

**ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**  
на диссертационную работу Шишкина Андрея Юрьевича  
«Экофизиологические механизмы защиты от биodeградации, вызываемой  
микромицетами, акриловых полимеров с помощью биоцидных соединений,  
обладающих фотокаталитической активностью», представленную  
на соискание ученой степени кандидата биологических наук  
по специальности 1.5.15. Экология (биологические науки)

**Актуальность исследования.** Создаваемые человеком полимеры в процессе эксплуатации неизбежно попадают в окружающую среду, где подвергаются воздействию многочисленных биотических и абиотических факторов. Биоповреждение и биodeградация полимерных материалов обусловлены способностью живых организмов, главным образом микромицетов, использоваться эти материалы в качестве источников питания. Вызываемое живыми организмами разрушение полимеров сопровождается ухудшением свойств и технических характеристик материалов, в том числе и на самых ранних стадиях биоповреждения. Биоповреждение полимерных материалов вызывает целый ряд экологических проблем. С одной стороны, инициирование биоповреждений позволяет создавать технологии по утилизации синтетических материалов по истечении сроков их использования, с другой, ингибирование процессов биоповреждения способствует ресурсосбережению, т.к. негативное воздействие микроорганизмов вызывает разрушение и порчу полимерных материалов на стадиях производства, хранения, транспортировки и эксплуатации, что приводит к значительным экономическим потерям. Кроме того, среди микромицетов, являющихся активными деструкторами полимерных материалов, встречаются условно-патогенные штаммы, вызывающие у человека микозы, микотоксикозы и микоаллергозы, что влечет за собой еще одну экологическую проблему – влияние грибов деструкторов промышленных материалов на качество среды обитания человека. Экофизиологические исследования биоповреждений позволяют не только прогнозировать интенсивность деструкции полимеров, но и осуществлять научно обоснованный и целенаправленный подбор средств защиты материалов от биоповреждений, а также оценивать влияние новых синтетических материалов и биоцидов на окружающую среду. Основным



способом защиты промышленных материалов от биоповреждений является введение в их состав различных биоцидных добавок, которые призваны снижать аттрактивность материалов для микроорганизмов. В последнее время огромное внимание уделяется применению субмикронных и наночастиц оксидов тяжелых металлов в качестве подобных средств. Некоторые оксиды обладают фотокаталитической активностью и их антимикробные свойства могут усиливаться под воздействием света. В связи с этим диссертационная работа Шишкина А.Ю., заключающаяся в выявлении экофизиологических механизмов защиты акриловых полимеров от биodeградации, вызываемой микромицетами, путем использования субмикронных частиц сложных оксидов тяжелых металлов, обладающих фотокаталитической активностью, несомненно, является актуальной.

**Научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов диссертации.** Практически все представленные в настоящей работе результаты получены впервые. Так, впервые исследована возможность мицелиальных грибов использовать новые акриловые полимеры поли(диметакрилат этиленгликоля) (ДМЭГ) и поли(диметакрилат триэтиленгликоля) (ТГМ-3) в качестве источников углерода. Показано влияние состава полимеров и степени их пористости на интенсивность процесса биodeградации данных материалов. Выявлены штаммы грибов, являющиеся наиболее активными деструкторами этих акриловых полимеров. Установлено влияние микромицетов на физико-механические свойства и структуру ДМЭГ и ТГМ-3 как при непосредственном росте грибов на материалах, так и при воздействии грибных метаболитов. Впервые исследованы экофизиологические характеристики грибов – активных деструкторов ДМЭГ и ТГМ-3 (рост и развитие, активность некоторых оксидоредуктаз, содержание меланина в мицелии и продукцию органических кислот) в присутствии субмикронных частиц фотокаталитически активных оксидов тяжелых металлов  $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$  и  $\text{CsTeMoO}_6$ , в условиях воздействия на них светового излучения видимого спектра. Экофизиологические исследования позволили обосновать возможность использования



субмикронных частиц  $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$  и  $\text{CsTeMoO}_6$  в качестве средств защиты акриловых полимеров от биодegradации, вызываемой микромицетами.

Теоретическая значимость работы обусловлена получением новых знаний в области биодegradации микроскопическими грибами новых акриловых полимеров ДМЭГ и ТГМ-3. Показано, что антимикробная активность субмикронных частиц новых сложных оксидов  $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$  и  $\text{CsTeMoO}_6$  зависит от металлов, входящих в состав частиц, интенсивности светового излучения, времени экспозиции и вида биологического объекта. Определено и обосновано их антимикробное действие на споры и вегетативный мицелий грибов в условиях света и темноты. Исследованы некоторые механизмы ингибирующего действия фотокаталитически активных оксидов металлов на метаболизм грибов-деструкторов акриловых полимеров. На основе экофизиологического подхода теоретически обоснованы механизмы защиты акриловых полимеров от биоповреждения, вызываемого мицелиальными грибами, с помощью оксидов тяжелых металлов, обладающих фотокаталитической активностью.

Практическая значимость работы заключается в выявлении микромицетов – активных деструкторов ДМЭГ и ТГМ-3. Показано, что с помощью введения субмикронных частиц оксидов тяжелых металлов  $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$  и  $\text{CsTeMoO}_6$  в состав некоторых акриловых полимеров можно снизить аттрактивность этих материалов для микромицетов, использующих их в качестве источников углерода. В связи с этим были получены лабораторные и промышленные образцы акриловых полимеров со сниженной аттрактивностью для грибов (грибостойкие), использующих данные материалы в качестве источников питания.

Таким образом, можно заключить, что полученные результаты имеют существенную научную новизну, высокую теоретическую и практическую значимость и вносят новый вклад в понимание механизмов защиты акриловых полимеров от биодegradации, вызываемой микромицетами, путем использования субмикронных частиц сложных оксидов тяжелых металлов, обладающих фотокаталитической активностью.



**Степень достоверности и обоснованности научных результатов, положений и выводов.** Верификация полученных результатов работы подтверждается применением современного поверенного высокоточного аналитического оборудования, разнообразием использованных методов, большим объёмом полученных экспериментальных данных, анализом и обобщением широкого спектра литературных данных в исследуемой области, а также воспроизводимостью результатов исследования. Положения и выводы, выдвинутые в диссертационной работе, являются обоснованными и соответствуют полученным результатам.

**Объем, содержание и оформление диссертации.** Диссертация состоит из введения, 3 глав, выводов и списка цитируемой литературы, включающего 159 источников, в том числе 126 – на иностранных языках. Работа изложена на 146 страницах, включает 52 рисунка и 7 таблиц.

Раздел «Введение» содержит подробную информацию об актуальности предмета исследований, научной новизне, теоретической и практической значимости работы. Четко сформулированы цель и задачи работы, а также положения, выносимые на защиту. Обосновано соответствие результатов исследования п. 1 «Закономерности влияния абиотических и биотических факторов на организмы. Экофизиология (факториальная экология)» паспорта научной специальности «Экология». Показано личное участие автора в получение результатов, изложенных в диссертации, их представление на российских и международных конференциях, а также в подготовке публикаций по теме диссертационной работы.

В достаточно компактном (30 стр.) «Обзоре литературы» имеется содержательная информация об экологических и биологических аспектах биоповреждений, механизмах деградации полимеров микромицетами, способах защиты полимеров от биоповреждений, биоцидных соединениях на основе оксидов тяжелых металлов, факторах, влияющих на антимикробную активность оксидов, а также о механизмах защиты грибов от наночастиц тяжелых металлов.



Раздел «Материалы и методы исследования» содержит подробную информацию об объектах исследования и использованных в ходе работ современных методах и подходах.

В разделе «Результаты и их обсуждение» представлен весь спектр полученных результатов и их обсуждение, основанное на сравнительном анализе данных, полученных автором и литературных. Все результаты собраны в отдельные подразделы, согласно поставленным задачам, что удобно для чтения и понимания. В конце каждого подраздела автором обобщаются полученные результаты. На мой взгляд, представленный экспериментальный материал логично изложен и дает полную картину о проведенных автором исследованиях.

#### **Достоинства и недостатки диссертационной работы, замечания по работе, вопросы:**

Анализируя работу в целом, следует отметить, что исследование хорошо продумано, логично выстроено, аккуратно и грамотно выполнено. Цель работы четко сформулирована. Задачи соответствуют цели исследования. Следует подчеркнуть интересное изложение полученного материала, использование автором ряда современных методов. Рисунки и таблицы выполнены качественно и наглядно иллюстрируют полученные автором результаты. Автором получен огромный объем экспериментальных данных, который был обработан с применением статистического анализа. Выводы по работе представляются достаточно полными и убедительными.

При ознакомлении с текстом диссертации возникли следующие вопросы:

1. Добавление субмикронных частиц и наночастиц оксидов тяжелых металлов предохраняет полимеры от биоповреждений. Насколько безопасно использование подобных полимеров для человека? Тем более, что автор пишет об усилении их активности на свету и образовании свободных радикалов.

2. В ходе экспериментов определялся прирост сухой или сырой биомассы? Может быть, следовало определить прирост биомассы по концентрации эргостерола?

3. Таблица 1: Ассоциации каких грибов исследовались?



4. Стр. 65: на основании каких данных авторы считают, что образовывались плодовые тела *Chaetomium globosum*? Проводилось сравнение с каким-либо стандартом?

5. Стр. 69: Будут ли происходить аналогичные изменения, если мицелий полностью отделить от культуральной жидкости и полимеры обрабатывать только культуральной жидкостью?

В качестве замечаний хочу выделить следующее:

1. Для определения активности пероксидазы автор использует *p*-фенилендиамин и считает активность фермента как изменение оптической плотности за 1 минуту 1 мг ферментного препарата, т.к. для продукта окисления *p*-фенилендиамина не известен коэффициент молярной экстинкции. На мой взгляд, для тестирования активностей пероксидазы и оксидазы целесообразнее использовать другие субстраты (АБТС, 2,6-диметоксифенол), для которых известен этот параметр и к которым сродство у выявляемых ферментов выше. Это позволило бы автору выразить активность в стандартных единицах – мкмоль/мин/мг белка, как было сделано для каталазы.

2. В подглаве 3.5.2 не вполне понятно, где тестировали активность экстраклеточных ферментов. В культуральной жидкости, после роста вегетативного мицелия?

Высказанные замечания не снижают высокой оценки работы и не снижают высокого научного уровня представленных результатов.

**Публикации.** В ходе работы над кандидатской диссертацией автором опубликована 31 научная работа, из них 8 научных статей: 7 статей в журналах индексируемых аналитическими базами Web of Science и Scopus и 1 статья в журнале рекомендованном ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, 14 работ и тезисов в материалах международных конференций, 7 работ и тезисов в материалах всероссийских конференций, а также 1 монография и 1 секрет производства (ноу-хау).

**Заключение.** Диссертационная работа Шишкина А.Ю. «Экофизиологические механизмы защиты акриловых полимеров от биodeградации, вызываемой микромицетами, с помощью биоцидных



соединений, обладающих фотокаталитической активностью», является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям, изложенным в п.9-14 Положения «О порядке присуждения учёных степеней», утвержденного Постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в ред. 16.10.2024), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждение ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.15. Экология (биологические науки).

Официальный оппонент:

Позднякова Наталия Николаевна

Доктор биологических наук

(специальность 03.01.04 – Биохимия)

ведущий научный сотрудник лаборатории

экологической биотехнологии Института биохимии

и физиологии растений и микроорганизмов

– обособленного структурного подразделения

Федерального государственного бюджетного

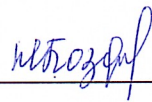
учреждения науки Федерального исследовательского

центра «Саратовский научный центр

Российской академии наук»

410049, г. Саратов, проспект Энтузиастов 13

Телефон оппонента: 89093410149

E-mail: pozdnyakova\_n@ibppm.ru  /Позднякова Н.Н./

Подпись Н.Н. Поздняковой заверяю

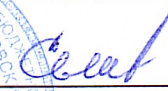
ученый секретарь Федерального исследовательского центра

«Саратовский научный центр Российской академии наук»

к.б.н.

3.10.2025





/Селиванова О.Г./