safin R.I. The assessment of the effect of agricultural and climate changes on the spread of spring wheat diseases in the Predkamie area of the Republic of Tatarstan. *Zernovoe Khozjaistvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2017;2(50):45-47 (in Russian)]
- Колесников Л.Е., Власова Э.А., Колесникова Ю.Р. Влияние природно-климатических факторов на динамику патогенеза возбудителей болезней пшеницы. *Докл. Рос. акад. с.-х. наук*. 2009;2:19-22 [Kolesnikov L.E., Vlasova E.A., Kolesnikova Yu.R. Effect of natural climatic factors on the dynamics of pathogenesis of wheat disease pathogens. *Russian Agricultural Sciences*. 2009;35(2):90-93. DOI 10.3103/S1068367409020074]
- Кривченко В.И., Хохлова А.П. Головные болезни зерновых культур. В: Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. М.: Россельхозакадемия, 2008;32-86 [Krivchenko V.I., Khokhlova A.P. Smut diseases of grain crops. In: Study of Genetic Resources of Cereal Crops for Resistance to Harmful Organisms. Moscow: Rosselkhozakademiya Publ., 2008;32-86 (in Russian)]
- Лапочкина И.Ф., Баранова О.А., Гайнуллин Н.Р., Волкова Г.В., Гладкова Е.В., Ковалева Е.О., Осипова А.В. Создание линий озимой пшеницы с несколькими генами устойчивости к *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* для использования в селекционных программах России. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(6):676-684. DOI 10.18699/VJ18.410 [Lapochkina I.F., Baranova O.A., Gainullin N.R., Volkova G.V., Gladkova E.V., Kovaleva E.O., Osipova A.V. The development of winter wheat lines with several genes for resistance to *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* for use in breeding programs in Russia. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(6):676-684. DOI 10.18699/VJ18.410 (in Russian)]
- Левитин М.М. Распространение болезней растений в условиях глобального изменения климата. *С.-х. науки и агропром. комплекс на рубеже веков*. 2016;13:97-101 [Levitin M.M. Distribution of plant diseases in the context of global climate change. *Sel'skokhozyaystvennyye Nauki i Agropromyshlennyy Kompleks na Rubezhe Vekov*. 2016;13:97-101 (in Russian)]
- Мешкова Л.В., Россеева Л.П. Физиологическая специализация возбудителя бурой ржавчины пшеницы в Омской области в 2014 году. *Успехи соврем. науки*. 2016;3(10):116-118 [Meshkova L.V., Rosseeva L.P. Physiological specialization of pathogen brown rust on wheat in Omsk region in 2014. *Uspekhi Sovremennoj Nauki = Advances in Current Science*. 2016;3(10):116-118 (in Russian)]
- Орлова Е.А., Бехтольд Н.П. Характеристика генофонда яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по устойчивости к пыльной головне в условиях лесостепи Западной Сибири. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(5):551-558. DOI 10.18699/VJ19.524 [Orlova E.A., Bekhtold N.P. Characteristics of the gene pool of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) for resistance to loose smut in the forest-steppe of Western Siberia. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(5):551-558. DOI 10.18699/VJ19.524 (in Russian)]
- Паромов В.В., Земцов В.А., Копысов С.Г. Климат Западной Сибири в фазу замедления потепления (1986–2015 гг.) и прогнозирование гидроклиматических ресурсов на 2021–2030 гг. *Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг ресурсов*. 2017;328(1):62-74 [Paromov V.V., Zemtsov V.A., Kopysov S.G. Climate of Western Siberia in the phase of slowing down warming (1986–2015) and forecasting of hydroclimatic resources for 2021–2030. *Izvestiya Tomskogo Politekhnikeskogo Universiteta. Inzhiniring Resursov = Proceedings of*

- Tomsk Polytechnic University. *Resource Engineering*. 2017;328(1):62-74 (in Russian)]
- Плотникова Л.Я., Мешкова Л.В., Гуляева Е.И., Митрофанова О.П., Лапочкина И.Ф. Тенденция преодоления устойчивости к бурой ржавчине интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генетическим материалом *Aegilops speltoides* Tausch. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(5):560-567. DOI 10.18699/VJ18.395
- Plotnikova L.Ya., Meshkova L.V., Gulyaeva E.I., Mitrofanova O.P., Lapochkina I.F. A tendency towards leaf rust resistance decrease in common wheat introgression lines with genetic material from *Aegilops speltoides* Tausch. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(5):560-567. DOI 10.18699/VJ18.395 (in Russian)]
- Рейтер Б.Г., Леонтьев С.И. Распространение бурой ржавчины (*Puccinia triticina* Erikss) и ее связь с элементами климата зоны. В: Полевые культуры. Науч. труды Омского ордена Ленина с.-х. института им. С. Кирова. 1972;100:110-115
- [Reiter B.G., Leontiev S.I. Distribution of leaf rust (*Puccinia triticina* Erikss) and its relation to zone climate elements. In: Field Crops. Scientific works of the Omsk Order of Lenin Agricultural Institute named after S. Kirov. 1972;100:110-115 (in Russian)]
- Рсалиев А.С., Рсалиев Ш.С. Основные подходы и достижения в изучении расового состава стеблевой ржавчины пшеницы. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(8):967-977. DOI 10.18699/VJ18.439
- [Rsaliev A.S., Rsaliev Sh.S. Principal approaches and achievements in studying race composition of wheat stem rust. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(8):967-977. DOI 10.18699/VJ18.439]
- Самофалова Н.Е., Дерова Т.Г., Дубинина О.В., Иличкина Н.П., Костыленко О.А., Каменева А.С. Устойчивость селекционного материала озимой твердой пшеницы к листовым болезням. *Зерн. хоз-во России*. 2018;2(56):64-70. DOI 10.31367/2079-8725-2018-56-2-64-70
- [Samofalova N.E., Derova T.G., Dubinina O.V., Ilichkina N.P., Kostylenko O.A., Kameneva A.S. Tolerance of the selection material of winter durum wheat to leaf diseases. *Zernovoe Khozjaistvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2018;2(56):64-70. DOI 10.31367/2079-8725-2018-56-2-64-70 (in Russian)]
- Санин С.С., Ибрагимов Т.З., Стрижекозин Ю.А. Метод расчета потерь урожая пшеницы от болезней. *Защита и карантин растений*. 2018;1:11-15
- [Sanin S.S., Ibragimov T.Z., Strizhekozyn Yu.A. Method for calculating wheat yield losses from diseases. *Zashchita i Karantin Rasteniy = Plant Protection and Quarantine*. 2018;1:11-15 (in Russian)]
- Селянинов Т.Т. О сельскохозяйственной оценке климата. В: Труды по сельскохозяйственной метеорологии. Вып. 20. Л.: Гидрометеоздат, 1928;165-177
- [Selyaninov T.T. On agricultural climate assessment. In: Works on Agricultural Meteorology. Vol. 20. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1928;165-177 (in Russian)]
- Сколотнева Е.С., Кельбин В.Н., Моргунов А.И., Бойко Н.И., Шаманин В.П., Салина Е.А. Расовый состав Новосибирской популяции *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. *Микология и фитопатология*. 2020;54(1):49-58. DOI 10.31857/S0026364820010092
- [Skolotneva E.S., Kelbin V.N., Morgunov A.I., Boyko N.I., Shamanin V.P., Salina E.A. Race composition of the Novosibirsk population of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. *Biology Bull. Rev.* 2023;13(Suppl.1):S114-S122. DOI 10.1134/S2079086423070125]
- Сочалова Л.П., Пискарев В.В. Устойчивость сортов яровой мягкой пшеницы к возбудителям инфекционных заболеваний в условиях изменяющегося климата Западной Сибири. *Достижения науки и техники АПК*. 2017;31(2):21-25
- [Sochalova L.P., Piskarev V.V. Resistance of varieties of spring soft wheat to agents of infections under conditions of changing climate of Western Siberia. *Dostizheniya Nauki i Tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*. 2017;31(2):21-25 (in Russian)]
- Харина А.В., Амунова О.С. Устойчивость к пыльной головне и адаптивность сортов яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР. *Аграр. наука Евро-Северо-Востока*. 2020;21(1):18-27. DOI 10.30766/2072-9081.2020.21.1.18-27
- [Kharina A.V., Amunova O.S. Loose smut resistance and adaptability of spring soft wheat varieties of VIR collection. *Agrarnaya Nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(1):18-27. DOI 10.30766/2072-9081.2020.21.1.18-27 (in Russian)]
- Шаманин В.П., Моргунов А.И., Петуховский С.Л., Лихенко И.Е. Селекция яровой мягкой пшеницы на устойчивость к стеблевой ржавчине в Западной Сибири. Омск: ОмГАУ, 2015
- [Shamanin V.P., Morgunov A.I., Petukhovskiy S.L., Likhenko I.E. Breeding of Spring Soft Wheat for Resistance to Stem Rust in Western Siberia. Omsk: Omsk State Agrarian University, 2015 (in Russian)]
- Широков А.И., Рейтер Б.Г. Оценка сельскохозяйственных культур на устойчивость к болезням в Сибири. Новосибирск: ВАСХНИЛ, 1981
- [Shirokov A.I., Reiter B.G. Assessment of Agricultural Crops for Resistance to Diseases in Siberia. Novosibirsk: VASKHNIL, 1981 (in Russian)]
- Широков А.И., Чмут Л.Я., Мясникова Г.А., Мешков В.В., Масленкова Л.И. Характеристика сортов зерновых культур на устойчивость к основным заболеваниям в условиях Западной Сибири. Новосибирск: ВАСХНИЛ, 1977
- [Shirokov A.I., Chmut L.Ya., Myasnikova G.A., Meshkov V.V., Maslenkova L.I. Characteristics of Grain Crop Varieties for Resistance to Basic Diseases in Western Siberia. Novosibirsk: VASKHNIL, 1977 (in Russian)]
- Шишкин Н.В., Дерова Т.Г., Марченко Д.М. Результаты оценки коллекционных образцов озимой пшеницы на устойчивость к твердой головне. *Зерн. хоз-во России*. 2015;2:60-63
- [Shishkin N.V., Derova T.G., Marchenko D.M. Assessment results of collection samples of winter wheat on tolerance to smut (*Tilletia levis*). *Zernovoe Khozjaistvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2015;2:60-63 (in Russian)]
- Юсов В.С., Евдокимов М.Г., Мешкова Л.В., Шмакова О.А. Комплексная оценка источников устойчивости к ржавчинным и головневым болезням твердой пшеницы селекции Омского АНЦ. В: Современная интегрированная защита растений. Новосибирск: Изд. центр НГАУ «Золотой колос», 2022;108-112
- [Yusov V.S., Evdokimov M.G., Meshkova L.V., Shmakova O.A. Comprehensive assessment of sources of resistance to rust and smut diseases of durum wheat breeding by the Omsk ASC. In: Modern Integrated Plant Protection. Novosibirsk: Publ. Center of the Novosibirsk State Agrarian University "Zolotoj Kolos", 2022;108-112 (in Russian)]
- Goyeau H., Berder J., Czerepak C., Gautier A., Lanen C., Lannou C. Low diversity and fast evaluation in the population of *Puccinia triticina* causing durum wheat leaf rust in France from 1998–2009, as revealed by an adapted differential set. *Plant Pathol.* 2012;61(4):761-772. DOI 10.1111/j.1365-3059.2011.02554.x
- Peterson R.F., Campbell A., Hannah A. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. *Can. J. Res.* 1948;26(5):496-500. DOI 10.1139/cjr48c-033
- Roelfs A.P., Singh R.P., Saari E.E. Rust Diseases of Wheat: Concepts and methods of disease management. Mexico, DF: CIMMYT, 1992
- Simeone R., Piarulli L., Nigro D., Signorile M.A., Blanco E., Mangini G., Blanco A. Mapping powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) resistance in wild and cultivated tetraploid wheats. *Int. J. Mol. Sci.* 2020;21(21):7910. DOI 10.3390/ijms21217910
- West J.S., Holdgate S., Townsend J.A., Edwards S.G., Jennings P., Fitt B.D.L. Impacts of changing climate and agronomic factors on fusarium ear blight of wheat in the UK. *Fungal Ecol.* 2012;5(1):53-61. DOI 10.1016/j.funeco.2011.03.003

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 20.05.2024. После доработки 06.09.2024. Принята к публикации 10.09.2024.