

Оригинальная статья / Original article

УДК 66.067.8.081.3

<http://dx.doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-376-384>

Изучение сорбции ионов Ce(III) хелатообразующим синтетическим сорбентом на основании сополимера стирола с малеиновым ангидридом и *m*-аминофенола

© А.Ф. Алиева, Ф.Э. Гусейнов, Э.Дж. Эюбова, Н.Т. Шамилов, Ф.М. Чырагов

Бакинский государственный университет, г. Баку, Азербайджан

Резюме: В данной статье представлены результаты исследования сорбции ионов церия(III) хелатообразующим синтетическим сорбентом. На основании сополимера стирола с малеиновым ангидридом и амина – *m*-аминофенола, синтезирован новый полимерный хелатообразующий сорбент и изучены сорбционные характеристики данного сорбента по отношению к ионам церия (III). Синтез сорбента был осуществлен в присутствии формалина, который в данном случае играет роль сшивающего агента. В ходе исследований изучены различные параметры, влияющие на сорбцию, в частности определены: оптимальное значение pH; ионная сила; время, необходимое для установления полного сорбционного равновесия; влияние начальной концентрации ионов церия (III) на процесс сорбции. Исследования показали, что максимальная сорбционная емкость сорбента по отношению к ионам церия (III) составляет 540 мг/г при оптимальном значении pH = 5. В ходе изучения влияния ионной силы на процесс сорбции было установлено, что до определенного значения ионной силы – 0,2–1,0 моль/л, присутствие ионов K⁺ и Cl⁻ не влияет на сорбционную емкость сорбента. Также был изучен обратный процесс десорбции и установлен оптимальный элюент с использованием различных минеральных кислот одинаковой концентрации: 0,5 М растворы HCl, HNO₃, H₂SO₄, CH₃COOH. Установлено, что наилучшую десорбирующую способность по отношению к ионам церия проявляет 0,5 моль/л раствор HNO₃. Структура синтезированного сорбента, присутствие тех или иных функциональных групп была исследована методом инфракрасной спектроскопии в области от 400 до 4000 см⁻¹.

Ключевые слова: сорбция, церий(III), хелатообразующий сорбент, параметры процесса, десорбция

Информация о статье: Дата поступления 28 июня 2019 г.; дата принятия к печати 5 сентября 2019 г.; дата онлайн-размещения 30 сентября 2019 г.

Для цитирования: Алиева А.Ф., Гусейнов Ф.Э., Эюбова Э.Дж., Шамилов Н.Т., Чырагов Ф.М. Изучение сорбции ионов Ce(III) хелатообразующим синтетическим сорбентом на основании сополимера стирола с малеиновым ангидридом и *m*-аминофенола // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. Т. 9, N 3. С. 376–384. DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-3-376-384

Study of Ce(III) sorption by a chelating synthetic sorbent based on a copolymer of styrene with maleic anhydride and *m*-aminophenol

© Aygun F. Alieva, Fatali E. Huseynov, Esmira J. Eyyubova, Nazim T. Shamilov, Famil M. Chyragov

Baku State University, Baku, Azerbaijan

Abstract: In the present article the results of a study for the sorption of cerium (III) ions by a chelating synthetic sorbent are presented. Based on a copolymer of styrene with maleic anhydride and *m*-aminophenol, a new polymer chelating sorbent was synthesised and its sorption characteristics were studied with respect to cerium (III) ions. The synthesis of the sorbent was carried out in the presence of formalin acting as a cross-linking agent. In the course of the studies, various parameters affecting sorption were determined: optimal pH value; ionic strength; the time of complete sorption equilibrium; the effect of the initial concentration

of cerium (III) ions on the sorption process. Studies have shown the maximum sorption capacity of the sorbent with respect to cerium (III) ions to be equal to 540 mg/g at pH = 5. In the course of studying the influence of ionic strength on the sorption process up to a certain value of ionic strength (0.2-1.0 mol/L), the presence of K^+ and Cl^- ions was established to have no effect on the sorption capacity of the sorbent. The reverse desorption process was also studied and the optimal eluent was established using various mineral acids of the same concentration: 0.5 M solutions of HCl, HNO_3 , H_2SO_4 and CH_3COOH . HNO_3 solution of the 0.5 mol/L concentration demonstrated the best desorption ability with respect to cerium ions. The structure of the synthesised sorbent and the presence of certain functional groups was investigated by IR spectroscopy in the region from 400 to 4000 cm^{-1} .

Keywords: sorption, cerium (III), chelating sorbent, process parameters, desorption

Information about the article: Received June 28, 2019; accepted for publication September 5, 2019; available online September 30, 2019.

For citation: Alieva A.F., Huseynov F.E., Eyyubova E.J., Shamilov N.T., Chyragov F.M. Study of Ce(III) sorption by a chelating synthetic sorbent based on a copolymer of styrene with maleic anhydride and *m*-aminophenol. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology]. 2019, vol. 9, no. 3, pp. 376–384. (In Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-3-376-384

ВВЕДЕНИЕ

Ионы тяжелых металлов являются одним из наиболее опасных загрязнителей окружающей среды ввиду своей токсичности. Их извлечение из природных и промышленных объектов очень важно для живых организмов. Для этих целей разработаны различные методики. В настоящее время предложены технологические процессы для концентрирования ионов металлов. Среди них сорбция является наиболее простой и дешевой технологией. Чаще всего в качестве адсорбирующего вещества используется активированный уголь благодаря его микропористой структуре и высокой сорбционной емкости [1–3]. Также существуют и другие неорганические и органические сорбенты, применяемые для извлечения ионов тех или иных металлов. Однако было установлено, что большинство из них имеют низкую сорбционную активность по отношению к ионам тяжелых металлов. Поэтому разработка новых методик проведения сорбции и синтез новых сорбентов является актуальной задачей [4–7].

В последние годы значительный успех достигнут в использовании органических и неорганических сорбентов для селективного извлечения элементов [1, 8–11]. С этой точки зрения важное место занимают полимерные хелатообразующие сорбенты [12–14].

Целью настоящей работы является изучение сорбции ионов Ce(III) из его водных растворов полимерным хелатообразующим сорбентом, синтезированным из сополимера стирола с малеиновым ангидридом и *m*-аминофенола [15, 16]. В ходе исследований изучены различные сорбционные характеристики, в частности, влияние pH, времени, ионной силы, начальной концентрации иона металла. Также был изучен процесс десорбции и установлен оптимальный элюент.

Экспериментальная часть

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Приготовление растворов. Исходный раствор Ce(III) с заданной концентрацией был приготовлен растворением рассчитанной навески $Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ в дистиллированной воде. Равновесные концентрации ионов Ce(III) в растворе определены фотометрическим методом с помощью соответствующего реактива – 3-[2-(4,4-диметил-2,6-диоксоциклогексидил)гидразинил]-2-гидрокси-5-нитробензол-1-сульфокислота [17]. (схема 1).

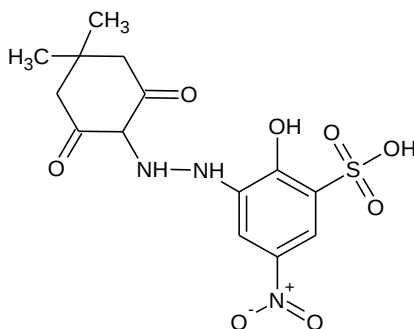


Схема 1. Молекулярная структура реактива

Scheme 1. Molecular structure of the reagent

Для сорбционных исследований готовили 10^{-2} моль/л раствор иона Ce(III) и $2 \cdot 10^{-3}$ моль/л раствор реактива. Оптические плотности растворов были измерены на КФК-2, установлены оптимальные значения: $\text{pH} = 3$ и $\lambda = 440$ нм.

В ходе исследований изучено влияние pH на сорбционную емкость сорбента [17]. Буферные растворы ($\text{pH} = 3-8$) были приготовлены на основании 0,1 N растворов CH_3COOH и $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Для изучения влияния ионной силы на сорбционную емкость сорбента использовали раствор KCl (2 моль/л).

Для синтеза сорбента использовали сополимер стирола с малеиновым ангидридом (схема 2, а) и *m*-аминофенол в качестве амина (схема 2, б).

Синтез сорбента был осуществлен по известной методике [18]. В качестве полимерной матрицы использовали сополимер стирола с малеиновым ангидридом и *m*-аминофенол в качестве амина. Для этого в круглодонную колбу добавляли 3 г полимера. К нему был добавлен *m*-аминофенол (1,61 г), предварительно растворенный в воде. Синтез был проведен в присутствии 20–25 мл формалина. Реакцию проводили при температуре 60–70 °C в течение 30–40 мин.

Выход продукта составил примерно 2 г. В ходе реакции наблюдались следующие превращения (схема 3).

Поскольку процесс осуществлялся в водной среде, ангидридные группы полимера подверглись гидролизу. По окончании реакции полученный продукт синтеза отфильтровывали, промывали, высушивали, измельчали и использовали в дальнейших исследованиях.

Концентрирование. Для каждого эксперимента 2 мл раствора иона металла с концентрацией (10^{-2} моль/л) добавляли в конические колбы емкостью 50 мл. В каждую колбу добавляли 30 мг сорбента и регулировали pH . Значение pH растворов контролировали с помощью pH -метра Ion-ometer-130. Полученную смесь выдерживали в течение 24 ч. Затем содержимое колбы отфильтровывали для отделения жидкой фазы от твердой. В дальнейшем из каждой колбы отбирали по 1 мл пробы, разбавляли буферным раствором $\text{pH} = 3$ и определяли конечные концентрации ионов Ce(III) с реагентом 3-[2-(4,4-диметил-2,6-диоксоциклогексиден)гидразинил]-2-гидрокси-5-нитробензол-1-сульфокислота на фотоэлектроколориметре КФК-2 при длине волны 440 нм.

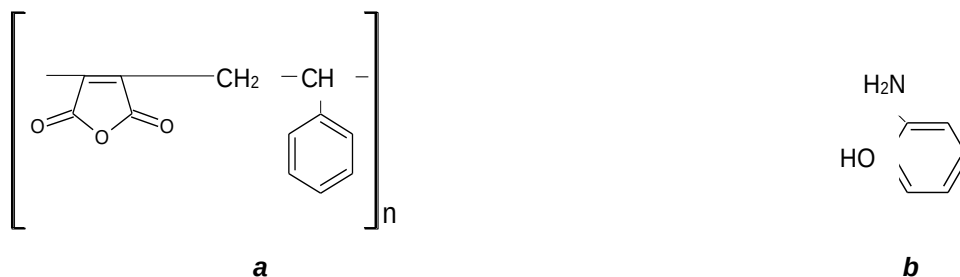


Рис. 2. Молекулярная структура сополимера стирола с малеиновым ангидридом (а) и *m*-аминофенола (б)

Scheme 2. Molecular structure of the maleic anhydride and styrene copolymer (a) and *m*-aminophenol (b)

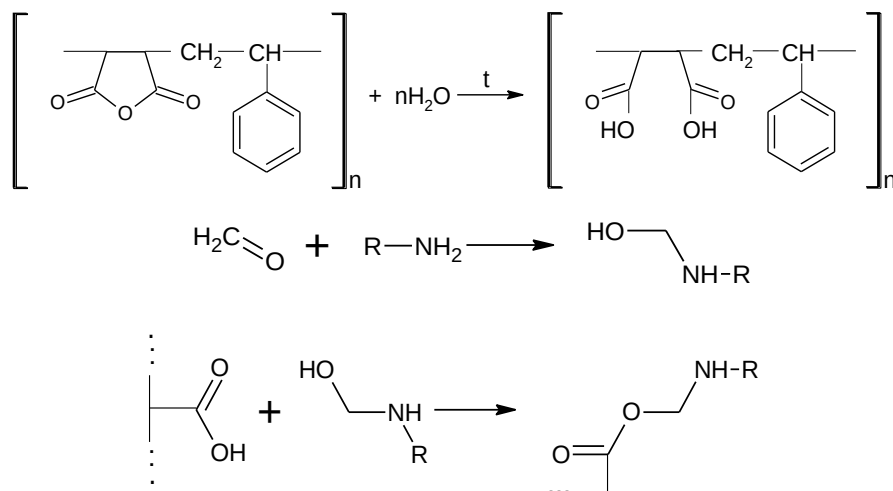


Схема 3. Реакция получения сорбента

Scheme 3. Sorbent obtaining

Степень извлечения иона металла рассчитывали по нижеследующим формулам:

$$R = \frac{C_0 - C_e}{C_e} \cdot 100, \quad (1)$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{m}. \quad (2)$$

где C_0 – начальная концентрация иона металла, моль/л; C_e – равновесная концентрация иона металла, моль/л; V – объем раствора, л; m – масса сорбента, мг.

Конечные результаты были рассчитаны на 1000 мг сорбента, сорбционная емкость вычислена в мг/г сорбента.

Процесс десорбции. Изучение десорбции проводили с использованием различных неорганических кислот одинаковой концентрации, а именно: 0,5 моль/л растворы HNO_3 , HCl , H_2SO_4 и CH_3COOH кислот. Для проведения эксперимента в 4 различные колбы вводили по 30 мг сорбента,

добавили 2 мл 10^{-2} моль/л раствора Се(III) и 18 мл буферного раствора с $\text{pH} = 5,0$ и оставляли на 210 мин. Впоследствии фильтрованием отделили твердую часть раствора от жидкой. К выделенному сорбенту добавили по 20 мл 0,5 моль/л растворов HNO_3 , HCl , H_2SO_4 и CH_3COOH кислот, оставили на 24 ч. По истечении суток вновь отделили жидкую часть раствора от твердой. Затем из раствора отобрали по 1 мл, добавили 1-2 мл 2 моль/л раствора KOH , разбавили буферным раствором $\text{pH} 3,0$ и определили конечные концентрации ионов Се(III) по методике [19] на КФК-2.

Аппаратура. Оптические плотности растворов измеряли на фотоэлектрокалориметре КФК-2 в кювете с толщиной слоя $l = 1$ см, значения pH – на pH -метре Ionomer-130. ИК-спектр сорбента был снят на приборе Varian 3600 Fourier (спектрометр в области от 400 до 4000 cm^{-1}).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Структура сорбента. Результат ИК исследования структуры сорбента показан на рис. 1 [20]:

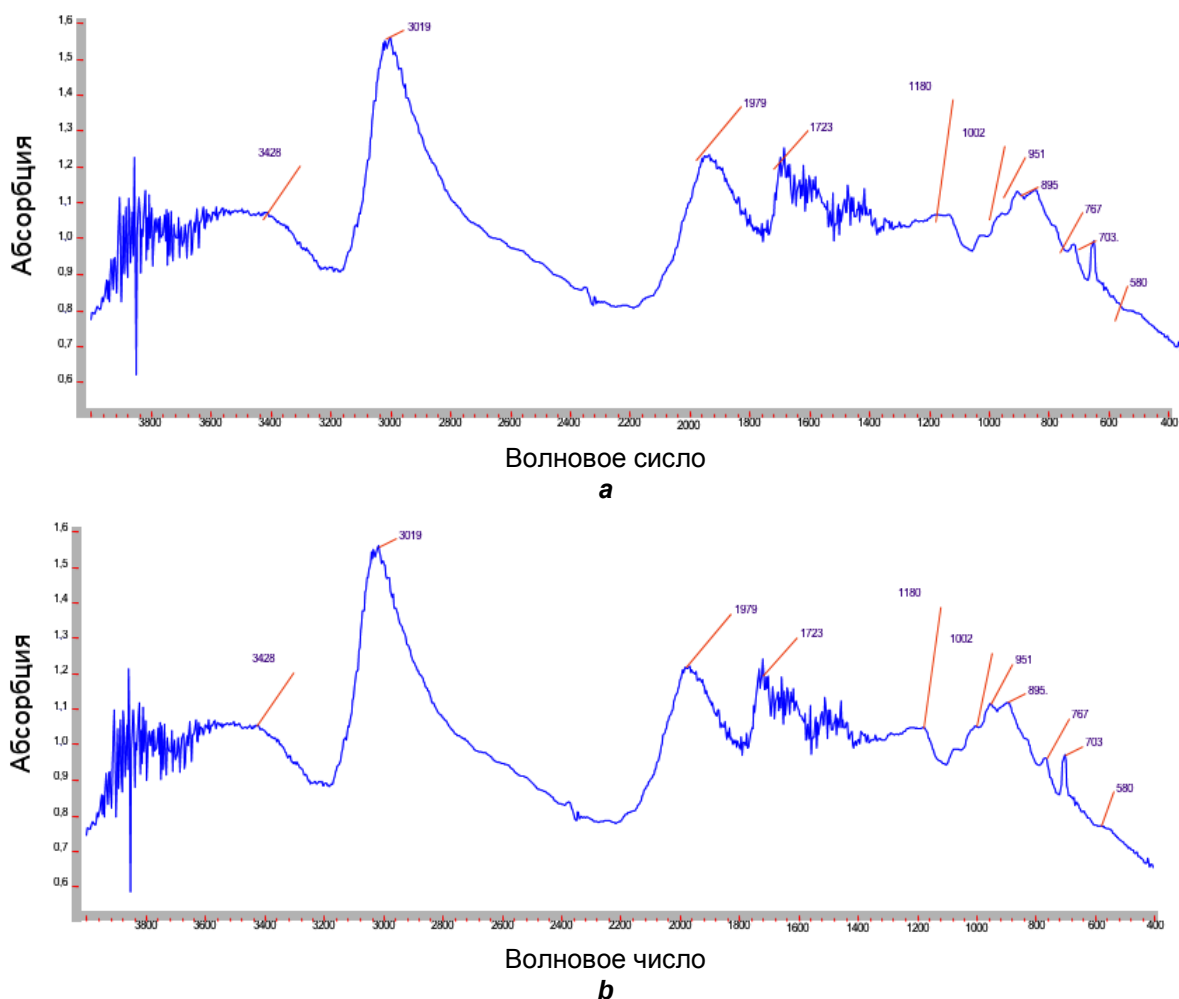


Рис. 1. ИК-спектр сорбента до (а) и после сорбции (b)

Fig. 1. IR spectra of sorbent before (a) and after adsorption (b)

Как видно по ИК-спектрам сорбента, представленным на рис. 1, в его структуре присутствуют следующие функциональные группы: в интервале частоты колебаний $3600-3100\text{ см}^{-1}$ – валентные колебания ОН-группы в составе карбоксильной группы, при частоте колебаний $3400-3200\text{ см}^{-1}$ – валентные колебания NH-группы, при $1780-1750\text{ см}^{-1}$ – валентные колебания C=O-группы карбоксильной группы, при $1570-1540\text{ см}^{-1}$ – валентные колебания CN-группы и деформационные колебания NH-группы, при $725-675\text{ см}^{-1}$ – деформационные колебания группы C-C бензольного кольца.

Влияние pH на степень извлечения $Ce(III)$.

Одним из важнейших параметров, оказывающих влияние на степень сорбции, является pH, поэтому изучение влияния данного параметра явля-

ется важной задачей. Результаты исследований показали, что наибольшее извлечение металла наблюдается при $pH = 5,0$, дальнейшие сорбционные эксперименты были проведены при данном значении. На рис. 2 графически представлена зависимость сорбционной емкости сорбента от pH.

При более высоких значениях pH ион церия(III) подвергается гидролизу.

Влияние времени на степень извлечения иона металла. Влияние времени на сорбционную емкость иона металла $Ce(III)$ показано на рис. 3. Для исследования данного параметра измерения проводили в интервале от 0 до 270 мин. Равновесные концентрации ионов металла в образце были определены в соответствующие промежутки времени на КФК-2 при $\lambda = 440\text{ нм}$.

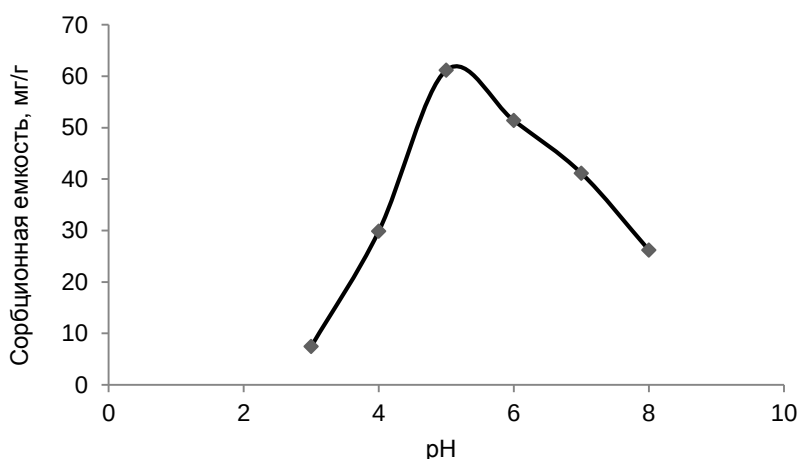


Рис. 2. Зависимость сорбционной емкости сорбента от pH;
 $m_{\text{сорб.}} = 30\text{ мг}$, $V_{\text{общ.}} = 20\text{ мл}$, $C_{\text{Me}} = 10^{-2}\text{ моль/л}$

Fig. 2. Sorption capacity of sorbent versus pH; $m_{\text{sorb.}} = 30\text{ mg}$, $V_{\text{gen.}} = 20\text{ ml}$, $C_{\text{Me}} = 10^{-2}\text{ mol/l}$

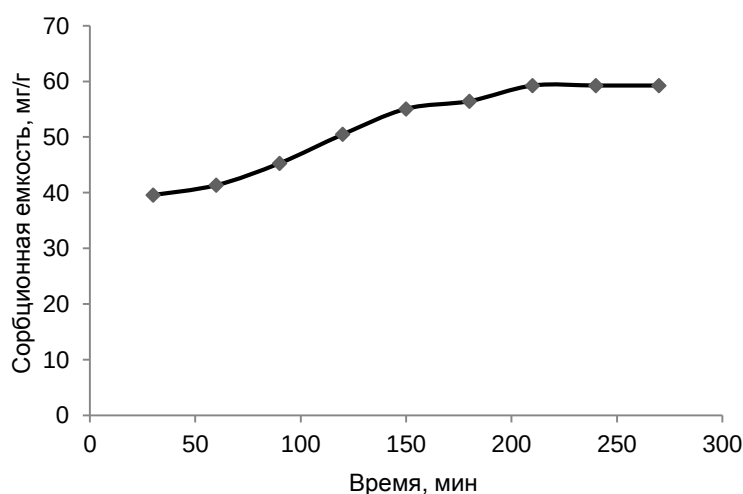


Рис. 3. Влияние времени на сорбционную емкость сорбента;
 $m_{\text{сорб.}} = 30\text{ мг}$, $V_{\text{общ.}} = 20\text{ мл}$, $C_{\text{Me}} = 10^{-2}\text{ моль/л}$

Fig. 3. Time course of the sorption capacity; $m_{\text{sorb.}} = 30\text{ mg}$, $V_{\text{gen.}} = 20\text{ ml}$, $C_{\text{Me}} = 10^{-2}\text{ mol/l}$

Как видно из рис. 3, в период времени от 0 до 180 мин сорбционная емкость сорбента постепенно возрастает, а спустя 210 мин остается постоянной, что говорит о достижении полного сорбционного равновесия.

Влияние ионной силы на сорбционную емкость сорбента. В ходе работы было исследовано влияние ионной силы на степень извлечения иона Ce(III). Для этих целей был использован раствор хлорида калия KCl (2 моль/л).

Исследования показали, что в пределах $\mu = 0,2-1,0$ моль/л присутствие KCl оказывает незначительное влияние на степень извлечения ионов металла, а начиная с $\mu = 1,2$ моль/л, т.е. с повышением ионной силы, сорбционная емкость уменьшается.

Влияние начальной концентрации ионов Ce(III) на сорбционную емкость сорбента. В ходе эксперимента изучено влияние начальной концентрации иона металла на степень извлечения его синтезированным сорбентом. Для этого предварительно готовили растворы, в которых концентрация ионов Ce(III) варьировалась от $0,2 \cdot 10^{-3}$ до $8,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Масса навески сорбента составляла 30 мг. По истечении 210 мин измеряли оптические плотности гомогенных растворов на КФК-2 с использованием буферных растворов с pH = 3,0, при $\lambda = 440$ нм. Зависимость сорбционной емкости сорбента от начальной концентрации ионов Ce(III) графически изображена на рис. 4.

Результаты исследований показали, что наибольшая сорбционная емкость наблюдается при концентрации ионов Ce(III) $8,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

Степень извлечения иона металла сорбентом была рассчитана по известной формуле (1), результаты представлены в табл. 1.

Процесс десорбции. Поиск необходимых элюентов для десорбирования ионов металла является важной задачей. В данном исследовании этот процесс осуществлен путем использования различных неорганических кислот (HNO₃, HCl, H₂SO₄ и CH₃COOH) при их одинаковой концентрации в растворе – 0,5 моль/л. Результаты исследований представлены в табл. 2:

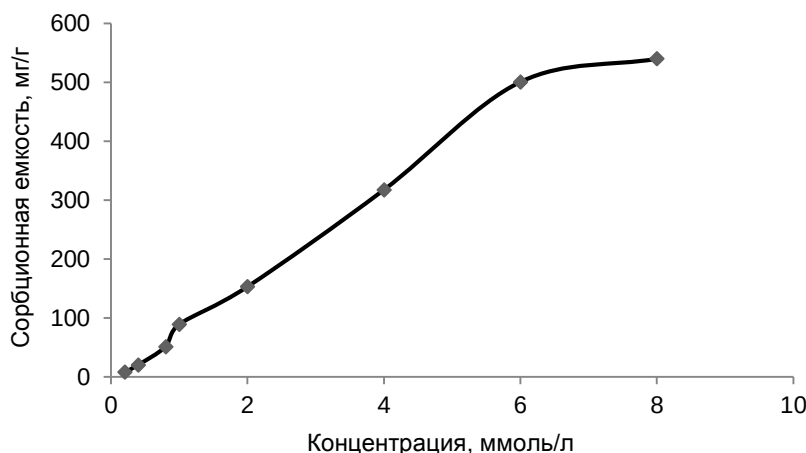


Рис. 4. Влияние начальной концентрации ионов Ce(III) на сорбционную емкость сорбента; $m_{\text{сорб.}} = 30$ мг, $V_{\text{общ.}} = 20$ мл

Fig. 4. Relationship between initial metal ion concentration and the sorption capacity of sorbent; $m_{\text{sorb.}} = 30$ mg, $V_{\text{gen.}} = 20$ ml

Таблица 1

Степень извлечения ионов Ce(III) синтезированным сорбентом

Table 1

Extraction ratio of Ce (III) ions by a synthesized sorbent

Параметр	Значение							
$C_{\text{ме.}} \cdot 10^{-2}$ моль/л	0,2	0,4	0,8	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0
R, %	44	55	69	75	82	85	89	91

Таблица 2

Результаты десорбции ионов Ce(III)

Table 2

Results of Ce (III) ions desorption

Кислота, 0,5 моль/л	HNO ₃	HCl	H ₂ SO ₄	CH ₃ COOH
Изменение сорбционной емкости после десорбции, мг/г	41,161	37,365	11,209	7,473

Как видно из табл. 2, наилучшей десорбирующей способностью по отношению к ионам Се(III) обладает 0,5 моль/л раствор HNO_3 .

ВЫВОДЫ

Таким образом, на основании сополимера стирола с малеиновым ангидридом и *m*-амино-

фенола синтезирован сорбент, который использован для извлечения ионов церия(III). Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что применение данного сорбента обеспечивает высокую сорбционную емкость, равную 540 мг/г, по отношению к ионам церия(III).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Abiman P., Wildgoose G.G., Crossley A., Compton R.G. Quantitative studies of metal ion adsorption on a chemically modified carbon surface: Adsorption of Cd(II) and Hg(II) on glutathione modified carbon // *Electroanalysis*. 2009. Vol. 21. No. 8. P. 897–903. DOI: 10.1002/elan.200804519
2. Wasewar K.L., Kumar P., Chand S., Padmini B.N., Teng T.T. Adsorption of Cadmium ions From Aqueous Solution Using Granular Activated Carbon and Activated Clay // *Clean – Soil, Air, Water*. 2010. Vol. 38. Issue 7. P. 649–656. DOI: 10.1002/clen.201000004
3. Cao Ch.-Y., Qu J., Wei F., Liu H., Song W.-G. Superb Adsorption Capacity and Mechanism of Flowerlike Magnesium Oxide Nanostructures for Lead and Cadmium Ions // *Applied Materials Interfaces*. 2012. Vol. 4. Issue 8. P. 4283–4287. DOI: 10.1021/am300972z
4. Cheraghi E., Ameri E., Moheb A. Adsorption of Cadmium Ions from Aqueous Solutions Using Sesame as a Low-cost Biosorbent: kinetics and equilibrium Studies // *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2015. Vol. 12. Issue 8. P. 2579–2592.
5. Srivastava V.C., Mall I.D., Mishra I.M. Removal of Cadmium (II) and Zn (II) Metal Ions from Binary Aqueous Solution by Rice Husk Ash // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2008. Vol. 312. Issue 2-3. P. 172–184. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2007.06.048>
6. Rao R.A.K., Kashifuddin M. Adsorption Studies of Cd(II) on Ball Clay: Comparison with Other Natural Clays // *Arabian Journal of Chemistry*. 2016. Vol. 9. P. S1233–S1241. 2012. DOI: 10.1016/j.arabjc.2012.01.010
7. Halili L., Mele A., Arbnesi T., Halili A., Mehmeti V., Jusufi K., Berisha A. The evaluation of the diethylenetriamine performance as a complexing reagent for supercritical CO_2 extraction of heavy metals from aqueous solutions // *Rad Conference Proceedings*. 2016. Vol. 4. P. 114–116. DOI: 10.21175/RadProc.2016.27
8. Li X.-J., Yan C.-J., Luo W.-J., Gao Q., Zhou Q., Liu C., Zhou S. Exceptional cerium(III) adsorption performance of poly(acrylic acid) brushes-decorated attapulgite with abundant and highly accessible binding sites // *Chemical Engineering Journal*. 2016. Vol. 284. P. 333–342. DOI: 10.1016/j.cej.2015.09.003
9. Hema M., Srinivasan K. Removal of Cadmium(II) from Wastewater Using Activated Carbon Prepared from Agro Industrial By-products // *Journal of Environmental Engineering and Science*. 2011. Vol. 53. Issue 4. P. 387–396.
10. Kuang X., Shao J., Chen A., Luo S., Peng L., Wu G., Gu J.-D. Effects of Bloom-forming Cyanobac-
- terial Extracellular Polymeric Substances on the Adsorption of Cadmium onto kaolinite // *Springer Plus*. 2016. Vol. 5. P. 542–553. DOI: 10.1186/s40064-016-2191-8
11. Elkhatib E., Mahdy A.M., Sherif F., Elshemy W. Competitive Adsorption of Cadmium (II) from Aqueous Solutions onto Nanoparticles of Water Treatment Residual // *Journal of Nanomaterials*. 2016. Vol. 1. P. 10–20. DOI: 10.1155/2016/8496798
12. Özdemir S., Gul-Guven R., Kilinc E., Dogru M., Erdogan S. Preconcentration of cadmium and nickel using the bioadsorbent *Geobacillus thermoleovorans* subsp. *stromboliensis* immobilized on Amberlite XAD-4 // *Microchimica Acta*: 2010. Vol. 169. No. 1-2. P. 79–85. DOI: 10.1007/s00604-010-0300-x
13. Zhou Q., Yan C., Luo W. Preparation of a novel carboxylate-rich wheat straw through surface graft modification for efficient separation of Ce(III) from wastewater // *Materials and Design*. 2016. Vol. 97. P. 195–203. DOI: 10.1016/j.matdes.2016.02.081
14. Abd El-Rehim H.A., Hegazy E.A., El-Hag Ali A. Selective Removal of Some Heavy Metal Ions from Aqueous Solution using Treated Polyethylene-g-styrene/maleic anhydride Membranes // *Reactive and Functional Polymers*. 2000. Vol. 43. Issue 1. P. 105–116. DOI: 10.1016/S1381-5148(99)00009-7
15. Hasanzadeh R., Moghadam P.N., Samadi N., Synthesis and Application of Modified Poly(styrene-alt-maleic anhydride) Networks as a Nano Chelating Resin for Uptake of Heavy Metal Ions // *Polymers for Advanced Technologies*. 2013. Vol. 24. Issue 1. P. 34–41. DOI: 10.1002/pat.3046
16. Şimşek S., Yılmaz E., Boztug A. Amine-modified Maleic Anhydride Containing Terpolymers for the Adsorption of Uranyl ion in Aqueous Solutions // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2013. Vol. 298. Issue 2. P. 923–930. DOI: 10.1007/s 10967-013-2529-4
17. Булатов М.И., Каликин И.П. Практикум по фотометрическим и спектрофотометрическим методам анализа. 5-е изд., перераб. Л.: Химия, 1986. 432 с.
18. Алиева Р.А., Гамидов С.З., Чырагов Ф.М. Изучение сорбции ионов Zn(II) с химически модифицированным синтетическим сорбентом // *Журнал химических проблем*. 2007. N 2. С. 19–28.
19. Назаренко В.А., Антонович В.П., Невская Э.М. Гидролиз металлических ионов в разбавленных растворах. М.: Атомиздат, 1979. 192 с.
20. Stuart B.H. Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Application. Chichester, UK: John Wiley and Sons, 2004. 244 p.

REFERENCES

1. Abiman P., Wildgoose G.G., Crossley A., Compton R.G. Quantitative studies of metal ion adsorption on a chemically modified carbon surface: Adsorption of Cd(II) and Hg(II) on glutathione modified carbon. *Electroanalysis*. 2009, vol. 21, no. 8, pp. 897–903. DOI: 10.1002/elan.200804519
2. Wasewar K.L., Kumar P., Chand S., Padmini B.N., Teng T.T. Adsorption of Cadmium ions From Aqueous Solution Using Granular Activated Carbon and Activated Clay. *Clean – Soil, Air, Water*. 2010, vol. 38, issue 7, pp. 649–656. DOI: 10.1002/clen.201000004
3. Cao Ch.-Y., Qu J., Wei F., Liu H., Song W.-G. Superb Adsorption Capacity and Mechanism of Flowerlike Magnesium Oxide Nanostructures for Lead and Cadmium Ions. *Applied Materials Interfaces*. 2012, vol. 4, issue 8, pp. 4283–4287. DOI: 10.1021/am300972z
4. Cheraghi E., Ameri E., Moheb A. Adsorption of Cadmium Ions from Aqueous Solutions Using Sesame as a Low-cost Biosorbent: kinetics and equilibrium Studies. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2015, vol. 12, issue 8, pp. 2579–2592.
5. Srivastava V.C., Mall I.D., Mishra I.M. Removal of Cadmium (II) and Zn (II) Metal Ions from Binary Aqueous Solution by Rice Husk Ash. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2008, vol. 312, issue 2–3, pp. 172–184. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2007.06.048>
6. Rao R.A.K., Kashifuddin M. Adsorption Studies of Cd(II) on Ball Clay: Comparison with Other Natural Clays. *Arabian Journal of Chemistry*. 2016, vol. 9, pp. S1233–S1241. DOI: 10.1016/j.arabjc.2012.01.010
7. Halili L., Mele A., Arbnesi T., Halili A., Mehmeti V., Jusufi K., Berisha A. The evaluation of the dithizone performance as a complexing reagent for supercritical CO₂ extraction of heavy metals from aqueous solutions. *Rad Conference Proceedings*. 2016, vol. 4, pp. 114–116. DOI: 10.21175/RadProc.2016.27
8. Li X.-J., Yan C.-J., Luo W.-J., Gao Q., Zhou Q., Liu C., Zhou S. Exceptional cerium(III) adsorption performance of poly(acrylic acid) brushes-decorated attapulgite with abundant and highly accessible binding sites. *Chemical Engineering Journal*. 2016, vol. 284, pp. 333–342. DOI: 10.1016/j.cej.2015.09.003
9. Hema M., Srinivasan K. Removal of Cadmium(II) from Wastewater Using Activated Carbon Prepared from Agro Industrial By-products. *Journal of Environmental Engineering and Science*. 2011, vol. 53, issue 4, pp. 387–396.
10. Kuang X., Shao J., Chen A., Luo S., Peng L., Wu G., Gu J.-D. Effects of Bloom-forming Cyanobacterial Extracellular Polymeric Substances on the Adsorption of Cadmium onto kaolinite. *Springer Plus*. 2016, vol. 5, pp. 542–553. DOI: 10.1186/s 40064-016-2191-8
11. Elkhatib E., Mahdy A.M., Sherif F., Elshemy W. Competitive Adsorption of Cadmium (II) from Aqueous Solutions onto Nanoparticles of Water Treatment Residual. *Journal of Nanomaterials*. 2016, vol. 1, pp. 10–20. DOI: 10.1155/2016/8496798
12. Özdemir S., Gul-Guven R., Kilinc E., Dogru M., Erdogan S. Preconcentration of cadmium and nickel using the bioadsorbent *Geobacillus thermoleovorans* subsp. *stromboliensis* immobilized on Amberlite XAD-4. *Microchimica Acta*: 2010, vol. 169, no. 1–2, pp. 79–85. DOI: 10.1007/s00604-010-0300-x
13. Zhou Q., Yan C., Luo W. Preparation of a novel carboxylate-rich wheat straw through surface graft modification for efficient separation of Ce(III) from wastewater. *Materials and Design*. 2016, vol. 97, pp. 195–203. DOI: 10.1016/j.matdes.2016.02.081
14. Abd El-Rehim H.A., Hegazy E.A., El-Hag Ali A. Selective Removal of Some Heavy Metal Ions from Aqueous Solution using Treated Polyethylene-g-styrene/maleic anhydride Membranes. *Reactive and Functional Polymers*. 2000, vol. 43, issue 1, pp. 105–116. DOI: 10.1016/S1381-5148(99)00009-7
15. Hasanzadeh R., Moghadam P.N., Samadi N., Synthesis and Application of Modified Poly(styrene-alt-maleic anhydride) Networks as a Nano Chelating Resin for Uptake of Heavy Metal Ions. *Polymers for Advanced Technologies*. 2013, vol. 24, issue 1, pp. 34–41. DOI: 10.1002/pat.3046
16. Şimşek S., Yılmaz E., Boztug A. Amine-modified Maleic Anhydride Containing Terpolymers for the Adsorption of Uranyl ion in Aqueous Solutions. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2013, vol. 298, issue 2, pp. 923–930. DOI: 10.1007/s10967-013-2529-4
17. Bulatov M.I., Kalikin I.P. *Praktikum po fotometricheskim i spektrofotometricheskim metodam analiza* [Practical Book on Photometric and Spectrometric Methods of Analysis]. Leningrad: Khimiya Publ., 1986, 432 p.
18. Alieva R.A., Gamidov S.Z., Chyragov F.M. Study of Zn(II) ion sorption with chemically modified synthetic sorbent. *Zhurnal khimicheskikh problem*. 2007, no. 2, pp. 19–28. (In Russian)
19. Nazarenko V.A., Antonovich V.P., Nevskaya E.M. *Gidroliz metallicheskih ionov v razbavlennykh rastvorakh* [Hydrolysis of metal ions in dilute solutions]. Moscow: Atomizdat Publ., 1979, 192 p.
20. Stuart B.H. *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Application*. Chichester, UK: John Wiley and Sons, 2004, 244 p.

Критерии авторства

Алиева А.Ф., Гусейнов Ф.Э., Эюбова Э.Дж., Шамилов Н.Т., Чырагов Ф.М. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провел обобщение и написал рукопись. Алиева А.Ф., Гусейнов Ф.Э., Эюбова Э.Дж., Шамилов Н.Т., Чырагов Ф.М. имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алиева Айгюнь Фирдоуси,
аспирант кафедры экологической химии,
Бакинский государственный университет,
✉ e-mail: nermin.efendiyeveva@mail.ru

Гусейнов Фатали Эльман,
к.х.н., заместитель декана факультета экологии
и почвоведения,
преподаватель кафедры экологической химии,
Бакинский государственный университет,
e-mail: fatali_h@mail.ru

Эюбова Эсмירה Джалил,
аспирант, старший лаборант кафедры
аналитической химии,
Бакинский государственный университет,
e-mail: esmira024@yahoo.com

Шамилов Назим Тельман,
д.х.н., профессор, декан факультета
экологии и почвоведения,
Бакинский государственный университет,
e-mail: nshamilov@yandex.com

Чырагов Фамиль Муса,
д.х.н., профессор, заведующий кафедрой
аналитической химии,
Бакинский государственный университет,
e-mail: ciraqov@mail.ru

Contribution

Aygun F. Alieva, Fatali E. Huseynov, Esmira J. Eyyubova, Nazim T. Shamilov, Famil M. Chyragov carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Aygun F. Alieva, Fatali E. Huseynov, Esmira J. Eyyubova, Nazim T. Shamilov, Famil M. Chyragov have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

AUTHORS' INDEX

Aygun F. Alieva,
Postgraduate Student,
Ecological Chemistry Department,
Baku State University,
✉ e-mail: nermin.efendiyeveva@mail.ru

Fatali E. Huseynov,
Ph.D. (Chemistry), Deputy Dean of the Faculty
of Ecology and Soil Science,
Lecturer,
Ecological Chemistry Department,
Baku State University
e-mail: fatali_h@mail.ru

Esmira J. Eyyubova,
Postgraduate Student,
Analytical Chemistry Department,
Baku State University,
e-mail: esmira024@yahoo.com

Nazim T. Shamilov,
Dr. Sci. (Chemistry), Professor,
Dean of the Faculty of Ecology and Soil Science,
Baku State University,
e-mail: nshamilov@yandex.com

Famil M. Chyragov,
Dr. Sci. (Chemistry), Professor,
Head of Analytical Chemistry Department,
Baku State University,
e-mail: ciraqov@mail.ru