

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.228.02, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР «КРАСНОЯРСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» (ФИЦ КНЦ СО РАН, КНЦ СО РАН), ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 24.12.2025 г. № 9
о присуждении Буханову Евгению Романовичу,
гражданину Российской Федерации,
учёной степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Влияние упорядоченности структурных элементов листьев растений на их оптические свойства» по специальности 1.3.6. Оптика принята к защите 17.10.2025 г. (протокол заседания № 8) диссертационным советом 24.1.228.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН, КНЦ СО РАН), 660036, Красноярск, Академгородок, д. 50, приказ Минобрнауки № 1514/НК от 25.11.2016 г.

Соискатель Буханов Евгений Романович, «04» августа 1992 года рождения, в 2016 году окончил магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет» по специальности 09.04.01.04 «Технология разработки программного обеспечения».

Соискатель Буханов Евгений Романович с 01.10.2024 г. обучается в очной аспирантуре ФИЦ КНЦ СО РАН по научной специальности 1.3.6. Оптика.

Работает младшим научным сотрудником лаборатории фотоники молекулярных систем Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленном подразделении ФИЦ КНЦ СО РАН (ИФ СО РАН).

Диссертация выполнена в лаборатории фотоники молекулярных систем ИФ СО РАН.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, Тимофеев Иван Владимирович, ИФ СО РАН, заведующий лабораторией фотоники молекулярных систем, ведущий научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Тучин Валерий Викторович, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», заведующий кафедрой оптики и биофотоники Института физики.

Долганов Павел Владимирович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипяна Российской академии наук, ведущий научный сотрудник лаборатории квантовых кристаллов.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН), г. Владивосток, в своём положительном отзыве, подписанном Гурбатовым Станиславом Олеговичем, кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником лаборатории синхротронных методов изучения свойств новых функциональных наноматериалов оптоэлектроники, нанофотоники и тераностики, утвержденном директором, доктором физико-математических наук, член-корреспондентом РАН, Романом Владимировичем Ромашко, указала, что диссертационная работа Евгения Романовича Буханова «Влияние упорядоченности структурных элементов листьев растений на их оптические свойства» представляет собой завершённое научное исследование, в котором решена имеющая теоретическое и практическое значение научная проблема – влияние периодичности на оптические свойства листьев. Работа выполнена на высоком научном уровне, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, установленным пп. 9–11, 13, 14 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от

24.09.2013 № 842 (ред. от 16.10.2024), и Буханов Е.Р. заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Соискатель имеет 15 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 14 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 14 работ. Наиболее значимые работы: 1) Буханов Е.Р., Шабанов А.В., Тырышкина Л.Е., Рудакова Н.В., Федченко Д.П., Тимофеев И.В. Устойчивость области селективного отражения геликоидальной фотонной структуры к частично-му разупорядочению // Оптика атмосферы и океана. – 2025. – Т. 38, № 07. – С. 507–513. 2) Буханов Е.Р., Величко В.В., Липшин А.Г., Шихов В.Н., Сурин Н.А. Влияние внешних воздействий на оптические и структурные характеристики высших растений // Оптический журнал. – 2025. – Т. 92, № 2. – С. 116–123. 3) Буханов Е.Р., Шабанов А.В., Крахалев М.Н., Волочаев М.Н., Гуревич Ю.Л. Влияние строения на оптические свойства эпителикулярного воска голубой ели (*Picea pungens*) // Ученые записки физического факультета Московского университета. – 2019. – № 5. – С. 1950502. 4) Bukhanov E.R., Volochaev M.N., Pyatina S.A. Photonics of Plant Chloroplasts // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2023. – Vol. 87. – P. 1488–1492. 5) Bukhanov E., Shabanov A.V., Volochaev M.N., Pyatina S.A. The role of periodic structures in light harvesting // Plants. – 2021. – Vol. 10, No. 9. – P. 1–10. 6) Shabanov A.V., Korshunov M.A., Bukhanov E.R. Features of the amplification of the electromagnetic field and the density of states of photonic crystal structures in plants // Computer Optics. – 2019. – Vol. 43, No. 2. – P. 231–237. 7) Korshunov M.A., Shabanov A.V., Bukhanov E.R., Shabanov V.F. Effect of Long-Period Ordering of the Structure of a Plant on the Initial Stages of Photosynthesis // Doklady Physics. – 2018. – Vol. 63. P. 1–4. 8) Shabanov A.V., Korshunov M.A., Bukhanov E.R. Investigation of the electromagnetic field in one-dimensional photonic crystals with defects // Computer Optics. – 2017. – Vol. 41, No. 5. – P. 680–686.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все положительные):

Ведущая организация ИАПУ ДВО РАН. Отзыв положительный. Замечания:

1) В Главе 1, посвященной обзору литературных данных, представлена обширная информация об оптических свойствах листьев. Однако для большей завершенно-

сти картины не хватает краткого сравнительного анализа фотонных структур растений с наиболее распространенными искусственными фотонными кристаллами, что могло бы еще ярче подчеркнуть биоимитационный потенциал работы. 2) При описании методики просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) указано количество замеров ($n = 15$), но не приведена информация о том, со скольких независимых образцов были получены данные и как проводилась статистическая обработка для определения размеров тилакоидов (12 ± 2 нм) и расстояний ($9 \pm 1,5$ нм). Уточнение этого момента повысило бы достоверность морфометрических данных. 3) В тексте диссертации встречаются отдельные стилистические погрешности и опечатки (например, расхождения в нумерации или подписях к некоторым рисункам), которые, впрочем, не искажают смысла изложения и могут быть легко устранены при доработке. 4) Для разработанного программного обеспечения было бы крайне полезным привести данные о его валидации. Например, сравнение результатов расчета спектров пропускания для эталонных периодических структур с известными аналитическими решениями или результатами, полученными в коммерческих пакетах (например, COMSOL Multiphysics).

Д.ф.-м.н., профессор, член-корреспондент РАН, Валерий Викторович Тучин – официальный оппонент. Отзыв положительный. Замечания: 1) В разделе 4.3 для анализа устойчивости использованы параметры, характерные для селенида цинка – материала с высоким показателем преломления. Возникает вопрос, насколько выводы об устойчивости коротковолнового края области селективного отражения можно экстраполировать на биологические геликоидальные структуры (например, в клеточных стенках), для которых оптический контраст существенно ниже? 2) Автор указывает, что результаты могут быть применены в разработке биомиметических материалов. Однако биологические структуры существуют в водной среде и могут быть нестабильны вне ее. В тексте диссертации недостаточно приведенных примеров подобных биомиметических материалов. Следует конкретизировать, какие именно типы биомиметических материалов или устройств считаются наиболее перспективными для приложений? 3) В работе активно и обоснованно используется термин «биофотонный кристалл». Каковы, по мнению автора, критерии отнесения биологической структуры к этому классу объектов? Достаточно ли наличия запрещенной зоны, или необходимы иные признаки (например,

определенная степень упорядоченности)? 4) На Рисунке 3.7в, демонстрирующем вид частиц в скрещенных поляризаторах, в подписи не расшифрованы направления осей поляризаторов, хотя на изображении они обозначены стрелками. На некоторых рисунках (например, 3.7в, 4.5) отсутствуют пояснения к условным обозначениям в подписях, что затрудняет их интерпретацию. В тексте встречаются некоторые стилистические погрешности.

Д.ф.-м.н., Павел Владимирович Долганов – официальный оппонент. Отзыв положительный. Замечания: 1) На рисунке 3.13 приведены спектры флуоресценции образцов воска голубой ели и сизой пшеницы. Желательно было бы привести также спектры этих материалов при отсутствии фотонной структуры. Это позволило бы сделать вывод о вероятной связи формы спектров, представленных на рисунке 3.13, и спектров плотности фотонных состояний упорядоченной структуры. 2) Рисунок 4.12 диссертации повторяет рисунок 2.1. Предшествующий рисунку 4.12 параграф текста также практически дословно воспроизводит параграф текста на стр. 45. Следовало бы привести данный текст и рисунок только в одном месте, например, в главе 2. 3) В тексте присутствуют не совсем удачные выражения, например: «Увеличив центральный слой этого ФК в два раза (рисунок 4.2 (2)), произошло расщепление стоп-зоны» (стр. 77); «На ряду с фотоннокристаллической структурой идёт анизотропия» (стр. 98). 4) Ряд величин в приведенных формулах не определен в тексте, например, параметр $\tilde{\lambda}$ в уравнении (4.5).

К.ф.-м.н., Кучмижак Александр Андреевич, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией №25 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук. Отзыв на автореферат. Отзыв положительный. Замечаний нет.

Д.ф.-м.н., доцент, Ветлужский Александр Юрьевич, старший научный сотрудник лаборатории радиозондирования природных сред Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук. Отзыв на автореферат. Отзыв положительный. Замечания: В качестве замечания к работе можно отметить некоторую недосказанность в исследовании связи между оптическими свойствами восков и эффективностью фотосинтеза. В автореферате автор отмечает изме-

нение пика флюоресценции в фотосистеме II при удалении воскового покрова на примере голубой ели, однако какая-либо оценка этого влияния на процессы развития растений отсутствует. Интересно было бы также рассмотреть аналогичные изменения в других видах растений с фотонно-кристаллическими элементами в структуре листьев.

К.ф.-м.н., Кузнецов Андрей Викторович, старший научный сотрудник Иркутского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук. Отзыв на автореферат. Отзыв положительный. Замечаний нет.

Д.ф.-м.н., профессор, Шандаров Станислав Михайлович, профессор кафедры электронных приборов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники». Отзыв на автореферат. Отзыв положительный. Замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается соответствием направлений научных исследований, выполняемых оппонентами и реализуемых в ведущей организации, тематике представленной диссертационной работы, наличием публикаций и высоких достижений в соответствующей области исследований.

Диссертационный совет отмечает, что в выполненном соискателем исследовании:

Выявлено влияние структурной упорядоченности на оптические свойства образцов эпикутикулярного воска и хлоропластов.

Разработана и экспериментально апробирована оригинальная физическая методика выделения образцов восков с поверхности листьев сизой пшеницы и голубой ели без применения химических реагентов, основанная на цикле замораживания-оттаивания в дистиллированной воде. Метод позволяет сохранять исходную морфологию структур для последующих исследований методами оптической и электронной микроскопии.

Установлена структурная природа наблюдаемой сизой окраски исследованных образцов воска. Элементами структуры, ответственными за этот эффект, являются восковые трубки и стержни с характерным диаметром 150–200 нм, обра-

зующие частично упорядоченные массивы. Экспериментально *обнаружена* и исследована флуоресценция структурированного воска в области длин волн 400–450 нм под действием ультрафиолетового излучения. Численно *показано*, что структура образцов воска влияет на спектр флуоресценции.

На основе метода матрицы переноса *разработано* программное обеспечение и выполнено комплексное численное моделирование оптических характеристик воска и внутренней структуры хлоропластов в волновой и субволновой моделях.

Численно и аналитически *установлена* устойчивость спектральных характеристик к разупорядочению анизотропных геликоидальных фотонных структур: коротковолновый край области селективного отражения демонстрирует высокую стабильность к вариациям полярного угла, обусловленную сохранением обыкновенного показателя преломления, в то время как длинноволновый край подвержен значительным смещениям.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что работа вносит фундаментальный вклад в понимание оптических свойств биологических объектов, структурированных на субволновом масштабе. Реализованные численные модели позволяют рассчитывать оптические свойства биологических материалов с низким диэлектрическим контрастом и частичным разупорядочением.

Значение полученных соискателем результатов для практики заключается в том, что они открывают перспективы для создания новых оптических материалов и устройств, принцип действия которых основан на воспроизведении фотонных структур растений. Результаты формируют основу для разработки неинвазивных методов спектральной диагностики физиологического состояния сельскохозяйственных культур и хвойных насаждений по характеристикам структурной окраски и флуоресценции. Разработанное программное обеспечение может быть использовано для решения широкого круга задач фотоники.

Достоверность полученных результатов обоснована применением комплекса таких взаимодополняющих экспериментальных методов как электронная микроскопия, оптическая и конфокальная микроскопия, флуоресцентная спектроскопия, а также корректным использованием теоретических моделей и численных методов Берремана и матрицы переноса.

Личный вклад автора состоит в проведении основной части эксперименталь-

ных исследований (пробоподготовка, спектроскопические и микроскопические исследования), в разработке метода получения образцов воска, в разработке и применении программного обеспечения для моделирования и в анализе полученных данных.

В ходе защиты диссертации критических замечаний, ставящих под сомнение основные научные положения, выводы и достоверность результатов работы, высказано не было. Соискатель дал полные, аргументированные ответы на все заданные в ходе заседания вопросы.

На заседании 24.12.2025 г. диссертационный совет сделал вывод о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержит решение актуальной научной задачи, имеющей значение для развития оптики, фотоники и биофизики, соответствует критериям, установленным Положением ВАК РФ о порядке присуждения учёных степеней, и принял решение присудить Буханову Е.Р. учёную степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 8 докторов наук по специальности 1.3.6. Оптика, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени – 19, против присуждения учёной степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета 24.1.228.02

д.ф.-м.н., академик РАН

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.1.228.02

д.ф.-м.н., с.н.с.



Шабанов Василий

Филиппович

Вьюрин Александр

Николаевич

24 декабря 2025 года