

## ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 633.16:632.26/938.1

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-239-255



## Устойчивость сортов и образцов ячменя к патотипам возбудителя темно-бурой пятнистости

Н. М. Лашина, О. С. Афанасенко

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Нина Михайловна Лашина, [nlashina@mail.ru](mailto:nlashina@mail.ru)

**Актуальность.** Темно-бурая пятнистость, вызываемая гемибиотрофным грибом *Bipolaris sorokiniana*, является распространенной и вредоносной болезнью ячменя. Обеспечение селекции донорами устойчивости к вредоносным болезням – актуальная задача.

**Материалы и методы.** Материалом для изучения послужили 100 образцов ячменя с различным уровнем устойчивости к *B. sorokiniana*, которые были отобраны в результате многолетних исследований в лаборатории иммунитета растений к болезням Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений при оценке коллекционного материала ВИР. Использовали 11 изолятов *B. sorokiniana* различного географического происхождения, относящихся к четырем патотипам. Устойчивость проростков ячменя оценивали в лабораторных контролируемых условиях, а взрослых растений – на искусственном инфекционном фоне.

**Результаты и выводы.** Выявлены генотипы ячменя, отличающиеся расоспецифической устойчивостью к возбудителю темно-бурой пятнистости. Среднее количество устойчивых генотипов ячменя к пяти изолятам *B. sorokiniana* патотипа 1 составило 24,2%, к двум изолятам патотипа 3 – 29,5%, к трем изолятам патотипа 7 – 18,3% и к одному изоляту патотипа 0 – 37%. Выявлены образцы, проявившие устойчивость в проростках, но восприимчивость в фазе молочно-восковой спелости и, наоборот, восприимчивость в проростках и устойчивость взрослых растений. К патотипу 1 ювенильную и взрослую устойчивость показали шесть генотипов, к патотипу 3 – девять генотипов и к патотипу 7 – два генотипа. Образцы ячменя с устойчивостью ко всем изолятам патогена не выявлены.

**Ключевые слова:** *Bipolaris sorokiniana*, расоспецифическая устойчивость, источники устойчивости, вирулентность

**Благодарности:** исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 24-26-0002.

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

**Для цитирования:** Лашина Н.М., Афанасенко О.С. Устойчивость сортов и образцов ячменя к патотипам возбудителя темно-бурой пятнистости. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):239-255. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-239-255

## IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-239-255

## Resistance of barley cultivars and accessions to pathotypes of the spot blotch causative agent

Nina M. Lashina, Olga S. Afanasenko

All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Nina M. Lashina, nlashina@mail.ru

**Background.** The spot blotch disease caused by the hemibiotrophic fungus *Bipolaris sorokiniana* has become a serious problem for barley. Utilization of resistant or tolerant barley cultivars ensures sustainable diversity conservation and environment-friendly crop production. Thus, supplying barley breeders with sources of resistance to harmful diseases is an urgent task.

**Materials and methods.** A set of 100 barley accessions, earlier selected for different levels of resistance to *B. sorokiniana*, served as the material for this study. Eleven isolates of *B. sorokiniana* of various geographic origin, belonging to 4 pathotypes, were used for testing. The resistance of barley seedlings was assessed under controlled laboratory conditions, and that of adult plants under artificial infection pressure in the field. Responses to *B. sorokiniana* were scored using the 0–9 rating scale.

**Results and conclusions.** Barley genotypes with race-specific resistance to the spot blotch causative agent were identified. The percentage of barley genotypes resistant to five isolates of *B. sorokiniana* pathotype 1 averaged 24.2%; two isolates of pathotype 3, 29.5%; three isolates of pathotype 7, 18.3%; and one isolate of pathotype 0, 37%. Barley accessions manifesting resistance in their seedlings, but susceptible in the phase of milk-wax ripeness, and vice versa, with seedling susceptibility and adult resistance, were identified. Six (6) barley genotypes showed seedling and adult resistance to pathotype 1, nine (9) to pathotype 3, and two (2) to pathotype 7. No barley accessions resistant to all isolates of the pathogen were found.

**Keywords:** *Bipolaris sorokiniana*, race-specific resistance, sources of resistance, virulence

**Acknowledgements:** the research was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Grant No. 24-26-0002. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Lashina N.M., Afanasenko O.S. Resistance of barley cultivars and accessions to pathotypes of the spot blotch causative agent. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):239-255. DOI:10.30901/2227-8834-2024-3-239-255

## Введение

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) является основной кормовой культурой, ценным сырьем для пивоваренной промышленности и диетического питания для человека. Ячмень занимает четвертое место в мире по производству зерна, ежегодный объем которого составляет около 150 миллионов тонн, следуя после пшеницы, риса и кукурузы (Giraldo et al., 2019), и выращивается на площади почти 50 миллионов гектаров (FAO Statistical Yearbook..., 2021).

По итогам 2023 г. посевная площадь ячменя в России достигла отметок в 7986,6 тыс. га, что на 0,1% (10,5 тыс. га) превышает показатели 2022 г. (Veselova, 2023). Одним из факторов снижения урожая зерновых культур является их поражаемость болезнями. В последние годы темно-бурая пятнистость, вызываемая гембиотрофным грибом *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (syn. *Cochliobolus sativus* (Ito & Kuribayashi) Drechs. ex Dastur), стала серьезной проблемой для ячменя.

Возбудитель болезни широко специализирован, поражает 52 рода семейства злаковых, а также 15 родов незлаковых растений (Bashyal et al., 2011; Gupta et al., 2018). Широкий круг хозяев *B. sorokiniana* приводит к высокой генетической изменчивости патогена (Verma et al., 2020; Wu et al., 2020). Из 36 изученных изолятов Северной Дакоты (США) на трех дифференциаторах ячменя (Bowman, ND 5883 и NDB 112) было выявлено 3 патотипа, обозначенные как 0, 1 и 2 (Valjavec-Gratian, Steffenson, 1997a) в соответствии с триплетной номенклатурой, описанной в работе E. Limpert с соавторами (Limpert et al., 1994). Двурядный, умеренно устойчивый к *B. sorokiniana* сорт 'Bowman' после возделывания в течение шести лет в Западной Дакоте стал сильно поражаться возбудителем темно-бурой пятнистости. T. G. Fetch Jr., B. J. Steffenson (1999) показали, что устойчивость к патогену сорта 'Bowman' была эффективна против изолята ND 85F (патотип 1), который регулярно использовался для оценки устойчивости генотипов ячменя, в том числе и в селекции. Появление в популяции гриба другого патотипа, представленного изолятом ND 90Pr (патотип 2), явилось причиной эпифитотии на посевах этого сорта. Изолят ND 90Pr проявлял вирулентность к сорту 'Bowman', но был авирулентен на генотипе ячменя ND 5883, а изолят ND 85F был вирулентным к ND 5883. Оба изолята проявили авирулентность к шестирядному генотипу ячменя NDB 112, который являлся источником устойчивости к возбудителю темно-бурой пятнистости у шестирядных сортов (Steffenson et al., 1996). Селекционная линия NDB 112, таким образом, обладает устойчивостью к обоим патотипам. Y. Leng et al. (2016) изучили устойчивость более 2000 образцов ячменя к изоляту ND 4008 из Северной Дакоты и идентифицировали новый патотип, обозначенный как патотип 7, который проявляет высокую вирулентность на всех трех дифференциаторах ячменя: Bowman, ND 5883 и NDB 112.

Изучение 34 австралийских изолятов на 20 дифференциаторах позволило выявить 6 патотипов (Meldrum et al., 2004). Среди 127 изолятов *B. sorokiniana*, собранных в Канаде и других регионах мира, на 12 сортах-дифференциаторах было выявлено восемь групп, различающихся по вирулентности (Ghazvini, Tekauz, 2008). Согласно статистическому анализу популяции патогена по вирулентности, было показано наличие трех основных патотипов (Ghazvini, Tekauz, 2012).

Гриб *B. sorokiniana* является возбудителем не только листовой пятнистости, но и обыкновенной корневой гнили и «черного зародыша» у зерновых культур (Chand, Joshi, 2004). Болезни, вызванные *B. sorokiniana*, могут привести к потере урожая до 80% (Banu et al., 1998). Помимо прямых потерь урожая, патоген отрицательно влияет на качество зерна, что часто делает зерно непригодным для получения солода в пивоваренной промышленности. В результате многолетних исследований микобиоты свежесобранного зерна ячменя было установлено, что гриб *B. sorokiniana* присутствовал в каждом из 100 изученных образцов пивоваренного ячменя, при этом средние значения уровня зараженности семян грибом колебались от 21 до 51%, а максимум составлял 98% (Volkova et al., 2018).

В связи с изменением климатических условий, а особенно с потеплением в Северо-Западном регионе России, эпифитотии темно-бурой пятнистости случаются раз в три-четыре года (Afanasenko et al., 2015), а в течение последнего десятилетия возникали каждые 2–3 года (Lashina, Afanasenko, 2019). Хотя применение фунгицидов достаточно эффективно помогает в борьбе с возбудителем темно-бурой пятнистости, использование устойчивости растения-хозяина является наиболее экономически и экологически обоснованным подходом для защиты ячменя от данной болезни и единственно возможным способом защиты в органическом растениеводстве. В связи с этим создание устойчивых или выносливых к болезням сортов является важным направлением в селекции зерновых культур.

Устойчивость к *B. sorokiniana* может проявляться в фазе проростков, взрослых растений или на всех фазах развития растений. Поэтому при поиске источников устойчивости используют методы искусственного заражения проростков в условиях теплицы и взрослых растений в поле.

Целью данного исследования являлась характеристика ювенильной и взрослой устойчивости к патотипам возбудителя темно-бурой пятнистости отечественных и зарубежных сортов ячменя, а также образцов из центров генетического разнообразия культуры.

## Материалы и методы

### Сорта и образцы ячменя

Материалом для изучения послужила коллекция из 100 образцов ячменя, полученных из Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Данные образцы, различающиеся по уровню устойчивости, были отобраны в результате многолетних исследований в лаборатории иммунитета растений к болезням Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений (ВИЗР) при оценке коллекционного материала ВИР (Lashina, 2015; Novakazi et al., 2020).

Данная коллекция ячменя включает в себя 40 сортов и селекционных линий различного географического происхождения (табл. 1), в том числе линию NDB 112 и сорт 'Morex' с известным геном устойчивости *Rcs5*, а также 60 местных образцов из Абиссинского, Переднеазиатского, Восточноазиатского, Центральноазиатского, Средиземноморского и других центров генетического разнообразия культуры (табл. 2). Среди изучаемых образцов ячменя 30 были двурядные, остальные 70 – шестирядные.

Таблица 1. Происхождение сортов и селекционных линий ячменя

Table 1. Origin of barley cultivars and breeding lines

| № по каталогу ВИР / VIR catalogue No. | Сорт, линия / Cultivar or breeding line | Происхождение / Origin | № по каталогу ВИР / VIR catalogue No. | Сорт, линия / Cultivar or breeding line | Происхождение / Origin |
|---------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| 30453                                 | ‘Зерноградский 813’                     | Россия                 | 17262                                 | ‘Spratt’                                | Великобритания         |
| 22022                                 | ‘Tselinny 5’                            | Казахстан              | 30479                                 | ‘Novosadski 501’                        | Югославия              |
| 11025                                 | ‘Ehime-ken’                             | Япония                 | 30617                                 | KM-1485-1475                            | Чехия                  |
| 11139                                 | ‘Shiromugi’                             | Япония                 | 30741                                 | ‘City’                                  | Франция                |
| 19275                                 | ‘Sumeri Mochi’                          | Япония                 | 29192                                 | ‘Diamond’                               | Канада                 |
| 20277a                                | ‘Musashinomugi’                         | Япония                 | 19304                                 | ‘Keystone’                              | Канада                 |
| 20277b                                | ‘Musashinomugi’                         | Япония                 | 18505                                 | ‘Fort’                                  | Канада                 |
| 20497                                 | ‘Saga hadaka n3’                        | Япония                 | 18716                                 | ‘Ogalitsu’                              | Канада                 |
| 18523b                                | ‘Krest’yanskiy’                         | Китай                  | 18755                                 | ‘Benton’                                | Канада                 |
| 18269                                 | ‘Gyu-vy-maj’                            | Китай                  | 29737                                 | BVN 66-2                                | Канада                 |
| 5208                                  | ‘Cowra 37’                              | Австралия              | 30029                                 | ‘Noble’                                 | Канада                 |
| 15355                                 | ‘Bore’                                  | Австралия              | 30408                                 | ‘Virden’                                | Канада                 |
| 29577                                 | ‘Cantala’                               | Австралия              | 30035                                 | ‘Excel’                                 | США                    |
| 29592                                 | ‘O’Connor’                              | Австралия              | 18760a                                | ‘Tifang’                                | США                    |
| 19643                                 | ‘Sudan’                                 | Индия                  | 18760b                                | ‘Tifang’                                | США                    |
| 19646                                 | ‘Quinn’                                 | Индия                  | 29576                                 | ‘Bowman’                                | США                    |
| 5502                                  | ‘Naushera’                              | Индия                  | 26959                                 | ‘Morex’                                 | США                    |
| 28664                                 | S-301                                   | Мексика                | 3267                                  | ‘Hooded Jet’                            | США                    |
| 29709                                 | EH 532/F2-5B-4                          | Мексика                | 25283                                 | C.I. 4922                               | США                    |
| 25078                                 | ‘Tlaxcala’                              | Мексика                | NDB 112                               | C.I. 11531                              | США                    |
| Контроли:                             | ‘Pirkka’                                | Финляндия              |                                       | ‘Cherio’                                | Дания                  |
|                                       | ‘Harrington’                            | Канада                 |                                       |                                         |                        |

*Изоляты B. sorokiniana*

В исследовании использовали 11 моноконидиальных изолятов *B. sorokiniana* различного географического происхождения (табл. 3). Выделение в чистую культуру, получение моноспоровых изолятов, размножение и сохранение коллекции подробно описаны в наших работах (Yuкова et al., 2017; Novakazi et al., 2020).

Все изоляты были протестированы по вирулентности на подобранном нами наборе из сортов-дифференциаторов (табл. 4). В набор были включены три генотипа ячменя – ‘Bowman’ (к-29576), ND 5883 и NDB 112, с использованием которых в исследованиях M. Valjavec-Gratian, B. J. Steffenson (1997b) и Y. Leng et al. (2016) были определены 4 патотипа *B. sorokiniana*. Деление изолятов *B. sorokiniana* на патотипы проводили согласно типам реакции на генотипах Bowman, ND 5883 и NDB 112 (см. табл. 4). Изучение вирулентности 11 изолятов к этим сортам-дифференциаторам позволило выявить 3 патотипа, описанных ранее (Valjavec-Gratian, Steffenson, 1997a;

Ghazvini, Tekauz, 2012; Leng et al., 2016) и один не идентифицированный ранее патотип. К патотипу 0 был отнесен изолят L1, авирулентный к трем сортам-дифференциаторам, к патотипу 1 – изоляты, вирулентные к ND 5883 и авирулентные к Bowman и NDB 112 (изоляты VCH31, Ch3, Br18, ЭСИ 215 2.8 и O19.3), к патотипу 7 – вирулентные к трем сортам-дифференциаторам (изоляты Can1, O18.2, Cz29). Два изолята – КСИ 33 1.1 и Br13 – были авирулентны к NDB 112, но вирулентны к Bowman и ND 5883, что не было описано у M. Valjavec-Gratian, B. J. Steffenson (1997a) и Y. Leng et al. (2016), и мы определили их как патотип 3. Большинство российских изолятов, а также изолят Br18 из Беларуси были определены как патотип 1.

Следует отметить, что тип реакции, отнесенный к баллу 5, является промежуточным и может быть интерпретирован как вирулентность, так и как авирулентность. При определении патотипов мы отнесли балл 5 к вирулентности. Однако если балл 5 определить как

**Таблица 2. Происхождение местных образцов ячменя из центров генетического разнообразия культуры**  
**Table 2. Origin of barley landraces from the centers of the crop's genetic diversity**

| № по каталогу ВИР / VIR catalogue No. | Происхождение / Origin            | № по каталогу ВИР / VIR catalogue No. | Происхождение / Origin                |
|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 4059                                  | Восточноазиатский, Монголия       | 2710                                  | Центральноазиатский, Казахстан        |
| 4071                                  | Восточноазиатский, Монголия       | 8654                                  | Центральноазиатский, Узбекистан       |
| 8332                                  | Восточноазиатский, Монголия       | 28232                                 | Центральноазиатский, Узбекистан       |
| 11162                                 | Восточноазиатский, Япония         | 14936                                 | Центральноазиатский, Таджикистан      |
| 11189                                 | Восточноазиатский, Япония         | 21490                                 | Центральноазиатский, Таджикистан      |
| 21472                                 | Восточноазиатский, Япония         | 838                                   | Юго-западно-азиатский, Грузия         |
| 15811                                 | Восточноазиатский, Китай          | 8721b                                 | Абиссинский, Эфиопия                  |
| 15812                                 | Восточноазиатский, Китай          | 8723                                  | Абиссинский, Эфиопия                  |
| 15872                                 | Восточноазиатский, Китай          | 8726                                  | Абиссинский, Эфиопия                  |
| 6850                                  | Переднеазиатский, Турция          | 19979                                 | Абиссинский, Эфиопия                  |
| 6913                                  | Переднеазиатский, Турция          | 20169                                 | Абиссинский, Эфиопия                  |
| 7694                                  | Переднеазиатский, Турция          | 23874                                 | Абиссинский, Эфиопия                  |
| 7713                                  | Переднеазиатский, Турция          | 25273                                 | Абиссинский, Эфиопия                  |
| 7751                                  | Переднеазиатский, Турция          | 25274                                 | Абиссинский, Эфиопия                  |
| 7765b                                 | Переднеазиатский, Турция          | 29720                                 | Абиссинский, Эфиопия                  |
| 8960b                                 | Переднеазиатский, Турция          | 8852                                  | Абиссинский, Египет                   |
| 9004                                  | Переднеазиатский, Турция          | 21578                                 | Южноамериканский, Эквадор             |
| 6816                                  | Переднеазиатский, Турция          | 30008                                 | Южноамериканский, Перу                |
| 6827                                  | Переднеазиатский, Турция          | 30337                                 | Южноамериканский, Перу                |
| 6879                                  | Переднеазиатский, Турция          | 30351                                 | Южноамериканский, Перу                |
| 6880                                  | Переднеазиатский, Турция          | 4355                                  | Новосветский, Канада                  |
| 6894                                  | Переднеазиатский, Турция          | 15402b                                | Новосветский, США                     |
| 7751                                  | Переднеазиатский, Турция          | 5470                                  | Средиземноморский, Кипр               |
| 3108                                  | Центральноазиатский, Туркменистан | 8787                                  | Средиземноморский, Италия             |
| 3114                                  | Центральноазиатский, Туркменистан | 8812                                  | Средиземноморский, Италия             |
| 5059                                  | Центральноазиатский, Туркменистан | 18636                                 | Средиземноморский, Португалия         |
| 5900                                  | Центральноазиатский, Туркменистан | 4306                                  | Юг Европейской части России, Дагестан |
| 10095                                 | Центральноазиатский, Туркменистан | 15185                                 | Юг Европейской части России, Дагестан |
| 11777                                 | Центральноазиатский, Кыргызстан   | 21763                                 | Юг Европейской части России, Дагестан |
| 11993                                 | Центральноазиатский, Кыргызстан   | 21772                                 | Юг Европейской части России, Дагестан |

авирулентность, то к патотипу 7 (вирулентность к трем дифференциаторам) будет отнесен только изолят из Канады Can1.

*Оценка ювенильной устойчивости к *B. sorokiniana**

Устойчивость проростков ячменя оценивали в контролируемых условиях климатической комнаты ВИЗР.

Растения высевали в контейнеры размером 18 × 13 × 6 см с почвогрунтом Terra Vita® объемом 1000 мл по 11 образцов в каждый. Один образец был представлен четырьмя растениями. В качестве контроля использовали восприимчивые сорта 'Harrington', 'Cherio' и 'Pirkka', которые высевали в каждый контейнер. Растения культивировали в течение двух недель при температуре 20–22°C

**Таблица 3. Происхождение изолятов *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker****Table 3. Origin of *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker isolates**

| Изолят /<br>Isolate | Место сбора /<br>Origin                                                   | Сорт ячменя /<br>Barley cultivar | Год сбора /<br>Harvest year |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| L 1                 | Россия, Ленинградская область, г. Волосово, д. Клопицы                    | ‘Фермер’                         | 2018                        |
| VCH 31              | Россия, Ленинградская область, г. Волосово, д. Клопицы                    | ‘Chif’                           | 2012                        |
| Ch 3                | Россия, Ленинградская область, г. Волосово, д. Клопицы                    | ‘Cherio’                         | 2016                        |
| Br 13               | Республика Беларусь, Минская область, г. Жодино                           | ‘Бровар’                         | 2017                        |
| Br 18               | Республика Беларусь, Минская область г. Жодино                            | ‘Бровар’                         | 2017                        |
| Cz 29               | Словацкая Республика, г. Бάνовце                                          | Не известен                      | 2014                        |
| Can 1               | Канада, провинция Альберта                                                | ‘Vivar’                          | 2008                        |
| O 18.2              | Россия, г. Омск                                                           | Не известен                      | 2018                        |
| O 19.3              | Россия, г. Омск                                                           | Не известен                      | 2018                        |
| ЭСИ 215 2.8         | Республика Татарстан, зона Предкамья, Лаишевский район, с. Большие Кабаны | ‘Омский голозерный 1’            | 2022                        |
| КСИ 33 1.1          | Республика Татарстан, зона Предкамья, Лаишевский район, с. Большие Кабаны | Линия к-180-20                   | 2022                        |

**Таблица 4. Характеристика вирулентности изолятов *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker к набору из 11 сортов-дифференциаторов****Table 4. Virulence of *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker isolates to a set of 11 differential cultivars**

| Генотип-<br>ячменя/<br>Barley<br>genotype                                                                                                              | Тип реакции на заражение изолятами <i>B. sorokiniana</i> , балл/<br>Type of seedling response to infection with <i>B. sorokiniana</i> isolates, score |     |    |      |      |      |      |       |       |             |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----|------|------|------|------|-------|-------|-------------|------------|
|                                                                                                                                                        | VCH31                                                                                                                                                 | Ch3 | L1 | Br13 | Br18 | Cz29 | Can1 | O18.2 | O19.3 | ЭСИ 215 2.8 | КСИ 33 1.1 |
| Morex ( <i>Rcs5</i> )                                                                                                                                  | 3                                                                                                                                                     | 4   | 3  | 4    | 4    | 5    | 7    | 5     | 3     | 4           | 5          |
| TR 251                                                                                                                                                 | 3                                                                                                                                                     | 2   | 2  | 3    | 4    | 5    | 5    | 1     | 1     | 2           | 6          |
| ND 23180                                                                                                                                               | 9                                                                                                                                                     | 5   | 6  | 5    | 6    | 4    | 8    | 3     | 6     | 4           | 5          |
| к-2186                                                                                                                                                 | 9                                                                                                                                                     | 6   | 5  | 3    | 7    | 8    | 9    | 7     | 6     | 6           | 5          |
| к-8383                                                                                                                                                 | 8                                                                                                                                                     | 8   | 3  | 3    | 3    | 7    | 5    | 6     | 5     | 7           | 6          |
| к-8726                                                                                                                                                 | 7                                                                                                                                                     | 4   | 6  | 5    | 8    | 3    | 4    | 6     | 6     | 5           | 4          |
| к-8721                                                                                                                                                 | 4                                                                                                                                                     | 5   | 4  | 4    | 8    | 5    | 2    | 6     | 6     | 6           | 4          |
| к-8953                                                                                                                                                 | 7                                                                                                                                                     | 2   | 5  | 5    | 9    | 6    | 7    | 5     | 5     | 2           | 6          |
| <b>Дифференциаторы по M. Valjavec-Gratian, B. J. Steffenson (1997a) /<br/>Differentials according to M. Valjavec-Gratian, B. J. Steffenson (1997a)</b> |                                                                                                                                                       |     |    |      |      |      |      |       |       |             |            |
| ND 5883                                                                                                                                                | 8                                                                                                                                                     | 9   | 4  | 5    | 8    | 7    | 8    | 8     | 5     | 6           | 9          |
| NDB 112 ( <i>Rcs5</i> )                                                                                                                                | 2                                                                                                                                                     | 3   | 2  | 4    | 4    | 5    | 6    | 5     | 2     | 2           | 4          |
| Bowman                                                                                                                                                 | 3                                                                                                                                                     | 4   | 3  | 6    | 4    | 9    | 7    | 5     | 3     | 4           | 7          |

Примечание: типы реакции 0–4 отнесены к устойчивости (R), 5 – промежуточная реакция (MR/MS) и 6–9 – восприимчивость (S)

Note: response types 0–4 pertain to resistance (R), 5 to intermediate response (MR/MS), and 6–9 to susceptibility (S)

с освещением 16 ч в сутки. Эксперимент проводили в трех повторностях. Инокуляцию растений проводили в фазу 2–3-х листьев суспензией гриба *B. sorokiniana* в концентрации 10 000–15 000 конидий на 1 мл. После инокуляции растения накрывали полиэтиленовыми пакетами и оставляли на 48 ч при температуре 20–22°C без света. Через двое суток инокулированные растения помещали в светоустановки, поддерживая влажность воздуха 60–70% с использованием увлажнителя воздуха марки AirInCom (AIC), модель SPS-718. Тип реакции на заражение оценивали в баллах на втором листе каждого растения по шкале T. G. Fetch Jr., B. J. Steffenson (1999) на 8–10 сутки после инокуляции. Шкала учитывает размер поражений, их форму и наличие хлороза (табл. 5). Она наиболее популярна в мире при оценке устойчивости растений к патогену (Afanasenko et al., 2015). Мы модифицировали данную шкалу для разделения баллов 4 (MR) и 5 (MS) (см. табл. 5).

**Таблица 5.** Характеристика типов реакции на инокуляцию *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker на втором листе проростков ячменя по модифицированной шкале T. G. Fetch Jr., B. J. Steffenson (1999)

**Table 5.** Types of response to *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker on the second barley leaf according to the modified scale by T. G. Fetch Jr., B. J. Steffenson (1999)

| Балл /<br>Score | Размер и тип поражения / Size and type of injury                              |                                            | Характеристика<br>устойчивости /<br>Resistance level |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|                 | Диаметр некроза, длина/ширина, мм /<br>Necrosis diameter and length/width, mm | Наличие хлороза /<br>Presence of chlorosis |                                                      |
| 1–2             | 0,3–0,7/0,3–0,5                                                               | Отсутствует                                | R                                                    |
| 3               | 0,8–1,3/0,5–0,7                                                               | Диффузный хлороз (< 0,25 мм)               | R                                                    |
| 4               | 1,4–3,0/0,7–1,0                                                               | Хлоротичное окаймление (0,50–0,70 мм)      | MR                                                   |
| 5               | 3,0–3,9/1,0–1,3                                                               | Хлоротичное окаймление (0,70–0,75 мм)      | MS                                                   |
| 6–9             | 4,0–8,0/1,4–3,2                                                               | Хлоротичное окаймление (0,50–1,0 мм)       | S                                                    |

Примечание: R – устойчивость; MR – средняя устойчивость; MS – слабая восприимчивость (промежуточный тип реакции); S – восприимчивость

Note: R – resistance; MR – moderate resistance; MS – moderate susceptibility (intermediate type of response); S – susceptibility

*Оценка устойчивости взрослых растений к B. sorokiniana на искусственном инфекционном фоне*

Изучение устойчивости взрослых растений 100 генотипов ячменя проводили на экспериментальных полях ВИЗР и научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Санкт-Петербург, Пушкин) в период с 2016 по 2022 г. По 20 семян каждого образца высевали в один ряд на делянках шириной 1 м. Расстояние между рядами составляло 20 см. Восприимчивые сорта 'Harrington', 'Cherio' и 'Pirkka' высевали через каждые 10 образцов в качестве контроля, а также для поддержания инфекционного фона. Эксперимент проводили в трехкратной повторности. Заражение в поле проводили изолятом *B. sorokiniana* из Ленинградской области Ch3, относящимся к наиболее распространенному в России патотипу 1. Растения на стадии BBCH 30 (BBCH scale..., 2015), которая соответствует межфазному периоду «кущение – выход в трубку», инокулировали путем опрыскивания с помощью пневматического опрыскива-

теля ОП-220 суспензией гриба в концентрации 40 000–50 000 конидий в 1 мл воды по 200 мл на 1 м<sup>2</sup> в вечернее время суток. Для улучшения контакта конидий с поверхностью листа к суспензии добавляли 100 мкл/л поверхностно-активного вещества Tween 80. Растения после заражения укрывали полиэтиленовой пленкой, закрепленной на металлические дуги; через двое суток влажные камеры снимали. Спустя две недели проводили контрольное обследование посевов. Оценка устойчивости образцов ячменя проводилась в фазу молочно-восковой спелости зерна (BBCH 83–85) (BBCH scale..., 2015). Тип реакции в баллах оценивали на флаговом и втором листе сверху каждого растения по 9-балльной шкале и определяли развитие болезни в процентах. Впоследствии образцы ячменя, оцененные по девятибалльной шкале, были распределены на четыре класса по устойчивости, как описано у T. G. Fetch Jr., B. J. Steffenson (1999) для взрослой устойчивости (рис. 1).

## Результаты и обсуждение

### Ювенильная устойчивость сортов и образцов ячменя

Гетерогенность популяций патогена по признаку вирулентности являлась основанием использования нескольких изолятов гриба для оценки устойчивости сортов и образцов ячменя (см. табл. 4).

Выявлены генотипы ячменя, отличающиеся расспецифической устойчивостью к возбудителю темно-бурой пятнистости (табл. 6).

О различиях по вирулентности изолятов *B. sorokiniana* к набору из 100 генотипов ячменя свидетельствовали коэффициенты корреляции, представленные в таблице 7. При составлении матрицы для корреляционного анализа баллы устойчивости 1–4 были обозначены 0, балл 5 – 1, баллы восприимчивости 6–9 – 2.

Самые высокие значения, свидетельствующие о сходстве реакций генотипов ячменя на инокуляцию изолятами патогена и, следовательно, о сходстве вирулентности,

**Таблица 6.** Результаты оценки проростковой и взрослой устойчивости сортов и образцов ячменя к возбудителю темно-бурой пятнистости (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker)**Table 6.** Results of assessing seedling and adult resistance in barley cultivars and accessions to the spot blotch causative agent (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker)

| № по каталогу ВИР /<br>VIR catalogue No. | Рядность / Rows | Среднее значение типа реакции проростков на заражение изолятами <i>B. sorokiniana</i> , балл / Mean value of the type of seedling response to infection with <i>B. sorokiniana</i> isolates, score |                                                      |                                                     |                                                     |                                                                                     | Взрослая устойчивость / Adult resistance                                                                       |                                                          |                                                                 |
|------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|                                          |                 | патотип 0 (1 изолят) /<br>pathotype 0 (1 isolate)                                                                                                                                                  | патотип 1 (5 изолятов) /<br>pathotype 1 (5 isolates) | патотип 3 (2 изолята) /<br>pathotype 3 (2 isolates) | патотип 7 (3 изолята) /<br>pathotype 7 (3 isolates) | Характеристика устойчивости проростков /<br>Characterization of seedling resistance | Тип реакции на заражение изолятом Ch3 (патотип 1), балл / Type of response to isolate Ch3 (pathotype 1), score | Развитие болезни, % /<br>Disease severity development, % | Характеристика устойчивости /<br>Characterization of resistance |
| Контроли:                                |                 |                                                                                                                                                                                                    |                                                      |                                                     |                                                     |                                                                                     |                                                                                                                |                                                          |                                                                 |
| Harrington                               | 2               | 7,0                                                                                                                                                                                                | 8,0                                                  | 7,5                                                 | 8,0                                                 | S S S S                                                                             | 9,0                                                                                                            | 60                                                       | S                                                               |
| Cherio                                   | 2               | 9,0                                                                                                                                                                                                | 8,4                                                  | 8,0                                                 | 6,7                                                 | S S S S                                                                             | 8,0                                                                                                            | 80                                                       | S                                                               |
| Pirkka                                   | 6               | 6,0                                                                                                                                                                                                | 7,0                                                  | 6,5                                                 | 7,0                                                 | S S S S                                                                             | 7,1                                                                                                            | 60                                                       | S                                                               |
| Местные образцы                          |                 |                                                                                                                                                                                                    |                                                      |                                                     |                                                     |                                                                                     |                                                                                                                |                                                          |                                                                 |
| 838                                      | 2               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 6,0                                                  | 5,0                                                 | 6,0                                                 | R S MS S                                                                            | 7,2                                                                                                            | 40                                                       | S                                                               |
| 2710                                     | 6               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 7,0                                                  | 4,5                                                 | 5,0                                                 | MS S MR MS                                                                          | 6,2                                                                                                            | 25                                                       | MS                                                              |
| 3108                                     | 6               | 6,0                                                                                                                                                                                                | 6,2                                                  | 4,5                                                 | 7,3                                                 | S S MR S                                                                            | 2,0                                                                                                            | 25                                                       | MR                                                              |
| 3114                                     | 6               | 8,0                                                                                                                                                                                                | 6,0                                                  | 4,5                                                 | 5,3                                                 | S S MR S                                                                            | 2,0                                                                                                            | 20                                                       | MR                                                              |
| 4059                                     | 6               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 5,8                                                  | 5,0                                                 | 5,7                                                 | R S MS S                                                                            | 6,2                                                                                                            | 40                                                       | S                                                               |
| 4071                                     | 6               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 4,6                                                  | 4,0                                                 | 5,7                                                 | R MR R S                                                                            | 4,7                                                                                                            | 40                                                       | S                                                               |
| 4306                                     | 6               | 6,0                                                                                                                                                                                                | 7,0                                                  | 6,5                                                 | 7,0                                                 | S S S S                                                                             | 3,8                                                                                                            | 45                                                       | S                                                               |
| 4355                                     | 6               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 3,8                                                  | 4,5                                                 | 4,0                                                 | R R MR R                                                                            | 2,3                                                                                                            | 30                                                       | MR                                                              |
| 5059                                     | 2               | 5,1                                                                                                                                                                                                | 6,6                                                  | 5,0                                                 | 5,7                                                 | MS S MS S                                                                           | 5,1                                                                                                            | 20                                                       | MR                                                              |
| 5470                                     | 6               | 3,0                                                                                                                                                                                                | 4,6                                                  | 4,5                                                 | 3,7                                                 | R MR MR R                                                                           | 3,1                                                                                                            | 15                                                       | MR                                                              |
| 5900                                     | 6               | 5,1                                                                                                                                                                                                | 6,4                                                  | 5,0                                                 | 6,3                                                 | MS S MS S                                                                           | 5,4                                                                                                            | 20                                                       | MR                                                              |
| 6816                                     | 6               | 5,1                                                                                                                                                                                                | 6,0                                                  | 5,5                                                 | 7,0                                                 | MS S S S                                                                            | 4,2                                                                                                            | 20                                                       | MR                                                              |
| 6827                                     | 2               | 5,3                                                                                                                                                                                                | 6,4                                                  | 6,0                                                 | 6,0                                                 | S S S S                                                                             | 4,8                                                                                                            | 25                                                       | MS                                                              |
| 6850                                     | 2               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 5,6                                                  | 5,5                                                 | 6,3                                                 | MS S S S                                                                            | 4,0                                                                                                            | 15                                                       | MR                                                              |
| 6879                                     | 2               | 6,0                                                                                                                                                                                                | 6,8                                                  | 5,5                                                 | 7,7                                                 | S S S S                                                                             | 4,2                                                                                                            | 20                                                       | MR                                                              |
| 6880                                     | 2               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 7,4                                                  | 6,5                                                 | 6,3                                                 | MS S S S                                                                            | 4,3                                                                                                            | 20                                                       | MR                                                              |
| 6894                                     | 2               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 5,8                                                  | 6,0                                                 | 7,3                                                 | MS S S S                                                                            | 4,8                                                                                                            | 30                                                       | MS                                                              |
| 6913                                     | 6               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 6,6                                                  | 5,5                                                 | 7,7                                                 | MS S S S                                                                            | 5,2                                                                                                            | 20                                                       | MR                                                              |
| 7694                                     | 6               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 5,8                                                  | 5,0                                                 | 7,0                                                 | MR S MS S                                                                           | 6,1                                                                                                            | 20                                                       | MR*                                                             |
| 7713                                     | 6               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 6,2                                                  | 4,5                                                 | 5,7                                                 | MS S MR S                                                                           | 5,1                                                                                                            | 20                                                       | MR                                                              |
| 7751                                     | 2               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 6,6                                                  | 6,0                                                 | 7,7                                                 | MS S S S                                                                            | 5,0                                                                                                            | 20                                                       | MR                                                              |
| 7765b                                    | 6               | 6,0                                                                                                                                                                                                | 5,8                                                  | 5,5                                                 | 7,0                                                 | S S S S                                                                             | 6,0                                                                                                            | 20                                                       | MR*                                                             |

Таблица 6. Продолжение

Table 6. Continued

| № по каталогу ВИР /<br>VIR catalogue No. | Рядность / Rows | Среднее значение типа реакции проростков на заражение изолятами <i>B. sorokiniana</i> , балл / Mean value of the type of seedling response to infection with <i>B. sorokiniana</i> isolates, score |                                                      |                                                     |                                                     |                                                                                     | Взрослая устойчивость / Adult resistance                                                                       |                                                          |                                                                 |
|------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|                                          |                 | патотип 0 (1 изолят) /<br>pathotype 0 (1 isolate)                                                                                                                                                  | патотип 1 (5 изолятов) /<br>pathotype 1 (5 isolates) | патотип 3 (2 изолята) /<br>pathotype 3 (2 isolates) | патотип 7 (3 изолята) /<br>pathotype 7 (3 isolates) | Характеристика устойчивости проростков /<br>Characterization of seedling resistance | Тип реакции на заражение изолятом Ch3 (патотип 1), балл / Type of response to isolate Ch3 (pathotype 1), score | Развитие болезни, % /<br>Disease severity development, % | Характеристика устойчивости /<br>Characterization of resistance |
| 8332                                     | 6               | 6,1                                                                                                                                                                                                | 6,2                                                  | 5,0                                                 | 5,3                                                 | S S MS S                                                                            | 5,0                                                                                                            | 10                                                       | R*                                                              |
| 8654                                     | 6               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 5,6                                                  | 5,5                                                 | 4,7                                                 | MS S S MR                                                                           | 5,1                                                                                                            | 20                                                       | MR                                                              |
| 8721b                                    | 6               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 5,1                                                  | 4,0                                                 | 4,3                                                 | MR MR MR MR                                                                         | 7,0                                                                                                            | 20                                                       | MR*                                                             |
| 8723                                     | 6               | 6,1                                                                                                                                                                                                | 5,8                                                  | 5,0                                                 | 6,3                                                 | S S MS S                                                                            | 5,1                                                                                                            | 25                                                       | MS                                                              |
| 8726                                     | 6               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 5,8                                                  | 4,5                                                 | 4,3                                                 | MS S MR MR                                                                          | 4,1                                                                                                            | 20                                                       | MR                                                              |
| 8787                                     | 6               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 5,2                                                  | 5,5                                                 | 7,0                                                 | MS S S S                                                                            | 5,2                                                                                                            | 25                                                       | MS                                                              |
| 8812                                     | 6               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 5,6                                                  | 5,0                                                 | 6,0                                                 | MS S MS S                                                                           | 4,1                                                                                                            | 15                                                       | MR                                                              |
| 8852                                     | 6               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 6,6                                                  | 5,0                                                 | 7,0                                                 | MS S MS S                                                                           | 3,2                                                                                                            | 20                                                       | MR                                                              |
| 8960b                                    | 6               | 3,0                                                                                                                                                                                                | 3,6                                                  | 4,5                                                 | 5,0                                                 | R R MR MR                                                                           | 4,2                                                                                                            | 15                                                       | MR                                                              |
| 9004                                     | 2               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 5,8                                                  | 4,5                                                 | 7,0                                                 | MS S MR S                                                                           | 6,0                                                                                                            | 25                                                       | MS                                                              |
| 10095                                    | 6               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 6,4                                                  | 5,0                                                 | 5,3                                                 | MS S MS S                                                                           | 7,1                                                                                                            | 20                                                       | MR*                                                             |
| 11162                                    | 6               | 5,1                                                                                                                                                                                                | 6,0                                                  | 6,0                                                 | 6,0                                                 | MS S S S                                                                            | 6,0                                                                                                            | 20                                                       | MR*                                                             |
| 11189                                    | 6               | 5,1                                                                                                                                                                                                | 7,2                                                  | 4,5                                                 | 5,0                                                 | MS S MR MS                                                                          | 7,0                                                                                                            | 20                                                       | MR*                                                             |
| 11777                                    | 2               | 3,0                                                                                                                                                                                                | 6,2                                                  | 5,0                                                 | 6,7                                                 | R S MS S                                                                            | 6,1                                                                                                            | 15                                                       | MR*                                                             |
| 11993                                    | 6               | 7,0                                                                                                                                                                                                | 7,0                                                  | 3,5                                                 | 7,0                                                 | S S R S                                                                             | 7,0                                                                                                            | 15                                                       | MR*                                                             |
| 14936                                    | 6               | 9,0                                                                                                                                                                                                | 5,6                                                  | 6,5                                                 | 6,7                                                 | S S S S                                                                             | 7,0                                                                                                            | 10                                                       | R*                                                              |
| 15185                                    | 6               | 8,0                                                                                                                                                                                                | 6,0                                                  | 4,5                                                 | 6,7                                                 | S S MR MS                                                                           | 4,0                                                                                                            | 10                                                       | R                                                               |
| 15402b                                   | 6               | 6,0                                                                                                                                                                                                | 6,0                                                  | 4,5                                                 | 5,0                                                 | S S MR MS                                                                           | 6,0                                                                                                            | 10                                                       | R*                                                              |
| 15811                                    | 6               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 4,6                                                  | 4,5                                                 | 5,0                                                 | R MR MR MR                                                                          | 3,1                                                                                                            | 15                                                       | MR                                                              |
| 15812                                    | 6               | 7,2                                                                                                                                                                                                | 4,2                                                  | 4,0                                                 | 5,7                                                 | S MR MR S                                                                           | 4,0                                                                                                            | 15                                                       | MR                                                              |
| 15872                                    | 6               | 7,0                                                                                                                                                                                                | 5,2                                                  | 5,0                                                 | 5,3                                                 | S S MS S                                                                            | 7,0                                                                                                            | 20                                                       | MR*                                                             |
| 18636                                    | 2               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 6,0                                                  | 4,0                                                 | 4,7                                                 | MR S MR MR                                                                          | 6,0                                                                                                            | 20                                                       | MR*                                                             |
| 19979                                    | 2               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 5,8                                                  | 5,0                                                 | 5,0                                                 | MS S MS MS                                                                          | 6,1                                                                                                            | 10                                                       | R*                                                              |
| 20169                                    | 2               | 5,1                                                                                                                                                                                                | 5,6                                                  | 5,5                                                 | 6,3                                                 | MS S S S                                                                            | 7,1                                                                                                            | 15                                                       | MR*                                                             |
| 21472                                    | 6               | 6,3                                                                                                                                                                                                | 5,6                                                  | 6,0                                                 | 6,3                                                 | S S S S                                                                             | 7,0                                                                                                            | 20                                                       | MR*                                                             |
| 21490                                    | 6               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 5,2                                                  | 5,0                                                 | 6,3                                                 | MR S MS S                                                                           | 7,0                                                                                                            | 20                                                       | MR*                                                             |

Таблица 6. Продолжение

Table 6. Continued

| № по каталогу ВИР /<br>VIR catalogue No. | Рядность / Rows | Среднее значение типа реакции проростков на заражение изолятами <i>B. sorokiniana</i> , балл / Mean value of the type of seedling response to infection with <i>B. sorokiniana</i> isolates, score |                                                      |                                                     |                                                     |                                                                                     | Взрослая устойчивость / Adult resistance                                                                       |                                                          |                                                                 |
|------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|                                          |                 | патотип 0 (1 изолят) /<br>pathotype 0 (1 isolate)                                                                                                                                                  | патотип 1 (5 изолятов) /<br>pathotype 1 (5 isolates) | патотип 3 (2 изолята) /<br>pathotype 3 (2 isolates) | патотип 7 (3 изолята) /<br>pathotype 7 (3 isolates) | Характеристика устойчивости проростков /<br>Characterization of seedling resistance | Тип реакции на заражение изолятом Ch3 (патотип 1), балл / Type of response to isolate Ch3 (pathotype 1), score | Развитие болезни, % /<br>Disease severity development, % | Характеристика устойчивости /<br>Characterization of resistance |
| Местные образцы                          |                 |                                                                                                                                                                                                    |                                                      |                                                     |                                                     |                                                                                     |                                                                                                                |                                                          |                                                                 |
| 21578                                    | 6               | 2,0                                                                                                                                                                                                | 5,2                                                  | 4,5                                                 | 6,3                                                 | R S MR S                                                                            | 7,1                                                                                                            | 15                                                       | MR*                                                             |
| 21763                                    | 2               | 6,1                                                                                                                                                                                                | 6,0                                                  | 5,5                                                 | 7,3                                                 | S S S S                                                                             | 6,3                                                                                                            | 20                                                       | MR*                                                             |
| 21772                                    | 2               | 6,0                                                                                                                                                                                                | 6,0                                                  | 6,0                                                 | 6,7                                                 | S S S S                                                                             | 6,1                                                                                                            | 15                                                       | MR*                                                             |
| 23874                                    | 6               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 6,0                                                  | 5,5                                                 | 6,3                                                 | MR S S S                                                                            | 6,4                                                                                                            | 35                                                       | MS                                                              |
| 25273                                    | 2               | 6,2                                                                                                                                                                                                | 5,2                                                  | 5,5                                                 | 5,0                                                 | S S S MS                                                                            | 6,2                                                                                                            | 25                                                       | MS                                                              |
| 25274                                    | 2               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 5,6                                                  | 6,0                                                 | 5,3                                                 | MR S S S                                                                            | 6,1                                                                                                            | 20                                                       | MR*                                                             |
| 25283                                    | 6               | 3,0                                                                                                                                                                                                | 5,6                                                  | 5,5                                                 | 6,3                                                 | R S S S                                                                             | 6,0                                                                                                            | 10                                                       | R*                                                              |
| 28232                                    | 6               | 6,2                                                                                                                                                                                                | 5,2                                                  | 5,5                                                 | 5,0                                                 | S S S MS                                                                            | 6,0                                                                                                            | 10                                                       | R*                                                              |
| 29720                                    | 2               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 6,8                                                  | 5,5                                                 | 5,7                                                 | MS S S S                                                                            | 6,3                                                                                                            | 25                                                       | MS                                                              |
| 30008                                    | 6               | 3,0                                                                                                                                                                                                | 6,8                                                  | 6,0                                                 | 6,3                                                 | R S S S                                                                             | 7,0                                                                                                            | 20                                                       | MR*                                                             |
| 30337                                    | 6               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 6,4                                                  | 6,5                                                 | 8,0                                                 | MS S S S                                                                            | 5,0                                                                                                            | 20                                                       | MR                                                              |
| 30351                                    | 6               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 4,0                                                  | 5,5                                                 | 4,3                                                 | MR MR S MR                                                                          | 4,0                                                                                                            | 15                                                       | MR                                                              |
| Сорт/линия                               |                 |                                                                                                                                                                                                    |                                                      |                                                     |                                                     |                                                                                     |                                                                                                                |                                                          |                                                                 |
| NDB 112                                  | 6               | 2,0                                                                                                                                                                                                | 2,4                                                  | 4,0                                                 | 5,1                                                 | R R MR MR                                                                           | 4,0                                                                                                            | 10                                                       | R                                                               |
| 3267                                     | 6               | 6,0                                                                                                                                                                                                | 6,6                                                  | 6,0                                                 | 7,3                                                 | S S S S                                                                             | 4,3                                                                                                            | 25                                                       | MS                                                              |
| 5208                                     | 2               | 6,4                                                                                                                                                                                                | 7,0                                                  | 6,5                                                 | 7,7                                                 | S S S S                                                                             | 3,4                                                                                                            | 35                                                       | MS                                                              |
| 5502                                     | 6               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 4,6                                                  | 6,0                                                 | 4,7                                                 | MS MR S MR                                                                          | 2,0                                                                                                            | 25                                                       | MR                                                              |
| 11025                                    | 6               | 5,1                                                                                                                                                                                                | 6,8                                                  | 4,5                                                 | 5,3                                                 | MS S MR S                                                                           | 6,1                                                                                                            | 20                                                       | MR*                                                             |
| 11139                                    | 6               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 6,6                                                  | 5,5                                                 | 6,3                                                 | MR S S S                                                                            | 7,0                                                                                                            | 20                                                       | MR*                                                             |
| 15355                                    | 6               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 6,8                                                  | 5,5                                                 | 6,3                                                 | MR S S S                                                                            | 7,0                                                                                                            | 15                                                       | MR*                                                             |
| 17262                                    | 2               | 2,0                                                                                                                                                                                                | 2,6                                                  | 2,5                                                 | 3,0                                                 | R R R R                                                                             | 6,1                                                                                                            | 5                                                        | R*                                                              |
| 18269                                    | 6               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 5,4                                                  | 5,5                                                 | 5,7                                                 | MR S S S                                                                            | 7,0                                                                                                            | 20                                                       | MR*                                                             |
| 18505                                    | 6               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 5,6                                                  | 4,5                                                 | 5,3                                                 | MR S MR S                                                                           | 7,0                                                                                                            | 20                                                       | MR*                                                             |
| 18523b                                   | 6               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 4,8                                                  | 3,5                                                 | 4,0                                                 | MS MR R MR                                                                          | 6,3                                                                                                            | 30                                                       | MS                                                              |
| 18716                                    | 6               | 3,0                                                                                                                                                                                                | 4,8                                                  | 4,0                                                 | 5,0                                                 | R MR MR MR                                                                          | 7,0                                                                                                            | 10                                                       | R*                                                              |
| 18755                                    | 6               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 4,6                                                  | 4,5                                                 | 5,7                                                 | MR MR MR S                                                                          | 7,2                                                                                                            | 25                                                       | MS                                                              |
| 18760a                                   | 6               | 5,2                                                                                                                                                                                                | 7,0                                                  | 5,0                                                 | 5,3                                                 | S S MS MS                                                                           | 7,0                                                                                                            | 15                                                       | MR*                                                             |
| 18760b                                   | 2               | 8,1                                                                                                                                                                                                | 5,4                                                  | 7,0                                                 | 7,7                                                 | S S S S                                                                             | 7,1                                                                                                            | 15                                                       | MR*                                                             |

Таблица 6. Окончание

Table 6. The end

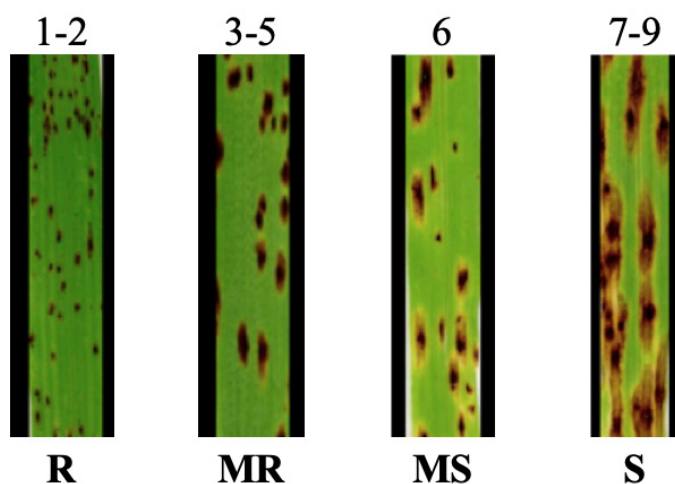
| № по каталогу ВИР /<br>VIR catalogue No. | Рядность / Rows | Среднее значение типа реакции проростков на заражение изолятами <i>B. sorokiniana</i> , балл / Mean value of the type of seedling response to infection with <i>B. sorokiniana</i> isolates, score |                                                         |                                                     |                                                     |                                                                                              | Взрослая устойчивость / Adult resistance                                                                                      |                                                             |                                                                       |
|------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|                                          |                 | патотип 0 (1 изолят) /<br>pathotype 0 (1 isolate)                                                                                                                                                  | патотип 1<br>(5 изолятов) /<br>pathotype 1 (5 isolates) | патотип 3 (2 изолята) /<br>pathotype 3 (2 isolates) | патотип 7 (3 изолята) /<br>pathotype 7 (3 isolates) | Характеристика<br>устойчивости<br>проростков /<br>Characterization of<br>seedling resistance | Тип реакции на<br>заражение изолятом<br>Ch3 (патотип 1),<br>балл / Type of<br>response to isolate Ch3<br>(pathotype 1), score | Развитие болезни, % /<br>Disease severity<br>development, % | Характеристика<br>устойчивости /<br>Characterization of<br>resistance |
| Сорт/линия                               |                 |                                                                                                                                                                                                    |                                                         |                                                     |                                                     |                                                                                              |                                                                                                                               |                                                             |                                                                       |
| 19275                                    | 6               | 6,0                                                                                                                                                                                                | 6,0                                                     | 4,5                                                 | 5,0                                                 | S S MR MS                                                                                    | 6.2                                                                                                                           | 20                                                          | MR*                                                                   |
| 19304                                    | 6               | 5,1                                                                                                                                                                                                | 5,4                                                     | 5,0                                                 | 5,3                                                 | MS S MS S                                                                                    | 6.1                                                                                                                           | 20                                                          | MR*                                                                   |
| 19643                                    | 6               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 6,0                                                     | 5,5                                                 | 6,3                                                 | MS S S S                                                                                     | 7.0                                                                                                                           | 15                                                          | MR*                                                                   |
| 19646                                    | 6               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 4,8                                                     | 5,0                                                 | 6,3                                                 | MS MR MS S                                                                                   | 7.1                                                                                                                           | 30                                                          | MS                                                                    |
| 20277a                                   | 6               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 5,4                                                     | 5,0                                                 | 5,0                                                 | MR S MS MS                                                                                   | 7.0                                                                                                                           | 15                                                          | MR*                                                                   |
| 20277b                                   | 6               | 5,2                                                                                                                                                                                                | 5,8                                                     | 4,0                                                 | 4,3                                                 | S S MR MR                                                                                    | 7.1                                                                                                                           | 15                                                          | MR*                                                                   |
| 20497                                    | 6               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 6,2                                                     | 6,0                                                 | 6,0                                                 | MS S S S                                                                                     | 8.2                                                                                                                           | 20                                                          | MR*                                                                   |
| 22022                                    | 2               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 7,0                                                     | 6,0                                                 | 8,0                                                 | MS S S S                                                                                     | 8.1                                                                                                                           | 20                                                          | MR*                                                                   |
| 25078                                    | 6               | 6,2                                                                                                                                                                                                | 5,6                                                     | 5,5                                                 | 6,0                                                 | S S S S                                                                                      | 6.0                                                                                                                           | 10                                                          | R*                                                                    |
| 26959                                    | 6               | 3,2                                                                                                                                                                                                | 3,0                                                     | 4,5                                                 | 5,1                                                 | R R MR MR                                                                                    | 5.1                                                                                                                           | 20                                                          | MR                                                                    |
| 28664                                    | 6               | 5,1                                                                                                                                                                                                | 6,0                                                     | 5,0                                                 | 5,7                                                 | MS S MS S                                                                                    | 4.0                                                                                                                           | 15                                                          | MR                                                                    |
| 29192                                    | 6               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 5,0                                                     | 5,0                                                 | 6,7                                                 | MR MS MS S                                                                                   | 6.0                                                                                                                           | 10                                                          | R*                                                                    |
| 29576                                    | 2               | 3,2                                                                                                                                                                                                | 3,4                                                     | 5,5                                                 | 7,0                                                 | R R S S                                                                                      | 5.2                                                                                                                           | 15                                                          | MR                                                                    |
| 29577                                    | 2               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 6,0                                                     | 5,5                                                 | 6,3                                                 | MS S S S                                                                                     | 6.0                                                                                                                           | 20                                                          | MR*                                                                   |
| 29592                                    | 2               | 6,4                                                                                                                                                                                                | 6,8                                                     | 5,0                                                 | 7,0                                                 | S S MS S                                                                                     | 6.3                                                                                                                           | 25                                                          | MS                                                                    |
| 29709                                    | 2               | 3,0                                                                                                                                                                                                | 6,4                                                     | 6,0                                                 | 5,7                                                 | R S S S                                                                                      | 7.1                                                                                                                           | 40                                                          | S                                                                     |
| 29737                                    | 6               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 5,6                                                     | 5,5                                                 | 5,7                                                 | MR S S S                                                                                     | 7.3                                                                                                                           | 25                                                          | MS                                                                    |
| 30029                                    | 6               | 3,0                                                                                                                                                                                                | 6,4                                                     | 5,5                                                 | 4,7                                                 | R S S MR                                                                                     | 6.0                                                                                                                           | 20                                                          | MR*                                                                   |
| 30035                                    | 6               | 4,1                                                                                                                                                                                                | 3,6                                                     | 4,0                                                 | 4,7                                                 | MR R MR MR                                                                                   | 4.2                                                                                                                           | 15                                                          | MR                                                                    |
| 30408                                    | 6               | 5,1                                                                                                                                                                                                | 4,4                                                     | 3,0                                                 | 4,7                                                 | MS MR R MR                                                                                   | 7.0                                                                                                                           | 15                                                          | MR*                                                                   |
| 30453                                    | 2               | 3,0                                                                                                                                                                                                | 6,0                                                     | 5,5                                                 | 5,3                                                 | R S S S                                                                                      | 6.1                                                                                                                           | 20                                                          | MR*                                                                   |
| 30479                                    | 2               | 4,0                                                                                                                                                                                                | 6,0                                                     | 6,0                                                 | 7,0                                                 | R S S S                                                                                      | 6.0                                                                                                                           | 20                                                          | MR*                                                                   |
| 30617                                    | 2               | 5,3                                                                                                                                                                                                | 5,0                                                     | 5,0                                                 | 6,0                                                 | S MS MS S                                                                                    | 6.0                                                                                                                           | 25                                                          | MS                                                                    |
| 30741                                    | 2               | 5,0                                                                                                                                                                                                | 5,6                                                     | 5,5                                                 | 8,0                                                 | MS S S S                                                                                     | 7.3                                                                                                                           | 25                                                          | MS                                                                    |

Примечание: R – устойчивый; MR – среднеустойчивый; MS – средневосприимчивый; S – восприимчивый; R\* и MR\* – отнесены к классу устойчивых и среднеустойчивых по развитию болезни в %, несмотря на тип реакции взрослых растений 6–8 баллов

Note: R – resistance; MR – moderate resistance; MS – moderate susceptibility; S – susceptibility; R\* and MR\* – categorized as resistance or moderate resistance in the context of disease severity development (%), despite the type of response in adult plants ranging from 6 to 8

**Таблица 7.** Значения корреляции вирулентности изолятов *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker к набору из 100 генотипов ячменя**Table 7.** Virulence correlation values for *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker isolates on a set of 100 barley genotypes

| Изоляты <i>B. sorokiniana</i> / <i>B. sorokiniana</i> isolates |             |       |       |      |      |       |        |       |       |             |
|----------------------------------------------------------------|-------------|-------|-------|------|------|-------|--------|-------|-------|-------------|
|                                                                | VCH31       | Ch3   | Br13  | Br18 | Cz29 | Can1  | L1     | O18.2 | O19.3 | ЭСИ 215 2.8 |
| Ch3                                                            | -0,02       |       |       |      |      |       |        |       |       |             |
| Br13                                                           | 0,01        | 0,24  |       |      |      |       |        |       |       |             |
| Br18                                                           | <b>0,09</b> | 0,19  | 0,16  |      |      |       |        |       |       |             |
| Cz29                                                           | 0,13        | 0,09  | 0,19  | 0,18 |      |       |        |       |       |             |
| Can1                                                           | 0,07        | -0,21 | -0,07 | 0,03 | 0,22 |       |        |       |       |             |
| L1                                                             | 0,58        | 0,14  | 0,09  | 0,09 | 0,24 | 0,20  |        |       |       |             |
| O18.2                                                          | 0,33        | 0,24  | 0,31  | 0,28 | 0,11 | -0,12 | 0,21   |       |       |             |
| O19.3                                                          | 0,41        | 0,14  | 0,36  | 0,19 | 0,13 | -0,06 | 0,22   | 0,86  |       |             |
| ЭСИ 215 2.8                                                    | 0,29        | 0,06  | 0,35  | 0,23 | 0,16 | -0,09 | -0,003 | 0,68  | 0,67  |             |
| КСИ 33 1.1                                                     | 0,10        | 0,10  | 0,17  | 0,14 | 0,32 | 0,32  | 0,13   | 0,22  | 0,16  | 0,29        |

**Рис. 1.** Тип реакции флагового листа растений ячменя на инокуляцию грибом *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (ориг.):

R – устойчивый; MR – среднеустойчивый; MS – средневосприимчивый; S – восприимчивый

**Fig. 1.** Types of response to *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (orig.) on the flag leaf of barley plants:

R – resistance; MR – moderate resistance; MS – moderate susceptibility; S – susceptibility

получены для двух изолятов из Омской области O18.2 и O19.3 – 0,86. При попарном сравнении вирулентности изолята из Канады Can1 с другими изолятами отмечены отрицательные значения коэффициентов корреляции, что свидетельствует о значительных различиях реакции генотипов ячменя к патотипам 0, 1 и 3, по сравнению с патотипом 7.

Большинство изучаемых образцов (25–45%) имели промежуточный тип реакции (балл 5) на заражение всеми изолятами (рис. 2).

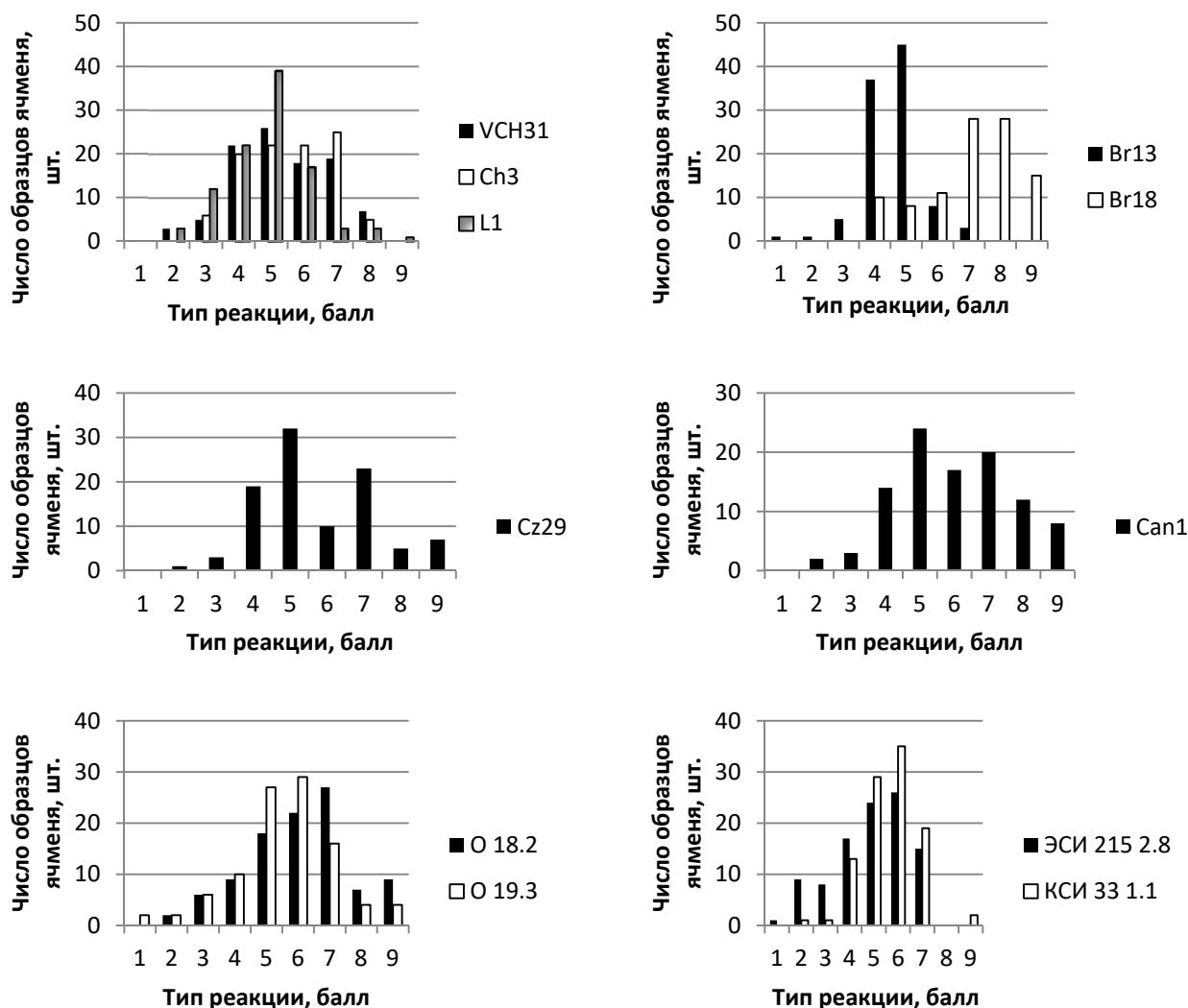
К патотипу 7 (изоляты Cz29, Can1 и O18.2) высокоустойчивые сорта и образцы ячменя (балл 1) не выявлены (см. рис. 2).

Наиболее высокой агрессивностью отличался изолят из Беларуси Br18 (патотип 1), к которому отмечено

наибольшее число восприимчивых образцов (баллы 8–9) и наименьшее – с промежуточным типом реакции (балл 5) (см. рис. 2). Другой изолят из Беларуси Br13 (патотип 3), наоборот, отличался тем, что реакция наибольшего числа генотипов ячменя соответствовала промежуточной устойчивости (см. рис. 2).

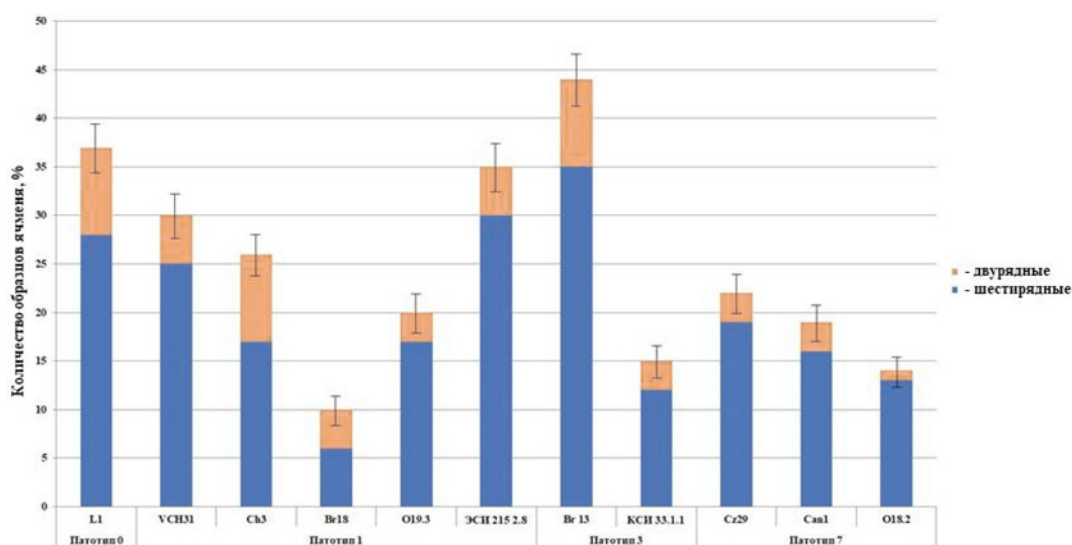
Изоляты *B. sorokiniana*, отнесенные к одному и тому же патотипу, проявили различный спектр вирулентности к изучаемому набору генотипов ячменя (см. табл. 4, 7; см. рис. 2, 3), что свидетельствует о наличии большего числа патотипов у гриба, чем описано в работе M. Valjavec-Gratian и B. J. Steffenson (1997a).

Выявлено 37 генотипов ячменя, устойчивых к изоляту L1, относящемуся к патотипу 0; 6 – ко всем изолятам патотипа 1 (к-30035, к-17262, к-8960b, к-29576, к-26959



**Рис. 2.** Распределение образцов ячменя по типам реакции на инокуляцию проростков изолятами *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker. Изоляты сгруппированы по происхождению (см. табл. 3)

**Fig. 2.** Frequency distribution of responses of barley seedlings to inoculations with *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker isolates grouped according to their origin (see Table 3)



**Рис. 3.** Количество устойчивых генотипов ячменя (баллы 1–4) к четырем патотипам *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker

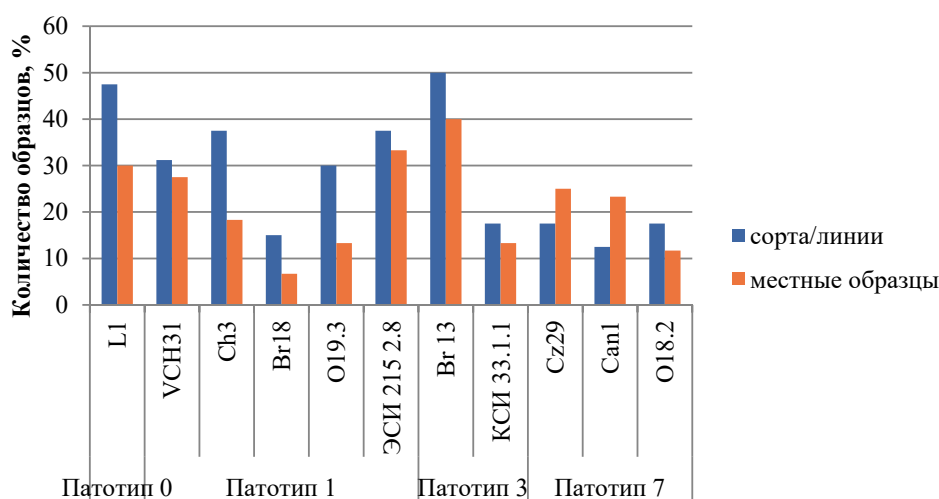
**Fig. 3.** Percentage of barley genotypes resistant (scores 1–4) to four pathotypes of *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker

и NDB 112); 9 – к патотипу 3 (к-4071, к-8721b, к-11993, к-18636, к-17262, к-18523b, к-20277b, к-30408 и NDB 112); 2 – к патотипу 7 (к-4355, к-5470) (см. табл. 6). Среднее количество устойчивых генотипов ячменя к пяти изолятам *B. sorokiniana* патотипа 1 составило 24,2%, к двум изолятам патотипа 3 – 29,5% и к трем изолятам патотипа 7 – 18,3% (см. рис. 3).

Оценка ювенильной устойчивости большого числа образцов ячменя (1480) из коллекции United States Department of Agriculture (USDA) к одному изоляту *B. sorokiniana* ND85F, отнесенному к патотипу 1, позволила выявить 24,5% устойчивых генотипов (Wang et al., 2017), что согласуется с нашими данными (24,2%). Однако к этому же изоляту в коллекции из 3072 образцов ячме-

ность в фазе проростков к этому изоляту патогена, по-видимому, являются носителями других генов, контролирующих проростковую устойчивость к *B. sorokiniana*. К их числу относятся 18 образцов ячменя (см. табл. 6).

К патотипу 1 (изоляты Ch3 и O19.3) количество устойчивых сортов значительно превышает количество устойчивых образцов из центров генетического разнообразия (рис. 4). Это может быть связано с тем, что в селекции длительное время использовали доноры гена *Rcs5*, детерминирующего длительную устойчивость к темно-бурой пятнистости, который был эффективен к повсеместно наиболее распространенному патотипу 1.



**Рис. 4.** Количество устойчивых сортов и аборигенных (местных) образцов ячменя к различным изолятам *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker

**Fig. 4.** Percentage of barley cultivars and landraces resistant to different isolates of *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker

ня, используемых в селекционных программах, примерно половина были отнесены к устойчивым и среднеустойчивым, что, по-видимому, связано с предпочтительным использованием в селекции устойчивых к темно-бурой пятнистости генотипов ячменя (Zhou, Steffenson, 2013).

Среди 2062 образцов из коллекции USDA-NSGC было выявлено 40 генотипов ячменя (1,9%) с ювенильной устойчивостью к патотипу 7 *B. sorokiniana*, 24 из которых отличались также устойчивостью взрослых растений (Leng et al., 2016). Наши данные свидетельствуют, что к патотипу 7 выявлено наименьшее число устойчивых образцов (18,3%) по сравнению с патотипами 0, 1 и 3, но значительно больше, чем в цитируемом исследовании. Это может быть связано с тем, что включенные в экспериментальную выборку сорта и образцы ячменя отличались различным уровнем устойчивости в проведенных ранее исследованиях.

Проростковая устойчивость к большинству изолятов была отмечена у 10 образцов: к-4355, к-30035, к-17262 (патотипы 0, 1, 3, 7), к-8960b, к-15811, к-26959 (патотипы 0, 1, 3), к-30351, к-18523b (патотипы 1, 3, 7), к-29576 (патотипы 0, 1) и к-15812 (патотипы 1, 3). Устойчивые ко всем изолятам образцы не выявлены.

Патотип 7 (изолят Can1) отличался вирулентностью к линии NDB 112, защищенной геном *Rcs5*. В связи с этим сорта и образцы ячменя, проявившие устойчи-

примерно одинаковое количество образцов и сортов были устойчивы к патотипу 3. К патотипу 7 количество устойчивых образцов из центров генетического разнообразия было выше, чем количество сортов, особенно к изоляту из Канады (Can1). Это также можно объяснить тем, что сорта, защищенные геном *Rcs5*, оказались в группе восприимчивых при инокуляции изолятами патотипа 7 (см. рис. 4).

#### Оценка взрослой устойчивости

По результатам оценки в поле сорта и образцы ячменя разделили на четыре класса: R – высокоустойчивый (1–10% развитие болезни); MR – умеренно устойчивый (11–20%); MS – умеренно восприимчивый (21–39%) и S – восприимчивый (40–80%). Данные приведены в таблице 6.

Следует отметить, что тип реакции на флаговом листе, оцененный баллом 6 и выше, не всегда соответствовал сильному развитию болезни в процентах. У 56 генотипов тип реакции флагового и второго сверху листа на заражение *B. sorokiniana* в поле был оценен от 5 до 7 баллов, однако развитие темно-бурой пятнистости не превышало 20%, поэтому их охарактеризовали как устойчивые и умеренно устойчивые (см. табл. 6). Два образца ячменя (к-3108, к-4355) и сорт из Индии 'Naushera' (к-5502) показали тип реакции «балл 2» на заражение изолятом Ch3 (патотип 1), а развитие болезни составило 25–30%,

и их также отнесли к классу умеренно устойчивых (см. табл. 6).

Известно, что двурядный ячмень в целом является восприимчивым к *B. sorokiniana* (Ameen et al., 2020). В наших исследованиях только один двурядный генотип, сорт 'Spratt' (к-17262), показал высокий уровень устойчивости к *B. sorokiniana* как в фазе проростков, так и взрослых растений. Среди шестирядных ячменей выделились по устойчивости пять образцов: из Китая (к-15811), Турции (к-8960b), Эфиопии (к-8721b), Канады (к-4355) и Кипра (к-5470), а также сорта 'Fort' (к-18505), 'Ogalitsu' (к-18716), 'Morex' (к-26959), 'Excel' (к-30035) и селекционная линия NDB 112.

По результатам проведенных полевых и лабораторных испытаний 4 образца из Турции (к-6816, к-6879, к-6880, к-7751) показали высокую устойчивость взрослых растений (до 4-х баллов), но ко всем изученным изолятам на стадии проростков были восприимчивы. У сорта из Великобритании 'Spratt' ювенильная устойчивость с типом реакции до пяти баллов отмечена ко всем изолятам *B. sorokiniana*, а на взрослых растениях в поле тип реакции составил 6 и выше, тогда как развитие болезни не превышало 5%.

Причиной массового развития болезней, вызываемых гемибактериальными патогенами, являются не только возможные нарушения технологии выращивания культуры (несоблюдение севооборота, поверхностная обработка почвы и др.), но и доминирование в структуре посевных площадей восприимчивых сортов. Среди сортов ячменя, зарегистрированных в Государственном реестре селекционных достижений, устойчивые к возбудителю темно-бурой пятнистости отсутствуют (Lashina, Afanasenko, 2019). В Соединенных Штатах устойчивость, полученная от шестирядной линии ячменя NDB 112, обеспечивала эффективный контроль темно-бурой пятнистости с конца 1950-х годов. Эта устойчивость была эффективна против патотипов 0, 1 и 2, и линия NDB 112 использовалась в программах селекции шестирядного пивоваренного ячменя (Valjavec-Gratian, Steffenson, 1997a). С использованием этого донора были созданы сорта 'Morex', 'Dickson' и др. (Ameen et al., 2020). В. J. Steffenson с соавторами (Steffenson et al., 1996) в дигаметоидной популяции от скрещивания 'Steptoe' × 'Morex', с использованием изолята ND85F (патотип 1) идентифицировали главный ген на хромосоме 7Н, эффективный на стадии проростков и взрослых растений, который был обозначен как *Rcs5*. На сегодняшний день длительная устойчивость, детерминированная геном *Rcs5*, была преодолена с появлением нового патотипа 7, идентифицированного Y. Leng с соавторами (Leng et al., 2016).

В наших исследованиях патотип 7 (изолят Can1) отличался вирулентностью к линии NDB 112, защищенной геном *Rcs5*. В связи с этим сорта и образцы ячменя, проявившие устойчивость в фазе проростков к этому изоляту патогена, по-видимому, являются носителями других генов, контролирующих проростковую устойчивость к *B. sorokiniana*. К их числу относятся 4 сорта: 'Tifang' (к-18760a), 'Musashinomugi' (20277a, 20277b), 'Excel' и 'Virden' (к-30408), а также 7 образцов ячменя (к-4355, к-5470, к-8654, к-8721b, к-8726, к-18636, к-30351).

К настоящему времени путем картирования в дигаметоидных дву-родительских популяциях (Afanasenko et al., 2015) и ассоциативного картирования (GWAS) (Bykova et al., 2017; Gyawali et al., 2018; Novakazi et al., 2020) «главные» гены и локусы количественной устойчивости (QTL) к *B. sorokiniana* были локализованы на

всех хромосомах ячменя. Идентифицированы 4 «главных» гена устойчивости к *B. sorokiniana*: *Rcs 6/Scs 6* (хромосома 1Н), *Rbs7* (6Н), *QRcs-6HP7* (6Н) и *Rcs 5* (7Н) (Drader et al., 2009; Wang et al., 2017; Leng et al., 2018; Wang et al., 2019).

Использование патотипа 1 и патотипа 7 *B. sorokiniana* при ассоциативном картировании позволило определить разные локусы, контролирующие устойчивость ячменя: на хромосоме 1Н к патотипу 1 в интервале 42,01–43,62 сМ, а к патотипу 7 – в позиции 142,74 сМ; на хромосоме 3Н – к патотипу 1 в позиции 25,27 сМ, к патотипу 7 – 66,15 сМ; на хромосоме 6Н выявлен локус в интервале 16,16–16,26 сМ, контролирующий устойчивость только к патотипу 7 (Wang et al., 2017). Таким образом, показана различная детерминация устойчивости к этим двум патотипам *B. sorokiniana*.

### Заключение

В результате наших исследований выявлено тридцать семь генотипов ячменя, устойчивых к изоляту L1, относящемуся к патотипу 0; шесть генотипов показали ювенильную и взрослую устойчивость ко всем изолятам патотипа 1: к-8960b, 'Excel' (к-30035), 'Spratt' (к-17262), 'Bowman' (к-29576), 'Morex' (к-26959) и NDB 112; ювенильную устойчивость показали девять генотипов к изолятам патотипа 3: к-4071, к-8721b, к-15812, к-18636, 'Spratt', 'Ogalitsu' (к-18716), 'Musashinomugi' (20277a, 20277b), 'Excel' и 'Virden' (к-30408) и два генотипа – к трем изолятам патотипа 7: к-4355 и к-5470.

Выявленные источники устойчивости к трем патотипам *B. sorokiniana* могут послужить основой создания коллекции доноров устойчивости к патогену и их широкому экологическому испытанию, особенно в эпидемиологически опасных зонах. Особенный интерес для селекции представляют сорта и образцы ячменя, устойчивые к патотипу 7, который преодолел ген длительной устойчивости *Rcs5*, хотя до настоящего времени нет сообщений о потере устойчивости сортов ячменя, защищенных этим геном на европейском континенте.

### References / Литература

- Afanasenko O.S., Koziakov A.V., Hedlay P.E., Lashina N.M., Anisimova A.V., Manninen O. et al. Mapping of the loci controlling the resistance to *Pyrenophora teres* f. *teres* and *Cochliobolus sativus* in two double haploid barley populations. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2015;5(3):242-253. DOI: 10.1134/s2079059715030028
- Ameen G., Solanki S., Drader T., Sager-Bittara L., Steffenson B., Kleinhofs A. et al. *rsc5*-mediated spot blotch resistance in barley is conferred by wall-associated kinases that resist pathogen manipulation *bioRxiv*. [preprint] 2020. DOI: 10.1101/2020.04.13.040238
- Banu S.P., Shaeed M.A., Kazi B.A. Occurrence and significance of spot blotch in Bangladesh. In: E. Duveiller, H.J. Dubin, J. Reeves, A. McNab (eds): *Helminthosporium Blights of Wheat: Spot Blotch and Tan Spot*. Mexico: CIMMYT; 1998. p.63-66.
- Bashyal B.M., Chand R., Kushwaha C., Joshi A.K., Kumar S. *Bipolaris sorokiniana* of barley: infection behaviour in different members of Poaceae. *Indian Phytopathology*. 2011;64(1):28-31.
- BBCH scale of cereal growth. Phenological phases of growth and BBCH scales denoting phenophases for cereals (wheat – *Triticum* sp. L., barley – *Hordeum vulgare* L., oats –

- Avena sativa* L., rye – *Secale cereale* L.). Original translation by Agro Internet Expert; 2015. [in Russian] (ВВСН шкала развития злаковых. Фенологические фазы роста и обозначающие фенофазы коды ВВСН шкалы для зерновых (пшеница – *Triticum* sp. L., ячмень – *Hordeum vulgare* L., овес – *Avena sativa* L., рожь – *Secale cereale* L.). Оригинальный перевод Agro Internet Expert; 2015). URL: <https://fermer.ru/files/v2/forum/182746/vvsnshkalarazvitiyazernovyh.pdf> [дата обращения: 07.06.2024].
- Bykova I.V., Lashina N.M., Efimov V.M., Afanasenko O.S., Khlestkina E.K. Identification of 50 K Illumina-chip SNPs associated with resistance to spot blotch in barley. *BMC Plant Biology*. 2017;17 Suppl 2:250. DOI: 10.1186/s12870-017-1198-9
- Chand R., Joshi A.K. Foliar blight: solved and unsolved problems. In: A.K. Joshi, R. Chand, B. Arun, G. Singh (eds). *A Compendium of Lectures on Wheat Improvement in Eastern and Warmer Regions of India: Conventional and Non-Conventional Approaches*. Varanasi: Banaras Hindu University; 2004. p.58-69.
- Drader T., Johnson K., Brueggeman R., Kudrna D., Kleinhofs A. Genetic and physical mapping of a high recombination region on chromosome 7H (1) in barley. *Theoretical and Applied Genetics*. 2009;118(4):811-820. DOI: 10.1007/s00122-008-0941-x
- FAO Statistical Yearbook. World Food and Agriculture 2021. Rome: FAO; 2021. Available from: <https://doi.org/10.4060/cb4477en> [accessed Jun. 07, 2024].
- Fetch Jr. T.G., Steffenson B.J. Rating scales for assessing infection responses of barley infected with *Cochliobolus sativus*. *Plant Disease*. 1999;83(3):213-217. DOI: 10.1094/PDIS.1999.83.3.213
- Ghazvini H., Tekauz A. Host-pathogen interactions among barley genotypes and *Bipolaris sorokiniana* isolates. *Plant Disease*. 2008;92(2):225-233. DOI: 10.1094/PDIS-92-2-0225
- Ghazvini H., Tekauz A. Molecular diversity in the barley pathogen *Bipolaris sorokiniana* (*Cochliobolus sativus*). *Australasian Plant Pathology*. 2012;41(3):283-293. DOI:10.1007/s13313-012-0131-9
- Giraldo P., Benavente E., Manzano-Agugliaro F., Gimenez E.J.A. Worldwide research trends on wheat and barley: A bibliometric comparative analysis. *Agronomy*. 2019;9(7):352. DOI: 10.3390/agronomy9070352
- Gupta P.K., Chand R., Vasistha N.K., Pandey S.P., Kumar U., Mishra V.K. et al. Spot blotch disease of wheat: the current status of research on genetics and breeding. *Plant Pathology*. 2018;67(3):508-531. DOI: 10.1111/ppa.12781
- Gyawali S., Chao S., Vaish S.S., Singh S.P., Rehman S., Vishwakarma S.R. et al. Genome wide association studies (GWAS) of spot blotch resistance at the seedling and the adult plant stages in a collection of spring barley. *Molecular Breeding*. 2018;38(5):62. DOI: 10.1007/s11032-018-0815-0
- Lashina N.M. Development of double haploid barley lines as source material for breeding cultivars with complex resistance to diseases (Sozdaniye digaploidov yachmenya kak iskhodnogo materiala dlya selektsii sortov s grupповой ustoichivostyu k boleznyam) [dissertation]. St. Petersburg: VIZR; 2015. [in Russian] (Лашина Н.М. Создание дигаплоидов ячменя как исходного материала для селекции сортов с групповой устойчивостью к болезням: дис. ... канд. биол. наук. Санкт-Петербург: ВИЗР; 2015).
- Lashina N.M., Afanasenko O.S. Susceptibility to leaf blights of commercial barley cultivars in North-Western Region of Russia. *Plant Protection News*. 2019;2(100):23-28. [in Russian] (Лашина Н.М., Афанасенко О.С. Поражаемость пятнистостями сортов ячменя, включенных в государственный реестр селекционных достижений и находящихся на сортоиспытаниях в условиях Северо-Запада Российской Федерации. *Вестник защиты растений*. 2019;2(100):23-28). DOI: 10.31993/2308-6459-2019-2(100)-23-28
- Leng Y., Wang R., Ali S., Zhao M., Zhong S. Sources and genetics of spot blotch resistance to a new pathotype of *Cochliobolus sativus* in the USDA National Small Grains Collection. *Plant Disease*. 2016;100(10):1988-1993. DOI: 10.1094/PDIS-02-16-0152-RE
- Leng Y., Zhao M., Wang R., Steffenson B.J., Brueggeman R.S., Zhong S. The gene conferring susceptibility to spot blotch caused by *Cochliobolus sativus* is located at the Mla locus in barley cultivar Bowman. *Theoretical and Applied Genetics*. 2018;131(7):1531-1539. DOI: 10.1007/s00122-018-3095-5
- Limpert E., Clifeord B., Dreiseitl A., Johnson R., Müller K., Roelfs A. et al. Designation of pathotypes of plant pathogens. *Journal of Phytopathology*. 1994;140(4):359-362. DOI: 10.1111/j.1439-0434.1994.tb00617.x
- Meldrum S.I., Platz G.J., Ogle H.J. Pathotypes of *Cochliobolus sativus* on barley in Australia. *Australasian Plant Pathology*. 2004;33(1):109-114. DOI: 10.1071/AP03088
- Novakazi F., Afanasenko O., Lashina N., Platz G.J., Snowdon R., Loskutov I. et al. Genome-wide association studies in a barley (*Hordeum vulgare*) diversity set reveal a limited number of loci for resistance to spot blotch (*Bipolaris sorokiniana*). *Plant Breeding*. 2020;139(3):521-535. DOI: 10.1111/pbr.12792
- Steffenson B.J., Hayes P.M., Kleinhofs A. Genetics of seedling and adult plant resistance to net blotch (*Pyrenophora teres* f. *teres*) and spot blotch (*Cochliobolus sativus*) in barley. *Theoretical and Applied Genetics*. 1996;92(5):552-558. DOI: 10.1007/BF00224557
- Valjavec-Gratian M., Steffenson B.J. Genetics of virulence in *Cochliobolus sativus* and resistance in barley. *Phytopathology*. 1997a;87(11):1140-1143. DOI: 10.1094/PHYTO.1997.87.11.1140
- Valjavec-Gratian M., Steffenson B.J. Pathotypes of *Cochliobolus sativus* on barley in North Dakota. *Plant Disease*. 1997b;81(11):1275-1278. DOI: 10.1094/PDIS.1997.81.11.1275
- Verma S.K., Chaurasia S.K., Pankaj Y.K., Kumar R. Study on the genetic variability and pathogenicity assessment among isolates of spot blotch causing fungi (*Bipolaris sorokiniana*) in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology Reports*. 2020;25(2):255-267. DOI: 10.1007/s40502-020-00510-y
- Veselova A.V. Results for 2024. Sown areas under cereal and leguminous crops in Russia – general trends (Itogi za 2023 god. Posevnye ploshchadi zernovykh i zernobobovykh kultur v Rossii 0 obshchiye tendentsii). Expert Analytical Center of Agribusiness "AB-Center"; 2023. [in Russian] (Веселова А.В. Итоги за 2023 год. Посевные площади зерновых и зернобобовых культур в России – общие тенденции. Экспертно-аналитический центр агробизнеса «АБ-Центр»; 2023). URL: <https://ab-centre.ru/news/itogi-za-2023-god-posevnye-ploshchadi-zernovykh-i-zernobobovykh-kultur-v-rossii> [дата обращения: 07.06.2024].
- Volkova T.N., Selina I.V., Sozinova M.S. *Bipolaris sorokiniana* and *Epicoccum nigrum*. Changes in mycobiota of barley grain during 2001–2017. *Beer and Beverages*. 2018;(3):62-67. [in Russian] (Волкова Т.Н., Селина И.В., Созинова М.С. Биполярис и эпикокк. Изменения в микобиоте зерна ячменя за 2001–2017 гг. *Пиво и напитки*. 2018;(3):62-67).

- Wang R., Leng Y., Ali S., Wang M., Zhong S. Genome-wide association mapping of spot blotch resistance to three different pathotypes of *Cochliobolus sativus* in the USDA barley core collection. *Molecular Breeding*. 2017;37(4):44. DOI: 10.1007/s11032-017-0626-8
- Wang R., Leng Y., Zhao M., Zhong S. Fine mapping of a dominant gene conferring resistance to spot blotch caused by a new pathotype of *Bipolaris sorokiniana* in barley. *Theoretical and Applied Genetics*. 2019;132(1):41-51. DOI: 10.1007/s00122-018-3192-5
- Wu L., He X., Lozano N., Zhang X., Singh P.K. ToxA, a significant virulence factor involved in wheat spot blotch disease, exists in the Mexican population of *Bipolaris sorokiniana*. *Tropical Plant Pathology*. 2020;46(2):201-206. DOI: 10.1007/s40858-020-00391-4
- Zhou H., Steffenson B. Genome-wide association mapping reveals genetic architecture of durable spot blotch resistance in US barley breeding germplasm. *Molecular Breeding*. 2013;32(1):139-154. DOI: 10.1007/s11032-013-9858-4

### Информация об авторах

**Нина Михайловна Лашина**, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, nlashina@mail.ru, <https://orcid/0000-0003-1419-7134>

**Ольга Сильвестровна Афанасенко**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, olga.s.afan@gmail.com, <https://orcid/0000-0001-7368-0797>

### Information about the authors

**Nina M. Lashina**, Cand. Sci. (Biology), Researcher, All-Russian Research Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, nlashina@mail.ru, <https://orcid/0000-0003-1419-7134>

**Olga S. Afanassenko**, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, All-Russian Research Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, olga.s.afan@gmail.com, <https://orcid/0000-0001-7368-0797>

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 18.06.2024; одобрена после рецензирования 18.07.2024; принята к публикации 04.09.2024. The article was submitted on 18.06.2024; approved after reviewing on 18.07.2024; accepted for publication on 04.09.2024.