

Заключение диссертационного совета МГУ.015.5
по диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук
Решение диссертационного совета от «14» марта 2024 г. № 1

О присуждении Птушенко Василию Витальевичу, гражданину РФ, ученой степени доктора биологических наук.

Диссертация «Фотозащита оксигенных фототрофных организмов при действии стрессовых факторов различной природы» по специальностям 1.5.2. Биофизика и 1.5.21. Физиология и биохимия растений (1.5. Биологические науки) принята к защите диссертационным советом 25.12.2023 г., протокол № 6.

Соискатель – Птушенко Василий Витальевич 1977 года рождения, в 2000 году окончил физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, в 2003 – аспирантуру кафедры биофизики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, в 2006 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 03.00.02 ("биофизика") и 03.00.16 ("экология") на тему "Исследование электронного и протонного транспорта в фотосинтетических системах оксигенного типа с помощью спиновых меток". С 2004 г. работает в НИИ физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского МГУ имени М.В. Ломоносова (в настоящее время — в должности старшего научного сотрудника).

Диссертация выполнена в отделах биоэнергетики и фотобиофизики НИИ физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского МГУ имени М.В. Ломоносова.

Научный консультант – доктор биологических наук Соловченко Алексей Евгеньевич, профессор кафедры биоинженерии биологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Официальные оппоненты:

Булычев Александр Александрович, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры биофизики биологического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова;

Борисова Мария Мансуровна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, зам. директора по научной работе Института фундаментальных проблем биологии РАН — обособленного подразделения ФИЦ ПНЦБИ РАН;

Стадничук Игорь Николаевич, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 74 опубликованных статьи (по РИНЦ), в том числе 48, входящих в ядро РИНЦ, из них 28 статей по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальностям 1.5.2. Биофизика и 1.5.21. Физиология и биохимия растений (в скобках приведён импакт-фактор журнала, объём публикации в печатных листах / вклад автора в печатных листах):

1. **Ptushenko V.V.**, Knorre D.D., Glagoleva E.S. The photoprotective protein PsbS from green microalga *Lobosphaera incisa*: the amino acid sequence, 3D structure and probable pH-sensitive residues // International Journal of Molecular Sciences. – 2023. – V. 24. – N. 20. – P. 15060. – DOI: 10.3390/ijms242015060 (**WoS JIF 5.6** / 1.15 п.л. / 0.9 п.л.)
2. **Ptushenko V.V.**, Bondarenko G.N., Vinogradova E.N., Glagoleva E.S., Karpova O.V., Ptushenko O.S., Shibzukhova K.A., Solovchenko A.E., Lobakova E.S. Chilling upregulates expression of the PsbS and LhcSR genes in the chloroplasts of the green microalga *Lobosphaera incisa* IPPAS C-2047 // Biochemistry (Moscow). – 2022. – V. 87. – N. 12-13. – P. 1699-1706 (**WoS JIF 2.8** / 0.85 п.л. / 0.6 п.л.)
3. **Ptushenko V.V.**, Bondarenko G.N., Vinogradova E.N., Glagoleva E.S., Karpova O.V., Ptushenko O.S., Solovchenko A.E., Trubitsin B.V., Chivkunova O.B., Shibzukhova K.A., Shcherbakov P.N. The effect of chilling on the photosynthetic apparatus of microalga *Lobosphaera incisa* IPPAS C-2047 // Biochemistry (Moscow). – 2021. – V. 86. – N. 12-13. – P.1590–1598. 10.1134/S0006297921120087 (**WoS JIF 2.8** / 0.75 п.л. / 0.4 п.л.)
4. **Ptushenko V.V.** Electric cables of living cells. I. Energy transfer along coupling membranes // Biochemistry (Moscow). – 2020. – V. 85. – N. 7. – P. 820-832. – DOI: 10.1134/S000629792007010X (**WoS JIF 2.8** / 0.93 п.л. / 0.93 п.л.)
5. Ptushenko O. S., **Ptushenko V. V.**, Solovchenko A. E. Spectrum of light as a determinant of plant functioning: a historical perspective // Life. – 2020. – V. 10. – N 3. – 25. – DOI: 10.3390/life10030025 (**WoS JIF 3.2** / 1.1 п.л. / 0.8 п.л.)
6. **Ptushenko V. V.**, Solovchenko A.E., Bychkov A.Y., Chivkunova O.B., Golovin A.V., Gorelova O.A., Ismagulova T.T., Kulik L.V., Lobakova E.S., Lukyanov A.A., Samoilova R.I., Scherbakov P.N., Selyakh I.O., Semenova L.R., Vasilieva S.G., Baulina O.I., Skulachev M.V., Kirpichnikov M.P. Cationic penetrating antioxidants switch off Mn cluster of photosystem II in situ // Photosynthesis Research. – 2019. – V. 142. – N 2. – P. 229-240. – DOI: 10.1007/s11120-019-00657-2 (**WoS JIF 3.7** / 2.6 п.л. / 1.0 п.л.)
7. Ptushenko O.S., **Ptushenko V.V.** *Tradescantia*-based models: a powerful looking glass for investigation of photoacclimation and photoadaptation in plants // Physiologia Plantarum. – 2019. – V. 166. – N 1. – P. 120-133. – DOI: 10.1111/ppl.12963 (**WoS JIF 6.4** / 1.0 п.л. / 0.7 п.л.)

8. **Ptushenko V.V.**, Zhigalova T.V., Avercheva O.V., Tikhonov A.N. Three phases of energy-dependent induction of P₇₀₀⁺ and Chl *a* fluorescence in *Tradescantia fluminensis* leaves // *Photosynthesis Research*. – 2019. – V. 139. – N 1-3. – P. 509-522. – DOI: 10.1007/s11120-018-0494-z (**WoS JIF 3.7** / 0.88 п.л. / 0.44 п.л.)
9. **Ptushenko V.V.**, Krishtalik L.I. Reorganization energies of the electron transfer reactions involving quinones in the reaction center of *Rhodobacter sphaeroides* // *Photosynthesis Research*. – 2018. – V. 138. – N 2. – P. 167-175. – DOI: 10.1007/s11120-018-0560-6 (**WoS JIF 3.7** / 0.56 п.л. / 0.23 п.л.)
10. Vygodina T.V., Kaminskaya O.P., Konstantinov A.A., **Ptushenko V.V.** Effect of Ca²⁺ on the redox potential of heme a in cytochrome c oxidase // *Biochimie*, – 2018. – V. 149. – P. 71-78. – DOI: 10.1016/j.biochi.2018.04.005 (**WoS JIF 3.9** / 0.5 п.л. / 0.2 п.л.)
11. Mishanin V.I., Trubitsin B.V., Patsaeva S.V., **Ptushenko V.V.**, Solovchenko A.E., Tikhonov A.N. Acclimation of shade-tolerant and light-resistant *Tradescantia* species to growth light: chlorophyll a fluorescence, electron transport, and xanthophyll content // *Photosynthesis Research*. – 2017. – V. 133. N 1–3. P. 87–102. – DOI: 10.1007/s11120-017-0339-1 (**WoS JIF 3.7** / 1.0 п.л. / 0.17 п.л.)
12. **Ptushenko V.V.**, Ptushenko O.S., Samoiloa O.P., Solovchenko A.E. Analysis of photoprotection and apparent non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in *Tradescantia* leaves based on the rate of irradiance-induced changes in optical transparenence // *Biochemistry (Moscow)*. – 2017. – V. 82. – N. 1. – P. 67-74. – DOI: 10.1134/S0006297917010072 (**WoS JIF 2.8** / 0.63 п.л. / 0.42 п.л.)
13. Fesenko I., Seredina A., Arapidi G., **Ptushenko V.**, Urban A., Butenko I., Kovalchuk S., Babalyan K., Knyazev A., Khazigaleeva R., Pushkova E., Anikanov N., Ivanov V., Govorun V. The *Physcomitrella patens* chloroplast proteome changes in response to protoplastation // *Frontiers in Plant Science*. – 2016. – V. 7. – 1661. DOI: 10.3389/fpls.2016.01661 (**WoS JIF 5.6** / 1.2 п.л. / 0.1 п.л.)
14. **Ptushenko V.V.**, Solovchenko A.E. Tolerance of the photosynthetic apparatus to acidification of the growth medium as a possible determinant of CO₂-tolerance of the symbiotic microalga *Desmodesmus* sp. IPPAS-2014 // *Biochemistry (Moscow)*. – 2016. – V. 81. – N. 12. – P. 1531-1537. – DOI: 10.1134/S0006297916120142 (**WoS JIF 2.8** / 0.5 п.л. / 0.25 п.л.)
15. **Ptushenko V.V.**, Ptushenko O.S., Samoiloa O.P., Solovchenko A.E. An exceptional irradiance-induced decrease of light trapping in two *Tradescantia* species: an unexpected relationship with the leaf architecture and zeaxanthin-mediated photoprotection // *Biologia Plantarum*. – 2016. – V. 60. – N 2. – P. 385-393. – DOI: 10.1007/s10535-016-0593-7 (**WoS JIF 1.5** / 0.56 п.л. / 0.36 п.л.)

16. Dyakov M., Insarova I., Kharabadze D., **Ptushenko V.**, Shtaer O. Influence of extreme ambient temperatures and anaerobic conditions on *Peltigera aphthosa* (L.) Willd. viability // Life Sciences in Space Research. – 2015. – V. 7. – P. 66-72. – DOI: 10.1016/j.lssr.2015.10.002 (**WoS JIF 2.5** / 0.44 п.л. / 0.3 п.л.)
17. **Ptushenko V.V.**, Avercheva O.V., Bassarskaya E.M., Berkovich Yu.A., Erokhin A.N., Smolyanina S.O., Zhigalova T.V. Possible reasons of a decline in growth of Chinese cabbage under a combined narrowband red and blue light in comparison with illumination by high-pressure sodium lamp // Scientia Horticulturae. – 2015. – V. 194. – P. 267-277. – DOI: 10.1016/j.scienta.2015.08.021 (**WoS JIF 4.3** / 1.3 п.л. / 1.0 п.л.)
18. **Ptushenko V.V.**, Cherepanov D.A., Krishtalik L.I. Electrostatics of the photosynthetic bacterial reaction center. Protonation of Glu L 212 and Asp L 213 – a new method of calculation // Biochimica et Biophysica Acta (BBA)–Bioenergetics. – 2015. – V. 1847. – N 12. – P. 1495-1508. – DOI: 10.1016/j.bbabi.2015.07.010 (**WoS JIF 4.3** / 1.5 п.л. / 0.75 п.л.)
19. Fesenko I.A., Arapidi G.P., Skripnikov A.Yu, Alexeev D.G., Kostryukova E.S., Manolov A.I., Altukhov I.A., Khazigaleeva R.A., Seredina A.V., Kovalchuk S.I., Ziganshin R.H., Zgoda V.G., Novikova S.E., Semashko T.A., Slizhikova D.K., **Ptushenko V.V.**, Gorbachev A., Govorun V.M., Ivanov V.T. Specific pools of endogenous peptides are present in gametophore, protonema, and protoplast cells of the moss *Physcomitrella patens* // BMC plant biology. – 2015.– V. 15. – 87. – DOI: 10.1186/s12870-015-0468-7 (**WoS JIF 5.3** / 1.0 п.л. / 0.07 п.л.)
20. Ptushenko V.V., Ptushenko O.S., Tikhonov A.N. Chlorophyll fluorescence induction, chlorophyll content, and chromaticity characteristics of leaves as indicators of photosynthetic apparatus senescence in arboreous plants // Biochemistry (Moscow). – 2014. – V. 79. – N. 3. – P. 260-272. – DOI: 10.1134/S0006297914030122 (**WoS JIF 2.8** / 0.94 п.л. / 0.63 п.л.)
21. Avercheva O., Berkovich Y., Smolyanina S., Bassarskaya E., Pogosyan S., **Ptushenko V.**, Erokhin A., Zhigalova T. Biochemical, photosynthetic and productive parameters of Chinese cabbage grown under blue–red LED assembly designed for space agriculture // Advances in Space Research. – 2014. – V. 53. – N 11. – P. 1574-1581. – DOI: 10.1016/j.asr.2014.03.003 (**WoS JIF 2.6** / 0.5 п.л. / 0.13 п.л.)
22. **Ptushenko V.V.**, Ptushenko E.A., Samoilova O.P., Tikhonov A.N. Chlorophyll fluorescence in the leaves of *Tradescantia* species of different ecological groups: Induction events at different intensities of actinic light // Biosystems. – 2013. – V. 114. – N 2. – P. 85-97. DOI: 10.1016/j.biosystems.2013.08.001 (**WoS JIF 1.6** / 0.8 п.л. / 0.4 п.л.)
23. **Ptushenko V.V.**, Karavaev V.A., Solntsev M.K., Tikhonov A.N. Biophysical methods of ecological monitoring. Photosynthetic characteristics of tree plants growing in Moscow city

// Biophysics. – 2013. – V. 58. – N. 2. – P. 228-233. – DOI: 10.1134/S0006350913020152

(WoS JIF 0.43 / 0.5 п.л. / 0.25 п.л.)

24. Samoilova O.P., **Ptushenko V.V.**, Kuvykin I.V., Kiselev S.A., Ptushenko O.S., Tikhonov A.N. Effects of light environment on the induction of chlorophyll fluorescence in leaves: A comparative study of *Tradescantia* species of different ecotypes // Biosystems. – 2011. – V. 105. – N 1. – P. 41-48. DOI: 10.1016/j.biosystems.2011.03.003 (WoS JIF 1.6 / 0.5 п.л. / 0.2 п.л.)
25. Kuvykin I.V., **Ptushenko V.V.**, Vershubskii A.V., Tikhonov A.N. Regulation of electron transport in C₃ plant chloroplasts *in situ* and *in silico*: Short-term effects of atmospheric CO₂ and O₂ // Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics. – 2011. – V. 1807. – N 3. – P. 336-347. – DOI: 10.1016/j.bbabi.2010.12.012 (WoS JIF 4.3 / 0.75 п.л. / 0.25 п.л.)
26. Glazunova S.A., **Ptushenko V.V.**, Gunar L.E., Karavaev V.A., Solntsev M.K., Tikhonov A.N. Slow fluorescence induction and CO₂ exchange in bean plants treated with *Reynoutria sachalinensis* extract // Biophysics. – V 54. – N. 3. – P. 343-344. – DOI: 10.1134/S0006350909030154 (WoS JIF 0.43 / 0.15 п.л. / 0.05 п.л.)
27. Kuvykin I.V., Vershubskii A.V., Ptushenko V.V., Tikhonov A.N. Oxygen as an alternative electron acceptor in the photosynthetic electron transport chain of C₃ plants // Biochemistry (Moscow). – 2008. – V. 73. – N. 10. – P. 1063-1075. – DOI: 10.1134/S0006297908100027 (WoS JIF 2.8 / 0.94 п.л. / 0.31 п.л.)
28. **Ptushenko V.V.**, Cherepanov D.A., Krishtalik L.I., Semenov A.Yu. Semi-continuum electrostatic calculations of redox potentials in photosystem I // Photosynthesis Research. – 2008. – V. 97. – P. 55–74. – DOI 10.1007/s11120-008-9309-y (WoS JIF 3.7 / 1.25 п.л. / 0.63 п.л.)

На диссертацию и автореферат поступило 4 дополнительных отзыва, все положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывался их высоким уровнем компетентности в области биофизики, а также физиологии и биохимии растений, и наличием соответствующих публикаций в ведущих российских и международных журналах.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задач, имеющих приоритетное значение для биофизики, физиологии и биохимии растений, а именно:

1. Представлены стратегии реализации фотозащитного потенциала у кислородных фототрофных организмов из разных систематических и экологических групп при действии разных стрессоров.

2. Показана сохраняющаяся в течение нескольких суток стресс-индуцированная активация экспрессии гена фотозащитного белка PsbS у зелёных водорослей (Chlorophyta), сопровождающаяся индукцией нефотохимического тушения. Получены оценки диапазона значений pH тилакоидного люмена, в котором активируется фотопротекторная активность PsbS.

3. Разработан и на белке PsbS апробирован алгоритм расчёта окислительно-восстановительных и кислотно-основных свойств белков, учитывающий их диэлектрическую неоднородность.

4. Экспериментально показано, что спектральные компоненты, относительно слабо поглощаемые фотосинтетическими пигментами, обеспечивают более высокую продуктивность растения за счет более равномерного распределения энергии света во всем объёме листа и растения в целом.

5. Показано, что антиоксиданты на основе пластохинона и липофильных катионов ингибируют фотосистему 2 на донорном участке, вызывая тушение возбуждения в фотосинтетической антенне обусловленное катионом P680+.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством.

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

1. Установлено, что эффективность и динамика активации и взаимодействия базовых фотозащитных механизмов определяется в каждом случае как природой стрессора, так и принадлежностью организмов к различным экологическим и систематическим группам.
2. Фотозащитные механизмы, характеризующиеся быстрой активацией, могут выполнять основную защитную функцию на фоне относительно слабой чувствительности более медленно индуцируемых механизмов к изменению внешних условий.
3. Пространственная организация листа высших растений обуславливает важную роль слабо поглощаемого компонента фотосинтетически активной радиации (излучения в жёлто-зеленом спектральном диапазоне) в увеличении продуктивности растения (до 50%).

4. Стресс-индуцируемая защитная функция белка PsbS — участника энергозависимого нефотохимического тушения — возникла в процессе эволюции у зелёных водорослей (Chlorophyta) до её появления у высших растений.

На заседании 14 марта 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Птушенко В.В. ученую степень доктора биологических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 9 докторов наук по специальности 1.5.2. «Биофизика» и 6 докторов наук по специальности 1.5.21. «Физиология и биохимия растений», участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 23, 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

14.03.2024