

Изучение антагонистических и ростстимулирующих свойств штаммов *Bacillus subtilis*, перспективных для создания эффективных биофунгицидов

© 2020. А. М. Асатурова, Т. М. Сидорова , Н. С. Томашевич, Н. А. Жевнова, А. И. Хомяк, А. Е. Козицын, В. М. Дубяга, М. Д. Павлова, Н. М. Сидоров, В. В. Аллаhverдян

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», г. Краснодар, Российская Федерация

В период с 2012 по 2015 год на озимой пшенице сорта Калым проведены полевые испытания жидкой культуры на основе выделенных из природных источников штаммов *B. subtilis* BZR 336g и BZR 517, которые проявляют антифунгальное действие в отношении фитопатогенных грибов *Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, *Microdochium nivale* и *Pyrenophora tritici-repentis*, а также способны оказывать положительное влияние на рост и развитие растений. Жидкой культурой штаммов проводили предпосевную обработку семян и две профилактические обработки в период вегетации растений. Варианты сравнения – обработка водой (контроль), химическими (Раксил, КС; Альто Супер, КС) и биологическим (Фитоспорин-М, Ж) эталонами. Биологическая эффективность в отношении комплекса фузариозных корневых гнилей отмечена в фазы выхода в трубку и созревания озимой пшеницы и в отдельные годы достигала 22,8 % для штамма *B. subtilis* BZR 336g и 17,2 % для штамма *B. subtilis* BZR 517. В вариантах с предпосевной обработкой семян и вегетирующих растений озимой пшеницы штаммом *B. subtilis* BZR 336g в течение трех лет полевых испытаний получена урожайность от 5,0 до 7,4 т/га, а при обработке штаммом *B. subtilis* BZR 517 – от 4,2 до 7,6 т/га. Максимальный дополнительный урожай озимой пшеницы от применения жидких культур штаммов получен в 2013 году – достоверная прибавка урожая составила 1,6 т/га для штамма *B. subtilis* BZR 336g и 0,8 т/га для штамма *B. subtilis* BZR 517. Способность жидких культур исследуемых штаммов обеспечивать защиту озимой пшеницы от вредоносных болезней на уровне и выше биологического и химического эталонов будет способствовать расширению ассортимента микробных биопрепаратов в сегменте российского рынка экологически безопасных средств защиты растений.

Ключевые слова: биологическая защита растений, бактерии-антагонисты, фитопатогенные грибы, антифунгальные метаболиты

Благодарности: Исследования выполнены согласно Государственному заданию № 075-00376-19-00 Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № 0686-2019-0009.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Асатурова А. М., Сидорова Т. М., Томашевич Н. С., Жевнова Н. А., Хомяк А. И., Козицын А. Е., Дубяга В. М., Павлова М. Д., Сидоров Н. М., Аллаhverдян В. В. Изучение антагонистических и ростстимулирующих свойств штаммов *Bacillus subtilis*, перспективных для создания эффективных биофунгицидов. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020;21(3):263-272. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.263-272>

Поступила: 27.03.2020

Принята к публикации: 4.06.2020

Опубликована онлайн: 23.06.2020

The study of the antagonistic and growth-stimulating characteristics of *Bacillus subtilis* strains, promising for the development of the effective biofungicides

© 2020. Anzhela M. Asaturova, Tatyana M. Sidorova , Natalia S. Tomashevich, Natalia A. Zhevnova, Anna I. Khomyak, Aleksandr E. Kozitsyn, Valentina M. Dubyaga, Marina D. Pavlova, Nikita M. Sidorov, Valeria V. Allakhverdyan

All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russian Federation

In the period from 2012 to 2015 on Kalym winter wheat variety plants there were carried out field tests of the liquid culture of *B. subtilis* BZR 336g and BZR 517 strains isolated from natural sources that exhibit antifungal activity against phytopathogenic fungi *Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, *Microdochium nivale* and *Pyrenophora tritici-repentis*, and are also able to have a positive effect on the growth and development of plants. Pre-sowing seed treatment and two preventive treatments during the growing season of the plants were carried out with the liquid culture of the strains. Comparison variants – treatment with water (control), with chemical (Raxil, KS; Alto Super, KS) and with biological (Fitosporin-M, L) standards. Biological efficacy against the complex of fusarium root rots was noted in the shooting stage of winter wheat and during ripening, and in some years reached 22.8 % for *B. subtilis* BZR 336g strain and 17.2 % for *B. subtilis* BZR 517 strain. In variants with pre-sowing seed treatment and treatment of vegetative winter wheat plants with *B. subtilis* BZR 336g strain for three years of field trials the yield was from 5.0 to 7.4 t/ha, and when treated with *B. subtilis* BZR 517 strain – from 4.2 to 7.6 t/ha. The maximum

additional yield was obtained in 2013 – a reliable yield increase was 1.6 t / ha for *B. subtilis* BZR 336g strain and 0.8 t / ha for *B. subtilis* BZR 517 strain. The ability of liquid cultures of the studied strains to protect winter wheat against harmful diseases at the same level and above the biological and chemical standards will help to expand the range of microbial biological products in the segment of the Russian market of environmentally friendly plant protection products.

Keywords: biological plant protection, antagonist bacteria, phytopathogenic fungi, antifungal metabolites

Acknowledgement: the studies were carried out in accordance with the State Assignment No. 075-00376-19-00 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in the framework of the research on the topic No. 0686-2019-0009.

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

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest

For citation: Asaturova A. M., Sidorova T. M., Tomashevich N. S., Zhevnova N. A., Khomyak A. I., Kozitsyn A. E., Dubyaga V. M., Pavlova M. D., Sidorov N. M., Allakhverdyan V. V. The study of the antagonistic and growth-stimulating characteristics of *Bacillus subtilis* strains, promising for the development of the effective biofungicides. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(3):263-272. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.263-272>

Received: 27.03.2020

Accepted for publication: 04.06.2020

Published online: 23.06.2020

Широкое использование химических соединений для борьбы с болезнями растений нарушает экологический баланс микробиоты, обитающей в почве, что приводит к появлению устойчивых штаммов фитопатогенов, загрязнению подземных вод и очевидным рискам для здоровья человека. Актуальность разработки и широкого применения биотехнологической продукции диктуется необходимостью обеспечения экологической безопасности и конкурентоспособности производимой сельскохозяйственной продукции.

В странах ЕС, Японии, США и Южной Корее на государственном уровне ставится вопрос о постепенном переводе агропромышленного сектора экономики на альтернативные методы и технологии ведения сельского хозяйства. Вектор направленности социально-экологической политики АПК России на сегодняшний день тоже меняется в сторону экологизации и стимулирования биодинамических и органических систем земледелия. Спрос на экологически безопасную сельскохозяйственную продукцию постоянно растёт. В Европе около 30 % сельскохозяйственных земель используется под органическое земледелие [1].

В большинстве сельскохозяйственных регионов РФ отмечается распространённость корневых гнилей, мучнистой и ложной мучнистой росы огурца, фузариозов и ржавчины зерновых культур, фитофтороза картофеля, бактериозов овощных и плодовых культур, часто из числа карантинных объектов, что зачастую приобретает характер эпифитотий. Отмечается появление новых опасных видов фитопатогенов. В связи с этим проблема создания эффективных микробиологических средств для защиты от экономически значимых болезней становится все более актуальной [2]. Защита растений от патогенов с использо-

ванием микробиологических препаратов представляет один из наиболее перспективных и экологически безопасных методов повышения урожайности и качества сельскохозяйственной продукции [3].

Расширение ассортимента видов и штаммов, перспективных для создания новых биопрепаратов на основе изучения биоразнообразия микробных сообществ, является основной задачей микробиологической защиты растений. Перспективность использования полифункциональных биопрепаратов на основе штаммов микробов-антагонистов для снижения численности и вредоносности популяций фитопатогенных микроорганизмов и фитосанитарной оптимизации агроэкосистем базируется на прямом целевом действии на вредные объекты за счет комплексов антибиотиков и гидролитических ферментов, а также повышении стрессо- и болезнестойкости растений и опосредованной защите растений за счет фиторегуляторной активности штаммов-продуцентов биопрепаратов.

Современная концепция развития биологического метода защиты растений предполагает не только уничтожение различных фитопатогенов, но и восстановление видового и количественного состава микробиоты агроэкосистем. Биопрепараты на основе бактерий-антагонистов являются не только альтернативой химическим пестицидам, но и важным элементом комплексной системы защиты в современном растениеводстве, что позволяет существенно снизить нормы применения химических препаратов. Устойчивость растений к фитопатогенам во многом определяется процессами взаимодействия между корневой системой растений и почвенными микроорганизмами. Известно, что в ризосфере и филлоплане растений между микроорганизмами

складываются разнообразные, в том числе и конкурентные взаимоотношения [4]. В частности, высокой антагонистической активностью обладают аэробные спорообразующие бактерии рода *Bacillus*. Биологические препараты на их основе имеют ряд существенных преимуществ, таких как безвредность для человека и животных, устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды, что делает возможным их эффективное применение в борьбе с болезнями растений, вызванными фитопатогенами различной природы [2].

Основными механизмами, с помощью которых агенты биоконтроля подавляют патогены, являются антибиоз, конкуренция, стимуляция роста и индукция системно приобретенной резистентности. Участие антибиотиков в защитном действии происходит либо путем прямого воздействия на фитопатогены, либо путем индукции системной резистентности растений-хозяев [4].

Бактерии рода *Bacillus* – одна из основных групп микробного сообщества почвы и ризосферы, являются наиболее важным объектом поиска новых антагонистов для подавления патогенной и условно-патогенной микробиоты [5, 6]. Основным критерием будущей пригодности их в качестве действующего начала биофунгицида является наличие антагонистической активности к широкому спектру фитопатогенов. Одним из наиболее важных свойств, способствующих антагонизму, является синтез антибиотиков и антимикробных соединений широкого спектра действия. Липопептиды, полученные из *Bacillus*, обладают огромным потенциалом биологического контроля против широкого спектра агрономически важных грибных фитопатогенов [7].

Группа *B. subtilis* способна синтезировать множество антагонистических соединений, проявляющих широкий спектр биологических функций [8, 9, 10, 11]. Эта универсальность повышает интерес к штаммам *B. subtilis*, особенно при рассмотрении их диапазона действия в качестве основы биопрепаратов для защиты растений [12]. Это обстоятельство связано также с такими особенностями этих микроорганизмов, как наличие спорообразующей способности, необходимой для выживания в стрессовых условиях, и их возможности проявлять антагонистические свойства к возбудителям опасных болезней растений [13].

В связи с изложенными фактами нами проведен поиск штаммов бактерий *B. subtilis* с антифунгальными свойствами. При этом из

ризосферы озимой пшеницы было выделено несколько сотен штаммов, из которых в результате скрининга по признаку антифунгальной активности в отношении одного из наиболее вредоносных представителей грибов рода *Fusarium* (*F. graminearum*) для озимой пшеницы отобрано два штамма бактерий *B. subtilis* в качестве возможной основы новых биопрепаратов с высокой фунгицидной активностью [14, 15].

Новизна исследований заключается в том, что разработка биопрепаратов нового поколения ведется на основе вновь выделенных штаммов *B. subtilis*, проявляющих антагонистические свойства по отношению к грибам – возбудителям вредоносных болезней сельскохозяйственных культур. На этапе вторичного скрининга штаммы исследуются по основным биоконтрольным свойствам: антагонистическая активность к фитопатогенам, влияние на рост и развитие растений, защитный эффект в полевых условиях [16, 17].

Цель работы – провести вторичный скрининг штаммов *B. subtilis* – антагонистов фитопатогенов по критериям антифунгальной активности, влиянию на рост и развитие растений, а также по защитному действию в условиях полевых испытаний.

Материал и методы. Объектами исследования послужили новые штаммы *B. subtilis* BZR 336g и *B. subtilis* BZR 517 из БПК ФГБНУ ВНИИБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов».

Полевые испытания исследуемых штаммов осуществляли в условиях стационарного севооборота в период с 2012 по 2015 г. на экспериментальной базе ФГБНУ ВНИИБЗР (г. Краснодар) на озимой пшенице сорта Калым (среднеспелый, полукарликовый, с высокой устойчивостью к полеганию и болезням: бурой ржавчине, септориозу, мучнистой росе). Для этого семена озимой пшеницы обрабатывали жидкой культурой (ЖК) штаммов ручным способом. Нормы применения *B. subtilis* BZR 336g и *B. subtilis* BZR 517 составили 3 и 2 л/т соответственно. Расход рабочей жидкости 10 л/т. В контрольном варианте семена обрабатывали водопроводной водой.

Посев осуществляли спустя сутки после обработки механической сеялкой СЗН-3,6. Норма высева – 220 кг/га. Ширина междурядья – 15 см. В 2012 г. опытные участки располагали по предшественнику подсолнечник, в 2013 г. – по предшественнику люцерна, в 2015 г. – подсолнечник. В качестве гербицида использовали Стомп, КЭ (пендиметалин, 330 г/л) с нормой

применения 4,5 л/га. В весенний период использовали гербицид Прима, СЭ (300 г/л 2,4-Д (сложный 2-этилгексильный эфир) + 6,25 г/л флорасулама) с нормой применения 0,6 л/га в фазу кущения.

В течение периода вегетации проводили две профилактические обработки ЖК штаммов, химическим и биологическим эталонами. Норма применения *B. subtilis* BZR 336 g и *B. subtilis* BZR 517 для обработки вегетирующих растений составила 3 и 2 л/га соответственно, расход рабочей жидкости – 300 л/га. Рабочую жидкость готовили непосредственно перед обработкой. В качестве химического эталона использовали Раксил, КС (тебуконазол, 60 г/л) для обработки семян и Альто Супер, КС (пропиконазол + ципроконазол, 250 + 80 г/л) для обработки растений. В качестве биологического эталона – Фитоспорин-М, Ж (*B. subtilis* 26 Д).

Всхожесть в полевых условиях учитывали в четырех повторностях в расчете на погонный метр. Учеты комплекса корневых гнилей фузариозной этиологии осуществляли согласно действующей методике в динамике в фазу кущения осенью (Z 20-21) и весной (Z 26-21), а также в фазу выхода в трубку (Z 32-35) и созревания (Z 73-77)¹.

Если наличие фузариозных корневых гнилей ставилось под сомнение, осуществляли закладку пораженного материала во влажную камеру для выявления патогена. Расчеты развития, распространенности и биологической эффективности проводили по стандартным формулам².

Развитие листовых болезней учитывали по мере появления их признаков. Учет проводили визуально по площади поражения листа желтой пятнистостью в процентах в фазу кущения осенью (Z 20-21) и весной (Z 26-21), в фазу выхода в трубку (Z 32-35) и созревания (Z 73-77). В работе приведены данные, полученные при максимальном развитии болезни. Повторность во всех опытах трехкратная. Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием критерия Дункана в программе STATISTICA 13.2.

Результаты и их обсуждение. Ранее получены результаты лабораторных исследований перспективных штаммов *B. subtilis* BZR 336g и *B. subtilis* BZR 517 [18]. Показано,

что оба штамма проявляют высокую антифунгальную активность к возбудителям фузариозных корневых гнилей, снежной плесени и желтой пятнистости листьев, ингибируя рост мицелия патогенов к концу периода инкубации в двойных культурах от 42,2 до 94,4 % (рис. 1). При этом обнаружены следующие закономерности: степень ингибирования штаммом *B. subtilis* BZR 336g роста *F. graminearum* к 10-м суткам максимальна – 51,7 %, затем она снижается и к концу периода инкубации составляет 50,2 %. В отношении *M. nivale* ситуация была аналогичной – на 10-е сутки степень ингибирования составляет 47,3 % и к 20-м суткам снижается до 44,3 %, в то время как степень ингибирования *F. culmorum* на 10-е сутки достигает максимума – 48,2 % и остается неизменной. В отношении *P. tritici-repentis* на 10-е сутки мы наблюдаем резкий скачок ингибирования с 78,5 до 92,8 %, затем этот показатель плавно повышается и к 20-м суткам достигает 94,4 % [18].

Ингибирование штаммом *B. subtilis* BZR 517 мицелия *F. graminearum* к 10-м суткам совместной инкубации составляет 52,2 %, остается неизменным на 15-е сутки, к 20-м суткам увеличивается и достигает максимального значения – 54,0 %. Степень ингибирования *F. culmorum* достигает максимума уже на 10-е сутки – 44,4 %, а затем снижается до 42,2 % и остается неизменной до конца периода инкубации. Аналогичную картину мы наблюдаем в отношении *M. nivale* – степень ингибирования на 10-е сутки была максимальной – 57,6 %, затем данный показатель падает до 52,7 % и больше не меняется. В отношении *P. tritici-repentis* также отмечается скачок степени ингибирования на 10-е сутки. Этот показатель вырастает с 6,5 до 62,5 %, затем продолжает расти и к 20-м суткам достигает 68,8 % [18].

Следует отметить различия в механизме действия штаммов. *B. subtilis* BZR 336g обладает высокой подвижностью и стремится занять как можно большую площадь ЧП. Штамм *B. subtilis* BZR 517 не обладает такой подвижностью, однако длительное время сохраняет широкую стерильную зону на границе с патогеном (рис. 1). Предположительно, его антагонистическое действие основано преимущественно на продукции антифунгальных метаболитов.

¹Zadoks J. G., Chang T. T., Konzak C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Res. 1974;14:415-421. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>

²Долженко В. И. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве. СПб.: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 2009. 379 с.

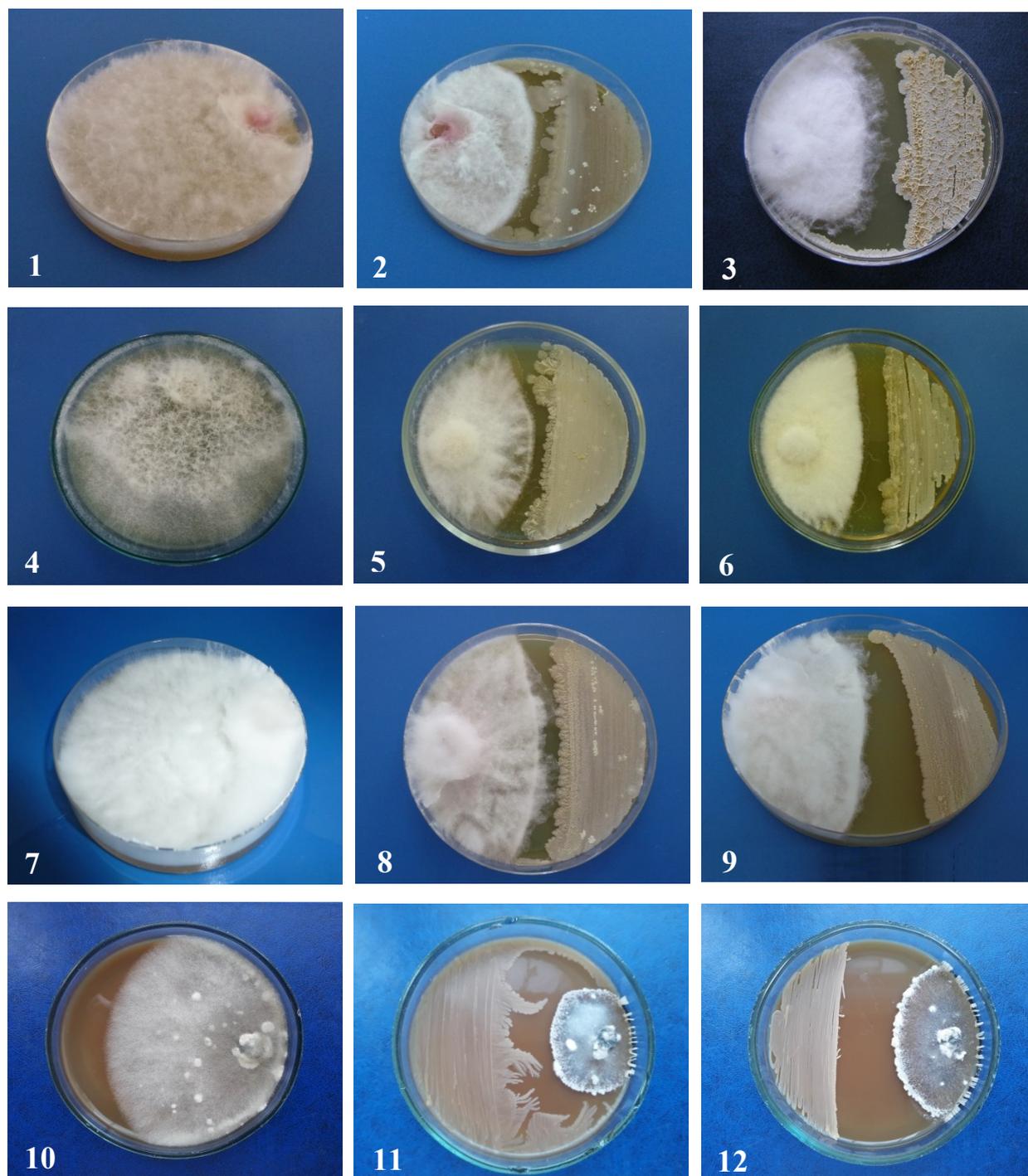


Рис. 1. Антифунгальная активность штаммов *B. subtilis* в отношении фитопатогенных грибов: 1 – *F. graminearum* контроль; 2 – BZR 336g и *F. graminearum*; 3 – *B. subtilis* BZR 517 и *F. graminearum*; 4 – *F. culmorum* контроль; 5 – *B. subtilis* BZR 336g и *F. culmorum*; 6 – *B. subtilis* BZR 517 и *F. culmorum*; 7 – *M. nivale* контроль; 8 – *B. subtilis* BZR 336g и *M. nivale*; 9 – *B. subtilis* BZR 517 и *M. nivale*; 10 – *P. tritici-repentis* контроль; 11 – *B. subtilis* BZR 336g и *P. tritici-repentis*; 12 – *B. subtilis* BZR 517 и *P. tritici-repentis* /

Fig. 1. Antifungal activity of *B. subtilis* strains against the phytopathogenic fungi: 1 – *F. graminearum* control; 2 – *B. subtilis* BZR 336g + *F. graminearum*; 3 – *B. subtilis* BZR 517 + *F. graminearum*; 4 – *F. culmorum* control; 5 – *B. subtilis* BZR 336g + *F. culmorum*; 6 – *B. subtilis* BZR 517 + *F. culmorum*; 7 – *M. nivale* control; 8 – *B. subtilis* BZR 336g + *M. nivale*; 9 – *B. subtilis* BZR 517 + *M. nivale*; 10 – *P. tritici-repentis* control; 11 – *B. subtilis* BZR 336g + *P. tritici-repentis*; 12 – *B. subtilis* BZR 517 + *P. tritici-repentis*

Отмечено положительное влияние ЖК исследуемых штаммов на всхожесть семян озимой пшеницы в условиях влажной камеры. Так, всхожесть семян в вариантах со штаммами *B. subtilis* BZR 517 и *B. subtilis* BZR 336 g составляет 95,0 и 96,7 % соответственно. Полученные результаты превышают показатели всхожести в контроле (94,2 %), а также в варианте с биологическим эталоном Фитоспорин-М, Ж (93,3 %).

Обнаружено, что штаммы *B. subtilis* BZR 336g и *B. subtilis* BZR 517 стимулируют рост и развитие растений озимой пшеницы в условиях теплицы. При обработке семян суспензией *B. subtilis* BZR 336g происходит увеличение массы побега и корня на 6,0 и 18,0 % соответственно, при обработке суспензией *B. subtilis* BZR 517 отмечается увеличение массы побега на 9,4 %, корня на 15,6 %, а также длины корня на 20,1 %. Следует отметить, что стимулирующее действие исследуемых штаммов превышает приведенные показатели в варианте с биологическим эталоном Фитоспорин-М, Ж [18]. В результате обработки ЖК на основе исследуемых штаммов увеличивается количество корней, приходящихся на единицу площади субстрата, что в полевых условиях, возможно, будет способствовать более эффективному поглощению почвенного раствора.

Полученные данные позволяют заключить, что исследуемые штаммы *B. subtilis* BZR 336g и *B. subtilis* BZR 517 оказывают выраженное антифунгальное действие в отношении грибов родов *Fusarium*, *Microdochium* и *Pyrenophora*, а также способны оказывать положительное влияние на всхожесть семян и стимулировать рост и развитие растений.

Для оценки перспективности использования ЖК исследуемых штаммов в сельскохозяйственной практике необходимо было провести оценку штаммов в полевых условиях.

Биологическую эффективность в отношении комплекса фузариозных корневых гнилей оценивали каждый год в динамике в фазу кушения осенью и весной, в фазы выхода в трубку и созревания. Максимальную эффективность отметили в фазах выхода в трубку и созревания. Исключение составил 2012-2013 гг., когда максимальную биологическую эффективность отметили на начальных этапах вегетации. В таблице 2 приведена итоговая биологическая эффективность, которую в 2013-2014 гг. и

2014-2015 гг. определили в фазу созревания (Z 73-77), а в 2012-2013 гг. – в фазу кушения (Z 20-21). В 2012-2013 гг. распространенность корневых гнилей была на уровне 57,1 %. Биологическая эффективность ЖК штаммов составила от 0 до 43,2 % при эффективности химического эталона 44,2 %. В 2013-2014 гг. распространенность и развитие болезней было выше – 67,4 и 36,1 %, биологическая эффективность была на уровне 17,2-22,8 % при эффективности химического эталона 26,2 % и биологического – 17,4 %. В последующие годы распространенность фузариозных корневых гнилей составила 89,4 %, а развитие – 26,3 %. На этом фоне максимальная биологическая эффективность ЖК штаммов составила 0-1,6 %. Помимо благоприятных для развития инфекции погодных условий, имела место задержка срока посева, что вероятно отрицательно сказалось на работе штаммов. Эффективность химического эталона составила 1,1 %, биологического – 10,1 % (табл. 1).

В 2013-2014 гг. биологическая эффективность в отношении желтой пятнистости оценивали на фоне развития болезни 3,3 %, в 2014-2015 гг. – 7,5 %. В 2012-2013 гг. были отмечены единичные проявления желтой пятнистости листьев пшеницы. В 2014-2015 гг. сроки посева были смещены в связи с погодными условиями, что, вероятно, отрицательно сказалось на интродукции биоагентов. Это подтверждает необходимость строгого соблюдения технологии применения препаратов на основе живых микроорганизмов.

Уборку урожая провели после полного созревания зерна с последующим приведением к стандартной влажности. В 2013 г. достоверный и максимальный дополнительный урожай получили в варианте с обработкой *B. subtilis* BZR 336 g – 1,6 т/га и BZR 517 *B. subtilis* – 0,8 т/га (табл. 2).

В 2014 г. полученный урожай от применения как исследуемых штаммов (7,2-7,6 т/га), так и эталонного варианта с Фитоспорином-М, Ж (7,4 т/га) был достоверно выше, чем в контроле – 6,9 т/га. В 2015 г. достоверный дополнительный урожай отметили в варианте с применением *B. subtilis* BZR 517 – 0,4 т/га, а также *B. subtilis* BZR 336g – 0,1 т/га. Небольшая величина дополнительного урожая связана с неблагоприятными погодными условиями (2014-2015 гг. посевной год был самым холодным) и поздним сроком посева.

Таблица 1 – Биологическая эффективность ЖК штаммов *B. subtilis* в отношении экономически значимых болезней в условиях стационарного севооборота (2012-2015 гг.) /

Table 1 – Biological efficacy of *B. subtilis* strains LC against economically significant diseases under the conditions of the permanent crop rotation (2012-2015)

Вариант / Variant	Биологическая эффективность, % / Biological efficacy, %					
	в отношении фузариозных корневых гнилей / against <i>Fusarium</i> root rots			в отношении желтой пятнистости листьев / against yellow leaf spot		
	2012-2013 гг.	2013-2014 гг.	2014-2015 гг.	2012-2013 гг.	2013-2014 гг.	2014-2015 гг.
Распространенность/развитие болезни в контроле / Disease incidence/development in control	57,1/0,1	67,4/36,1	89,4/26,3	-	0,1/3,3	0,1/7,5
Химический эталон Раксил, КС; Альто Супер, КС / Chemical standard Raksil, KS; Alto Super, KS	44,2	26,2	1,1	-	83,1	83,7
Биологический эталон Фитоспорин-М, Ж / Biological standard Fitosporin-M, L	-	17,4	10,1	-	63,1	34,2
<i>B. subtilis</i> BZR 336g	10,0	22,8	1,6	-	49,2	41,8
<i>B. subtilis</i> BZR 517	43,2	17,2	0	-	38,5	43,6

Таблица 2 – Влияние обработки семян и вегетирующих растений озимой пшеницы сорта Калым ЖК штаммов *B. subtilis* на урожайность в условиях стационарного севооборота, т/га (2012-2015 гг.) /

Table 2 – The effect of the seed treatment and the treatment of the vegetative plants of Kalym winter wheat variety with the LC of *B. subtilis* strains on yield under the conditions of the permanent crop rotation t / ha, (2012-2015)

Вариант / Variant	2012-2013 гг.		2013-2014 гг.		2014-2015 гг.	
	урожайность / productivity	дополнительный урожай / additional yield	урожайность / productivity	дополнительный урожай / additional yield	урожайность / productivity	дополнительный урожай / additional yield
Контроль / Control	3,4 ^a	-	6,9 ^a	-	7,0 ^a	-
Химический эталон Раксил, КС; Альто Супер, КС / Chemical standard Raksil, KS; Alto Super, KS	3,9 ^a	0,5	7,0 ^a	0,1	7,1 ^{ab}	0,1
Биологический эталон Фитоспорин-М, Ж / Biological standard Fitosporin-M, L	-	-	7,4 ^d	0,5	7,2 ^{ab}	0,3
<i>B. subtilis</i> BZR 336g	5,0 ^b	1,6	7,2 ^c	0,3	7,4 ^b	0,1
<i>B. subtilis</i> BZR 517	4,2 ^{ab}	0,8	7,6 ^b	0,7	7,1 ^{ab}	0,4

Примечание: между вариантами, обозначенными одинаковыми буквами, при сравнении в пределах столбцов нет статистически достоверных различий по критерию Дункана при 95 %-м уровне вероятности /

Note: between the variants marked with the same letters, when comparing within the columns there are no statistically significant differences according to the Duncan criterion at a 95% probability level

Таким образом, доказано, что обработка семян и растений ЖК исследуемых штаммов способна обеспечивать защиту озимой пшеницы и получать дополнительный урожай на уровне и выше биологического и химического эталонов, что будет способствовать расшире-

нию ассортимента микробных биопрепаратов в сегменте российского рынка экологически безопасных средств защиты растений.

Выводы. 1. Обработка семян и вегетирующих растений озимой пшеницы ЖК штаммов *B. subtilis* в полевых условиях на

фоне естественного поражения обеспечивала биологическую эффективность в зависимости от плотности популяций патогенов и складывающихся погодных условий против комплекса фузариозных корневых гнилей до 43,2 %, против желтой пятнистости листьев пшеницы до 49,2 %. При обработке штаммом *B. subtilis* BZR 336g урожайность в течение трех лет колебалась от 5,0 до 7,4 т/га, штаммом

B. subtilis BZR 517 – от 4,2 до 7,6 т/га.

2. Установлено, что исследуемые штаммы *B. subtilis* BZR 336g и *B. subtilis* BZR 517 проявляют выраженные антагонистические свойства по отношению к возбудителям вредоносных грибных болезней озимой пшеницы и способствуют увеличению урожайности, поэтому могут быть использованы в качестве основы эффективных биофунгицидов.

Список литературы

1. Коршунов С. А., Любеведская А. А., Асатурова А. М., Исмаилов В. Я., Коваленко Л. Ю. Органическое сельское хозяйство: инновационные технологии, опыт, перспективы. Монография. М., 2019. 92 с.
2. Маланичева И. А., Козлов Д. Т., Ефименко Т. А., Зенкова В. А., Резникова М. И., Королев А. М., Борщевская Л. Н., Тарасова О. Д., Синеокий С. П., Ефременкова О. В. Новые антибиотики, образуемые штаммами *Bacillus subtilis*. Микробиология. 2014;83(4):445-450. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0026365614040119>
3. Новикова И. И. Полифункциональные биопрепараты для фитосанитарной оптимизации агроэкосистем в биологическом земледелии. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019;2(99):183-194. DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10162>
4. Gouda S., Kerry R. C., Das G., Paramithiotis S., Shin H.-S., Patra J. K. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. Microbiological research. 2018;206:131-140. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>
5. Грабова А. Ю., Драгозов И. В., Крючкова Л. А., Пасичник Л. А., Авдеева Л. В. Скрининг штаммов бактерий рода *Bacillus* – активных антагонистов фитопатогенов бактериальной и грибной природы. Мікробіологічний журнал. 2015;77(6):47-54. Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/MicroBiol_2015_77_6_7
6. Азизбекян Р. Р. Использование спорообразующих бактерий в качестве биологических средств защиты растений. Биотехнология. 2013;29(1):69-77. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18819987>
7. Максимов И. В., Веселова С. В., Нужная Т. В., Сарварова Е. Р., Хацруллин Р. М. Стимулирующие рост растений бактерии в регуляции устойчивости растений к стрессовым факторам. Физиология растений. 2015;62(6):763-775. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0015330315060111>
8. Сидорова Т. М., Асатурова А. М., Хомяк А. И. Биологически активные метаболиты *Bacillus subtilis* и их роль в контроле фитопатогенных микроорганизмов (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2018;53(1):29-37. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.1.29rus>
9. Caulier S., Nannan C., Gillis A., Licciardi F., Bragard C., Mahillon J. Overview of the antimicrobial compounds produced by members of the *Bacillus subtilis* group. Front. Microbial. 2019;10:302. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00302>
10. Falardeau J., Wise C., Novitsky L., Avis T. J. Ecological and mechanistic insights into the direct and indirect antimicrobial properties of *Bacillus subtilis* lipopeptides on plant pathogens. J. Chem. Ecol. 2013;37(7):869-878. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10886-013-0319-7>
11. Hashem A., Tabassum B., Abd Allah E. F. *Bacillus subtilis*: a plant-growth promoting rhizobacterium that also impact biotic stress. Saudi journal of biological sciences. 2019;26(6):1291-1297. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>
12. Штерншис М. В., Беляев А. А., Цветкова В. П., Шпатовая Т. В., Лемяк А. А., Бахвалов С. А. Биопрепараты на основе бактерий рода *Bacillus* для управления здоровьем растений. Новосибирск, 2016. С. 34-35.
13. Хайруллин Р. М., Недорезков В. Д., Мубинов И. Г., Захарова Р. Ш. Повышение устойчивости пшеницы к абиотическим стрессам эндофитным штаммом *Bacillus subtilis*. Вестник Оренбургского государственного университета. 2007;(2(65)):129-134. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11609752>
14. Асатурова А. М., Дубяга В. М., Томашевич Н. С., Жарникова М. Д. Отбор перспективных агентов биологического контроля для защиты озимой пшеницы от возбудителей фузариоза. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012;(75):824-835. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17305502>
15. Асатурова А. М., Надькта В. Д., Исмаилов В. Я., Дубяга В. М., Томашевич Н. С., Жарникова М. Д., Жевнова Н. А. Изучение влияния бактериализации семян на рост и развитие растений озимой пшеницы. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013;(85):43-56. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22986797>
16. Боронин А. М. Ризосферные бактерии рода *Pseudomonas*, способствующие росту и развитию растений. Соросовский образовательный журнал. 1998;4(10):25-31. Режим доступа: <https://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/641.html>
17. Маслиенко Л. В. Биологический метод защиты подсолнечника и других сельскохозяйственных культур от болезней. Агро XXI. 1999;8:9.

18. Асатурова А. М., Жевнова Н. А., Павлова М. Д., Дубяга В. М., Томашевич Н. С., Хомяк А. И., Цыгичко А. А., Бондарчук Е. Ю., Сидорова Т. М. Эффективность инокуляции семян озимой пшеницы бактериями рода *Bacillus*, перспективными для создания биопрепаратов. *Зерновое хозяйство России*. 2019;(2(62)):8-12. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-62-2-8-12>

References

1. Korshunov S. A., Lyubovedskaya A. A., Asaturova A. M., Ismailov V. Ya., Kovalenko L. Yu. *Organicheskoe sel'skoe khozyaystvo: innovatsionnye tekhnologii, opyt, perspektivy. Monografiya*. [Organic agriculture: innovative technologies, experience, prospects. Monograph]. Moscow, 2019. 92 p.
2. Malanicheva I. A., Kozlov D. T., Efimenko T. A., Zenkova V. A., Reznikova M. I., Korolev A. M., Borshchevskaya L. N., Tarasova O. D., Sineokiy S. P., Efremenkova O. V. *Novye antibiotiki, obrazuemye shtammami Bacillus subtilis*. [New antibiotics produced by *Bacillus subtilis* strains]. *Mikrobiologiya = Microbiology*. 2014;83(4):445-450. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0026365614040119>
3. Novikova I. I. *Polifunktsional'nye biopreparaty dlya fitosanitar'noy optimizatsii agroekosistem v biologicheskoy zemledelii*. [Polyfunctional biological products for phytosanitary optimization of agroecosystems in biological agriculture]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktov rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019;2(99):183-194. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10162>
4. Gouda S., Kerry R. C., Das G., Paramithiotis S., Shin H.-S., Patra J. K. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological research*. 2018;206:131-140. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>
5. Grabova A. Yu., Dragovoz I. V., Kryuchkova L. A., Pasichnik L. A., Avdeeva L. V. *Skrining shtammov bakteriy roda Bacillus – aktivnykh antagonistov fitopatogenov bakterial'noy i gribnoy prirody*. [Screening of the *Bacillus* strains - active antagonists of phytopathogens of bacterial and fungal origin]. *Mikrobiologicheskii zhurnal*. 2015;77(6):47-54. (In Ukraine). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/MicroBiol_2015_77_6_7
6. Azizbekyan R. R. *Ispol'zovanie sporoobrazuyushchikh bakteriy v kachestve biologicheskikh sredstv zashchity rasteniy*. [Application of Sporiferous Bacteria as Agents for Plant Biological Protection]. *Biotekhnologiya = Biotechnology in Russia*. 2013;29(1):69-77. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18819987>
7. Maksimov I. V., Veselova S. V., Nuzhnaya T. V., Sarvarova E. R., Khatsrullin R. M. *Stimuliruyushchie rost rasteniy bakterii v regulyatsii ustoychivosti rasteniy k stressovym faktoram*. [Plant growth-promoting bacteria in regulation of plant resistance to stress factors]. *Fiziologiya rasteniy*. 2015;62(6):763-775. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0015330315060111>
8. Sidorova T. M., Asaturova A. M., Khomyak A. I. *Biologicheski aktivnye metabolity Bacillus subtilis i ikh rol' v kontrole fitopatogennykh mikroorganizmov (obzor)*. [Biologically active metabolites of *Bacillus subtilis* and their role in the control of phytopathogenic microorganisms (review)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2018;53(1):29-37. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiologiya.2018.1.29rus>
9. Caulier S., Nannan C., Gillis A., Licciardi F., Bragard C., Mahillon J. Overview of the antimicrobial compounds produced by members of the *Bacillus subtilis* group. *Front. Microbiol*. 2019;10:302. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00302>
10. Falardeau J., Wise C., Novitsky L., Avis T. J. Ecological and mechanistic insights into the direct and indirect antimicrobial properties of *Bacillus subtilis* lipopeptides on plant pathogens. *J. Chem. Ecol*. 2013;37(7):869-878. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10886-013-0319-7>
11. Hashem A., Tabassum B., Abd Allah E. F. *Bacillus subtilis*: a plant-growth promoting rhizobacterium that also impact biotic stress. *Saudi journal of biological sciences*. 2019;26(6):1291-1297. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>
12. Shternshis M. V., Belyaev A. A., Tsvetkova V. P., Sapatova T. V., Lelyak A. A., Bakhvalov S. A. *Biopreparaty na osnove bakteriy roda Bacillus dlya upravleniya zdorov'em rasteniy*. [Biological products based on *Bacillus* bacteria to manage plant health]. Novosibirsk, 2016: pp. 34-35.
13. Khayrullin R. M., Nedorezkov V. D., Mubinov I. G., Zakharova R. Sh. *Povyshenie ustoychivosti pshenitsy k abioticheskim stressam endofitnym shtammom Bacillus subtilis*. [Increasing of wheat firmness to abiotic stresses of endophytic strain *Bacillus subtilis*]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta = Vestnik of the Orenburg State University*. 2007;(2(65)):129-134. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11609752>
14. Asaturova A. M., Dubyaga V. M., Tomashevich N. S., Zharnikova M. D. *Otbor perspektivnykh agentov biologicheskogo kontrolya dlya zashchity ozimoy pshenitsy ot vzbuditeley fuzarioza*. [Selection of perspective biological control agents for fall WHEAT PROTECTION from *Fusarium* diseases]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2012;(75):824-835. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17305502>
15. Asaturova A. M., Nadykta V. D., Ismailov V. Ya., Dubyaga V. M., Tomashevich N. S., Zharnikova M. D., Zhevnova N. A. *Izuchenie vliyaniya bakterizatsii semyan na rost i razvitiye rasteniy ozimoy pshenitsy*. [Study of the influence bacterization seed on growth and development of fall wheat]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2013;(85):43-56. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22986797>
16. Boronin A. M. *Rizosfernye bakterii roda Pseudomonas, sposobstvuyushchie rostu i razvitiyu rasteniy*. [Pseudomonas rhizospheric bacteria contributing to the growth and development of plants]. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal*. 1998;4(10):25-31. (In Russ.). URL: <https://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/641.html>
17. Maslienko L. V. *Biologicheskii metod zashchity podsolnechnika i drugikh sel'skokhozyaystvennykh kul'tur ot bolezney*. [The biological method of sunflower and other crops protection against diseases]. *Agro XXI*. 1999;8:9. (In Russ.).

18. Asaturova A. M., Zhevnova N. A., Pavlova M. D., Dubyaga V. M., Tomashevich N. S., Khomyak A. I., Tsygichko A. A., Bondarchuk E. Yu., Sidorova T. M. *Effektivnost' inokulyatsii semyan ozimoy pshenitsy bakteriyami roda Bacillus, perspektivnymi dlya sozdaniya biopreparatov*. [Efficiency of winter wheat seed inoculation by the *Bacillus* bacteria promising for the development of bio medicines]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2019;(2(62)):8-12. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-62-2-8-12>

Сведения об авторах

Асатунова Анжела Михайловна, кандидат биол. наук, директор, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0060-1995>

✉ **Сидорова Татьяна Михайловна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4281-5278>, e-mail: 0166505@mail.ru

Томашевич Наталья Сергеевна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7297-5929>

Жевнова Наталья Андреевна, научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4702-1709>

Хомяк Анна Игоревна, научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9360-2323>

Козицын Александр Евгеньевич, научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4645-3713>

Дубяга Валентина Михайловна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0083-6505>

Павлова Марина Дмитриевна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1714-2326>

Сидоров Никита Михайлович, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4713-743X>

Аллахвердян Валерия Вагеновна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8679-6139>

Information about the authors

Anzhela M. Asaturova, PhD in Biology, Director of All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0060-1995>

✉ **Tatyana M. Sidorova**, PhD in Biology, senior researcher, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4281-5278>, e-mail: 0166505@mail.ru

Natalia S. Tomashevich, PhD in Agriculture, senior researcher, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7297-5929>

Natalia A. Zhevnova, researcher, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4702-1709>

Anna I. Khomyak, researcher, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9360-2323>

Aleksander E. Kozitsyn, researcher, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4645-3713>

Valentina M. Dubyaga, junior researcher, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0083-6505>

Marina D. Pavlova, junior researcher, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1714-2326>

Nikita M. Sidorov, junior researcher, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4713-743X>

Valeria V. Allakhverdyan, junior researcher, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8679-6139>

✉ – Для контактов / Corresponding author