

## Literature

1. World Health Organization (WHO). Antimicrobial Resistance: Global Report on Surveillance; WHO: Geneva, Switzerland, 2020.
2. Prestinaci, F.; Pezzotti, P.; Pantosti, A. Antimicrobial resistance: A global multifaceted phenomenon. *Pathog. Glob. Health* 2015, 109, 309–318.
3. Peng, C.; Xu, J.; Yu, M.; Ning, X.; Huang, Y.; Du, B.; Hernandez, E.; Kapur, P.; Hsieh, J.T.; Zheng, J. Tuning the in-Vivo Transport of Anticancer Drugs Using Renal-Clearable Gold Nanoparticles. *Angew. Chem.* 2019, 131, 8567–8571.
4. Ferlay J, Ervik M, Lam F, Colombet M, Mery L, Piñeros M, et al. Global Cancer Observatory: Cancer Today. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 2020 (<https://gco.iarc.fr/today>, accessed February 2021).
5. Tan, S.Y.; Tatsumura, Y. Alexander Fleming (1881–1955): Discoverer of penicillin. *Singap. Med. J.* 2015, 56, 366–367.

### **МАГНИТНЫЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ИМПРИНТИРОВАННЫЕ ПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ГУМИНОВОЙ КИСЛОТЫ**

Жакина А.Х., Арнт О.В., Альжанкызы А. Мулдахметов З.М.  
ТОО «Институт органического синтеза и углехимии РК»

В настоящее время интенсивное развитие промышленного производства и широкое использование химикатов в различных областях деятельности человека сопровождаются глобальным загрязнением воды и почвы различными токсичными веществами. В последнее десятилетие со стороны исследователей проявляется большой интерес к новому классу синтетических материалов, обладающих способностью к распознаванию и селективной избирательностью по отношению к определенным соединениям. Данные материалы получают с помощью метода MolecularImprinting.

Природные высокомолекулярные полимерные сорбенты, распознающие целевые молекулы или ионы, привлекают особое внимание [1-2]. Однако, из-за присущего им существенного недостатка – замедленной скорости сорбции, такие полимерные сорбенты пока не получили широкого практического применения, хотя область их потенциального применения чрезвычайно широка [3-5].

Ранее нами [6] с использованием метода MolecularImprinting были созданы импринтированные полимеры на основе аминокислот, с внедрением многостенных углеродных нанотрубок, предварительно настроенные на ион меди. Привлекательность полученных импринтированных полимеров для практического использования обусловлена такими свойствами, как простота получения, высокая стабильность, селективность связывания целевых металлов.

В последние годы наноразмерные сорбционные материалы являются наиболее перспективными. Увеличивается число публикаций в области полимерных магнитных сорбентов. Добавление магнитных наночастиц в молекулярно-импринтированные полимеры позволяет использовать технику магнитной сепарации для удаления токсинов из загрязненной среды.

Среди природных полимерных магнитных сорбентов большой научный и практический интерес представляют сшитые магнитные сорбенты на основе гуминовой кислоты, сочетающие в себе уникальные сорбционные свойства с возможностью отделения сорбента от раствора.

В продолжении исследований в данном направлении нами ведутся работы по получению наноразмерных сорбционных материалов, а именно молекулярно-импринтированных полимерных магнитных сорбентов, ориентированных на ион меди, на основе аминокислот.

Синтез магнитных молекулярно-импринтированных полимеров на основе гуминовой кислоты для селективной сорбции ионов меди осуществляли по ранее разработанной нами методике [6].

На первом этапе получали предполимеризационный комплекс на основе гуминовой кислоты, с внедрением наночастиц металлов магнетита и молекулярного шаблона (М). При этом происходит образование устойчивого предполимеризационного комплекса ( $\text{Fe}_3\text{O}_4\cdot\text{ГК}\cdot\text{М}$ ) между молекулами магнетита, гуминовой кислоты и шаблона. Благодаря образованию такого предполимеризационного комплекса, молекулы полимера определенным образом располагаются и фиксируются вокруг молекулы шаблона.

Для синтеза магнетита использовали соли  $\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{FeCl}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  и раствор аммиака. Синтез наночастиц магнетита проводили путем совместного осаждения солей  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$  в щелочной среде. Внедрение наночастиц металлов магнетита в ГК осуществлено с помощью ультразвука.

На втором этапе, путем сополимеризации предполимеризационного комплекса ( $\text{Fe}_3\text{O}_4\cdot\text{ГК}\cdot\text{М}$ ) с амином и сшивающим агентом осуществлен синтез сшитого композита, предварительно настроенного на сорбцию локальным расположением участков макромолекул. В качестве амина использовали амид акриловой кислоты, сшивающего агента – формальдегид, шаблона –  $\text{CuSO}_4$ .

Сущность двух этапов заключается во взаимодействии модифицированного полимера и сорбируемого иона в условиях, когда звенья макромолекул еще имеют достаточную подвижность, с последующей фиксацией возникающих оптимальных для сорбции конформаций, что в свою очередь должно привести к существенному улучшению сорбционных характеристик композита.

На третьем этапе из полимерной сетки удаляли молекулярный шаблон. Изучение устойчивости «настроенных» сорбентов к кислотному гидролизу проводилось путем обработки композита раствором соляной кислоты с дальнейшим фильтрованием, многократным промыванием и высушиванием.

Таким образом, методом Molecular Imprinting осуществлен синтез сшитого полимера на основе гуминовой кислоты с внедрением наночастиц магнетита и

молекулярного шаблона в условиях ультразвукового диспергирования, с последующей сополиконденсацией с амином и формальдегидом, настроенного на сорбируемый ион меди. Структура полученных молекулярно-импринтированных полимеров доказана современными физико-химическими методами. Контроль реакции осуществляли по присоединенному амину, с использованием элементного анализатора и по содержанию кислородсодержащих групп, определяемых методами кондуктометрического титрования.

Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РК по теме целевой программы № BR10965230 «Разработка «зеленых» технологий получения полифункциональных материалов на основе глубокой переработки органоминерального сырья Казахстана».

### Литература

1. Fresco-Cala B., Batista A.D., Cárdenas S. Molecularly Imprinted Polymer Micro- and Nano-Particles: A Review // *Molecules*. – 2020. – Vol. 25(20), № 4740. – P. 1-22. <https://doi.org/10.3390/molecules25204740>
2. Zarejousheghani M., Rahimi P., Borsdorf H., Zimmermann S., Joseph Y. Molecularly Imprinted Polymer-Based Sensors for Priority Pollutants // *Sensors*. – 2021. – Vol. 21(7), № 2406. – P. 1-23. <https://doi.org/10.3390/s21072406>
3. Haupt K., Medina Rangel P.X., Tse Sum Bui B. Molecularly Imprinted Polymers: Antibody Mimics for Bioimaging and Therapy // *Chemical Reviews* – 2020. – Vol. 120, Iss. 17. – P. 9554-9582. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c00428>
4. Pichon V., Delaunay N., Combes A. Sample Preparation Using Molecularly Imprinted Polymers // *Analytical Chemistry*. – 2020. – Vol. 92, Iss. 1. – P. 16-33. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.9b04816>
5. Касымова Э.Дж., Кыдралиева К.А., Жоробекова Ш.Ж. Получение и сорбционные свойства магнитных ион-импринтированных полимеров по отношению к  $UO_2^{2+}$  // *Успехи современного естествознания*. – № 3. – 2019. – С. 139-144.
6. Muldakhmetov Z.M., Gazaliev A.M., Zhakina A.Kh., Vassilets Ye.P., Arnt O.V. Synthesis of a composite based on humic acid tuned to sorbed copper ion // *Bulletin of the University of Karaganda. Chemistry*. – 2022. – № 4 (108). – P. 182. <https://doi.org/10.31489/2022Ch4/4-22-14>.