

УДК 547.541.2

DOI: 10.69537/VKNPIRAN.2024.18.3.001

## ПОЛИМЕРНЫЕ ОСНОВАНИЯ ШИФФА: ПОЛУЧЕНИЕ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

© Мамедова Парвин Шамхал гызы (а), Бабаев Эльбей Расим оглу (b),  
Мехдиева Лала Ашраф гызы (с)

- (a) Институт Химии Присадок Министерства Науки и Образования, доктор химических наук, профессор, зав. лаборатории «Смазочно-охлаждающие жидкости»,  
[parvin\\_mammadova@mail.ru](mailto:parvin_mammadova@mail.ru), Баку
- (b) Институт Химии Присадок Министерства Науки и Образования, кандидат химических наук, доцент, вед.н.с. лаборатории «Защитные органические материалы»,  
[elbeibabaev@yahoo.de](mailto:elbeibabaev@yahoo.de), Баку
- (с) Институт Химии Присадок Министерства Науки и Образования, докторант лаборатории «Смазочно-охлаждающие жидкости», [lala-mekhdiyeva@mail.ru](mailto:lala-mekhdiyeva@mail.ru), Баку

**Аннотация.** Полимеры на основе азометинов (оснований Шиффа) обладают весьма широким спектром практического применения и находят разнообразное использование в тех или иных сферах производства. В первую очередь, следует отметить их жидкокристаллические, оптические и электропроводящие свойства. Наличие этих свойств полиоснований Шиффа создает предпосылки для их использования в полупроводниковой и оптической промышленности. В то же время имеются сообщения о применении полиазометинов в фармацевтической химии в процессе создания ряда лекарственных препаратов. В представленной работе нами рассмотрены основные методы синтеза наиболее важных полимеров на основе азометинов, показаны важнейшие области их практического применения, а также отмечены результаты собственных исследований авторов.

**Ключевые слова:** основания Шиффа, азометины, полимеры, иминная группа, степень дисперсности, поликонденсация.

## SHIFF BASES POLYMERS – RECEIVING AND APPLICATION FIELDS

© Mammadova Parvin Shamkhal (a), Babayev Elbey Rasim (b),  
Mekhdiyeva Lala Ashraf (c)

- (a) Institute of Chemistry of Additives of Ministry of Science and Education, doctor of chemical sciences, professor, head of laboratory «Cutting fluids »,  
[parvin\\_mammadova@mail.ru](mailto:parvin_mammadova@mail.ru), Baku
- (b) Institute of Chemistry of Additives of Ministry of Science and Education, candidate of chemical sciences, docent, leading researcher of laboratory «Protective organic materials»,  
[elbeibabaev@yahoo.de](mailto:elbeibabaev@yahoo.de), Baku
- (c) Institute of Chemistry of Additives of Ministry of Science and Education, doctoral student of laboratory «Cutting fluids», [lala-mekhdiyeva@mail.ru](mailto:lala-mekhdiyeva@mail.ru), Baku

**Abstract.** Polymers based on azomethines (Schiff bases) have a very wide range of practical applications and find a variety of uses in various areas of production. First of all, their liquid crystalline, optical and electrically conductive properties should be noted. The presence of these properties of Schiff polybases creates the prerequisites for their use in the semiconductor and optical industries. At the same time, there are reports of the use of polyazomethines in pharmaceutical chemistry in the process of creating a number of drugs. In the presented work, we reviewed the main methods for the synthesis of the most important polymers based on azomethines, showed the most important areas of their practical application, and also noted the results of the authors' own research.

**Key words:** Schiff bases, azomethines, polymers, imine group, degree of dispersity, polycondensation.

Полимеры на основе оснований Шиффа главным образом получают поликонденсацией диаминов с диальдегидами. Однако поликонденсация азометиновых мономеров может протекать и по другим функциональным группам. В ходе поликонденсации нелинейных азометинов, а также оснований Шиффа с длинными алифатическими фрагментами могут образовываться как линейные полимеры, так и циклические олигомеры. Кроме того, полиоснований Шиффа могут быть получены поликонденсацией мономеров, в составе которых уже имеется азометиновая группа  $-C=N-$ . Следует отметить, что полимеры на основе азометинов обладают рядом ценных свойств, таких как термостойкость, жидкокристалличность, тенденция к образованию волокон, оптически и люминесцентные свойства, способность к образованию хелатов и электропроводность. В связи с большим практическим интересом к этому классу соединений необходима разработка новых эффективных методов синтеза полиазометинов, а также дальнейшее определение новых областей их практического применения. В этой работе нами рассмотрены основные методы синтеза и области применения наиболее важных полиоснований Шиффа, а также показаны результаты собственных исследований.

Так, в работе [1] основание Шиффа было синтезировано реакцией 4-карбоксобензальдегида и 4-амино-3-метила. Затем полученное основание Шиффа воздействовали ароматическими и алифатическими дигалогенными соединениями в среде аргона и получали полимеры, содержащие как сложноэфирные, так и эфирные группы. Для структурного анализа синтезированных веществ были использованы методы ИК-Фурье и ЯМР-анализа, для измерения - методы ТГ-ДТА и ДСК. Кроме того, были проведены электрохимические измерения и измерения электропроводности. Авторы отмечают, что ароматические иминные полимеры обладают высокой термостойкостью, низкой запрещенной зоной и полупроводниковыми свойствами. В этом исследовании ожидается, что синтезированные новые виды полимеров будут обладать высокой термостойкостью с эластичными алифатическими и сопряженными ароматическими группами. Также планируется изучить влияние присутствия эфирных связей и сложноэфирных групп в основной цепи полимеров на некоторые физические и термические свойства.

В работе [2] сообщается о синтезе и характеристике новых перфторированных органических полимеров с линкерами на основе азометина с использованием нуклеофильного ароматического замещения. Полимеры синтезированы путем внедрения декафтордифенильных и гексафторбензольных линкеров с дифенолами в основную среду. Варьирование линкеров позволило синтезировать полимеры с различным содержанием фтора и азота.

Полимеры с высоким содержанием фтора были слабо растворимы в ТГФ и имели молекулярную массу от 4886 до 11 948 г/моль. Все полимеры обладают термической стабильностью в диапазоне 350–500 °С, что можно объяснить их структурной геометрией, содержанием элементов, разветвлением и сшивкой. Например, сшитые полимеры с высоким содержанием азота DAB-Z-1h и DAB-Z-1O более стабильны, чем полимеры на основе азометина. Сшивку характеризовали измерениями пористости. Полимер на основе азометина показал самую высокую площадь поверхности 770 м<sup>2</sup>/г с объемом пор 0,35 см<sup>3</sup>/г, тогда как полимер на основе азометина с открытой цепью показал самую низкую площадь поверхности 285 м<sup>2</sup>/г с объемом пор 0,0872 см<sup>3</sup>/г. Пористые структуры с различной гидрофобностью исследованы в качестве адсорбентов для разделения водно-бензольных и водно-фенольных смесей и селективного связывания газов метана и углекислого газа из воздуха. Для разделения бензола пригодны наиболее гидрофобные полимеры, содержащие декафтордифенильный линкер, а лучшие значения поглощения метана составляют 6,14 и 3,46 мг/г для DAB-Z-1O и DAB-A-1O соответственно. С другой стороны, DAB-Z-1h с самой высокой площадью поверхности и богатым содержанием азота зарегистрировал самое высокое поглощение CO<sub>2</sub> при 298 К (17,25 мг/г).

Изучены полиазометины, включающие фосфатную и силановую группы [3]. На первом этапе в результате реакции конденсации диамина и альдегида были синтезированы два мономера основания Шиффа — СБ с двумя гидроксильными функциональными группами. Затем основания Шиффа полимеризовали путем отщепления HCl между гидроксильными группами СБ и хлором фенилдихлорфосфата (P) или дихлордиэтилсилана (Si) с получением по два разных полиазометина для каждого образца. ИК-Фурье, <sup>1</sup>H-ЯМР, <sup>13</sup>C-ЯМР и термический анализ использовали для характеристики синтезированных СБ, P-полиазометинов и Si-полиазометинов. Значения оптической запрещенной зоны (E<sub>g</sub>) синтезированных P-полиазометинов и Si-полиазометинов рассчитывали с помощью УФ-Вид спектрофотометра. В эту работу также входило изучение влияния растворителей на абсорбцию P-полиазометинов и Si-полиазометинов. Низкая ширина запрещенной зоны синтезированных полиазометинов может быть оценена как полупроводниковый материал для производства электронных и оптоэлектронных материалов. Измерения фотолюминесценции (ФЛ) показали, что Psingle BondP1 дает зеленовато-желтое цветовое излучение при возбуждении синим светом с длиной волны 480 нм с квантовым выходом 16,2%, хотя ответ Single BondP1 обладает свойством излучать белый свет. Кроме того, Psingle BondP2 обладал свойством многоцветного излучения, а Single BondP2 обладал свойством излучать белый свет. Никаких явных изменений флуоресценции не наблюдалось в течение 3600 с в тех же условиях, что свидетельствует о стабильности ФЛ-излучения Psingle BondP1, Single BondP1, Psingle BondP2 и Single BondP2 в зависимости от длины волны возбуждающего света. Термические свойства синтезированных полиазометинов показали, что они являются термостабильными материалами до 300 °С. Остаточное содержание P-полиазометинов и Si-полиазометинов наблюдалось в пределах от 39,8% до 64,7% при 1000 °С.

Низкотемпературной конденсацией *m*-фенилендиамина и различных ароматических альдегидов (бензальдегида, *m*-, *o*-нитробензальдегида, *n*-диэтиламинобензальдегида, *o*-, *n*-гидроксибензальдегида и 4-гидрокси-3,5-ди-*трет*-бутилбензальдегида) в среде этилового спирта синтезированы новые азометиновые соединения [4]. С помощью спектральных методов и элементного анализа подтверждено строение полученных азометино-

вых соединений. Установлено, что облучение азометиновых соединений УФ-светом с длиной волны 300-330 нм приводит к их эмиссии. Люминесцентные свойства полученных соединений обусловлены наличием в структуре молекулы хромофорных азометиновых групп. В частности,  $\pi$ -электроны азометиновых связей могут подвергаться облучению на разные энергетические уровни, сопровождающемуся флуоресценцией. Показано, что синтезированные азометиновые соединения способны к окислительной полимеризации. На основе азометиновых соединений в растворе соляной кислоты синтезированы полимеры с сопряженными связями, обладающие низкомолекулярными характеристиками. Показано, что окислительная полимеризация азометинов протекает через медленную (одноэлектронный перенос) и быструю (рекомбинация катион-радикалов) стадии.

Реакцией поликонденсации в растворе терефталальдегида и/или изофталальдегида с 3,4'-диаминодифениловым эфиром синтезированы новые ароматические поли (азометиновые эфиры) (ПАМЕ) с различным соотношением *мета*- и *пара*-фениленовых связей в основных цепях [5]. Молекулярные структуры, термостабильность, термомеханические и оптические свойства синтезированных гомополимеров и сополимеров ПАМЕ были исследованы методами ИК-Фурье, ТГА, ДМА и УФ-видимой/флуоресцентной спектроскопии соответственно. Синтезированные ПАМЕ характеризуются термической стабильностью до  $\sim 400$  °С в атмосфере азота или воздуха и имеют высокое содержание остатков угля, превышающее 55 %, при 800 °С в условиях азота. Данные ДМА показали, что температуры стеклования ПАМЕ находятся в диапазоне 150–200 °С в зависимости от относительного содержания *мета*- и *пара*-фениленовых связей. Максимальная длина волны поглощения прозрачных пленок ПАМЕ желтоватого цвета обнаружена при  $410 \pm 10$  нм. Кроме того, все пленки ПАМЕ имели широкую полосу видимого излучения при 500–800 нм и две полосы инфракрасного излучения при 800–1400 нм. Таким образом, синтезированные ПАМЕ с высокой термической стабильностью и термомеханическими характеристиками могут быть использованы в качестве функциональных полимерных материалов для технических волокон, оптоэлектронных пленок и предшественников углеродных волокон.

В работе [6] рассмотрены методы синтеза, строение, свойства и области применения полимеров, сочетающих азо- и азометиновые группы. Предложена классификация азоазометинсодержащих полимеров по способам включения хромофорных групп в основную и боковые цепи полимеров и образования сетчатых структур. Обсуждены особенности азо-азометинсодержащих полимеров, связанные с сочетанием в их составе этих хромофорных групп.

Ароматические бис-альдегиды использованы в качестве строительных блоков при синтезе полиазометинов и изучены их физико-химические свойства [7]. Было синтезировано шесть диальдегидов реакцией этерификации ароматических диолов с 4-фторбензальдегидом, а затем полимеризовано с 1,4-фенилендиамином и 4,4'-оксидианилином. Химическая структура бис-альдегидов была выяснена с помощью FTIR,  $^1\text{H}$  ЯМР и  $^{13}\text{C}$  ЯМР спектроскопических исследований, элементного анализа и монокристалла, тогда как полимеры были изучены с помощью FTIR и ЯМР спектроскопии. Их физико-химические свойства исследовали методами характеристической вязкости, органорастворимости, дифференциальной сканирующей калориметрии, порошковой рентгеновской дифракции, термогравиметрического анализа, сольватохромии и фотолюминесценции. Авторы сообщают об электропроводности каждого полимера, измеренной методом четырех зондов. Результаты показывают, что электропроводность полимеров находится в

диапазоне 0,019–0,051 м/См.

Синтезированы и исследованы два новых растворимых  $\pi$ -сопряженных полимера на основе карбазола: P1 — аналог поли(*n*-фениленвинилена) и P2 — полимер полиазометинового типа [8]. Макромолекулярные структуры P1 и P2 подтверждены методами ядерного магнитного резонанса и инфракрасной спектроскопии. Влияние линкеров винилена (в P1) и азометина (в P2) исследовано на основе изучения термических, оптических и электрических свойств двух макромолекул. Дифференциальная сканирующая калориметрия и термогравиметрический анализ показали, что оба полимера являются аморфными, и лучшая термическая стабильность наблюдалась в случае азометинсодержащего полимера. Фотофизическое поведение этих сопряженных систем исследовано методами УФ-видимой абсорбционной и фотолюминесцентной спектроскопии. Для изучения электрических свойств этих полимерных материалов были разработаны однослойные диоды Шоттки и органические полевые транзисторы (ОПТ) с использованием P1 и P2 в качестве активных слоев. P1 представляет собой полупроводниковый и флуоресцентный полимер с желтовато-зеленым излучением и подвижностью носителей заряда  $5,1 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/В·с, что делает его хорошим кандидатом для применения в органических светоизлучающих устройствах (OLED). Однако полиазометин P2 в нейтральном состоянии не представляет особого интереса по сравнению с производным поливинилена из-за его очень низкой способности переноса заряда и незначительной интенсивности флуоресценции. В этом исследовании авторы показывают, что электрические и оптические свойства полиазометина P2 могут быть значительно улучшены за счет протонирования азотом азометиновых линкеров. Действительно, при воздействии паров трифторуксусной кислоты (ТФУ) наблюдалась испускаемая флуоресценция, которая является линейной функцией количества ТФУ, добавленной к раствору P2, и была достигнута подвижность носителей заряда  $7 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/В·с. Это открывает путь для этих азометинсодержащих полимеров на основе карбазола к перспективному применению в электрических и флуоресцентных датчиках включения.

Поликонденсацией 2,5"-диформил-3',4'-дибутил-2,2':5',2"-тертиофена с 1,4-фенилендиамином в этано-термических условиях было получено новое сопряженное ароматическое производное поли(азометина) - поли(3',4'-дибутил- $\alpha$ -тертиофен-азометин-1,4-фенилен-азометин) (ПБТФИ) [9]. Красный поликристаллический ПБТФИ был охарактеризован методами рентгеновской дифракции, ЯМР, FTIR, УФ-видимого-ближнего ИК-диапазона, фотолюминесценции и ЭПР-спектроскопии. Этот полимер частично растворим в тетрагидрофуране, образуя раствор оранжевого цвета с максимумом поглощения ( $\lambda_{\text{max}}$ ) 457 нм. В твердом состоянии ПБТФИ имеет ширину запрещенной зоны 2,06 эВ, что является одним из самых низких показателей среди полиазометинов, и очень чувствителен к сильноокислой среде. Протонирование дает синий полимер с оптической шириной запрещенной зоны 1,61 эВ. Полимер полностью растворим в концентрированной серной кислоте и нитрометане, содержащих кислоты Льюиса (например, AlCl<sub>3</sub>), давая растворы синего цвета с  $\lambda_{\text{max}}$  656 и 638 нм соответственно. ПБТФИ, легированный йодом, демонстрирует низкую электропроводность порядка  $10^{-7}$ - $10^{-8}$  См/см. Свойства ПБТФИ сравниваются с другими, ранее охарактеризованными, родственными полимерами.

Сообщается [10] о синтезе, структурной характеристике, жидкокристалличности, люминесценции и электролюминесценции новых тиофен-азометиновых полимеров. Исследуемые полимеры были получены окислительной полимеризацией четырех новых мономеров при комнатной температуре с использованием хлорида железа (III). Химическое

строение полученных мономеров и полимеров подтверждено методами инфракрасной и ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  спектроскопии. Молекулярные массы мономеров и полимеров определяли методами газожидкостной хромато-масс-спектрометрии (ГХ/ЖХ-МС) и гель-проникающей (эксклюзионной) хроматографии (SEC) соответственно. Исследования термостабильности полученных материалов проводили методом термогравиметрического анализа (ТГА), а по термограммам рассчитывали начало потери массы  $T_0$  и конечную величину  $T_{\text{max}}$ . Жидкокристаллические мезофазы и фазовые превращения мономеров и полимеров изучали методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и поляризованной оптической микроскопии (ПОМ), по кривым ДСК определяли температуры стеклования  $T_g$  полимеров. Электрохимические запрещенные зоны, уровни энергии ВЗМО и НСМО измерялись методом циклической вольтамперометрии. Спектры поглощения-эмиссии в УФ-видимой области (жидкие и твердые пленки) полимеров были получены при комнатной температуре с использованием различных растворителей. Оптические запрещенные зоны были рассчитаны по краям поглощения и хорошо согласовались с оценками, полученными методом циклической вольтамперометрии. Смешивание полимеров с солями лантаноидов, такими как  $\text{EuCl}_3$  и  $\text{YbCl}_3$ , давало модифицированную флуоресценцию, и излучаемый свет был намного более интенсивным, чем свет от чистых полимеров. Методом центрифугирования были изготовлены светодиоды на основе полимеров (СИД) и измерены их вольт-амперные характеристики. В ходе предварительной работы было обнаружено, что полимерные устройства дают электролюминесцентные спектры, аналогичные спектрам ФЛ соответствующих образцов. Исследования по молекулярному моделированию проводились как на полимерных сегментах, так и на молекулах мономеров; Спектры поглощения полученных полимеров, уровни энергии НОМО и LUMO были рассчитаны с помощью ZINDO с использованием оптимизации геометрии AM1.

Показано [11], что каротиноиды представляют собой класс конъюгированных молекул биологического происхождения, которые имеют сходство с субструктурой полиацетиленов, хорошо известного проводящего, но нерастворимого полимера. Растворимость является важным физическим параметром для обработки материалов с использованием различных методов. Чтобы придать растворимость полимерам, в конструкцию молекул часто включают алкильные боковые цепи. Хотя эти стратегии проектирования хорошо изучены в конъюгированных системах, они не были реализованы с использованием каротиноидов в качестве строительного блока полимеров. В этой работе авторы показывают серию полимеров на основе каротиноидов с различной длиной боковой цепи для настройки растворимости. Используя мономеры на основе каротиноидов и *n*-фенилендиамина, методом поликонденсации имина были синтезированы разлагаемые и биологические поли(азометины). Максимальные растворимости, соответствующие различной длине алкильной цепи, были количественно определены с помощью спектроскопии поглощения в ультрафиолетовой и видимой областях. Поскольку каротиноиды имеют биологическую основу с известными продуктами разложения, эффект разложения, вызванного кислотой и искусственным солнечным светом, систематически исследовался с использованием УФ-видимой спектроскопии,  $^1\text{H}$ -спектроскопии ядерного магнитного резонанса (ЯМР), инфракрасной (ИК) спектроскопии, гель-проникающей хроматографии (ГПХ), и масс-спектропия высокого разрешения (HRMS). Было обнаружено, что предложенная полимерная система имеет два режима деградации по требованию: кислотный гидролиз ускоряет скорость деградации полимера, а искусственный солнечный свет генерирует допол-

нительные продукты деградации. В этой работе каротиноидные мономеры рассматриваются как жизнеспособные кандидаты при разработке биоосновных, разлагаемых и конъюгированных полимеров.

Три конъюгированных поли(азометина) на основе трифениламина были получены с помощью реакции поликонденсации с использованием дешевых и легкодоступных исходных материалов, и результаты были сопоставлены с гРЗНТ [12]. Три функционализированных диаминотрифениламина (ТРА(X), X = -H, -OMe, -CN) были полимеризованы простым одностадийным процессом с 2,3-дигидроотиено[3,4-b][1,4]диоксином-5,7-дикарбальдегид (ThOx), единственным побочным продуктом которого является вода. Полученные полимеры (ТРА(X)ThOx, X = -H, -OMe, -CN) охарактеризованы методами ГПХ, ИК и ЯМР и демонстрируют хорошую термическую стабильность. Оптоэлектронные свойства можно настроить, изменив функционализацию (X = -H, -OMe, -CN) трифениламинового фрагмента. Фотоэлектрические устройства на основе ТРА(X)ThOx/PCBM (1:2) показали КПД преобразования энергии в диапазоне 0,02–0,04%. Измерения TRMC показали, что присутствие PCBM в качестве акцептора электронов способствует образованию свободных подвижных зарядов после возбуждения полимера. Низкая эффективность устройства объясняется низкой подвижностью дырок полимера в сочетании с плохой морфологией активного слоя.

Путем поликонденсации диальдегида (мономера) с алифатическими и ароматическими диаминами были синтезированы пять новых линейных полимеров оснований Шиффа, имеющих азометиновую структуру, эфирные связи и удлиненные алифатические цепи с гибкими спейсерами [13]. Выходы мономеров и полимеров находились в пределах 75-92%. Полимеры с гибкими прокладками из *n*-гексана при нагревании в некоторой степени растворялись в ацетоне, хлороформе, ТГФ, ДМФ и ДМСО. Мономер и полимеры были охарактеризованы с помощью температуры плавления, элементного микроанализа, ИК-Фурье, ЯМР, УФ-Вид спектроскопии, термогравиметрии (ТГ), дифференциального термического анализа (ДТА), флуоресцентной эмиссии, сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), вязкости. и измерения термодинамических параметров их разбавленных растворов. Исследования подтвердили образование мономеров и полимеров, и на основе этих исследований была установлена их структура. Синтезированные полимеры были протестированы на их антибактериальную и противогрибковую активность.

В работе [14] новый лестничный полимер, поли(азометиновый эфир), был получен посредством поликонденсации в растворе между терефталевой кислотой и новым мономером. Терефталевую кислоту регенерировали из отходов ПЭТ-бутылок методом омыления, а *n*-фенилендиамин получали методом перегруппировки Гофмана. Новый мономер - N,N'-бис(2,5-дигидроксibenзилиден)-1,4-диаминобензол был получен реакцией 2,5-дигидроксibenзадегида с *n*-фенилендиамином в соотношении 2:1. соответственно. Впервые метод поликонденсации в растворе был использован для синтеза лестничного полимера, который обычно получают с помощью реакции циклоприсоединения Дильса-Альдера. Синтезированный лестничный полимер был охарактеризован методами инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FT-IR), спектроскопии протонного ядерного магнитного резонанса (<sup>1</sup>H ЯМР), спектроскопии ядерного магнитного резонанса углерода (<sup>13</sup>C ЯМР), элементного анализа (CHN), рентгеновской дифракции (XRD), дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) и термогравиметрический анализ (ТГА). Результаты показали, что лестничный полимер обладает очень регулярным лест-

ничным каркасом и что большинство сложноэфирных групп приняли участие в реакции параллельной полимеризации.

Органические диоды были получены с использованием полимера на основе производного тиофена и азометинов фурана, синтезированного электрохимическим способом в неводных средах [15]. Полимеры наносились на стеклянные подложки, покрытые оксидом индия и олова. Полученные пленки были физико-химически охарактеризованы методами электронно-зондового микроанализа и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Вольт-амперные характеристики показывают напряжение включения примерно 2,5-3,5 В в зависимости от природы гетероцикла. Кривая электролюминесценции-напряжения (ЭЛВ) имеет аналогичную форму, но со сдвигом на 1-2 В в сторону более высокого напряжения. Механизм инжекции заряда связан с туннельным эффектом Фаулера-Нордгейма.

Мономер основания Шиффа синтезирован реакцией конденсации салицилового альдегида и этилендиамина [16]. Базовый полимер основания Шиффа с двойной азометиновой группой был получен реакцией окислительной поликонденсации (ОП) мономера в водно-щелочной среде с NaOCl в качестве окислителя при 90°C. Мономер и полимер были охарактеризованы с помощью спектроскопических исследований УФ-Вид, FT-IR, <sup>1</sup>H- и <sup>13</sup>C-ЯМР, которые показали, что полимер, синтезированный ОП, состоит из оксифениленовых (55%) и фениленовых (45%) звеньев. Полимер растворялся в щелочном водном растворе, ТГФ, ДМФ и ДМСО. Термические свойства мономера и полимера оценивали методами дифференциального термического анализа (ДТА) и термогравиметрического (ТГ) анализа. По данным ТГ, температуры потери массы полимера на 5% и 50% составляли 200°C и 800°C соответственно.

Сообщается [17] о трех эффективных синтетических подходах к созданию новых полимеров на основе азометин- и терпиридин-содержащих 2,5-дигидропирроло[3,4-с]пиррол-1,4-диона (дикетопирролопиррол, ДПП). Первый подход предполагает синтез, катализируемый Pd, посредством двух- или трехкомпонентной реакции кросс-сочетания Сузуки или Стилле в растворе. Второй подход включает катализируемую Pd реакцию кросс-сочетания Сузуки в условиях шаровой мельницы. И, наконец, третий подход предполагает реакцию конденсации без Pd в условиях шаровой мельницы. Вновь полученные полимеры имели поглощение около 700 нм и излучение около 900 нм, поэтому эти полимеры считаются БИК-флуорофорами.

В работе [18] синтез трех новых мономеров на основе π-сопряженного основания Шиффа, содержащего сирингальдегидное звено, был осуществлен методом поликонденсации, что подтверждено методами ЯМР и ИК-спектроскопии. Другие характеристики, то есть оптические свойства (флуоресценция и УФ-Вид), термические (ТГ-ДТА), электрохимические, морфологические характеристики, выполняются для изучения потенциала применения синтезированных полимерных материалов в органической электронике и гальванике. Полученные полимеры были термически стабильны до 270 °С, что подтверждается анализом ТГА. Электрохимические данные показывают, что полимеры обладают низкой шириной запрещенной зоны. Исследования электропроводности показывают, что проводимость полимеров находится в пределах  $\sim 10^{-5}$  См/см при обычной температуре. Диэлектрические исследования подтверждают, что емкость полимеров составляла 0,1–2,8 мкФ, диэлектрическая проницаемость  $\sim 106$  Ф/м и D-фактор  $> 11$ .

Реакцией поликонденсации в растворе мономера 1-(*m*-формилфенил)-1'-(5-формил-2-метоксифенил)-ферроцена синтезирована новая интересная категория более термоста-



бильных полиазометин, содержащих ферроцен в основной цепи полимеров с различными алифатическими и ароматическими диаминами [19]. Модельное соединение синтезировано из диальдегидного мономера с анилином и охарактеризовано элементным и спектральными анализами. Полученные желаемые полимеры были охарактеризованы с помощью элементного и спектрального анализов, а также измерения растворимости с использованием различных растворителей. Термические свойства этих полимеров оценивали методами термогравиметрического анализа (ТГА) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Окислительно-восстановительное поведение было изучено для полимеров ферроцена по сравнению как с исходным мономером ферроцена, так и с модельным соединением с помощью циклической вольтамперометрии (ЦВ).

Фенольный полимер на основе азометина - поли-2-[[6-аминопиридин-2-ил)имино]метил}фенол (РАРІМР) синтезирован путем сочетания реакции конденсации и окислительной полимеризации [20,21]. Полимер, выделенный из водного раствора, охарактеризовали методами УФ-ВИД, ИК-Фурье, ЯМР и ТГ, SEC анализа. Согласно хроматограммам SEC, значения среднечисловой молекулярной массы ( $M_n$ ), средневесовой молекулярной массы ( $M_w$ ) и индекса полидисперсности ( $PD_I$ ) РАРІМР составили 33 550, 78 900 г/моль и 2,352 соответственно. Кроме того, оптические запрещенные зоны ( $E_g$ ) АРІМР и РАРІМР рассчитаны на основе измерений циклической вольтамперометрии (CV). Кроме того, электропроводность каждого компонента измерялась с помощью четырехточечного зонда. ТГ-анализ показал, что РАРІМР стабилен до 300 °С. Кинетику термического разложения РАРІМР исследовали методом термогравиметрического анализа в динамической атмосфере азота при четырех различных скоростях нагрева: 5, 10, 15 и 20 °С/мин. Кажущаяся энергия активации термического разложения РАРІМР, полученная методами Танга, Флинна-Уолла-Одзавы (FWO), Киссенджера-Акахиры-Суносе (KAS) и Коутса-Редферна (CR), составила 96,97, 105,33, 97,28 и 88,60 кДж/моль соответственно; функция механизма и предэкспоненциальный множитель определялись методом мастер-графиков. Наиболее вероятным процессом разложения был тип замедления  $D_n$  с точки зрения результатов Коутса-Редферна и основных графиков.

Методом поликонденсации в расплаве и растворе шести различных диаминов с 4,4'-[1,4-фениленбис(окси)]бисбензальдегидом синтезированы шесть новых полиэфиразо-метинов [22]. Полимеры, синтезированные растворным методом, имеют цвет от желтого до белого и имеют собственную вязкость до 0,59 дл/г в концентрированной  $H_2SO_4$ . Полимеры, полученные конденсацией расплава, обладают более высокой вязкостью. Большинство из полученных полиазометин не растворимы в обычных органических растворителях. Полимеры охарактеризованы методами ИК, рентгеноструктурного, элементного анализа и ДСК. Термическую стабильность полимеров оценивали методами ТГА и ИГА. Полимеры обладают высокой термической и термоокислительной стабильностью и не проявляют заметного разложения до 420 °С как на воздухе, так и в атмосфере азота. Показано, что отверждение полиазометин происходит за счет раскрытия связей  $-C=N-$  при более высокой температуре. Электропроводность исходного полимера и полимера, допированного йодом, достигала  $10^{-11}$ - $10^{-16}$  и  $10^{-6}$ - $10^{-8}$  См/см соответственно при 30 °С. Электронные спектры недопированных полимеров свидетельствуют о большом батохромном сдвиге полосы поглощения  $\bar{\lambda} - \bar{\lambda}^*$  (376 нм) за счет связей  $-C=N-$  модельного соединения. Это можно объяснить значительной делокализацией электронов вдоль полимерной цепи.

Для разработки инновационных мезопористых сшитых поли(азометинсульфонов)

для применения в окружающей среде применяется простой метод конденсации с основанием Шиффа, основанный на барбитуровой кислоте ВА или конденсированной терефталдегидной барбитуровой кислоте ТВА в их структурах в качестве мономерных звеньев [23]. Различные методологии анализа и измерения вязкости идентифицируют их как обладающие более высокой термостабильностью и аморфной структурой. Наблюдаются фотофизические особенности феномена реакции на несколько стимулов MSR: излучение белого света при более высоких концентрациях и излучение синего света при более низких концентрациях. Их эмиссионные характеристики делают их отличным датчиком ионов металлов благодаря разнообразным методам переноса заряда. Они могут иметь более высокую эффективность ингибирования и использоваться как в качестве ингибиторов коррозии смешанного типа, так и в качестве активных ингибиторов коррозии в зависимости от их флуоресцентного излучения с металлами, демонстрируя свою способность связываться с различными металлами. Исследована адсорбция двух различных молекул красителя, катионного метиленового синего МВ и анионного SY закрасного желтого, на мезопористых структурах полимеров, что выявило их селективность в отношении адсорбции красителя МВ. Квантовые исследования подтверждают эти удивительные открытия, демонстрируя структуру мономерного звена, напоминающую крабовую, у сильно сшитого полимера.

В работе [24] свойства электронных переходов и структурный анализ металлокомплексов ( $Ni(II)$ ,  $Co(II)$ ,  $Cu(II)$  и  $Mn(II)$ ) трёх различных полиазотменных лигандов были выполнены с помощью РФА и рентгеновского анализа соответственно. Структурный анализ полимеров и их комплексов был проведен методом XRD, и было обнаружено, что некоторые из полимеров имеют гранецентрированную кубическую (ГЦК) структуру. Кроме того, значения существующих коэффициентов интенсивности рентгеновского излучения  $K$  значительно превышают значения, указанные в литературе.

Три новых олигомерных основания Шиффа на основе трифениламина (polySB1, полиSB2 и полиSB3), содержащие тетрафенилсилановое ядро (TPS-ядро) в основной цепи, получены из диаминов на основе TPS-ядра и бис(4-формилфенил)фениламина методом высокотемпературной поликонденсации [25]. Эти новые олигомеры были структурно охарактеризованы с помощью ИК-Фурье, ЯМР и элементного анализа. Все полиSB хорошо растворялись в обычных органических растворителях, таких как хлороформ, тетрагидрофуран и хлорбензол. Образцы показали умеренную среднемолекулярную массу ( $M_w$ ) и высокую термическую стабильность выше  $410\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Аналогично, полиSB показали поглощение около  $400\text{ нм}$  в УФ-видимом диапазоне и фотолюминесценцию. Уровни ВЗМО и значения запрещенной зоны были обнаружены в диапазонах от  $-6,06$  до  $-6,18\text{ эВ}$  и  $2,65$ – $2,72\text{ эВ}$  соответственно. Наименьшее значение ширины запрещенной зоны наблюдалось у полиSB2, что можно объяснить более эффективным  $\pi$ -сопряжением поперек основной цепи. Полученные результаты позволяют предположить, что кремнийсодержащие полиSB являются перспективными широкозонными полупроводниковыми материалами для оптоэлектронных приложений.

Резюмируя представленные результаты исследований можно сделать вывод о том, что полимеры на основе азометинов являются пристальными объектами исследований органической и полимерной химии. Разработка новых эффективных методов синтеза этих соединений, а также определение новых областей их практического использования создают широкие предпосылки для проведения систематических исследований в этой области

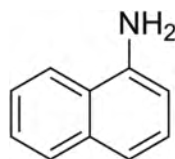
химии.

В наших исследованиях [26-30] были синтезированы ароматические основания Шиффа на основе:



бензальдегид

и



$\alpha$ -нафтиламин

Для проведения реакции использовали 0,05 моль бензальдегида (5,1 г) и 0,05 моль 1-нафтиламина (7,2 г). Реакцию проводили в среде метанола (80 мл). Полученное основание Шиффа охарактеризовано с определением его физико-химических показателей и подтверждения строения методами ИК- и ЯМР-спектроскопии. Полученное соединение было протестировано на наличие антимикробной и антифунгальной активности в отношении грамм-положительных (золотистый стафилококк) и грамм-отрицательных (кишечная и синегнойная палочка) патогенов, а также в отношении дрожжеподобных грибов рода Кандида. Исследования проводились методом серийных разведений (диффузионно-контактный метод) В качестве питательной среды использовали среду Сабуро. Результаты показали, что синтезированные нами ароматические основания Шиффа обладают высокой антибактериальной активностью в отношении вышеуказанных микроорганизмов, в связи с чем они были рекомендованы для использования в качестве местных антисептических препаратов.

В дальнейшем полученные азометины были использованы в качестве мономеров для синтеза полиоснований Шиффа, а также были изучены потенциальные области их практического применения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Dilek, S. Synthesis and characterization of azomethine polymers containing ether and ester groups / S. Didek, I. Kaya // Journal of Saudi Chemical Society. - 2017. - Vol. 21. - N 5. - Pp. 505 <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2015.05.006>
2. Altrawneh, S. Synthesis, Characterization, and Environmental Applications of Novel Per-Fluorinated Organic Polymers with Azo- and Azomethine-Based Linkers via Nucleophilic Aromatic Substitution / S. Altrawneh, H. El-Kaderi, A. Richard, O. Alakayleh // Polymers (Basel). - 2023. - Vol. 15. - N. 20. - Pp. 4191 [doi: 10.3390/polym15204191](https://doi.org/10.3390/polym15204191).
3. Culhaoglu, S. Synthesis of phosphate and silane-based conjugated polymers derived from bis-azomethine: Photophysical and thermal characterization / S. Culhaoglu, F. Kolcu, F. Kaya // Reactive and functional polymers. - 2021. - Vol. 166. - Pp. 104978 <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2021.104978>
4. Borukaev, T.A. New Azomethine Compounds on the Basis m-Phenylenediamine and Substituted Benzaldehydes Capable of Oxidative Polymerization / T.A. Borukaev, A.M. Mazloeva, R.M. Otarova, Yu.A. Malkanduev // Open Journal of Polymer Chemistry. - 2018. - Vol. 8. - N 2. - Pp. 34 [DOI:10.4236/ojpchem.2018.82004](https://doi.org/10.4236/ojpchem.2018.82004)
5. Young, Ch. Synthesis and Characterization of Aromatic Poly(azomethine ether)s with Different meta- and para-Phenylene Linkage Contents / Ch. Young, M. Kim, M. Kyoung, H. Sang // Fibers and Polymers. - 2020. - Vol. 21. - N 2. - Pp. 238. [DOI:10.1007/s12221-020-9690-5](https://doi.org/10.1007/s12221-020-9690-5)
6. Ikovalchuk, A. Polymers Containing Azo and Azomethine Groups: Synthesis, Proper-

ties, and Application / A. Ikovalchuk, Ya. Kobzar, I. Tkachenko, V.V. Shevchenko // Polymer Science Series B. - 2019. - Vol. 61. - N. 2. - Pp. 109 DOI:10.1134/S1560090419020040

7.Hafeez, A. Liquid phase synthesis of aromatic poly(azomethine)s, their physicochemical properties, and measurement of *ex situ* electrical conductivity of pelletized powdered samples / A. Hafeez, Z. Akhter, J.F. Gallaqher, H. Siddiqui // Designed Monomers and Polymers. - 2017. - Vol. 20. – N 1. - Pp. 74 <https://doi.org/10.1080/15685551.2016.1231042>

8.Jebnoui, A. Vinylene-versus azomethine-bridged carbazole-based polymers for light emission and sensor applications / A. Jebnoui, N. Leclerc, S. Teka, D. Mansour // Journal of Molecular Structure. - 2021. - Vol. 1244. – N 11. - Pp 130994 <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130994>.

9.Wang, Ch. Synthesis and Characterization of A New Conjugated Aromatic Poly(azomethine) Derivative Based on the 3',4'-Dibutyl- $\alpha$ -Terthiophene Building Block / Ch. Wang, S. SHieh, E. LeGoff, M. Kanatzidis // Macromolecules. - 1996. - Vol. 29. - N 9. - Pp. 3147 <https://doi.org/10.1021/ma9514131>

10.Al-Janabi, O. Synthesis and Characterisation of Novel Thiophene Based Azomethine Polymers and Study of Their Liquid Crystalline, Electrochemical and Optoelectronic Properties / O. Al-Janabi, P.J. Foot, E. Bakir, P. Spearman // Polymers and Polymer Composites. - 2017. - Vol. 25. - N 5. - Pp. 345. DOI:10.1177/096739111702500504

11.Azalea, U. Biobased, Degradable, and Conjugated Poly(Azomethine)s / U. Azalea, A.Lin, H. Tran // J. Amer. Chem. Soc. - 2023. - V. 145. - N 6. - Pp. 3606 <https://doi.org/10.1021/jacs.2c12668>

12.Petrus, M. Conjugated poly(azomethine)s *via* simple one-step polycondensation chemistry: synthesis, thermal and optoelectronic properties / M. Petrus. R. Bouwer, U. Lafont, D.H. Lafont // Polymer Chemistry. - 2013. - V. 4. - N 15. - Pp. 4182

13.Qureshi, F. Synthesis, Characterization and Biological Studies of New Linear Thermally Stable Schiff Base Polymers with Flexible Spacers / F. Qureshi, M. Khuhavar, T. Jahangir, A. Channar // Acta Chimica Slovenica. - 2016. - V. 63.- N 1. - Pp. 113 DOI: 10.17344/acsi.2015.1994

14.Issam, A.M. Synthesis of a Novel Ladder Poly(azomethine-ester) Based on PET Waste Bottles / A.M. Issam, S. Shahabuddin, H.S Kareem, S. Mohamad // International Polymer Processing. - 2019. - V. 34. - N 3. - Pp. 296 DOI:10.3139/217.3595

15.Brovelli, F. Electropolymerization of heteroarylene azomethines / F. Brovelli, B. Rivas, J.C. Bernede // Journal of the Chilean Chemical Society. - 2005. - V. 50. - N 3. - Pp. 124 <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-97072005000300013>

16.Ozbulbul, A. A new soluble Schiff base polymer with a double azomethine group synthesized by oxidative polycondensation / A. Ozbulbul, H. Mart, M. Tuncel, S. Serin // Designed Monomers and Polymers. - 2006. - V. 9. - N 2. - Pp. 169 <https://doi.org/10.1163/156855506776382655>

17.Al-Ithawi, W. (Mechano)synthesis of azomethine- and terpyridine-linked diketopyrrolopyrrole-based polymers / W. Al-Ithawi, A.F. Khasanov, N.V. Valieva, A.V. Baklykov // Chimica Techno Acta. - 2023. - V. 10. – N 2. - Pp. 5. DOI:10.15826/chimtech.2023.10.2.04

18.Sonker, E. Electrical properties of new polyazomethines / E. Sonker, R. Tiwari, K. Kumar, S. Krishnamoorthi // SN Applied Sciences. - 2020. - V. 2. – N 6. - Pp. 172 DOI:10.1007/s42452-020-2910-1

19.Abdel-Rahman, M.A. New Polymer Syntheses Part 57: Thermally Stable New Ferro-

cene-Polyazomethines, Synthetic Methodology, and Characterization/ M.A. Abdel-Rahman, M.A. Hossein, I.A. Kamal, A. Sarhan // Hindawi Journal of Chemistry. - 2013. - V. 6. – N 1. - Pp. 13 DOI:10.1155/2013/198652

20.Dogan, F. Azomethine-based phenol polymer: Synthesis, characterization and thermal study / F. Dogan, I. Kaya, A. Bilici // Synthetic Metals. - 2011. - V. 161. – N 1-2. - Pp. 79 DOI:10.1016/j.synthmet.2010.11.001

21.Morgan, P.W. Aromatic azomethine polymers and fibers / P.W. Morgan, S. Kwolek, T.C. Pletcher // Macromolecules. - 1987. - V. 20. – N 4. - Pp. 729 <https://doi.org/10.1021/ma00170a006>

22.Banerjee, S. Polyether azomethines. I. Synthesis and characterization / S. Banerjee, P.K. Gutch, Ch. Saxena // Journal of Polymer Science. Part A. Polymer Chemistry. - 1995. - V. 33. - N 10. - Pp. 1719 <https://doi.org/10.1002/pola.1995.080331019>

23.Sayed, M. Synthesis, physico-chemical characterization, and environmental applications of meso porous crosslinked poly (azomethine-sulfone)s / M. Sayed, M. Abdel-Hakim, M. Mahross, K. Aly // Sci. Rep. - 2022. - V. 12. – N 1. - Pp. 12878 doi: 10.1038/s41598-022-17042-0.

24.Sogut, O. Examination of Polymeric Azomethine Compounds and Their Transition Metal Complexes by Using XRF and XRD Technique / O. Sogut, B. Kara, G. Apaydim, E. Cengiz, A. Kazanci // Spectroscopy and Spectral Analysis. - 2020. - V. 40. – N 1. - Pp. 328 DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2020)01-0328-05

25.Sobarzo, P.A. New Triphenylamine-Based Oligomeric Schiff Bases Containing Tetraphenylsilane Moieties in the Backbone / P.A. Sobarzo, A.F. Gonzalez, E. Schott, L. Tagle // Polymers. - 2019. - V. 11. – N 2. - Pp. 216

26.Мехдиева, Л.А. Применение оснований Шиффа в качестве ингибиторов коррозии / Л.А. Мехдиева, П.Ш. Мамедова, Э.Р. Бабаев // Вестник КНИИ РАН. - 2023. - № 3. С. 38

27.Мехдиева, Л.А. Применение азометинов в качестве ингибиторов коррозии / Л.А. Мехдиева, П.Ш. Мамедова, Э.Р. Бабаев // Мир нефтепродуктов. - 2023. - № 7 – С. 20-26

28.Мехдиева, Л.А. Биологически активные металлокомплексы оснований Шиффа / Л.А. Мехдиева, П.Ш. Мамедова, Э.Р. Бабаев // Вестник Башкирского Государственного Педагогического Университета. - 2023. - № 3. – С. 107

29.Мехдиева, Л.А. Основные области применения азометинов / Л.А. Мехдиева, П.Ш. Мамедова, Э.Р. Бабаев // Вестник КНИИ РАН. - 2023. - № 4. С. 71

30.Мехдиева, Л.А. Синтез и области применения ароматических азометинов (Мини-обзор) / Л.А. Мехдиева, П.Ш. Мамедова, Э.Р. Бабаев // Известия Тульского Государственного Университета. Серия Естественные науки. - 2023. – № 4. - С. 3.

## REFERENCES

1.Dilek, S. Synthesis and characterization of azomethine polymers containing ether and ester groups / S. Didek, I. Kaya // Journal of Saudi Chemical Society. - 2017.- Vol. 21. - N 5. - Pp. 505 <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2015.05.006>

2.Altrawneh, S. Synthesis, Characterization, and Environmental Applications of Novel Per-Fluorinated Organic Polymers with Azo- and Azomethine-Based Linkers via Nucleophilic

Aromatic Substitution / S. Altrawneh, H. El-Kaderi, A. Richard, O. Alakayleh // *Polymers* (Basel). - 2023. - Vol. 15. – N. 20. - Pp. 4191 doi: 10.3390/polym15204191.

3.Culhaoglu, S. Synthesis of phosphate and silane-based conjugated polymers derived from bis-azomethine: Photophysical and thermal characterization / S. Culhaoglu, F. Kolcu, F. Kaya // *Reactive and functional polymers*. - 2021. - Vol. 166. - Pp. 104978 <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2021.104978>

4.Borukaev, T.A. New Azomethine Compounds on the Basis m -Phenylenediamine and Substituted Benzaldehydes Capable of Oxidative Polymerization / T.A. Borukaev, A.M. Mazloeva, R.M. Otarova, Yu.A. Malkanduev // *Open Journal of Polymer Chemistry*. - 2018. - Vol. 8. - N 2.- Pp. 34 DOI:10.4236/ojpcem.2018.82004

5.Young, Ch. Synthesis and Characterization of Aromatic Poly(azomethine ether)s with Different *meta*- and *para*-Phenylene Linkage Contents / Ch. Young, M. Kim, M. Kyoung, H. Sang // *Fibers and Polymers*. - 2020. - Vol. 21. - N 2. - Pp. 238. DOI:10.1007/s12221-020-9690-5

6.Ikvalchuk, A. Polymers Containing Azo and Azomethine Groups: Synthesis, Properties, and Application / A. Ikovalchuk, Ya. Kobzar, I. Tkachenko, V.V. Shevchenko // *Polymer Science Series B*. - 2019. - Vol. 61. - N. 2. - Pp. 109 DOI:10.1134/S1560090419020040

7.Hafeez, A. Liquid phase synthesis of aromatic poly(azomethine)s, their physicochemical properties, and measurement of *ex situ* electrical conductivity of pelletized powdered samples / A. Hafeez, Z. Akhter, J.F. Gallagher, H. Siddiqui // *Designed Monomers and Polymers*. - 2017. - Vol. 20. – N 1. - Pp. 74 <https://doi.org/10.1080/15685551.2016.1231042>

8.Jebnoui, A. Vinylene-versus azomethine-bridged carbazole-based polymers for light emission and sensor applications / A. Jebnoui, N. Leclerc, S. Teka, D. Mansour // *Journal of Molecular Structure*. - 2021. - Vol. 1244. – N 11. - Pp 130994 <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130994>.

9.Wang, Ch. Synthesis and Characterization of A New Conjugated Aromatic Poly(azomethine) Derivative Based on the 3',4'-Dibutyl- $\alpha$ -Terthiophene Building Block / Ch. Wang, S. SHieh, E. LeGoff, M. Kanatzidis // *Macromolecules*. - 1996. - Vol. 29. - N 9. - Pp. 3147 <https://doi.org/10.1021/ma9514131>

10.Al-Janabi, O. Synthesis and Characterisation of Novel Thiophene Based Azomethine Polymers and Study of Their Liquid Crystalline, Electrochemical and Optoelectronic Properties / O. Al-Janabi, P.J. Foot, E. Bakir, P. Spearman // *Polymers and Polymer Composites*. - 2017. - Vol. 25. - N 5. - Pp. 345. DOI:10.1177/096739111702500504

11.Azalea, U. Biobased, Degradable, and Conjugated Poly(Azomethine)s / U. Azalea, A.Lin, H. Tran // *J. Amer. Chem. Soc.* - 2023. - V. 145. - N 6. - Pp. 3606 <https://doi.org/10.1021/jacs.2c12668>

12.Petrus, M. Conjugated poly(azomethine)s *via* simple one-step polycondensation chemistry: synthesis, thermal and optoelectronic properties / M. Petrus. R. Bouwer, U. Lafont, D.H. Lafont // *Polymer Chemistry*. - 2013. - V. 4. - N 15. - Pp. 4182

13.Qureshi, F. Synthesis, Characterization and Biological Studies of New Linear Thermally Stable Schiff Base Polymers with Flexible Spacers / F. Qureshi, M. Khuhavar, T. Jahangir, A. Channar // *Acta Chimica Slovenica*. - 2016. - V. 63.- N 1. - Pp. 113 DOI: 10.17344/acsi.2015.1994

14.Issam, A.M. Synthesis of a Novel Ladder Poly(azomethine-ester) Based on PET Waste Bottles / A.M. Issam, S. Shahabuddin, H.S Kareem, S. Mohamad // *International Polymer*

Processing. - 2019. - V. 34. - N 3. - Pp. 296 DOI:10.3139/217.3595

15. Brovelli, F. Electropolymerization of heteroarylene azomethines / F. Brovelli, B. Rivas, J.C. Bernede // Journal of the Chilean Chemical Society. - 2005. - V. 50. - N 3. - Pp. 124 <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-97072005000300013>

16. Ozbulbul, A. A new soluble Schiff base polymer with a double azomethine group synthesized by oxidative polycondensation / A. Ozbulbul, H. Mart, M. Tuncel, S. Serin // Designed Monomers and Polymers. - 2006. - V. 9. - N 2. - Pp. 169 <https://doi.org/10.1163/156855506776382655>

17. Al-Ithawi, W. (Mechano)synthesis of azomethine- and terpyridine-linked diketopyrrolopyrrole-based polymers / W. Al-Ithawi, A.F. Khasanov, N.V. Valieva, A.V. Baklykov // Chimica Techno Acta. - 2023. - V. 10. - N 2. - Pp. 5. DOI:10.15826/chimtech.2023.10.2.04

18. Sonker, E. Electrical properties of new polyazomethines / E. Sonker, R. Tiwari, K. Kumar, S. Krishnamoorthi // SN Applied Sciences. - 2020. - V. 2. - N 6. - Pp. 172 DOI:10.1007/s42452-020-2910-1

19. Abdel-Rahman, M.A. New Polymer Syntheses Part 57: Thermally Stable New Ferrocene-Polyazomethines, Synthetic Methodology, and Characterization/ M.A. Abdel-Rahman, M.A. Hossein, I.A. Kamal, A. Sarhan // Hindawi Journal of Chemistry. - 2013. - V. 6. - N 1. - Pp. 13 DOI:10.1155/2013/198652

20. Dogan, F. Azomethine-based phenol polymer: Synthesis, characterization and thermal study / F. Dogan, I. Kaya, A. Bilici // Synthetic Metals. - 2011. - V. 161. - N 1-2. - Pp. 79 DOI:10.1016/j.synthmet.2010.11.001

21. Morgan, P.W. Aromatic azomethine polymers and fibers / P.W. Morgan, S. Kwolek, T.C. Pletcher // Macromolecules. - 1987. - V. 20. - N 4. - Pp. 729 <https://doi.org/10.1021/ma00170a006>

22. Banerjee, S. Polyether azomethines. I. Synthesis and characterization / S. Banerjee, P.K. Gutch, Ch. Saxena // Journal of Polymer Science. Part A. Polymer Chemistry. - 1995. - V. 33. - N 10. - Pp. 1719 <https://doi.org/10.1002/pola.1995.080331019>

23. Sayed, M. Synthesis, physico-chemical characterization, and environmental applications of meso porous crosslinked poly (azomethine-sulfone)s / M. Sayed, M. Abdel-Hakim, M. Mahross, K. Aly // Sci. Rep. - 2022. - V. 12. - N 1. - Pp. 12878 doi: 10.1038/s41598-022-17042-0.

24. Sogut, O. Examination of Polymeric Azomethine Compounds and Their Transition Metal Complexes by Using XRF and XRD Technique / O. Sogut, B. Kara, G. Apaydim, E. Cengiz, A. Kazanci // Spectroscopy and Spectral Analysis. - 2020. - V. 40. - N 1. - Pp. 328 DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2020)01-0328-05

25. Sobarzo, P.A. New Triphenylamine-Based Oligomeric Schiff Bases Containing Tetraphenylsilane Moieties in the Backbone / P.A. Sobarzo, A.F. Gonzalez, E. Schott, L. Tagle // Polymers. - 2019. - V. 11. - N 2. - Pp. 216

26. Mekhdiyeva, L.A. The use of Schiff bases as corrosion inhibitors / L.A. Mekhdiyeva, P.Sh. Mammadova, E.R. Babayev // Bulletin of the KNII RAS. - 2023. - No. 3. Pp. 38

27. Mekhdiyeva, L.A. The use of azomethines as corrosion inhibitors / L.A. Mekhdiyeva, P.Sh. Mammadova, E.R. Babayev // World of petroleum products. - 2023. - No. 7 - Pp. 20-26

28. Mekhdiyeva, L.A. Biologically active metal complexes of Schiff bases / L.A. Mekhdiyeva, P.Sh. Mammadova, E.R. Babayev // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University. - 2023. - No. 3. - Pp. 107

29.Mekhdieva, L.A. Main areas of application of azomethines / L.A. Mehdieva, P.Sh. Mammadova, E.R. Babayev // Bulletin of the KNII RAS. - 2023. - No. 4. Pp. 71

30.Mekhdiyeva, L.A. Synthesis and applications of aromatic azomethines (Mini-review) / L.A. Mehdiyeva, P.Sh. Mammadova, E.R. Babayev // News of Tula State University. Series Natural Sciences. - 2023. – No. 4. - Pp. 3.