

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТНЫХ СОРБЕНТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

Е. Н. Казимирская¹, А. В. Лихачева²

¹ Аспирант кафедры «Промышленная экология», УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Беларусь, e-mail: kazimirskaaekaterina@gmail.com

² К. т. н., доцент, заведующий кафедрой «Промышленная экология», УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Беларусь, e-mail: alikhachova@mail.ru

Реферат

Магнитные сорбенты из отходов производства получены традиционным методом соосаждения, который был модифицирован с учетом использования в качестве сырьевого ресурса отходов. Последующая обработка полученных сорбентов показала, что на их свойства существенное влияние оказывают условия температурной обработки.

В результате проведенных исследований было установлено, что перспективным направлением является использование полученных из отходов производства магнетитовых ядер в качестве магнитной составляющей при получении композиционных магнитных сорбентов.

Исследование свойств сорбентов проводилось с использованием следующих параметров: насыпная плотность, влагоемкость, нефтеемкость, краевого угла скачивания, адсорбция по метиленовому голубому.

Ключевые слова: отход, магнитный сорбент, метод соосаждения, нефтеемкость, температурная обработка.

THE EFFECT OF TEMPERATURE TREATMENT ON THE PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF MAGNETIC SORBENTS OBTAINED FROM INDUSTRIAL WASTE

E. N. Kazimirskaya, A. V. Likhacheva

Abstract

Magnetic sorbents from production waste were obtained by the traditional method of co-deposition, which was modified to take into account the use of waste as a raw material resource. Subsequent processing of the obtained sorbents showed that their properties are significantly influenced by the conditions of temperature treatment.

As a result of the conducted research, it was found that a promising direction is the use of magnetite nuclei obtained from production waste as a magnetic component in the production of composite magnetic sorbents.

The properties of sorbents were studied using the following parameters: bulk density, moisture capacity, oil capacity, edge angle of loading, adsorption by methylene blue.

Keywords: waste, magnetic sorbent, co-precipitation method, oil capacity, temperature treatment.

Введение

Среди всего многообразия методов очистки сточных вод наиболее выгодно выделяются сорбционные методы, обладающие рядом преимуществ: простота осуществления, возможность глубокой очистки обрабатываемых сред от различных загрязняющих веществ, высокая эффективность при малых концентрациях выделяемых соединений; возможность рекуперации различных веществ [1–2]. Наибольшее распространение среди сорбционных материалов ввиду высокой эффективности получили активные угли и их производные. При выборе сорбционного материала большое внимание уделяется его сорбционным характеристикам, способам регенерации и утилизации отработанного материала, а также стоимости получения и доступности сырьевой базы.

В последние годы применение наноматериалов в качестве сорбентов привлекает внимание исследователей. Особый интерес вызывают магнитные наноматериалы, преимущественно магнетит (Fe₃O₄), и сорбенты на их основе, поскольку можно управлять их перемещением в обрабатываемых средах с помощью внешнего магнитного поля. В настоящее время синтезировано много магнитных сорбентов. В основном это сорбенты со структурой «ядро-оболочка» – магнитные наночастицы (МНЧ) с иммобилизованными на их поверхности различными неорганическими или органическими соединениями [1, 2]. Относительно недавно стали появляться работы, посвященные получению нанокompозитных сорбционных материалов, содержащих инкапсулированные магнитные наночастицы. Эти сорбенты получают относительно просто: сорбцией МНЧ или обработкой сорбентов растворами солей железа (II, III) при последующем формировании МНЧ на их поверхности. В настоящее время такие сорбенты на основе углерода и органополимерных матриц, в частности сверхсшитого полистирола, известны и успешно применяются в аналитической практике [3].

Модификация поверхности угля позволяет повысить управляемость сорбента, а также легко извлекать его из обрабатываемой среды.

Получение магнитных сорбентов на данный момент осуществляют из чистых химических веществ или природного минерала [4–5]. Кроме этого, известен способ получения магнитного сорбента из измельченных частиц отхода, такого как окалина, которые в дальнейшем связываются парафином [6].

Целью работы являлось получение композиционного магнитного сорбента, обладающего улучшенными характеристиками, а также исследование влияния температурной обработки полученных материалов на их характеристики.

Экспериментальная часть

В данной работе в качестве сырья для получения магнитных сорбентов рассматривался отход – железная окалина [7].

Получение магнитного сорбента состояло из нескольких стадий:

1. Выщелачивание ионов железа из железной окислы раствором серной кислоты.
2. Осаждение магнетита из полученного раствора гидроксидом калия при pH 8.12.
3. Сушка полученного материала в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре 105 °С.
4. Температурная обработка магнитных сорбентов при температурах от 300 до 800 °С.

В работе было синтезировано два вида магнитных сорбентов: один получен из железной окислы и представлял собой частицы магнетита (MC), второй был получен методом химического соосаждения солей железа в порах активированного угля раствором гидроксида калия при pH 8–12 (KMC).

Для оценки свойств полученных сорбентов использовали растворы красителя метиленового голубого (концентрация 0,3 г/дм³), йода (концентрация 0,1 н). Для определения нефтеемкости использовали отработанное печное топливо.

Определение влияния температурной обработки на физико-химические характеристики разных видов сорбентов проводили при температуре от 300 до 800 °С с шагом 100 °С. При этом наблюдалось изменение окраски частиц магнитных сорбентов с черной мато-

вой на ярко-бурюю, что свидетельствовало о структурных превращениях, происходящих в обрабатываемых образцах. В ходе эксперимента выявлено, что лучшим условием температурной обработки является прокалывание при 300 °С.

Результаты исследования влияния температурной обработки на величину физико-химических свойств полученных частиц представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования физико-химических свойств магнитных сорбентов

Вид сорбента	Температура обработки, °С	Насыпная плотность, г/см ³	Влагоемкость, г/г	Нефтеемкость, г/г	Краевой угол смачивания, град.		Адсорбция по МГ, мг/г
					вода	нефть	
МС	105	0,922	1,518	0,97	44	43	23,27
	300	0,938	1,523	0,98	49	53	25,77
	400	0,873	1,735	0,86	55	60	24,57
	500	0,844	1,547	0,91	26	53	8,33
	600	0,849	1,524	0,92	48	49	4,33
	700	0,843	1,234	0,86	34	54	0,83
	800	0,901	1,192	0,745	52	51	2,33
КМС	105	0,685	1,068	1,45	30	55	66,77
	300	0,509	1,404	1,60	35	49	67,15
	400	0,465	1,861	1,63	32	60	66,65
	500	0,391	2,842	2,20	42	44	32,88
	600	0,312	3,834	2,49	56	53	22,83
	700	0,329	4,107	2,73	48	68	28,3
800	0,401	3,145	1,8	39	45	1,83	
АУ	–	0,423	4,243	2,43	–	–	72,24

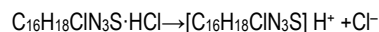
Примечание – МС – магнитный сорбент, представляющий собой частицы Fe₃O₄; КМС – композиционный магнитный сорбент, полученный в результате осаждения Fe₃O₄ на поверхности активированного угля (АУ); АУ – активированный уголь; МГ – метиленовый голубой.

В качестве органического модельного загрязнителя применяли широко используемый для этой цели краситель – метиленовый голубой (МГ). На рисунке 1 представлены результаты изучения влияния условий температурной обработки МС на величину сорбционной емкости (СЕ) синтезированных магнитных сорбентов по отношению к МГ.

Метиленовый голубой – катионный краситель, на адсорбцию которого влияет заряд поверхности адсорбента. Поверхность адсорбента будет отрицательно заряженной выше рН точки нулевого заряда (рН_{тнз}) и положительно заряженной ниже рН_{тнз}. Согласно литературным данным, рН_{тнз} Fe₃O₄ (магнетита) лежит в диапазоне от 6 до 8 в зависимости от способа его получения.

Кроме того, были проведены исследования процесса адсорбции ионов Cl⁻, которые показали, что ионы Cl⁻ практически не сорбируются как МС, так и КМС.

Высокая адсорбция МГ обусловлена силами притяжения между катионами красителя, который диссоциирует согласно уравнению



и отрицательными зарядами адсорбирующей поверхности сорбентов. Отрицательный заряд поверхности также обуславливает и практически нулевую адсорбционную способность к ионам Cl⁻.

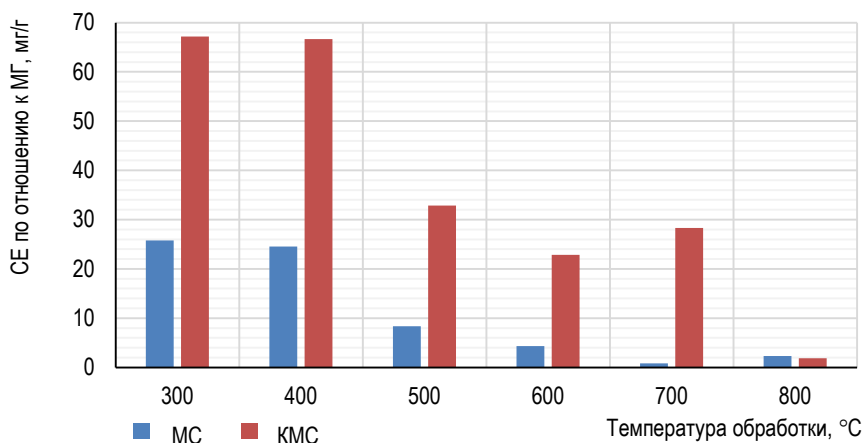


Рисунок 1 – Зависимость СЕ синтезированных сорбентов по отношению к МГ от условий их температурной обработки

Таким образом, можно сделать вывод о том, что полученные наночастицы магнитного сорбента обладают отрицательным зарядом поверхности.

Несмотря на то, что СЕ МС по отношению к МГ ниже СЕ КМС и АУ, данные значения превышают СЕ магнитных сорбентов, полученных из чистых веществ (Fe₃O₄/SiO₂ [5] – максимальная СЕ по отношению к МГ составляет 14,7 мг/г).

Снижение сорбционной емкости активированного угля объясняется уменьшением его удельной поверхности вследствие введения наночастиц, что согласуется с данными исследований [8, 9]. По данным [10–12], одной из причин снижения удельной поверхности является уменьшение доли углеродной составляющей адсорбента, кроме того, в [13–15] показано, что соединения железа при нанесении их на углеродную поверхность приводят к блокировке на ней микропор.

Как отмечено в [16], соли, включая $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, FeC_2O_4 , $\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7$ и $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, ингибируют развитие пор, что приводит к более низким значениям удельной поверхности и, следовательно, к низким значениям сорбционной емкости.

Однако увеличить значение сорбционной емкости магнитного углеродного сорбента по сравнению с исходным углеродным сорбентом можно следующим образом:

- 1) за счет модификации исходного углеродного сорбента железом;
- 2) в результате возникновения электростатического притяжения между магнетитом и ионами извлекаемого вещества [16].

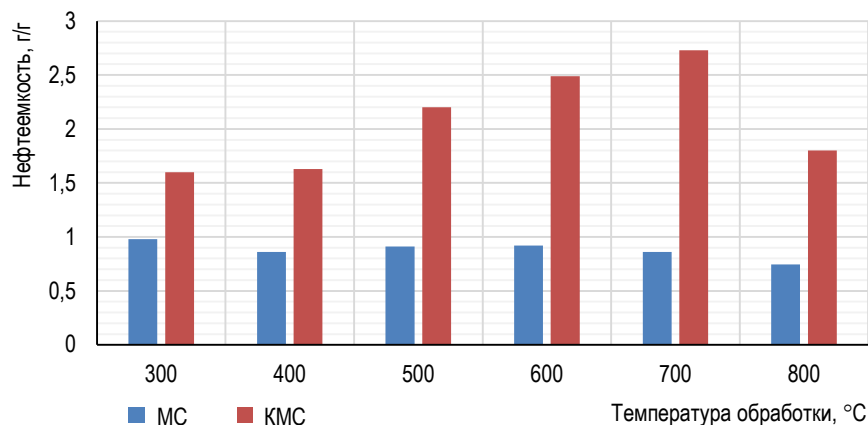


Рисунок 2 – Зависимость нефтеемкости синтезированных магнитных сорбентов от условий температурной обработки

Как видно из графика, максимальными значениями нефтеемкости обладает KMC. При этом, наибольшее значение нефтеемкости KMC приобретает в результате обработки при температуре 700 °C. Однако стоит отметить, что по достижении температуры обработки магнитных сорбентов в 600 °C их магнитные свойства резко снижаются.

Увеличение значений нефтеемкости KMC с увеличением температуры обработки связано с образованием трещин и пор большего размера, вследствие чего происходит снижение значений удельной поверхности.

Если сравнивать синтезированные магнитные сорбенты со схожими магнитными сорбентами, то полученные значения сопоставимы с магнитным сорбентом, полученным из измельченного отхода окалина, связанного парафином – 2,3 г/г [6], магнитным сорбентом, полученным из железосодержащих отходов водоподготовки при температуре 300 °C – 2,96 г/г [17], магнитным сорбентом, полученным из отходов животноводческих хозяйств – 2,8 г/г [18].

Заключение

В работе использовались два вида магнитных сорбентов, полученных различным путем: один представляет собой наночастицы магнетита, полученного из железосодержащих отходов производства модифицированным методом Массара, второй – путем осаждения частиц магнетита в порах активированного угля. Исследования по получению второго вида сорбента проводились с целью установления возможности получения композиционного магнитного сорбента из немагнитной матрицы растительного происхождения и частиц магнетита, полученных из железосодержащих отходов.

Как показывают результаты исследований, в связи с тем, что магнитные сорбенты имеют высокую влагоемкость их применение в исходном виде не эффективно, требуется гидрофобизирующая обработка магнитных сорбентов.

Полученные MC и KMC характеризуются такими же значениями нефтеемкости, как и у магнитных сорбентов, полученных как из отходов производства, так и из чистых веществ. Однако данные значения и не ниже.

Определенные значения адсорбции МГ полученных магнитных сорбентов подтверждают, что данные MC являются перспективными сорбционными материалами и могут быть использованы для очистки сточных вод от органических загрязнителей.

Изучив влагоемкость и нефтеемкость полученных сорбентов, заключили, что их применение в исходном виде неэффективно, требуется гидрофобизирующая обработка магнитных сорбентов. Приме-

Определение краевого угла смачивания поверхности полученных материалов водой и нефтепродуктом (печного топлива) позволило установить, что магнитные сорбенты обладают высокими гидрофильными и олеофильными свойствами, что может оказывать негативный эффект на значения нефтеемкости магнитных сорбентов при их использовании в практике очистки вод от разливов нефтепродуктов. На рисунке 2 представлены результаты изучения влияния условий температурной обработки на значения нефтеемкости синтезированных магнитных сорбентов.

ром такой обработки является нанесение гидрофобизирующего реагента на гранулы магнитного сорбента [19].

Сравнив физико-химические характеристики MC и KMC, можно сделать вывод о целесообразности использования синтезированных магнитных частиц в качестве магнитной матрицы при получении композиционных магнитных сорбентов.

Модифицирование активированного угля (АУ) магнетитом уменьшает сорбционную способность полученных композиционных магнитных сорбентов (KMC) по сравнению с исходным активированным углем. Однако при этом стоит отметить, что сорбционные свойства полученных KMC в сравнении с MC улучшаются, а обработанный АУ приобретает магнитные свойства.

При температурной обработке происходит изменение структуры синтезированных магнитных сорбентов, что приводит к изменению их свойств.

Список цитированных источников

1. Chen, J. Magnetic solid phase extraction using ionic liquid-coated core-shell magnetic nanoparticles followed by high-performance liquid chromatography for determination of Rhodamine B in food samples / J. Chen, X. Zhu // *Food Chemistry*. – 2016. – Vol. 200. – P. 10–15.
2. Roto, R. Magnetic adsorbent of $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ core-shell nanoparticles modified with thiol group for chloroauric ion adsorption / R. Roto, Y. Yusran, A. Kuncaka // *Applied Surface Science*. – 2016. – Vol. 377. – P. 30–36.
3. Facile synthesis of magnetic hypercrosslinked polystyrene and its application in the magnetic solid-phase extraction of sulfonamides from water and milk samples before their HPLC determination / V. V. Tolmacheva [et al.] // *Talanta*. – 2016. – Vol. 152. – P. 203–208.
4. Чан Туан Хоанг Магнетит с модифицированной поверхностью для водоочистки / Чан Туан Хоанг, Т. А. Юрмазова, Е. А. Вайтулович // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2019. – Т. 330, № 8. – С. 163–172.
5. Алексеева, О. В. Адсорбция метиленового голубого из водных растворов на композите галлуазит/магнетит: эксперимент и моделирование / О. В. Алексеева, А. В. Носкова, Д. Н. Смирнова // *Журнал физической химии*. – 2022. – Т. 96, № 4. – С. 547–552.
6. Магнитосорбенты на основе отходов стальной окалины для удаления разливов нефтепродуктов / Л. Н. Ольшанская [и др.] // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика*. – 2019. – № 2. – С. 92–105.

7. Казимирская, Е. Н. Производственные отходы как сырьевой ресурс для получения магнитных сорбентов / Е. Н. Казимирская, А. В. Лихачева // Химия и жизнь : сб. статей XXI Междунар. науч.-практ. студ. конф., Новосибирск, 19 мая 2022 г. – Новосибирск : Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета "Золотой колос", 2022. – С. 322–324.
8. Teresa, J. B. Activated carbon surfaces in environmental remediation / J. B. Teresa // Journal of Colloid and Interface Science. – New York : Elsevier, 2006. – Vol. 298, Iss. 1. – P. 572–576.
9. Baghdadi, M. Removal of carbamazepine from municipal wastewater effluent using optimally synthesized magnetic activated carbon: Adsorption and sedimentation kinetic studies / M. Baghdadi, E. Ghaffari, B. Aminzadeh // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2016. – Vol. 4, No. 3. – P. 3309–3321.
10. Preparation, characterization, and application of magnetic activated carbon for treatment of biologically treated papermaking wastewater / Zhuqing Feng [et al.] // Science of The Total Environment. – 2020. – Vol. 713. – P. 136423.
11. Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected Pneumonia / H. Luo [et al.] // Bioresource Technology. – 2019. – Vol. 282. – P. 310–317.
12. Dysbiosis of Gut Microbiota (DOGMA)--a novel theory for the development of Polycystic Ovarian Syndrome / E.-A. Moaca [et al.] // Molecules. – 2019. – Vol. 24. – P. 2–18.
13. Lompe, K. M. The influence of iron oxide nanoparticles upon the adsorption of organic matter on magnetic powdered activated carbon / K. M. Lompe, D. Menard, B. Barbeau // Water Research. – 2017. – Vol. 123. – P. 30–39.
14. Nano-Scale Pore Structure and Fractal Dimension of Longmaxi Shale in the Upper Yangtze Region, South China: A Case Study of the Laifeng–Xianfeng Block Using HIM and N₂ Adsorption / C. Huang [et al.] // Minerals. – 2019. – Vol. 9 (6). – P. 356.
15. Fast nitrate and fluoride adsorption and magnetic separation from water on α -Fe₂O₃ and Fe₃O₄ dispersed on Douglas fir biochar / N. B. Dewage [et al.] // Biores. Technol. – 2018. – Vol. 263. – P. 258–265.
16. Магнитные железосодержащие углеродные материалы как сорбенты для извлечения загрязнителей из водных сред (обзор) / М. Д. Веденяпина [и др.] // Химия твердого топлива. – 2021. – № 5. – С. 15–37.
17. Горелая, О. Н. Магнитный сорбент из отходов водоподготовки для удаления нефтепродуктов из водных сред / О. Н. Горелая, Н. Л. Будейко, В. И. Романовский // Вестник Полоцкого государственного университета. Строительство. Прикладные науки. – 2020. – № 16. – С. 52–57.
18. Процесс получения магнитного сорбента в лабораторных условиях / Е. А. Квашева [и др.] // Сборник материалов IX Всероссийской науч.-практ. конф. молодых ученых с междунар. участием «Россия молодая» : конференция проходит при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Кемерово, 18–21 апреля 2017 г. – Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2017.
19. Ушакова, Е. С. Влияние процесса гидрофобизации на свойства магнитных углеродных сорбентов / Е. С. Ушакова, А. Г. Ушаков, Л. В. Соловьева // Южно-Сибирский научный вестник. – 2020. – № 1. – С. 39–44.
20. CHan Tuan Hoang Magnetit s modifirovannoj poverhnost'yu dlya vodoочистki / CHan Tuan Hoang, T. A. YUrmazova, E. A. Vajtulevich // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. – 2019. – T. 330, № 8. – С. 163–172.
21. Alekseeva, O. V. Adsorbciya metilénovogo golubogo iz vodnyh rastvorov na kompozite galluazit/magnetit: eksperiment i modelirovanie / O. V. Alekseeva, A. V. Noskova, D. N. Smirnova // Zhurnal fizicheskoj himii. – 2022. – T. 96, № 4. – S. 547–552.
22. Magnitosorbenty na osnove othodov stal'noj okaliny dlya udaleniya razlivov nefteproduktov / L. N. Ol'shanskaya [i dr.] // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika. – 2019. – № 2. – S. 92–105.
23. Kazimirskaia, E. N. Proizvodstvennye othody kak syr'evoj resurs dlya polucheniya magnitnyh sorbentov / E. N. Kazimirskaia, A. V. Lihacheva // Himiya i zhizn' : sb. statej XXI Mezhdunar. nauch.-prakt. stud. konf., Novosibirsk, 19 maya 2022 g. – Novosibirsk : Izdatel'skij centr Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta "Zolotoj kolos", 2022. – S. 322–324.
24. Teresa, J. B. Activated carbon surfaces in environmental remediation / J. B. Teresa // Journal of Colloid and Interface Science. – New York : Elsevier, 2006. – Vol. 298, Iss. 1. – P. 572–576.
25. Baghdadi, M. Removal of carbamazepine from municipal wastewater effluent using optimally synthesized magnetic activated carbon: Adsorption and sedimentation kinetic studies / M. Baghdadi, E. Ghaffari, B. Aminzadeh // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2016. – Vol. 4, No. 3. – P. 3309–3321.
26. Preparation, characterization, and application of magnetic activated carbon for treatment of biologically treated papermaking wastewater / Zhuqing Feng [et al.] // Science of The Total Environment. – 2020. – Vol. 713. – P. 136423.
27. Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected Pneumonia / H. Luo [et al.] // Bioresource Technology. – 2019. – Vol. 282. – P. 310–317.
28. Dysbiosis of Gut Microbiota (DOGMA)--a novel theory for the development of Polycystic Ovarian Syndrome / E.-A. Moaca [et al.] // Molecules. – 2019. – Vol. 24. – P. 2–18.
29. Lompe, K. M. The influence of iron oxide nanoparticles upon the adsorption of organic matter on magnetic powdered activated carbon / K. M. Lompe, D. Menard, B. Barbeau // Water Research. – 2017. – Vol. 123. – P. 30–39.
30. Nano-Scale Pore Structure and Fractal Dimension of Longmaxi Shale in the Upper Yangtze Region, South China: A Case Study of the Laifeng–Xianfeng Block Using HIM and N₂ Adsorption / C. Huang [et al.] // Minerals. – 2019. – Vol. 9 (6). – P. 356.
31. Fast nitrate and fluoride adsorption and magnetic separation from water on α -Fe₂O₃ and Fe₃O₄ dispersed on Douglas fir biochar / N. B. Dewage [et al.] // Biores. Technol. – 2018. – Vol. 263. – P. 258–265.
32. Magnitnye zhelezosoderzhashchie uglernodnye materialy kak sorbenty dlya izvlecheniya zagryaznitelej iz vodnyh sred (obzor) / M. D. Vedenyapina [i dr.] // Himiya tverdogo topliva. – 2021. – № 5. – S. 15–37.
33. Gorelaya, O. N. Magnitnyj sorbent iz othodov vodopodgotovki dlya udaleniya nefteproduktov iz vodnyh sred / O. N. Gorelaya, N. L. Budejko, V. I. Romanovskij // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. – 2020. – № 16. – S. 52–57.
34. Process polucheniya magnitnogo sorbenta v laboratornyh usloviyah / E. A. Kvashevaya [i dr.] // Sbornik materialov IX Vserossijskoj nauch.-prakt. konf. molodyh uchenyh s mezhdunar. uchastiem «Rossiya molodaya» : konferenciya prohodit pri podderzhke Rossijskogo fonda fundamental'nyh issledovanij, Kemerovo, 18–21 aprelya 2017 g. – Kemerovo : Kuzbasskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni T.F. Gorbacheva, 2017.
35. Ushakova, E. S. Vliyanie processa gidrofobizacii na svojstva magnitnyh uglernodnyh sorbentov / E. S. Ushakova, A. G. Ushakov, L. V. Solov'eva // YUzhno-Sibirskij nauchnyj vestnik. – 2020. – № 1. – S. 39–44.

References

1. Chen, J. Magnetic solid phase extraction using ionic liquid-coated core-shell magnetic nanoparticles followed by high-performance liquid chromatography for determination of Rhodamine B in food samples / J. Chen, X. Zhu // Food Chemistry. – 2016. – Vol. 200. – P. 10–15.
2. Roto, R. Magnetic adsorbent of Fe₃O₄@SiO₂ core-shell nanoparticles modified with thiol group for chloroauric ion adsorption / R. Roto, Y. Yusran, A. Kuncaka // Applied Surface Science. – 2016. – Vol. 377. – P. 30–36.
3. Facile synthesis of magnetic hypercrosslinked polystyrene and its application in the magnetic solid-phase extraction of sulfonamides from water and milk samples before their HPLC determination / V. V. Tolmacheva [et al.] // Talanta. – 2016. – Vol. 152. – P. 203–208.

Материал поступил 26.04.2024, одобрен 21.05.2024, принят к публикации 21.05.2024