

Результативность биологизированной технологии защиты яровой пшеницы от вредных организмов

А. Ю. Кекало[✉], кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории регуляторов роста и защиты растений

В. В. Немченко, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории регуляторов роста и защиты растений.

ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН)

620142, Свердловская область, г. Екатеринбург

[✉]alena.kekalo@mail.ru.

Резюме. Работу проводили с целью определения возможности снижения пестицидной нагрузки на агроценоз за счет использования микробиологических средств защиты от болезней в комплексной технологии защиты яровой пшеницы от вредных организмов. Полевые эксперименты проводили на опытном поле в Курганской области РФ, южной лесостепи. Севооборот трехпольный зернопаровой, опыты закладывались на пшенице по пару. Агротехника возделывания – региональная. Почва опытного участка – чернозём выщелоченный малогумусный тяжело-суглинистый. Фитопатологическую экспертизу семян осуществляли методом рулонной культуры. Учеты развития корневой гнили в полевых опытах проводили по 6-бальной шкале, листовых болезней - по шкалам, соответствующим виду фитопатогена. Учёт урожая зерна – прямым комбайнированием «Sampo-130». В ходе исследований сравнивался стандартный метод защиты пшеницы (протравитель + гербициды + фунгицид) с комбинированным (в сочетании химических фунгицидов с микробиологическими средствами защиты) и с биологическим (биопротравители + биофунгицид по вегетации). В условиях умеренных фитосанитарных рисков (развитие корневой гнили 17,9 %, листовых болезней 3,3 %) использование для защиты яровой пшеницы биологизированной технологии защиты от вредных организмов, где фунгицидный компонент представлен бактериальным препаратом на основе сенной палочки (*Bacillus subtilis*), было равнозначно по хозяйственной эффективности со стандартной схемой химзащиты (+113...114 % к контролю). Повышение урожайности культуры на 115 % при хорошем уровне биологической эффективности фунгицидной составляющей (65 и 85 % по группам почвенных и листовых фитопатогенов соответственно) отмечено при использовании комбинированной технологии защиты, где сочетались химический и биологический методы. Полученные данные позволяют рекомендовать использование изученных технологий для снижения пестицидной нагрузки на агроценозы в условиях Зауралья.

Ключевые слова: технология защиты растений, яровая пшеница, фунгицид, микробиологический препарат, фитопатогены.

Для цитирования: Кекало А. Ю., Немченко В. В. Результативность биологизированной технологии защиты яровой пшеницы от вредных организмов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. №2 (66). С. 77-83. doi:10.18286/1816-4501-2024-2-77-83

Effectiveness of biologized technology for protecting spring wheat from pests

A. Yu. Kekalo[✉], V.V. Nemchenko

FSBSI «Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences»

620142, Sverdlovsk Region, Ekaterinburg, Belinskiy Str., 112a,

[✉]alena.kekalo@mail.ru

Abstract. The work was carried out to determine the possibility of reducing the pesticide load on the agroecosis through usage of microbiological protection against diseases in a complex technology for protecting spring wheat from pests. Field experiments were carried out on an experimental field in Kurgan region of the Russian Federation, southern forest-steppe. The crop rotation was three-field grain-fallow; the experiments were carried out on wheat after fallow. Agricultural technology is regional. The soil of the experimental plot is leached, low-humus, heavy loamy black soil. Phytopathological examination of seeds was carried out using the roll culture method. Records of the development of root rot in field experiments were carried out on a 6-point scale, leaf diseases - on scales corresponding to the type of phytopathogen. Grain harvest record was made by direct combining "Sampo-130". The studies compared the standard method of wheat protection (protectant + herbicides + fungicide) with a combined method (combinations of chemical fungicides with microbiological means of protection) and with a biological one (bioprotectants + biofungicide during vegetation). It was found that in conditions of moderate phytosanitary risks (development of root rot 17.9%, leaf diseases 3.3%), the usage of biologized technology for protection of spring wheat against pests, where the fungicidal

component is represented by a bacterial preparation based on *Bacillus subtilis*, was equivalent in economic efficiency to the standard chemical protection scheme (+113...114% to the control). An increase in crop yield by 115% with a good level of biological effectiveness of the fungicidal component (65 and 85% for groups of soil and leaf phytopathogens, respectively) was noted when using a combined protection technology that combined chemical and biological methods. The data obtained allow us to recommend the studied technologies to reduce the pesticide load on agroecosystems in the conditions of the Trans-Urals.

Keywords: plant protection technology, spring wheat, fungicide, microbiological preparation, phytopathogens

For citation: Kekalo A. Yu., Nemchenko V.V. Effectiveness of biologized technology for protecting spring wheat from pests// *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2024;2(66): 77-83 doi:10.18286/1816-4501-2024-2-77-83

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования по теме: «Усовершенствовать систему адаптивно-ландшафтного земледелия для Уральского региона и создать агротехнологии нового поколения на основе минимизации обработки почвы, диверсификации севооборотов, рационального применения пестицидов и биопрепаратов, сохранения и повышения почвенного плодородия и разработать информационно-аналитический комплекс компьютерных программ, обеспечивающий инновационное управление системой земледелия» (0532-2021-0002).

Введение

Защита растений занимает видное место в программах интенсификации растениеводства, поскольку потери урожая от вредных организмов продолжают быть высокими (до 30...50 %) [1, 2].

В интенсивных технологиях применяется значительное количество химических средств защиты растений от вредных организмов, которые негативно действуют на экологическую ситуацию в агроэкосистемах. Широкое, зачастую избыточное их применение нарушает экологическое равновесие и приводит к нежелательным фитосанитарным последствиям [2, 3].

Среди альтернатив биологический контроль представляется наиболее перспективным подходом к экологически чистому и устойчивому сельскому хозяйству для защиты сельскохозяйственных культур и получения безопасных продуктов питания [4]. Использование биорациональных средств защиты растений в последние годы пересмотрено в пользу применения микробиологических препаратов с полифункциональным типом действия на вредные организмы. Стратегия и тактика подхода применения экологически малоопасных средств защиты растений в последнее десятилетие существенно переосмыслены [3, 5].

На сегодняшний день востребованы исследования по поиску эффективных биофунгицидов, позитивно влияющих на фитосанитарное состояние посевов, а также на рост и развитие растений и микробиологическую активность почвы [6, 7, 8]. Обладающие данными свойствами препараты, наравне с химическими, будут востребованы в современных технологиях интенсивного растениеводства с включением адаптивно-интегрированной системы защиты растений, которая должна быть многовариантной и перестраиваемой в зависимости от уровня интенсивности технологического процесса [6].

В мире создано около 300 биопрепаратов для защиты растений, что дает значительный ресурс для реализации стратегии активного внедрения биологического метода в полеводство, настроенное на

экологическую безопасность производства продуктов питания и кормов [9].

Для стабилизации защитного эффекта при использовании биопрепаратов требуется проведение постоянных наблюдений за соотношением полезных и вредных популяций микроорганизмов и профилактических обработок, учетом соответствия условий среды требованиям вносимых биоагентов [5, 9].

Практический опыт применения биологического метода в полеводстве показывает наличие определенных рисков. Значительное влияние природных факторов на конечный результат не всегда позволяет получать стабильную эффективность агроприема.

Исходя из вышеизложенного, вопрос внедрения биологического метода защиты растений в современное зерновое производство требует научного изучения с привязкой к условиям региона.

Цель исследований – определение возможности снижения пестицидной нагрузки на агроценоз посредством использования микробиологических средств защиты от болезней в комплексной технологии защиты яровой пшеницы от вредных организмов в условиях Зауралья.

В задачи исследования входило определение биологической и хозяйственной эффективности технологий комплексной защиты пшеницы яровой от вредных организмов при использовании различных методов (химического, биологического, комбинированного).

Материалы и методы

Исследования выполнены на опытном поле Курганского НИИСХ – филиала ФГБНУ УрФАН ИЦ УрО РАН. Севооборот трехпольный зернопаровой, опыты закладывали на пшенице по пару в посевах широко распространенного в России сорта яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Омская 36. Почва опытного участка – чернозём выщелоченный малогумусный тяжелосуглинистый. Агротехника возделывания пшеницы зональная. Площадь деланки в опытах 20 м², размещение вариантов –

систематическое, повторность 4-кратная. Обработку растений проводили ранцевыми опрыскивателями «Solo 456», оборудованными метровой штангой, протравливание зерна -вручную. Опыт закладывали в соответствии с действующими методическими рекомендациями (Доспехов Б. А. *Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований*). М.: Альянс, 2011. 350 с.; *Экологический мониторинг и методы совершенствования защиты зерновых культур от вредителей, болезней и сорняков: методические рекомендации / Под ред. В.И. Танского*. СПб: ВИЗР, 2002. 76 с.; *Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве*. СПб: ВИЗР, 2009. 378 с.). Фитопатологическую экспертизу семян осуществляли по ГОСТу 12044-93 методом рулонной культуры. Учеты развития корневой гнили в полевых опытах проводили, пользуясь методикой В.А. Чулкиной по 6-бальной шкале [10]. Учеты листовых болезней проводили по методике ВИЗР. Расчет биологической эффективности препаратов проведен по формуле Аббота. Учет урожая зерна – прямым комбайнированием «Sampro-130». Обработка данных проводилась методом дисперсионного анализа.

Схема полевого опыта включала следующие варианты защиты пшеницы:

1. Контроль абсолютный без защитных обработок
2. Контроль химзащита стандартная (St)
 - обработка семян: Кинг Комби 1, л/т [ацетамиприд + флудиоксанил + ципроконазол];
 - в фазу кущения: гербициды баковая смесь [метсульфурон-метил 5 г/га + трибенурон 20 г/га + феноксапроп-П-этил 0,6 л/га];
 - в фазу выхода флаг-листа: фунгицид 0,5 л/га [флутриафол + тебуконазол].
3. Технология Комби
 - обработка семян: Кинг Комби 1,2 л/т [ацетамиприд + флудиоксанил + ципроконазол], *Bacillus subtilis* 2 л/т, *Bacillus megatherium* и *Azotobacter chroococcum* по 1 л/т, ортофосфорная кислота 50 г/т + МЭ*;
 - в фазу кущения: гербициды баковая смесь [метсульфурон-метил 5 г/га + трибенурон 20 г/га + феноксапроп-П-этил 0,6 л/га] и *Bacillus subtilis* 1 л/га + МЭ + карбамид 4 кг/га;
 - в фазу выхода в трубку: *Bacillus subtilis* 1 л/га, МЭ, карбамид 8 кг/га;
 - в фазу выхода флаг-листа: фунгицид 0,5 л/га [флутриафол + тебуконазол];
 - в фазу молочной спелости: *Bacillus subtilis* 1 л/га, фунгицид 0,5 л/га [флутриафол + тебуконазол], карбамид 8 кг/га.
4. Технология Био
 - обработка семян *Bacillus subtilis* 2 л/т, *Bacillus megatherium*, *Azotobacter chroococcum*, *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana* по 1 л/т;

– в фазу кущения: гербициды баковая смесь и *Bacillus subtilis* 1 л/га + МЭ + карбамид 4 кг/га;

– в фазы выхода в трубку, флаг-листа и молочной спелости зерна были применены обработки только биофунгицидом на основе сенной палочки.

Примечание: * МЭ – (хелаты меди, цинка, Аквамикс).

Климат южной лесостепной зоны Зауралья характеризуется как континентальный с ярко выраженным переходом от суровой малоснежной зимы к жаркому лету с периодически повторяющейся засухой. Погодные условия вегетационного периода за годы исследований отличались от удовлетворительных в 2018 г. (ГТК май-август 1,25) до умеренно и острозасушливых в 2019 и 2020 гг. (ГТК 0,9 и 0,6).

В 2018 г. недостаток тепла наблюдался в мае и июне, июль был жарким засушливым, август отличался обилием осадков во 2 и 3-й декадах. В начале своего развития растения развивались при пониженном температурном режиме, а в период стеблевания-цветения отмечалось наступление жаркой без осадков погоды, что негативно сказалось на развитии генеративных органов и в конечном итоге - на урожайности. Период созревания пшеницы проходил в первой декаде августа при повышенном температурном режиме и отсутствии дождей, а во второй и третьей декадах месяца – при повышенном увлажнении. За период вегетации ГТК составил 1,25, что по Селянинову характеризует погодные условия периода вегетации как удовлетворительные. Однако вследствие неравномерности распределения гидротермических ресурсов, продуктивность яровой пшеницы была невысокой.

В мае и июне 2019 г. растения развивались при пониженном температурном режиме и увлажнении ниже нормы. Июль отличался засушливостью. Во второй декаде июля у пшеницы отмечался выход флагового листа, установилась знойная погода, дневные температуры достигали 28-30°C, среднесуточная – 24,5°, что на 5,1°C выше среднесуточного показателя. Дождя не было, у пшеницы началось отмирание нижнего яруса листьев и ослабленных побегов кущения. В период созревания отмечалась жаркая без осадков погода.

В период вегетации 2020 г. гидротермические условия были малоблагоприятны для роста и развития растений, характеризовались резкими перепадами температурного и водного режимов, что способствовало развитию инфекций корневых гнилей пшеницы. В период всходы – кущение отмечались недостаток влаги и недобор тепла. В период стеблевания и созревания пшеницы погода была жаркая, знойная с дневными температурами выше 30°C. Продуктивных дождей не наблюдалось, растения находились в условиях почвенной и воздушной засух. ГТК июля составил 0,18, что характерно для условий пустыни. Находясь в состоянии теплового стресса, пшеница ускоренно проходила фазы развития и отмечалась частичная редукция цветков в

4.1.3. Агрехимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)

колосе. Эти стресс-факторы негативно сказались на продуктивности культуры и её отзывчивости на средства защиты.

Результаты

Зараженность семян пшеницы составила в среднем 87 % (по годам 100, 70, 91 % соответственно в 2018, 2019 и 2021 гг.). Доминирующим фитопатогеном являлись фузариевые грибы (от 10 до 30 %), из сапрофитов преобладали грибы рода *Alternaria spp.* (20...65 %). Лабораторная всхожесть семенного материала составляла от 72 до 91 %.

В полевых условиях густота всходов пшеницы наблюдалась на уровне 79,1 % на контрольном варианте опыта, близкие значения показателя были на вариантах стандартной и химической защиты семян, на варианте биологической защиты число взошедших растений повышалось на 2,2 процентных пункта (табл. 1).

Проведенные наблюдения показали, что поражения растений головневыми инфекциями в опыте не отмечали.

Естественная зараженность пшеницы корневой гнилью на контроле составила в среднем 17,9 %,

признаки заболевания наблюдали у 58...82 % растений. Высокий процент поражения наблюдался в 2019 г. (31,4 % на контроле), выше порога вредоносности в 2020 г. (развитие 16,2% на контроле) и в пределах допустимого в 2018 г. (3,2 %). Агрессивность почвенных фитопатогенов, в частности возбудителей корневых гнилей, усиливается, если имеются перепады температур, недостаток влаги, повреждение растений насекомыми. В анализируемый период недостаточность увлажнения, «температурные качели» в июне способствовали развитию болезни, в 2019 и 2020 гг. отмечалось повреждение пшеницы злаковыми мухами. Возбудителями гнили корней являлись грибы рода *Fusarium spp.* и *Bipolaris sorokiniana*. Корреляционная зависимость между урожайностью культуры и развитием корневой гнили была весьма высокая обратная по шкале Чеддока ($r=-0,94$).

Биологическая эффективность протравливания семян на варианте с технологией Комби была выше, чем при стандартной химзащите (65%) (табл. 1).

Таблица 1. Влияние изучаемых технологий на полевую всхожесть и поражение яровой пшеницы фитопатогенами в период вегетации, 2018-2020 гг.

Вариант	Полевая всхожесть, %	Развитие корневой гнили, %	Биологическая эффективность протравливания семян от корневой гнили, %	Развитие листовых фитопатогенов (на контроле) и биологическая эффективность систем защиты, %
Контроль абсолютный	79,1	17,9	19,5	3,3
Контроль химзащита St	78,8	11,7	35	80
Технология Комби	79,7	6,2	65	85
Технология Био	81,3	9,1	49	63
HCP ₀₅		2,27		

Микробиологическая защита обеспечила невысокий уровень подавления почвенных фитопатогенов (49 %), сказался гидростресс, особенно в 2020 г. Недостаток влаги негативно повлиял на приживаемость и работоспособность внесенных бактерий. Следует, однако, учитывать, что при поступлении влаги они способны активизироваться [11].

В фазу кущения пшеницы была проведена химпрополка посевов. На вариантах с изучаемыми технологиями защиты (Био и Комби) к баковой смеси гербицидов добавляли бактериальные препараты и минеральные удобрения для корректировки питания (мочевина, мезо- и микроэлементы). Значимой разницы по эффективности контроля сорной растительности между вариантами опыта с мерами защиты не отмечали.

Уровень развития листовых инфекций на пшенице в годы исследований характеризовался как депрессия, видовая представленность – мучнистая роса и пиренофороз (жёлтая пятнистость). В целом хозяйственного значения в эти годы болезни листьев не имели, развитие болезней на листьях не превышало 3,3 % без средств защиты.

Контроль листовых фитопатогенов самым результативным был при использовании Технологии Комби (85 %), на варианте с биозащитой развитие болезней снижалось на 63 % (табл. 1). Сочетание микробиологического препарата на основе сенной палочки с химическим фунгицидом оказалось результативнее, чем стандартная химзащита в условиях депрессивного уровня развития фитопатогенов на листьях.

Урожайность пшеницы в среднем за 2018...2020 гг. составила на контрольном варианте опыта 20,1 ц/га. Примененные технологии защиты позволили достоверно сохранить 2,6...3,0 ц/га. Хозяйственная эффективность составила 113...115 % продуктивности культуры (табл. 2).

Качество зерна по содержанию в нем клейковины значительно изменялось в сравнении с контролем только при использовании технологии Комби (+2,7 п.п. к контролю). При наличии в период вегетации засушливых явлений отзывчивость растений на защитные мероприятия снижена, чем интенсивнее стресс, тем меньше хозяйственный результат.

Таблица 2. Влияние изучаемых технологий защиты на урожайность и качество зерна пшеницы яровой, 2018-2020 гг.

Показатель	Вариант				НСР ₀₅
	Контроль абсолютный без обработок	Контроль химзащита St	Технология Комби	Технология Био	
Урожайность, ц/га	20,1	22,7	23,1	22,9	1,94
Хозяйственная эффективность, %	100	113	115	114	-
Содержание сырой клейковины в зерне, %	28,1	28,9	30,8	29,4	2,04

Обсуждение

Распространение биологического метода защиты растений в зерновом полеводстве весьма ограничено. Согласно данным Россельхозцентра в РФ применение средств биозащиты проводилось в 2022 г. на 1,3 % от общей площади защитных обработок. В УФО и СФО применение данного метода защиты отмечалось на площади 0,73 % или 141 тыс.га, преимущественно для защиты от болезней растений [12].

По мнению многих ученых, а также исходя из практических результатов в сельхозпредприятиях как России, так и других стран мира, использование средств биозащиты имеет как положительные, так и отрицательные стороны, которые необходимо учитывать. В полевых условиях результативность действия биопрепаратов нестабильна, зависит от абиотических факторов сильнее, чем у химических пестицидов. Для грамотного использования биологического метода требуются специалисты высокой квалификации или большие затраты на консультационные услуги, поэтому доля биологической защиты в

прямых мерах борьбы с вредными организмами относительно низкая [13-19].

Ограниченное использование метода связано, прежде всего, с опасениями агрослужбы по эффективности контроля вредных организмов и неготовности понимания системности использования средств биологической защиты для получения хорошего результата. Если для контроля сорных растений достойной альтернативы химпрополке пока нет, то современные биофунгициды и биосектициды способны обеспечить результативную защиту растений.

Результаты наших исследований достоверно показывают, что использование на яровой пшенице технологии защиты на основе микробиологических препаратов, а также технологии с комбинированным внесением химических и биопрепаратов по хозяйственной эффективности не уступали стандартному методу химзащиты даже в условиях влагодефицитных состояний периода вегетации. Это позволяет аграриям выбирать менее экологически опасные технологии при том же уровне контроля вредных организмов.

Заключение

В условиях умеренных фитосанитарных рисков (развитие корневой гнили 17,9%, листовых болезней 3,3%) использование для защиты яровой пшеницы биологизированной технологии защиты от вредных организмов, где фунгицидный компонент был представлен микробиологическим препаратом на основе сенной палочки (*Bacillus subtilis*) было равнозначно по хозяйственной эффективности со стандартной схемой химзащиты (113...114 % к контролю). Повышение урожайности культуры на 115 % при хорошем уровне биологической эффективности фунгицидного компонента (65 и 85 % по группам почвенных и листовых фитопатогенов) отмечено при использовании комбинированной технологии защиты, где сочетались химический и биологический методы. Использование технологии Комби позволило повысить содержание сырой клейковины в зерне пшеницы на 2,7 п.п. Полученные результаты позволяют рекомендовать использование изученных технологий для снижения пестицидной нагрузки на агроценозы в условиях южной лесостепи Зауралья.

Литература

1. Санин С. С. Защита растений и устойчивое земледелие в XXI столетии // Защита и карантин растений. 2020. № 4. С. 9-16.
2. Жученко А. А. Стратегия адаптивного растениеводства и ресурсосбережения // АПК: экономика, управление. 2017. № 6. С. 11.
3. Совместное использование штаммов микроорганизмов и хитозановых комплексов для повышения урожайности пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / Л. Е. Колесников, Э. В. Попов, И. И. Новиков и др. // Сельскохозяйственная биология. 2019. Том 54. № 5. С. 1024-1040. doi: 10.15389/agrobiology.2019.5.1024rus
4. Emerging microbial biocontrol strategies for plant pathogens / A. B. Syed, S. F. Rahman, E. Singh, et al. // Plant Science 2018. No. 267. P. 102-111.
5. Павлюшин В. А. Новикова И. И., Бойкова И. В. Перспективы и возможности микробиологической защиты растений для повышения уровня экологической безопасности в агроценозах (обзор) // Защита и карантин растений. 2022. № 4. С. 10-18. doi: 10.47528/1026-8634-2022-4-10.

6. Эффективность защиты яровой пшеницы биопрепаратами и фунгицидами в лесостепи Приобья: I. Первые результаты в экстремальных погодных условиях / Н. Г. Власенко, В. А. Павлюшин, О. И. Теплякова и др. // Вестник защиты растений. 2021. № 104 (4). С. 202-212 doi:10.31993/2308-6459-2021-104-4-15029/
7. O'Brien P. Biological control of plant diseases // Australas Plant Pathology. 2017. No. 46. P. 293-304. doi:10.1007/s13313-017-0481-4.
8. Biological control: a sustainable and practical approach for plant disease management / M.Tariq, A. Khan, M. Asif, et al. // Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science. 2020. Vol. 70 No. 6. P. 507-524. doi:10.1080/09064710.2020.1784262.
9. Павлюшин В. А., Новикова И. И., Бойкова И. В. Микробиологическая защита растений в технологиях фитосанитарной оптимизации агроэкосистем: теория и практика // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55. № 3. С. 421-438. doi:10.15389/agrobiology. 2020.3.421rus
10. Торопова Е. Ю. Фитосанитарная диагностика агроэкосистем. Барнаул, 2017. 210 с.
11. Курамшина З. М., Хайруллин Р. М. Повышение устойчивости растений к засухе с помощью эндофитных штаммов *Bacillus subtilis* // Физиология растений. 2023. Т. 70. № 3. С. 259-268. doi: 10.31857/S0015330322600760
12. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в РФ в 2022 г. URL: <https://rosselhoccenter.com> (дата обращения 15.12.2023).
13. Защита зерновых культур от болезней / А. Ю. Кекало, В. В. Немченко, Н.Ю. Заргарян и др. Куртамыш: ООО «Куртамышская типография», 2017. 172 с.
14. Кекало А. Ю. Экологизированный способ защиты семян пшеницы от фитопатогенов // Аграрная наука. 2021. № 354 (11-12). С. 129-133. doi:10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-129-133.
15. Fedele G., Brischetto C., Rossi V. Biocontrol of *Botrytis cinerea* on grape berries as influenced by temperature and humidity // Frontiers in Plant Science. 2020. No.11. P.1232.
16. Combined use of biocontrol agents to manage plant diseases in theory and practice / X.M. Xu, P. Jeffries, Pautasso M., M. J. Jeger, et al. // Phytopathology. 2011. No. 101. P. 1024-1031.
17. Власенко Н. Г., Бурлакова С. В., Егорычева М. Т. Биофунгициды в технологии выращивания яровой пшеницы // Российская сельскохозяйственная наука. 2023. № 4. С. 25-28. doi: 10.31857/S2500262723040051
18. A review on the plant microbiome: Ecology, functions, and emerging trends in microbial application / S. Com-pant, A. Samad, H. Fais, et al. // Journal of Advanced Research. 2019. No. 19. P. 29-37.
19. Is the efficacy of biological control against plant diseases likely to be more durable than that of chemical pesticides? / M. Bardin, S. Ajouz, M. Comby, et al. // Frontiers in Plant Science. 2015. №. 6. С. 566. doi:10.3389/fpls.2015.00566

References

1. Sanin S. S. Plant protection and sustainable agriculture in the 21st century // Plant protection and quarantine. 2020. No. 4. P. 9-16.
2. Zhuchenko A. A. Strategy of adaptive crop production and resource conservation // AIC: economics, management. 2017. No. 6. P. 11.
3. Combined usage of microorganism strains and chitosan complexes to increase the yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) / L. E. Kolesnikov, E. V. Popov, I. I. Novikov, et. al // Agricultural biology. 2019. Vol. 54. No. 5. P. 1024-1040. doi: 10.15389/agrobiology.2019.5.1024rus.
4. Emerging microbial biocontrol strategies for plant pathogens / A.B. Syed, S. F. Rahman, E. Singh, et al. // Plant Science. 2018. No. 267. P. 102-111.
5. Pavlyushin V. A., Novikova I. I., Boykova I. V. Prospects and possibilities of microbiological plant protection to increase the level of environmental safety in agrocenoses (review) // Protection and quarantine of plants. 2022. No. 4. P. 10-18. doi: 10.47528/1026-8634_2022_4_10.
6. The effectiveness of protecting spring wheat with biological products and fungicides in the forest-steppe of the Ob region: I. First results in extreme weather conditions / N. G. Vlasenko, V. A. Pavlyushin, O. I. Teplyakova, et al. // Vestnik of plant protection. 2021. No. 104 (4). P. 202-212. doi:10.31993/2308-6459-2021-104-4-15029.
7. O'Brien P. Biological control of plant diseases // Australas Plant Pathology. 2017. No. 46. P. 293-304. doi:10.1007/s13313-017-0481-4.
8. Biological control: a sustainable and practical approach for plant disease management / M. Tariq, A. Khan, M. Asif, et. al. // Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science. 2020. No. 70 (6). P. 507-524. doi:10.1080/09064710.2020.1784262.
9. Pavlyushin V. A., Novikova I. I., Boykova I. V. Microbiological plant protection in technologies for phytosanitary improvement of agroecosystems: theory and practice // Agricultural biology. 2020. Vol. 55. No. 3. P. 421-438. doi:10.15389/agrobiology. 2020.3.421rus
10. Toropova E.Yu. Phytosanitary diagnostics of agroecosystems. Barnaul, 2017. 210 p.
11. Kuramshina Z. M., Khairullin R. M. Increase of plant resistance to drought using endophytic strains of *Bacillus subtilis* // Plant Physiology. 2023. Vol. 70. No. 3. P. 259-268. doi: 10.31857/S0015330322600760.

12. Review of the phytosanitary state of agricultural crops in the Russian Federation in 2022. Access mode: <https://rosselhocenter.com> (access date: 15.12.2023).
13. Protection of grain crops from diseases / A. Yu. Kekalo, V. V. Nemchenko, N. Yu. Zargaryan, et al. // Kurtamysh: Kurtamysh Printing House, 2017. 172 p.
14. Kekalo A. Yu. An eco-friendly method for protecting wheat seeds against phytopathogens // Agrarian Science. 2021. No. 354 (11-12). P. 129-133. doi:10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-129-133.
15. Fedele G., Brischetto C., Rossi V. Biocontrol of *Botrytis cinerea* on grape berries as influenced by temperature and humidity // Frontiers in Plant Science. 2020. No. 11. P. 1232.
16. Combined use of biocontrol agents to manage plant diseases in theory and practice / Xu X.M., P. Jeffries, M. Pautasso, M. J. Jeger et al. // Phytopathology. 2011. No. 101. P. 1024-1031.
17. Vlasenko N. G., Burlakova S. V., Egorycheva M. T. Biofungicides in the technology of spring wheat cultivation// Russian Agricultural Science. 2023. No. 4. P. 25-28. doi:10.31857/S2500262723040051.
18. A review on the plant microbiome: Ecology, functions, and emerging trends in microbial application / S. Compant, A. Samad, H. Faist, et al. // Journal of Advanced Research. 2019. No. 19. P. 29-37.
19. Is the efficacy of biological control against plant diseases likely to be more durable than that of chemical pesticides? / M Bardin, S. Ajouz, M. Comby, et al. // Frontiers in Plant Science. 2015. No. 6. P. 566.