

**ОТЗЫВ официального оппонента  
на диссертацию на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук Цораева Георгия Витальевича  
на тему: «Роль белка восстановления флуоресценции (FRP) в регуляции  
фотоцикла оранжевого каротиноидного белка (ОСР) и фотозащитных  
механизмов цианобактерий»  
по специальности 1.5.2. Биофизика (биологические науки)**

Диссертационное исследование Цораева Георгия Витальевича посвящено важной и актуальной проблеме биофизики: изучению механизмов электронно-конформационных переходов в фоточувствительных пигмент-белковых комплексах на примере оранжевого каротиноидного белка (ОСР) цианобактерий и его взаимодействия с белком восстановления флуоресценции (FRP). Цианобактерии используют водорастворимый фотоактивный белок ОСР для защиты светособирающих комплексов от фотоповреждения, а FRP участвует в инактивации ОСР и возвращении к оптимальной фотосинтетической активности.

Фотоцикл ОСР включает как очень быстрые реакции (пикосекундные), так и медленные (до 100 секунд), а квантовый выход первичных фотопродуктов крайне низок, что делает исследование данной проблемы нетривиальной задачей. Более того, основным наблюдаемым параметром в подобных экспериментах чаще всего является изменение спектральных свойств каротиноида, которые непосредственно не отражают функциональное состояние белка ОСР. В связи с этим необходимо было изучить взаимодействия аминокислотных остатков и каротиноида методами флуоресцентной и абсорбционной спектроскопии, а также выявить роль водородных связей между пигментом и аминокислотными остатками в формировании промежуточных состояний фотоцикла ОСР.

Исследования в этом направлении имеют большое фундаментальное значение в связи со способностью оранжевого каротиноидного белка осуществлять нефотохимическое тушение. Под действием света высокой интенсивности ОСР переходит в физиологически активную красную форму, взаимодействующую с антенными комплексами, чем обеспечивает передачу энергии и ее безопасную диссипацию.

Кроме того, исследования, представленные в работе, могут иметь важное прикладное значение, связанное с использованием цианобактерий в качестве биотехнологических систем с высокой скоростью продукции биомассы. Результаты исследований могут быть использованы при подготовке студентов и аспирантов МГУ.

В диссертационном исследовании Цораева Г.В. очевидна новизна: автором было показано, что фотоцикл ОСР характеризуется согласованным характером электронно-конформационных взаимодействий на всех этапах, включая конформационное изменение каротиноида, его белкового окружения и взаимодействия структурных субъединиц.

Были обнаружены новые переходные состояния фотоцикла ОСР по сравнению с ранее охарактеризованными, установлены их функциональные роли. Описано взаимодействие между белками ОСР с FRP. Результаты экспериментов *in vitro* указывают, что наличие FRP в достаточном количестве может полностью предотвращать накопление активной формы ОСР даже в условиях повышенной инсоляции.

Несомненным достоинством работы является комплексный подход к поставленной проблеме, хотелось бы отметить также применение высокотехнологичных современных методов и тщательную интерпретацию результатов.

Работа составлена по традиционному плану и состоит из Введения, Обзора литературы, Материалов и методов, Результатов исследования, Заключение, Выводов и Списка цитированной литературы. Очень удобно, что есть также список сокращений, которым я много раз пользовалась при чтении.

В «Обзоре литературы» приводится информация о современном состоянии исследований в областях, имеющих непосредственное отношение к теме диссертации. В общих чертах описаны структуры светособирающих антенн в цианобактериях, подробно освещены структуры и функции двух белков, изучаемых в рамках диссертационной работы, а также особенности их взаимодействия.

Раздел «Материалы и методы» написан очень подробно, причем отдельно расписаны материалы (то есть культивирование клеток и получение

трансгенных линий) и методы (регистрация спектров поглощения, флуоресценции и другие более сложные методические подходы, включая использование уникальных установок, собранных на кафедре биофизики).

Глава «Результаты исследования» (которую следовало бы назвать «Результаты и обсуждение», поскольку она содержит также многочисленные отсылки к литературе) состоит из трёх больших подглав, включающих от 3 до 6 подразделов. Количество результатов и их подробное обсуждение оставляют очень хорошее впечатление о работе.

Диссертация изложена на 132 страницах машинописного текста, иллюстрирована 26 рисунками. Список литературы включает 108 источников.

Несмотря на очевидные достоинства и высокий уровень исследования, в тексте диссертации есть некоторые погрешности.

1. Стиль цитирования, при котором ссылки на литературу пронумерованы, не очень подходит для диссертации и затрудняет разграничение между результатами, вошедшими в работу, и литературными данными, поскольку в обоих случаях стоит ссылка под номером, и чтобы выяснить, есть ли среди авторов диссертант, приходится обращаться к списку литературы.
2. Не указан источник информации, приведенной на Рисунке 1, а на Рисунке 2 недостаточно подробно описаны изображения, следовало разделить его на А, Б и так далее.
3. В некоторых случаях в обзоре встречаются обороты «до сих пор неизвестно» или «недавно показано», при этом автор ссылается на работы 10-летней давности. В таких случаях у читателя возникает вопрос, не было ли что-то сделано после этого.
4. Некоторые сокращения отсутствуют в списке сокращений (например, ECN, SAXS).
5. Раздел «Материалы и методы» содержит недостаточно ссылок на литературу. Если методики общепринятые или разработаны ранее в лаборатории диссертанта, следует ссылаться на публикации, если же методический подход новый и разработан с участием автора, то об

этом следует написать, чтобы читатель обратил внимание и отметил методическую новизну исследования.

6. На страницах 38-39 кусок текста, содержащий информацию о фотоконверсии ОСР, повторяется с небольшими вариациями.
7. Не всегда поясняется, почему измерение выполнялось при той или иной температуре. При этом про низкие температуры почти всегда такое пояснение есть, а про более высокие – нет (например, какие-то опыты проводили при 15 (Рис. 12), 20 (Рис. 5), 25 (Рис. 7) или 37°C (Рис. 20).
8. На Рисунке 5 отсутствует обобщенное название до детализации.
9. Хотелось бы уточнить, каков был объект исследования. В тексте не акцентируется видовая принадлежность белковых комплексов. Так, на странице 54 речь идет о ОСР из *Synechocystis*, в автореферате также указаны эти бактерии, а в подписи к некоторым рисункам фигурирует *Arthrospira maxima*. В методике речь идет только о культивировании последней. Разъясните, пожалуйста.
10. Интересно было бы уточнить, воздействие крепким раствором фосфата (0,8М) – это стандартная процедура или автор подбирал концентрацию? Каков катион, и не оказывает ли он влияния на комплексы? (либо, если речь о кислоте, то не менялся ли рН раствора, что всегда влияет на состояние макромолекул)
11. Рис. 25 содержит результирующую схему, которую хотелось бы рассмотреть подробнее. В диссертации это трудно сделать из-за небольшого размера рисунка.

Вместе с тем, указанные замечания носят технический характер и 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 (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 Цораев Георгий Витальевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.2. Биофизика.

доктор биологических наук,  
доцент кафедры физиологии растений Биологического факультета  
ФГБУ ВО учреждения «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»

Брейгина Мария Александровна



21.05.2025

Контактные данные:

тел.: +



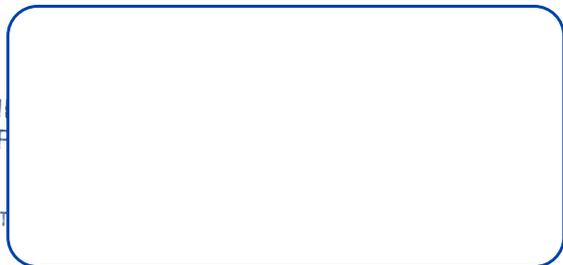
Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

1.5.21 – Физиология и биохимия растений

Адрес места работы:

119234 Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12  
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», Биологический факультет  
Тел.: 7(495)9391209; e-mail: breygina@mail.bio.msu.ru

Подпись сотрудника ФГБОУ ВО «Московский государственный Университет им. М.В. Ломоносова» М.А. Брейгиной удостоверяю:



ПОДП  
ЗАВЕР

Документ

