

ОТЗЫВ ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Усмановой Гульсум Салаватовны

«Физико-химические свойства новых производных полииндола и его сополимеров и потенциал возможностей применения», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия

1. Актуальность темы диссертационной работы

Актуальность представленного диссертационного исследования обусловлена возрастающим интересом к электропроводящим полимерам с конъюгированной системой связей, к числу которых принадлежат полииндолы. Сочетание высокой термической стабильности, окислительно-восстановительной активности, люминесцентных характеристик и низкой скорости деградации открывает широкие перспективы для применения полииндолов в органической электронике, антикоррозионных покрытиях, сорбционных процессах и биомедицине. Для известных методов синтеза подобных полимеров характерен низкий выход целевого продукта, высокая себестоимость реагентов и чувствительность катализаторов к кислороду, что сдерживает их практическое использование. В связи с этим поиск новых эффективных подходов к получению производных полииндолов является актуальной научно-практической задачей. В своей работе авторы впервые реализовали новый подход в синтезе электропроводящего полимера на основе полимераналогичных превращений — внутримолекулярной циклизации производных полианилина, позволившей получить ранее не описанные полииндолы с 1,5-присоединением мономерных звеньев. Предложенная стратегия обеспечивает высокий выход и сохранение длины полимерной цепи, открывая возможность направленного дизайна материалов с заданными свойствами, что делает разработку новых полииндолов на основе высокомолекулярных производных полиалкениланилина практически востребованной задачей в области полимерного материаловедения и органической электроники.

2. Научная ценность и новизна

В рецензируемой работе явно выделяются два аспекта научной новизны: синтез по разработанной впервые методике нового полимерного материала и изучение его физико-химических свойств.

— Автором впервые синтезированы полииндолы с 1,5-сочлененными индольными фрагментами и изучены их физико-химические свойства, установлено наличие фотопроводимости — критически важного свойства для органической электроники.

— Проведено сравнительное физико-химическое исследование их адсорбционных свойств по отношению к анионным и катионным красителям, а также изучена антибактериальная активность, демонстрируя multifunctionality этих новых материалов.

– Разработана методология получения новых сопряженных полимеров, синтезированных путем окислительной сополимеризации анилина и 2-[2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил]анилина, с последующей внутримолекулярной циклизацией, приводящей к формированию гибридных структур, содержащих анилиновые и индольные фрагменты. Установлена корреляция между составом полимеров и их физико-химическими свойствами, в частности, продемонстрировано, что повышение содержания индольных звеньев приводит к увеличению фотопроводимости.

3. Теоретическая и практическая значимость работы

Предложенная автором стратегия синтеза новых полииндолов и сополимеров анилина позволяет получать многофункциональные полимерные материалы с комплексом ценных физико-химических свойств. Заслуживает внимания высокая чувствительность полученных полимерных пленок к влажности и аммиаку, что открывает перспективы для разработки химических сенсоров нового поколения.

Обнаруженная фотопроводимость указывает на потенциал данных материалов для применения в органической фотоэлектронике, включая фотодетекторы и активные слои солнечных элементов. Результаты адсорбционных исследований свидетельствуют о эффективности поли[2-метил-1*H*-индолов] и сополимеров анилина в отношении удаления как анионных, так и катионных красителей, что обосновывает их пригодность в качестве адсорбентов для очистки промышленных сточных вод.

Дополнительным значимым результатом является выявленная антибактериальная активность полииндолов, открывающая возможности для создания антимикробных покрытий и биоцидных материалов. Таким образом, совокупность полученных физико-химических данных демонстрирует широкий спектр потенциальных прикладных решений на основе разработанных полимеров.

4. Оценка содержания диссертации

Диссертационная работа Усмановой Г.С. изложена на 169 страницах машинописного текста и состоит из введения, обзора литературы, обсуждения результатов, экспериментальной части, заключения, выводов и списка литературы (189 ист.). В работе содержится 15 схем, 24 таблицы, 61 рисунок. Оформление работы полностью соответствует требованиям ВАК РФ, а ее структура и объем отвечают критериям для квалификационных исследований данного уровня.

Во введении автор раскрывает актуальность темы, формулирует цели и задачи, а также обосновывает научную новизну, теоретическую и практическую значимость исследования. Здесь изложены методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, информация об апробации и достоверности полученных результатов, список

публикаций по теме диссертации.

В Главе 1 (Литературный обзор) подробно изложены сведения об основных методах получения полииндола и его сополимеров, их физико-химических свойствах и областях применения этих соединений.

Глава 2 (Обсуждение результатов), состоящая из трех разделов, является центральным элементом исследовательской работы. В первом разделе показана возможность получения новых полииндолов на основе производных поли[*N*-(2-хлорпроп-2-ен-1-ил)анилинов] и приведены основные физико-химические свойства полученных полимеров. Во втором разделе с целью получения материалов с заданными свойствами рассматривается метод синтеза сополимеров на основе анилина и 2-(2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил)анилина различного состава. Предложенный подход позволяет в результате последующей циклизации получать полимеры, содержащие фрагменты анилина и индола. Также изучены физико-химические свойства полученного ряда полимеров. В третьем разделе приводятся результаты изучения потенциальных областей применения полученных соединений по следующим направлениям: исследование адсорбционной способности в отношении красителей; изучение сенсорных свойств; оценка антибактериальной активности.

Глава 3 (Экспериментальная часть) содержит описание методик синтеза, характеристик использованных материалов, приборов и оборудования.

5. Соответствие содержания диссертации указанной специальности

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.4.4. Физическая химия ВАК РФ:

Пункт 1 – Экспериментально-теоретическое определение энергетических и структурно-динамических параметров строения молекул и молекулярных соединений, а также их спектральных характеристик;

Пункт 3 – Определение термодинамических характеристик процессов на поверхности, установление закономерностей адсорбции на границе раздела фаз и формирования активных центров на таких поверхностях;

Пункт 12 – Физико-химические основы процессов химической технологии и синтеза новых материалов.

6. Подтверждение опубликования основных результатов диссертационной работы в научных изданиях

По материалам диссертационного исследования соискателем опубликованы 8 статей в рецензируемых научных журналах, входящих в базы данных Web of Science и Scopus, получен 1 патент РФ на изобретение, а также представлены 17 тезисов докладов на российских и международных конференциях.

7. Соответствие автореферата содержанию диссертации

По своей структуре и содержанию автореферат соответствует диссертационной работе и дает полное представление о выполненной работе.

8. Замечания

По работе имеются следующие замечания.

1. Почему в таблице 2.3 на стр. 69 расчетные значения E_g в несколько раз превышают экспериментальные значения?
2. На стр. 72 написано "Установлено, что природа заместителей оказывает влияние на фотопроводящие свойства синтезированных полимеров". Насколько и почему природа заместителей влияет на распределение электронной плотности в углеродной цепи полимера и почему это отражается на фотопроводящих свойствах полимеров?
3. Изучались ли спектры ДСК в ходе термогравиметрического анализа (стр. 66, 80, 88)?
4. На стр. 91 написано "Изменение рН влияет на заряд поверхности адсорбента ...". Каким образом изменение рН влияет на перераспределение электронной плотности в исследуемых образцах?
5. Почему на рис. 2.24 (стр. 92) в качестве дзета-потенциала выбрана безразмерная величина ΔpH ? Не указана температура, при которой изучалась адсорбция МО и МС.
6. Непонятна размерность константы скорости псевдвторого порядка в таблицах 2.9 и 2.10 на стр. 94 и 95?
7. Таблица 2.13, стр. 100. Непонятна причина, из-за которой адсорбция МО и МС на поверхности полииндолов имеет эндотермический характер. Почему возрастает "...степень разупорядоченности системы при адсорбции"?

В целом, диссертационная работа Усмановой Г.С. оставляет положительное впечатление, а высказанные замечания не носят принципиальный характер.

Заключение


В работе соискателя Усмановой Гульсум Салаватовны «Физико-химические свойства новых производных полииндола и его сополимеров и потенциал возможностей применения» решены важные задачи физической химии, а именно, изучены физико-химические свойства впервые полученных производных полииндола и его сополимеров и выявлены потенциальные области их применения.

Представленная работа по своей актуальности, научной новизне, практической значимости и полученным результатам соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о

присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. (в действующей редакции), а автор, Усманова Гульсум Салаватовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Официальный оппонент Борисов Иван Михайлович
доктор химических наук (02.00.04 – Физическая химия), профессор кафедры физической и органической химии технологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

E-mail: borisovim@yandex.ru


«3» июня 2026 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет».


Адрес: 450064, Приволжский федеральный округ, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1,

Телефон: +7(347)242-03-70

E-mail: info@rusoil.net

Подпись Борисова И. М. заверяю,
начальник отдела по работе с персоналом



 / О. А. Дадаян
«02» 06 2026