

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт фундаментальной биологии и биотехнологии  
институт

Базовая кафедра биотехнологии  
Кафедра

Утверждаю  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Т.Г. Волова  
подпись, инициалы, фамилия

«\_\_\_\_\_» июня 2022 г.

**Магистерская диссертация**

**Влияние способов доставки пестицидных препаратов на рост  
картофеля в лабораторных системах**

тема

06.04.01.01 “Микробиология и биотехнология”

код и наименование направления

Научный руководитель _____	Доцент, к.т.н.	<u>Е.Г. Киселев</u>
Подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник _____		<u>Р.А. Романчук</u>
Подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент _____		
Подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Красноярск 2022

## РЕФЕРАТ

**Тема магистерской диссертации:** Влияние способов доставки пестицидных препаратов на рост картофеля в лабораторных системах.

**Данная работа содержит:** 69 страниц текстового документа, 15 иллюстраций, 7 таблиц, 80 использованных источников.

**Автор магистерской диссертации:** Романчук Роман Анатольевич

**Научный руководитель магистерской диссертации:** Киселёв Евгений Геннадьевич, к.т.н., доцент базовой кафедры биотехнологии ИФБИТ СФУ

**Сведения об организации-заказчике:** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» Институт фундаментальной биологии и биотехнологии. Базовая кафедра биотехнологии.

**Объект исследования:** картофель сорта Красноярский ранний.

**Цель работы:** исследовать влияние доставки различных пестицидных препаратов на рост картофеля в лаборатории.

**Задачи,** сформулированные в соответствии с поставленной целью магистерской диссертации:

1. Изучить полигидроксиалканоаты, их свойства и применение для защиты сельскохозяйственных культур;
2. Сконструировать и исследовать экологически безопасные фунгицидные препараты для защиты картофеля от возбудителей болезней;
3. Исследовать биологическую активность депонированных и свободных форм фунгицидов на рост и поражение болезнями картофеля при выращивании;
4. Установить влияние полимерного раствора из ПЗГБ комплексно, а также отдельных его компонентов (ПЗГБ или ДХМ) в частности на базовую способность картофеля при росте и развитии.

**Ключевые слова:** полигидроксibuтират, ПЗГБ, РЗНВ, полигидроксиалканоат, ПГА, ПОБ, биополимеры.

**Структура работы:** в работе был проведен обзор производства полигидроксиалканоатов, сконструированы депонированные фунгициды, проведен хроматографический анализ концентрации фунгицидов в почве, исследована биологическая активность депонированных и свободных форм фунгицидов на рост и поражение болезнями картофеля при выращивании в условиях лаборатории, изучено влияние полимерного раствора из ПЗГБ на базовую способность картофеля при росте и развитии.

## Оглавление

<b>РЕФЕРАТ</b> .....	<b>2</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>5</b>
<b>1. Литературный обзор</b> .....	<b>8</b>
<b>1.1 Полигидроксиалканоаты</b> .....	<b>8</b>
<b>1.2 Технологии производства полигидроксиалканоатов</b> .....	<b>8</b>
<b>1.3 Применение полигидроксиалканоатов</b> .....	<b>9</b>
<b>2. Материалы и методы</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 Полимер</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2 Фунгициды</b> .....	<b>13</b>
<b>2.3 Конструирование депонированных фунгицидов</b> .....	<b>14</b>
<b>2.4 Физико-химические методы изучения депонированных фунгицидов</b> .....	<b>15</b>
<b>2.5 Изучение деградации депонированных фунгицидов в почве</b> .....	<b>15</b>
<b>2.6 Хроматографический анализ концентрации фунгицидов в почве</b> .....	<b>16</b>
<b>2.7 Микробиологические исследования</b> .....	<b>17</b>
<b>2.8 Изготовление полимерного раствора</b> .....	<b>17</b>
<b>2.9 Статистика</b> .....	<b>18</b>
<b>3. Результаты и обсуждение</b> .....	<b>19</b>
<b>ВЫВОДЫ</b> .....	<b>59</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	<b>61</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Традиционное повсеместное применение продуктов химического синтеза, получаемых из не возобновляемых природных ресурсов, приводит к чрезмерному росту количества не утилизируемых отходов, что вступает в противоречие с мероприятиями, направленными на защиту окружающей среды и создает глобальную экологическую проблему. Одним из путей снижения антропогенного давления на экосистемы, является переход на новые препараты и материалы, дружественные природе, и новые технологии их применения.

Сегодня все большее значение приобретают концепции «зеленой» химии индустриальной экологии, которые ориентированных на создание новых экологически чистых материалов и средств жизнеобеспечения из них, получаемых из возобновляемых источников [1]. Все более значимым становится направление, ориентированное на создание и применение в различных областях гибридных композитов на основе синтетических полимеров с доступными природными материалами. Особо перспективно для создания подобных композитов привлечение разрушаемых полимеров, синтезируемых живыми системами, так называемых биополимеров.

Политика ведения сельского хозяйства в современных реалиях практикоориентирована скорее на технологии интенсификации по теме использования доступных ресурсов. Интенсивность проявляется по многим параметрам: борьба с патогенами, минеральное и органическое питание и пр. Огромная часть химических компонентов, попадая в почву и проникая в ризосферный слой, аккумулируется почвенной мицеллой и, чаще всего, вызывая негативные последствия со стороны экологии и биологии. Это всё прямым образом нарушает природное равновесие в различных экосистемах [1]. Биоэкологическую проблему могут в себе таить и туковые удобрения, отказ использования которых ведёт за собой полную ликвидацию интенсивности, как таковой. Удобрение по своему прямому назначению должно не только попасть и

закрепиться в почве, но и прибыть в тот слой почвы, на котором сельхоз культура может проявить максимальную активность в тот или иной период по вегетации. Т.е. очень часто удобрения, а так же и пестициды доходят до потребительной культуры не в полной мере и теряются по пути по тем или иным причинам: погодные условия, внешние факторы, насекомые и т.д. Более 30 % от общего количества всех вносимых компонентов аккумулируются в почве и под действием воды (дождь, талые воды и т.д.) перемещаясь, попадают в водоёмы. Чрезмерное применение минеральных удобрений может стать одной из первопричин по нарушения естественной природной цикличности между элементами, что в свою очередь косвенным образом ведёт к накоплению нитратной части в сельхоз культурах.

Современное, актуальное и новое исследовательское направление в биологии, химии и сельском хозяйстве получило новый виток своего развития, что в свою очередь даёт чёткое ориентирование на минимизацию риска по бесконтрольному перемещению препаратов химической природы по биосфере в целом. В основе данного явления самое активное участие берут на себе определённые штаммы микроорганизмов, которые способны синтезировать биоразрушаемые полимеры, которые и являются основной платформой для депонирования и адресной доставки препаратов сельскохозяйственного назначения [2, 3]. Подобный подход позволяет вести если и не тотальный, то реально активный контроль по доставке конкретных веществ и компонентов до потребителя, при этом сохраняя заданные интервалы по временным промежуткам в течении вегетационного периода. Биополимерная основа выступает в качестве основного материала для депонирования действующего вещества. Известны немногочисленные примеры депонирования удобрений в полимерную основу из биоразрушаемых полиэфиров полисульфона, поливинилхлорида, полистирола, этилцеллюлозы или полиакрилонитрила [4, 5, 6].

Полигидроксиалканоаты (ПГА) являются полимерами бактериального происхождения, которые в свою очередь активно изучаются в настоящее время многими странами. Перспектива очевидна в различных сферах

жизнедеятельности человека, включая проектирование и создание долгоиграющих и адресных препаратов [7]. Изученные закономерности биоразрушения ПГА в почвах и доказанное медленное течение процесса [8] позволяют приступить к использованию полимеров этого класса для конструирования долгоиграющих форм сельскохозяйственных препаратов нового поколения.

# **1. Литературный обзор**

## **1.1 Полигидроксиалканоаты**

Среди спектра природных разрушаемых материалов особое место принадлежит полигидроксиалканоатам (ПГА), – полимерам микробиологического происхождения. ПГА – это семейство биоразрушаемых термопластичных полимеров различного химического строения с различными физико-химическими свойствами. Эти полимеры можно перерабатывать в изделия известными и доступными методами из различных фазовых состояний (растворы, эмульсии, порошки, расплавы), а также получать композиты с различными наполнителями и материалами [2-7]. Поэтому ПГА перспективны для применения в различных сферах, - от коммунального и сельского хозяйства до медицины и фармакологии [8-10], и имеют большой потенциал для вклада в “The Circular Economy”[11].

## **1.2 Технологии производства полигидроксиалканоатов**

В силу все еще достаточно высокой стоимости в настоящее время широкое применение ПГА в больших масштабах не применяется. Для снижения стоимости и повышения доступности ПГА совершенствуются технологии их производства, в том числе за счет привлечения более дешевых субстратов. Еще один путь для снижения стоимости ПГА – это использование этих полимеров не в чистом виде, а в смеси с доступными природными материалами. Конструирование композитов на основе ПГА – это не только путь повышения их доступности, но также и возможность изменения и улучшения базовых свойств. Такие работы актуализируются в настоящее время. В серии публикаций представлены результаты получения композитов и смесей ПГА с различными материалами наполнителями, глиной и ее производными [12-13], растительными волокнами [14-15], лигнин и холоцеллюлоза из лигноцеллюлозных биоотходов [16], древесными стружками и опилками, рисовой мукой [17-19] и др. Такие композиты перспективны в качестве материалов для производства экологически

чистой и полностью разрушаемой продукции в различных сферах; их конструирование и изучение становится все более актуальным.

Среди направлений исследований – оценка разрушаемых полимеров взамен токсичных формальдегидных смол в качестве связующей основы растительных отходов (опилки, сружка и др.) для получения пластиковых композитов, применяемых в стройиндустрии и мебельной промышленности. Это древесноволокнистые (ДВП) и древесно-стружечные (ДСК) композитные материалы, плиты, щиты и пр. [20-22].

### **1.3 Применение полигидроксиалканоатов**

Актуальная, экологически и социально востребованная область применения ПГА – это конструирование экологически безопасных пестицидных препаратов для защиты культивируемых растений от сорняков и возбудителей болезней, так называемых гербициды и фунгициды с медленным высвобождением. Новейшим направлением исследований является разработка препаратов для грунтового дождевого применения с контролируемым выходом активного начала за счет использования для депонирования пестицидов биоразрушаемых полимерных материалов. Полимерная основа разрушается в почве под воздействием микрофлоры до безвредных продуктов. Это обеспечивает постепенный и длительный выход действующих веществ в почву и доставку растениям. Такие формы вносят в почву одновременно с семенами. Среди их преимуществ пролонгированное действие препаратов, сокращение количества обработок посевов, продление активности нестабильных пестицидов; снижение токсичности для полезной биоты и ограничение накопления пестицидов в трофических цепях; преобразование жидких форм в твердую, что делает безопасным их применение и облегчает транспортировку [23-24]. Ключевым моментом для создания препаратов такого типа является наличие адекватного материала, обладающего специальными свойствами, среди которых обязательны: контролируемая разрушаемость в почве, безопасность для окружающей среды; переработка доступными способами, совместимыми с технологиями изготовления пестицидов

в различные формы в виде гранул, микрокапсул, пленок и др. Несмотря на то, что использование ПГА для депонирования и доставки пестицидов начато сравнительно недавно, полученные результаты позволяют говорить о высоком потенциале этих биополимеров для создания средств защиты растений нового поколения.

Долговременные формы пестицидов, депонированные в основу из полимеров семейства ПГА описаны в работах [25 – 31]: фунгициды Сумилекс и Ронилан [25]; гербициды аметрин, атразин, метсульфурон-метила, 2-метил-4-хлорфеноксисукусная кислота [26-30]. Китайская компания «Jiangsu Changqing Agrochemical» сообщила о создании и начале выпуска высокоэффективного фунгицида феноксанила, депонированного в микрокапсулы из П(ЗГБ), которые показали хорошие характеристики контролируемого высвобождения и снижения токсичности фунгицида для окружающей среды [31]. Еще одной формой депонированных пестицидных препаратов, разрабатываемой в настоящее время с использованием ПГА, стали мульчирующие пленки, предназначенные для подавления не только сорняков, но также возбудителей заболеваний корневой системы растений, передаваемых через почву [32-33]. Семейство пестицидов гербицидного и фунгицидного действия в виде микрочастиц, пленок, прессованных 3D форм и гранул с использованием П(ЗГБ), предназначенных для дождевого грунтового применения, разработано в Институте биофизики СО РАН (Россия) [33]. Учеными из Сибирского Федерального университета показана высокая биологическая эффективность разработанных форм для подавления сорняков и возбудителей корневых гнилей в лабораторных посевах культурных растений, зараженных сорными растениями и фитопатогенами. Далее аналогичные формы пестицидов были разработаны при депонировании гербицидов и фунгицидов в основу не из чистого полимера, а смесь П(ЗГБ)/природный материал (березовые опилки, торф, глина) [39-40]. В лабораторных и микрополевых экспериментах показана высокая биологическая эффективность применения депонированных пестицидов для подавления сорных

растений и возбудителей корневых гнилей в посевах зерновых (пшеница, ячменя), а также на овощных культурах (свекла столовая, помидоры) [34-42].

Наряду с зерновыми культурами, важным компонентом мировой продовольственной безопасности является картофель, который служит важнейшей сельскохозяйственной культурой, выращиваемой для пищевых, кормовых и технических целей. Значимость картофеля повышается в связи с повсеместной тенденцией сокращения урожайности зерновых культур. возделывается повсеместно [44-46]. Площади, занятые под этой культурой приближаются к 20 млн га, а урожай превысил 400 млн. тонн [47]. Потенциальная продуктивность картофеля в оптимальных условиях может достигать 60-100 т/га, но на практике реальные урожаи значительно ниже вследствие высокой поражаемости картофеля болезнями в период выращивания и при хранении. По данным ФАО (Организация по сельскохозяйственным вопросам и продовольствию при ООН), мировые потери урожая картофеля от болезней ежегодно составляют 88,9 млн т на сумму 3,4 млрд долл., или 11,6% валового сбора; это в 2 раза превышает потери зерновых культур, овощей и сахарной свеклы [48].

Основные причины снижения урожайности и товарного качества картофеля – ущерб, наносимый вредителями, сорняками и особенно инфекционными болезнями, вызываемыми микроорганизмами. Тенденция ухудшения агрометеорологических и фитосанитарных условий при возделывании картофеля и нарастающая нестабильность урожайности актуализирует необходимость разработки новых мер защиты во всех картофелеводческих странах мира. Для успешной борьбы с заболеваниями картофеля необходима интегрированная защита с применением комплекса биологических, химических и агротехнических мероприятий. Современная тенденция защиты картофеля – это переход на экологически безопасные средства защиты. Однако при защите картофеля от болезней до сих пор доминируют химические методы, включающие предпосевное протравливание семенного материала, обработку растений опрыскиванием растворами пестицидов в период вегетации (от 12 до 18 за вегетацию) и обработку

клубней перед закладкой на хранение. При этом даже при многократных опрыскиваниях потери урожая могут быть весьма значительными из-за низкой эффективности фунгицидов, использования сильно зараженного семенного материала, а также появления и развития фитопатогенов, резистентных к применяемым препаратам. Многие из применяемых пестицидов в недостаточной мере отвечают требованиям как пищевой безопасности, так и безопасности природных экосистем и биосферы в целом. Химические фунгициды не специфичны, вызывают гибель нецелевых организмов, часто токсичны для животных и человека, а также способствуют формированию устойчивых популяций фитопатогенов, что приводит к необходимости увеличения кратности обработок и норм расхода препаратов. Широкое использование химических пестицидов вызывает загрязнение окружающей среды и порождает экологические проблемы. Указанные обстоятельства и высокая экономическая затратность химической защиты картофеля вызывают необходимость разработки новых и экологически безопасных средств и способов для снижения пестицидного пресса на возделываемую культуру картофеля и на природные экосистемы и окружающую среду в целом.

## 2. Материалы и методы

Объектом исследования являлся картофель, который был получен из разных источников. Основным источником поступления картофеля являлся Красноярский государственный аграрный университет. Помимо этого, были и другие источники поступления картофеля. Основными рабочими сортами были: Красноярский ранний, Red Scarlett и т.д.

### 2.1 Полимер

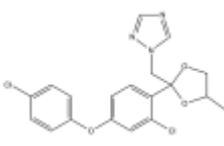
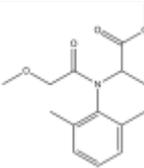
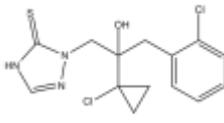
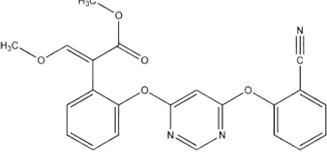
В качестве разрушаемой основы для депонирования фунгицидов использован наиболее доступный и медленно разрушающийся полимер из семейства микробных полигидрокисалканоатов (ПГА) – гополимер поли-3-гидроксибутирата (P(ЗНВ)), синтезируемый с использованием штамма *Cupriavidus eutrophus* В10646 по запатентованной технологии [49]. Полимер экстрагировали хлороформом, экстракты осаждали гексаном. Технология синтеза полимера и аналитические методы экстракции и изучения свойств подробно описаны в работе [5].

### 2.2 Фунгициды

Исследованы следующие контактно-системные фунгициды с различным механизмом действия [50] (Таблица 1):

- Дифеноконазол [цис, транс-3-хлор-4[4-метил-2-(1Н-1,2,4-триазол-1-ил-метил)-1,3-диоксолан-2-ил-] фенил-4-хлорфенилэфир]
- Мефеноксам [(R)-энантиомер металаксила] [Метил-N-(метоксиацетил)-N-(2,6-ксилил)-D-аланинат]
- Протиоконазол [2-[(RS)-2-гидрокси-2-(1-хлорциклопропил)-3-(2-хлорфенил)пропил]-2Н-1,2,4-триазол-3(4Н)-тион] –
- Азоксистробин [Метил(E)-2-{2-[6-(2-цианофенокси)пиримидин-4-илокси]фенил}-3-метоксиакрилат]

Таблица 1 – Характеристика фунгицидов по Ракитскому [50]

Структурная формула		Применение
<p>Дифеноконазол (фунгицид из класса производных триазола); чистота <math>\geq 95.0\%</math>.</p>		<p>Эффективен против аскомицетов, базидиомицетов, дейтеромицетов; головневых, корневых; обеспечивает защиту картофеля от ризоктониоза, серебристой парши, фузариоза, антракноза.</p>
<p>Мефеноксам (фунгицид из класса фениламидов); чистота <math>\geq 91.0\%</math>.</p>		<p>Применяется в борьбе с болезнями картофеля (фитофтороз, альтернариоз); используется самостоятельно и в смесях с другими активными компонентами) для борьбы с болезнями растений.</p>
<p>Протиоконазол (фунгицид из класса производных триазола); чистота <math>\geq 98.0\%</math>.</p>		<p>Эффективен против широкого круга фитопатогенов (аскомицетов, базидиомицетов, дейтеромицетов; головневых, корневых гнилей); обеспечивает защиту картофеля от ризоктониоза, серебристой парши, фузариоза.</p>
<p>Азоксистробин (фунгицид из класса стробилуринов); чистота <math>\geq 98.0\%</math>.</p>		<p>Подавляет широкий спектр патогенов. Обеспечивает защиту картофеля от ризоктониоза, альтернариоза, фитофтороза.</p>

### 2.3 Конструирование депонированных фунгицидов

Образцы охарактеризованного полимера П(ЗГБ) использованы для формирования смесей с природным материалом (березовыми опилками) в качестве основы для депонирования фунгицидов. Полимер и природный материал наполнитель предварительно измельчали ударно-сдвиговым воздействием на ультрацентрибежной мельнице ZM 200. Далее к навеске измельченного полимера с размером частиц 200 мкм добавляли навеску опилок близкого размера, и фунгицид. Компоненты смешивали в настольном планетарном миксере SpeedMixer DAC 250 SP (Hauschild Eng., Германия), время смешения 1 мин, скорость 1000 об/мин., как описано в работе [51]. Соотношение компонентов в депонированных формах было следующим:

П(ЗГБ):опилки:фунгицид=60:30:10 (в случае депонирования одного фунгицида) и 60:30:5:5 (вес%) (в случае депонирования двух фунгицидов). Получены партии депонированных фунгицидов в виде гранул двух размеров (диаметр 1,5 и 3,0 мм; масса 4 – 5 и 8 - 10 мг), содержащих один из 4-х исследованных фунгицидов (Азоксистробин или Дифеноконазол, или Металоксил-М, или Протиоконазол) и комплексные гранулы, содержащие комплекс Азоксистробин+Мефеноксам.

#### **2.4 Физико-химические методы изучения депонированных фунгицидов**

Термические свойства образцов материалов (полимера, березовых опилок), исходных пестицидов и разработанных 3-х компонентных депонированных форм изучали методом дифференциальной сканирующей калориметрии на приборе DSC1, Mettler toledo, Швейцария. Температуры плавления определяли по экзотермическим пикам на термограммах с использованием программного обеспечения «StarE». Термическую деградацию образцов исследовали с использованием прибора TGA2 Mettler toledo, Швейцария.

Определение степени кристалличности образцов и рентгеноструктурный анализ выполнены на рентгеноспектрометре D8 ADVANCE «Bruker» (графитовый монохроматор на отраженном пучке). Для этого сняты спектры в пошаговом режиме («scan-step») с шагом 0,04 °С и 2-секундной выдержкой для измерения интенсивности в точке (режим работы прибора – 40 кВ x 40 мкА).

ИК-спектры снимали в диапазоне 400-4000 см<sup>-1</sup> с помощью ИК-Фурье-спектрометра «NICOLET 6700» FT-IR (Thermo Scientific, США) и приставки Smart Orbit с использованием метода нарушенного полного внутреннего отражения – НПВО (ATR) [34,51].

#### **2.5 Изучение деградации депонированных фунгицидов в почве**

Образцы из депонированных форм фунгицидов в виде гранул двух размеров взвешивали, помещали в нейлоновые сетчатые мешки, после чего

закапывали в полевой грунт (по 200 г в контейнерах объемом 250 см<sup>3</sup>) на глубину 2 см. The образцы инкубировали в почве в течение 75 сут при температуре 25 °С и влажности почвы 50%. Агропреобразованная огородная почва, использованная в эксперименте, представляет собой чернозем выщелочный, цвет черный, мажущий, слабо структурированный. Эти свойства почвы обуславливают высокие показатели почвенного плодородия и длительное использование почвы в культуре. Почва характеризуется высоким содержанием гумуса (17.4%) и нитратного азота N-NO<sub>3</sub> – 120.0 мг/г; высокой обеспеченностью доступными фосфором и калием (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 151.2 мг/100 г; K<sub>2</sub>O – 80 мг/100 г почвы); реакция почвенного раствора близка к нейтральной (рН 6.6). Каждые 15 дней экземпляры (по 3 в мешке) извлекали из почвы для определения потери их массы. Параметры, указывающие на биodeградацию депонированных форм фунгицидов в виде гранул – потеря массы образцов, изменение молекулярно-массовых характеристик полимера П(ЗГБ) и РЭМ снимки поверхности образцов.

## **2.6 Хроматографический анализ концентрации фунгицидов в почве**

Для анализа концентрации фунгицидов в почве использована система высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) Agilent 1200 с диодной матрицей (Agilent Technologies, США); колонка Eclipse XDB-C18.

Выделение фунгицидов из почвы проводили следующим образом: к 10-20 мг сухой почвы добавляли 5-10 мл воды, 20-40 мл ацетонитрила и перемешивали с использованием мешалки Vortex в течение 3-5 мин. Затем добавляли 2-4 г хлорида натрия и 1-2 г безводного сульфата магния, и перемешивали еще в течение 1-3 мин. Центрифугировали в течение 5 минут при 3000 г. Далее с использованием ротационного испарителя под вакуумом удалили ацетонитрил при температуре 40 °С. Для измерения содержания азоксистробина, протиоконазола и мефеноксама добавляли 1 мл ацетонитрила; для измерения дифенокконазола – 1 мл метанола.

## 2.7 Микробиологические исследования

Структуру почвенного микробиоценоза лабораторных микроэкосистем анализировали общепринятыми микробиологическими методами. Динамику численности бактерий оценивали, высевая почвенные суспензии (разведения  $10^4$ - $10^6$ ) на мясопептонном агаре [51]. Чашки инкубировали в термостате при температуре  $30^\circ\text{C}$  в течение 5-7 суток. Идентификацию доминантных видов бактерий проводили методом время-пролетной масс-спектрометрии с использованием MALDI-TOF MS Microflex («BrukerDaltonics», Германия). Определение общей численности микромицетов в образцах почвы проводили методом высева почвенной суспензии на картофельно-декстрозный агар с бензилпенициллином (1000000 ЕД/1 л среды) для подавления роста бактерий. Посев образцов почвы производили в трёхкратной повторности из разведений до  $10^4$ . Чашки инкубировали в термостате при температуре  $25^\circ\text{C}$  в течение 7-10 суток, микроскопический анализ колоний проводили с использованием микроскопа AxioStar (Carl Zeiss). Идентификацию микромицетов проводили по культурально-морфологическим признакам согласно определителям [52].

## 2.8 Изготовление полимерного раствора

Изготовление полимерного раствора для обработки картофеля состояло из нескольких этапов. Вначале были взяты навески из ПЗГБ, которые после помещались в колбы. Далее, в данные колбы к навеске из ПЗГБ был прилит раствор ДХМ (дихлорметан) и были схормированы следующие растворы:

- Колба 1 = 1 % по 50 мл ДХМ + 0,665 гр ПГА,
- Колба 2 = 2 % по 50 мл ДХМ + 1,33 гр ПГА,
- Колба 3 = 3 % по 50 мл ДХМ + 1,995 гр ПГА.

Процесс приготовления раствора на лабораторной плите до жидкого состояния при температуре  $60^\circ\text{C}$  при обязательном перемешивании закинутой внутрь каждой колбы магнитной мешалкой с подогревом MR Hei-Standard. На каждую колбу было надето специальное охлаждающее устройство для охлаждения и оседания паров. Жидкий полимерный раствор и был основой для

обработки картофеля путём обволакивания его в чашке ПЕТРИ с последующим застыванием на специальном подносе.

## **2.9 Статистика**

Статистическую обработку результатов проводили общепринятыми методами с использованием стандартного пакета программ Microsoft Excel. Были найдены средние арифметические и стандартные отклонения. Статистическую значимость результатов определяли с помощью критерия Стьюдента (уровень значимости:  $P \leq 0,05$ ).

### **3. Результаты и обсуждение**

Изъяты страницы 19-58 в связи с авторскими правами

## ВЫВОДЫ

Среди экологически безопасных фунгицидных препаратов для защиты картофеля от возбудителей болезней особое место занимают полигидроксиалканоаты (ПГА).

Современная тенденция защиты картофеля – это переход на экологически безопасные средства защиты. Поэтому наиболее актуальна разработка новых и экологически безопасных средств и способов снижения пестицидного пресса на возделываемую культуру картофеля и на природные экосистемы и окружающую среду в целом.

В результате проведенных экспериментов и анализа результатов были сделаны следующие выводы:

1. Различные типы депонированных фунгицидов протестированы *in vitro* в культуре фитопатогенов, вызывающих болезни картофеля, впервые. В целом, все разработанные формы проявляли фунгицидное действие, в том числе имели высокую биологическую активность по отношению наиболее вредоносных патогенов картофеля (*P. infestans*, *R. solani* и *F. solani*) и не уступали по эффективности свободным формам фунгицидов.

2. Отмечено снижение доли спорообразующих бактерий рода *Bacillus* и увеличение доли грамотрицательных бактерий родов *Pseudomonas* и *Stenotrophomonas*. Депонированные формы фунгицидных препаратов способствовали увеличению численности бактерий при низких скоростях выхода действующего вещества и не приводили к ингибированию при активном разрушении гранул и возрастании концентрации фунгицидов в почве, но при этом проявляли селективное действие на видовой состав бактериального сообщества почвы. Депонированные препараты эффективно снижали численность микромицетов в почве.

3. Было показано, что депонирование фунгицидов в основу, состоящую из смеси поли(3-гидроксибутирата) с березовыми опилками, обеспечивает их

постепенный и пролонгированный выход в почву из форм, тем самым достигается длительная доставка фунгицидов растениям в течение всего периода вегетации и подавление патогенов.

4. В лабораторном эксперименте при сравнении депонированных форм фунгицидов и их коммерческих аналогов показано преимущество разработанных долговременных форм пестицидов, положительно влияющих на всхожесть, рост и развитие растений, а также формирование клубней и их качество. Депонированный комплекс азоксистробин+мефеноксам обеспечили более эффективную защиту растений от фитопатогенов.

5. В лабораторном эксперименте при сравнении пленочного покрытия клубней содержащего азоксистробин и его коммерческих аналогов показано преимущество влияющих на всхожесть, рост и развитие растений.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. A.Qaiss, R. Bouhfi and H.Essabir. Characterization and use of coir, almaund, apricot, argan, shell, and wood as reinforcement in the polymeric matrix in order to valorize these products//Biomass and bioenergy: Agricultural biomass based potential materials.- Switzerland: Springer Int Publishing-2015.
2. Chen, G.-Q. Plastics completely synthesized by bacteria: polyhydroxyalkanoates. *Plastics from Bacteria*. Springer, Berlin, Heidelberg, **2010**,17–37.
3. Sudesh, K. *Practical Guide to Microbial Polyhydroxyalkanoates*. “Smitthes”, London, UK 2010.
4. Laycock, B.; Halley, P.; Pratt, S., et al. The chemomechanical properties of microbial polyhydroxyalkanoate. *Prog Polym Sci.* **2013**, 38,536–583
5. Volova TG, Shishatskaya EI, Sinskey AJ (2013) Degradable polymers: Production, properties, applications. Nova Science Pub Inc, New York.
6. G.-Q.Chen, X.Yu Chen, F.-Q.Wu, J.-C. Chen. Polyhydroxyalkanoates (PHA) toward cost competitiveness and functionality. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 2020, 3,1-7. doi.org/10.1016/j.aiepr.2019.11.001.
7. R.Tarrahi, Z.Fathi, M. Özgür Seydibeyoğlu, E.Doustkhah, A.Khataee. Polyhydroxyalkanoates (PHA): From production to nanoarchitecture// *International Journal of Biological Macromolecules-* 2020 Vol 146-P.596-619. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.181>.
8. V.P. Kalia. *Biotechnological Applications of Polyhydroxyalkanoates*//Springer Nature Singapore Pte Ltd. (2019)-420 p. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-3759-8>
9. Koller, M.; Mukherjee, A. Polyhydroxyalkanoates—Linking properties, applications, and end-of-life options. *Chem. Biochem. Eng.* **2020**, 34, 115–129.
10. Polyhydroxyalkanoate (PHA) Market by Type, Manufacturing Technology & Application - Global Forecast to 2021 - Research and

Markets[электронныйресурс]// Research and Markets.- Jul 26, 2017.  
<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/pha-market-395.html>

11. Adeleye, A. T., Odoh, C. K., Enudi, O. C., Banjoko, O. O., Osiboye, O. O., Odediran, E. T., & Louis, H. (2020). Sustainable synthesis and applications of polyhydroxyalkanoates (PHAs) from biomass. *Process Biochemistry*, 96, 174-193.

12. Maiti P, Batt CA, Giannelis EP. Renewable plastics: synthesis and properties of PHB nanocomposites. *Polym Mater Sci Eng* 2003;88:58–9.

13. S. Torres-Giner; N. Montanes, T. Boronat, L. Quiles-Carrillo, R. Balart. Melt grafting of sepiolite nanoclay onto poly(3-hydroxybutyrate-co-4-hydroxybutyrate) by reactive extrusion with multi-functional epoxy-based styrene-acrylic oligomer// *Eur. Polym. J.* - 2016, Vol 84 P.6934-707

14. J.S. Macedo, M.F. Costa, M.I.B. Travares, R.M.S.M. Thirè. Preparation and characterization of composites based on polyhydroxybutyrate and waste powder from coconut fibers processing, *Polym. Eng. Sci.* 50 (2010) 1466–1475.  
<https://doi.org/10.1002/pen.21669>

15. M.A. Gunning, L.M. Geever, J.A. Killion, J.G. Lyons, C.L. Higginbotha, Mechanical and biodegradation performance of short natural fibre polyhydroxybutyrate composites, *Polym. Testing*. 32 (2013) 1603–1611.

16. S. Angelini, P. Cerruti, B. Immirzi, G. Scarinzi, M. Malinconico, Acid-insoluble lignin and holocellulose from a lignocellulosic biowaste: Bio-fillers in poly(3-hydroxybutyrate), *Eur. Polym. J.* 76 (2016) 63–76.

17. J. Iewkittayakorn, P. Khunthongkaew, W. Chotigeat, K. Sudesh, Effect of Microwave Pretreatment on the Properties of Particleboard Made from Para Rubber Wood Sawdust with the Addition of Polyhydroxyalkanoates, *Sains Malaysiana*. 46 (2017) 1361–1367. DOI: 10.17576/jsm-2017-4609-02

18. L.J. Vandi, C.M. Chan, A. Werker, D. Richardson, B. Laycock, S. Pratt, Wood-PHA Composites: Mapping Opportunities, *Polymers*. 10 (2018) 751–766. DOI: 10.3390/polym10070751

19. B. Melendez-Rodriguez, S. Torres-Giner, A. Aldureid, L. Cabedo, J.M. Lagaron, Reactive melt mixing of poly(3-hydroxybutyrate)/rice husk flour composites with purified biosustainably produced poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate)// *Materials* 12 (2019) 2152–2172, <https://doi.org/10.3390/ma12132152>.
20. G. Chen, Polyhydroxyalkanoates, in: R. Smith (Ed.), *Biodegradable Polymers for Industrial Applications*, CRC Press, Cambridge, 2005, pp. 32–56.
21. K.G. Satyanarayana, G.G.C. Arizaga, F. Wypych, Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—an overview, *Prog. Polym. Sci.* 34 (2009) 982–1021.
22. D.N. Thompson, R.W. Emerick, A.B. England, J.P. Flanders, F.J. Loge, K.A. Wiedeman, M.P. Wolcott, Final Report: Development of Renewable Microbial Polyesters for Cost Effective and Energy-efficient Wood-plastic Composites, Idaho National Laboratory, Idaho Falls, Idaho, 2010.
23. Tleuova A.B., Wielogorska E., Talluria P., Štěpánek F., Elliott C.T., Grigoriev D.O. Recent advances and remaining barriers to producing novel formulations of fungicides for safe and sustainable agriculture // *J. Controlled Rel.* – 2020. – Vol. 326. – P.468-481.
24. *Controlled Release of Pesticides for Sustainable Agriculture* Ed.: Rakhimol K. R., Sabu Thomas, Tatiana Volova, Jayachandran K. // Springer. 2020. – 266 p.
25. Savenkova L., Gercberga Z., Muter O., Nikolaeva V., Dzene A., Tupureina V. PHB-based films as matrices for pesticides // *Proc.Biochem.* – 2002. – Vol. 37. – №7. – P.719-722.
26. Grillo R., de Melo N.F.S., de Lima R., Lourenço R.W., Rosa A.H., Fraceto L.F. Characterization of atrazine-loaded biodegradable poly (hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) microspheres // *J.Polym. Environ.* – 2010. – Vol 18. – №1. – P. 26-32.
27. Grillo R.,Pereira A.D.E.S., de Melo N.F.S., Porto R.M., Feitosa L.O., Tonello P.S., Filho N.L.D., Rosa A.H., Lima R., Fraceto L.F. Controlled release system for ametryn using polymer microspheres: preparation, characterization and release kinetics in water // *J.Hazard.Mater.* – 2011. – T. 186. – №. 2-3. – C. 1645-1651.

28. Lobo F.A., de Aguirre C.L., Silva M.S., Grillo R., de Melo N.F.S., de Oliveira L.K., de Morais L.C., Campos V., Rosa A.H., Fraceto L.F. Poly (hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) microspheres loaded with atrazine herbicide: screening of conditions for preparation, physico-chemical characterization, and in vitro release studies // *Polym. Bull.* – 2011. – Vol. 67. – №3. – P.479-495.
29. Agustien A., Sari A., Fitria A., Djamaan A. Manufacture of a Slow Release Herbicide of Methyl-Metsulfuron using biopolymer of Poly (3-hydroxybutyrate) as Matrix // *Der Pharma Chem.* – 2016 – Vol.8. – №7. – P.105-111.
30. Kwiecien I., Adamus G., Jiang G., Radecka I., Baldwin T.C., Khan H.R., Johnston B., Pennetta V., Hill D., Bretz I., Kowalczyk M. Biodegradable PBAT/PLA blend with bioactive MCPA-PHBV conjugate suppresses weed growth // *Biomacromol.* – 2018. – Vol. 19. – №2. – P.511-520.
31. Feng Z.F., Duan T.T., Liao G.H., Cao L.D., Cao C., Li F.M., Chen C., Huang Q.L. Prep. Of fenoxanil micro-capsule // *Preparation of fenoxanil micro-capsule.* – 2018. – P. 213-219.
32. Khan H., Kaur S., Baldwin T.C., Radecka I., Jiang G., Bretz I., Duale K., Adamus G., Kowalczyk M. Effective control against broadleaf weed species provided by biodegradable PBAT/PLA mulch film embedded with the herbicide 2-methyl-4-chlorophenoxyacetic acid (MCPA) // *ACS Sustain.Chem. Eng.* – 2020. – Vol. 8. – №13. – P.5360-5370.
33. Chen G., Cao L., Cao C., Zhao P., Li F., Xu B., Huang Q. Effective and Sustained Control of Soil-Borne Plant Diseases by Biodegradable Polyhydroxybutyrate Mulch Films Embedded with Fungicide of Prothioconazole // *Molecules.* – 2021. – Vol. 26. – №3. – P.762.
34. E. G Kiselev, A. N Boyandin, N.O Zhila, S.V. Prudnikova, A.A Shumilova, S.V. Baranovskiy, E.I. Shishatskaya, Sabu Thomas, and T.G. Volova Constructing sustained-release herbicide formulations based on poly-3-hydroxybutyrate and natural materials as a degradable matrix // *Pest Manag Sci* – 2020. – Vol. 76 (5) – P. 1772–1785 (DOI 10.1002/ps.5702)

35. A.V. Murueva, A.M. Shershneva, K.V. Abanina, S.V. Prudnikova, E.I. Shishatskaya. Development and characterization of ceftriaxone-loaded P3HB-based microparticles for drug delivery. *J. Drying Technology* – 2019
36. Volova T.G., Prudnikova S.V., Zhila N.O. Fungicidal activity of slow-release P(3HB)/TEB formulations in wheat plant communities infected by *Fusarium moniliforme* // *Environ. Sci.Pollut.Res.* – 2018. – Vol. 25. – №1. – P.552-561.
37. Volova T., Prudnikova S.; Boyandin A.; Zhila N.; Kiselev E.; Shumilova A.; Baranovskiy S.; Demidenko A.; Shishatskaya E.; Thomas S. Constructing slow-release fungicide formulations based on poly (3-hydroxybutyrate) and natural materials as a degradable matrix // *J.Agric. Food Chem.* – 2019. – Vol. 67. – №33. – P.9220-9231.
38. Volova T., Baranovsky S., Petrovskaya O., Shumilova A., Sukovatyi A. Biological effects of the free and embedded metribuzin and tribenuron-methyl herbicides on various cultivated weed species // *J. Environ. Sci. Health, Part B.* – 2020,a. – Vol. 55. – №11. – P.1009-1019.
39. Volova T.G., Shumilova A.A., Zhila N.O., Sukovatyi A.G., Shishatskaya E.I., Sabu T. Efficacy of Slow-Release Formulations of Metribuzin and Tribenuron Methyl Herbicides for Controlling Weeds of Various Species in Wheat and Barley Stands // *ACS omega.* – 2020,b. – Vol. 5. – №39. – P. 25135-25147.
40. Volova T.G., Demidenko A.V., Kurachenko N.L., Baranovsky S.V., Petrovskaya O.D., Shumiliva A.A. Efficacy of embedded metribuzin and tribenuron-methyl herbicides in field-grown vegetable crops infested by weeds // *Environ. Sci.Pollut.Res.* – 2021. – Vol. 28. – №1. – P. 982-994.
41. T.G. Volova, N.L. Kurachenko, V.L. Bopp, Sabu Thomas, A.V. Demidenko, E.G. Kiselev, S.V. Baranovsky, A.G. Sukovatyi, N.O. Zhila, E.I. Shishatskaya. Assessment of the efficacy of slow-release formulations of the tribenuron-methyl herbicide in field-grown spring wheat // *Environmental Science and Pollution Research*-2021.-Vol 11(2)-P.1-16

42. A.N. Boyandin, E.A Kazantseva. Constructing slow-release formulations of herbicide metribuzin using its co-extrusion with biodegradable polyester poly- $\epsilon$ -caprolactone//J. Environ. Sci. Health, Part B.
43. R.Vijayamma, H.J. Maria, Sabu Thomas, E.I. Shishatskaya, E.G.Kiselev, I.V.Nemtsev, A.A.Sukhanova, T.G. Volova. A study of the properties and efficacy of microparticles based on P(3HB) and P(3HB/3HV) loaded with herbicides. Journal of Applied Polymer Science -2021,Vo.13(10)- e51756. DOI: 10.1002/app.51756
44. Goutam, U., Thakur, K., Salaria, N., &Kukreja, S. Recent Approaches for Late Blight Disease Management of Potato Caused by *Phytophthora infestans*. In *Fungi and their Role in Sustainable Development: Current Perspectives* 2018 (pp. 311-325). Springer, Singapore
45. H. Campos, O. Ortiz (eds.) Potato Crop, Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind. - *Springer-2020- 307p*.
46. Potato.Pro [электронный ресурс]. – World Potato Statistics, 2018. The potato sector. – URL: <http://www.potatopro.com/world/potatostatistics> (датаобращения15.09.2021)
47. Ali, M.; Parmar, A.; Niedbała, G.; Wojciechowski, T.; El-Yazied, A.A.; El-Gawad, H.; Nahhas, N.; Ibrahim, M.; El-Mogy, M. Improved Shelf-Life and Consumer Acceptance of Fresh-Cut and Fried Potato Strips by an Edible Coating of Garden Cress Seed Mucilage.// *Foods* 2021, Vol.10, 1536.
48. World Potato Statistics, 2018. The potato sector (FAOSTAT) // <http://www.potatopro.com/world/potatostatistics>
49. Патент РФ на изобретение № 2439143. Бактериальный штамм *Cupriavidus eutrophus* ВКПМ В-10646 - продуцент полигидроксиалканоатов и способ их получения.
50. Ракицкий В.Н. Справочник по пестицидам (токсиколого-гигиеническая характеристика), вып. 1. – Москва: Издательство Агрорус, 2011. 960 с.

51. Sabu Thomas, A.A. Shumilova, Kiselev, A.P. S. Baranovsky, A.D. Vasiliev, E.G. Kuzmin, I. Nemtsev, A.G. Sukovatyi, R. Pai Avinash, T.G. Volova. Thermal, mechanical and biodegradation studies of biofiller based poly-3-hydroxybutyrate biocomposites // Int. J. Biol. Macromol. – 2020 – Vol. 155, P. 1373-1384 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.112>
52. Саттон Д., Фотергилл А., Ринальди М., 2001. Справочник по патогенным и условно-патогенным грибам (Пер. с англ.). Мир, Москва
53. RF patent for invention No. 2733295 «Long-acting pesticidal agent for soil application». Priority from 23.03.2020.
54. А. А. Ольхов, А.М. Гольдштрах, Г.Е. Зайков, А.Л. Иорданский, Морфология термодинамических смесей полиуретанов и полиоксибутиратов, Вестник технологического университета. 18 (2015) стр. 51–54
55. А.А. Ольхов, Р.Ю. Косенко, В.С. Маркин, О.В. Староверова, Е.Л. Кучеренко, А.С. Курносков, А.Л. Иорданский. Биodeградация ультраволокнистых материалов// Перспективные материалы №2-2021 С.П. 17 – 31.
56. K.R. Shah, FTIR analysis of polyhydroxyalkanoates by novel *Bacillus* sp. AS 3-2 from soil of Kadi region, North Gujarat, India, J. Biochem. Technol. 3 (2012) 380–383.
57. R.Vijayamma, H.J. Maria, Sabu Thomas, E.I. Shishatskaya, E.G.Kiselev, I.V.Nemtsev, A.A.Sukhanova, T.G. Volova. A study of the properties and efficacy of microparticles based on P(3HB) and P(3HB/3HV) loaded with herbicides. Journal of Applied Polymer Science -2021,Vo.13(10)- e51756. DOI: 10.1002/app.51756
58. H. Campos, O. Ortiz (eds.) Potato Crop, Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind. - Springer-2020- 307p.
59. Sudesh, K. *Practical Guide to Microbial Polyhydroxyalkanoates*. “Smitthes”, London, UK 2010.
60. Jendrossek, D., Schirmer, A., Schlegel, H.,1996. Biodegradation of polyhydroxyalkanoic acids. Appl. Microbiol. Biot. 46, 451-463.

61. Lee, K.M., Gimore, D.F., Huss, M.J., 2005. Fungal degradation of the bioplastic PHB (Poly-3-hydroxy-butyric acid). *J. Polym. Environ.* 13, 213-219.
62. Sridewi, N., Bhubalan, K., Sudesh, K., 2006. Degradation of commercially important polyhydroxyalkanoates in tropical mangrove ecosystem. *Polym. Degrad. Stab.* 91, 2931-2940.
63. Volova, T.G., Gladyshev, M.I., Trusova, M.Y., Zhila, N.O., 2007. Degradation of polyhydroxyalkanoates in eutrophic reservoir. *Polym. Degrad. Stab.* 92, 580-586.
64. Volova, T.G., Boyandin, A.N., Vasiliev, A.D., Karpov, A.V., Prudnikova, S.V., Mishukova, O.V., Boyarskikh, U.A., Filipenko, M.L., Rudnev, P.V., Xuân, B.B., Dũng, V.V., Gitelson, J.I., 2010. Biodegradation of polyhydroxyalkanoates (PHAs) in tropical coastal waters and identification of PHA-degrading bacteria. *Polym Degrad Stab.* 95,2350–2359. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.08.023>
65. Volova, T.G.; Prudnikova, S.V., Vinogradova, O.N., Syrvacheva, D.A., Shishatskaya, E.I., 2017. Microbial degradation of polyhydroxyalkanoates with different chemical compositions and their biodegradability. *Microb. Ecol.* 73, 353-367.
66. Reddy, S.V., Thirumala, M., Mahmood, S.K., 2008. Biodegradation of polyhydroxyalkanoates. *Internet J. Microbiol.* 4,2-9.
67. Knoll, M., Hamm, T.M., Wagner, F., Martinez. V., Pleiss, J., 2009. The PHA depolymerase engineering database: a systematic analysis tool for the diverse family of polyhydroxyalkanoate (PHA) depolymerases. *BMC Bioinform.* 10,89–96.
68. Zhila, N.O., Prudnikova, S.V., Zadereev, E.S., Rogozin, D.Y., 2012. Degradation of polyhydroxyalkanoate films in brackish Lake Shira. *J Sib Fed Univ Biol.* 5, 210–215.
69. Boyandin, A.N., Rudnev, V.P., Ivonin, V.N., Prudnikova, S.V., Korobikhina, K.I., Filipenko, M.L., Volova, T.G., Sinskey, A.J., 2012. Biodegradation of polyhydroxyalkanoate films in natural environments. *Macromol. Symposia.* 320, 38-42.

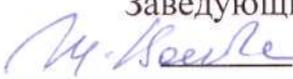
70. Boyandin, A.N., Prudnikova, S.V., Karpov, V.A., Ivonin, V.N., Đỗ, N.L., Nguyễn, T.H., Lê, T.M.H., Filichev, N.L., Levin, A.L., Filipenko, M.L., Volova, T.G., Gitelson, J.I. 2013. Microbial degradation of polyhydroxyalkanoates in tropical soils. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 83, 77-84.
71. Wang, Z., Lin, X., An, J., Ren, C., Yan, X., 2013. Biodegradation of polyhydroxybutyrate film by *Pseudomonas mendocina* DS04-T. *Polym Plast Technol Eng.* 52,195–199.
72. Emadian, S.M., Onay, T.T., Demirel, B., 2016. Biodegradation of bioplastics in natural environments// *Waste Management*. doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.006
73. Martínez-Tobón, D.I., Gul, G., Elias, A.L., Sauvageau, D., 2018. Polyhydroxybutyrate (PHB) biodegradation using bacterial strains with demonstrated and predicted PHB depolymerase activity. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 102,8049–8067. doi.org/10.1007/s00253-018-9153-8
74. Nguyen, D.B., Rose, M.T., Rose, T.J., Morris, S.G., Van Zwieten, L., 2016. Impact of glyphosate on soil microbial biomass and respiration: a meta-analysis. *Soil Biol. Biochem.* 92, 50-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.09.014>.
75. Martínez-Tobón, D.I., Gul, G., Elias, A.L., Sauvageau, D., 2018. Polyhydroxybutyrate (PHB) biodegradation using bacterial strains with demonstrated and predicted PHB depolymerase activity. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 102,8049–8067. doi.org/10.1007/s00253-018-9153-8
76. Cinelli, M., Seggiani, N., Mallegni, V., Gigante, V., Lazzeri, A. Processability and Degradability of PHA-Based Composites in Terrestrial Environments // *Int. J. Mol. Sci.* – 2019.-Vol. 20.-P. 284-297.
77. Wang, C., Wang, F., Zhang, Q., Liang, W., 2016. Individual and combined effects of tebuconazole and carbendazim on soil microbial activity. *Eur. J. Soil Biol.* 72, 6-13.
78. Zhang, M., Teng, Y., Xu, Z., Wang, J., Christie, P., Luo, Y., 2016. Cumulative effects of repeated chlorothalonil application on soil microbial activity and community in contrasting soils. *J. Soils Sediments*. 16, 1754-1763.

79. Prudnikova S., Streltsova N., Volova T. The effect of the pesticide delivery method on the microbial community of field soil // Environ. Sci.Pollut.Res. – 2021 a. – Vol. 28. – №7. – P. 8681-8697.

80. Справочник агронома по защите сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней и сорняков на 2016 год. – Азов: ООО «АзовПечать», 2016. – 260 с.).

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт фундаментальной биологии и биотехнологии  
институт

Базовая кафедра биотехнологии  
Кафедра

Утверждаю  
Заведующий кафедрой  
 Т.Г. Волова  
подпись, инициалы, фамилия

«24» ИЮНЯ 2022 г.

## Магистерская диссертация

### Влияние способов доставки пестицидных препаратов на рост картофеля в лабораторных системах

тема

06.04.01.01 “Микробиология и биотехнология”

код и наименование направления

Научный руководитель

  
Подпись, дата

Доцент, к.т.н.

должность, ученая степень

Е.Г. Киселев

инициалы, фамилия

Выпускник

 24.06.2022  
Подпись, дата

Р.А. Романчук

инициалы, фамилия

Рецензент

  
Подпись, дата

доцент, к.т.н.

должность, ученая степень

Н.Ю. Демиденко

инициалы, фамилия

Красноярск 2022