

Заключение диссертационного совета МГУ.015.5
по диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук
Решение диссертационного совета от «19» июня 2025 г. № 8

О присуждении Цораеву Георгию Витальевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата биологических наук.

Диссертация «Роль белка восстановления флуоресценции (FRP) в регуляции фотоцикла оранжевого каротиноидного белка (ОСР) и фотозащитных механизмов цианобактерий» по специальности 1.5.2. Биофизика принята к защите диссертационным советом 13.03.2025 г., протокол № 3.

Соискатель – Цораев Георгий Витальевич 1987 года рождения, в 2008 году окончил биологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова по специальности «Физиология», с 20 января 2025 г. по 20 июля 2025 г. прикреплен к кафедре биофизики биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова для подготовки диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.2. Биофизика.

В настоящее время соискатель работает в должности научного сотрудника в лаборатории общей биофизики кафедры биофизики биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Диссертация выполнена на кафедре биофизики биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Научные руководители:

доктор физико-математических наук, профессор, Пащенко Владимир Захарович, заведующий сектором биофотоники кафедры биофизики биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

доктор биологических наук Максимов Евгений Георгиевич, заведующий лабораторией физико-химии биомембран биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Официальные оппоненты:

Брейгина Мария Александровна, доктор биологических наук, доцент кафедры физиологии растений биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова;

Разживин Андрей Павлович, доктор физико-математических наук, заведующий отделом фотосинтеза и флуоресцентных методов исследований НИИ физико-химической биологии имени А.Н. Белозерского Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова;

Синетова Мария Андреевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией экофизиологии микроводорослей Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался их высоким уровнем компетентности в области биофизики и наличием публикаций по тематике диссертационной работы в ведущих российских и международных журналах.

Соискатель имеет 37 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 5 работ, из них 5 статей, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.5.2. Биофизика (в скобках приведен импакт-фактор журнала с указанием системы индексирования – JIF; объём публикации в печатных листах/вклад автора в печатных листах):

1. **Tsoraev G. V.**, Protasova E. A., Klimanova E. A., Ryzhykau Y. L., Kuklin A. I., Semenov Yu. S., Ge B., Li W., Qin S., Friedrich Th., Sluchanko N. N., Maksimov Eu. G. Anti-Stokes fluorescence excitation reveals conformational mobility of the C-phycocyanin chromophores // *Structural Dynamics*. – 2022. – Vol. 9, – No. 5 – P. 054701. DOI: 10.1063/4.0000164 (**JIF 2.3, 1.08/0,41 п. л.**).
2. **Tsoraev G. V.**, Bukhanko A., Budylin G. S., Shirshin E. A., Slonimskiy Y. B., Sluchanko N. N., Kloz M., Cherepanov D. A., Shakina Y. V., Ge B., Moldenhauer M., Friedrich Th., Golub M., Pieper J., Maksimov Eu. G., Rubin A. B. Stages of OCP-FRP Interactions in the Regulation of Photoprotection in Cyanobacteria, Part 1: Time-Resolved Spectroscopy // *The Journal of Physical Chemistry B*. – 2023. – Vol. 127. – No. 9. – P. 1890-1900. DOI: 10.1021/acs.jpcc.2c07189 (**JIF 2.8, 1.18/0,48 п. л.**).
3. **Tsoraev G. V.**, Bukhanko A. Y., Mamchur A. A., Yaroshevich I. A., Sluchanko N. N., Tseng H.-W., Moldenhauer M., Budisa N., Friedrich Th.s, Maksimov Eu. G. Intrinsic tryptophan fluorescence quenching by iodine in non-canonical amino acid reveals alteration of the hydrogen bond network in the photoactive orange carotenoid protein // *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2023. – Vol. – 683, – P. 149119. DOI: 10.1016/j.bbrc.2023.10.051 (**JIF 2.5, 0.68/0,37 п. л.**).
4. Zlenko D. V., Protasova E. A., **Tsoraev G. V.**, Sluchanko N. N., Cherepanov D. A., Friedrich Th., Ge B., Qin S., Maksimov Eu. G., Rubin A. B. Anti-stokes fluorescence of phycobilisome and its complex with the orange carotenoid protein // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*. – 2024. – Vol. 1865, – No. 1. – P. 149014. DOI: 10.1016/j.bbabi.2023.149014 (**JIF 3.4, 1.74/0,58 п. л.**).
5. **Tsoraev G. V.**, Bukhanko A. Y., Mamchur A. A., Surkov M. M., Sidorenko S. V., Moldenhauer M., Tseng H.-W., Petrovskaya L. E., Cherepanov D. A., Shelaev I. V., Gostev Fedor E., Blinova Anastasia R., Grigorenko Bella L., Yaroshevich Igor A., Nadtochenko V. A., Budisa N., Kamenski P., Friedrich Th., Maksimov Eu. G. Engineering hydrogen bonding at tyrosine-201 in the orange carotenoid protein using halogenated analogues // *Photosynthesis Research*. – 2025. – Vol. 163, – No. 1. – P. 10. DOI: 10.1007/s1120-024-01133-2 (**JIF 2.9, 1.18/0,49 п. л.**).

На автореферат диссертации поступило 5 дополнительных отзывов, все положительные.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задач, имеющих существенное значение для биофизики, а именно:

1. Использование эндогенных и экзогенных флуоресцентных зондов позволило выявить фотоциклические изменения структуры оранжевого каротиноидного белка, связанные с разрывом водородных связей и разделением структурных доменов белка.
2. Установлено, что статическое тушение флуоресценции триптофана-288 является индикатором образования водородной связи между молекулой кето-каротиноида и белковой матрицей оранжевого каротиноидного белка. Измерение изменений интенсивности флуоресценции триптофана-288 показало, что разрыв водородной связи происходит примерно через 23 пс после возбуждения каротиноида 150 фс лазерным импульсом.
3. С помощью комбинации методов абсорбционной и флуоресцентной спектроскопии в режиме накачки-зондирования установлен ряд интермедиатов фотоцикла оранжевого каротиноидного белка.
4. Было обнаружено физиологически неактивное красное состояние, образующееся через 21 мс после фотоактивации и характеризующееся транслокацией каротиноида в N-домен
5. Показано, что восстановлению темноадаптированного состояния белка предшествует промежуточное компактное оранжевое состояние, характеризующееся двумя водородными связями с тирозином-201 и триптофаном-288.
6. Установлено, что белок восстановления флуоресценции способен взаимодействовать не только с финальным активным состоянием OCP, но и с промежуточным компактным состоянием, образующимся примерно через 100 мс после фотоактивации и характеризующимся отсоединением короткой α -спирали от С-домена каротиноидного белка. Взаимодействие FRP с этим состоянием предотвращает появление активного красного состояния.
7. Предложена схема фотоиндуцированных циклических переходов OCP в присутствии белка FRP, демонстрирующая регуляторную роль FRP, предотвращающего взаимодействие между OCP и фикобилисомой.

Диссертация представляет собой самостоятельное завершенное исследование, обладающее внутренним единством.

Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

Разрыв водородной связи между триптофаном-288 и каротиноидом приводит к увеличению интенсивности флуоресценции соответствующего триптофанового остатка.

Отсоединение короткой α A спирали (NTE) в составе OCP играет ключевую роль в установлении белок-белковых взаимодействий с FRP и их регуляции.

Комплекс компактного красного интермедиата OCP с FRP предотвращает образование физиологически активного состояния OCP^K.

На заседании 19 июня 2025 года диссертационный совет принял решение присудить Цораеву Г.В. ученую степень кандидата биологических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 10 докторов наук по специальности 1.5.2. Биофизика, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 19, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета
д.б.н., проф., академик РАН

Рубин Андрей Борисович

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.ф.-м.н.

Фурсова Полина Викторовна

19.06.2025