



Утверждаю:

Первый проректор

ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина»

/ С.В. Кортов

«09» сентября 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу

Усмановой Гульсум Салаватовны

**«ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ПОЛИИНДОЛА
И ЕГО СОПОЛИМЕРОВ И ПОТЕНЦИАЛ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук

по специальности 1.4.4. Физическая химия

Работа Усмановой Гульсум Салаватовны посвящена получению новых производных полииндолов – электропроводящих азаароматических полимеров, которые обладают такими полезными свойствами как высокая термическая стабильность, окислительно-восстановительная активность, низкая скорость деградации и перспективные фотолюминесцентные свойства. Применимость индолов простирается на создание материалов для органической электроники, антикоррозионных и сорбционных приложений, а также биоматериалов. В литературе представлено лишь несколько методов синтеза полииндолов, в том числе с использованием окислительных реакций в присутствии металлокомплексных катализаторов, а также в условиях электролиза. Большинство методов не являются универсальными вследствие низкого выхода целевого продукта, потери окислительно-восстановительных свойств, например, при осаждении полимера на электродах в процессе полимеризации, малой доступности и/или высокой стоимости реагентов, низких TON катализаторов, например, из-за отравления кислородом и в целом сложности проведения реакций. С другой стороны, анилины являются прекурсорами индолов и представляют собой дешевое и доступное сырье для получения данных гетероциклов, соответственно, полианилины (ПАНИ) и их сополимеры могут быть использованы для получения полииндолов посредством, например, полимераналогичных превращений, в частности, внутримолекулярной циклизации.

Однако, такого рода подходы ранее не изучались. В связи с этим поиск эффективных и экономически целесообразных способов получения полииндолов и их производных, а также изучение физико-химических свойств полученных полимеров остается **актуальной задачей**.

Постулированная диссертантом **цель диссертационной работы** связана с изучением физико-химических свойств новых производных полииндола и его сополимеров, разработка эффективных методов их получения и выявление потенциальных областей практического применения.

Для достижения цели диссертантом предполагалось решение **следующих основных задач**:

1. Изучение ключевых физико-химических свойств новых N-производных ПАНИ, являющихся базовыми соединениями для полимераналогичных превращений.
2. Определение зависимостей физико-химических свойств синтезированных полииндолов (растворимость, морфология, термическая стабильность, удельная площадь поверхности, распределение частиц по размерам) от их молекулярной структуры, с целью установления корреляций, определяющих их функциональные характеристики.
3. Исследование взаимосвязей «структура-свойство» для сополимеров анилина и 2-[2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил]анилина, полученных путем сополимеризации с различным соотношением мономеров. Изучение влияния природы сомономеров на ключевые физико-химические параметры, такие как растворимость, термическая стабильность, морфология, оптические и электрохимические свойства. Осуществление химической модификации сополимеров и детальный анализ полученных изменений физических и химических свойств.
4. Количественная оценка адсорбционных характеристик полученных материалов. Идентификация кинетических моделей, описывающих скорость адсорбции, и построение изотерм адсорбции для определения равновесных параметров. Термодинамическая характеристика адсорбционного процесса с расчетом соответствующих энергетических параметров.
5. Проведение количественной оценки антибактериальной активности и оценка сенсорных характеристик синтезированных соединений.

Достоверность результатов исследования подтверждается представленными диссертантом подробными экспериментальными данными, полученными с использованием современных физико-химических методов анализа, а также сопоставимостью выводов с результатами, достигнутыми другими исследователями.

Диссертация построена классическим образом и состоит из введения, литературного обзора, обсуждения результатов и экспериментальной части. Материал диссертации изложен на 169 страницах машинописного текста. Работа содержит 15 схем, 24 таблицы и 61 рисунок. Список литературы включает 189 наименований.

Во введении диссертантом обоснована актуальность, научная новизна и практическая значимость и заявлены цели и задачи настоящего диссертационного исследования.

В первой главе проведён детальный анализ литературных источников по теме диссертационного исследования. Диссертантом подробно рассмотрены основные методы получения полииндола и его производных, проанализированы их физико-химические свойства, представлены области применения соединений подобного рода. Обзор изложен на 33 страницах и содержит 135 ссылку на первоисточники. По итогам литературного обзора диссертантом сформулированы ключевые выводы, касающиеся методов получения полииндолов и их ключевых свойств, обобщены результаты анализа перспектив применения полииндолов, а также указаны перспективные направления для дальнейших исследований, направленных на разработку эффективных методов получения полииндолов и поиску областей применения полииндолов.

Во второй главе (обсуждение результатов) представлены собственные результаты исследований диссертанта и их обсуждение.

На начальном этапе диссертантом была изучена возможность получения мономерных индолов из соответствующих анилинов реакцией с легкодоступным 2,3-дихлорпропеном-1 с последующей циклизацией *N*-(2-хлорпроп-2-ен-1ил)анилинов в индолы в среде полифосфорной кислоты. Опираясь на полученные результаты, диссертантом было осуществлено получение полианилинов химической окислительной полимеризацией *N*-(2-хлорпроп-2-ен-1ил)анилинов в присутствии персульфата аммония. Достоверность структуры и состава таким образом полученных полимеров **PANI-1-PANI-5** подтверждена результатами ЯМР-, ИК-, УФ-спектроскопии и элементного анализа, а молекулярно-массовые характеристики исходных полианилиновых производных и продуктов, полученных после циклизации, были оценены методом гель-проникающей хроматографии (ГПХ).

Далее, опираясь на успешный опыт синтеза индолов из *N*-(2-хлорпроп-2-ен-1ил)анилинов диссертантом был осуществлен синтез соответствующих полииндолов **PIn-1-PIn-5**. Для подтверждения структуры полииндолов диссертантом использовались данные ЯМР-, ИК-, УФ-спектроскопии. Так, в ЯМР ¹H спектрах наблюдалось значительное отличие положения основных пиков резонанса протонов ключевых

фрагментов полииндолов в сравнении с ПАНИ. В ИК-спектрах диссертантом наблюдались полосы поглощения, характерные для индолов. Наконец, в УФ-спектрах **PANI-1-PANI-5** диссертантом фиксировались характерные для ПАНИ полосы поглощения: π - π^* переходов в бензоидных звеньях (257-326 нм) и n - π^* экситонных переходов в хиноидных фрагментах (500-600 нм), тогда как в спектрах полииндолов **PIn-1-PIn-5** наблюдался один выраженный максимум поглощения около 280 нм, типичный для полииндольных структур. Согласно данным СЭМ, полученным диссертантом, PANI-1, PANI-4 и PANI-5 формируют сферические структуры. Для PANI-2 и PANI-3 характерна листообразная морфология, а для полииндолов PIn-1 – PIn-5 — пластинчатая; при этом морфология образцов внутри каждой из двух последних групп является схожей.

Также диссертантом был осуществлен термогравиметрический анализ **PIn-1-PIn-5**, который выявил трехстадийный характер разложения (первый этап (182-193 °С, ~9% потери массы, второй (193-749 °С) и третий (749-972 °С)), анализ изотерм адсорбции-десорбции азота, согласно которому **PIn-1-PIn-5** являются материалами IV типа адсорбции с удельной поверхностью 5.6-10.8 м²/г и диаметр пор ~3.9 нм (что указывает на наличие мезопористости), а также исследование размера частиц методом лазерной дифракции, которое показало данные от 16.24-59.65 мкм, причем для **PIn-1** (36.60 мкм), **PIn-2** (30.10 мкм) и **PIn-3** (59.65 мкм соответственно) диссертантом наблюдалось формирование крупных частиц с выраженной агломерацией, а для **PIn-4** (21.0 мкм) и **PIn-5** (16.24 мкм) диссертантом наблюдалась более компактная и упорядоченная морфология с менее агломерированными частицами.

Диссертантом была исследована фотофизическая активность **PANI-1-5** и полииндолов **PIn-2,4** и было показано, что при УФ-облучении данные полимеры демонстрируют рост фотопроводимости до 11 500 нм (**PANI-1**) и 5 500 (**PIn4**) в сравнении с темновой проводимостью.

На следующем этапе диссертантом разработан метод синтеза сополимеров **P1-P9** посредством взаимодействия анилина и 2-(2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил)анилина в различных соотношениях. Структура и состав полученных сополимеров **P1-P9** была доказана на основании данных ¹H и ¹³C ЯМР-, ИК- и УФ-спектроскопии и элементного анализа. Соотношение анилина и орто-алкениланилина в мономерных звеньях определяли путем анализа их интегральной интенсивности спектре ЯМР ¹H.

В УФ-спектрах **P1-P9** диссертантом фиксировалось три пика поглощения: π - π^* переход бензоидных колец (299-314 нм), полоса поглощения катион-радикалов (430-438 нм) и полоса возбуждения n - π^* или межзонного переноса заряда (621-660 нм), причем повышение содержания фрагмента 2-(2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил)анилина вызывало

снижение интенсивности поглощения при 600 нм ослабевает, что происходит из-за снижения содержания хиноидных звеньев. Одновременно фиксировался гипсохромный сдвиг максимума поглощения с 660 до 519 нм, что, по мнению диссертанта, связано со стерическим эффектом хлорпентильной группы, вызывающей торсионную деформацию и уменьшение сопряжения.

Изменение содержания фрагмента 2-(2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил)анилина также влияет на морфологию сополимеров **P1-P9**: для сополимеров **P1** и **P2** (содержание анилин: 2-(2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил)анилин 5:1 и 2.3:1) диссертантом фиксировалось образование глобул, характерных для ПАНИ. Для **P3** (2:1), **P4** (1.9:1), **P5** (0.9:1), **P6** (1:1.7) диссертантом наблюдалась однородная сферическая зернистая морфология. А при дальнейшем повышении концентрации 2-(2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил)анилина наблюдалась трансформация сферической структуры в неправильную, округлую морфологию, что, по мнению диссертанта, обусловлено стерическим влиянием разветвленных боковых цепей.

Электропроводящие свойства сополимеров **P1-P9** диссертантом были оценены методом циклической вольтамперометрии (0.2 М H₂SO₄, трехэлектродная электрохимическая ячейка, хлорсеребряный электрод сравнения). Было показано, что увеличение доли 2-(2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил)анилина приводит к снижению электропроводности сополимера (из-за низкой проводимости алкенил-замещенных производных ПАНИ), что выражается в уменьшении пиков, а также смещение потенциалов окисления в положительную сторону, что, по мнению диссертанта, обусловлено увеличением торсионного угла между фенильными кольцами.

Для оценки термической стабильности сополимеров диссертантом были проведены эксперименты с использованием термогравиметрического анализа, по результатам которого была выявлена трехстадийная деградация всех сополимеров, но при этом для сополимеров **P5-P9** с максимальным 2-(2-хлор-1-метилбут-2-ен-1-ил)анилина диссертантом наблюдалась повышенная термическая стабильность (около 50% массы при 700 °С), что, по мнению диссертанта, обусловлено меньшей степенью легирования и, как следствие, низким содержанием связанной воды, что не наблюдалось в случае сополимеров **P1-P4**.

В рамках работы диссертантом была проведена оценка площади поверхности сополимеров **P1-P5** методом БЭТ на основе изотерм адсорбции-десорбции азота, которые классифицируются как изотермы типа IV и было выявлено, что удельная площадь поверхности БЭТ напрямую зависит содержания анилина в составе сополимеров: снижение содержания анилина приводит к уменьшению удельной поверхности от 50.94

м²/г (P1) до 6.77 м²/г (P5). Анализ распределения пор по размерам (метод ВЖН) подтвердил мезопористую структуру сополимеров P1-P9, показав суммарный объем пор 0.019-0.152 см³/г и диаметр пор 10-19 нм при среднем размере частиц в пределах 21-36 мкм.

Сополимеры P1-P9, являясь исходными полимерными матрицами, были химически модифицированы с использованием ПФК с образованием сополимеров S1-S9, содержащих в своей структуре фрагменты анилина и индола. Строение S1-S9 диссертантом было идентифицировано с применением ИК-, УФ- и ЯМР-спектроскопии. Согласно данным УФ-спектроскопии S1-S4 с преобладанием анилиновых звеньев присутствуют два максимума поглощения (290-299 нм и 530 нм), тогда как сополимеры S5-S9 проявляют один максимум поглощения при 263-300 нм.

Различия в составе полимеров S1-S9 проявляется и их различной морфологии: для полимеров S1-S5 наблюдалась пластинчатая структура из неправильных частиц различной формы и размеров, тогда как повышение содержания индолов, в случае полимеров S6-S9, вызывает их сильную агломерацию, а их частицы хорошо взаимосвязаны друг с другом.

На основании данных термогравиметрического анализа диссертантом было зафиксировано повышение термостабильности сополимеров S1-S9 (увеличение температуры разложения до 877 °С) по сравнению с исходными полимерами P1-P9 (температура разложения 728 °С). По мнению диссертанта, это дополнительно свидетельствует в пользу образования полииндолов.

Далее диссертантом были исследованы фотопроводящие свойства сополимеров P1-P9 и S1-S9 при мощности излучения 3500 мВт/см² и для S-6 и S-8 показана отчетливая зависимость тока от напряжения. Для сополимера S-9 диссертант наблюдал наиболее выраженную реакцию на УФ излучение.

Для оценки практической применимости полииндолы PIn-1-PIn-5 были исследованы на предмет адсорбционной способности по отношению к метиловому оранжевому (МО) и метиленовому синему (МС) при оптимальной массе адсорбента 80 мг (МО) и 30-40 мг (МС) при этом адсорбция МО полииндолами протекала в нейтральной среде. Согласно диссертанту, для полииндолов PIn-1 и PIn-2 для МС оптимальной была нейтральная среда, тогда как для остальных производных оптимальный рН составил 12. Диссертантом было оценено время, необходимое для достижения адсорбционного равновесия, что составило 300 мин для МО и 720 мин для МС. Для исследования кинетики удаления МО и МС из растворов диссертантом использовались модели псевдопервого и псевдвторого порядков, а для оценки параметров моделей использовались как линейные, так и нелинейные методы. При этом в работе приведены результаты, полученные нелинейным методом.

Согласно диссертанту, изотерма Ленгмюра лучше всего описывает адсорбционное равновесие красителей на производных полииндола **PIn-1-PIn-5**, что подтверждается более высокими значениями коэффициентов регрессии R^2 (0.968-0.999 для МО и 0.983-0.997 для МС) по сравнению с изотермой Фрейндлиха (0.956-0.998 для МО и 0.972-0.997 для МС). Были также рассчитаны максимальные адсорбционные емкости, которые составили 21.2-22.5 мг/г (МО) и 46.0-87.2 мг/г для (МС).

В продолжение исследований диссертантом было рассчитано изменение свободной энергии Гиббса (ΔG°) для оценки термодинамики процесса и влияния температуры на адсорбцию красителей МО и МС на полимерах **PIn-1-PIn-5**, которое варьировалось от -1.9 до -15.3 кДж/моль для МО и от -5.8 до -22.8 кДж/моль для МС.

Таким образом, диссертантом наглядно продемонстрирована способность полииндолов **PIn-1-PIn-5** эффективно адсорбировать как анионные (МО), так и катионные (МС) красители с максимальной емкостью 8.4-22.5 мг/г (МО) и 46.0-87.2 мг/г (МС). Эффективность адсорбции зависела от времени контакта, pH, начальной концентрации и температуры. Также диссертантом было изучено влияние ионной силы (создаваемой добавлением NaCl) на адсорбцию МО и МС полимерами **PIn-1-PIn-5** и было показано, что увеличение концентрации NaCl приводит к снижению эффективности удаления красителя с поверхности полимеров. Согласно диссертанту, при увеличении концентрации ионов Cl⁻ происходит блокирование положительно заряженных участков полимера, что ослабляет электростатическое взаимодействие с красителем. Наконец, для **PIn-5** диссертантом продемонстрировано сохранение значительной адсорбционной способности: после 5 циклов использования степень удаления МС составляла 57%.

Для сравнения диссертантом была оценена способность полимеров **P1-P4** по удалению МО, которая оценивалась при дозировке адсорбентов от 0.01 до 0.1 г и начальной концентрации красителя 20 мг/л. При дозировке 0.01 г время достижения адсорбционного равновесия варьировалось от 45 до 480 мин в нейтральной среде. Согласно диссертанту, как и для полииндолов, модель Ленгмюра лучше описывает сорбционные свойства сополимеров **P1-P4**, что подтверждается высокими значениями коэффициентов регрессии R^2 от 0.989 до 0.999. Рассчитанные значения RL по модели Ленгмюра для образцов **P1-P4** составляют 0.02-0.22, что, по мнению диссертанта, указывает на благоприятную адсорбцию МО на означенные полимеры.

При расчете значений ΔG° были получены отрицательные значения, что, по мнению диссертанта, свидетельствует в пользу самопроизвольности процесса адсорбции данного красителя на **P1-P4**. С увеличением температуры наблюдалось снижение значений ΔG° , что, согласно диссертанту, свидетельствует о том, что процессы удаления

более благоприятны при повышенных температурах. Из-за того, что рассчитанное в работе абсолютное значение изменения свободной энергии находится между физической адсорбцией и хемосорбцией, диссертантом сделан вывод о том, что процесс адсорбции МО полимерами **P1-P4** можно рассматривать как физическую адсорбцию, усиленную химическим воздействием.

Таким образом, диссертантом наглядно показано, что, как и полииндолы, сополимеры **P1-P4** являются высокоэффективными сорбентами для МО, степень удаления которого достигает 99.8%, рассчитанные максимальные адсорбционные емкости колеблются в диапазоне от 108.6 до 147.3 мг/г. Кинетика процесса описывается моделью псевдвторого порядка, в то время как изотерма следует модели Ленгмюра. Исследование влияния ионной силы на адсорбцию МО сополимерами **P1-P4** показало, что возрастание концентрации соли (NaCl) приводит к снижению адсорбционной ёмкости данных полимеров, подобно тому, как это наблюдалось диссертантом в полииндолах. При оценке регенерации полимеров **P1-P4** диссертантом было показано, что сополимеры **P1-P3**, подобно полииндолам остаются достаточно стабильными даже после 5-го цикла, регенерации, в то время как у сополимера **P4** эффективность адсорбции снижалась до 30.3% на 5-ом цикле, однако, емкость оставалась прежней с увеличением числа циклов десорбции.

Для расширения прикладных свойств диссертантом были исследованы N-замещенные производных ПАНИ в качестве резистивных сенсорных материалов для детектирования влажности и аммиака. Так, для **PANI-4**, обладающий метоксигруппой в *орто*-положении и глобулярной морфологией диссертантом зафиксирован наибольший отклик на влажность, тогда как для **PANI-2**, обладающего неоднородной структурой с высокой степенью дефектов наблюдалась повышенная чувствительность к аммиаку, который вызывает дедопирование полимера. Также диссертантом изучены сополимеры **P1-P9**. На первом этапе оценили проводящие свойства тонких пленок, в результате чего проводимость обнаружена только у сополимеров **P1** и **P2**, что определило их выбор для последующих экспериментов. При проверке сенсорного отклика к парам NH_3 диссертантом фиксировалось снижение проводимости образцов при контакте с NH_3 вследствие их дедопирования при осложнении процесса параллельной деградацией полимеров из-за окисления и влияния влажности. При снижении концентрации NH_3 диссертантом фиксировалось кратковременное восстановление проводимости с последующим падением из-за необратимой деградации пленок. Согласно диссертанту, проводимость пленок ПАНИ сохранялась в течение 24 ч, после чего исчезала.

Также диссертантом изучалась зависимость электропроводности сополимеров **P1-P5** от относительной влажности воздуха и было найдено, что полимер **P1** наиболее проводим во влажной среде, что, по мнению диссертанта, связано с набуханием полимера и, как следствие, разворачиванием компактной структуры цепи и облегчение перенос заряда из-за повышения подвижности слабосвязанных допирующих ионов.

Для расширения практического применения изучаемых полимеров диссертантом были сформированы однородные тонкие пленки для использования в качестве активного слоя резистивных датчиков газов. Установлено, что электропроводность пленок сополимеров зависит от содержания анилина в их структуре.

На заключительном этапе диссертантом была исследована антибактериальная активность синтезированных полимеров *in vitro* с использованием диско-диффузионного метода против грамположительных *Bacillus subtilis* и грамотрицательных *Pseudomonas aureofaciens* бактерий. Согласно диссертанту, исходный полимер **PANI-1** показал значительную активность, подавляя рост *B. subtilis* на 35.7 мм и *Ps. aureofaciens* на 26.7 мм.

Введение метильной группы (**PANI-2-3**) снижало, а введение метоксигруппы (**PANI-4-5**), наоборот, существенно усилило антибактериальные свойства в отношении обоих типов бактерий. Аналогичное поведение наблюдалось для полииндолов. В целом диссертантом найдено, что полученные полимеры оказали большее бактерицидное действие на грамотрицательные бактерии по сравнению с грамположительными.

Таким образом, все цели диссертационной работы достигнуты, а поставленные задачи диссертантом были выполнены.

Во третьей главе (экспериментальная часть) представлены методики получения полимеров на основе ПАНИ, а также полииндолов на их основе, описание методов физико-химического анализа, методы оценки электрохимических свойств материалов, методы оценки поверхностных свойств, а также расчета сорбционных характеристик материалов в отношении адсорбции красителей. Полимеры были получены методом классической окислительной полимеризации мономеров под действием персульфата аммония. Полученные полимеры были охарактеризованы методами электронной микроскопии, 1D и 2D ЯМР ^1H и ^{13}C -спектроскопии, УФ-, ИК- Фурье-спектроскопии, элементным анализом. Оценка молекулярного веса полимеров проводилась методом гелепроникающей хроматографии. Также был осуществлен анализ размера частиц методом лазерной дифракции и термогравиметрические измерения. Таким образом, **достоверность полученных в диссертационной работе результатов не вызывает сомнения.**

Научная новизна исследования связана со следующим: 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 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 физикохимическими свойствами, в частности, продемонстрировано, что повышение содержания индольных звеньев приводит к увеличению фотопроводимости.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в следующем: Разработанная стратегия синтеза новых полииндолов и сополимеров анилина позволяет 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-1H-индолов] по отношению к анионным и катионным красителям, а также сополимеров анилина к метиловому 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.

При прочтении автореферата и диссертационной работы возникают следующие замечания и вопросы:

По оформлению диссертации:

1. В автореферате и диссертации некоторые ссылки в списке литературы приведены не в полном соответствии с ГОСТ (имеются ошибки в оформлении).

По содержанию диссертации и автореферата:

1. На стр. 22 (1 строка после схемы 1.3) диссертантом ошибочно указано, что электроспиннинг является методом синтеза полииндолов. На самом деле данная техника используется с целью влияния на организацию волокон уже полученного полимера (в данном случае полииндола);
2. В тексте диссертации встречаются несогласованные предложения: стр. 34, 1 строка после рисунка 1.9 и т.д.
3. Присутствуют неудачные выражения и термины: стр. 34 «фтор- и бром-заместители», «хлорзаместитель»; стр. 40 «электропряденный»; стр. 76, 7 строка снизу «поглощение ...становится все слабее и слабее..» (правильно: постепенно снижается);
4. Рисунок 2.9 малоинформативен;
5. Значения M_n и M_w диссертант представляет в г/моль. Более употребимо обозначение в дальтонах (Да).

Вопросы:

1. Согласно диссертанту, определение молекулярной массы PANI-1, а также полииндолов методом ГПХ (стр. 64) оказалось затруднительным из-за их низкой растворимости в ТГФ. Не рассматривалась ли диссертантом проведение экспериментов с использованием ДМФА в качестве растворителя?
2. На стр. 91 текста диссертации написано «В экспериментах с МО использовали навеску 80 мг адсорбента, в то время как для МС масса адсорбента варьировалась в пределах 30-40 мг». Почему такая разница? Как обосновываете выбор разных дозировок?
4. В таблице 2.10 (стр. 95) для некоторых образцов при адсорбции МО коэффициент регрессии модели псевдопервого порядка составляет всего 0.544. Это очень низкий коэффициент, указывающий на то, что модель вообще не работает. Не говорит ли это о том, что механизм адсорбции МО на полииндолах принципиально отличается от того, что вы предполагаете? Почему вы всё равно рассматриваете эту модель?
3. На стр. 105 написано, что образцы P5–P9 демонстрируют более низкую эффективность по сравнению с другими исследованными материалами. Каковы основные структурные или физико-химические причины этого явления?
5. Рассматривалась ли применимость полученных полимеров для абсорбирования нейтральных молекул, например, нитросоединений, тетрациклиновых антибиотиков, антрахиноновых красителей и др.?

Указанные вопросы и замечания ни коим образом не умаляют достоинств данной работы.

Содержание автореферата полностью отражает содержание диссертационной работы, результаты которой опубликованы в виде 8 статей в рецензируемых научных

журналах, входящих в базы данных Web of Science и Scopus, 1 патента РФ на изобретение, а также 17 тезисов докладов, представленных на российских и международных конференциях.

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании Кафедры Органической и биомолекулярной химии ХТИ Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», протокол № 8(107) от 8 июня 2026 г.

Таким образом, диссертационная работа Усмановой Гульсум Салаватовны «Физико-химические свойства новых производных полииндола и его сополимеров и потенциал возможностей применения» по своей научной новизне, значимости и объему полученных данных полностью соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. (в действующей редакции), а ее автор, Усманова Гульсум Салаватовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4.Физическая химия.

Профессор Кафедры Органической и биомолекулярной химии ХТИ Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» д.х.н. по специальности 1.4.3. (02.00.03) Органическая химия, доцент

Носова
Эмилия Владимировна

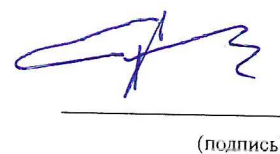


(подпись)

«9» июня 2026 г.

Заведующий Кафедрой Органической и биомолекулярной химии ХТИ Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» д.х.н. по специальности 1.4.3. (02.00.03) Органическая химия,

Русинов
Владимир Леонидович



(подпись)

«9» июня 2026 г.


профессор, член-корреспондент РАН

Почтовый адрес: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», ХТИ, кафедра Органической и биомолекулярной химии, тел. +7(343)3754501, email: v.l.rusinov@urfu.ru, сайт: www.urfu.ru

Я, Носова Эмилия Владимировна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой Усмановой Гульсум Салаватовны, и их дальнейшую обработку.

 / Носова Э.В.


Я, Русинов Владимир Леонидович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой Усмановой Гульсум Салаватовны, и их дальнейшую обработку.

 / Русинов В.Л.

Подписи Носовой Э.В. и Русинова В.Л. заверяю

Ученый секретарь УрФУ, к.т.н., доцент



 / Морозова В.А.