

УТВЕРЖДАЮ

Директор
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Институт
автоматики и процессов управления
Дальневосточного отделения Российской
академии наук (ИАПУ ДВО РАН),
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.,



Р.В. Ромашко

«06» ноября 2025 г.

Отзыв

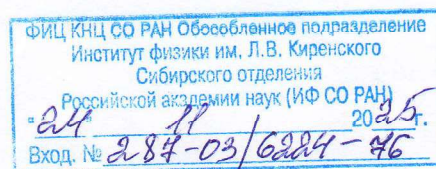
ведущей организации на диссертационную работу Буханова Евгения Романовича
«Влияние упорядоченности структурных элементов листьев растений на их оптические
свойства», представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Е.Р. Буханова посвящена комплексному исследованию фотонных структур в листьях высших растений, сочетающему современные методы экспериментальной биофизики (электронная и оптическая микроскопия, спектроскопия) с развитым численным моделированием. Изучение роли упорядоченности и разупорядочения структурных элементов листа (воскового покрова, хлоропластов, иридопластов) в процессах поглощения и преобразования световой энергии является фундаментальной задачей на стыке биофизики, фотоники и материаловедения. Полученные результаты вносят вклад в понимание механизмов фотосинтеза и открывают перспективы для создания биомиметических материалов и технологий в области солнечной энергетики и агробиофотоники. В связи с этим тема диссертационной работы Е.Р. Буханова является актуальной и соответствует современным мировым тенденциям в физике сложных биологических систем.

Структура и содержание диссертации

Диссертация Е.Р. Буханова структурно оформлена корректно и состоит из введения, четырех глав, заключения, двух приложений и списка литературы. Библиографический список включает 170 источников, что свидетельствует о глубоком изучении предметной области. Текст работы изложен на 140 страницах, отличается ясностью и логичностью, сопровождается качественными иллюстрациями и хорошо проиллюстрированными результатами.



Во введении четко сформулированы актуальность, цель, задачи, научная новизна, методология, положения, выносимые на защиту, а также практическая значимость работы.

Глава 1 представляет собой обстоятельный аналитический обзор, в котором систематизированы современные представления об оптических и структурных особенностях листьев высших растений. Рассмотрены модели распространения света, явления оптической хиральности, структурной окраски и разупорядочения в растительных тканях, что создает прочную теоретическую основу для проведения собственных исследований.

Глава 2 содержит детальное описание методологии исследования. Особого внимания заслуживает разработанный автором и апробированный метод изоляции эпикутикулярного воска без использования химических реагентов, позволяющий сохранять нативную морфологию образцов. Также в главе представлено оригинальное программное обеспечение, реализующее метод матрицы переноса для моделирования оптических характеристик одномерных фотонных кристаллов.

Глава 3 посвящена экспериментальному исследованию морфологических, оптических и спектральных свойств поверхностного воскового слоя. Комплексное применение методов сканирующей электронной, просвечивающей электронной, оптической и конфокальной микроскопии, а также флуориметрии позволило автору получить новые данные о структурной анизотропии воска и его флуоресцентных свойствах.

Глава 4 содержит результаты теоретического и численного моделирования фотонно-кристаллических структур, аналогичных биологическим объектам. Исследовано влияние дефектов, разупорядочения и асимметрии в многослойных системах на локализацию электромагнитного поля и плотность фотонных состояний. Отдельно изучена устойчивость свойств анизотропных геликоидальных структур к разупорядочению.

В заключении последовательно и аргументированно изложены основные результаты работы:

1. Разработана и апробирована принципиально новая методика изоляции эпикутикулярного воска с поверхности листьев методом замораживания-оттаивания. Ключевым преимуществом метода является отсутствие химических реагентов, что позволяет получать чистые образцы воска на различных подложках без искажения их нативной структуры.

2. Экспериментально установлено, что наблюдаемая голубая окраска воскового покрова имеет структурную природу. Методами флуориметрии и конфокальной микроскопии впервые обнаружена флуоресценция структурированного воска в видимой области спектра при УФ-возбуждении (405 нм). С помощью поляризационной микроскопии впервые

обнаружена и описана оптическая анизотропия изолированных частиц воска, проявляющаяся в виде ортоскопического креста в скрещенных поляризаторах, что свидетельствует о радиально-симметричном распределении локальной оптической оси в пределах одной структуры.

3. На моделях, приближенных к биологическим объектам (низкий диэлектрический контраст, наличие дефектов), показано, что стоп-зоны сохраняются при значительном разупорядочении толщин слоев (до 40–50%). Установлено, что введение дефектного слоя в структуру приводит к резкой локализации электромагнитной энергии на частоте дефектной моды, причем этот эффект устойчив к разупорядочению окружающих слоев.

Впервые обнаружена и теоретически объяснена устойчивость коротковолновой границы зоны селективного отражения анизотропной геликоидальной структуры к разупорядочению. Показано, что данная устойчивость обусловлена сохранением обыкновенного показателя преломления, от которого зависит положение этого края, и связана с особенностью поляризации красной моды.

Практическая значимость работы

Разработанная автором методика изоляции воска может найти применение в ботанических и сельскохозяйственных исследованиях для неинвазивной диагностики состояния растений. Полученные фундаментальные знания о взаимосвязи структуры и оптических свойств растительных тканей открывают пути для управления эффективностью фотосинтеза, в том числе за счет направленного изменения структурных параметров. Результаты работы могут быть использованы при проектировании новых биомиметических фотонных материалов и покрытий с заданными свойствами для энергетики, оптоэлектроники и сенсорики. Разработанное программное обеспечение представляет самостоятельную ценность для научного сообщества.

Личный вклад автора

Личный вклад Е.Р. Буханова в представленные в диссертации результаты является определяющим. Автором лично предложена и реализована методика изоляции воска, проведена большая часть экспериментальных исследований, разработано программное обеспечение, выполнено численное моделирование, проведен анализ и интерпретация полученных данных.

Замечания по диссертационной работе:

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

ны 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).

Указанные замечания носят частный характер и не затрагивают основное содержание и научные выводы диссертации.

Степень обоснованности научных положений

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, являются научно обоснованными и достоверными. Это подтверждается корректным применением комплекса взаимодополняющих экспериментальных и теоретических методов, воспроизводимостью результатов, их статистической обработкой, а также хорошим соответствием между данными моделирования и эксперимента. Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных журналах, входящих в международные базы данных, и докладывались на авторитетных российских и международных конференциях.

Заключение

Диссертационная работа Евгения Романовича Буханова «Влияние упорядоченности структурных элементов листьев растений на их оптические свойства» представляет собой завершенное 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 ученой степени кандидата физико-математических наук, установленным пп. 9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 16.10.2024), и

Буханов Е.Р. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа и настоящий отзыв рассмотрены и утверждены на заседании научного семинара Отдела оптоэлектронных методов исследования газообразных и конденсированных сред ИАПУ ДВО РАН (Протокол № 1 от 5 ноября 2025 г.)

Отзыв составил:
старший научный сотрудник лаборатории синхротронных
методов изучения свойств новых функциональных наноматериалов
оптоэлектроники, нанофотоники и тераностики ИАПУ ДВО РАН

к.ф.-м.н.

С.О. Гурбатов

Почтовый адрес: 690041, г. Владивосток, улица Радио, дом 5

Тел. : +7 (924)1234575

e-mail: gurbatov@iacp.dvo.ru

Я, Гурбатов Станислав Олегович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

С. О. Гурбатов

Подпись С.О. Гурбатова заверяю
ученый секретарь ИАПУ ДВО РАН
доктор физико-математических наук



Д.А. Цуканов

«06» ноября 2025 г.

Сведения о ведущей организации
по диссертации Буханова Евгения Романовича
«Влияние упорядоченности структурных элементов листьев растений
на их оптические свойства»,
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика

1.	Полное название ведущей организации	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук
2.	Сокращенное название ведущей организации	ИАПУ ДВО РАН
3.	Организационно-правовая форма организации	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
4.	Ведомственная принадлежность организации	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
5.	Место нахождения	г. Владивосток, Российская Федерация
6.	Почтовый адрес организации	690041, г. Владивосток, улица Радио, дом 5
7.	Телефон организации	+7 (423) 231-04-39
8.	Адрес электронной почты организации	director@iacp.dvo.ru
9.	Адрес официального сайта организации в сети Интернет	http://www.iacp.dvo.ru/
10.	Руководитель организации	Ромашко Роман Владимирович
11.	Наименование профильного структурного подразделения, занимающегося проблематикой диссертации	Отдел оптоэлектронных методов исследования газообразных и конденсированных сред
12.	Сведения о лице, утверждающем отзыв ведущей организации	Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук, чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., Роман Владимирович Ромашко
13.	Сведения о составителе отзыва из ведущей организации	Станислав Олегович Гурбатов, к.ф.-м.н. старший научный сотрудник лаб. синхротронных методов изучения свойств новых функциональных наноматериалов оптоэлектроники, нанофотоники и тераностики ИАПУ ДВО РАН
14.	Список основных публикаций работников структурного подразделения, составляющего отзыв, за последние пять лет по теме диссертации: 1. Veremeichik G.N., Grigorchuk V.P., Makhazen D.S., Subbotin E.P., Kholin A.S., Subbotina N.I., Bulgakov D.V., Kulchin Y.N., Bulgakov V.P. High production of flavonols and anthocyanins in Eruca sativa (Mill) Thell plants at high artificial LED light intensities // Food Chemistry – 2022. – Vol. 408. – P. 135216 (Q1).	

2. Grishchenko O.V., Subbotin E.P., Gafitskaya I.V., Vereshchagina Y.V., Burkovskaya E.V., Khrolenko Y.A., Grigorchuk V.P., Nakonechnaya O.V., Bulgakov V.P., Kulchin Y.N. Growth of micropropagated *Solanum tuberosum* L. plantlets under artificial solar spectrum and different mono- and polychromatic LED lights // Horticultural Plant Journal – 2022 – Vol. 8, № 2. – P. 205–214 (Q1).
3. Borodaenko Y., Pavlov D., Cherepakhin A., Mitsai E., Pilnik A., Syubaev S., Gurbatov S.O., Modin E., Porfirev A.P., Khonina S.N., Shevlyagin A.V., Gurevich E.L., Kuchmizhak A.A. Liquid - Assisted Laser Nanotexturing of Silicon: Onset of Hydrodynamic Processes Regulated by Laser - Induced Periodic Surface Structures // Advanced Materials Technologies. – 2024 – Vol. 9, № 8. – P. 2301567 (Q1).
4. Borodaenko Y., Cherepakhin A., Gurbatov S.O., Modin E., Shevlyagin A.V., Kuchmizhak A.A. Polarized p–n junction Si photodetector enabled by direct laser-induced periodic surface structuring // Surfaces and Interfaces. – 2024. – Vol. 56. – P. 105568 (Q1).
5. Syubaev S., Modin E., Gurbatov S., Cherepakhin A., Dostovalov A., Tarasova A., Krinitsin P., Yelisseyev A., Isaenko L., Kuchmizhak A. SWIR anti-reflective nanostructures on nonlinear crystals by direct UV femtosecond laser printing // Appl. Phys. Lett. – 2023. – Vol. 123, № 17. – P. 061108 (Q1).
6. Gurbatov S., Borodaenko Yu., Mitsai E., Modin E., Zhizhchenko A., Cherepakhin A., Shevlyagin A., Syubaev S., Porfirev A., Khonina S., Yelisseyev A., Lobanov S., Isaenko L., Gurevich E., Kuchmizhak A. Laser-Induced Periodic Surface Structures on Layered GaSe Crystals: Structural Coloring and Infrared Antireflection // The Journal of Physical Chemistry Letters. – 2023. – Vol. 14, № 41. – P. 9357–9364 (Q1).
7. Borodaenko Y., Khairullina E., Levshakova A., Shmalko A., Tumkin I., Gurbatov S., Mironenko A., Mitsai E., Modin E., Gurevich E.L., Kuchmizhak A.A. Noble-Metal Nanoparticle-Embedded Silicon Nanogratings via Single-Step Laser-Induced Periodic Surface Structuring // Nanomaterials. – 2023. – Vol. 13, № 8. – P. 1300 (Q1).
8. Gurbatov S.O., Puzikov V., Storozhenko D., Modin E., Mitsai E., Cherepakhin A., Shevlyagin A., Gerasimenko A.V., Kulinich S.A., Kuchmizhak A.A. Multigram-Scale Production of Hybrid Au-Si Nanomaterial by Laser Ablation in Liquid (LAL) for Temperature-Feedback Optical Nanosensing, Light-to-Heat Conversion, and Anti-counterfeit Labeling // ACS Appl. Mater. Interfaces. – 2023. – Vol. 15, № 2. – P. 3336–3347 (Q1).
9. Kulchin Y.N., Sergeev A.A., Zinin Y.A., Gol'tsova D.Y.O., Kozhanov S.O., Subbotin E.P. Simulation of interaction of polarized laser light with plant leaves // Quantum Electronics. – 2021. – Vol. 51, № 10. – P. 947.
10. Kulchin Y.N., Subbotin E.P., Kholin A.S., Kozhanov S.O., Dzmidchik V.V., Trofimov Y.V., Kovalevsky K.V., Subbotina N.I., Gomolskii A.S. Influence of plant leaf epidermis on the efficiency the their interactions with low-intensity laser radiation // Quantum Electronics. – 2023. – Vol. 53, № 1. – P. 79–87.
11. Kulchin Y.N., Subbotin E.P., Kholin A.S., Kozhanov S.O., Demidchik V.V., Trofimov Y.V., Kovalevsky K.V., Subbotina N.I., Gomolskii A.S. Effect of Epidermis of Plant Leaves on Their Interaction Efficiency with Low-Intensity Laser Light // Bulletin of the Lebedev Physics Institute. – 2023. – Vol. 50, № Suppl 5. – P. S613–S623.
12. Kulchin Yu.N., Kozhanov S.O., Kholin A.S., Subbotin E.P., Kovalevsky K.V., Subbotina N.I., Gomolsky A.S. The linearly polarized light effect on maize development // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics – 2023 – Vol. 87, № Suppl. 3. – P. 409–415.
13. Kulchin Y.N., Kozhanov S.O., Kholin A.S., Demidchik V.V., Subbotin E.P., Tro-

	fimov Y.V., Kovalevsky K.V., Subbotina N.I., Gomolsky A.S. The Ability of Plants Leaves Tissue to Change Polarization State of Polarized Laser Radiation. Brazilian Journal of Botany. – 2024. – Vol. 47, № 2. – P. 463–472.
--	--

Ведущая организация подтверждает, что соискатель не является ее сотрудником и не имеет научных работ по теме диссертации, подготовленных на базе ведущей организации или в соавторстве с её сотрудниками.

Ученый секретарь ИАПУ ДВО РАН
доктор физико-математических наук



Д.А. Цуканов
«06» ноября 2025 г.