

**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**

Актуальность темы. Фотосинтезирующие микроорганизмы широко используются в экологической оценке природных сред, а среди одноклеточных водорослей немало видов, которые благодаря высокой чувствительности к разным видам поллютантов, являются весьма распространенными стандартными тест-культурами в прикладной экологии. При этом механизмы адаптации и чувствительности клеток водорослей к конкретным видам токсикантов исследованы недостаточно. В этой связи диссертация Цзя Шуньчао «Механизмы действия ионов серебра и меди на функциональное состояние клеток фотосинтезирующих микроорганизмов» представляет собой актуальное и логичное направление исследования, поскольку тяжёлые металлы продолжают оставаться традиционными загрязняющими веществами водных и почвенных сред, а о первичных механизмах, определяющих чувствительность водорослей к ним, известно не очень много. Совершенствование системы экологической оценки и выбора надежных биотестов на основе вскрытых механизмов чувствительности живых объектов наблюдения имеют особое значение для задач экологического нормирования негативных воздействий химического загрязнения.

Научная новизна работы заключается в сравнительном анализе действия ионов Cu^{2+} и Ag^+ на модельные организмы с применением разных методических подходов. Автором впервые в рамках одних и тех же экспериментов комплексно применены методы регистрации флуоресценции хлорофилла на популяционном и

клеточном уровне, что позволило выявить токсические эффекты и необходимость учета реакции клеток в гетерогенной популяции. Выявлены новые аспекты взаимодействия тяжелых металлов с фотосинтетическим аппаратом, а также подтверждены в конкретных условиях эксперимента различия в устойчивости микроорганизмов к солям металлов, обусловленные таксономической принадлежностью.

Теоретическая значимость работы состоит в уточнении механизмов фотохимических нарушений и фотозащитных реакций у микроводорослей, выявлении роли условий освещения в развитии токсических эффектов ионов меди и серебра.

Практическая значимость обусловлена потенциальной возможностью применения полученных данных в системах экологического мониторинга водных объектов и биотестирования, включая разработку новых биосенсоров на основе фотосинтезирующих организмов.

Методическая основа диссертации включает широкий спектр современных приемов оценки экологического состояния исследуемых культур водорослей при воздействии разных концентраций катионов металлов. Дан анализ и чисто микробиологических интегральных параметров, таких как прирост биомассы, численности клеток в разных условиях освещенности и состава сред с поллютантами, так и исследований внутриклеточных биофизических механизмов, относящихся к работе фотосинтетического аппарата с помощью спектрофотометрии флуоресценции, световых кривых, Рамановской спектроскопии, электронной микроскопии. Применение этих подходов на двух модельных организмах делает обоснованной защиту по двум специальностям: 1.5.2. Биофизика и 1.5.15. Экология. Работа наглядно демонстрирует, как биофизические подходы могут быть интегрированы в экологические исследования, усиливая их диагностическую и прогностическую ценность.

Положения, выносимые на защиту, вытекают из полученных в работе данных и демонстрируют необходимость учета новых аспектов при биодиагностики качества воды по состоянию клеток водорослей и их фотосинтетической активности, в частности, предлагается уделять внимание гетерогенности клеточной популяции. Констатируется, что гетерогенный характер чувствительности клеток микроводорослей к действию токсикантов на их фотосинтетический аппарат можно выявлять с помощью микрофлуориметрического анализа одиночных клеток, принадлежащих либо одной, либо различным таксономическим группам. Использование биофизического подхода, основанного на комплексе спектральных методов, позволяет изучить механизмы влияния ионов меди и серебра на ранних стадиях их воздействия на фотосинтетический аппарат микроорганизмов.

Показано, что для всесторонней оценки потенциального токсического воздействия меди и серебра необходимо использовать микромолярный интервал их концентраций, начиная от естественного уровня до уровня, характерного для сильно загрязненных водных экосистем.

Структура диссертации имеет традиционный характер и соответствует требованиям, предъявляемым к подобным рукописям.

В разделе Обзор литературы (занимает более 80 страниц) представлен всесторонний анализ современного состояния проблемы и обоснование актуальности исследования. Детально представлены данные о морфологических, физиологических и биохимических характеристиках используемых в работе видов водорослей. Подробно описаны элементы фотосинтетического аппарата и индикаторные показатели, использующиеся при анализе нарушений фотосистем. Тщательно описаны базовые и современные известные на данный момент знания о спектральных методах исследования и их применения в экологических исследованиях. Уделено внимание современным данным о механизмах

токсичности тяжелых металлов. Интересная и важная информация представлена в разделе 2.6.1, в котором подробно рассмотрены основные принципы использования модельных систем в экологических исследованиях, достоинства и ограничения модельных экспериментов.

Раздел Материалы и методы подробно описывает экспериментальные подходы, используемые модели и методы регистрации, что свидетельствует о высокой степени воспроизводимости данных исследования.

Результаты изложены последовательно и сопровождаются наглядным графическим материалом и таблицами.

Представлены данные по влиянию ионов меди и серебра на снижение роста культуры клеток микроводорослей и на их общую синтетическую активность. Приведены данные о влиянии ионов меди и серебра на первичные фотосинтетические процессы пресноводной микроводоросли *Scenedesmus quadricauda* с помощью спектральных методов при различных световых условиях инкубации клеток. Также представлены данные о влиянии меди и серебра на интенсивность флуоресценции открытых и закрытых РЦ ФСII в суспензии клеток *Scenedesmus quadricauda* и на одиночных клетках при их инкубации в темновых и световых условиях инкубации. Показано влияние ионов меди и серебра на пигментный состав клеток. В работе подробно прописаны и обсуждены результаты по влиянию исследуемых металлов на индукционные кривые быстрой флуоресценции. Представлены ценные данные по влиянию ионов на световые кривые относительной скорости линейного электронного транспорта и нефотохимическое тушение. Описаны и обсуждены данные по влиянию меди и серебра на параметры кривых затухания флуоресценции в пико- и наносекундном диапазоне в суспензии и на одиночных клетках микроводоросли. Представлены результаты исследований влияния ионов меди и серебра на морфологию клеточной

стенки микроводорослей *Scenedesmus quadricauda* с помощью метода сканирующей электронной микроскопии.

В завершающем экспериментальную часть работы небольшом разделе описаны результаты оценки влияния ионов меди и серебра на индукционные кривые быстрой флуоресценции в клетках культуры цианобактерий *Synechocystis* sp. PCC6803.

В заключении и выводах сформулированы основные достижения и практические рекомендации по применению результатов.

Достоверность выводов основана на статистической обработке данных. Сформулированные рекомендации логично вытекают из результатов экспериментальной работы, обладают высокой степенью научной новизны.

К автору работы возникли уточняющие вопросы.

1. Чем объясняется внимание, уделенное в работе расчету показателя отношения поглощения хлорофилла к поглощению каротиноидов? Является этот показатель универсальным индикатором благополучия клеток водорослей? Чем объясняется его слабая зависимость от дозовой нагрузки меди в среде (см. рис. 4.2.13)

2. Насколько синхронизированной по возрасту была культура клеток водорослей при анализе микрофлуоресценции токсических эффектов в среде с ионами металлов и в контроле? Не отмечались ли какие-либо другие признаки гетерогенности (по возрасту, размерам или числу клеток в ценобиях водоросли?)

3. Каков объем выборки клеток необходим для расчётов и выводов о зависимости доза-эффект по интенсивности спектров комбинационного рассеяния на пигментах одиночных клеток *Scenedesmus quadricauda* при конфокальной микроскопии?

Автором проделана большая интересная работа, которая хорошо оформлена в виде рукописи, изложена на 243 страницах, содержит 60 рисунков, 7 таблиц,

процитировано 299 источников литературы. Автореферат отражает содержание диссертации.

По оформлению текста работы имеются небольшие стилистические замечания.

1. Не везде корректно приведены латинские названия видов и родов упоминаемых организмов, не выделены курсивом, как это требует таксономический кодекс номенклатуры.

2. В отдельных разделах текста наблюдаются повторы формулировок (например, в разделе 4.2.1).

3. Разговорный термин культивация водорослей следовало заменить на предпочтительный в научной литературе вариант культивирование.

В целом, диссертация Цзя Шуньчао «Механизмы действия ионов серебра и меди на функциональное состояние клеток фотосинтезирующих микроорганизмов» представляет собой оригинальное, глубокое и методически выверенное исследование, в котором автор демонстрирует высокий уровень профессиональной подготовки. Обоснованность постановки цели, полнота реализации задач, достоверность полученных результатов, их теоретическая интерпретация и практическая значимость позволяют утверждать, что диссертационная работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

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.

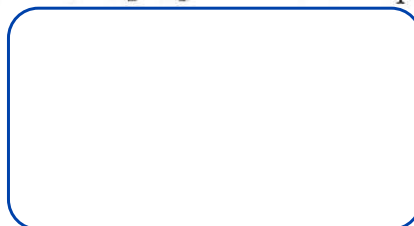
Официальный оппонент:

доктор Биологических наук,

профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», факультет почвоведения, кафедра земельных ресурсов и оценки почв

Терехова Вера Александровна

06.06.2025



Контактные данные:

тел.: + 7 495 930 03 95, e-mail: _____



Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

доктор биологических наук, специальности: 03.00.16 – экология (биологические науки), 03.00.24 – микология (биологические науки)

Адрес места работы:

119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, факультет почвоведения

Тел.: + 7 495 930 03 95; e-mail: vterekhova@soil.msu.ru

Подпись сотрудника ...
удостоверяю:

