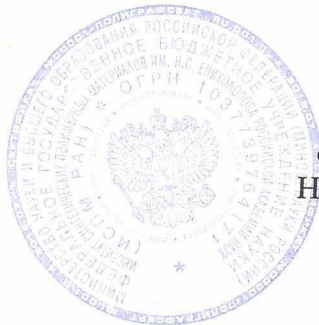




«УТВЕРЖДАЮ»  
Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Института  
синтетических полимерных материалов им.  
Н.С. Ениколопова Российской академии наук  
чл.-корр. РАН, д.х.н.  
Пономаренко С.А.  
« 2 » апреля 2026 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова  
Российской академии наук (ИСПМ РАН)

Диссертационная работа Благодарной Е.Д. «Синтез и свойства нефуллереновых акцепторных материалов на основе донорно-акцепторных олигомеров и полимеров с пониженной синтетической сложностью для органических солнечных батарей» выполнена в Институте синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН (ИСПМ РАН) в Лаборатории полимерных солнечных батарей.

Тема диссертации была утверждена на заседании Ученого совета Института синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН (Протокол № 19 от 16.11.2021).

В диссертационной работе использованы результаты, полученные при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (грант № 075-15-2024-532), Российского научного фонда (№25-13-00422, № 19-73-10198-П, № 19-73-10198, № 21-43-00051), Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FFSM-2021-0005, FFSM-2024-0003).

Благодарная Е.Д. в 2021 году окончила Южный Федеральный университет (ЮФУ) по направлению подготовки 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия», в том же году поступила в аспирантуру Института синтетических полимерных материалов Российской академии наук (ИСПМ РАН) и стала сотрудником ИСПМ РАН.

### Научный руководитель:

Лупоносов Юрий Николаевич, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук (ИСПМ РАН), Отдел органической электроники, заведующий лабораторией полимерных солнечных батарей, ведущий научный сотрудник, доктор химических наук.

Диссертационная работа была заслушана на заседании Ученого совета ИСПИМ РАН (протокол № 11 от 02.04.2026 г.)

**На заседании присутствовали:**

14 членов Ученого совета ИСПИМ РАН: академик РАН, д.х.н. Музафаров А.М., чл.-корр. РАН, д.х.н. Озерин А.Н., чл.-корр. РАН, д.х.н. Пономаренко С.А., чл.-корр. РАН, д.х.н. Чвалун С.Н., д.х.н. Кузнецов А.А., д.х.н. Шевченко В.Г., чл.-корр. РАН, д.х.н. Бермешев М.В., д.х.н. Лупоносов Ю.Н., д.х.н. Агина О.В., д.х.н. Борщев О.В., к.ф.-м.н. Седуш Н.Г., к.х.н. Миленин С.А., к.х.н. Калинина А.А., к.х.н. Гетманова Е.В.

10 сотрудников ИСПИМ РАН: м.н.с. Чуйко И.А., н.с., к.х.н. Дядищев И.В., м.н.с. Полетавкина Л.А., м.н.с. Исаева Ю.А., к.т.н. Коваленко Д.А., к.х.н. Быкова И.В., к.х.н. Тарасенко С.А., к.х.н. Труль А.А., м.н.с. Талалаева Е.В., м.н.с. Оленич Е.А., м.н.с. Сухорукова П.К.

**В ходе обсуждения диссертанту были заданы следующие вопросы:**

д.х.н. Кузнецов А.А.: какие требования к полимерам вы ставите, какие технические требования? Кристалличность, растворимость нужна? Это хорошо или плохо?

чл.-корр. РАН, д.х.н. Пономаренко С.А.: что подразумеваете под кристаллическими включениями в полимерах? Можно ли управлять степенью кристалличности, оценивали степень кристалличности?

чл.-корр. РАН, д.х.н. Чвалун С.Н.: полимер лучше, чем мономер? Почему, с чем это связано?

д.х.н. Кузнецов А.А.: в чем преимущества ваших соединений перед фуллеренами?

чл.-корр. РАН, д.х.н. Пономаренко С.А.: где поглощают свет ваши полимеры? А сколько звеньев в полимере?

чл.-корр. РАН, д.х.н. Чвалун С.Н.: какая степень полимеризации ваших полимеров? Как растет цепь в полимере, растет по спирали? Почему в структурной формуле рисуете цис-, а не транс-конформацию?

академик РАН, д.х.н. Музафаров А.М.: что такое нерастворимая часть полимера? Какой выход растворимой части? На будущее снять ТГА в изотерме при 200 градусах для всех, это для вас самый важный показатель, если нет потери, то материал термостабилен.

чл.-корр. РАН, д.х.н. Озерин А.Н.: очень хороший доклад, однако приводится большое количество структур, поэтому он несколько перегружен. Зачем нужно поглощение в красной области? Какая гибкая электроника? Какой у вас полимер по гибкости? Кому нужна гибкая электроника на стекле? Приведены большие данные по рентгену, но комментарии отсутствуют. Структура должна быть аморфной или кристаллической? Что лучше?

чл.-корр. РАН, д.х.н. Пономаренко С.А.: при расчете синтетической сложности за счет чего происходит такой выигрыш?

чл.-корр. РАН, д.х.н. Чвалун С.Н.: изучали на РСА многокомпонентную систему? Размер доменов по АСМ видите?

Дискуссия:

академик РАН, д.х.н. Музафаров А.М.: рентген убрать из презентации; КПД 14% и 18% надо ярче преподносить. Изменить подводку к тестированию ОСБ. Замечания носят рекомендательный характер, видно, что работа выше ординарной.

чл.-корр. РАН, д.х.н. Пономаренко С.А.: синтез оставить, наглядно показано, что проделана большая работа.

д.х.н. Кузнецов А.А.: статистические и блочные полимеры, лучше или хуже идею надо подчеркнуть ярче.

чл.-корр. РАН, д.х.н. Чвалун С.Н.: в постановке цели следует убрать «более простых» и оставить «простых».

**Личный вклад автора.** Автор диссертационной работы принимал непосредственное участие во всех ее этапах – от постановки задач, планирования и проведения экспериментов до анализа, обобщения, интерпретации и публикации полученных результатов. Автором лично проведена синтетическая часть работы, проведен сравнительный анализ по выявлению влияния химической структуры полученных олигомеров и полимеров на комплекс их физико-химических свойств, принято активное участие в изготовлении и характеристизации прототипов органических солнечных батарей (ОСБ) на основе нефуллереновых акцепторных материалов (НФА).

**Достоверность полученных результатов исследования** обеспечивается использованием современных методов исследования, использованием оборудования и измерительной аппаратуры, применением современных методов обработки и анализа экспериментальных данных. Полученные в работе результаты опубликованы в высокоцитируемых журналах, входящих в перечень ВАК, WoS/Scopus и «Белый список».

#### **Научная новизна**

В ходе выполнения диссертационной работы были разработаны эффективные схемы синтеза серии новых НФА как аннелированного, так и неаннелированного строения на основе сопряженных донорно-акцепторных олигомеров и полимеров, с использованием новых и оригинальных комбинаций химических блоков. Получено и охарактеризовано комплексом современных физико-химических методов анализа 16 новых НФА, отличающихся пониженной синтетической сложностью по сравнению с большинством известных и распространённых НФА.

Для ряда полимерных и олигомерных АНФА на основе ВТРТ и ННФА ВТВ- и ВСВ-серий, впервые полученных и изученных в работе, установлены зависимости между их



молекулярным строением, оптоэлектронными и термическими свойствами. Полученные корреляции создают основы для проведения направленного структурного дизайна новых НФА с заданными физико-химическими свойствами для высокоэффективных ОСБ.

Проведено исследование применимости ННФА в трёхкомпонентных смесях для повышения эффективности ОСБ. Установлено, что введение ННФА в качестве третьего компонента в фотоактивный слой приводит к улучшению характеристик ОСБ. Выявлены ключевые факторы, определяющие этот эффект.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в разработке молекулярного дизайна и эффективных схем синтеза сопряжённых НФА олигомерного и полимерного строения с пониженной синтетической сложностью, в выявлении основных фундаментальных взаимосвязей между различными структурными элементами молекул и их физико-химическими свойствами, а также в возможности применения выявленных знаний для прогнозирования и тонкой настройки свойств подобных полупроводниковых соединений. Изготовление и детальное изучение как бинарных, так и трёхкомпонентных ОСБ на основе полученных НФА дают ценные практические знания. Полученные результаты проливают свет на особенности функционирования подобных систем в ОСБ и дают практические ориентиры для выбора компонентов при разработке высокоэффективных устройств с использованием АНФА и ННФА. Успешное решение совокупности задач в ходе выполнения диссертационной работы позволило пройти путь «от молекулы к устройству» и значительно продвинуться на пути к коммерциализации ОСБ. Стоит отметить, что как разработка принципов молекулярного дизайна, так и сами материалы, могут быть востребованы не только в области ОСБ, но также и в смежных областях, таких как гибридная фотовольтаика, органические полевые транзисторы, фототранзисторы, фотодетекторы и т.п., поскольку к органическим полупроводникам там предъявляются очень схожие требования.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Материалы диссертации соответствуют следующим направлениям исследований паспорта научной специальности 1.4.7. «Высокомолекулярные соединения»:

п. 2. Синтез олигомеров, в том числе специальных мономеров, связь их строения и реакционной способности. Катализ и механизмы реакций полимеризации, сополимеризации и поликонденсации с применением радикальных, ионных и ионно-координационных инициаторов, их кинетика и динамика. Разработка новых и усовершенствование существующих методов синтеза полимеров и полимерных форм.

п. 9. Целенаправленная разработка полимерных материалов с новыми функциями и интеллектуальных структур с их применением, обладающих характеристиками, определяющими области их использования в заинтересованных отраслях науки и техники.

**Полнота изложения материалов диссертации.**

Результаты работы были представлены на 20 международных и российских научных конференциях в виде устных и стендовых докладов, включая 17<sup>th</sup> International Conference on Organic Electronics (2025); International Fall School on Organic Electronics (IFSOE-2022, IFSOE-2023, IFSOE-2024); Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых («Ломоносов 2022», «Ломоносов-2023» «Ломоносов-2024», «Ломоносов-2025»); Всероссийская школа-конференция с международным участием по биосовместимой электронике и робототехнике (2022, 2023, 2024); International School on Hybrid, Organic and Perovskite Photovoltaics (HOPE-PV 2021, HOPE-PV 2023); IX Всероссийская Каргинская конференция «Полимеры 2024»; XXII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии (2024); Всероссийская научная конференция с международным участием «Современные проблемы органической химии» (2022); Всероссийская конференция с международным участием «Инновации в альтернативной энергетике: производство и накопление» (2022); Moscow Autumn Perovskite Photovoltaics International Conference (MAPPIC-2022); Всероссийская конференция с международным участием «Инновации в альтернативной энергетике: производство и накопление» (2022); Научная конференция «Современные тенденции развития функциональных материалов» (2021).

По теме диссертации опубликованы четыре научные статьи и пятая принята к публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Simple non-fused ring electron acceptors synthesized via direct C–H arylation for high-performance ternary organic solar cells / **E.D. Blagodarnaia**, A.K. Kalinichenko, K.N. Gupta, N.A. Shekhovtsov, N.A. Emelianov, A.V. Bakirov, I.V. Dyadishchev, D.Y. Paraschuk, P.A. Troshin, S.M. Aldoshin, Y.N. Luponosov // Mater. Today Energy. – 2026. – Vol. 55. – 102175. Q1, УБС1.

2. From Small Molecules to Polymers: Developing Non-Fullerene Acceptors for Efficient NIR Photothermal Cancer Therapy / Y.A. Isaeva, **E.D. Blagodarnaia**, A.A. Vetyugova, M.E. Stepanov, L.A. Poletavkina, I.V. Dyadishchev, A.A. Trul, T.V. Egorova, R.A. Akasov, Y.N. Luponosov // Polymers. – 2025. – Vol. 17. – № 24. – 3304. Q1, УБС1.

3. Towards Commercially Viable Non-Fullerene Organic Solar Cells: A Critical Review of Recent Developments in High-Performance Non-Fused Ring Electron Acceptors / **E.D. Papkovskaya**, D.O. Balakirev, J. Min, Y.N. Luponosov // Mater. Today Energy. – 2024. – Vol. 43. – 101591. Q1, УБС1

4. Improving the efficiency of organic solar cells via molecular engineering of simple fused non-fullerene acceptors / E.D. Papkovskaya, J. Wan, D.O. Balakirev, I.V. Dyadishchev, A.V. Bakirov, Yu.N. Luponosov, J. Min, S.A. Ponomarenko // Energies. – 2023. – Vol. 16. – 3443. Q1, УБС1

5. Нефуллереновый акцепторный материал на основе  $\alpha$ -кватертиофена для эффективных бинарных и трёхкомпонентных органических солнечных батарей / Е.Д. Благодарная, К. П. Трайнов, А. К. Калининченко, Л. А. Полетавкина, И. В. Дядищев, Ю. Н. Лупоносков // Журнал общей химии / Russian Journal of General Chemistry. – 2026. – Vol. 96. – № 3–4. – 1–13. УБС1. (в печати)

**По итогам заседания Ученого совета принято следующее заключение:**

Диссертационная работа Благодарной Е.Д. «Синтез и свойства нефуллереновых акцепторных материалов на основе донорно-акцепторных олигомеров и полимеров с пониженной синтетической сложностью для органических солнечных батарей» полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки России, утвержденного постановлением Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 и приказом Минобрнауки России от 10 ноября 2017 года № 1083, предъявляемых к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7 «Высокомолекулярные соединения».

По итогам заседания Ученого совета было принято решение рекомендовать диссертационную работу Благодарной Е.Д. «Синтез и свойства нефуллереновых акцепторных материалов на основе донорно-акцепторных олигомеров и полимеров с пониженной синтетической сложностью для органических солнечных батарей» к защите на диссертационном совете Д 24.1.116.01 (Д 002.085.01) при ФГБУН ИСПМ РАН на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7 «Высокомолекулярные соединения» (химические науки).

Ученый секретарь ИСПМ РАН,

К.Х.Н.



Е.В. Гетманова