

EDN UGOEAN

DOI 10.5281/zenodo.16563826

УДК 579.64:632.51

Пась А. Н., Дидович С. В., Горгулько Т. В.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ БИОРАЦИОНАЛЬНЫХ ГЕРБИЦИДНЫХ ФОРМ НА ОСНОВЕ ШТАММОВ МИКРОМИЦЕТОВ-ФИТОИНГИБИТОРОВ АМБРОЗИИ ПОЛЫННОЛИСТНОЙ

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Поиск и разработка биологических методов контроля сорной растительности в мировой науке и производстве остается актуальным и инновационно-прогрессивным вызовом, так как предусматривает ориентацию на органическое производство продукции растениеводства и экологизацию земледелия. Цель – разработка биорациональных гербицидных форм (БГФ) для оценки их эффективности в лабораторных и полевых условиях на *Ambrosia artemisiifolia* L., а также другой сорной растительности. Исследования проводили в 2023–2024 гг. в отделе сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». Объектами исследования выступали перспективные штаммы-фитоингибиторы микромицетов из коллекции ФГБУН «НИИСХ Крыма» (<http://www.ckp-rf.ru/usu/507484/>), обладающие фитотоксичными свойствами для *A. artemisiifolia*. Установлено, что в лабораторных условиях высокую степень гербицидной активности проявили пять из 20 протестированных биорациональных форм. Обработка БГФ поликомпонентного состава, содержащими поверхностно- и физиологически активные вещества растительного происхождения, а также фосфорорганическое соединение на основе штамма *Fusarium iranicum* 200ГР снижала фитомассу *A. artemisiifolia* на 42,8 % (на 0,03 г) со степенью поражения до 90 %, на основе штамма *Fusarium* sp. 200ГР2 – уменьшила высоту растений на 16,8 % (1,6 см) со степенью поражения 50 %, на основе штамма *Penicillium vanoranjei* MSK3Г снизила поражение до 38,6 %. БГФ с использованием фосфорорганического соединения и штамма *Fusarium* sp. 200ГР2 обеспечила снижение высоты растения на 26,3 % (2,5 см) со степенью поражения 46 %, а включение штамма *P. vanoranjei* MSK3Г снизило поражение до 35 % ($p < 0,000001$). Разработаны БГФ для двух штаммов-фитоингибиторов на основе модифицированной среды Чапека, характеризующиеся высокой степенью поражения растений амброзии, значительно превышающие контроль со стандартной средой на 9,1–12,8 % ($p < 0,05$). В полевых условиях 2023–2024 гг. гербицидная эффективность разработанных биорациональных форм на *A. artemisiifolia* составила 25–80 %, *Sonchus arvensis* – 20–80 %, *Alopecurus myosuroides* – 80 %, *Papaver rhoëas* – 50–80 %, *Convolvulus arvensis* – 20–70 %, *Galium aparine* – 60 %.

Ключевые слова: биорациональные гербициды, фитотоксичность, штаммы-фитоингибиторы, сорная растительность, *Ambrosia artemisiifolia* L.

Для цитирования: Пась А. Н., Дидович С. В., Горгулько Т. В. Эффективность биорациональных гербицидных форм на основе штаммов микромицетов-фитоингибиторов амброзии полыннолистной // Таврический вестник аграрной науки. 2025. № 2(42). С. 174–187. EDN: UGOEAN. DOI: 10.5281/zenodo.16563826.

For citation: Pas' A. N., Didovich S. V., Gorgulko T. V. Effectiveness of biorational herbicidal forms based on strains of micromycetes-phytoinhibitors of *Ambrosia artemisiifolia* L. // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2025. No. 2(42). P. 174–187. EDN: UGOEAN. DOI: 10.5281/zenodo.16563826.

Введение

Сорные растения устойчиво занимают первое место по уровню вредоносного влияния на урожай сельскохозяйственных культур и выносу питательных веществ из почвы.

На посевах зерновых культур установлено, что при низком уровне засоренности и рассчитанному экономическому порогу вредоносности сорняков потери урожая составляют около 9 % урожайности (при среднем уровне в 19 %), достигая в некоторых случаях 25 % [1, 2]. Комплексная система мер основывается на сочетании различных методов: научно обоснованной системе севооборота, выборе обработки почвы, использовании гербицидов и так далее. Предпочтительным мероприятием борьбы с сорной растительностью остается применение химических гербицидов [3–6], но систематическое их использование приводит к загрязнению окружающей среды и деградации почв, накоплению в продуктах питания и нанесению вреда здоровью населения [7–9].

Исходя из открытых сведений, происходит ежегодное увеличение площадей карантинных сорных растений, как за рубежом, так и в России. По данным «Центра оценки качества зерна», с начала 2024 г. в России установлено более 550 новых карантинных фитосанитарных зон на общей площади свыше 975 тыс. га [10]. Согласно Международной базе данных по устойчивым к гербицидам сорнякам (weedscience.org), приобретают резистентность все большее количество биотопов сорной растительности [11–15], что приводит к увеличению потребляемых норм химических гербицидов.

Поиск, разработка и внедрение в систему земледелия и агротехнологии защиты биологических средств контроля численности сорной растительности ведутся давно и приобретают все больший интерес в мировой науке и производстве [16].

Особенность биорациональных гербицидов заключается в том, что, помимо основы – биологического активного фитопатогена/фитоингибитора, в него могут входить многочисленные компоненты химической и биологической природы. Данные компоненты используются для фиксации и прилипания микроорганизмов препарата, способствуют проникновению фитопатогена и обеспечивают его активность в гистосфере сорного растения. Кроме того, они могут быть ингредиентом среды и консервантом для стабилизации при хранении биогербицида. Известно, что в состав препаративных гербицидных форм могут входить смачиватели, пеногасители, растворители, микробиоциды, красители, наполнители и другие компоненты.

Такой состав биорационального гербицида в конечном итоге должен обеспечить высокую эффективность в полевых условиях и снизить агрессивную пестицидную нагрузку на агроценоз. Виды и формулы биопестицидов постоянно совершенствуются с целью сделать их применение максимально эффективным, удобным и безопасным [17, 18].

Цель исследований – разработка биорациональных гербицидных форм (БГФ) для оценки их эффективности в лабораторных и полевых условиях на *Ambrosia artemisiifolia* L., а также другой сорной растительности.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2023–2024 гг. в отделе сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». Объектами исследования выступали перспективные штаммы-фитоингибиторы из коллекции ФГБУН «НИИСХ Крыма» (<http://www.ckprf.ru/usu/507484/>) с фитотоксичными свойствами для *A. artemisiifolia*.

В лабораторном опыте оценивали эффективность действия на растениях амброзии полыннолистной штаммов-фитоингибиторов: *Penicillium vanoranjei*

MSK3Г, *Fusarium iranicum* 200Г, *Fusarium iranicum* 200ГР, *Fusarium sp.* 200ГР2 и перспективных оригинальных препаративных форм (ПФ), созданных на их основе. Штаммы микромицетов культивировали на бобовой среде с сахарозой. Варианты опыта – свежеприготовленные БГФ с мицелиальной массой 10–13 мг а.с.м./мл препаративной формы (ПФ) на основе перспективных штаммов микромицетов-фитоингибиторов и их различные комбинации с поверхностно физиологически активными компонентами (ПФАК). В препаративные формы добавляли по 1 % ПАВ – глицерин (g), физиологически активные компоненты – 50 % водно-глицериновый экстракт (ВГЭ) из сырой фитомассы амброзии (a) и NaCl (s), органический компонент в виде фосфорорганического соединения (f), входящего в состав глифосатсодержащих гербицидов. Вариантами опыта выступили БГФ без добавок (–) и с компонентами – (gs), (gsa), (gsaf), (f). Контроль в лабораторных и полевых экспериментах – обработка водой. Все БГФ перед бактеризацией растений гомогенизировали в течении 60 сек при 40000 об./мин [19]. Водно-глицериновый растительный экстракт (гидромодуль 1:5) из надземной части растений амброзии получали экстракцией при кипении на водяной бане в течении 1 ч.

Растения *A. artemisiifolia* выращивали из семян в сосудах с перфорированным дном, объемом 200 мл на почвосмеси марки «Универсальный». Состав субстрата: торф, известняковые материалы, рыхлители, комплексное удобрение с общей кислотностью pH 5,5–6,5. Массовая доля макроэлементов: азот – 50–150, фосфор – 100–250, калий – 150–300 мг/100 г сухого вещества, органическое вещество > 70 %. Эксперимент проведен в условиях климатокамеры с энергетической освещённостью 24,5 Вт/м² и 12-часовым фотопериодом при температурах 23–25 °С. Растения обрабатывали ПФ с ПФАК (доза 200 мкл/растение) в фазе 4–6 листьев методом опрыскивания. Через три недели оценивали продуктивность (высоту и фитомассу надземной части) амброзии полыннолистной и степень поражения в % (учитывали усыхания, побурение, хлороз, пожелтение, некрозы, увядания). Для визуальной диагностики поражения каждого растения использовали стандартную балльную шкалу учёта: 0 – нет симптомов, 1 балл – 0–10 %, 2 балла – 11–25 %, 3 балла – 26–50 %, 4 балла – 50–75 %, 5 баллов – >75 %, 6 – гибель растения [20]. Контрольный и опытные варианты проведены в 10-кратной повторности.

Для разработки высокоэффективных полифункциональных биорациональных препаративных форм (БПФ) штаммы микромицетов культивировали в жидких средах – стандартных (бобовой и Чапека) и с модифицированными рецептурными формулами, используя фосфорорганический компонент в количестве 0,3 мг/л (72 часа при температуре 28 °С). Перед обработкой растений добавляли ПФАК (NaCl, глицерин) во все варианты БГФ. Масса мицелия составляла от 30,1 до 77,8 а.с.в. мг/мл в зависимости от препаративной формы.

Определение числа клеток микроскопических грибов проводили известными методами [21], основанными на приготовлении ряда последовательных разведений штамма в стерильной воде и высевом в чашки Петри, с подсчетом выросших колоний микромицетов.

Полевые испытания биорациональных гербицидных форм проводили на базе селекционно-семеноводческого центра эфиромасличных культур ФГБУН «НИИСХ Крыма» в Белогорском районе. Вариантами опыта выступили четыре БГФ на основе штаммов фитоингибиторов (*P. vanoranjei* MSK3г, *F. iranicum* 200Г, *F. iranicum* 200ГР, *Fusarium sp.* 200ГР2) в сравнении с контролем без бактеризации. Дата проведения обработки растений амброзии в фазе 4–6 листьев в 2023 г. выпала на вторую декаду мая (12.05), в 2024 г. – на третью декаду апреля (27.04). Условия проведения эксперимента: время обработки 10⁰⁰–12⁰⁰, температура воздуха 17–18 °С,

без осадков, инокуляционная нагрузка – 5 л/га. Обработку сорного ценоза проводили на участке под паром в 2023 г. по предшественнику кориандр (*Coriandrum sativum*), в 2024 г. – по предшественнику озимая пшеница (*Triticum aestivum*). Площадь учетной делянки составляла 0,2 га. Плотность растений амброзии в 2023 г. – 130–140 шт./м², в 2024 г. – 90–100 шт./м². После окончания эксперимента проводили дискование всего опытного участка для предотвращения дальнейшего развития сорных растений.

Расчет плотности амброзии полыннолистной и иной сорной растительности агроценоза проводили в день обработки, через две недели учитывали гербицидную эффективность (степень поражения) согласно методикам [22]. Статистическую обработку данных проводили с использованием Statistica10.

Результаты и их обсуждение

Важными для оценки гербицидной эффективности являются показатели фитомассы, высоты и степени поражения растений. При обработке исходными (свежеприготовленными) БГФ на основе штаммов 200Г, 200ГР, 200ГР2, MSK3Г установили, что ингибирующую активность в различной степени продемонстрировала каждая из БГФ без добавок (–) и в комбинации с добавками (gsaf), (f), (gsa), (gs) (рисунки 1, 2).

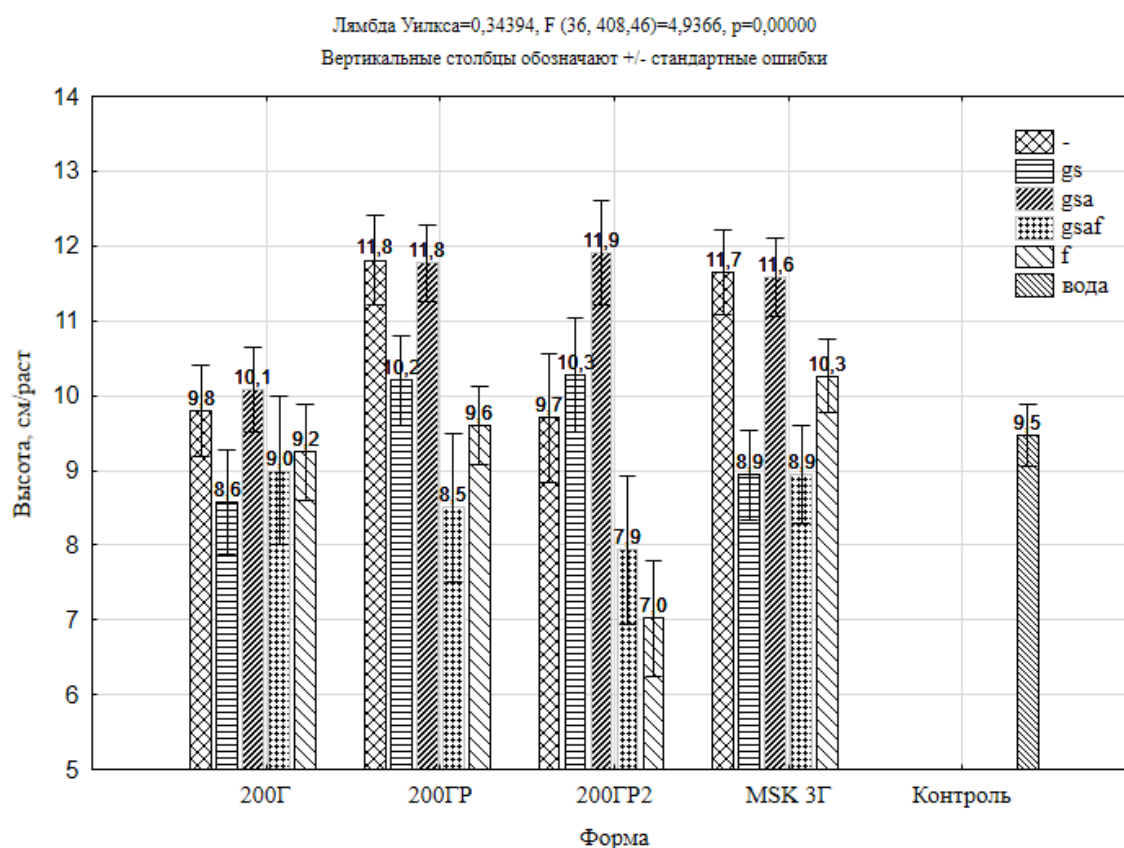


Рисунок 1 – Влияние бактериализации БГФ на высоту *A. artemisiifolia* L. (лабораторный опыт, 2023 г.)

Примечание. Здесь и далее: «–» без добавки, g – глицерин, s – NaCl, a – 50 % водно-глицериновый экстракт из сырой фитомассы амброзии, f – фосфорорганическое соединение.

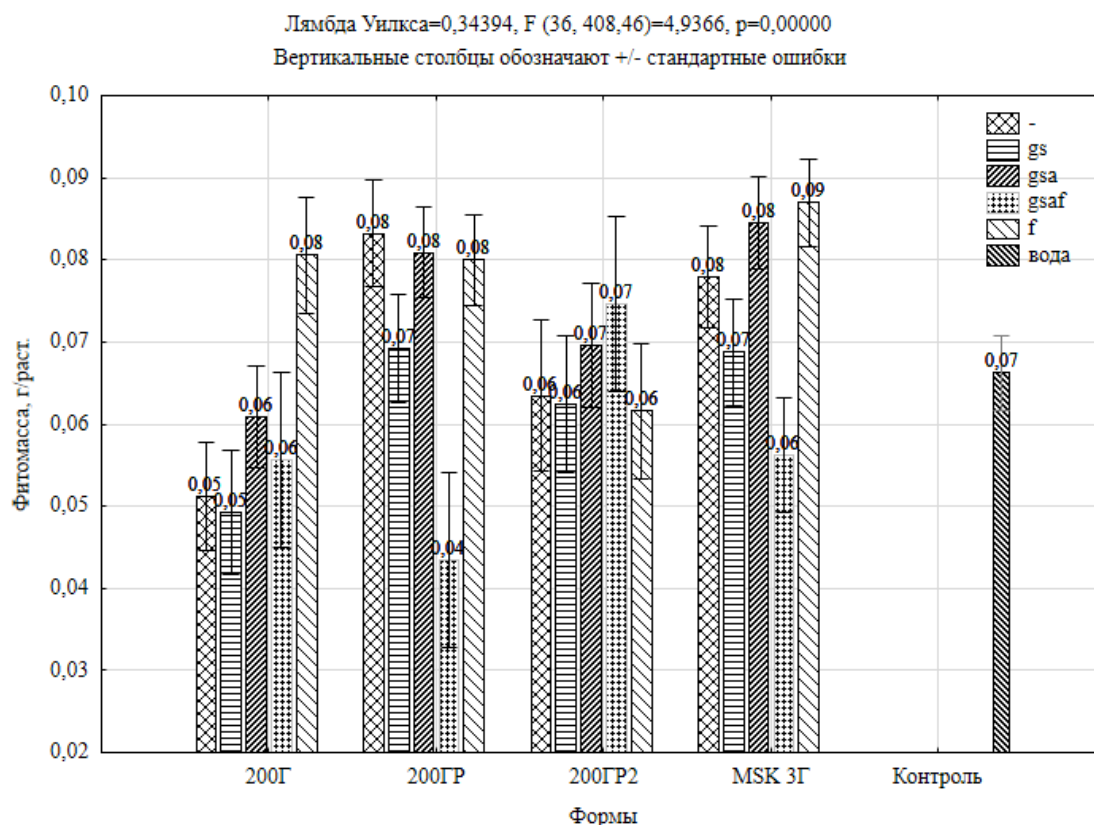


Рисунок 2 – Влияние бактериализации БГФ на фитомассу *A. artemisiifolia* L. (лабораторный опыт, 2023 г.)

При обработке БГФ на основе штамма 200ГР2 с добавками (gsaf) показатели высоты растений достоверно снижались на 1,6 см (16,8 %), (f) – на 2,5 см (26,3 %) по сравнению с контролем (9,5 см) на высоком уровне достоверности ($p < 0,000001$). Следует отметить, что показатели высоты и фитомассы растений свидетельствуют о разном адаптивном потенциале амброзии и реакции на обработку.

В результате бактериализации в ходе эксперимента у тестируемых растений достоверно снижались показатели фитомассы при действии БГФ на основе штамма 200Г без добавки (–) и с добавкой (gs) – на 0,02 г (28,5 %) в сравнении с контролем (0,07 г) (см. рисунок 2). Значительно снижалась фитомасса при действии БГФ штамма 200ГР с (gsaf) – на 0,03 г (42,8 %) по сравнению с контролем (0,07 г) ($p < 0,000001$).

При учете степени поражения установлено, что максимально высокий процент поражения (90 %) растений проявили БГФ штаммов *F. iranicum* 200Г и 200ГР. Все исследуемые БГФ проявили биогербицидную эффективность: с 4-компонентной добавкой (gsaf) степень поражения составляла от 38,6 до 90 %, с 3-компонентной (gsa) – от 4,1 до 30 %, с 2-компонентной (gs) – от 4,2 до 8,1 %, с добавкой (f) – от 20,9 до 46 %. БГФ в варианте без добавки (–) остались на уровне контрольных показателей ($p < 0,000001$) (рисунок 3).

Данные патентных исследований свидетельствуют, что использование гербицидов в кратно низких дозах совместимо с препаратами на основе микромицетов [23]. В связи с этим была выдвинута гипотеза о способности изучаемых микромицетных штаммов-фитоингибиторов к использованию при культивировании фосфорорганического соединения синтетического происхождения (ФОС).

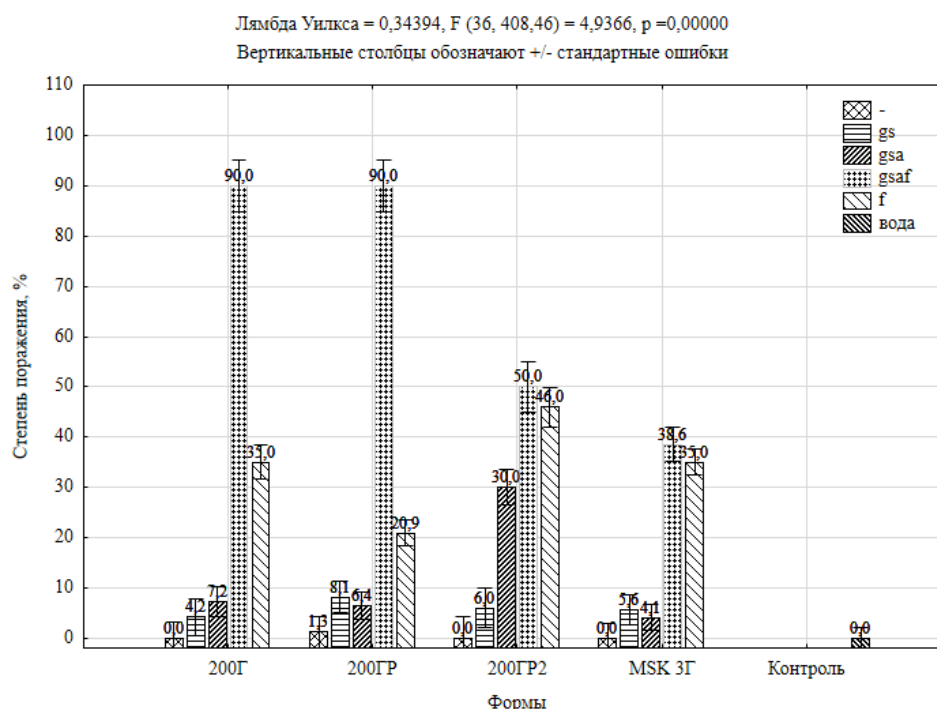


Рисунок 3 – Влияние бактериализации БГФ на поражение *A. artemisiifolia* (лабораторный опыт, 2023 г.)

Исследовали способность штаммов-ингибиторов к адаптации и питанию ФОС в жидких средах, а также их гербицидную эффективность в стандартных и модифицированных препаративных формах с ПФАК и стократно уменьшенной дозой фосфорорганического компонента на амброзии полыннолистной.

Результаты исследования показали, что культивирование БГФ штамма *P. vaporanjei* MSK3Г на стандартной бобовой среде (среда Б_с) позволило накопить биомассу мицелия 41,0 а.с.в. мг/мл при конечной pH = 4,91 (таблица 1).

Таблица 1 – Технологические параметры штаммов-фитоингибиторов при культивировании на стандартных и модифицированных средах (лабораторный опыт, 2024 г.)

Среда культивирования	Титр, $\times 10^7$ КОЕ/мл	pH	Биомасса мицелия, а.с.в. мг/мл
<i>Penicillium vaporanjei</i> MSK3Г			
Б _с	0,75 $\pm$ 0,02	4,91	41,0 $\pm$ 0,9
Б _м	0,70 $\pm$ 0,01	4,61	71,0 $\pm$ 4,2
Ч _с	0,80 $\pm$ 0,01	5,63	77,8 $\pm$ 3,5
Ч _м	1,80 $\pm$ 0,04	4,53	35,0 $\pm$ 1,9
<i>Fusarium iranicum</i> 200Г			
Б _с	0,32 $\pm$ 0,001	6,05	30,1 $\pm$ 2,8
Б _м	0,58 $\pm$ 0,001	6,29	35,1 $\pm$ 2,7
Ч _с	0,07 $\pm$ 0,001	7,8	43,3 $\pm$ 2,9
Ч _м	0,07 $\pm$ 0,001	7,69	53,1 $\pm$ 4,6
<i>Fusarium iranicum</i> 200ГР			
Б _с	0,57 $\pm$ 0,03	5,99	34,7 $\pm$ 2,1
Б _м	0,20 $\pm$ 0,02	6,69	51,9 $\pm$ 5,8
Ч _с	0,04 $\pm$ 0,004	8,07	52,2 $\pm$ 4,6
Ч _м	0,11 $\pm$ 0,001	7,87	48,3 $\pm$ 3,4

Бактеризация растений данной формой обеспечила высоту растений 7,6 см, фитомассу – 0,11 г со степенью поражения 10,3 % (таблица 2). БГФ, полученная на модифицированной бобовой среде (среда Б_м), позволила нарастить биомассу мицелия в 1,7 раза – 71,0 а.с.в. мг/мл при незначительном изменении pH среды до 4,61, и повысить биогербицидную активность: значительно снижалась высота на 0,9 см (11,8 %) и фитомасса на 0,04 г (36,3 %) со степенью поражения 13,6 % ($p < 0,05$).

Культивирование штамма MSK3г на стандартной среде Чапека (среда Ч_с) позволило получить биомассу мицелия 77,8 а.с.в. мг/мл с итоговой pH среды 5,63. После бактериализации растений данной БГФ высота растений была 7,1 см, фитомасса – 0,07 г и степень поражения 6,9 %. В модифицированной среде Чапека (среда Ч_м) биомасса мицелия снизилась в два раза и составила 35,0 а.с.в. мг/мл с подкислением конечной pH среды до 4,53 ед. Обработка такой БГФ не изменила продуктивность растений, но существенно увеличила степень поражения (в 2,8 раза) в сравнении со средой Ч_с (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Эффективность биорациональных стандартных и модифицированных гербицидных форм на продуктивность и степень поражения растений амброзии (лабораторный опыт, 2024 г.)

Среда культивирования	Высота растения, см ± SE	Фитомасса, г ± SE	Степень поражения, %
<i>Penicillium vanoranjei</i> MSK3г			
Б _с	7,6 ± 0,3	0,11 ± 0,01	10,3 ± 2,2
Б _м	6,8 ± 0,4	0,07 ± 0,00	13,6 ± 4,6
Ч _с	7,1 ± 0,4	0,07 ± 0,00	6,9 ± 2,4
Ч _м	7,1 ± 0,3	0,08 ± 0,00	19,7 ± 5,5
<i>Fusarium iranicum</i> 200Г			
Б _с	7,3 ± 0,5	0,09 ± 0,00	17,1 ± 4,9
Б _м	7,8 ± 0,3	0,10 ± 0,01	11,6 ± 3,0
Ч _с	8,7 ± 0,2	0,12 ± 0,01	5,8 ± 1,8
Ч _м	7,4 ± 0,3	0,12 ± 0,02	10,2 ± 4,3
<i>Fusarium iranicum</i> 200ГР			
Б _с	8,7 ± 0,5	0,11 ± 0,01	5,7 ± 3,1
Б _м	8,2 ± 0,4	0,10 ± 0,00	6,3 ± 1,6
Ч _с	6,5 ± 0,5	0,06 ± 0,00	5,6 ± 1,8
Ч _м	7,1 ± 0,3	0,06 ± 0,00	14,7 ± 3,0

Культивирование штамма 200Г на среде Б_с позволило получить 30,1 а.с.в. мг/мл мицелиальной биомассы при конечной pH среды 6,0 ед. (см. таблицу 1). При бактериализации данной БГФ высота амброзии была 7,3 см, фитомасса – 0,09 г, степень поражения – 17,1 % (см. таблицу 2). Технологические параметры БГФ штамма 200Г при росте на среде Б_м фактически не изменились (мицелиальная биомасса 35,1 а.с.в. мг/мл и итоговая pH 6,3 ед.), что также не повлияло на продуктивность исследуемого сорного растения. На среде Ч_с при культивировании штамма 200Г получена БГФ с биомассой 43,3 а.с.в. мг/мл при конечной pH = 7,8 ед. Показатели гербицидной эффективности данной формы составили: высота растения – 8,7 см, фитомасса – 0,12 г и степень поражения – 5,8 %. Биомасса мицелия БГФ, полученная на среде Ч_м, увеличилась на 10 а.с.в. мг/мл (53,1 а.с.в. мг/мл) не изменяя конечной pH = 7,7. При таких параметрах гербицидная эффективность БГФ характеризовалась существенным влиянием на продуктивность растений амброзии – снижением высоты растений на 1,3 см (14,9 %) и повышением степени поражения в 1,7 раза ($p < 0,05$).

Культивированная на среде Б_с БГФ штамма 200ГР накопила биомассу 34,7 а.с.в. мг/мл при конечной pH = 6,0. Бактеризованные растения имели высоту 8,7 см,

фитомассу – 0,11 г, степень поражения – 5,7 % (см. таблицы 1, 2). При росте в Б_м среде наблюдали повышение биомассы штамма до 51,9 а.с.в. мг/мл при конечной рН = 6,7, однако показатели продуктивности и степени поражения бактеризованных растений амброзии не отличались от показателей БГФ контрольной Б_с. В среде Ч_с биомасса штамма 200ГР была 52,2 а.с.в. мг/мл и рН 8,07, его применение на растениях амброзии показало высоту 6,5 см, фитомассу – 0,06 г, степень поражения – 5,6 %. Биомасса штамма 200ГР, культивированного в среде Ч_м, достоверно не снизилась (48,3 а.с.в. мг/мл) при рН среды = 7,8 ед., применение данной БГФ на растениях не повлияло на показатели продуктивности в сравнении со средой Ч_с, однако достоверно увеличило степень поражения в 2,6 раз (14,7 %) ($p < 0,05$).

Важным этапом в исследовании является возможность выйти из достаточно контролируемых лабораторных условий в сложноконтролируемые – природные. Встраивание биогербицида в технологические процессы имеет определенные особенности, связанные со спецификой сорного растения и его фазой развития, видовым составом сопутствующей растительности, почвенно-климатическими условиями. Также необходимо учитывать особенности технологии рецептур, содержания биологически активных соединений в препарате, проводить в течении трех лет оценку эффективности применения для апробации и внедрения [24, 25].

Исследователи сталкиваются с проблемой нестабильной эффективности биорациональных гербицидов в разных почвенно-климатических условиях, испытания регламентируются правилами борьбы с карантинными, особо опасными и опасными вредителями растений и могут привести к штрафным санкциям, что усложняет проведение полного цикла исследования влияния разработанных биогербицидов на рост и продуктивность сорных растений [26, 27].

В условиях 2023 г. установлено, что единично встречающиеся растения кориандра во всех вариантах опыта оставались без повреждений. БГФ на основе штамма *P. vanoranjei* MSK3г с ПФАК (gsaf) через две недели после обработки обеспечила эффективность до 80 % поражений амброзии полыннолистной в виде хлороза и увядания в фазе 4–8 листьев растений, а также 20 % поражения осота полевого (в фазе розетки), конопли сорной, мака самосейки. При использовании БГФ на основе *F. iranicum* 200ГР с ПФАВ (gsaf) наблюдали до 40 % поражения растений амброзии. Через месяц после обработки и выпавших продолжительных осадков наблюдали вторичное отрастание амброзии, при этом высота и фитомасса растений была в два раза ниже по отношению к контролю.

В 2024 г. бактеризация данными формами не оказала гербицидного влияния на единично встречающиеся растения озимой пшеницы (*T. aestivum*) и донника (*M. officinalis*). БГФ на основе штамма *P. vanoranjei* MSK3г + ПФАВ (gsaf) угнетала до 20 % амброзию полыннолистную, до 60 % – выюнок полевой, мак самосейку, шалфей, до 50 % – осот. БГФ на основе штамма *F. iranicum* 200ГР + ПФАВ (gsaf) повреждала до 28 % амброзию полыннолистную, до 60 % – выюнок полевой, до 40 % – шалфей, до 50 % – мак самосейку (данные по отношению к контролю).

Выводы

В лабораторном опыте установлено, что растения амброзии обладают различным адаптивным потенциалом на бактеризацию фитоингибиторами. На *A. artemisiifolia* протестировано 20 поликомпонентных биорациональных гербицидных препаративных форм, из которых пять – 200Г(gsaf), 200ГР(gsaf), 200ГР2(gsaf), 200ГР2(f), MSK3Г (gsaf) были высокоэффективными.

Разработаны поликомпонентные БГФ: на основе штамма *F. iranicum* 200ГР, снижающая фитомассу бактеризованных растений на 42,8 % (на 0,03 г) ($p < 0,000001$)

со степенью поражения до 90 % и на основе штамма *P. vanoranjei* MSK3Гсо степенью поражения 38,6 %.

Разработаны биорациональные препаративные формы для двух штаммов-фитоингибиторов, использующих при культивировании фосфорорганическое соединение вместо азот- и фосфорсодержащих неорганических веществ для питания азотом и фосфором и характеризующиеся высокой степенью поражения растений амброзии 14,7–19,7 %.

В двухлетних полевых опытах установлена высокая гербицидная эффективность разработанных биорациональных форм, обеспечивших защиту агроценоза от амброзии на 25–80 %, осота полевого – на 20–80 %, лисохвоста мышехвостиковидного – до 80 %, мака самосейки – на 50–80 %, выюнка полевого – на 20–70 %, подмаренника цепкого – до 60%.

Литература

1. Тойгильдин А. Л., Хайртдинова Н. А., Тойгильдина И. А., Сыромятников В. В., Аюпов Д. Э. Прогноз вредоносности видов щетинника в агрофитоценозах с яровым ячменем // Аграрная наука. 2024. № (4). С. 80–84. DOI:10.32634/0869-8155-2024-381-4-80-84.
2. Никольский А., Бочкарев Д., Девяткина Т., Недайборщ Ю., Бочкарев В. Вредоносность корневищных и стелющихся сорняков в насаждениях озимой пшеницы и ярового ячменя в лесостепи к югу Нечерноземной зоны // Вестник защиты растений. 2020. Т. 103(3). С. 182–187. DOI: 10.31993/2308-6459-2020-103-3-13273.
3. Мордалёва Л. Г., Бедловская И. В., Веретельник Е. Ю., Москалёва Н. А. Научно-обоснованное применение гербицидов в интегрированных системах защиты сельскохозяйственных культур от вредных организмов: учебно-методическое пособие. Краснодар: КубГАУ, 2014. 199 с.
4. Бойко Е. С., Василько В. П., Назаренко Л. В. Совершенствование системы мер борьбы с сорняками при возделывании озимой пшеницы в центральной зоне Краснодарского края // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Защита растений от вредных организмов». Т. 11. Краснодар: КубГАУ, 2023. С. 60–63. EDN: IWAXLM.
5. Илларионов А. И., Лукин А. Л., Соболев К. С. Эффективность использования гербицидов в системе интегрированной защиты подсолнечника от сорных растений в условиях центрального черноземья // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. Т.13. № 3 (66). С. 63–73. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2020.3.63.
6. Рекомендации по предупреждению массового распространения и борьбе с вредными объектами, карантинными для стран-импортеров российского зерна. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosselhocenter.ru/upload/iblock/eba/1ogd7xbaen483oj4i1t2ri3tqa1mtv3x/%D0%A0%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8%202024.pdf?ysclid=m73224ltwg812220365> (дата обращения 13.02.2025).
7. Flach H., Lenz A., Pfeffer S., Kühl M., Kühl S.J. Impact of glyphosate-based herbicide on early embryonic development of the amphibian *Xenopus laevis* // Aquat Toxicol. 2022. Vol. 244. Art. No. 106081. DOI: 10.1016/J.Aquatox.2022.106081.
8. Спиридонов Ю. Я., Будынов Н. И., Стрижков Н. И., Суминова Н. Б., Сайфуллина Л.Б., Ленович Д.Р., Султанов А.С. Последствие гербицидов и динамика их разложения в различных агроландшафтах // Аграрный научный журнал. 2019. № 4. С. 27–31. DOI: 10.28983/asj.y2019i4pp27-31.
9. Данилова А. А. Контроль остаточных количеств пестицидов в объектах окружающей среды // Агрохимия. 2021. № 6. С. 49–56. DOI: 10.31857/S0002188121030042.
10. Карантинные сорняки занимают уже почти 1000 гектаров на территории России – ЦОКЗ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://glavagronom.ru/news/karantinnye-sornyaki-zanimayut-uzhe-pochti-1000-gektarov-na-territorii-rossii-cokz?ysclid=m7p7t3a7bo380561942> (дата обращения 14.02.2025).
11. Резистентность сорных растений. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://avgust.com/services/newspaper/rezistentnost-sornyh-rasteniy/?ysclid=m74gnpju7f552232911> (дата обращения 14.02.2025).
12. Gaines T. A., Duke S. O., Morran S., Rigon C. A. G., Tranel P. J., Küpper A., Dayan F. E. Mechanisms of evolved herbicide resistance // Journal of Biological Chemistry. 2020. Vol. 295. Iss. 30. P. 10307–10330. DOI: 10.1074/jbc.REV120.013572.

13. Domínguez-Valenzuela J. A., de la Cruz R. A., Palma-Bautista C., Vázquez-García J. G., CruzHipolito H. E., De Prado R. Non-target site mechanisms endow resistance to glyphosate in saltmarsh aster (*Aster squamatus*) // *Plants*. 2021. Vol. 10. Iss. 9. Art. No. 1970. DOI: 10.3390/plants10091970.
14. Queiroz A. R. S., Delatorre C. A., Lucio F. R., Rossi C. V. S., Zobiole L. H. S., Merotto A. (Jr.) Rapid necrosis: a novel plant resistance mechanism to 2,4-D // *Weed Science*. 2019. Vol. 68. No. 1. P. 6–18. DOI: 10.1017/wsc.2019.65.
15. Gaines T. A., Patterson E. L., Neve P. Molecular mechanisms of adaptive evolution revealed by global selection for glyphosate resistance // *New Phytologist*. 2019. Vol. 223. No. 4. P. 1770–1775. DOI: 10.1111/nph.15858.
16. Голубев А. С., Берестецкий А. О. Перспективные направления использования биологических и биорациональных гербицидов в растениеводстве России (обзор) // *Сельскохозяйственная биология*. 2021. Т. 56. № 5. С. 868–884. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.5.868rus.
17. Берестецкий А.О. Перспективы разработки новых гербицидов на основе природных соединений // *Вестник защиты растений*. 2023. № 106 (1). С. 5–25. DOI: 10.31993/2308-6459-2023-106-1-15502.
18. Захарычев В. В. Химия гербицидов: учебное пособие для вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 592 с.
19. Дудка И. А. Вассер С. П., Элланская И. А. [и др.]. Методы экспериментальной микологии: Справочник. Киев: Наукова думка, 1982. 552с.
20. Ганнибал Ф.Б. Мониторинг альтерналиозов сельскохозяйственных культур и идентификация грибов рода *Alternaria*: методическое пособие. Санкт-Петербург: ГНУ ВИЗР Россельхозакадемии, 2011. 70 с.
21. Лавренчук Л. С., Ермошин А. А. Микробиология: практикум. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2019. 107 с.
22. Фетюхин И. В., Авдеев А. П., Авдеев С. С., Черненко В. В., Рябцева Н. А. Методы учета структуры сорного компонента в агрофитоценозах. Персиановский: Донской ГАУ, 2018. 76 с.
23. Патент № 1717053. «Способ борьбы с Амброзией полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.) на непахотных землях» // Авторы: Серяпин А.А., Ижевский С.С. Патентообладатель: Всесоюзный научно-исследовательский институт карантина растений. Опубликовано: 1992.03.07. Бюлл. № 9.
24. Kaab S. B., Rebey I. B., Hanafi M., Hammi K. M., Smaoui A., Fauconnier M. L., De Clerck C., Jijakli M. H., Ksouri R. Screening of Tunisian plant extracts for herbicidal activity and formulation of a bioherbicide based on *Cynara cardunculus* // *South African Journal of Botany*. 2020. Vol. 128. P. 67–76. DOI: 10.1016/j.sajb.2019.10.018.
25. Tekiel D. R. Effect of the Bioherbicide *Pseudomonas fluorescens* D7 on downy brome (*Bromus tectorum*) // *Rangeland Ecology & Management*. 2020. Vol. 73. Iss. 6. P. 753–755. DOI: 10.1016/j.rama.2019.10.007.
26. Нещадим Н. Н., Шадрин Л. А., Бедловская И. В. Предупреждение заноса и методы ликвидации очагов карантинных сорных растений: учебное пособие. Краснодар: КубГАУ, 2014. 82 с.
27. Roberts J., Florentine S., Fernando W. G. D., Tennakoon K. U. Achievements, developments and future challenges in the field of bioherbicides for weed control: a global review // *Plants (Basel)*. 2022. Vol. 11(17). Art. No. 2242. DOI: 10.3390/plants11172242.

References

1. Toigildin A. L., Khairtdinova N. A., Toigildina I. A., Syromyatnikov V. V., Ayupov D. E. Prediction of the harmfulness of bristle species in agrophytocenoses with spring barley // *Agrarian science*. 2024. No. 4. P. 80–84. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-80-84.
2. Nikolskiy A., Bochkarev D., Devyatkina T., Nedajborshch Yu., Bochkarev V. The harmfulness of rhizome and creeping weeds in crops of winter wheat and spring barley in the forest-steppe south of the non-chernozem zone // *Plant Protection News (Vestnik Zashchity Rasteniy)*. 2020. Vol. 103 (3). P. 182–187. DOI: 10.31993/2308-6459-2020-103-3-13273.
3. Mordaleva L. G. Bedlovskaya I. V., Veretelnik E. Y., Moskaleva N. A. Scientifically based application of herbicides in integrated crop protection systems from harmful organisms: textbook, teaching manual. Krasnodar: Kuban State Agrarian University, 2014. 199 p.
4. Boyko E.S., Vasilko V.P., Nazarenko L.V. Improving the system of weed control measures for winter wheat cultivation in the central zone of the Krasnodar Territory // *Materials of the XI International Scientific and Practical Conference “Crop protection against hazardous organisms”*. Vol. 11. Krasnodar: Kuban State Agrarian University, 2023. P. 60–63. EDN: IWAXLM.
5. Illarionov A. I., Lukin A. L., Sobolev K. S. Efficiency of herbicides in the system of integrated protection of sunflower crops from weed vegetation in the conditions of the central chernozem region // *Vestnik*

of Voronezh State Agrarian University. 2020. Vol. 13. No. 3 (66). P. 63–73. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2020.3.63.

6. Recommendations for the prevention of mass distribution and control of harmful objects quarantined for importing countries of Russian grain. [Electronic resource]. Access point: <https://rosselhocenter.ru/upload/iblock/eba/1ogd7xbaen483oj4i1t2ri3tqa1mtv3x/%D0%A0%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8%202024.pdf?ysclid=m73224ltwg812220365> (reference's date 13.02.2025).

7. Flach H., Lenz A., Pfeffer S., Kühl M., Kühl S. J. Impact of glyphosate-based herbicide on early embryonic development of the amphibian *Xenopus laevis* // *Aquat Toxicol.* 2022. Vol. 244. Art. No. 106081. DOI: 10.1016/J.Aquatox.2022.106081.

8. Spiridonov Y. Y., Budynkov N. I., Strizhkov N. I., Suminova N. B., Sayfullina L.B., Lenovich D.R., Sultanov A.S. Aftereffect of herbicides and the dynamics of their decomposition in various agricultural landscapes // *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal.* 2019. No. 4. P. 27–31. DOI: 10.28983/asj.y2019i4pp27-31.

9. Danilova A.A. Control of pesticide residuals in the environment // *Agrohimia.* 2021. No. 6. P. 49–56. DOI: 10.31857/S0002188121030042.

10. Quarantine weeds already occupy almost 1,000 hectares in Russia – Grain Quality Assessment Center. [Electronic resource]. Access point: <https://glavagronom.ru/news/karantinnye-sornyaki-zanimayut-uzhe-pochti-1000-gektarov-na-territorii-rossii-cokz?ysclid=m7p7t3a7bo380561942> (reference's date 14.02.2025).

11. Weed resistance. [Electronic resource]. Access point: <https://avgust.com/services/newspaper/rezistentnost-sornyh-rasteniy/?ysclid=m74gnpju7f552232911> (reference's date 14.02.2025).

12. Gaines T. A., Duke S. O., Morran S., Rigon C. A. G., Tranel P. J., Küpper A., Dayan F. E. Mechanisms of evolved herbicide resistance // *Journal of Biological Chemistry.* 2020. Vol. 295. Iss. 30. P. 10307–10330. DOI: 10.1074/jbc.REV120.013572.

13. Domínguez-Valenzuela J. A., de la Cruz R. A., Palma-Bautista C., Vázquez-García J. G., Cruz-Hipolito H. E., De Prado R. Non-target site mechanisms endow resistance to glyphosate in saltmarsh aster (*Aster squamatus*) // *Plants.* 2021. Vol. 10. Iss. 9. Art. No. 1970. DOI: 10.3390/plants10091970.

14. Queiroz A. R. S., Delatorre C. A., Lucio F. R., Rossi C. V. S., Zobiolo L. H. S., Merotto A. (Jr.) Rapid necrosis: a novel plant resistance mechanism to 2,4-D // *Weed Science.* 2019. Vol. 68. No. 1. P. 6–18. DOI: 10.1017/wsc.2019.65.

15. Gaines T. A., Patterson E. L., Neve P. Molecular mechanisms of adaptive evolution revealed by global selection for glyphosate resistance // *New Phytologist.* 2019. Vol. 223. No. 4. P. 1770–1775. DOI: 10.1111/nph.15858.

16. Golubev A. S., Berestetskiy A. O. Future directions for use of biological and biorational herbicides in Russia (review) // *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology].* 2021. Vol. 56. No. 5. P. 868–884. DOI: 10.15389/agrobiol.2021.5.868eng.

17. Berestetskiy A. O. Prospects for the development of new herbicides based on natural compounds // *Plant Protection News (Vestnik Zashchity Rasteniy).* 2023. No. 106(1). P. 5–25. DOI: 10.31993/2308-6459-2023-106-1-15502.

18. Zakharychev V. V. Chemistry of herbicides: textbook for universities. Saint-Petersburg: Lan', 2022. 592 p.

19. Dudka I. A., Wasser S. P., Ellanskaya I. A. [et al.]. Methods of experimental mycology: a reference book. Kiev: Naukova dumka, 1982. 552 p.

20. Gannibal Ph. B. Monitoring of alternarioses of crops and identification of fungi of the genus *Alternaria*: methodical manual. Saint-Petersburg: All-Russian institute of plant protection (VIZR), 2011. 70 p.

21. Lavrenchuk L. S., Ermoshin A. A. Microbiology: a practical course. Yekaterinburg: Ural University publ., 2019. 107 p.

22. Fetyukhin I. V., Avdeenko A. P., Avdeenko S. S., Ryabtseva N. A., Chernenko V. V. Methods of accounting for the structure of the weed component in agrophytocenoses. Persianovsky: Don State Agrarian University, 2018. 76 p.

23. Patent No. 1717053. Method for control of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) / Authors: Seryapin A. A., Izhevsky S. S. All-Union Scientific Research Institute of Plant Quarantine. Published: 1992.03.07. Bull. No. 9.

24. Kaab S. B., Rebey I. B., Hanafi M., Hammi K. M., Smaoui A., Fauconnier M.L., De Clerck C., Jijakli M.H., Ksouri R. Screening of Tunisian plant extracts for herbicidal activity and formulation of a bioherbicide based on *Cynara cardunculus* // *South African Journal of Botany.* 2020. Vol. 128. P. 67–76. DOI: 10.1016/j.sajb.2019.10.018.

25. Tekiela D. R. Effect of the bioherbicide *Pseudomonas fluorescens* D7 on downy brome (*Bromus tectorum*) // Rangeland Ecology & Management. 2020. Vol. 73. Iss. 6. P. 753-755. DOI: 10.1016/j.rama.2019.10.007.
26. Neschadim N. N., Shadrina L. A., Bedlovskaya I. V. Prevention of skidding and methods of eliminating foci of quarantine weeds: a textbook. Krasnodar: Kuban State Agrarian University, 2014. 82 p.
27. Roberts J., Florentine S., Fernando W. G. D., Tennakoon K. U. Achievements, developments and future challenges in the field of bioherbicides for weed control: a global review // Plants. 2022. Vol. 11 (17). Art. No. 2242. DOI: 10.3390/plants11172242.

UDC 579.64:632.51

Pas' A. N., Didovich S. V., Gorgulko T. V.

EFFECTIVENESS OF BIORATIONAL HERBICIDAL FORMS BASED ON STRAINS OF MICROMYCETES-PHYTOINHIBITORS OF AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA L.

Summary. The search and development of biological methods for weed control in the field of world science and production remains an urgent and innovative progressive challenge, as it provides for a focus on organic crop production and the greening of agriculture. The aim was to develop biorational herbicidal forms (BGF) and evaluate their effectiveness in laboratory and field conditions on *Ambrosia artemisiifolia* L., as well as on other weeds. The studies were conducted in 2023-2024 in the Department of Agricultural Microbiology of the Research Institute of Agriculture of Crimea. In the experiments, we used strains phytoinhibitors of *A. artemisiifolia* L. from the Crimean Collections of Microorganisms of Research Institute of Agriculture of Crimea (<http://ckp-rf.ru/usu/507484/>). The experimental phase of the study involved the testing of 20 biorational forms under laboratory conditions; five of them demonstrated notably high levels of herbicidal activity. Ragweed treatment with BGF of a polycomponent composition supplemented with surfactants, physiologically active components of plant origin and organophosphorus compound + *F. iranicum* 200Г, resulted in a reduction of the phytomass of *A. artemisiifolia* L. by 42.8 % (by 0.03 g) with a degree of damage up to 90%; based on the strain *Fusarium* sp. 200ГP2, it reduced plant height by 16.8% (1.6 cm) with a degree of damage of 50 %; based on the strain *P. vanoranjei* MSK3Г, the degree of damage was 38.6%. The combination of BGF and an organophosphorus compound + *Fusarium* sp. 200ГP2 reduced the height of the plant by 26.3 % (2.5 cm) and provided weed damage at the level of 46%. However, the addition of *P. vanoranjei* MSK3Г resulted in a 35 % reduction in damage ($p < 0.000001$). BGF has been developed for two strains phytoinhibitors based on a modified Chapek's nutrient medium; these biorational herbicidal forms were characterized by a high degree of plant damage, significantly exceeding the control (standard nutrient medium) by 9.1–12.8 % ($p < 0.05$). In 2023–2024, under field conditions, the developed biorational forms caused significant damage to the following weeds: *A. artemisiifolia* (25-80 %), *Sonchus arvensis* (20–80 %), *Alopecurus myosuroides* (up to 80 %), *Papaver rhoëas* (50–80 %), *Convolvulus arvensis* (20–70 %), *Galium aparine* (up to 60 %).

Keywords: biorational herbicides, phytotoxicity, strains phytoinhibitors, weeds, *Ambrosia artemisiifolia* L.

Пась Анна Николаевна, научный сотрудник, лаборатории растительно-микробного взаимодействия, отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: annapass@mail.ru.

Дидович Светлана Витальевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, лаборатории растительно-микробного взаимодействия, отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: sv-alex.68@mail.ru.

Горгулько Татьяна Владимировна, научный сотрудник, лаборатории растительно-микробного взаимодействия, отдела сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: t.gorgulko@gmail.com.

Pas' Anna Nikolaevna, researcher, Laboratory of plant-microbial interaction, Department of agricultural microbiology, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: annapass@mail.ru.

Didovich Svetlana Vitalievna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher on the Laboratory of plant-microbial interaction, Department of agricultural microbiology, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: sv-alex.68@mail.ru.

Gorgulko Tatiana Vladimirovna, researcher, Laboratory of plant-microbial interaction, Department of agricultural microbiology, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: t.gorgulko@gmail.com.

Работа выполнена в рамках Государственного задания №FNZW-2022-0005 «Функциональные особенности растительно-микробного взаимодействия в управлении стрессоустойчивостью, продуктивностью агрофитоценозов и реализации потенциала микробных препаратов нового поколения».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей и животных в качестве объектов исследований.

Дата поступления в редакцию – 04.04.2025.

Дата принятия к печати – 18.06.2025.