

**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

Работа Цзя Шуньчао посвящена изучению воздействия ионов меди и серебра на фотосинтетический аппарат микроводорослей и цианобактерий, что является актуальным направлением современной эколого-биофизической науки. Объекты исследования выбраны обосновано, поскольку относятся к ключевым компонентам водных экосистем и широко применяются в биотестировании загрязнений.

Актуальность темы подтверждается высокой чувствительностью фотосинтезирующих организмов к действию тяжёлых металлов и необходимостью разработки быстрых и точных методов оценки их токсичности для целей мониторинга и охраны окружающей среды. Работа отвечает задачам современной прикладной экологии и биофизики, направленным на разработку экспресс-методов диагностики экологических угроз даже на ранних стадиях воздействия различных ксенобиотиков. В таких исследованиях наиболее перспективными являются биофизические спектральные методы, которые использовались в данной работе и определяют ее междисциплинарный характер.

Научная новизна диссертации заключается в экспериментальном подтверждении различий в механизмах токсичности ионов Ag^+ и Cu^{2+} , а также выявлении различий в чувствительности микроорганизмов к действию токсикантов на уровне отдельных клеток. В работе

проведено комплексное сравнение двух модельных объектов с анализом параметров ОЛР-кривых, $rETR$ и NPQ , что позволило выявить новые закономерности токсического воздействия и адаптационных реакций.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии представлений о механизмах действия тяжёлых металлов на первичные процессы фотосинтеза.

Практическая значимость — в обосновании новых подходов к ранней диагностике загрязнения водных объектов, использовании фотосинтезирующих организмов как биоиндикаторов качества водной среды. Особенно следует отметить важное для системы биотестирования достижение, состоящее в комплексном подходе, так как одновременно оценивается не только влияние на функции живого организма, но и на ее биохимическую основу — фотосинтетический аппарат. Этим устанавливается связь между подходами *in vivo* и *in vitro*, увеличивается достоверность полученных результатов, а также происходит более глубокое понимание механизмов влияния ксенобиотиков на организм.

Основные положения, выносимые на защиту, чётко сформулированы и отражают научную новизну диссертационной работы. В их числе:

На основе спектральных методов показана эффективность биофизического подхода для раннего выявления токсического действия ионов меди и серебра на фотосинтетический аппарат микроорганизмов.

Показана эффективность биофизического подхода на основе спектральных методов для раннего выявления токсического действия ионов меди и серебра на фотосинтетический аппарат микроорганизмов.

Обоснована необходимость исследования токсичности металлов в микромолярном диапазоне концентраций, охватывающем как природные, так и загрязнённые условия среды.

Установлена возможность детектирования клеточной гетерогенности в ответе на токсиканты с помощью микрофлуориметрии одиночных клеток.

Подчёркнута роль таксономической принадлежности фотосинтезирующих микроорганизмов в формировании совокупного ответа водной экосистемы на загрязнение тяжёлыми металлами.

Структура диссертации хорошо продумана и отвечает требованиям к квалификационным научным работам.

Раздел, посвящённый анализу литературы, демонстрирует глубокое и обстоятельное понимание автором современного состояния исследуемой научной проблемы. Автором представлена широкая палитра сведений о морфологических, физиологических и биохимических характеристиках модельных фотосинтезирующих микроорганизмов, что создаёт необходимую научную базу для постановки экспериментов. Особое внимание уделено описанию спектральных методов и их значению в экологической биофизике, включая как устоявшиеся, так и новейшие подходы к исследованию физиологического состояния фотосинтезирующих систем. В обзоре также подробно рассмотрены ключевые аспекты токсического действия тяжёлых металлов, таких как медь и серебро, что подчёркивает актуальность выбранной темы.

Анализ литературных данных подтверждает новизну проведенного исследования, так как большинство исследователей фокусируются на общих физиологических и биохимических маркерах

стресса, таких как рост и пигментный состав, при этом влияние тяжелых металлов на первичные фотохимические реакции практически не изучалось.

Представленный обзор литературных данных имеет самостоятельную ценность и мог бы быть рекомендован для опубликования в формате обзорной статьи, при условии усиления логических связей между отдельными разделами обзора, которых в тексте диссертации явно недостаточно при таком большом объеме текста обзора (86 страниц), также как и выводов по литературному обзору, резюмирующих новизну предлагаемых целей диссертации и подходов.

Методическая часть работы выполнена на высоком уровне с использованием современного оборудования. Автором тщательно описаны используемые биологические модели, экспериментальные схемы и методики регистрации физиологических показателей, что обеспечивает воспроизводимость проведённого исследования. Это особенно важно при анализе тонких эффектов воздействия микроконцентраций ионов металлов на клетки. В связи с этим достоверность полученных результатов не вызывает сомнений.

Результаты исследования изложены логично и последовательно. Они проиллюстрированы качественными графическими материалами, что значительно облегчает их интерпретацию. В работе представлены убедительные данные о подавляющем влиянии ионов Cu^{2+} и Ag^+ на рост и метаболическую активность микроводорослей. Особую ценность представляют результаты, полученные при варьировании световых условий, что позволило выявить фотозависимые эффекты токсичности металлов на клетки *Scenedesmus quadricauda*.

Значительный интерес представляют результаты, полученные как на уровне популяций клеток, так и в исследованиях индивидуальных клеток. Работа содержит новые данные о влиянии меди и серебра на параметры флуоресценции открытых и закрытых реакционных центров ФСII, на интенсивность и кинетику индукции быстрой флуоресценции, на световые кривые электронного транспорта и механизмы нефотохимического тушения.

Автором также выполнены важные исследования, посвящённые оценке влияния токсикантов на морфологические изменения клеточной стенки микроводорослей с использованием сканирующей электронной микроскопии. Не менее значимы и результаты, касающиеся воздействия ионов Cu^{2+} и Ag^+ на фотосинтетические параметры в клетках культуры цианобактерий *Synechocystis sp. PCC6803*, что расширяет спектр биологических моделей, использованных в работе и увеличивает ее значимость в исследованиях экологической направленности.

В целом, представленное исследование отличается комплексным подходом, высоким уровнем экспериментального исполнения и значительной научной новизной. Оно вносит существенный вклад в понимание механизмов токсичности тяжёлых металлов для фотосинтезирующих микроорганизмов и может быть рекомендовано к защите без замечаний по существу научного содержания.

Обоснование защиты по двум специальностям является логичным: биофизика отражена через спектроскопические методы анализа фотосинтеза и через подходы, основанные на моделировании, а экология — через оценку устойчивости водных организмов к

загрязнению и возможность применения разработанных методик в практике экологического мониторинга.

Таким образом, диссертация Цзя Шуньчао обладает высокой научной и прикладной ценностью, отвечает требованиям к кандидатским диссертациям и демонстрирует высокий уровень исследовательской подготовки соискателя.

Среди замечаний:

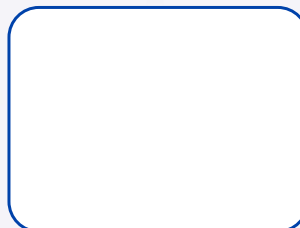
1. Хотелось бы видеть более подробную информацию о поведении Ag^+ и Cu^{2+} в водной среде (например, об их комплексообразовании).
2. В тексте встречаются незначительные стилистические шероховатости.
3. Можно ли утверждать, что реакции водорослей на Cu^{2+} и Ag^+ являются специфичными, или они отражают универсальные стресс-ответы?
4. Как различить токсическое и адаптивное действие?

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:

Зав. кафедрой биофизики Института фундаментальной биологии и биотехнологии ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», доктор биологических наук, профессор



Кратасюк
Валентина
Александровна

5.06.2025

Контактные данные:

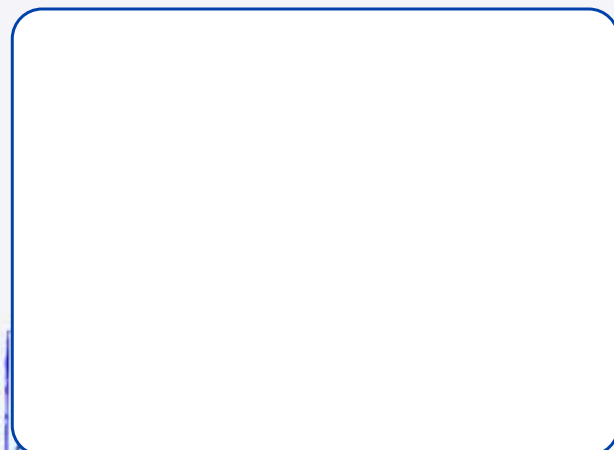
Адрес места работы:

600041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, ауд. 13-08,
«Сибирский Федеральный университет»

E.mail: v[]ru, VKratasyuk@sfu-kras.ru, раб. тел. +7 (391)
206-20-72, 206-23-07, факс +7(3910 2062166, моб.тел.: +7[]

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация: доктор биологических наук, специальность:
03.00.02 - биофизика

Подпись сотрудника удостоверяю:



« 05 » 06 / 2025 г.