

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, доктор биологических наук

В.Б. Мартыненко

« 8 » 12 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Физико-химические свойства новых производных полииндола и его сополимеров и потенциал возможностей применения» выполнена на кафедре физической химии и химической экологии института химии и защиты в чрезвычайных ситуациях федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» и в лаборатории органических функциональных материалов Уфимского Института химии – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (УФИХ УФИЦ РАН).

В период подготовки диссертации соискатель Усманова Гульсум Салаватовна с 2022 года по настоящее время обучается в аспирантуре по очной форме обучения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» по специальности 1.4.4. Физическая химия. Работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории органических функциональных материалов УФИХ УФИЦ РАН.

В 2022 году окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный университет» по направлению подготовки 04.04.01 Химия с присвоением квалификации «Магистр».

Справка об обучении выдана федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» в 2026 году.

Научный руководитель – Мустафин Ахат Газизьянович, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией органических функциональных материалов Уфимского института химии – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертационная работа Усмановой Г.С. является цельной, самостоятельной и законченной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком профессиональном уровне, и отвечает критериям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям.

В работе решены задачи по исследованию физико-химических свойств синтезированных соединений производных полианилина и полученных на их основе производных полииндола, установлению влияния химической структуры на ключевые физико-химические свойства сополимеров на основе анилина и его производного, осуществлению направленной химической модификации сополимеров, расширяющей спектр их свойств; определены практически значимые функциональные характеристики синтезированных материалов в области адсорбционных, антибактериальных и сенсорных свойств.

Наиболее существенные научные результаты, полученные лично соискателем

Личный вклад автора состоит в поиске, анализе и систематизации литературных данных с учетом цели и задач работы; в формировании на их основе аналитического обзора литературы; в выполнении экспериментальных исследований и подготовки публикаций.

К наиболее существенным результатам работы соискателя относятся:

- изучение N -производных полианилина показало, что наличие и характер заместителей оказывают существенное влияние на их физико-химические свойства, в первую очередь на растворимость.

- путем полимераналогичного превращения поли[N -(2-хлорпроп-2-ен-1-ил)анилинов] синтезирован ряд новых полииндолов с количественным выходом. Сравнительный анализ показал, что полученные полииндолы обладают повышенной термостабильностью и плотной однородной морфологией, при этом их растворимость зависит от структуры.

- сополимеры, синтезированные из анилина и 2-[2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил]анилина, показали, что их растворимость, морфология, фотопроводящие, сенсорные и электрохимические свойства зависят от мольного соотношения *орто*-замещенного сомономера. Аналогичная тенденция наблюдалась и в модифицированных сополимерах, содержащих фрагменты анилина и индола, после химической трансформации поли(анилин-*со*-2-[2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил]анилинов).

- производные полииндола обладают значительным потенциалом в качестве адсорбентов для удаления как анионных (метиловый оранжевый (МО)), так и катионных (метиленовый синий (МС)) красителей из водных растворов: максимальная адсорбционная емкость (q_m) производных полииндола для МС составила 46.0-87.2 мг/г, для МО $q_m = 18.4-22.5$ мг/г.

- применение сополимеров для удаления метилового оранжевого из водных растворов показало эффективность до 99.3% при оптимальных физико-химических

условиях. Максимальная адсорбционная емкость сополимеров составила 108.6-147.3 мг/г.

- изучена возможность практического применения синтезированных сопряженных полимерных материалов: а) исследована фотопроводимость *N*-замещенных полианилинов, полииндолов и сополимеров; б) проведена оценка антибактериальной активности *in vitro* синтезированных *N*-замещенных полианилинов и полииндолов.

Достоверность полученных результатов

Высокая степень достоверности результатов обеспечена применением современных и стандартных методов исследования, а также воспроизводимостью результатов экспериментов.

Экспериментальная часть работ, в частности синтез мономеров и полимеров, была проведена при использовании оборудования лаборатории органических функциональных материалов УФИХ УФИЦ РАН. Достоверность работы в части доказательств структуры и состава полученных соединений, а именно ¹H ЯМР-, ИК-, УФ- спектроскопия и элементный анализ, подтверждалась на сертифицированных и поверенных приборах Центра коллективного использования «Химия» УФИХ УФИЦ РАН. Исследования свойств полученных материалов были проведены в УФИХ УФИЦ РАН.

Исследования электрохимического поведения были проведены на кафедре физической химии и химической экологии ИХЗЧС УУНиТ. Инструментальные исследования (фотопроводящие и сенсорные свойства) были осуществлены на кафедре электроники и физики наноструктур Физико-технического института УУНиТ совместно с д.х.н. Салиховым Р.Б.

Оценка антибактериальной активности была изучена на кафедре биохимии и технологии микробиологических производств технологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» совместно с к.х.н. Василовой Л.Я.

Научная новизна полученных результатов

Впервые были синтезированы полииндолы с высокими выходами, содержащие 1,5-сопряженные индольные фрагменты

Проведено сравнительное физико-химическое исследование их адсорбционных характеристик в отношении анионных и катионных красителей (максимальная адсорбционная емкость (q_m) производных полииндола для метиленового синего составила 46.0-87.2 мг/г, для метилового оранжевого $q_m = 18.4-22.5$ мг/г), а также изучена их антибактериальная активность, что демонстрирует многофункциональность данных новых материалов.

Разработана методика получения новых сопряженных полимеров, синтезируемых посредством окислительной сополимеризации анилина и 2-[2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил]анилина с последующей внутримолекулярной циклизацией, в результате которой формируются гибридные структуры, содержащие анилиновые и индольные фрагменты.

Установлена зависимость между составом полимеров и их физико-химическими свойствами, в частности, показано, что увеличение содержания индольных звеньев способствует росту фотопроводимости.

Практическая значимость и ценность результатов

В результате проведенных исследований:

Разработана эффективная стратегия синтеза новых полииндолов и сополимеров анилина, обеспечивающая получение многофункциональных полимеров с комплексом ценных свойств.

Полученные полимерные плёнки проявляют высокую чувствительность к влажности и аммиаку за счёт обратимых изменений электронной структуры, что делает их перспективной основой для химических сенсоров нового поколения.

Обнаруженная фотопроводимость материалов открывает возможности для их использования в органической фотоэлектронике, в частности, в фотодетекторах и активных слоях солнечных элементов.

Материалы демонстрируют высокую адсорбционную способность к органическим красителям различного типа (полииндолы — к анионным и катионным, сополимеры анилина — к метиловому оранжевому), что свидетельствует об их потенциале для очистки сточных вод.

Выявленная антибактериальная активность полииндолов создаёт основу для разработки на их основе антимикробных покрытий и биоцидных материалов.

Полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах

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

Список основных статей:

В ведущих рецензируемых журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus:

1. **Usmanova, G. S.** Removal of Anionic Methyl Orange Dye from Water by Poly[2- methyl-1*H*-indole] Derivatives: Investigation of Kinetics and Isotherms of Adsorption / **G.S. Usmanova**, L.R. Latypova, A.G. Mustafin // The Journal of Physical Chemistry B. – 2024. – V. 128, № 17. – P. 4195-4207.

2. Latypova, L.R. Synthesis and characterization of N-substituted polyanilines and polyindoles and their antibacterial activity / L.R. Latypova, **G.S. Usmanova**, L.Y. Vasilova, V.V. Zorin, A.G. Mustafin // Chemical Papers. – 2022. – V. 77, № 1. – P. 473-483.

3. **Usmanova, G. S.** Synthesis and investigation of polymers containing aniline and indole fragments / **G.S. Usmanova**, L.R. Latypova, A.N. Andriianova, S.M. Salikhov, A.G. Mustafin // Materials Today Communications. – 2023. – V. 36. – P. 106893.

4. **Usmanova, G. S.** Preparation of copolymers based on aniline and 2[2-chloro-1-methylbut-2-en-1-yl]aniline and their application for the removal of methyl orange from aqueous solutions / **G.S. Usmanova**, L.R. Latypova, A.R. Yusupova, A.G. Mustafin // Journal of Polymers and the Environment. – 2025. – V. 33, № 3. – P. 1585-1600.

5. **Usmanova G.S.** Synthesis and characterization of polyindole derivatives for removal of organic dyes: Methyl orange and Methylene blue / **G.S. Usmanova**, M.R. Aznabaeva, L.R. Latypova, A.G. Mustafin // Journal of Applied Polymer Science. – 2025. –V. 143, № 6. – P. e58166.

6. Latypova, L.R. Synthesis of N-alkyl- and N-alkenyl-substituted polyanilines. Properties and antibacterial activity study / L.R. Latypova, **G.S. Usmanova**, L.Y. Vasilova, A.N. Andriianova, S.M. Salikhov, V.V. Zorin, A.G. Mustafin // Journal of Polymer Research. – 2023. – V. 30, № 8. – P. 315.

7. Latypova, L.R. Influence of copolymer composition on the properties of soluble poly (aniline-co-2-[2-chloro-1-methylbut-2-en-1-yl] aniline)s / L.R. Latypova, A.N. Andriianova, **G.S. Usmanova**, R.B. Salikhov, A.G. Mustafin // Polymer International. – 2023. – V. 72, № 4. – P. 440-450.

8. Mustafin, A.G. Poly [N-(2-chloroprop-2-en-1-yl) aniline]s: Synthesis, polymer analogous reaction, and Physicochemical Properties / A.G. Mustafin, L.R. Latypova, A.N. Andriianova, **G.S. Usmanova** // // Polymer Chemistry. – 2021. – V. 12, № 39. – P. 5650-5661.

Патенты на изобретение:

9. Патент Российской Федерации 2813633, МПК C08F 8/48. Способ получения поли(2-этил-3-метилиндола) / Л.Р. Латыпова, **Г.С. Усманова**, А.Н. Андриянова, А.Г. Мустафин; заявитель и патентообладатель ФГБНУ УФИЦ РАН. – № 2022127921; заявлен. 27.10.2022; опубл. 14.02.2024, Бюл. №5. – 5 с.

Материалы всероссийских и международных конференций:

10. Латыпова Л.Р. Получение и исследование поли[N-(2-хлорпроп-2-ен-1-ил)анилина] и его производных / Латыпова Л.Р., **Усманова Г.С.**, Мустафин А.Г. // XV Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные проблемы получения новых материалов: исследования, инновации и технологии»: сб. тезисов докладов. 20-22 апреля 2021 г. – Астрахань, 2021. – С. 18-21.

11. Latypova L. R. Polumer analogous transformations of new soluble high-molecular derivatives of polyanilines / Latypova L.R., **Usmanova G.S.**, Mustafin A.G. // XII International Conference on Chemistry for Young Scientists «MENDELEEV 2021». 6-10 September 2021 – Saint Petersburg, 2021. – P. 730.

12. **Усманова Г.С.** Антибактериальные свойства полианилина и его производных / Усманова Г.С., Латыпова Л.Р., Андриянова А.Н., Мустафин А.Г. // IX международная конференция «Инновации в области химии и технологии высокомолекулярных соединений»: сб. тезисов докладов. 14-15 сентября 2021 г. – Воронеж, 2021. – С. 80-83.

13. **Усманова Г.С.** Синтез (со)полимеров на основе анилина и 2-[2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил]анилина / Усманова Г.С., Федорова Е.Л., Латыпова Л.Р., Мустафин А.Г. // XVI Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные проблемы получения новых материалов: исследования, иновации и технологии»: сб.тезисов докладов. 26-28 апреля 2022 г. – Астрахань, 2022. – С.123.

14. **Усманова Г.С.** Синтез N-замещенных производных полианилина и изучение их антибактериальных свойств / Усманова Г.С., Федорова Е.Л., Латыпова Л.Р., Мустафин А.Г. // VII Всероссийская (заочная) молодежная конференция «Достижения молодых ученых: химические науки»: сб. тезисов докладов. 19-20 мая 2022 г. – Уфа, 2022. – С. 328-329.

15. Латыпова Л.Р. Синтез и исследование сенсорных свойств производных полианилина / Латыпова Л.Р., **Усманова Г.С.**, Алексеева Э.Р., Мустафин А.Г. // VI Международная конференция «Современные синтетические методологии для создания лекарственных препаратов и функциональных материалов». 7-11 ноября 2022 г. –Екатеринбург, 2022. – С. 191.

16. Латыпова Л.Р. Синтез и исследование новых производных полииндола / Латыпова Л.Р., **Усманова Г.С.**, Мустафин А.Г. // Всероссийская научная конференция с международным участием «Современные проблемы органической химии»: сб. тезисов докладов. 12-14 сентября 2022 г. – Новосибирск, 2022. – С.141.

17. **Усманова Г.С.** Изучение морфологии сополимеров анилина с 2-[2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил]анилином / Усманова Г.С., Мустафина И.А., Ягафарова А.Р., Алексеева Э.Р., Латыпова Л.Р. // VIII Всероссийская (заочная) молодежная конференция «Достижения молодых ученых: химические науки». 25-26 мая 2023 г. – Уфа, 2023. – С. 369.

18. Латыпова Л.Р. Синтез производных полианилина и полииндола и их антибактериальная активность / Латыпова Л.Р., **Усманова Г.С.**, Мустафин А.Г. // Всероссийская научная конференция «Современные проблемы органической химии». 26-30 июня 2023 г. – Новосибирск, 2023. – С. 228.

19. **Usmanova G.S.** Synthesis and properties of new copolymers for organic photovoltaics / Usmanova G.S., Latypova L.R., Mustafin A.G. // 4th International School on Hybrid, Organic and Perovskite Photovoltaics. 10-15 July 2023. – Moscow-Chernogolovka, 2023. – P.60.

20. **Усманова Г.С.** Синтез поли(анилина-со-2-[2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил]анилинов), полученных химической окислительной сополимеризацией / Усманова Г.С., Латыпова Л.Р., Мустафин А.Г. // Всероссийская конференция с международным участием «Идеи и наследие А.Е. Фаворского в органической химии». 3-6 июля 2023 г. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 230.

21. Latypova L.R. Synthesis and investigation of polymers containing aniline and indole fragments / Latypova L.R., **Usmanova G.S.**, Mustafin A.G. // 7 th International Conference «Modern Synthetic Methodologies for Creating Drugs and Functional Materials». 10-16 September 2023. – Yekaterinburg-Perm, 2023. – P. 215.

22. Латыпова Л.Р. Антибактериальная активность N-производных полианилина / Латыпова Л.Р., **Усманова Г.С.**, Мустафин А.Г. // VIII Международная конференция «современные синтетические методологии для создания лекарственных препаратов и функциональных материалов». 9-13 июня 2024 г. – Екатеринбург, 2024. – R-95.

23. **Usmanova G.S.** Study of adsorption properties of poly[2-methyl-1h-indole] derivatives / Usmanova G.S., Latypova L.R., Mustafin A.G. // XIII International

Conference on Chemistry for Young Scientists «MENDELEEV 2024». 2-6 September 2024. – St Petersburg, 2024. – P.136.

24. **Усманова Г.С.** Исследование адсорбционных свойств сополимеров на основе анилина и 2 [2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил]анилина / Усманова Г.С., Азнабаева М.Р., Перминова А.А., Латыпова Л.Р., Мустафин А.Г. // XXVIII Всероссийская конференция молодых ученых-химиков (с международным участием). 15-17 апреля 2025 г. – Нижний Новгород, 2025. – С.729.

25. Азнабаева М.Р. Определение изотермических и кинетических параметров адсорбции производными поли[2-метил-1Н-индола] / Азнабаева М.Р., Перминова А.А., **Усманова Г.С.**, Латыпова Л.Р. // X Всероссийская (очно-заочная) молодежная конференция «Достижения молодых ученых: химические науки». 22-23 мая 2025 г. – Уфа, 2025. – С.318.

26. Латыпова Л.Р. Полииндолы нового типа: получение и исследование антибактериальной активности / Латыпова Л.Р., **Усманова Г.С.**, Азнабаева М.Р. // Третья всероссийская школа-конференция по медицинской химии для молодых ученых с международным участием. 23-27 июня 2025 г. – Уфа, 2025. – С. 105.

В диссертации отсутствует заимствованный материал без ссылки на автора и (или) источник заимствования, результаты научной работы, выполненных соискателем ученой степени в соавторстве, без ссылок на соавторов.

Соответствие содержания диссертации паспорту специальности

Диссертационная работа Усмановой Г.С. соответствует паспорту научной специальности 1.4.4. Физическая химия, а именно пунктам: 1. Экспериментально-теоретическое определение энергетических и структурно-динамических параметров строения молекул и молекулярных соединений, а также их спектральных характеристик; 3. Определение термодинамических характеристик процессов на поверхности, установление закономерностей адсорбции на границе раздела фаз и формирования активных центров на таких поверхностях; пункту 12. Физико-химические основы процессов химической технологии и синтеза новых материалов.

Отрасль науки – химические науки, поскольку данное исследование направлено на изучение физико-химических свойств новых полимеров, исследование взаимосвязей «структура-свойства», а также оценка фотопроводящих, адсорбционных, антибактериальных и сенсорных характеристик.

Диссертация «Физико-химические свойства новых производных полииндола и его сополимеров и потенциал возможностей применения» Усмановой Гульсум Салаватовны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Заключение принято на заседании объединённого научного семинара Уфимского Института химии – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук.

Присутствовали на заседании 41 человек, в том числе 13 докторов наук. Результаты голосования: «за» – 41 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 13 от «8» декабря 2025 г.

Председатель объединённого
семинара УфИХ УФИЦ РАН,
д.х.н.



Сафиуллин Р.Л.

Секретарь объединённого
семинара УфИХ УФИЦ РАН,
к.х.н.



Юсупова А.Р.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Уфимский университет науки и
технологий»

д.ф.-м.н. доцент

И.Ф. Шарафуллин

« 25 » 05 20 26 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Уфимский университет науки и технологий»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Физико-химические свойства новых производных полииндола и его сополимеров и потенциал возможностей применения» выполнена на кафедре физической химии и химической экологии института химии и защиты в чрезвычайных ситуациях федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» и в лаборатории органических функциональных материалов Уфимского института химии – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (УфИХ УФИЦ РАН).

В период подготовки диссертации Усманова Гульсум Салаватовна являлась аспирантом очной формы обучения федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» по научной специальности 1.4.4. Физическая химия.

С февраля 2023 года по настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории органических функциональных материалов УФИХ УФИЦ РАН.

В 2022 году окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный университет» по направлению подготовки 04.04.01 Химия с присвоением квалификации «Магистр».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2025 году, справка об обучении - в 2026 году федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

Научный руководитель – Мустафин Ахат Газизьянович, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией органических функциональных материалов Уфимского института химии – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук.

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация Усмановой Гульсум Салаватовны на тему «Физико-химические свойства новых производных полииндола и его сополимеров и потенциал возможностей применения», представленная на соискание ученой степени кандидата химических наук по научной специальности 1.4.4. Физическая химия, является самостоятельным законченным исследованием, связанным с изучением физико-химических свойств новых производных полииндола и его сополимеров, разработкой эффективных методов их получения и выявления потенциальных областей практического применения.

Диссертационная работа Усмановой Гульсум Салаватовны является самостоятельной законченной научно-исследовательской работой и отвечает критериям п.п. 9-11, 13, 14 постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых

степеней» (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям.

В работе решены задачи изучения физико-химических свойств новых N-производных полианилина (ПАНИ), являющихся базовыми соединениями для полимераналогичных превращений, определения зависимостей физико-химических свойств синтезированных полииндолов, исследования взаимосвязей «структура-свойство» для сополимеров анилина и 2-[2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил]анилина и изучения влияния природы сомономеров на ключевые физико-химические свойства, осуществления химической модификации сополимеров и изучения их физических и химических свойств, количественной оценки адсорбционных характеристик полученных материалов, проведения количественной оценки антибактериальной активности и сенсорных характеристик синтезированных соединений.

Актуальность работы

Полииндолы, принадлежащие к классу электропроводящих полимеров с конъюгированной системой связей, занимают важное место в материаловедении благодаря уникальному комплексу физико-химических свойств. Высокая термическая стабильность, окислительно-восстановительная активность, люминесцентные характеристики и низкая скорость деградации делают полииндолы перспективными материалами для применения в органической электронике, антикоррозионных покрытиях, сорбционных процессах и биомедицинских приложениях.

В настоящее время известно несколько методов синтеза полииндолов, включая электрохимический синтез и окислительную полимеризацию в присутствии металлокомплексных катализаторов. Однако, данные методы часто не являются предпочтительными из-за ряда ограничений, таких как низкий выход целевого продукта, потеря окислительно-восстановительных свойств при осаждении полимера на электродах в процессе полимеризации, высокая стоимость реагентов, чувствительность катализаторов к кислороду и сложность проведения реакций. В связи с этим поиск эффективных и экономически целесообразных способов получения полииндолов и их

производных, а также изучение физико-химических свойств остается актуальной задачей.

Научная новизна и практическая значимость работы

В работе впервые синтезированы полииндолы с 1,5-сочлененными индольными фрагментами, для которых 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 многофункциональность 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.

Практическая значимость состоит в разработанной стратегии синтеза новых полииндолов и сополимеров анилина, позволяющая получать многофункциональные полимерные материалы с комплексом ценных физико-химических свойств. Высокая чувствительность полученных полимерных пленок к влажности и аммиаку, обусловленная изменениями в их электронной структуре и поверхностных характеристиках, открывает перспективы для разработки химических сенсоров нового поколения. Проявляемая фотопроводимость указывает на потенциал этих материалов для применения в органической фотоэлектронике, такой как фотодетекторы или активные слои солнечных элементов. Адсорбционные исследования продемонстрировали высокую адсорбционную способность поли[2-метил-1*H*-индолов] по отношению к анионным и катионным красителям, а также сополимеров анилина к метиленовому оранжевому, что свидетельствует об их пригодности

в качестве эффективных адсорбентов для экологических приложений, в частности, для очистки промышленных сточных вод. Кроме того, обнаруженная антибактериальная активность полииндолов открывает возможности для создания антимикробных покрытий и биоцидных материалов, дополняя спектр прикладных решений.

Все основные результаты, выносимые на защиту, получены соискателем лично, либо при его непосредственном участии:

Диссертационная работа Усмановой Гульсум Салаватовны на тему «Физико-химические свойства новых производных полииндола и его сополимеров и потенциал возможностей применения» соответствует п. 14 Положения о присуждении ученых степеней: - отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации; - соискатель ссылается на авторов и источники заимствования.

В работах [1, 2, 5, 8, 9] представлены результаты синтеза новых производных полииндола, исследования их физико-химических свойств и установления влияния наличия и характера заместителей на эти свойства.

В работах [3, 4, 7] описано получение новых сополимеров на основе анилина и 2-[2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил]анилина, изучены их физико-химические характеристики и выявлены зависимости свойств от мольного соотношения сомономеров. В работе [3] также продемонстрированы аналогичные закономерности для модифицированных сополимеров, содержащих фрагменты анилина и индола, после химической трансформации поли(анилин-со-2-[2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил]анилинов).

Исследованию адсорбционных свойств полученных материалов посвящены работы [1, 4, 5], в которых определены их качественные и количественные характеристики.

В работах [2, 6] изучена антибактериальная активность синтезированных соединений по отношению к микроорганизмам, рассчитаны зоны ингибирования и установлены соответствующие зависимости.

Опубликованные работы полностью отражают основное содержание диссертационной работы.

Автор принимал непосредственное личное участие в планировании и проведении исследований, обработке и интерпретации полученных данных, формулировке выводов.

Статьи опубликованы как лично, так и в соавторстве с научным руководителем и другими исследователями.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов исследования подтверждается обширными экспериментальными данными, полученными с использованием современных физико-химических методов анализа. Полученные общие выводы сопоставимы с результатами, достигнутыми другими исследователями.

Результаты работы представлены и обсуждены с опубликованием тезисов в рамках XV, XVI Международных научно-практических конференций «Фундаментальные и прикладные проблемы получения новых материалов: исследования, инновации и технологии» (Астрахань, 2021, 2022), The XII International conference on chemistry for young scientists «Mendeleev 2021» (Saint Petersburg, 2021), IX Международной конференции «Инновации в области химии и технологии высокомолекулярных соединений» (Воронеж, 2021), VII, VIII, X Всероссийской (заочная) молодежной конференции «Достижения молодых ученых: химические науки» (Уфа, 2022, 2023, 2025), Всероссийской научной конференции с международным участием «Современные проблемы органической химии» (Новосибирск, 2022, 2023), VI, VIII Международных конференций «Современные синтетические методологии для создания лекарственных препаратов и функциональных материалов» (Екатеринбург, 2022, 2024), 4th International School on Hybrid, Organic and Perovskite Photovoltaics (Moscow – Chernogolovka, 2023), Всероссийской конференции с международным участием «Идеи и наследие А.Е. Фаворского в органической химии» (Санкт-Петербург, 2023), 7th International Conference «Modern Synthetic Methodologies for Creating Drugs and Functional Materials» (Yekaterinburg-Perm, 2023), XIII International Conference

on Chemistry for Young Scientists «MENDELEEV 2024» (Saint Petersburg, 2024), XXVIII Всероссийской конференции молодых ученых-химиков с международным участием (Нижний Новгород, 2025), Третьей всероссийской школы-конференции по медицинской химии для молодых ученых с международным участием (Уфа, 2025).

Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертация Усмановой Г.С. «Физико-химические свойства новых производных полииндола и его сополимеров и потенциал возможностей применения» соответствует паспорту научной специальности 1.4.4. Физическая химия, а именно: пункту 1 - Экспериментально-теоретическое определение энергетических и структурно-динамических параметров строения молекул и молекулярных соединений, а также их спектральных характеристик; пункту 3 - Определение термодинамических характеристик процессов на поверхности, установление закономерностей адсорбции на границе раздела фаз и формирования активных центров на таких поверхностях; пункту 12 - Физико-химические основы процессов химической технологии и синтеза новых материалов.

Отрасль науки – химические науки, поскольку данное исследование направлено на изучение физико-химических свойств новых полимеров, исследование взаимосвязей «структура-свойства», а также оценка фотопроводящих, адсорбционных, антибактериальных и сенсорных характеристик.

Личный вклад автора

Автор принимал участие на всех этапах научно-исследовательского процесса: от формулировки цели, задач до выполнения экспериментальных исследований и подготовки публикаций. Все выводы основываются на данных, полученных непосредственно автором.

Синтез мономеров и полимеров был осуществлен автором в УФИХ УФИЦ РАН. Анализ состава, структуры и чистоты полученных соединений осуществлялся на сертифицированных и поверенных приборах Центра коллективного использования «Химия» УФИХ УФИЦ РАН. Свойства

полученных материалов (молекулярно-массовые характеристики, термостабильность, морфология, размер частиц и исследования изотерм адсорбции-десорбции азота) были получены в УфИХ УФИЦ РАН. Изучение адсорбционных свойств были проведены в УфИХ УФИЦ РАН.

Исследование электрохимического поведения методом циклической вольтамперометрии, фотопроводимости и сенсорных свойств были проведены на кафедрах физической химии и химической экологии института химии и защиты в чрезвычайных ситуациях и электроники и физики наноструктур физико-технического института УУНиТ. Оценка антибактериальной активности была исследована на кафедре биохимии и технологии микробиологических производств технологического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

Полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах

По теме диссертации опубликовано 26 научных трудов, из которых – 8 это научные статьи в ведущих зарубежных рецензируемых журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus; 1 патент Российской Федерации, а также 17 работ в трудах всероссийских и международных конференций.

Список основных публикаций по теме диссертации

В ведущих рецензируемых журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus:

1. Usmanova, G. S. Removal of Anionic Methyl Orange Dye from Water by Poly[2- methyl-1*H*-indole] Derivatives: Investigation of Kinetics and Isotherms of Adsorption / G.S. Usmanova, L.R. Latypova, A.G. Mustafin // The Journal of Physical Chemistry B. – 2024. – V. 128, № 17. – P. 4195-4207.

2. Latypova, L.R. Synthesis and characterization of N-substituted polyanilines and polyindoles and their antibacterial activity / L.R. Latypova, G.S. Usmanova,

L.Y. Vasilova, V.V. Zorin, A.G. Mustafin // Chemical Papers. – 2022. – V. 77, № 1. – P. 473-483.

3. Usmanova, G. S. Synthesis and investigation of polymers containing aniline and indole fragments / G.S. Usmanova, L.R. Latypova, A.N. Andriianova, S.M. Salikhov, A.G. Mustafin // Materials Today Communications. – 2023. – V. 36. – P. 106893.

4. Usmanova, G. S. Preparation of copolymers based on aniline and 2[2-chloro-1-methylbut-2-en-1-yl]aniline and their application for the removal of methyl orange from aqueous solutions / G.S. Usmanova, L.R. Latypova, A.R. Yusupova, A.G. Mustafin // Journal of Polymers and the Environment. – 2025. – V. 33, № 3. – P. 1585-1600.

5. Usmanova G.S. Synthesis and characterization of polyindole derivatives for removal of organic dyes: Methyl orange and Methylene blue / G.S. Usmanova, M.R. Aznabaeva, L.R. Latypova, A.G. Mustafin // Journal of Applied Polymer Science. – 2025. – V. 143, № 6. – P. e58166.

6. Latypova, L.R. Synthesis of N-alkyl- and N-alkenyl-substituted polyanilines. Properties and antibacterial activity study / L.R. Latypova, G.S. Usmanova, L.Y. Vasilova, A.N. Andriianova, S.M. Salikhov, V.V. Zorin, A.G. Mustafin // Journal of Polymer Research. – 2023. – V. 30, № 8. – P. 315.

7. Latypova, L.R. Influence of copolymer composition on the properties of soluble poly (aniline-co-2-[2-chloro-1-methylbut-2-en-1-yl] aniline)s / L.R. Latypova, A.N. Andriianova, G.S. Usmanova, R.B. Salikhov, A.G. Mustafin // Polymer International. – 2023. – V. 72, № 4. – P. 440-450.

8. Mustafin, A.G. Poly [N-(2-chloroprop-2-en-1-yl) aniline]s: Synthesis, polymer analogous reaction, and Physicochemical Properties / A.G. Mustafin, L.R. Latypova, A.N. Andriianova, G.S. Usmanova // Polymer Chemistry. – 2021. – V. 12, № 39. – P. 5650-5661.

Патент на изобретение:

9. Патент Российской Федерации 2813633, МПК C08F 8/48. Способ получения поли(2-этил-3-метилиндола) / Л.Р. Латыпова, Г.С. Усманова, А.Н.

Андриянова, А.Г. Мустафин; заявитель и патентообладатель ФГБНУ УФИЦ РАН. – № 2022127921; заявлен. 27.10.2022; опубл. 14.02.2024, Бюл. № 5. – 5 с.

Результаты диссертационной работы обсуждались на научных семинарах кафедры физической химии и химической экологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий». Основные положения диссертации Усмановой Г.С. представлены на конференциях международного и всероссийского уровней.

Диссертация «Физико-химические свойства новых производных полииндола и его сополимеров и потенциал возможностей применения» Усмановой Гульсум Салаватовны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по научной специальности 1.4.4. Физическая химия.

Заключение принято на заседании кафедры физической химии и химической экологии института химии и защиты в чрезвычайных ситуациях федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

Присутствовало на заседании 14 человек, в том числе 5 докторов наук.

Результаты голосования: «за» – 14 человек, «против» – 0 человек, «воздержалось» – 0 человек (протокол № 5 от 12 февраля 2026 г.).

Заместитель заведующего кафедрой
физической химии и химической экологии
института химии и защиты в чрезвычайных
ситуациях ФГБОУ ВО «Уфимский университет
науки и технологий»,
доктор химических наук, профессор

Зимин
Юрий Степанович



Зимина Ю.С.
25 03 2026 г.
Заместитель начальника общего отдела УУНИТ
Зимин Ю.С.