



УДК 632.9

DOI: 10.36718/1819-4036-2021-12-3-10

**Елена Николаевна Еськова**

Красноярский государственный аграрный университет, доцент, заведующая кафедрой экологии и природопользования, кандидат биологических наук, доцент, Красноярск, Россия, nikeskov@mail.ru

**Сергей Витальевич Хижняк**

Красноярский государственный аграрный университет, профессор кафедры экологии и природопользования, доктор биологических наук, доцент, Красноярск, Россия, skhizhnyak@yandex.ru

### ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ВОЗБУДИТЕЛЯ ОБЫКНОВЕННОЙ КОРНЕВОЙ ГНИЛИ ЗЕРНОВЫХ *BIPOLARIS SOROKINIANA* К ФУНГИЦИДАМ РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

Цель работы – изучить чувствительность *Bipolaris sorokiniana*, выделенного в Сухобузимском районе Красноярского края, к фунгицидам разного химического состава. Были протестированы следующие фунгициды: Витарос (карбоксин 198 г/л + тирам 198 г/л), Ламадор (протиоконазол 250 г/л + тебуконазол 150 г/л), Оплот (дифеноконазол 90 г/л + тебуконазол 45 г/л), Максим (флудиоксонил 25 г/л) и Виал ТрасТ (тебуконазол 60 г/л + тиабендазол 80 г/л). В качестве показателя антигрибной активности использовали снижение прорастания конидий *B. sorokiniana* в присутствии различных концентраций фунгицидов. Установлено, что максимальную фунгицидную активность в отношении *B. sorokiniana* проявляет препарат Витарос, обеспечивающий 100 % подавление прорастания конидий даже при разведении рабочего раствора в 16 раз. На втором месте по эффективности находится Ламадор, для которого 100 % ингибирующее действие на прорастание конидий сохраняется при разведении рабочего раствора в 2 раза. Фунгицид Максим обеспечивал 100 % подавление прорастания конидий в рабочем растворе, однако терял эффективность при разведении рабочего раствора в 2 раза. Фунгициды Оплот и Виал ТрасТ были неэффективны против *B. sorokiniana*. Прорастание конидий в рабочем растворе составило 64 и 95 % к контролю соответственно. Кривые «доза-эффект» для препаратов Витарос и Ламадор адекватно описываются уравнением Михаэлиса-Ментен (коэффициенты детерминации соответственно 0,992, 0,999 и более 0,999). Кривая «доза-эффект» для препарата Максим адекватно описывается линейным уравнением (коэффициент детерминации 0,982). Результаты исследования показывают, что региональная популяция *B. sorokiniana* устойчива к дифеноконазолу, тебуконазолу и тиабендазолу, но чувствительна к карбоксину, тиразу и протиоконазолу.

**Ключевые слова:** *Bipolaris sorokiniana*, обыкновенная корневая гниль зерновых, фунгициды, чувствительность, Витарос, Ламадор, Оплот, Максим, Виал ТрасТ.

**Elena N. Eskova**

Krasnoyarsk State Agrarian University, Associate Professor, Head of the Department of Ecology and Nature Management, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Krasnoyarsk, Russia, nikeskov@mail.ru

**Sergey V. Khizhnyak**

Krasnoyarsk State Agrarian University, Professor at the Department of Ecology and Nature Management, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Krasnoyarsk, Russia, skhizhnyak@yandex.ru

### SUSCEPTIBILITY OF THE COMMON ROOT ROT CAUSAL AGENT OF CEREALS *BIPOLARIS SOROKINIANA* TO FUNGICIDES OF DIFFERENT CHEMICAL COMPOSITION

The aim of research is to study the susceptibility of *Bipolaris sorokiniana*, isolated in the Sukhobuzimsky District of the Krasnoyarsk Region, to fungicides of different chemical compositions. The following fungicides were tested: Vitaros (carboxin 198 g/l + tyram 198 g/l), Lamador (prothioconazole 250 g/l + tebuconazole 150 g/l), Oplot (difenoconazole 90 g/l + tebuconazole 45 g/l), Maxim (fludioxonil 25 g/l) and Vial TrasT (tebuconazole 60 g/l + thiabendazole 80 g/l). A decrease in the germination of *B. sorokiniana* conidia in the presence of various concentrations of fungicides was used as an indicator of antifungal activity. It was found that the drug Vitaros exhibits the maximum fungicidal activity against *B. sorokiniana*, which provides 100 % suppression of conidia germination even when the working solution is diluted 16 times. In second place in terms of efficiency is Lamador, for which a 100 % inhibitory effect on the germination of conidia is retained when the working solution is diluted by 2 times. Fungicide Maxim provided 100 % suppression of the germination of conidia in the working solution, however, it lost efficiency when the working solution was diluted 2 times. The fungicides Oplot and Vial TrasT were ineffective against *B. sorokiniana*. Germination of conidia in the working solution was 64 and 95 % of the control, respectively. Curves "dose-effect" for Vitaros and Lamador drugs are adequately described by the Michaelis-Menten equation (coefficients of determination, respectively, 0.992, 0.999 and more than 0.999). The dose-effect curve for Maxim is adequately described by a linear equation (coefficient of determination 0.982). The results of the study show that the regional population of *B. sorokiniana* is resistant to difenoconazole, tebuconazole, and thiabendazole, but is sensitive to carboxin, thiram, and prothioconazole.

**Keywords:** *Bipolaris sorokiniana*, common root rot of cereals, fungicides, sensitivity, Vitaros, Lamador, Oplot, Maxim, Vial TrasT.

**Введение.** Возбудитель обыкновенной (гельминтоспориозной) корневой гнили фитопатогенный гриб *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (синонимы – *Helminthosporium sorokinianum* Sacc. 1891, *Helminthosporium sativum* Pammel, C.M. King & Bakke 1910, *Drechslera sorokiniana* (Sacc.) Subram. & B.L. Jain 1966, *Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurib.) Drechsler ex Dastur 1942, *Ophiobolus sativus* S. Ito & Kurib. 1929), относящийся к отделу Ascomycota, классу Dothideomycetes, порядку Pleosporales, семейству Pleosporaceae, является одним из наиболее распространенных и вредоносных возбудителей болезней зерновых культур (в первую очередь – ячменя и пшеницы). Заболевание, вызываемое *B. sorokiniana*, проявляется в виде корневой гнили, листовой пятнистости и (в случае поражения семян) «черного зародыша». Наибольшие потери урожая от данного фитопатогена отмечаются в Северной Америке, Западной и Южной Африке, Западной Австралии, Центральной и Юго-Восточной Азии [1]. На территории бывшего

СССР обыкновенная корневая гниль распространена в центральных районах Нечерноземной зоны и Среднем Поволжье, в Казахстане, Западной и Восточной Сибири, Алтайском крае и на Дальнем Востоке [2–5]. Ежегодные потери урожая от вызываемой *B. sorokiniana* корневой гнили оцениваются в 15–20 %, а в засушливые годы – до 50 % при одновременном ухудшении посевных и потребительских качеств зерна [5]. Наиболее эффективным методом защиты растений от обыкновенной корневой гнили на сегодняшний момент является предпосевное протравливание семян фунгицидными препаратами [6, 7]. Однако в настоящее время наблюдается повсеместный рост резистентности фитопатогенных грибов к применяемым фунгицидам [8–10]. В этой связи необходим постоянный мониторинг чувствительности региональных популяций фитопатогенов к фунгицидам разного химического состава с целью выбора наиболее эффективных препаратов.

**Цель исследования.** Изучение чувствительности *B. sorokiniana*, актуального для Сухо-

бузимского района Красноярского края, к фунгицидам разного химического состава, рекомендованным в качестве протравителей семян для защиты зерновых культур от обыкновенной корневой гнили.

**Задачи:** изучение фунгицидной активности препаратов Витарос, Ламадор, Оплот, Максим и Виал ТрасТ в отношении *B. sorokiniana*; построение кривых «доза-эффект» для препаратов, показавших высокую фунгицидную активность; выявление фунгицидных соединений, к которым *B. sorokiniana* проявляет резистентность.

**Объекты и методы исследования.** Тест-объектом служил моноконидиальный изолят *B. sorokiniana*, выделенный в 2020 г. из корней пораженной корневой гнилью мягкой яровой пшеницы *Triticum aestivum* L. сорта Новосибирская 15 в УНПК «Борский» ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ (Сухобузимский район Красноярского края, Канско-Красноярская лесостепь).

В качестве фунгицидов использовали следующие препараты, рекомендованные в качестве протравителей семян зерновых культур для защиты от комплекса грибных болезней [11], включая гельминтоспориозно-фузариозные корневые гнили: Витарос (действующие вещества карбоксин 198 г/л + тирам 198 г/л), Ламадор (действующие вещества протиокназол 250 г/л + тебуконазол 150 г/л), Оплот (действующие вещества дифеноконазол 90 г/л + тебуконазол 45 г/л), Максим (действующее вещество флудиоксонил 25 г/л) и Виал ТрасТ (действующие вещества тебуконазол 60 г/л + тиабендазол 80 г/л).

Проверку эффективности препаратов осуществляли с помощью теста, основанного на прорастании конидий [12, 13]. Для получения конидий гриба выращивали в течение 14 суток при температуре  $25 \pm 1$  °С на среде Чапека-Докса

следующего состава: сахароза – 20,0 г/л; нитрат натрия – 2,0; фосфат калия двузамещенный – 1,0; сульфат магния – 0,5; хлорид калия – 0,5; сульфат железа – 0,01; агар – 20,0 г/л; рН  $7,3 \pm 0,2$ . Для построения кривых «доза-эффект» использовали препараты в концентрациях, рекомендованных производителями для приготовления рабочих растворов для протравливания семян, а также разведения рабочих растворов в 2, 4, 8, 16 и 32 раза. В качестве индуктора прорастания конидий использовали сахарозу (10 г/л) [14]. Контролем служили конидии *B. sorokiniana* в растворе сахарозы (10 г/л) без добавления фунгицидов. Микроскопию и микрофотосъемку выполняли с помощью микроскопа Микмед-6 (вариант 3), оснащенного цифровой USB-камерой DCM-130 E. Значимость различий между прорастанием конидий в опыте и контроле определяли с помощью точного F-теста для таблиц 2x2. Для построения уравнений регрессии при описании зависимостей «доза-эффект» использовали пакет анализа MS Excel (в случае линейной зависимости) и пакет StatSoft STATISTICA 6.0 (в случае нелинейной зависимости).

**Результаты исследования и их обсуждение.** Прорастание конидий *B. sorokiniana* в контроле составило 69,4 %. Препараты Витарос, Ламадор и Максим в рекомендованных производителем концентрациях полностью подавили прорастание конидий, в то время как рабочий раствор препарата Оплот оказал лишь частичное ингибирующее воздействие, а рабочий раствор препарата Виал ТрасТ вообще не оказал статистически значимого влияния на прорастание конидий гриба (табл.).

При этом в рабочем растворе препарата Виал ТрасТ отмечен парасексуальный процесс (рис. 1).

### Влияние рабочих растворов изучаемых препаратов на прорастание конидий *B. Sorokiniana*

Препарат	Прорастание конидий, % к контролю	Значимость различий с контролем, p
Витарос	0,0	<0,001
Ламадор	0,0	<0,001
Максим	0,0	<0,001
Оплот	64,0	<0,01
Виал ТрасТ	95,0	нет

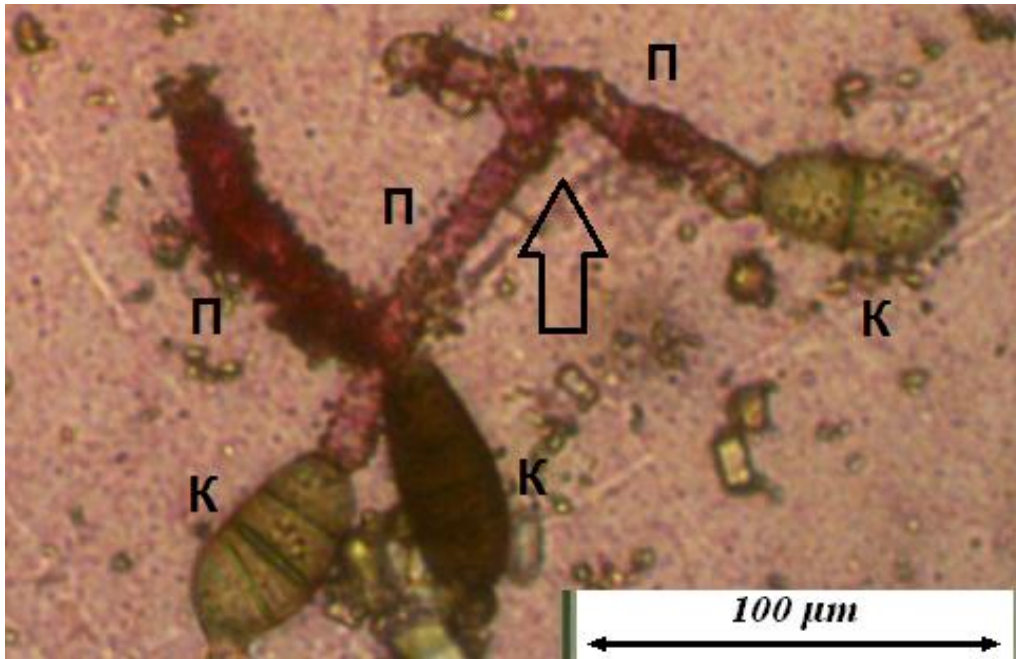


Рис. 1. Прорастание конидий *V. sorokiniana* в рабочем растворе препарата Виал ТрасТ: К – конидии, П – проростковые гифы, стрелкой отмечен парасексуальный процесс. Ширина линейки – 100 мкм

Препарат Витарос обеспечил 100%-е подавление прорастания конидий даже при разведении рабочего раствора в 16 раз, препарат Ламадор – при разведении в 2 раза. Препарат

Максим при разведении рабочего раствора в 2 раза обеспечил лишь частичное подавление прорастания конидий (43,6 % к контролю, значимость различий с контролем  $p < 0,001$ ) (рис. 2).



Рис. 2. Прорастание конидии *V. sorokiniana* в растворе препарата Максим при разведении рабочего раствора в 2 раза: К – конидия, П – проростковая гифа

Препарат Оплот при разведении рабочего раствора в 2 раза не оказал статистически значимого влияния на прорастание конидий

*V. sorokiniana*, длина проростковых гиф не отличалась от контроля (рис. 3).

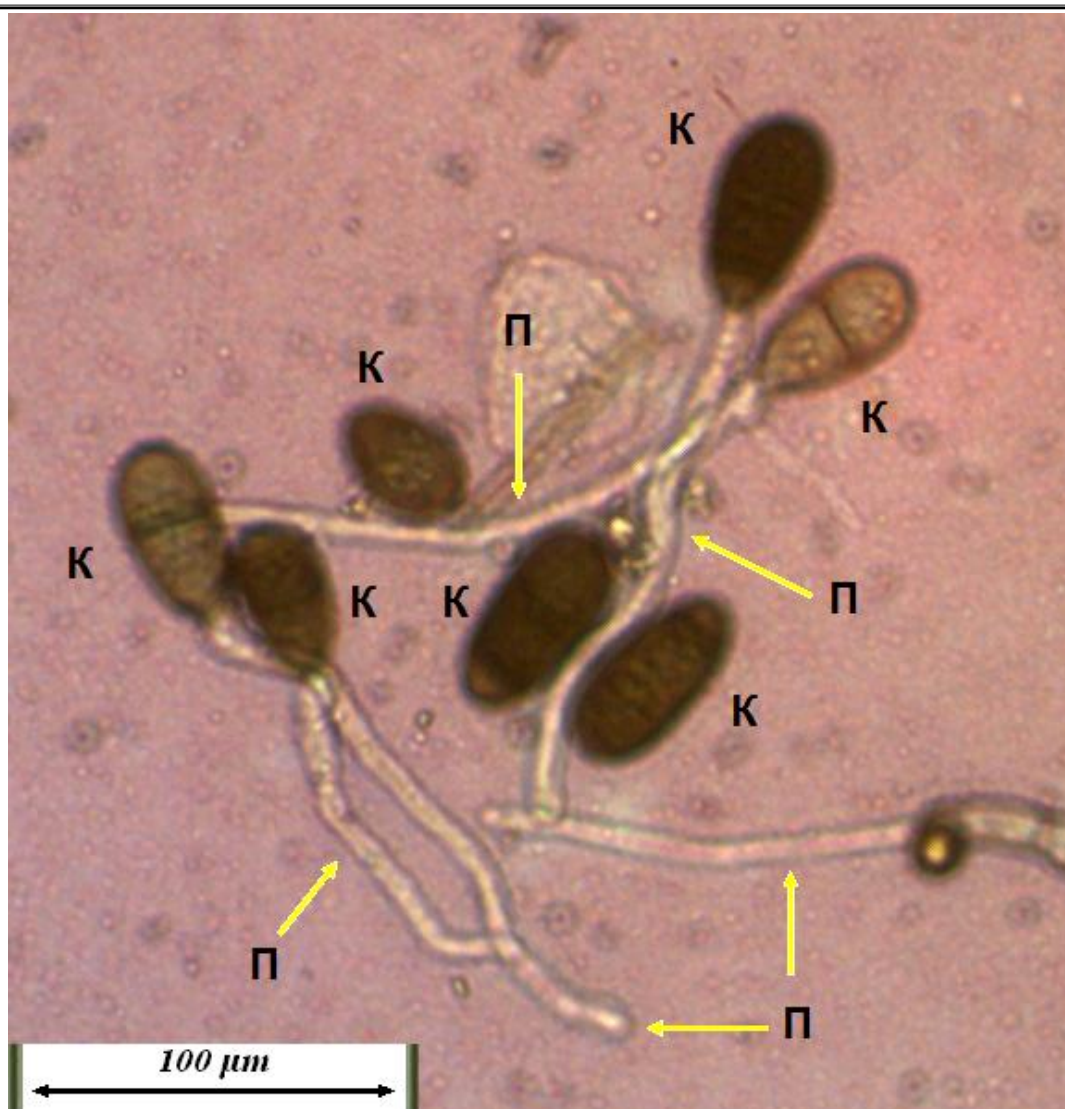


Рис. 3. Прорастание конидий в растворе препарата Оплот при разведении рабочего раствора в 2 раза: К – конидии, П – проростковые гифы

Препарат Витарос обеспечивал 100%-е подавление прорастания конидий *B. sorokiniana* даже при разведении рабочего раствора в 16 раз, и лишь при разведении рабочего раствора в 32 раза в нем было отмечено прорастание конидий (18,0 % к контролю, значимость различий с контролем  $p < 0,001$ ). В препарате Ламадор прорастание конидий отмечено при разведении рабочего раствора в 4 раза (6,0 % к контролю, значимость различий с контролем  $p < 0,001$ ). При разведениях в 8, 16 и 32 раза доля проросших конидий возрастала (соответственно 6,4 %, 14,4 и 24,2 % к контролю), однако при всех разведениях различия с контролем оставались статистически значимыми на уровне  $p < 0,001$ .

Зависимость доли погибших конидий от концентрации препарата и для Витароса, и для Ла-

мадора адекватно описывается уравнением Михаэлиса-Ментен (коэффициенты детерминации  $R^2$  соответственно 0,992 и более 0,999)

$$Y = \frac{Y_{\max} \cdot C}{K_c + C}, \quad (1)$$

где  $Y$  – доля погибших конидий, %;  $Y_{\max}$  – максимально возможная доля погибших конидий, равная 100 % для обоих препаратов;  $C$  – концентрация препарата, % от рабочего раствора;  $K_c$  – концентрация препарата, при которой доля погибших конидий составляет половину от максимально возможной. Теоретические и экспериментальные зависимости эффекта от концентрации препаратов приведены на рисунках 4 и 5.

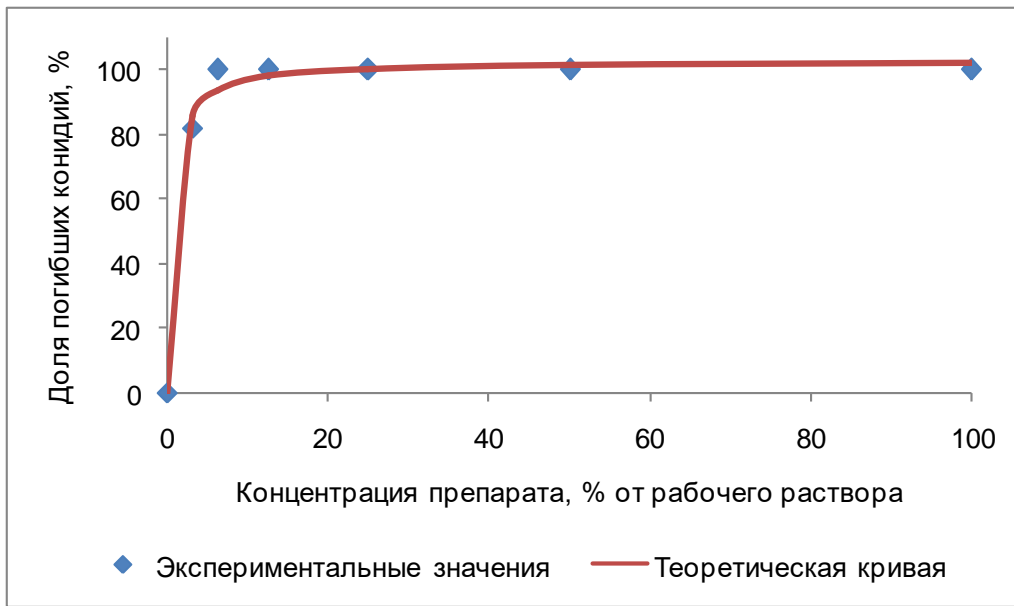


Рис. 4. Экспериментальные и теоретические (рассчитанные по уравнению (1)) значения доли погибших конидий в зависимости от концентрации препарата Витарос

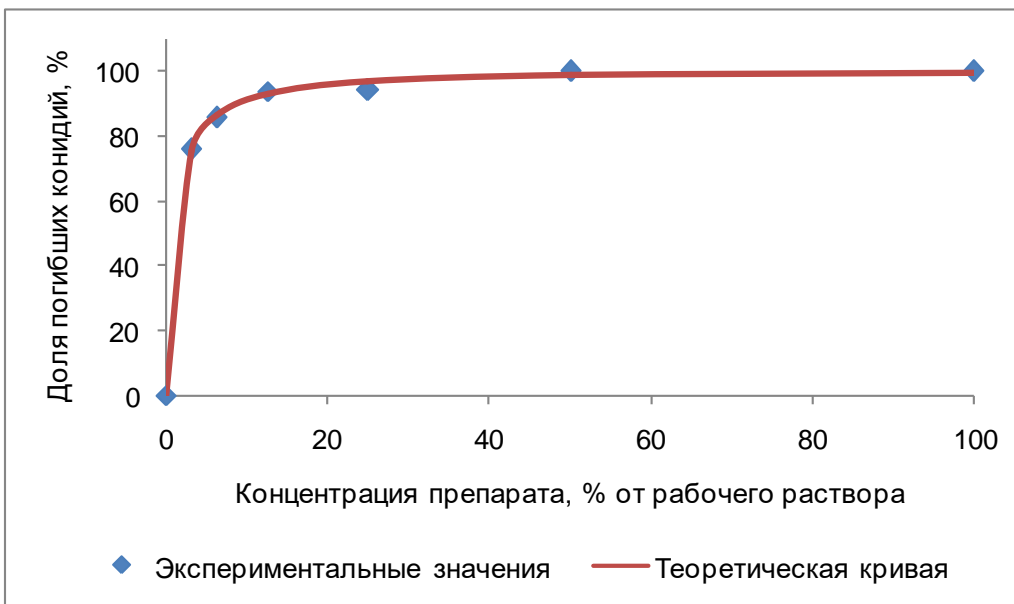


Рис. 5. Экспериментальные и теоретические (рассчитанные по уравнению (1)) значения доли погибших конидий в зависимости от концентрации препарата Ламадор

Определенный по методу наименьших квадратов параметр  $K_c$  для препарата Витарос равен 0,61 % от концентрации рабочего раствора, для препарата Ламадор – 1,04 % от концентрации рабочего раствора.

Зависимость доли погибших конидий *B. sorokiniana* от концентрации для препарата Максим носит линейный характер и может быть описана уравнением

$$Y = 0,966 \cdot C + 6,064, \quad (2)$$

где  $Y$  – доля погибших конидий, %;  $C$  – концентрация препарата, % от рабочего раствора.

При использовании данного уравнения коэффициент детерминации  $R^2$  равен 0,982, значимость регрессии  $p < 0,01$ . Рассчитанная по уравнению (2) концентрация, при которой происходит гибель 50 % конидий, для препарата Максим составляет 45,5 % от рабочего раствора.

**Заключение.** Среди испытанных препаратов наиболее эффективным против регионального изолята *B. sorokiniana* оказался Витарос, обес-

печивающий 100%-е подавление прорастания конидий гриба даже при разведении рабочего раствора в 16 раз. На втором месте по эффективности находится препарат Ламадор, который обеспечивает 100%-е подавление прорастания конидий при разведении в 2 раза. Оба препарата сохраняют высокую степень фунгицидной активности при разведении рабочего раствора в 32 раза. На третьем месте по эффективности находится препарат Максим, который обеспечивает 100%-е подавление прорастания конидий в рабочем растворе, но уже при разведении в 2 раза обеспечивает лишь частичный фунгицидный эффект. Препараты Оплот и Виал ТрасТ неэффективны против регионального изолята *B. sorokiniana*. С учетом химического состава препаратов можно констатировать, что региональная популяция *B. sorokiniana* резистентна к дифеноконазолу, тебуконазолу и тиabendазолу, но чувствительна к карбоксину, тираму и протиоконазолу. В этой связи для протравливания семян зерновых культур в целях защиты от обыкновенной корневой гнили можно рекомендовать препараты на основе карбоксина, тирама и протиоконазола.

#### Список источников

1. Kumar J., Schäfer P., Hückelhoven R., Langen G., Baltruschat H., Stein E., Nagarajan S., Kogel Karl. Bipolaris sorokiniana, a cereal pathogen of global concern: cytological and molecular approaches towards better control // Molecular plant pathology. 2002. Vol. 3, № 4. P. 185–195.
2. Григорьев М.Ф. Изучение патогенных комплексов возбудителей наиболее распространенных типов корневых гнилей зерновых культур в Центральном Нечерноземье России // Известия ТСХА. 2012. Вып. 2. С. 111–125.
3. Чулкина В.А. Корневые гнили хлебных злаков в Сибири. Новосибирск: Наука, 1985. 189 с.
4. Ермакова Б.Д. Почвенные грибы и обыкновенная корневая гниль колосовых зерновых. Алма-Ата: Наука КазССР, 1988. 144 с.
5. Заселенность почвы засушливой Кулундинской зоны Алтая фитопатогеном *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem. / Е.Ю. Торопова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 1. С. 12–15.

6. Гришечкина Л.Д., Долженко В.И. Современные фунгициды для интегрированных систем защиты зерновых культур от комплекса фитопатогенов // Вестник ОрелГАУ. 2012. № 6. С. 7–9.
7. Лапина В.В. Агроэкологическое обоснование защиты яровых зерновых культур от корневых гнилей в условиях юга Нечерноземной зоны России: дис. ... д-ра с.-х. наук. Саранск, 2014. 369 с.
8. Deising H.B., Reimann S., Pascholati S.F. Mechanisms and significance of fungicide resistance // Brazilian Journal of Microbiology. 2008. Vol. 39, no. 2. P. 286–295.
9. Hollomon D.W. Fungicide resistance: facing the challenge – a review // Plant Protect. Sci. 2015. Vol. 51. P. 170–176.
10. Щербакова Л.А. Развитие резистентности к фунгицидам у фитопатогенных грибов и их хемосенсибилизация как способ повышения защитной эффективности триазолов и стробилуринов // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54, № 5. С. 875–891.
11. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации за 2018 год // Приложение к журналу «Защита и карантин растений». 2018. № 5.
12. Хижняк С.В., Пучкова Е.П., Петрушкина С.А. Экспресс-метод выявления штаммов-антагонистов для биологической защиты растений от фитопатогенных грибов // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России: сб. мат-лов национальной науч.-практ. конф. Рязань, 2019. С. 590–594.
13. Хижняк С.В. Чувствительность фитопатогенных грибов *pp. Bipolaris* и *Fusarium* к фунгицидам разного химического состава // Вестник КрасГАУ. 2015. № 12 (111). С. 3–10.
14. Хижняк С.В., Мануковский Н.С. Фитосанитарные свойства почвоподобного субстрата // Вестник КрасГАУ. 2016. № 11 (122). С. 90–96.

#### References

1. Kumar J., Schäfer P., Hückelhoven R., Langen G., Baltruschat H., Stein E., Nagarajan S., Kogel Karl. Bipolaris sorokiniana, a cereal pathogen of global concern: cytological and

- molecular approaches towards better control // Molecular plant pathology. 2002. Vol. 3, №. 4. P. 185–195.
2. Grigor'ev M.F. Izuchenie patogennykh kompleksov vozbuditelej naibolee rasprostranennykh tipov kornevykh gnilej zernovykh kul'tur v Central'nom Nechernozem'e Rossii // Izvestiya TSHA. 2012. Vyp. 2. S. 111–125.
  3. Chulkina V.A. Kornevye gnili hlebnyyh zlakov v Sibiri. Novosibirsk: Nauka, 1985. 189 s.
  4. Ermekova B.D. Pochvennye griby i obyknovennaya kornevaya gnil' kolosovykh zernovykh. Alma-Ata: Nauka KazSSR, 1988. 144 s.
  5. Zaselennost' pochvy zasushlivoj Kulundinskoj zony Altaya fitopatogenom *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem. / E.Yu. Toropova [i dr.] // Dostizheniya nauki i tehniki APK. 2020. T. 34, №. 1. S. 12–15.
  6. Grishechkina L.D., Dolzhenko V.I. Sovremennye fungitsidy dlya integrirovannykh sistem zaschity zernovykh kul'tur ot kompleksa fitopatogenov // Vestnik OrelGAU. 2012. № 6. S. 7–9.
  7. Lapina V.V. Agro`ekologicheskoe obosnovanie zaschity yarovyyh zernovykh kul'tur ot kornevykh gnilej v usloviyah yuga Nechernozemnoj zony Rossii: dis. ... d-ra s.-h. nauk. Saransk, 2014. 369 s.
  8. Deising H.B., Reimann S., Pascholati S.F. Mechanisms and significance of fungicide resistance // Brazilian Journal of Microbiology. 2008. Vol. 39, no. 2. P. 286–295.
  9. Hollomon D.W. Fungicide resistance: facing the challenge – a review // Plant Protect. Sci. 2015. Vol. 51. P. 170–176.
  10. Scherbakova L.A. Razvitie rezistentnosti k fungitsidam u fitopatogennykh gribov i ih hemosensibilizatsiya kak sposob povysheniya zaschitnoj `effektivnosti triazolov i strobilurinov // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2019. T. 54, № 5. S. 875–891.
  11. Spisok pesticidov i agrohimikatov, razreshennykh k primeneniyu na territorii Rossijskoj Federacii za 2018 god // Prilozhenie k zhurnalu «Zaschita i karantin rastenij». 2018. № 5.
  12. Hizhnyak S.V., Puchkova E.P., Petrushkina S.A. `Ekspress-metod vyyavleniya shtamov-antagonistov dlya biologicheskoy zaschity rastenij ot fitopatogennykh gribov // Prioritetnye napravleniya nauchno-tehnologicheskogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Rossii: sb. mat-lov nacional'noj nauch.-prakt. konf. Ryazan', 2019. S. 590–594.
  13. Hizhnyak S.V. Chuvstvitel'nost' fitopatogennykh gribov *pp. Bipolaris* i *Fusarium* k fungitsidam raznogo himicheskogo sostava // Vestnik KrasGAU. 2015. № 12 (111). S. 3–10.
  14. Hizhnyak S.V., Manukovskij N.S. Fitosanitarnye svoystva pochvopodobnogo substrata // Vestnik KrasGAU. 2016. № 11 (122). S. 90–96.

