

Муханов Д.К.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научный производственно-технический центр «Жалын», г.Алматы, Казахстан

---

## ПОЛУЧЕНИЕ КАРБОНИЛСОДЕРЖАЩИХ СОПРЯЖЕННЫХ МИКРОПОРИСТЫХ ПОЛИМЕРОВ И ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ РЕАКЦИИ ПЕРЕКРЕСТНОГО СВЯЗЫВАНИЯ БУХВАЛЬДА- ХАРТВИГА

---

**Аннотация.** В данном исследовании были синтезированы новые, богатые азотом сопряженные микропористые полимеры с использованием реакции кросс-сочетания Бухвальда-Хартвига. Синтезированные полимеры были подвергнуты характеристизации с использованием различных методов, включая рентгеновскую дифрактометрию (XRD), ультрафиолетовую, видимую, ближнюю инфракрасную (UV-Vis-NIR) спектроскопию, преобразование Фурье инфракрасную (FT-IR) спектроскопию, определение общей площади поверхности по методу БЭТ и определение методом и распределения пор по размерам (PSD) с использованием нелокальной теории функционала плотности (НЛДФТ). Результаты предоставляют важную информацию о структуре и свойствах синтезированных материалов, что способствует более глубокому пониманию их характеристик. Полученные характеристики материала позволяют судить о качестве и чистоте полученных полимеров, что важно для дальнейших исследований, а также служить основой для разработки новых методов синтеза или улучшения существующих технологий.

**Ключевые слова:** Сопряженные микропористые полимеры, реакция кросс-сочетания Бухвальда-Хартвига, пористые органические материалы, синтез.

• • •

**Түйіндеме.** Бұл зерттеу Бухвальд-Хартвиг кросс-комбинация реакциясын қолдана отырып, азотқа бай жаңа конъюгацияланған микро кеукті полимерлерді синтездеді. Синтезделген полимерлер әртүрлі әдістерді, соның ішінде рентгендік дифрактометрияны (XRD), ультрақұлгін, көрінетін, инфрақызылға жақын (UV-Vis-NIR) спектроскопияны, Фурье инфрақызыл (FT-IR) спектроскопияны, *bet* әдісімен жалпы бетінің ауданын анықтауды және өлшем бойынша кеуктердің таралуын (PSD) анықтауды қолдана отырып жергілікті емес тығыздық функционалды теориясын (NLDFT) қолдану сипатталды. Нәтижелер синтезделген материалдардың құрылымы мен

қасиеттері туралы маңызды ақпарат береді, бұл олардың сипаттамаларын тереңірек түсінуге ықпал етеді. Алынған материалдың сипаттамалары алынған полимерлердің сапасы мен тазалығын бағалауға мүмкіндік береді. Бұл әрі қарайғы зерттеулер үшін маңызды, сонымен қатар жаңа синтез әдістерін жасауға немесе қолданыстағы технологияларды жақсартуға негіз болады.

**Түйінді сөздер:** Конъюгацияланған микрокеукті полимерлер, Бухвальд-Хартвиг кросс-комбинация реакциясы, кеукті органикалық материалдар, синтез.

• • •

**Abstract.** In this study, new nitrogen-rich conjugated microporous polymers were synthesized using the Buchwald-Hartwig cross-coupling reaction. The synthesized polymers were characterized using various methods, including X-ray diffraction (XRD), ultraviolet-visible-near-infrared (UV-Vis-NIR) spectroscopy, Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy, Brunauer-Emmett-Teller (BET) surface area analysis, and pore size distribution (PSD) determination using non-local density functional theory (NLDFT). The results provide important information about the structure and properties of synthesized materials, which contributes to a deeper understanding of their characteristics. The obtained characteristics of the material allow us to judge the quality and purity of the obtained polymers, which is important for further research, as well as serve as a basis for the development of new synthesis methods or improvement of existing technologies.

**Key words:** Conjugated microporous polymers, Buchwald-Hartwig cross-combination reaction, Porous organic materials, synthesis.

**Введение.** Сопряженные микропористые полимеры (СМП) – это класс аморфных пористых органических материалов, которые связывают строительные блоки в π-сопряженной системе, образуя трехмерные сети [1]. Их структурные характеристики не имеют аналогов среди других пористых материалов [1]. Начиная с 2007 г., когда Соорег и соавт. опубликовали подробную информацию о том, что такое микропористые полимеры из поли(арилэнэтинилена) таким образом, СМП стали важным подклассом пористых материалов. Большое разнообразие способов синтеза СМП сделало их интересными для разработки новых органических материалов с различными свойствами. Конструктивный дизайн открыл новые возможности в области хранения и разделения газов, оптоэлектронных свойств [2], светоизлучения [3], катализа [4] и накопления энергии [5]. В этом исследовании СМП используются в качестве электродных материалов для литий-ионных аккумуляторов благодаря целому ряду свойств [6]. Во-первых, ми-



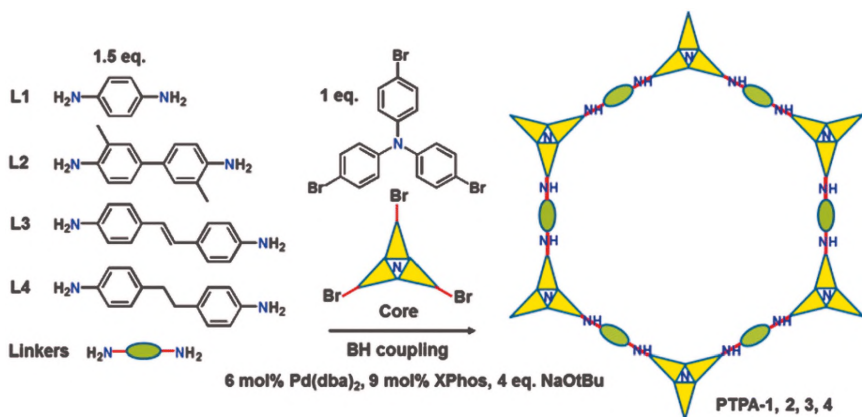


Рисунок 2 – Синтетический способ получения, сопряженного микропористого ПТПА [11]

В данном исследовании была использована полимеризация методом перекрестного связывания Бухвальда-Хартвига, которая является простым методом синтеза СМГ. Основной целью этого метода является получение связи C-N путем взаимодействия арилгалогенидов и аминов [12, 13]. В качестве катализатора был использован дибензиллиденацетон палладия Pd(dba)<sub>2</sub>, поскольку он стабилен при выдержке на воздухе. В этом сборнике лиганды dba стабилизируют Pd(0) и обеспечивают возможность обмена лигандами для получения более эффективного катализатора. XPhos представляет собой трехвалентную систему соединений фосфора и действует как σ-донорный лиганд с неразделенной электронной парой. Эти свойства придает растворимость и стабилизацию металлоорганическим комплексам, образуя комплексы с различными видами переходных металлов, включая переходные металлы последнего периода. Кроме того, он используется для контроля реакционной способности и селективности реакций, стимулируемых переходными металлами. Часто фосфиновые лиганды с высокой электронной плотностью повышают реакционную способность окислительного присоединения из металлического центра, а их объемность улучшает их способность к восстановительному элиминированию. Механизм и каталитический цикл реакции перекрестного связывания ВН можно увидеть на рисунке 3. Перед началом каталитического цикла необходимо активировать катализатор. Лиганды dba в Pd(0)(dba)<sub>2</sub> заменяются на Xphos. Такая манипуляция повышает

электронную плотность палладия, что увеличивает скорость окислительного присоединения. После создания каталитического комплекса окислительное добавление арилбромида к катализатору Pd-L приводит к образованию соединений Pd(II). Затем ариламинная группа координируется с палладием и образует положительно заряженный азот, что приводит к депротонированию основания и выпадению NaBr в осадок. Наконец, происходит стадия восстановительного удаления для получения целевого ариламина и регенерации катализатора, возвращающего его в исходное состояние.

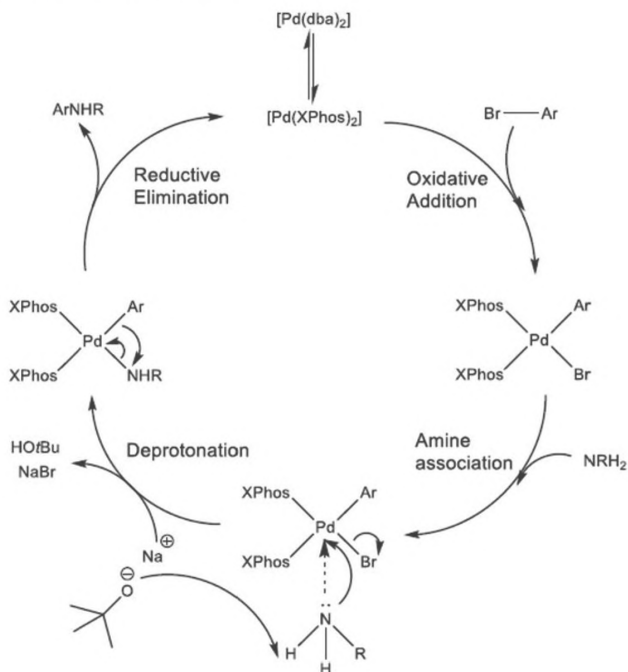


Рисунок 3 – Каталитический цикл и механизм реакции перекрестного взаимодействия Бухвальда-Хартвига [12]

**Методы исследования.** Реакции кросс-сочетания Бухвальда-Хартвига (BH) были использованы для синтеза сопряженных микропористых полимеров. Для этого типа использовались следующие дополнительные материалы и реагенты. В этом исследовании использовались два основных материала: трис (4-бромфенил)

амин (ТВРА) и в качестве линкеров 2,6-диаминоантрахинон (DAAQ). (Рисунок 4).

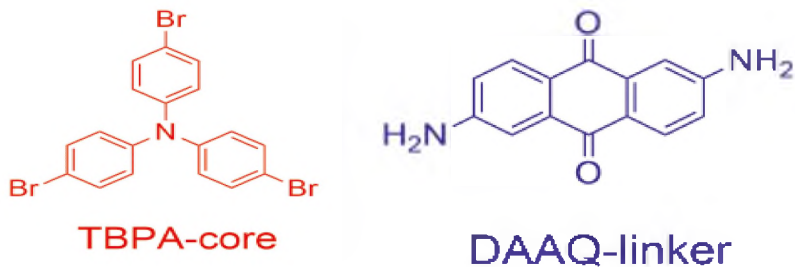


Рисунок 4 – Основные материалы

В качестве катализатора использовали бис(дибензилиденацетон) палладий (0) (Pd(dba)) и 2-дициклогексилфосфино-2',4',6'-триизопрропилбифенил (XPhos) в качестве лиганда и трет-бутоксид натрия в качестве основания. Все исходные материалы и химикаты для реакции кросс-сочетания ВН были заказаны у компании Merck и использованы в качестве полученных. Сухие растворители были собраны в синтетической лаборатории Школы химии. Параметры реакции, такие как соотношение реагентов и растворителя, были оптимизированы для достижения высокого выхода и большую площадь поверхности. Также было исследовано влияние соли на пористость полимеров. в качестве исходного материала для оптимизации были выбраны большое ядро ТВРА и длинный линкер DAAQ, Схема 2-1. Синтезы проводили при трех различных соотношениях ядро: линкер: 1:1,5, 1:2 и 1,5:1 и с двумя растворителями: толуолом и тетрагидрофураном (ТГФ). Более подробная информация относительно эти параметры представлены в Таблице 1.

**Таблица 1. Оптимизация условий реакции перекрестного взаимодействия Бухвальда-Хартвига (ВН)**

Схема реакции	Условия	Соотношения
ТВРА+DAAQ	Растворитель толуол, 48 ч., 110°C	PPAAQ 1:1.5
		PPAAQ 1:1.5
		PPAAQ 1:1.5

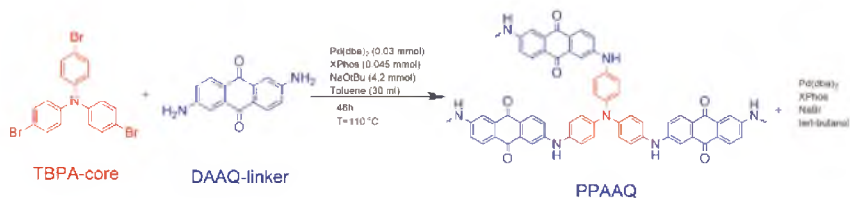


Рисунок 5 – Синтез полифениламиноантрахинона, PPAQ

В данном исследовании определение изотерм физической сорбции осуществлялась с помощью газового прибора Autosorb iQ, адсорбционного анализатора от Quantachrome. Весь процесс анализа можно разделить на три этапа: дегазацию пробы, манометрический анализ и обработку данных. После начальной стадии сушки и дегазации на линии Шленка при высокой температуре (140°C) и сниженном давлении образцы загружаются в ячейки и подвергаются воздействию высокого вакуума при повышенной температуре для удаления газов и остатков растворителя. Чтобы обеспечить воспроизводимость изотерм, все образцы дегазируются при температуре 70°C в течение 20 ч. со скоростью нагрева 1 град. в минуту.

Характерные пики колебаний, принадлежащие ядру и линкеру, обнаруживаются методом преобразующей инфракрасной (FTIR) спектроскопии. Анализ проводится на спектрометре PerkinElmer Spectrum 100. Кристалличность полученных СМП определяется методом порошковой рентгеновской дифрактометрии (PXRD) с использованием прибора Bruker D8 Advance. Твердотельные спектры ультрафиолетового и видимого ближнего инфракрасного диапазона (УФ-видимый/БИК) получаются с использованием спектрометра Shimadzu УФ-2600.

**Результаты и обсуждение.** PPAQ был синтезирован посредством реакции кросс-сочетания Бухвальда Хартвига (BH) между ТВРА и DAAQ в качестве ядра и линкера (структуры, рисунок 5) соответственно. Хинон группы из этого материала продемонстрировали высокую теоретическую способность хранения энергии, настраиваемую окислительно-восстановительные потенциалы и быстрая кинетика для приложений хранения энергии, что делает его привлекательным стартовым Материалом. Полимеры на основе антрахинона продемонстрировали превосходные электрохимические характеристики, повышенная химическая стабильность и облегчение окислительно-восстановительной кинетики в аналогичных приложениях. С точки зрения химии реакция BH открывает простой путь к образованию

углерод-азотные связи между арилгалогенидами и аминами. Здесь был использован Диаминовый линкер на основе антрахинона (DAAQ) и различные тригалогенидные ядра (TBPA). Хорошая пористость и четко выраженная окислительно-восстановительная активность СМГ могут быть разумно спроектированы, что делает их исключительно подходящими для электрохимических применений. Реакция кросс-сочетания между DAAQ и TBPA в толуоле привела к образованию гибридного соединения. PPAAQ-толуол в виде темно-коричневого нерастворимого порошка, выход около 40%. FTIR, XRD и UVVIS/БИК-анализы использовали для подтверждения успешной реакции сочетания и обсуждаются ниже. Исследование показало, что полученный материал обладает высокой степенью структурной и химической однородности.

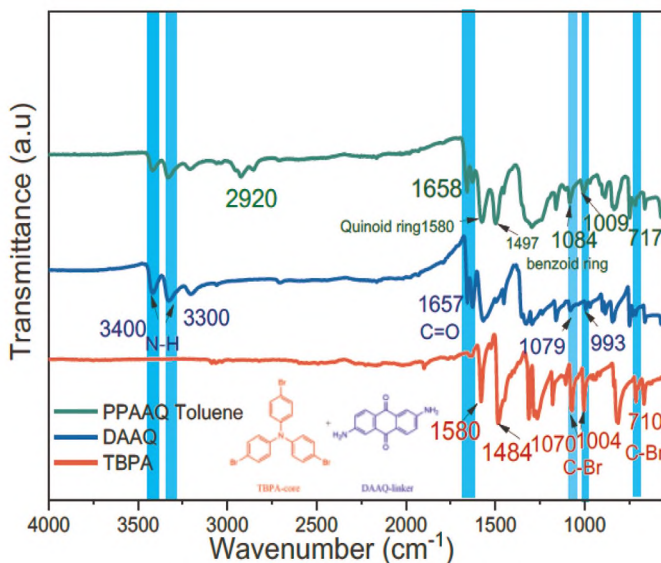


Рисунок 6 – ИК-Фурье-спектр PPAAQ

Образование СМР PPAAQ-толуол было подтверждено инфракрасным преобразованием Фурье (FT-IR) спектроскопией. На рисунке 6 хорошо видно, что пики достигаются при 710, 1004 и 1070  $\text{cm}^{-1}$ , относятся к частотам колебаний валентного движения C-Br, которые отсутствуют или сильно ослаблены в продуктах. Слабые пики при 1085, 1009 и



$717\text{ см}^{-1}$  относятся к СН. при плоских и внеплоских деформационных колебаниях бензоидных колец соответственно. Пик поглощения при  $1658\text{ см}^{-1}$  соответствует валентному колебанию С=О хиноновой группы. Два пика при  $1580$  и  $1497\text{ см}^{-1}$  связаны с растяжением С-С хиноида и бензоида. кольца соответственно. Кроме того, валентное колебание С=О ацетильной группы, указывающий на присутствие DAAQ в структуре. Также на спектре наблюдается пик при  $1256\text{ см}^{-1}$ , который может быть связан с колебаниями С-N связей, что также подтверждает формирование целевого продукта. В целом, спектроскопические данные подтверждают успешную реакцию кросс-сочетания и образование желаемого сопряженного микропористого полимера PPAQ.

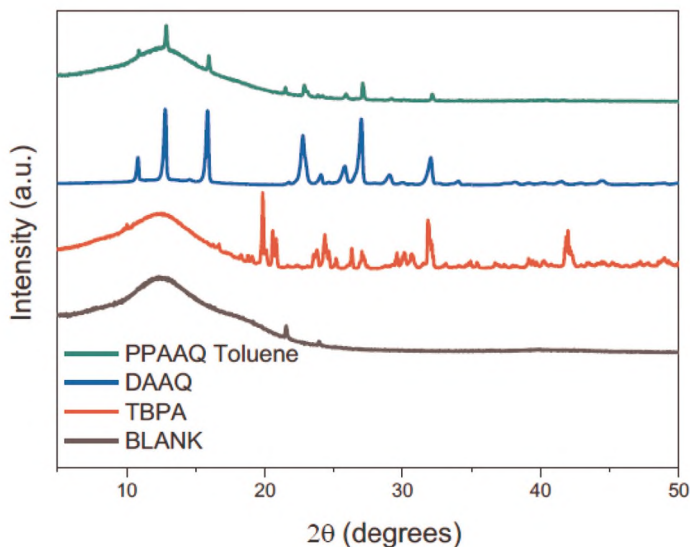


Рисунок 7 – Рентгенограмма PPAQ, исходных материалов и холостого образца

Холостое измерение использовалось для контроля качества, подтверждающего отсутствие каких-либо отклонений веществ, которые могут помешать анализу. Порошковая рентгеновская дифракция PPAQ-толуола показывает, что для полимеров получена аморфная структура (рисунок 7), типичная для пористых органических полимеров, полученных в необратимых условиях. Однако некоторые пики от

исходного материала (DAAQ), имеющего кристаллическую структуру, все еще присутствуют в конечном продукте, даже после обширной экстракции Сокслета. Широкий пик при  $2\theta = 15$  указывает на повторяющиеся единицы внутри полимерных цепей и может отражать степень полимеризации. Дополнительно, анализ микроструктуры PPAQ-толуола с использованием сканирующей электронной микроскопии подтвердил аморфный характер материала и позволил визуализировать его поверхностные особенности. Интересно отметить, что даже при наличии кристаллических фрагментов, структура материала все еще обладает пористыми характеристиками, что может оказать влияние на его свойства и возможные применения. В целом, полученные результаты подтверждают формирование целевого полимера с требуемыми свойствами и открывают перспективы для дальнейших исследований в области электрохимических материалов.

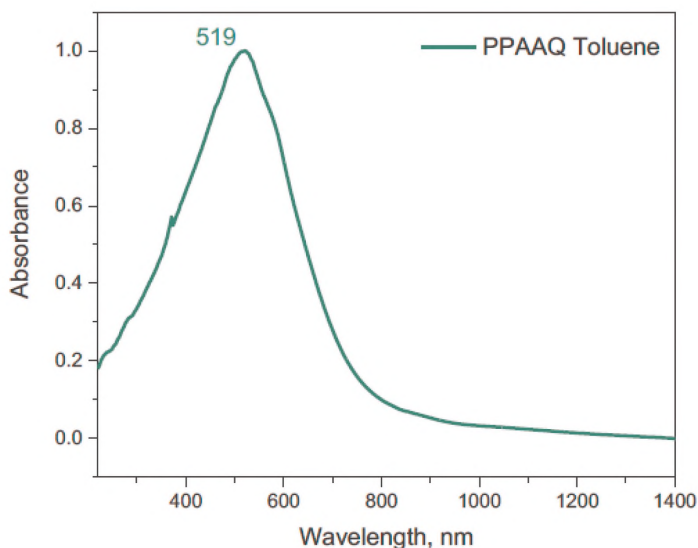
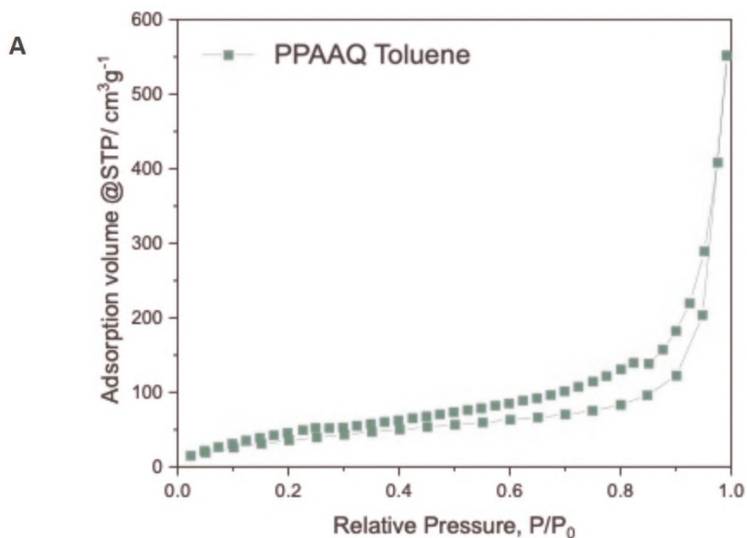


Рисунок 8 – Твердотельные спектры УФ-Видимого/БИК-спектра PPAQ-толуола

УФ-Вид/БИК-спектроскопия была использована для доказательства конъюгации и полимеризации нашего материала (рисунок 8). Полимер PPAQ имеет максимум поглощения при 519 нм, что ха-

рактерно для аморфных сопряженных микропористых полимеров. Кроме того, для таких полимеров характерна определенная форма поглощения. Меньший максимум поглощения, возможно, указывает на более короткие сопряженные структуры, которые могут быть ожидаемы, учитывая структуру исходных материалов. Эти наблюдения подтверждают успешное формирование желаемого полимера и дают дополнительное представление о его структуре и свойствах. Помимо всего прочего, проведенный анализ спектра также позволил выявить характерные пиковые значения, связанные с конъюгированными электронными системами в структуре полимера, что является дополнительным подтверждением его конформации. Важно отметить, что характеристики УФ-Вид/БИК-спектроскопии могут быть использованы для оценки электронных и оптических свойств материала, а также для его качественного и количественного анализа. Эти результаты важны для понимания структуры и свойств синтезированных полимеров и их возможных применений в различных областях, включая электрохимию, фотоэлектронику и катализ.



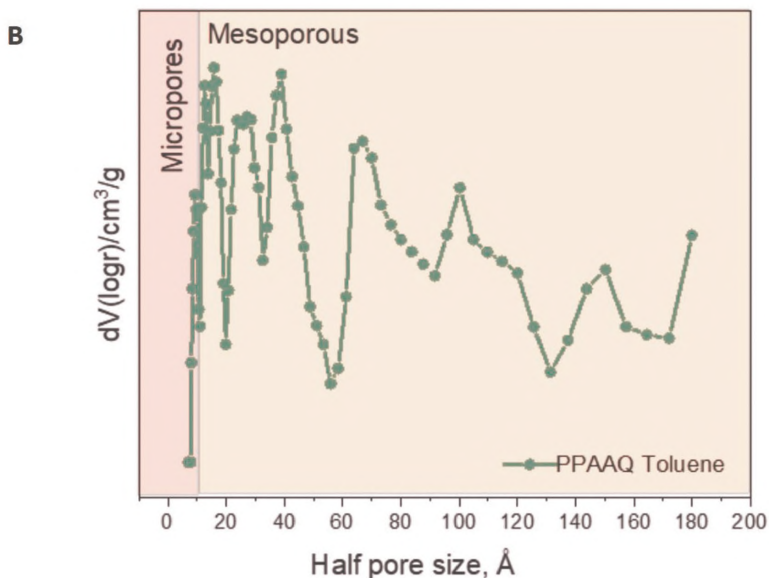


Рисунок 9 – (А) Изотермы адсорбции/десорбции N2 и (В) распределение пор по размерам PPAQ-толуола

Изотермы адсорбции/десорбции N2 PPAQ-толуола показаны на рисунке 9 (а). Все изотермы измерялись при 77 К с помощью газо-адсорбционного анализатора Autosorb iQ. В соответствии с классификацией IUPAC, PPAQ-толуол демонстрирует изотерму сорбции N2 типа III. Этот тип изотермы получается, когда количество адсорбированного газа неограниченно увеличивается по мере того, как его относительное насыщение приближается к единице. Изотермы представляли собой небольшое увеличение от 0 до 0,9 относительного давления. Однако после 0,9 он показал резкое увеличение из-за адсорбции газа, связанной с заполнением макропор и межканальных пустот. Судя по распределению пор по размерам на рисунке 9(б), это показано, что PPAQ-толуол имеет смесь микропор и мезопор. Площадь поверхности пористого материала определяли с использованием метода анализа Брунауэра-Эммета-Теллера (БЭТ). Это широко используемый метод измерения площади поверхности пористых материалов, в том числе полимеров. Молекулы газа адсорбируются на поверхности полимера при различных давлениях, и измеряется количество адсорбированного газа. Применяя уравнение БЭТ к полученным данным, можно рассчитать площадь поверхности

материала. Было обнаружено, что площадь поверхности основного материала составляет 142 м<sup>2</sup>/г. Это значение можно использовать для оптимизации условий реакции и улучшения других соответствующих физических свойств. Дополнительно, анализ распределения пор по размерам показал наличие как микропор, так и мезопор в структуре PPAAQ-толуола, что указывает на разнообразие размеров пор и потенциально повышает доступность активных поверхностей для адсорбции. Эти результаты говорят о многообещающем потенциале материала для применения в области сорбции и разделения газов, а также в качестве электродных материалов в электрохимических устройствах. Дальнейшие исследования, направленные на оптимизацию структуры и свойств PPAAQ-толуола, могут значительно расширить его область применения и улучшить его эффективность в различных технологических приложениях

**Выводы.** В данном исследовании были успешно синтезированы и характеризованы новые богатые азотом сопряженные микропористые полимеры PPAAQ-толуол с использованием реакции кросс-сочетания Бухвальда-Хартвига. Анализ изотерм адсорбции/десорбции азота показал, что материал обладает смесью микро- и мезопор, что может повысить его активную поверхность и способствовать адсорбции различных газов. УФ-Вид/БИК-спектроскопия подтвердила конъюгацию и полимеризацию материала, а также выявила характерные электронные свойства. Исследование распределения пор по размерам указало на наличие разнообразия размеров пор в структуре материала. Также исследование площади поверхности материала с использованием метода БЭТ показало значительную площадь поверхности PPAAQ-толуола, что может быть ключевым фактором для его эффективной работы в качестве адсорбента или катализатора. Важно отметить, что структура и свойства синтезированного материала представляют собой результат тщательной оптимизации процесса синтеза, что открывает перспективы для его применения в различных технологических и промышленных областях. Дальнейшие исследования, сосредоточенные на оптимизации и улучшении свойств PPAAQ-толуола, могут стимулировать его использование в энергетике, охране окружающей среды и других сферах промышленности, где требуются эффективные и инновационные материалы

#### Список литературы

- 1 Lee, J.S. M. & Cooper, A.I. *Advances in Conjugated Microporous Polymers*. Chem. Rev. 120, 2171–2214 (2020).
- 2 Zhang, C. *et al.* Bifunctionalized conjugated microporous polymers for carbon dioxide capture. *Polymer (Guildf)*. 61, 36–41 (2015).

3 Huang, Q. *et al.* Layered Thiazolo [5,4- d] Thiazole-Linked Conjugated Microporous Polymers with Heteroatom Adoption for Efficient Photocatalysis Application. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 11, 15861–15868 (2019).

4 Chen, L., Honsho, Y., Seki, S. & Jiang, D. Light-harvesting conjugated microporous polymers: Rapid and highly efficient flow of light energy with a porous polyphenylene framework as antenna. *J. Am. Chem. Soc.* 132, 6742–6748 (2010).

5 Chen, L., Yang, Y. & Jiang, D. CMPs as scaffolds for constructing porous catalytic frameworks: A built-in heterogeneous catalyst with high activity and selectivity based on nanoporous metalloporphyrin polymers. *J. Am. Chem. Soc.* 132, 9138–9143 (2010).

6 Khaligh, A. & Li, Z. Battery, ultracapacitor, fuel cell, and hybrid energy storage systems for electric, hybrid electric, fuel cell, and plug-in hybrid electric vehicles: State of the art. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 59, 2806–2814 (2010).

7 Chang, L., Stacchiola, D. J. & Hu, Y. H. An Ideal Electrode Material, 3D Surface- Microporous Graphene for Supercapacitors with Ultrahigh Areal Capacitance. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 9, 24655–24661 (2017).

8 Liu, X., Xu, Y. & Jiang, D. Conjugated microporous polymers as molecular sensing devices: Microporous architecture enables rapid response and enhances sensitivity in fluorescence-on and fluorescence-off sensing. *J. Am. Chem. Soc.* 134, 8738–8741 (2012).

9 Herde, Z. D., Dharmasena, R., Sumanasekera, G., Tumuluru, J. S. & Satyavolu, J. Impact of hydrolysis on surface area and energy storage applications of activated carbons produced from corn fiber and soy hulls. *Carbon Resour. Convers.* 3, 19–28 (2020).

10 Chen, J. *et al.* Tunable Surface Area, Porosity, and Function in Conjugated Microporous Polymers. *Angew. Chemie - Int. Ed.* 58, 11715–11719 (2019).

11 Jiang, J. X. *et al.* Conjugated microporous poly(aryleneethynylene) networks. *Angew. Chemie - Int. Ed.* (2007) doi:10.1002/anie.200701595.

12 Liao, Y., Weber, J. & Faul, C. F. J. Conjugated microporous polytriphenylamine networks. *Chem. Commun.* (2014) doi:10.1039/c4cc03026e.

13 Liao, Y., Wang, H., Zhu, M. & Thomas, A. Efficient Supercapacitor Energy Storage Using Conjugated Microporous Polymer Networks Synthesized from Buchwald–Hartwig Coupling. *Adv. Mater.* 30, (2018)

## References

1 Lee, J.S. M. & Cooper, A.I. Advances in Conjugated Microporous Polymers. *Chem. Rev.* 120, 2171–2214 (2020).

2 Zhang, C. *et al.* Bifunctionalized conjugated microporous polymers for carbon dioxide capture. *Polymer (Guildf)*. 61, 36–41 (2015).

3 Huang, Q. *et al.* Layered Thiazolo [5,4- d] Thiazole-Linked Conjugated Microporous Polymers with Heteroatom Adoption for Efficient Photocatalysis Application. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 11, 15861–15868 (2019).

4 *Chen, L., Honsho, Y., Seki, S. & Jiang, D.* Light-harvesting conjugated microporous polymers: Rapid and highly efficient flow of light energy with a porous polyphenylene framework as antenna. *J. Am. Chem. Soc.* 132, 6742–6748 (2010).

5 *Chen, L., Yang, Y. & Jiang, D.* CMPs as scaffolds for constructing porous catalytic frameworks: A built-in heterogeneous catalyst with high activity and selectivity based on nanoporous metalloporphyrin polymers. *J. Am. Chem. Soc.* 134, 9138–9143 (2010).

6 *Khaligh, A. & Li, Z.* Battery, ultracapacitor, fuel cell, and hybrid energy storage systems for electric, hybrid electric, fuel cell, and plug-in hybrid electric vehicles: State of the art. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 59, 2806–2814 (2010).

7 *Chang, L., Stacchiola, D. J. & Hu, Y. H.* An Ideal Electrode Material, 3D Surface-Microporous Graphene for Supercapacitors with Ultrahigh Areal Capacitance.

*ACS Appl. Mater. Interfaces* 9, 24655–24661 (2017).

8 *Liu, X., Xu, Y. & Jiang, D.* Conjugated microporous polymers as molecular sensing devices: Microporous architecture enables rapid response and enhances sensitivity in fluorescence-on and fluorescence-off sensing. *J. Am. Chem. Soc.* 134, 8738–8741 (2012).

9 *Herde, Z. D., Dharmasena, R., Sumanasekera, G., Tumuluru, J. S. & Satyavolu, J.* Impact of hydrolysis on surface area and energy storage applications of activated carbons produced from corn fiber and soy hulls. *Carbon Resour. Convers.* 3, 19–28 (2020).

10 *Chen, J. et al.* Tunable Surface Area, Porosity, and Function in Conjugated Microporous Polymers. *Angew. Chemie - Int. Ed.* 58, 11715–11719 (2019).

11 *Jiang, J. X. et al.* Conjugated microporous poly(aryleneethynylene) networks. *Angew. Chemie - Int. Ed.* (2007) doi:10.1002/anie.200701595.

12 *Liao, Y., Weber, J. & Faul, C. F. J.* Conjugated microporous polytriphenylamine networks. *Chem. Commun.* (2014) doi:10.1039/c4cc03026e.

13 *Liao, Y., Wang, H., Zhu, M. & Thomas, A.* Efficient Supercapacitor Energy Storage Using Conjugated Microporous Polymer Networks Synthesized from Buchwald–Hartwig Coupling. *Adv. Mater.* 30, (2018)

### **Сведения об авторах**

**Муханов Даурен Кабдракимович** – магистр химии, Эксперимент; обработка данных; обсуждение; подготовка рукописи. dd\_511@mail.ru

### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Муханов Даурен Кабдракимович** – химия ғылымдарының магистрі, эксперимент; деректерді өңдеу; талқылау; қолжазбаны дайындау. dd\_511@mail.ru

### **Information about the authors**

**Mukhanov Dauren Kabdrakimovich** – MSc in chemistry, Experiment; data processing; discussion; preparation of the manuscript. dd\_511@mail.ru