

**Отзыв официального оппонента на диссертацию
на соискание ученой степени кандидата биологических наук
Цзя Шуньчао на тему: «Механизмы действия ионов серебра и меди
на функциональное состояние клеток фотосинтезирующих
микроорганизмов» по специальностям**

1.5.2. — Биофизика и 1.5.15. — Экология

Диссертационная работа Цзя Шуньчао выполнена на актуальную междисциплинарную тему. Актуальность темы связана с необходимостью оценки последствий загрязнения водных систем тяжёлыми металлами и поиска эффективных биоиндикаторов и тест-организмов. Особую значимость в такого рода работах приобретает использование неинвазивных спектральных методов в исследованиях механизмов действия загрязнителей на фотосинтетические организмы.

Новизна исследования заключается в комплексной оценке действия ионов серебра и меди на модельные водные организмы с применением неинвазивных методов анализа, включая ОЛР-анализ флуоресценции, микрофлуориметрию и Рамановскую спектроскопию. Выявлена гетерогенность чувствительности клеток, зависящая от таксономической принадлежности и условий воздействия, что не могло быть установлено методами, основанными на усреднённых данных популяций.

Автору удалось показать, что реакции на токсиканты зависят не только от вида организма, но и от уровня организации биологической системы (популяция/отдельная клетка), а также условий освещения. Это делает выводы работы релевантными как для лабораторных, так и для полевых условий. Исследование отличается научной глубиной, продуманной методологией и интерпретационной строгостью.

Теоретическая значимость работы заключается в углублении представлений о механизмах фотоингибирования, фотозащитных стратегиях и роли антиоксидантной системы в условиях действия металлов. Практическая — в применении полученных данных для экологической сертификации вод, разработки новых биомаркеров токсичности и моделей оценки риска.

По ключевым результатам, полученным в работе автором диссертации четко сформулированы основные положения, выносимые на защиту, которые состоят в следующем:

Комплекс спектральных методов доказал свою информативность при изучении механизмов действия ионов Cu^{2+} и Ag^+ на фотосинтетические процессы на уровне фотосинтетических мембран водных фотосинтезирующих микроорганизмов.

Оптимальным для оценки токсичности меди и серебра является диапазон концентраций от фоновых до характерных для загрязнённых водоемов, что важно для реалистичного экологического моделирования.

Анализ одиночных клеток позволил выявить внутривнутрипопуляционную неоднородность в чувствительности к токсикантам, недоступную при изучении клеточных суспензий.

Разнообразие таксономических групп фотосинтезирующих микроорганизмов предопределяет различия в их устойчивости к тяжёлым металлам, что необходимо учитывать при экологической оценке состояния водных экосистем.

Структура диссертации отличается логичностью и полнотой. В обзоре литературы дана чёткая оценка современного состояния проблемы. Обзор литературных источников в диссертации Цзя Шуньчао отличается не только полнотой, но и аналитичностью изложения. Автору удалось не просто систематизировать известные данные по морфологии, физиологии и биохимии

модельных фотосинтезирующих организмов, но и чётко обосновать выбор объектов исследования — микроводоросли *Scenedesmus quadricauda* и цианобактерии *Synechocystis sp. PCC 6803*. Обзор включает актуальные данные о применении спектральных методов в экотоксикологии, уделяя особое внимание инструментальной базе и интерпретации флуоресцентных параметров фотосинтетического аппарата. Таким образом, теоретическая часть создает прочный фундамент для постановки исследовательских задач.

Раздел, посвящённый материалам и методам, содержат точные методологические описания. Экспериментальные подходы описаны с высокой степенью детализации. Это касается как методик культивирования, так и методов анализа, включая спектрофотометрические и микроскопические техники. Использование как суспензий клеток, так и одиночных клеток при регистрации флуоресценции хлорофилла заслуживает особого внимания, поскольку позволяет устранить влияние популяционной гетерогенности и повысить точность анализа.

Представленные результаты анализируются последовательно и подробно, обсуждение основано на сопоставлении с актуальными литературными данными. Результаты работы демонстрируют комплексное влияние ионов меди и серебра на фотосинтетические процессы. Автором убедительно показано, что данные металлы вызывают нарушения в работе фотосистемы II, снижают параметры квантовой эффективности и изменяют кинетику флуоресценции. Существенным достижением является проведение измерений как при световых, так и при темновых условиях инкубации, что позволяет выявить светозависимые и светонезависимые компоненты токсического действия.

Важной особенностью диссертационной работы является сочетание фундаментальных исследований и потенциально прикладной направленности. Полученные данные по флуоресценции на отдельных клетках демонстрируют возможность ранней диагностики стрессовых состояний фотосинтетических

организмов до проявления фенотипических эффектов, что может быть использовано в мониторинге загрязнённости водных экосистем.

Необходимо отметить, что использование микрофлуориметрии, спектроскопии комбинационного рассеяния и сканирующей электронной микроскопии позволяет автору выйти за рамки традиционного подхода и перейти к анализу структурных изменений, связанных с воздействием ионов тяжёлых металлов. Эти методы дополняют спектрофлуориметрические данные на суспензиях клеток и позволяют более полно оценить степень и характер токсического влияния.

Таким образом, представленная диссертация сочетает в себе современный методический инструментарий, междисциплинарный подход и высокий уровень экспериментального исполнения. Работа обладает значительной научной новизной, подтверждённой публикациями в ведущих журналах, и может быть рекомендована к защите.

В заключении диссертации представлены обобщённые результаты, подтверждающие выраженное токсическое действие ионов меди и серебра в микромолярных концентрациях на фотосинтетическую активность микроводоросли *Scenedesmus quadricauda*. Установлено снижение роста, пигментного состава и ключевых фотохимических параметров, с доминирующим повреждающим эффектом серебра при световых условиях. Анализ флуоресценции одиночных клеток выявил гетерогенность популяции по чувствительности к токсикантам. Также показано, что цианобактерия *Synechocystis sp. PCC 6803* обладает значительно большей устойчивостью к действию тяжёлых металлов, что подчёркивает видовые особенности адаптационных механизмов.

В выводах содержится обоснованная интерпретация полученных данных и акцент на их прикладной значимости, который четко представлен в виде конкретных числовых значений, наблюдаемых эффектов.

Методология исследования отличается высокой точностью, воспроизводимостью и охватывает широкий спектр параметров, что делает обоснованным выбор двух специальностей для защиты. Интеграция биофизических подходов в экологические задачи продемонстрирована на высоком уровне. Представленная диссертация полностью отвечает требованиям к научной квалификационной работе. Она отличается высоким уровнем выполнения, междисциплинарным подходом, практической направленностью и методической новизной.

Тем не менее к некоторым недочётам можно отнести:

1. В списке литературы можно было бы уделить больше внимания источникам последних двух лет.
2. Некоторые аббревиатуры встречаются в тексте без предварительной расшифровки.
3. Видовые названия не всегда выделены курсивом, как это принято.
4. Проведена оценка нескольких тест-функций фотосинтезирующих организмов, однако, не указано, в каких случаях необходимо оценивать тот или иной показатель функционального состояния клеток, что важно понимать для дальнейшего внедрения полученных результатов в практику.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.5.2. — Биофизика и 1.5.15. - Экология (по биологическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой

степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Цзя Шуньчао заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.2. — Биофизика и 1.5.15. - Экология.

Официальный оппонент:
Доктор биологических наук,
Профессор Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Вятский государственный университет», кафедра экологии и
природопользования
Олькова Анна Сергеевна

28.05.2025 г.

ую подпись
заверяю
ик управления по работе
с персоналом
Михайленко Е.Н.

Контактные
тел.: +7 953 133-93-21, e-mail: usr08617@vyatsu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:
доктор биологических наук, специальность: 1.5.15. Экология (03.02.08
Экология)

Адрес места работы:
610000, РФ, Приволжский федеральный округ,
Кировская область, г. Киров, ул. Московская, д. 36
Тел.: 8-8332-742-698; e-mail: usr08617@vyatsu.ru