

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**



(ИПХФ РАН)

142432, Московская обл., город Черноголовка,
проспект академика Семенова, 1

Тел.: 8(495) 993-57-07; 8(49652) 2-19-30
Факс: 8(49652) 2-56-36; 8(49652) 2-35-07

ОКПО 02699837, ОГРН 1035006100502
ИНН/КПП 5031007735/503101001

Председателю диссертационного совета
Д 002.222.01, созданного на базе
ФГБУН Института органической химии
им. Н.Д. Зелинского РАН,
академику М.П. Егорову

119991, г. Москва,
Ленинский проспект, 47

08.02.2019 № 12108- 6215/757
На № _____

Глубокоуважаемый Михаил Петрович!

Подтверждаю согласие на назначение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химической физики Российской академии наук (ИПХФ РАН) ведущей организацией по кандидатской диссертации Константинова Игоря Олеговича «Синтез новых узкозонных донорно-акцепторных полупроводниковых полимеров для применения в солнечных фотоэлементах», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальностям 02.00.03 – органическая химия и 02.00.06 - высокомолекулярные соединения.

В соответствии с п. 24 Положения о присуждении ученых степеней Минобрнауки РФ сведения, необходимые для внесения информации о ведущей организации в автореферат Константинова И. О. и для размещения на сайте ФГБУН Института органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, прилагаются.

Заместитель директора ИПХФ РАН
Д.Х.Н.



Э. Р. Бадамшина

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



(ИПХФ РАН)

142432, Московская обл., город Черноголовка,
проспект академика Семенова, 1

Тел.: 8(495) 993-57-07; 8(49652) 2-19-30
Факс: 8(49652) 2-56-36; 8(49652) 2-35-07

ОКПО 02699837, ОГРН 1035006100502
ИНН/КПП 5031007735/503101001

Председателю диссертационного
совета Д 002.222.01, созданного на базе
ФГБУН Института органической химии
им. Н. Д. Зелинского
Российской академии наук (ИОХ РАН),
академику РАН М. П. Егорову

119991, г. Москва
Ленинский проспект, 47

13.02.2019 № 12108-6245/190
На № _____

Глубокоуважаемый Михаил Петрович!

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химической физики Российской академии наук направляет Вам отзыв ведущей организации на диссертационную работу Константинова Игоря Олеговича «Синтез новых узкозонных донорно-акцепторных полупроводниковых полимеров для применения в солнечных фотоэлементах», представленной на соискание учёной степени кандидата химических наук по специальности 02.00.03 - Органическая химия, 02.00.06 – Высокомолекулярные соединения.

Сообщаем коды нашей организации:

Ученый секретарь ИПХФ РАН

Д.Х.Н

Психа Б.Л.

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. директора ФГБУН ИПХФ РАН

д.х.н. Э. Р. Бадамшина



Бадамшина
«13» февраля 2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Константинова Игоря Олеговича «Синтез новых узкозонных донорно-акцепторных полупроводниковых полимеров для применения в солнечных фотоэлементах», представленную на соискание учёной степени кандидата химических наук по специальностям 02.00.03 - Органическая химия и 02.00.06 – Высокомолекулярные соединения».

Рассмотрев и обсудив диссертационную работу Константинова Игоря Олеговича «Синтез новых узкозонных донорно-акцепторных полупроводниковых полимеров для применения в солнечных фотоэлементах», в соответствии с п. 24 «Положения о присуждении учёных степеней», отмечаем нижеследующее:

Актуальность темы диссертационной работы

Ввиду постоянного сокращения запасов ископаемых углеводородов и грядущего энергетического и экологического кризиса, интерес к возобновляемым источникам энергии неуклонно растет. Солнечные батареи являются одним из наиболее перспективных источников возобновляемой энергии. Значительный прогресс достигнут в последние несколько лет в области полимерных солнечных батарей, которые имеют ряд важных преимуществ по сравнению с классическими кремниевыми панелями. К их числу можно отнести низкую стоимость, легкость, технологичность, гибкость и возможность изготовления устройств большой площади. В настоящее время эффективности полимерных солнечных батарей достигают ~14%, что уже близко к значениям, при

которых коммерциализация этого типа светопреобразующих устройств будет экономически обоснована.

Рациональный дизайн сопряженных полимеров является основным подходом к повышению эффективности органических солнечных батарей. Наиболее перспективные материалы должны обладать: 1) узкой шириной запрещенной зоны для генерации высоких плотностей токов короткого замыкания; 2) низкими энергиями ВЗМО для достижения максимальных напряжений холостого хода; 3) планарной структурой с хорошими зарядово-транспортными свойствами и 4) обеспечивать минимальные излучательные и, особенно, безызлучательные энергетические потери. Кроме того, эти материалы должны обладать приемлемой растворимостью, необходимой для формирования качественных пленок растворными методами. Таким образом, направленная разработка сопряженных полимеров с заданными электронными и физико-химическими свойствами является весьма актуальной научной задачей.

С учетом вышесказанного, диссертационная работа И. О. Константинова, посвященная разработке эффективных подходов к синтезу новых узкозонных сопряженных полимеров с оптимальными оптоэлектронными характеристиками и исследованию их как материалов в органических солнечных батареях, является чрезвычайно актуальной как с теоретической, так и с практической точек зрения.

Основные результаты работы, оценка их новизны и практической значимости

Представленная автором диссертационная работа оформлена в соответствии с требованиями ВАК и состоит из следующих основных разделов: введение, литературный обзор, обсуждение результатов, экспериментальная часть, выводы, список литературы из 182 источников. Работа изложена на 197 страницах, содержит 19 таблиц и 85 рисунков.

В литературном обзоре проанализирован и обобщен материал по последним достижениям в области синтеза различных классов донорно-акцепторных сопряженных полимеров с малой шириной запрещенной зоны в контексте их использования как материалов для органических солнечных батарей. Обзор является весьма полным и хорошо подготавливает читателя к оценке полученных в диссертационной работе результатов. Литературный обзор завершается кратким заключением, в котором автор четко обозначает основные задачи своего диссертационного исследования.

Научная новизна работы не вызывает сомнений. На основе доступных исходных соединений разработаны удобные методы синтеза новых производных [1,2,5]тиадиазоло[3,4-g]хиноксалина и тиено[3,4-b]пиразина с фторзамещенными флуореновыми фрагментами, а также новых узкозонных сопряженных полимеров на их основе. Впервые предложен и осуществлен шестистадийный синтез новых

конденсированных полициклических акцепторных систем на основе [1,2,5]тиадиазоло[3,4-*i*]дитиазоло[4,5-*a*:5',4'-*c*]феназина и дитиазоло[4,5-*f*:5',4'-*h*]тиено[3,4-*b*]хиноксалина, заключающийся в последовательном превращении стеариновой кислоты в 2,7-дибензотиазол-4,5-дион с последующим формированием пиразинового цикла в реакции с диаминами. Предложен синтез дитиено[3',2':3,4;2'',3'':5,6]бензо[1,2-*d*]тиазола посредством внутримолекулярной конденсации триарильного фрагмента в единую гетерополициклическую систему. Показано, что на основе ранее неизвестного нафто[2,1-*b*:3,4-*b'*]дитиофен-5,6-диил-бис(трифторметансульфоната) в реакциях Pd-катализируемого кросс-сочетания могут быть получены перспективные для использования в фотовольтаике симметричные производные 5,6-бис(этилгексил)нафто[2,1-*b*:3,4-*b'*]дитиофена и 5,6-флуорен-нафто[2,1-*b*:3,4-*b'*]дитиофена.

На основе синтезированных гетероароматических соединений была получена серия новых термически стабильных узкозонных сополимеров с чередующимися электронодонорными и электроноакцепторными звеньями. Изучены оптические и электрохимические свойства пленок полученных полимеров. Показана возможность «настройки» электронных уровней полимеров (ВЗМО, НСМО) путем введения различного числа атомов фтора в донорные или акцепторные блоки, формирующие полимерную цепь. На основе синтезированных полимеров и производного фуллерена PC₇₁BM сконструированы эффективные полимерные солнечные элементы с объемным гетеропереходом с эффективностями преобразования света 4–8%. Необходимо подчеркнуть, что достижение столь высоких характеристик в солнечных элементах на основе узкозонных полимеров требует от экспериментатора высокого профессионализма, в частности, тщательного контроля условий проведения каждой стадии синтеза с целью получения практически бездефектных сопряженных полимеров.

Особого внимания заслуживает также тот факт, что представленное диссертационное исследование является междисциплинарным: автор проходит все этапы, включающие дизайн и разработку методов синтеза новых конденсированных гетероциклических мономеров, их получение, синтез сопряженных полимеров с заданными свойствами и их исследование в лабораторных макетах солнечных батарей. Столь комплексные исследования, выполненные в рамках диссертационных работ, пока чрезвычайно редки и являются новым явлением для отечественной науки. Поэтому выраженный междисциплинарный характер работы И. О. Константинова является однозначно сильной ее стороной.

Практическая значимость.

Предложен подход к синтезу узкозонных сопряженных полимеров на основе комбинаций «слабый донор-сильный акцептор». Варьирование заместителей в структуре электронодонорных и электроноакцепторных блоков позволило получить полимерные материалы с оптимальными оптоэлектронными характеристиками. Все полученные полимеры обладают достаточно высокой термостабильностью (разл. 330-408°C), что позволяет рассчитывать на их долговечность при использовании в фотовольтаических устройствах. Полученные в работе полимеры обладают широким спектром поглощения в видимой и ближней инфракрасной областях спектра (300-1200 нм), что позволяет с их помощью эффективно поглощать и преобразовывать солнечный свет. Значения оптической ширины запрещенной зоны ($E_g^{\text{опт}}$) меняются в пределах 0,98–1,61 эВ и определяются структурой донорных и акцепторных блоков, входящих в полимерную цепь. Некоторые полимеры имеют низкие значения энергии ВЗМО ($\sim -5,4$ эВ), что обеспечивает высокие напряжения холостого хода ($V_{\text{хх}}$) солнечных батарей на их основе. Необходимо подчеркнуть, что для отдельных полимеров наблюдаются рекордно малые для органической фотовольтаики энергетические потери и при ширине запрещенной зоны около 1,3 эВ удается достигать напряжений холостого хода около 0,8 В. Этот результат можно считать прорывным для органической фотовольтаики, эффективность которой ограничивается существенными энергетическими потерями.

На основе нанокомпозитов полученных в работе узкозонных полимеров и производного фуллерена PC_{71}BM изготовлены полимерные солнечные батареи и исследованы их характеристики. В устройствах на основе лучших материалов достигнуты высокие плотности токов короткого замыкания $J_{\text{кз}}$ (15-16 мА/см²), напряжения холостого хода $V_{\text{хх}}$ (0,74 В) и эффективности преобразования света $>8\%$. Достигнутые характеристики близки к рекордным значениям для солнечных батарей на основе узкозонных полимеров. Полученные в работе результаты также свидетельствуют о перспективности предложенного подхода, основанного на использовании комбинаций «слабый донор–сильный акцептор» для дизайна узкозонных сопряженных полимеров.

Нет сомнений в том, что полученные в данной работе сопряженные полимеры имеют значительные перспективы практического использования для построения многопереходных tandemных солнечных элементов и высокочувствительных инфракрасных фотодетекторов.

Обоснованность и достоверность выводов

Диссертационное исследование И. О. Константинова выполнено на высоком экспериментальном уровне с использованием современных методов органического

синтеза и инструментальных физико-химических методов анализа (химический микроанализ, одномерная и двумерная корреляционная ЯМР спектроскопия, электронная и колебательная спектроскопия). Для определения молекулярно-весовых характеристик полимеров использовалась гелипроникающая хроматография. Термические свойства полимеров изучали с помощью термогравиметрического анализа. Оптоэлектронные свойства материалов исследовали с помощью оптической спектроскопии и циклической вольтамперометрии. Фотоэлектрические свойства материалов исследовали в лабораторных макетах солнечных элементов, измеряя их вольтамперные характеристики и спектры внешней квантовой эффективности. Широкий набор использованных современных методов исследования в совокупности с качественной и обоснованной интерпретацией экспериментальных данных не оставляют сомнений в достоверности полученных в диссертационной работе результатов.

Материал работы изложен достаточно логично, хорошо систематизирован и обобщен. Сформулированные в работе выводы соответствуют выносимым на защиту положениям. Результаты работы широко освещены и представлены научной общественности в виде 16 публикаций в высокорейтинговых российских и международных научных журналах: Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry, Organic Electronics, Phys. Chem. Chem. Phys. и др. Работа была хорошо апробирована на различных отечественных и международных конференциях. Автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертации.

Замечания по работе

Диссертационная работа лишена серьезных недостатков. К работе имеется несколько замечаний:

1. В диссертации встречаются опечатки и грамматических ошибки. Например, на стр. 42 - «тиазолола», на стр. 45 - «тифен карбальдегида», на стр. 92 –«алкитефеновых», на стр. 95 - «планеризации». В экспериментальной части формулы большей части амидов (тиоамидов) и гидроксизамещенных соединений приведены как R-(CO)N, R-O вместо R-(CO)NH₂ и R-OH. В формуле соединения **128** (рисунок 38) отсутствует протон имидазольного фрагмента. В описании спектров ЯМР единицы измерения КССВ указываются в хаотичном порядке «Гц» или «Hz» (стр. 55-56 и др). Аналогично чередуются названия «ВЗМО» и «НОМО», «NBS» и «N-БС» (стр. 58 и 60). На стр. 95 указано, что энергии ВЗМО для полимеров **200-203** одинаковы, но в действительности значения различаются для отдельных полимеров.
2. Есть замечания, касающиеся использованной терминологии. На наш взгляд, можно было подобрать более удачные литературные эквиваленты к таким выражениям, как

«метиленовый раствор» (стр.52), «разумный дизайн» (стр. 61), «исходники» (стр.119), «пена не вылезала из стакана» (стр. 119), «флешевали» (стр. 120), «выпавшее масло» (стр. 126), «смесь захлаживали» (стр. 128) «бистриметил оловянного мономера» (стр. 191) и некоторые др. Встречается некорректное название «флюорен», вместо «флуорен» (раздел «выводы»). На стр. 155 в качестве литирующего агента указан гексиллитий, а на схеме приведен *n*-бутиллитий. В некоторых случаях борорганические соединения называются «бороновыми» эфирами/кислотами, что правильно, а в некоторых случаях - «борными» эфирами/кислотами.

3. На стр. 81 автор отмечает зависимость молекулярных масс получаемых полимеров от количества вводимых в их структуру атомов фтора. При этом увеличение количества атомов F приводит также к росту молекулярного веса полимера. Для следующей триады полимеров (стр. 87) наблюдается строго обратный эффект. С чем это связано?

4. На стр. 82 автор показывает, что введение фтора в структуру полимера практически не влияет на положение их уровней НСМО, а ниже приводит утверждение, что этот прием «является эффективным методом контроля уровней ВЗМО и НСМО». Имеет место очевидное противоречие. Для первой тройки полимеров энергии НСМО не изменяются в зависимости от количества введенных атомов фтора, а для второй тройки (полимеры 197-199) есть заметные различия. При этом автор не комментирует этот важный факт. С чем это связано?

5. На стр. 87 автор в очередной раз подчеркивает, что получение полимеров с высокой молекулярной массой важно для обеспечения наилучших характеристик солнечных батарей на их основе. Здесь же отмечается, что полимер 199 получен с наименьшим молекулярным весом, при этом этот материал показал лучшие к.п.д. преобразования света в устройствах. Этот факт остался без внимания. С чем может быть связана столь эффективная работа низкомолекулярного полимера?

Указанные замечания никак не снижают общего благоприятного впечатления от диссертационной работы И.О. Константинова. Полученные диссертантом данные существенно углубляют теоретические представления о свойствах донорно-акцепторных сопряженных полимеров, а разработанные материалы уже находят практическое применение в гелиотехнике.

Рекомендации по использованию результатов и выводов

Материалы, полученные в диссертационной работе, могут быть востребованы и использованы предприятиями полимерной промышленности, научно исследовательскими институтами, инновационными структурами, предприятиями, ориентированными на разработку, коммерциализацию и применение органической оптоэлектроники и

фотовольтаики, например: ОАО “ЦИКЛОН”, ОАО “ТЕХНОМАШ”, ООО “Хевел”, ООО “Функциональные органические материалы”, государственная корпорация “РОСНАНОТЕХ”, НИИ “Волга” и т.д.

Заключение по работе

По объему, уровню выполнения, новизне и практической значимости диссертационная работа И.О. Константинова полностью соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года, в редакции 2017 года), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальностям 02.00.03 - Органическая химия и 02.00.06 – Высокомолекулярные соединения.

Диссертационная работа Константинова И. О. «Синтез новых узкозонных донорно-акцепторных полупроводниковых полимеров для применения в солнечных фотоэлементах» обсуждена, отзыв заслушан и одобрен на заседании секции ученого совета отдела кинетики и катализа ИПХФ РАН 4 февраля 2019 г (протокол № 2). Отзыв составили Аккуратов Александр Витальевич, к.х.н., с.н.с. и Трошин Павел Анатольевич к.х.н., зав. Лабораторией функциональных материалов для электроники и медицины ИПХФ РАН.

Председатель секции Ученого совета ОКиК,
д.ф.-м.н.

А. В. Куликов

Секретарь секции Ученого совета ОКиК,
к.х.н.

С. А. Миронова

Подписи Куликова А.В. и Мироновой С.А. заверяю

Ученый секретарь ИПХФ РАН



Психа Б.Л.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химической физики Российской академии наук
(ИПХФ РАН)

142432, Московская область, г. Черноголовка, проспект академика Семенова, 1, телефон:
+7 (495) 993-57-07, электронная почта: office@icp.ac.ru, сайт: www.icp.ac.ru

СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Приложение

По диссертационной работе Константинова Игоря Олеговича «Синтез новых узкозонных донорно-акцепторных полупроводниковых полимеров для применения в солнечных фотоэлементах», на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.03 – органическая химия и 02.00.06 – высокомолекулярные соединения

Полное и сокращенное наименование организации	Почтовый адрес, телефон, адрес эл. почты, адрес официального сайта в сети «Интернет»	Сведения о лице, утвердившем отзыв			
		ФИО полностью	Ученая степень, шифр специальности по которой защищена диссертация)	Должность	
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химической физики Российской академии наук (ИПХФ РАН)	142432, Московская область, г. Черноголовка, проспект ак. Семенова, 1 Тел: +7 (495) 993-57-07 e-mail: office@icp.ac.ru http://www.icp.ac.ru	Бадашпина Эльмира Рапатовна	Профессор, д.х.н. 02.00.06 Высокомолекулярные соединения	Заместитель директора ИПХФ РАН	Основные работы работников ведущей организации по теме диссертации, опубликованные в рецензируемых научных журналах за последние 5 лет (не более 15 публикаций)
		Сведения о лице, подготовившем отзыв			
		ФИО полностью	Ученая степень, шифр специальности по которой защищена диссертация)	Должность	
		Трошин Павел Анатольевич	к.х.н., специальность физическая химия (02.00.04)	заведующий Лабораторией функциональных материалов для электроники и медицины	1. S. A. Adonin, L.A. Frolova, M. N. Sokolov, G. V. Shilov, D. V. Korshagin, V. P. Fedin, S. M. Aldoshin, K. J. Stevenson, P. A. Troshin, Antimony (V) complex halides: lead-free perovskite-like materials for hybrid solar cells.

				<i>Adv. Energy Mater.</i> 2017, <i>7</i>, 1701140 2. M. Salvador, N. Gasparini, J. D. Perea, S. H. Paleti, A. Distler, L. N. Inasaridze, P. A. Troshin, L. Lüer, H.-J. Egelhaaf and C. Brabec, Suppressing photooxidation of conjugated polymers and their blends with fullerenes through nickel chelates. <i>Energy Environ. Sci.</i>, 2017, <i>10</i>, 2005-2016 3. C. Zhang, S. Langner, A. V. Mumyatov, D. V. Anokhin, J. Min, J. D. Perea, K. L. Gerasimov, A. Osvet, D. A. Ivanov, P. Troshin, N. Li and C. J. Brabec, Understanding the correlation and balance between the miscibility and optoelectronic properties of polymer–fullerene solar cells. <i>J. Mater. Chem. A</i>, 2017, <i>5</i>, 17570–17579. 4. A. F. Akbulatov, L. A. Frolova, M. P. Griffin, I. R Gearba, A. Dolocan, D. A. Vanden Bout, S. Tsarev, E. A. Katz, A. F. Shestakov, K. J.
--	--	--	--	--

				Stevenson, P. A. Troshin. Effect of electron-transport material on light-induced degradation of inverted planar junction perovskite solar cells. <i>Adv. Energ. Mater.</i> 2017, 7, 1700476 5. I. E. Kuznetsov, D. K. Susarova, L. A. Frolova, A. S. Peregudov, A. F. Shestakov, S. I. Troyanov, K. J. Stevenson, P. A. Troshin, Unprecedented thermal condensation of tetracyanocyclopropanes to triazaphenalenenes: a facile route to design of novel materials for electronic applications. <i>Chem. Comm.</i> 2017, 53, 4830 – 4833 6. L. N. Inasaridze, A. I. Shames, I. V. Martynov, B. Li, A. V. Mumyatov, D. K. Susarova, E. A. Katz, P. A. Troshin. Light-induced generation of free radicals by fullerene derivatives: an important degradation pathway in organic photovoltaics? <i>J. Mater. Chem. A.</i>, 2017, 5, 8044 – 8050 7. L. A. Frolova, D. V. Anokhin, A. A. Piryazev, S. Yu. Luchkin,
--	--	--	--	---

					N. N. Dremova, P. A. Troshin, Exploring the Photovoltaic Performance of All-Inorganic $\text{Ag}_2\text{PbI}_4/\text{PbI}_2$ Blends. <i>J. Phys. Chem. Lett.</i> 2017, 8, 1651–1656 8. A. F. Shestakov, O. V. Yarmolenko, A. A. Ignatova, A. V. Mumyatov, K. J. Stevenson, P. A. Troshin. Structural Origins of the Capacity Fading in the Lithium-Polyimide Battery. <i>J. Mater. Chem. A.</i>, 2017, 5, 6532–6537 9. L.I. Leshanskaya, I.V. Klimovich, L.F. Frolova, E. S. Ershova, V. A. Sergeeva, V. Yu. Tabakov, S. V. Kostyuk and P. A. Troshin. Dibenzoindigo: a nature-inspired biocompatible semiconductor material for organic electronics” <i>Adv. Opt. Mater.</i> 2017, 5, 1601033 10. A. F. Akbulatov, S. Luchkin, L. A. Frolova, N. N. Dremova, K. J. Stevenson, P. A. Troshin. Probing the intrinsic thermal and photochemical stability of the hybrid and inorganic lead halide
--	--	--	--	--	---

				based perovskites. <i>J. Phys. Chem. Lett.</i> 2017, 8, 1211–1218 11. L. A. Frolova, D. V. Anokhin, A. A. Piryazev, S. Yu. Luchkin, N. N. Dremova, K. J. Stevenson, P. A. Troshin. Highly efficient fully inorganic planar heterojunction perovskite solar cells produced by thermal co-evaporation of CsI and PbI₂. <i>J. Phys. Chem. Lett.</i> 2017, 8, 67–72 12. A. V. Akkuratov, S. Mühlbach, D. K. Susarova, M. Seßler, B. Zimmermann, V. F. Razumov, P. A. Troshin. Positive side of disorder: Statistical fluorene-carbazole-TTBTT terpolymers show improved optoelectronic and photovoltaic properties compared to the regioregular structures. <i>Solar Energy Materials and Solar Cells</i>, 2017, 160, 346–354 13. I. E. Kuznetsov, A. V. Akkuratov, D. K. Susarova, D. V. Anokhin, Y. L. Moskvina, M. V. Kluyev, and P. A. Troshin. Statistical carbazole-fluorene-
--	--	--	--	--

					TTBTBT terpolymers as promising electron donor materials for organic solar cells. <i>Chem. Comm.</i>, 2015, 51, 7562-7564 14. A. V. Akkuratov, D. K. Susarova, O. Kozlov, A. V. Chernyak, Y. L. Moskvina, L. A. Frolova, M. S. Pshenichnikov, P. A. Troshin, Design of (X-DADAD)_n type copolymers with improved optoelectronic properties for bulk heterojunction organic solar cells. <i>Macromolecules</i> 2015, 48, 2013–2021 15. L. A. Frolova, N. P. Piven, D. K. Susarova, A. V. Akkuratov, S. D. Babenko, P. A. Troshin. ESR spectroscopy for monitoring photochemical and thermal degradation of conjugated polymers used as electron donor materials in organic bulk heterojunction solar cells. <i>Chem. Comm.</i>, 2015, 51, 2242-2244
--	--	--	--	--	--