

УДК 632.937.21

## Биологическая эффективность новых биопрепаратов на основе микробов-антагонистов для контроля возбудителей болезней картофеля при вегетации и хранении клубней

© 2017 И.И. НОВИКОВА<sup>1,\*</sup>, Ю.А. ТИТОВА<sup>1,\*\*</sup>, И.В. БОЙКОВА<sup>1</sup>, В.Н. ЗЕЙРУК<sup>2</sup>, И.Л. КРАСНОБАЕВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений» (ФГБНУ ВИЗР), Санкт-Петербург, 196608

<sup>2</sup>ФГБУН «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха» (ВНИИКХ), пос. Красково, Люберецкий район, Московская область, 140051

e-mail: irina\_novikova@inbox.ru\*, juli1958@yandex.ru\*\*

Поступила 20.03.2017 г.

Принята в печать 15.05.2017 г.

Показана высокая биологическая эффективность новых биопрепаратов на основе микробов-антагонистов *Bacillus subtilis* (штаммы И5-12/23, В-10, М-22) и *Trichoderma asperellum* (штаммы Т-32, Т-36) в отношении популяций возбудителей болезней картофеля при вегетации растений (50–79%) и при хранении клубней (79–87%). Биологическая эффективность мультиконверсионных биопрепаратов в отношении фитофтороза практически не снижалась после 18 мес. хранения (33–76%). Хозяйственная эффективность применения новых препаративных форм достигала 109,4%. Показано, что их использование позволяет повысить урожай стандартного картофеля товарной фракции на 5–7 т/га. Разработана технология получения и применения новых экологически безопасных биопрепаратов, обеспечивающих повышение устойчивости картофеля к болезням и снижение пораженности клубней патогенами в период вегетации и при длительном хранении.

**Ключевые слова:** биологическая эффективность биопрепаратов, биопрепараты для защиты картофеля от болезней, микробы-антагонисты, препаративные формы, мультиконверсионные биопрепараты.

**doi:** 10.21519/0234-2758-2017-33-6-68-76

Уровень эффективности картофелеводства определяется рядом мероприятий, которые включают использование устойчивых продуктивных сортов, комплекса методов повышения плодородия почвы, а также системы агроклиматических приемов возделывания культуры и защиты от фитопатогенных видов – возбудителей грибных и бактериальных болезней – при выращивании и хранении урожая. Новые биопрепараты, разработанные в последнее время специалистами ФГБНУ ВИЗР и ЗАО «Агробиотехнология» для защиты сельскохозяйственных культур от бо-

лезней разной этиологии (Алирин-Б, Гамаир, Витаплан, Трихоцин, Стернифаг, Глиокладин), уже дополнили «Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных для применения на территории РФ» [1]. Однако задача расширения ассортимента биопрепаратов для защиты картофеля от болезней остается весьма актуальной. Особенно важна разработка современных биопрепаратов, обеспечивающих высокую активность штаммов-продуцентов при пониженной температуре в условиях длительного хранения урожая.

Список сокращений: БАЗМ – базовые агротехнические и защитные мероприятия; ВДГ – водно-диспергируемые гранулы; Г – гранулированный мультиконверсионный препарат; КЖ – культуральная жидкость; СК – суспензионный концентрат; СП – смачивающийся порошок; НСР<sub>0,5</sub> – наименьшие существенные различия при уровне достоверности 0,5.

В последние годы проводится активный поиск штаммов для создания новых полифункциональных микробиологических средств защиты на основе биологически активных веществ, антибиотиков или живых культур микробов – антагонистов возбудителей микозов и бактериозов картофеля и других важнейших сельскохозяйственных культур. Бактерии р. *Bacillus* относятся к числу наиболее перспективных агентов биологического контроля популяций фитопатогенных видов [2–9]. Производимые ими антибиотики полипептидного и аминокликозидного ряда подавляют рост и развитие возбудителей распространенных болезней растений. Бациллы стимулируют рост и развитие растений за счет образования так называемых иммунизаторов.

Бациллы так же усиливают фиксацию растениями атмосферного азота, растворяют труднодоступные для растений минеральные соединения почвы (в первую очередь, фосфаты), увеличивают численность микроорганизмов ризосферы, потребляющих аммонийный азот и минерализующих растительные остатки, в частности, целлюлозу. Важная особенность бактерий р. *Bacillus* как основы биопестицидов – устойчивость к неблагоприятным условиям внешней среды за счет способности к спорообразованию.

Особое положение среди продуцентов полифункциональных биофунгицидов занимают также микромицеты *Trichoderma* ssp. [10–11]. Они обладают высокой антагонистической и гиперпаразитической активностью в отношении возбудителей болезней, локализующихся в почве, рост-стимулирующей активностью, влияя на эффективность утилизации азота путем активации бактерий р. *Azotobacter* и клубеньковых бактерий, а также повышают болезнестойчивость растений [12–14]. Штаммы *Trichoderma* обогащают почву подвижными и доступными для растения формами питательных веществ, участвуя в разложении органических соединений [15]. Виды *Trichoderma* – абригены растительных отходов с широким спектром значений отношения C:N, поэтому их использование способно решить актуальную проблему ускоренной утилизации растительных остатков в современных технологиях растениеводства. Следует отметить, что биопрепараты, полученные при росте микроорганизмов на растительных субстратах, позволяют продуцентам более длительный период сохраняться в почвенной микробиоте [16].

Большое значение для обеспечения высокой эффективности биопрепаратов при их применении и длительном хранении имеют особенности препаративной формы. Как правило, бактериаль-

ные препараты для защиты растений выпускают в виде сухих смачивающихся порошков, а также в виде пастообразных продуктов, самоэмульгирующихся паст, дустов, гранулированных, таблетированных и микрокапсулированных форм, полученных с использованием медицинских полимеров. Грибные препараты производят в виде гранулированных форм, используя твердофазное культивирование или глубинно-поверхностную ферментацию. В последнее время одним из перспективных направлений становится разработка многостадийных технологий биоконверсии отходов с использованием высших базидиальных ксилотрофных макромицетов, способных к активному разложению лигнина растительных остатков вплоть до его полной минерализации [17–21].

Таким образом, в последние годы разработаны научные подходы к созданию нового типа полифункциональных биопрепаратов, обладающих не только прямым антагонистическим действием на возбудителей болезней комплекса антибиотиков и гидролитических ферментов, но и опосредованно защищающих растение за счет фиторегуляторной активности штаммов-продуцентов, которая повышает его болезнестойчивость. Разработан ряд новых отечественных биопрепаратов для защиты от болезней и повышения урожайности основных сельскохозяйственных культур [17–22]. Однако, несмотря на эффективность и экологическую безопасность биопрепаратов, объем их применения по ряду не связанных с их качеством причин составляет не более 1,5% от рынка химических пестицидов [23–24]. В настоящее время отсутствуют зарегистрированные в РФ микробиологические средства защиты картофеля от болезней в период хранения при низкой температуре. Отсутствуют и сведения об эффективности в отношении болезней картофеля биопрепаратов, разрабатываемых на основе множественной биологической переработки (мультибиоконверсии) отходов техногенной сферы и сельского хозяйства.

Цель настоящей работы состояла в оценке эффективности жидкой и сухой форм новых биопрепаратов на основе селекционированных высокоактивных и стабильных штаммов бактерий-антагонистов видов *B. subtilis* и *T. asperellum* для контроля популяций возбудителей болезней картофеля (фитофтороз, ризоктониоз, альтернариоз, серебристая парша, мягкая и кольцевая гниль) при вегетации растений и хранении клубней. С этой целью исследовались также мультиконверсионные препараты, полученные путем твердофазного культивирования.

## УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

### Штаммы-продуценты

Использовали чистые культуры штаммов *B. subtilis* В-10, М-22, И-5-12/23 и *T. asperellum* Т-32, Т-36 из Государственной коллекции микроорганизмов, патогенных для растений и их вредителей Центра коллективного пользования научным оборудованием «Инновационные технологии защиты растений» ФГБНУ ВИЗР ФАНО ([www.vizrspb.chat.ru](http://www.vizrspb.chat.ru)) (Постановление правительства РФ № 725-47 от 24 июня 1996 г., приказ по МСХ и правительству РФ от 15 августа 1996 г.; коллекция зарегистрирована в WFCC WDCM 760 (Япония) 28.01.98 г.). Изучение биологических особенностей штаммов *B. subtilis* В-10 (компонент Алирина-Б), *B. subtilis* М-22 (компонент Гамаира) и *B. subtilis* И-5-12/23 (вновь полученный штамм) выявило существенные различия в их молекулярно-генетических характеристиках, спектре активности и составе метаболитных комплексов. Как показали предварительные исследования, селекционированный психротолерантный штамм *B. subtilis* И-5-12/23 обладает активностью в отношении весьма широкого спектра фитопатогенных грибов и бактерий и, что особенно важно, эффективен против комплекса возбудителей болезней клубней при температуре 2–5 °С [25].

### Получение биопрепаратов

Для получения лабораторных образцов сухих и жидких биопрепаратов штамм *B. subtilis* И-5-12/23 выращивали на искусственной питательной среде, содержащей кукурузный экстракт (30 г/л) и мелассу (15 г/л) («Каргилл», ООО «Агроресурс»), рН 7,2. Культивирование проводили на лабораторной качалке (220 об/мин) при 28 °С, в колбах емкостью 750 мл с объемом среды 100 мл в течение 72 ч до наступления фазы массового спорообразования. Антагонистическую активность КЖ штамма в отношении тест-культур *Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicum* и *Alternaria solani*, выделенных из пораженных растений картофеля, оценивали методом лунок на агаризованных средах СПА (ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии», Оболенск, Московская обл., Россия) и Чапека (ООО «Биокомпас-С», Углич, Россия). Опытные партии биопрепаратов получали в ферментерах объемом 100 л и 1000 л. Культивирование проводили на среде, аналогичной описанной в предыдущем абзаце, в течение 72 ч до массового спорообразования, после чего КЖ концентрировали путем фильтрации или

сепарирования с последующим получением сухой или жидкой препаративных форм. Эффективность опытных партий биопрепаратов оценивали в полевых испытаниях по их влиянию на вегетацию растений, а также на устойчивость клубней к болезням в условиях картофелехранилища.

Для получения жидкого биопрепарата на основе штамма *B. subtilis* И-5-12/23 в полученный СК вводили 0,2% сорбата калия (ПКФ «Нижегородхимпродукт», Россия) в качестве стабилизатора и консерванта. Сухие препаративные формы (СП) получали распылительным высушиванием (140 °С на входе и 80 °С на выходе) концентрата КЖ штамма-продуцента. Перед сушкой в концентрат добавляли сульфат аммония до концентрации 8%, лигносульфонат натрия ( $C_{18}H_{21}NaO_3S$ ) (до 3,0%) и аэросил  $SiO_2 \cdot nH_2O$  (до 0,5%) (ПКФ «Нижегородхимпродукт»).

Для получения гранулированных мультikonверсионных биопрепаратов (Г) использовали штаммы *B. subtilis* В-10, М-22, И-5-12/23, *T. asperellum* Т-32, Т-36, а также отходы сельского хозяйства и техногенной сферы (опилки лиственных пород деревьев и солому злаков получали с деревообрабатывающих и сельскохозяйственных предприятий Санкт-Петербурга и Ленинградской области), конвертированные вешенкой или шиитаке в процессе промышленного культивирования. Субстраты готовили по методикам [26]. Компоненты конверсионных субстратов измельчали до 0,5–2,5 см и замачивали в воде в течение 20–24 ч для полного насыщения субстрата влагой. Влажность субстратной смеси доводили до 70–80%, после чего ее расфасовывали в полипропиленовые пакеты объемом 1 л. Субстратные смеси стерилизовали при 133 °С в течение 1 ч и затем охлаждали до 25–28 °С. Инокуляцию проводили чистыми культурами штаммов-продуцентов (см. выше), используя смывы с поверхности агаризованных питательных сред, или глубинными культурами штаммов с соблюдением условий стерильности. Инкубацию проводили при 24–26 °С до полного обрастания субстрата бактериями.

Качество опытных партий различных препаративных форм оценивали по титру колониеобразующих единиц штаммов-продуцентов (КОЕ/г или КОЕ/мл) методом серийных разведений.

### Биологическая эффективность биопрепаратов (снижение поражения обработанных растений по сравнению с необработанными)

Действие опытных партий биопрепаратов в отношении болезней картофеля в полевых условиях и в условиях хранилища осуществляли

**Расход биопрепаратов и срок обработки картофеля (сорт Сантэ) при полевых испытаниях препаративных форм биопрепаратов на основе штамма *B. subtilis* И-5 12/23 [27]**

Consumption and time of treatment of potato variety Sante by various preparative forms of biologicals based on *B. subtilis* I-5 12/23 strain during field trials [27]

Препаративная форма	Клубни перед посадкой, 07.05	Вегетирующие растения				
		Полные всходы, 15.06	Смыкание ботвы и через 10–12 дней	Бутонизация 29.06	Цветение	
					начало 02.07	конец 13.07
<i>B. subtilis</i> И-5 12/23, СК	3 г/л, 5 л/т	5 г/л, 400 л/га	–	5 г/л, 400 л/га	–	5 г/л, 400 л/га
<i>B. subtilis</i> И-5 12/23, СП	3 г/л, 5 л/т	60 г/га, 400 л/га	–	60 г/га, 400 л/га	–	60 г/га, 400 л/га
Химический стандарт	Максим, КС, 0,4 л	–	Ридомил Голд МЦ, ВДГ 2.5 кг	Ридомил Голд МЦ, ВДГ 2.5 кг	Абига-Пик, ВС, 3 кг	Абига-Пик, ВС, 3 кг
Вода (контроль)	10 л	300 л	300 л	300 л	300 л	300 л

стандартными методами<sup>1-4</sup>. Предпосадочную обработку клубней и 2-кратное опрыскивание вегетирующих растений в фазах смыкания ботвы в рядках и конца цветения проводили соответственно с использованием СП (сухих) или СК (жидких) биопрепаратов. Обработке подвергали картофель сортов Елизавета, Red Scar и Сантэ (ВНИИКХ). В качестве химических препаратов сравнения (стандартов) использовали фунгициды Максим, КС (25 г/л, ООО «Сингента»); Абига-Пик, ВС (400 г/л, ООО «Сельхозхимия»), Ридомил Голд, МЦ и ВДГ (манкоцеб + мефеноксам, 640 + 40 г/кг, ООО «Сингента»). Схема проведения полевых опытов по оценке эффективности СК и СП биопрепаратов на основе штамма *B. subtilis* И-5-12/23 в отношении картофеля сорта Сантэ представлена в табл. 1. Титр жизнеспособных клеток в образцах биопрепаратов составлял приблизительно 10<sup>11</sup> КОЕ/мл (КОЕ/г).

Мультиконверсионные биопрепараты применяли однократно путем прямой инокуляции почвы при посадке клубней картофеля (внесением в бункер картофелесажающего агрегата соответствующего препарата при норме расхода 1 кг/1,5 т клубней (2 кг/га засеваемой площади). Применяли взаимно ортогональную организацию полевого опыта со сплошным размещением организо-

ванных повторений стандартного размещения вариантов (0,5 га на вариант опыта): 4 повторности, учетная делянка – 10 м<sup>2</sup>.

Закладку партий клубней картофеля на длительное хранение с целью оценки биологической эффективности препаратов на основе штамма *B. subtilis* И-5-12/23 в отношении комплекса болезней проводили в картофелехранилище ФГБНУ ВНИИКХ (Люберецкий район, Московская область). Перед обработкой и закладкой на хранение клубни анализировали с целью определения фитопатологического состояния картофеля. Затем их обрабатывали рабочей жидкостью биопрепаратов в концентрации 3–5 г/л. В качестве химического стандарта использовали препарат Максим, КС (0,2 л/т), в контроле – воду. Расход рабочей жидкости составлял 5 л/т. Масса исследуемой партии клубней картофеля была равна 5 кг, а общая масса клубней каждого варианта – 50 кг при 10-кратной повторности опыта. Обработанные партии клубней помещали в насыпи картофеля на глубине 20–30 см от поверхности. Полевые эксперименты проводили в 3–5-кратной повторности.

Полученные данные статистически обрабатывали методом дисперсионного анализа с использованием программ Statistica 6 и Microsoft Excel.

<sup>1</sup>Методика исследований по защите картофеля от болезней, вредителей, сорняков и иммунитету М., Изд-во ВНИИКХ, 1995, 106.

<sup>2</sup>Методика физиолого-биохимических исследований картофеля. М., Изд-во НИИКХ, 1989, 142.

<sup>3</sup>Методические указания по проведению регистрационных испытаний агрохимикатов и регуляторов роста растений. М., Издательство ВНИИА, 2005, 121.

<sup>4</sup>ГОСТ Р53136-2008 «Картофель семенной. Технические условия».

Распространенность болезней ( $P$ , %) подсчитывали по формуле:

$$P = \frac{n}{N} 100, \quad (1)$$

где  $n$  – число больных растений и  $N$  – общее число растений в опыте.

Развитие болезней ( $R$ , %) определяли по формуле:

$$R = \frac{a \cdot b}{n \cdot c} 100, \quad (2)$$

где  $(a \cdot b)$  – произведение числа больных растений ( $a$ ) на соответствующий балл ( $b$ ) поражения;  $n$  – общее число растений в опыте;  $c$  – высший балл шкалы.

Биологическую эффективность препаратов рассчитывали по формуле:

$$БЭ = \frac{a-b}{a} 100, \quad (3)$$

где  $БЭ$  – снижение распространенности или развития болезни, % от контроля;  $a$  – распространенность или развитие болезни в контроле;  $b$  – то же в опытном варианте.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные испытания показали высокую биологическую эффективность препаративных форм биопрепарата (СК и СП) на основе высокоактивного селекционированного штамма *B. subtilis* И5-12/23 в отношении комплекса болезней картофеля сорта Сантэ, в частности микозов и бактериозов, в период вегетации и при длительном

хранении клубней [27]. Снижение распространенности черной парши наблюдали при применении обоих биопрепаратов для предпосадочной обработки клубней и опрыскивания растений, причем более высокий эффект был получен при использовании сухой формы биопрепарата (табл. 2).

По эффективности в отношении несовершенной стадии гриба *Rhizoctonia solani* J.G. Kuhn (болезнь «черная парша») исследуемые биопрепараты уступали химическому стандарту. Напротив, в отношении базидиальной стадии гриба *Hypochytrium solani* Prill. et Delacr. (болезнь «белая ножка») была отмечена высокая эффективность обеих форм биопрепарата, что обеспечивало существенное снижение уровня инфекции в почве и предотвращало дальнейшее эпифитотическое развитие ризоктониоза. Оба биопрепарата имели биологическую эффективность при борьбе с белой ножкой до 75,4–79,0% по сравнению с контролем; эффективность химического стандарта была ниже – 65,9% (см. табл. 2).

Показана также высокая биологическая эффективность препаративных форм на основе штамма *B. subtilis* И5-12/23 в отношении распространенности и развития фитофтороза картофеля. Степень развития болезни снизилась в 1,5–2,0 раза, а биологическая эффективность составила 50%. Хозяйственная эффективность (показатель, характеризующий количество и качество урожая) применения биопрепаратов на основе штамма *B. subtilis* И5-12/23 на посадках картофеля увеличилась на 18,4–22,5% по сравнению с контролем; при использовании химического стандарта эта величина составила 24,0% [27].

Полевые испытания гранулированных мультиконверсионных биопрепаратов продемонстрировали

Таблица 2

**Эффект биопрепаратов на основе штамма *B. subtilis* И5-12/23 в отношении ризоктониозов картофеля при обработке в соответствии с регламентами, описанными в табл. 1 [27]**

**Effect of biopreparations based on *B. subtilis* И5-12/23 strain on potato rhizoctonioses resulting from treatment in accordance with protocols in Table 1 [27]**

Препарат	Черная парша		Белая ножка	
	$P$ , %	$БЭ$ , %	$P$ , %	$БЭ$ , %
<i>B. subtilis</i> И5-12/23, СК	12,6	23,6	4,1	75,4
<i>B. subtilis</i> И5-12/23, СП	10,5	36,4	3,5	79,0
Химический стандарт Максим, КС	3,0	81,8	5,7	65,9
Вода (контроль)	16,5	0	16,7	0
НСР <sub>0,5</sub>	0,7	0	0,6	0

Примечание:  $P$  – распространенность болезни,  $БЭ$  – биологическая эффективность (здесь и в табл. 3, 4).

Таблица 3

**Биологическая эффективность применения гранулированных мультиконверсионных биопрепаратов против фитофтороза картофеля (сорт Елизавета) на фоне базовых агротехнических и защитных мероприятий (БАЗМ)**

**Biological efficiency of granulated multiconversion biologicals against potato (Elizaveta variety) phytophthora in combination with basic agrotechnical and protective procedures**

БАЗМ + препарат на основе	Титр, КОЕ/г	БЭ, %	Увеличение БЭ, % от контроля
<i>T. asperellum</i> Т-36			
вешенка	1,7 · 10 <sup>10</sup>	81,2	69,5
шиитаке	2,0 · 10 <sup>10</sup>	83,6	73,5
<i>B. subtilis</i> В-10			
вешенка	1,5 · 10 <sup>11</sup>	76,5	61,9
шиитаке	3,1 · 10 <sup>11</sup>	73,7	57,4
<i>B. subtilis</i> М-22			
вешенка	1,8 · 10 <sup>11</sup>	85,3	76,1
шиитаке	3,8 · 10 <sup>10</sup>	79,6	67,0
Контроль (без добавления препарата)	–	38,3	0

их заметную эффективность (57–76%) в отношении фитофтороза картофеля при однократном внесении на фоне агротехнических мероприятий и защитных химических обработок (табл. 3).

Биологическая эффективность образцов биопрепаратов в отношении фитофтороза практически не снизилась после 18 мес. хранения клубней, на 33–76% превышая эффективность в контроле (табл. 4).

Достоверный ростостимулирующий эффект всех использованных препаративных форм наблюдали на ранних сроках развития картофеля (у 3-недельных проростков и в еще большей степени у 6-недельных растений) на фоне базовых агротехнических и защитных мероприятий. Значения всех опытных коррелирующих показателей скорости роста и облиственности растений во всех фазах их

Таблица 4

**Биологическая эффективность применения гранулированных мультиконверсионных биопрепаратов против фитофтороза картофеля (сорт Red Scar) после 18 мес. хранения клубней на фоне базовых агротехнических и защитных мероприятий (БАЗМ)**

**Biological efficiency of granulated multiconversion biologicals (after 18-month storage) against potato (Elizaveta variety) phytophthora in combination with basic agrotechnical and protective procedures**

БАЗМ + препарат на основе	Титр, КОЕ/г	БЭ, %	Рост БЭ, % от контроля
<i>T. asperellum</i> Т-32			
вешенка	1,5 · 10 <sup>7</sup>	86,3	41,4
шиитаке	0,9 · 10 <sup>7</sup>	87,8	47,6
<i>T. asperellum</i> Т-36			
вешенка	1,0 · 10 <sup>7</sup>	90,7	58,5
шиитаке	1,5 · 10 <sup>7</sup>	84,4	33,2
<i>B. subtilis</i> В-10			
вешенка	1,0 · 10 <sup>11</sup>	94,4	76,0
шиитаке	1,0 · 10 <sup>11</sup>	91,7	64,3
<i>B. subtilis</i> М-22			
вешенка	1,1 · 10 <sup>9</sup>	87,1	44,9
шиитаке	2,0 · 10 <sup>10</sup>	76,7	–
Контроль (без препарата)	–	76,6	0

**Влияние биопрепаратов на основе штамма *B. subtilis* И5-12/23 на качество урожая картофеля сорта Сантэ [27]**

**Effect of biopreparations based on *B. subtilis* I5-12/23 strain on crop quality of potato variety Sante [27]**

Препарат	Содержание больных клубней, %					Урожайность стандартного картофеля товарной фракции	
	Всего	В том числе пораженных				т/га	% от контроля
		сухой гнилью	паршой обыкновенной	кольцевой гнилью	ризоктониозом		
<i>B. subtilis</i> И5-12/23, СК	5,7	0,7	0	0	5,0	23,9	127,8
<i>B. subtilis</i> И5-12/23, СП	5,3	0,7	0	0	4,6	25,7	137,4
Химический стандарт Максим, КС	3,7	0,2	0	0	3,5	26,3	140,6
Контроль (вода)	1,0	4,0	0	0	8,0	18,7	100,0
НСР <sub>0,5</sub>	—	0,1	—	—	0,2	3,18	—

развития в 1,2–1,6 раза превышали контрольные показатели. Урожай здоровых клубней у растений, обработанных гранулированными мультиконверсионными биопрепаратами, был в 1,5 раза выше, чем при базовой агротехнике без использования препаратов, а количество клубней, пораженных комплексом заболеваний, снизилось в 8–27 раз по всем вариантам опыта. Под воздействием гранулированных мультиконверсионных биопрепаратов наблюдали достоверное (в 1,8–2,2 раза) уменьшение интенсивности развития фитофтороза (см. табл. 3). Таким образом, применение биопрепаратов увеличило общую эффективность базовых агротехнических и защитных мероприятий практически в 1,2 раза (см. табл. 3 и 4).

В целом, проведенные полевые испытания показали высокую эффективность применения различных биопрепаратов на основе селекционированных штаммов бактерий-антагонистов в отношении болезней картофеля в период вегетации.

Наши предыдущие исследования продемонстрировали также высокую эффективность жидких и сухих биопрепаратов на основе штамма *B. subtilis* И5-12/23 для защиты картофеля не только в период вегетации, но и при хранении урожая. Анализ показал, что пораженность клубней картофеля сухими гнилями и ризоктониозом после применения биопрепаратов существенно снизилась и уровень биологической эффективности соответствовал химическому стандарту (табл. 5) [27].

Осенний анализ клубней показал, что их предпосадочная обработка в сочетании с опрыскиванием вегетирующих растений картофеля препаратами на основе *B. subtilis*-И5-12/23 существенно снизила развитие сухих гнилей и ризоктониоза при хранении, и по эффективности эти препараты лишь незначительно уступали химическому стандарту (табл. 6).

Результаты табл. 6 согласуются с полученными нами ранее данными [27]. В этой работе был

**Биологическая эффективность (осенний анализ) биопрепаратов на основе штамма *B. subtilis* И-5 12/23 в отношении болезней клубней картофеля (% от химического стандарта)**

**Biological efficiency (autumn analysis) of biological based on *B. subtilis* I-5 12/23 strain against potato tuber infections**

Препарат, форма	Сухая гниль	Фитофтороз	Парша обыкновенная	Кольцевая гниль	Ризоктониоз
<i>B. subtilis</i> -И5-12/23, СК	82,5	100,0	100,0	100,0	37,5
<i>B. subtilis</i> -И5-12/23, СП	82,5	100,0	100,0	100,0	42,5
Химический стандарт Максим, КС	95,0	100,0	100,0	100,0	56,3
Контроль (вода)	0	0	0	0	0

проведен весенний анализ клубней после хранения, который показал, что биологическая эффективность обработки клубней жидкой препаративной формой на основе штамма *B. subtilis*-И5-12/23 перед закладкой на длительное хранение составила 78,9–86,9% и была выше, чем у химического стандарта – фунгицида Максим КС (52,1%). Хозяйственная эффективность биопрепарата составила 107,5–109,4%. Урожайность стандартного картофеля товарной фракции в вариантах с применением биопрепарата была равна 23,9 т/га (СК) и 25,7 т/га (СП), что превысило данный показатель в контроле на 5,2 т/га и 7,0 т/га, соответственно. Урожайность стандартного картофеля товарной фракции при использовании химического стандарта составила 26,3 т/га, что было выше контрольного варианта на 7,6 т/га.

Таким образом, показана высокая биологическая эффективность опытных партий сухих (СП) и жидких (СК) биопрепаратов на основе отобранного активного штамма *B. subtilis* И5-12/23 при обработке картофеля в период вегетации и перед закладкой клубней на хранение в условиях картофелехранилища. Доказана возможность получения путем твердофазной ферментации новых экологически безопасных гранулированных мультиконверсионных биопрепаратов, наиболее удобных для внесения в почву. Разработаны технологии применения мультиконверсионных биопрепаратов с принципиально новыми механизмами действия для фитосанитарной оптимизации агроэкосистем, повышения устойчивости картофеля к болезням и снижению пораженности клубней патогенами в период длительного хранения.

## ЛИТЕРАТУРА

- Новикова И. И. Эффективность препаративных форм на основе микробов-антагонистов в системах защиты растений от болезней. В кн.: Материалы 3-го Всероссийского съезда по защите растений. СПб, 2013, (2), 378–384.
- Коломиец Э.И., Бусько И.И., Ананьева И.Н., Абакшонок В.С. Биологическая эффективность препарата Бактосол против клубневых гнилей картофеля при хранении. Картофельводство, 2013, 21(1), 220–227. <http://www.agrobelarus.ru/content>
- Зейрук В.Н., Кузьмичев А.А., Глез В.М. и др. Фитосанитарное состояние и мероприятия по борьбе с основными болезнями и вредителями в период вегетации и хранения картофеля. М.: ВНИИКХ Россельхозакадемии, 2014, 22.
- Compant S., Brader G., Muzammil S. et al. Use of beneficial bacteria and their secondary metabolites to control grapevine pathogen diseases. *BioControl*, 2013, (58), 435–455.
- Логинов О.Н., Васильева Н.С., Силшцев Н.Н. Получение сухой препаративной формы биопрепарата сельскохозяйственного назначения «Елена» У. *Башкирский химический журнал*. 2007, 12(2), 45–47.
- Чеботарь В.К., Макарова Н.М., Шапошников А.И., Кравченко Л.В. Антифунгальные и фитостимулирующие свойства ризосферного штамма *Bacillus subtilis* Ч-13 – продуцента биопрепаратов. *Прикл. биохимия и микробиология*. 2009, 45(4), 465–471.
- Воронкович Н. В., Ананьева И.Н., Коломиец Э.И. Бактерии рода *Bacillus* как агенты биологического контроля фитопатогенов картофеля. В кн: Актуальные проблемы естественных наук: Тез. докл. междунар. заочной науч.-прак. конф. 26 октября 2011 г., Новосибирск, СибАК, 11–16.
- Новикова И.И., Бойкова И.В., Павлюшин В.А. и др. Перспективы использования биопрепаратов на основе микробов-антагонистов для защиты картофеля от болезней при хранении. *Вестник защиты растений*. 2013, (4), 12–21.
- Соколова М.Г., Акимова Г.П., Вайшла О.Б. Влияние на растения фитогормонов, синтезируемых ризосферными бактериями. *Прикл. биохимия и микробиология*. 2011, 47(3), 373–385.
- Benítez T., Rincon F.M., Limon M.C., Codon A.C. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *Int. Microbiol.* 2004, 7(4), 249–260.
- Коломбет Л.В., Жиглецова С.К., Дербышев В.В. и др. Микофунгицид – препарат на основе *Trichoderma viride* для борьбы с болезнями растений. *Прикл. биохимия и микробиология*. 2001, 37(1), 110–114.
- Kubicek C.P., Mach R.L., Peterbauer C.K., Lorito M. *Trichoderma*: from genes to biocontrol. *J. Plant Pathology*. 2001, (83), 11–23.
- Алимова Ф.К., Тухбатова Р.И., Тазетдинова Д.И. и др. Взаимоотношения *Trichoderma*, распространенной на территории республики Татарстан, с микроорганизмами и растениями. В кн.: Грибы и водоросли в биоценозах: мат. междунар. конф., посвященной 75-летию Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова: Москва, 31 января – 3 февраля 2006 г. М.: МАКС Пресс, 2006, 12–13.
- Мирчинк Т.Г. Почвенные грибы как компоненты биогеоценоза. В кн: Почвенные микроорганизмы как компонент биогеоценоза. М.: Наука, 1984, 114–131.
- Мирчинк Т.Г. Почвенная микология. М.: МГУ, 1988, 3–220.
- Заика Н.А. Эколого-биологическое обоснование скрининга грибов рода *Trichoderma* для получения и использования биопрепаратов на растительных субстратах. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук, Красноярск, 2006.

17. Титова Ю.А., Новикова И.И., Хлопунова Л.Б., Коршунов Д.В. Триходермин на основе вторичной биоконверсии отходов и его эффективность против болезней огульца. *Микол. и фитопатол.* 2002, 36(4), 76–80.
18. Решетникова И.А. Деструкция лигнина ксилотрофными макромицетами. Накопление селена и фракционирование его изотопов микроорганизмами. М, 1997, 3–203.
19. Титова Ю.А. Утилизация отходов сельскохозяйственного производства и пищевой промышленности съедобными грибами – путь к ресурсосберегающей технологии. В кн.: Ресурсосберегающие технологии пищевых производств: тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., СПб, 12–14 апреля 1998, 146.
20. Свиридова О.В., Михалева Л.В., Воробьев Н.И., Кочетков В.В. Разложение коры хвойных деревьев грибами и бактериями. *Микол. и фитопатол.*, 2001, 35(6), 38–47.
21. Новикова И.И. Биологическое обоснование создания и применения полифункциональных биопрепаратов на основе микробов-антагонистов для фитосанитарной оптимизации агроэкосистем: дис. ... д-ра биол. наук. СПб, 2005.
22. Кожемяков А.П., Тимофеева С.В., Попова Т.А. Разработка и перспективы использования биопрепаратов комплексного действия. *Защита и карантин растений*, 2008, (2), 42–43.
23. Франк Р.И., Кищенко В.И. Биопрепараты в современном земледелии. *Защита и карантин растений*, 2008, (4), 30–32.
24. Fravel D.R. Commercialization and implementation of biocontrol. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 2005, (43), 337–359.
25. Новикова И.И., Павлюшин В.А., Бойкова И.В., Зейрук В.Н. Штамм бактерий *B. subtilis* Б 93 ВИЗР для защиты картофеля от болезней при хранении. Патент РФ № 2538157 от 10.01.2015. Дата приоритета 28.11.2013.
26. Бисько Н.А., Фомина В.И., Билай В.Т. Разрушение древесины грибом *Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kumm. *Микол. и фитопатол.*, 1983, 17(3), 199–202.
27. Новикова И.И., Бойкова И.В., Павлюшин В.А., Зейрук В.Н., Васильева С.В., Деревягина М.К. Биологическая эффективность препаративных форм на основе микробов-антагонистов для защиты картофеля от болезней при вегетации и хранении Вестник защиты растений, 2015, 86 (4), 12–19.

## Biological Efficiency of New Biopreparations based on Antagonistic Microbes in Control of Potato Pathogens during Plant Vegetation and Tuber Storage

I.I. NOVIKOVA<sup>1,\*</sup>, Yu.A. TITOVA<sup>1,\*</sup>, I.V. BOIKOVA<sup>1</sup>, V.N. ZEIRUK<sup>2</sup>, and I.L. KRASNOBAYEVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The All-Russian Research Institute for Plant Protection (VIZR), 196608, St.-Petersburg Russia

<sup>2</sup>The Lorch All-Russian Research Institute of Potato Farming (VNIKKh), 140051, Kraskovo settl., Luberetskii Region, Moskovskaya Oblast Russia

e-mail: irina\_novikova@inbox.ru\*

Received March 20, 2017

Accepted May 20, 2017

**Abstract**—High biological efficiency of new biopreparations of the basis of antagonistic microbes of *Bacillus subtilis* (strains I5-12/23, V-10, and M-22) и *Trichoderma asperellum* (strains T-32 and T-36) against populations of potato disease causes during plant vegetation (50–79%) and tuber storage (79–87%) has been shown. The biological efficiency of the anti-blight multiconversion biologicals was practically preserved after 18 months of storage (33–76%). The economic efficiency of the new preparations reached 109,4%. It was shown that their use makes it possible to increase in the harvest of standard potato commercial fraction by 5–7 t/ha. A technology for obtaining and application of new ecologically safe biopreparations that provide the enhancement of potato resistance to diseases and decrease in tuber sensitivity to the pathogens during vegetation and long-term storage was developed.

**Key words:** biological efficiency of biopreparations, biologicals for potato protection from diseases, antagonistic microbes, preparative forms, multiconversion biologicals.

**doi:** 10.21519/0234-2758-2017-33-6-68-76