**Модифицированные магнитные наночастицы для концентрирования биоорганических соединений и металлов**

*м.н.с. Максимова Валерия Владимировна*

*Лаборатория концентрирования*

**Введение**

Магнитные наночастицы (МНЧ) (оксиды железа, ферриты, биметаллические частицы и др.) широко используют в биотехнологии, медицине, материаловедении, инженерии и других областях науки и техники. Высокоразвитая поверхность МНЧ, возможность ее модифицирования в сочетании с магнитными свойствами обусловливают перспективность применения МНЧ для анализа и очистки неорганических и органических веществ [1].

Методы магнитной твердофазной экстракции в настоящее время привлекают интерес исследователей для решения фундаментальных и прикладных задач. Использование МНЧ в качестве сорбентов позволяет повысить эффективность извлечения аналитов, избегая потери, возможные на этапах центрифугирования и фильтрования. Физико-химические и сорбционные свойства МНЧ напрямую зависят от метода синтеза и условий модифицирования.

Цель работы – синтез новых модифицированных наночастиц магнетита в водных двухфазных полимерно-солевых системах, изучение их физико–химических свойств и применение для магнитной твердофазной экстракции биоорганических и неорганических соединений.

**Основная часть**

Синтез и модифицирование МНЧ осуществляли на границе раздела фаз водных двухфазных систем на основе полиэтиленгликоля (ПЭГ) и фазообразующих солей (карбонатов, нитратов и сульфатов натрия / аммония). Двухфазные системы полимер–соль универсальны благодаря низкой вязкости и высокой скорости разделения фаз. По данным фазовых диаграмм определены оптимальные составы реакционной среды. Варьированием параметров синтеза (природы и концентрации реагентов и последовательности их введения в систему) изменяли состав, структуру и размер получаемых частиц.

Модификация поверхности МНЧ полимерами предотвращает агрегацию, улучшает химическую устойчивость и обеспечивает биосовместимость (ПЭГ – биоразлагаемый полимер). Для придания дополнительных свойств, в том числе селективности по отношению к определенным компонентам и устойчивости в растворах, проводили функционализацию МНЧ. В качестве функционализирующих веществ использовали пиридиниевые, имидазолиевые и фосфониевые ионные жидкости (ИЖ). Благодаря высокой сольватирующей способности и наличию в составе катиона и/или аниона функционально-аналитических групп, ИЖ применяют для выделения и разделения заданных аналитов.

Синтезируемые наночастицы Fe3O4@ПЭГ / Fe3O4@ПЭГ@ИЖ охарактеризовали физико–химическими методами. Морфологию МНЧ определяли сканирующей и просвечивающей электронной микроскопией и методом динамического рассеяния света. Для изучения фазового состава полученных МНЧ использовали метод рентгеновской дифрактометрии. Наличие металл–кислородных связей и функциональных групп на поверхности наночастиц определяли методом Ик–Фурье спектроскопии. Содержание органического вещества измеряли методом термогравиметрического анализа. Магнитные свойства изучали при помощи магнитометра с вибрирующем образцом под действием внешнего магнитного поля.

Модифицированные МНЧ использовали в качестве сорбентов для выделения и очистки биоорганических соединений (на примере фермента *L–лизин-α-оксидазы*) и для концентрирования и разделения металлов (на примере платиновых металлов) в статических и динамических условиях.

**Результаты**

Разработана одностадийная методика синтеза МНЧ, модифицированных полимером, в водных двухфазных полимерно-солевых системах. Получены данные по оптимизации условий синтеза и модифицирования МНЧ наиболее перспективными ИЖ. Средний диаметр получаемых МНЧ составляет 12–15 нм, толщина оболочки 1–2 нм. Все синтезированные МНЧ имеют структуру ферритовой шпинели, форма кривой намагничивания типична для частиц диаметром меньше 20 нм.

Проведены сравнительные эксперименты по изучению стабильности и биосовместимости МНЧ в физиологической среде. Продемонстрировано, что для наночастиц, покрытых ПЭГ и двукатионной пиридиниевой жидкостью, характерна наибольшая стабильность [2].

Синтезированные МНЧ Fe3O4@ПЭГ обеспечивают быструю и эффективную сорбцию *L–лизин-α-оксидазы* из культуральной жидкости *Trichoderma harzianum Rifai F-180* без изменения ее ферментативной активности [3]. Разработанная методика может быть использована для очистки *L–лизин-α-оксидазы* и доставки ее лекарственной формы для ферментотерапии.

На примере сорбционного концентрирования платиновых металлов показана возможность использования МНЧ, функционализированных фосфониевыми ИЖ, в неорганическом анализе. Установлена высокая сорбционная способность МНЧ Fe3O4@ПЭГ@Cyphos IL 101 по отношению к ионам платины(IV) и палладия(II) в солянокислых (0.1 – 1 М HCl) и хлоридных (до 100 г/л Cl–) растворах [4–5]. Разработан комбинированный метод определения платины(IV) и палладия(II), включающий их селективное концентрирование, последующее элюирование раствором 2 M HNO3 и определение методами АЭС-ИСП или МС-ИСП.

Разработан макет экспериментальной магнитной установки для удерживания магнитных сорбентов и проведения магнитной твердофазной экстракции в потоке [6–7].

**Список литературы**

1. Моходоева О.Б., **Максимова В.В.**, Дженлода Р.Х., Шкинев В.М. Модифицированные ионными жидкостями магнитные наночастицы в анализе объектов окружающей сред // Журнал аналитической химии. – 2021. – T. 76. – № 6. – С. 483.

2. Kuznetsova O., Mokhodoeva O., **Maksimova V.**, Dzhenloda R., Jarosz M., Shkinev V., Timerbaev A. High-resolution ICP-MS approach for characterization of magnetic nanoparticles for biomedical applications // Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. – 2020. – V. 189. – 113479.

3. Shkinev V., **Maksimova V.**, Mokhodoeva O., Larichev V., Spivakov B., Osmolovskaya O., Egorova A., Smirnova I., Dzhenloda R. Nanosized magnetite modified with poly(ethylene glycol) for efficient sorption of L-lysine-α-oxidase from the culture fluid // Materials Letters. – 2022. – V. 323. – 132535.

4. Mokhodoeva O., Shkinev V., **Maksimova V.**, Dzhenloda R., Spivakov B. Recovery of platinum group metals using magnetic nanoparticles modified with ionic liquids // Separation and Purification Technology. – 2020. – V. 248. – 117049.

5. **Максимова В.В.**, Моходоева О.Б., Шкинев В.М. Сорбционное концентрирование платины(IV) и палладия(II) магнитными сорбентами, модифицированными ионными жидкостями // XXIII Международная Черняевская конференция по химии, аналитике и технологии платиновых металлов, 3 – 7 октября 2022 г., г. Новосибирск.

6. Трофимов Д.А., Данилова Т.В., **Максимова В.В.**, Моходоева О.Б., Шкинев В.М. Магнитная твердофазная экстракция элементов в динамическом режиме // IV Съезд Аналитиков России, 25 сентября – 1 октября 2022 г., г. Москва.

7. **Максимова В.В.**, Моходоева О.Б., Дженлода Р.Х., Шкинев В.М., Спиваков Б.Я. Магнитная твердофазная экстракция платиновых металлов // ХI Всероссийская научная конференция и школа «Аналитика Сибири и Дальнего Востока», 16-20 августа 2021 г., г. Новосибирск.