

УДК 541.183.12

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИОНОВ МЕДИ (II) ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ АММОНИЕВОЙ СОЛЮ ТРОЙНОГО СОПОЛИМЕРА МАЛЕИНОВАЯ КИСЛОТА - СТИРОЛ- ДЕЦЕН-1**Э.О.Акперов, Э.А.Ширинова, О.Г.Акперов, С.Р.Кафарова***Бакинский государственный университет
AZ 1148 Баку, ул. З.Халилова, 23; e-mail: jafarova.elnara@gmail.com*

Изучено влияние контактного времени, исходной концентрации ионов меди и количества сорбента на степень извлечения меди из водных растворов аммониевой солью тройного сополимера малеиновая кислота-стирол-децен-1. Экспериментальные данные были обработаны в координатах уравнений Ленгмюра, Фрейндлиха, Дубинина-Радушкевича, Темкина и определены значения максимальной сорбционной емкости (0.722, 0.809 г г⁻¹), теплоты сорбции (0.0027 кДж моль⁻¹) свободной энергии сорбции (7.634 кДж моль⁻¹). Установлено, что процесс извлечения ионов меди лучше описывается уравнением реакции псевдотортого порядка. По полученным значениям ΔH° (-17.658 кДж моль⁻¹) и ΔS° (-0.054 кДж моль⁻¹) можно сказать, что процесс извлечения меди из водного раствора аммониевой солью тройного сополимера малеиновая кислота-стирол-децен-1 имеет экзотермический характер и протекает с уменьшением беспорядочности системы.

Ключевые слова: *извлечение ионов меди, тройной сополимер, сорбционная емкость, уравнения Ленгмюра, Фрейндлиха, Дубинина-Радушкевича, Темкина*

ВВЕДЕНИЕ

Для извлечения ионов тяжелых металлов из водных растворов используются различные природные и синтетические сорбенты, содержащие активные функциональные группы. Большое практическое значение имеет адсорбция ионов тяжелых металлов из водных сред полимерными сорбентами с различными реакционноспособными группами атомов. В литературе последних 10-15 лет появилось достаточно много работ, посвященных этой проблеме. Так, для концентрирования и удаления ионов тяжелых металлов были использованы привитые сополимеры с амидооксильными группами [1]. Данные обрабатывались по моделям Ленгмюра и Фрейндлиха. Гидрогель карбоксиметилцеллюлозы с хитосаном [2] и хитосан, покрытый хлопковым волокном [3] были использованы в качестве сорбента для извлечения ионов меди (II) из водных растворов. Установлено, что адсорбционный процесс хорошо описывается изотермами Ленгмюра и Фрейндлиха. Полимер-сорбенты содержали аминную, кар-

боксильную, фосфонильную и другие функциональные группы, способные к взаимодействию с ионами металлов. Новые хелатообразующие сополимеры малеинового ангидрида и малеиновой кислоты с различными сомономерами были использованы для извлечения ионов меди (II) и других тяжелых металлов из водных растворов [4-8]. Модифицированный 3-аминобензойной кислотой полистирол-альт-малеиновый ангидрид (ПСМА) был использован в качестве сорбента для извлечения ионов Fe(II), Cu(II), Zn(II) и Pb(II) из водных растворов [4]. Процент извлечения ионов располагается в следующем ряду: Fe(II) > Cu(II) > Zn(II) > Pb(II). Сорбент эффективен для сорбции названных ионов из сточных вод. Новый сшитый сорбент, полученный сополимеризацией стирола и малеиновой кислоты в присутствии дивинилбензола, проявлял высокую сорбционную способность по отношению к ионам хрома, железа, никеля, меди и свинца [5]. Сорбционная ём-

кость сорбента по отношению ионов Cr (III), Fe (III), Ni (II), Cu (II) и Pb (II) имеют значения 10.2; 14.3; 14.2; 15.4 и 8.0 мг-г⁻¹, соответственно. Хелатообразующий сополимер, содержащий карбоксильную или карбоксилатную группы, был синтезирован эмульсионной сополимеризацией этилметакрилата с дивинилбензолом и тестирован в качестве адсорбента для извлечения ионов токсичных тяжелых металлов [6]. Авторами представленной работы был исследован процесс извлечения ионов меди (II) из водных растворов натриевой солью сополимера малеиновая кислота-стирол-

аллилпропионат [8]. Было изучено влияние времени контакта, массы сорбента, исходной концентрации ионов меди и pH среды на сорбционную ёмкость и степень сорбции. Экспериментальные данные были обработаны в координатах уравнения Ленгмюра и Фрейндлиха. Определены также кинетические и термодинамические параметры процесса извлечения ионов меди (II) из водного раствора. В данной работе обсуждаются результаты по изучению извлечения ионов меди из водных растворов аммониевой солью тройного сополимера малеиновая кислота-стирол-децен-1.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Аммониевая соль тройного сополимера была получена в результате реакции сополимера малеиновый ангидрид-стирол-децен-1 с 5%-ным раствором NH_4OH . Полученная соль несколько раз промывалась ацетоном и высушивалась в вакуум-сушильном шкафу. Исходный тройной сополимер был синтезирован по известной методике [9]. Для изучения сорбционной способности синтезированной соли был использован водный раствор ионов меди(II) различной концентрации (0.0025-0,02 моль л^{-1}). Равновесная концентрация ионов меди определялась фотометрическим методом с использованием в качестве реагента 0.001М

раствора ксиленол-оранжевого. Оптическая плотность была измерена на спектрофотокалориметре КФК-2 при $\lambda=540$ нм. Степень сорбции вычислялась по формуле

$$R = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \cdot 100\% ,$$

а сорбционная ёмкость - по формуле

$$C_e = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{g} \text{ моль} \cdot \text{г}^{-1} ,$$

где C_0 и C_e —исходная и равновесная концентрации ионов меди (моль $\cdot \text{л}^{-1}$), соответственно, V —объём раствора CuSO_4 , взятого для сорбции, (л), g —масса сорбента (г).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При исследовании сорбции ионов меди из водного раствора синтезированной аммониевой солью тройного сополимера малеиновая кислота-стирол-децен-1 (АСМД), было изучено влияние контактного времени, массы АСМД и исходной концентрации ионов меди. Фотометрическое определение меди проводилось при pH=6, т.к. комплексообразование ионов меди (II) с ксиленол-оранжевым происходит при

pH=6 [10]. В таблице1 приведены данные по зависимости степени извлечения ионов меди от времени контакта. Как видно из таблицы, при выбранных условиях сорбция практически завершается за 90 мин. и степень извлечения ионов меди при этом составляет 73.7%. Это указывает на достаточно высокую эффективность синтезированного сорбента для извлечения ионов меди (II) из водных растворов.

Табл. 1. Зависимость степени сорбции (R) от времени контакта ($C_0=0.32 \text{ г л}^{-1}$, $g=1.25 \text{ г л}^{-1}$, $V=0.04 \text{ л}$ 20°C).

Время, мин.	5	10	15	30	45	60	90	120
Степень сорбции, $R, \%$	33.4	47.2	56.6	64.8	67.9	72.3	73.7	74.3

Зависимость степени извлечения ионов меди от массы АСМД представлена в таблице 2. Видно, что при выбранных условиях сорбции увеличение массы сорбента при

водит к увеличению степени сорбции. Это продолжается до 1.25 г л^{-1} и дальнейшее увеличение массы сорбента практически не сказывается на степени извлечения ионов меди.

Табл. 2. Зависимость степени извлечения ионов меди (R) от массы АСМД (g) ($C_0=0.32 \text{ г л}^{-1}$, 20°C , $\tau=90 \text{ мин}$; $V=0.04 \text{ л}$)

$g, \text{ г л}^{-1}$	0.375	0.5	0.625	0.75	1.0	1.125	1.25	1.375
$R, (\%)$	41.0	50.3	58.5	64.3	69.4	72.0	73.7	73.9

Это, видимо, связано с насыщением активных реакционных центров при выбранной исходной концентрации ионов меди. Не исключено также, что этот эффект связан с уменьшением концентрации ионов меди в ходе сорбции.

На рис.1 иллюстрируется зависимость степени сорбции от исходной кон-

центрации ионов меди. Как видно из рис.1, с увеличением концентрации ионов меди уменьшается степень извлечения, что связано, по-видимому, с уменьшением реакционных центров, способных к взаимодействию с ионами меди, по мере увеличения концентрации ионов металла.

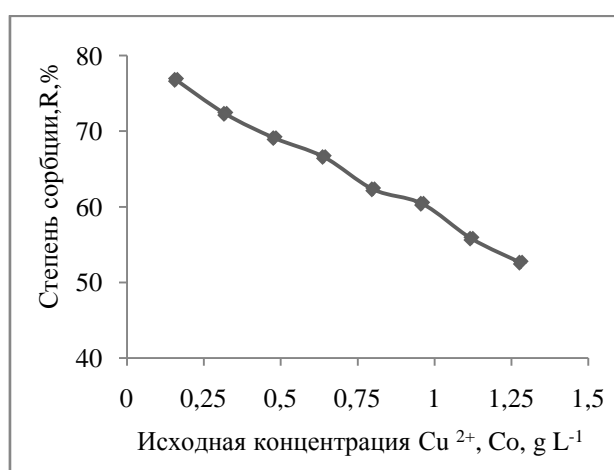


Рис.1. Зависимость степени сорбции от исходной концентрации ионов меди. ($g=1.25 \text{ г л}^{-1}$, 20°C ; $V_{\text{расм}}=0.04 \text{ л}$, $\tau=90 \text{ мин}$.)

Была построена изотерма сорбции (рис.2), по которой была определена экспериментальная равновесная сорбционная ёмкость.

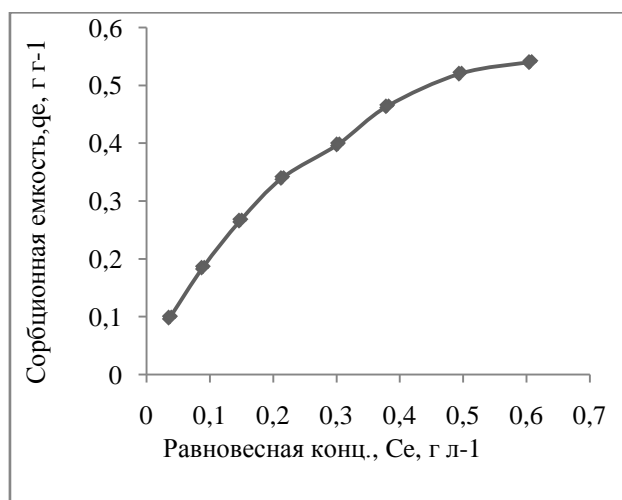


Рис.2. Изотерма сорбции ионов меди из водного раствора АСМД ($g=1.25 \text{ л}^{-1}$, 20°C ; $V=0.04 \text{ л}$, $\tau=90 \text{ мин}$).

Видно, что при выбранных условиях экспериментальная равновесная сорбционная ёмкость АСМД по отношению к ионам меди(II) составляет $0.54 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$. Полученные

экспериментальные данные были обработаны в координатах уравнений Ленгмюра, Фрейндлиха, Дубинина-Радушкевича и Тёмкина:

$$\frac{C_e}{q_c} = \frac{1}{K_L q_{\max}} + \frac{1}{q_{\max}} C_e \quad (\text{уравнение Ленгмюра})$$

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (\text{уравнение Фрейндлиха})$$

$$\ln q_e = K_D \varepsilon^2 = \ln B_{DR} \quad (\text{уравнение Д-Р})$$

$$q_e = B \ln A_T + B \ln C_e \quad (\text{уравнение Тёмкина})$$

где: C_e - равновесная концентрация ионов меди ($\text{моль} \cdot \text{л}^{-1}$), q_e - равновесная сорбционная ёмкость сорбента ($\text{моль} \cdot \text{г}^{-1}$), K_L - константа уравнения Ленгмюра ($\text{л} \cdot \text{моль}^{-1}$), K_F - константа Фрейндлиха, K_D - константа Дубинина-Радушкевича ($\text{кДж}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$), B_{DR} - максимальная ёмкость сорбента при полном насыщении активных реакционных центров, ε - константа Полани, определяемая следующим уравнением

$$\varepsilon = RT \ln\left(1 + \frac{1}{C_e}\right) \varepsilon$$

B - параметр, определяющий теплоту сорбции, связанную энергией химической связи ($\text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$), A_T - равновесная константа связи изотермы Тёмкина.

В уравнении Дубинина-Радушкевича константа K_D связана со свободной энергией адсорбции следующим образом.

$$E = \frac{1}{\sqrt{2K_D}} \text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$$

На рис. 4, 5 приведены графики обработки экспериментальных данных в координатах уравнений Ленгмюра и Фрейндлиха. Видно, что процесс сорбции ионов меди (II) полимерной солью хорошо описывается моделями Ленгмюра ($R^2=0.9891$) и Фрейндлиха ($R^2=0.9867$).

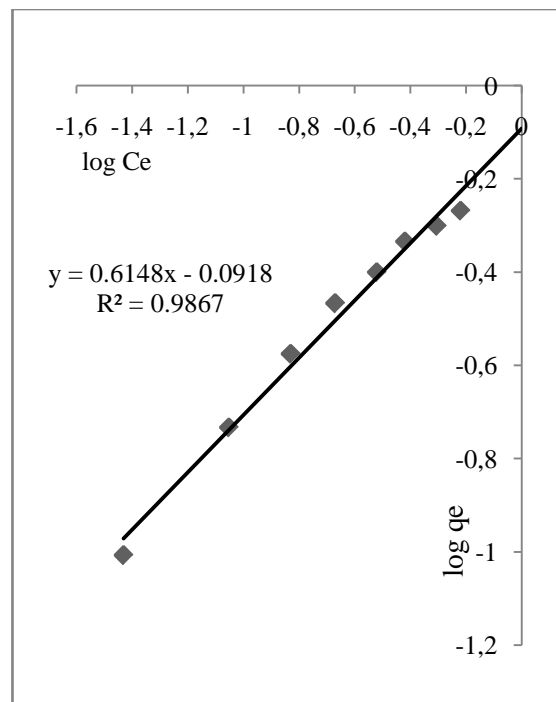
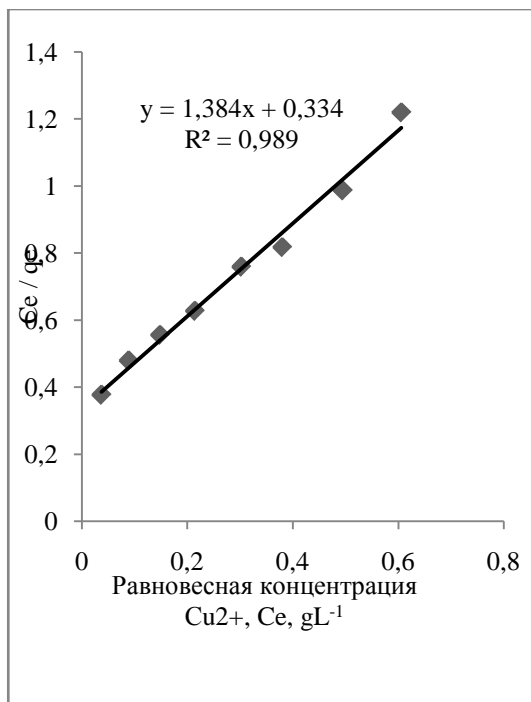


Рис. 3. График зависимости $C_e/q_e=f(C_e)$

Рис.4. График зависимости $\log q_e=f(\log C_e)$

Из графических зависимостей были вычислены максимальная сорбционная ёмкость 0.722 г г^{-1} (уравнение Ленгмюра), 0.809 г г^{-1} (уравнение Фрейндлиха) и другие параметры этих уравнений, которые представлены в таблице 2. Следует отметить, что

экспериментально найденное значение равновесной сорбционной ёмкости сорбента (0.54 г г^{-1} , рис 2) ближе к значению максимальной сорбционной ёмкости, определённой по уравнениям Ленгмюра и Фрейндлиха.

Табл. 3. Параметры уравнений Ленгмюра и Фрейндлиха

Параметры уравнения Ленгмюра			Параметры уравнения Фрейндлиха			
$q_{max}, \text{г г}^{-1}$	$K_{L,L} \text{ г}^{-1}$	R^2	$1/n$	n	K_F	R^2
0.722	4.136	0.9891	0.6148	1.6265	0.809	0.9827

Как видно из таблицы 3, максимальная сорбционная ёмкость АСМД равна 0.722 г г^{-1} , что указывает на достаточно высокую эффективность синтезированной полимерной соли при извлечении ионов меди (II) из водных растворов. По значению фактора $1/n$ в уравнении Фрейндлиха можно судить о характере сорбции, т.к. если $0 < (1/n) < 1$, то сорбция представляет собой хемосорбцию [11]. Из таблицы видно, что $(1/n) = 0.6148$,

это говорит о том, что извлечение ионов меди(II) сорбентом носит химический характер. Константа K_F характеризует максимальную сорбционную ёмкость, которой соответствует 0.809 г г^{-1} , что согласуется с данными из изотермы Ленгмюра (0.722 г г^{-1}).

Полученные экспериментальные данные были обработаны также в координатах уравнений моделей Дубинина-Радушкевича (D-R) и Тёмкина. Графики этих уравнений представлены на рис.5 и 6. Изотермы, по-

строенные по уравнению Дубинина-Радушкевича, позволяют определить химический или физический характер адсорбции. Так, если значение свободной энергии адсорбции E_D находится между 8 и 16 кДж моль⁻¹, то можно говорить о химическом характере адсорбции, а при $E_D < 8$ кДж моль⁻¹, адсорбция связана с физическим взаимодействием между адсорбентом и адсорбатом [12].

Константа B в уравнении изотермы Тёмкина характеризует теплоту процесса адсорбции. Из рис.5 видно, что полученные экспериментальные данные хорошо описываются моделью Дубинина-Радушкевича ($R^2=0.9975$). Сорбционные показатели, которые были определены по графикам уравнений изотерм D-R и Темкина, представлены в таблице 4.

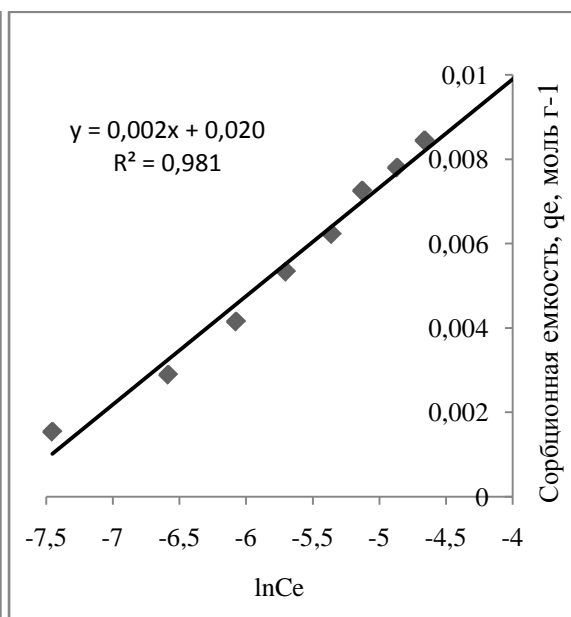
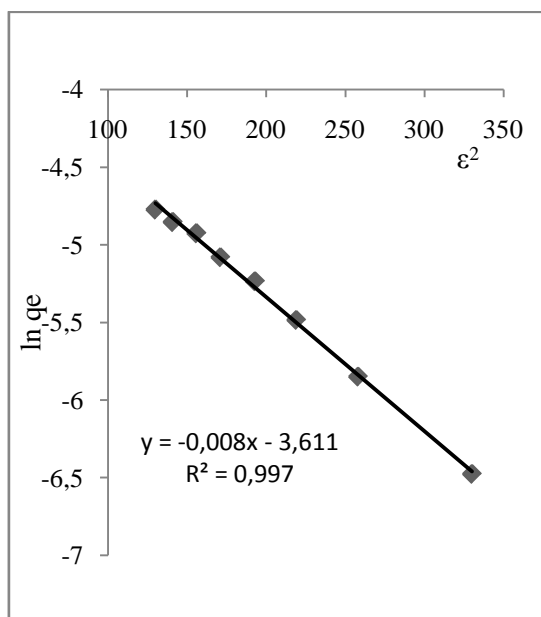


Рис. 5. График зависимости $\ln q_e = f(\varepsilon^2)$

Рис.6. График зависимости $\ln C_e = f(q_e)$.

Для E_D получено 7.634 кДж моль⁻¹, что указывает на химическое взаимодействие аммониевой соли с ионами меди (II) при извлечении последних из водных растворов.

Для константы B , характеризующей теплоту сорбции, получено значение 0.0026 кДж моль⁻¹.

Табл. 4. Параметры уравнений изотерм D-R и Тёмкина

Изотермы уравнения Дубинина-Радушкевича				Изотермы уравнений Тёмкина			
K_D , кДж ² моль ⁻¹	B_{DR} , моль ε^{-1}	E_D , кДжмоль ⁻¹	R^2	A_T , лмоль ⁻¹	B , кДжмоль ⁻¹	b_T , Джмоль ⁻¹	R^2
0.0086	0.027	7.634	0.9975	2355	0.0026	9.37×10^5	0.9812

При исследовании процесса извлечения ионов меди из водных растворов полимерной солью были определены некоторые кинетические и термодинамические показате

ли. Данные по зависимости степени сорбции от контактного времени были обработаны в координатах уравнений Лагергрена псевдопервого и псевдвторого порядка [13].

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - 0,434k_1t$$

$$t/q_t = \frac{1}{k_2q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

где k_1 и k_2 – константы псевдо-первого и псевдovторого порядка реакций, соответственно, q_e – равновесная сорбционная ёмкость, q_t – сорбционная ёмкость за t времени.

Графики приведённых уравнений иллюстрированы на рис.7 и 8, а полученные показатели помещены в табл.5. Видно, что процесс лучше описывается уравнением псевдо-второго порядка ($R^2=0,9984$), что указывает на химическое взаимодействие ионов меди с сорбентом.

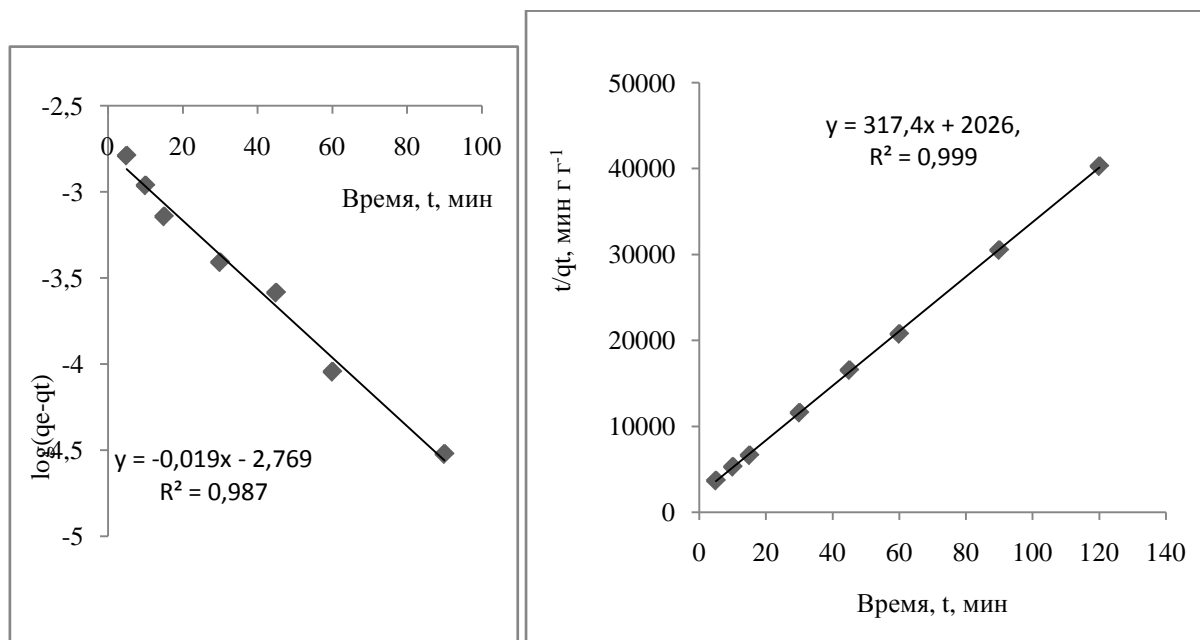


Рис.7. График зависимости $\log(q_e - q_t) = f(t)$ Рис.8. График зависимости $t/q_t = f(t)$

Табл. 5. Параметры уравнений кинетических моделей

Кинетическая модель	$q_e, \times 10^3$ моль $г^{-1}$	$K_1 \times 10^2,$ мин $^{-1}$	$K_2 \times 10^{-1},$ л·моль $^{-1}$ ·мин $^{-1}$	R^2
Псевдо-первый порядок	1.7	4.585	—	0.9876
Псевдо-второй порядок	3.5	—	5.0	0.9998

По данным сорбции при температурах 293, 303 и 313K были определены значения изменений энтальпии (ΔH°) и энтропии (ΔS°) построив график зависимости $\Delta G^\circ = f(T)$ по уравнению

$$\Delta G^\circ = \Delta H - T\Delta S$$

Значения ΔG° при различных температурах были вычислены из выражения

$$\Delta G^\circ = -2.303R \log K_d$$

где R – универсальная газовая постоянная (8.314 Дж моль $^{-1}$ ·K $^{-1}$), K_d – константа сорбции, определяемая соотношением q_e / C_e . На рис.9 иллюстрирован график за-

зависимости $\Delta G^\circ = f(T)$ и вычисленные из графика данные приведены в таблице 6.

Рис. 9. График зависимости $\Delta G^\circ = f(T)$

Табл. 6. Термодинамические параметры сорбции

Temp.,K	ΔG° , кДж моль ⁻¹	ΔH° , кДж моль ⁻¹	ΔS° , кДж моль ⁻¹ K ⁻¹
293	-1.801	-17.658	-0.054
303	-1.187		
313	-0.717		

Отрицательное значение ΔH° (-17.658 кДж моль⁻¹) указывает на экзотермический характер взаимодействия ионов меди(II) с сорбентом, а отрицательное зна-

чение ΔS° (-0.054 кДж моль⁻¹ K⁻¹) указывает на уменьшение беспорядочности системы во время сорбции.

REFERENCES

1. Kavakli P.A., Guven O. Removal of concentrated heavy metal ions from aqueous solutions using polymers with enriched amidoxime groups. *J.Appl.Polym.Sci.*, 2004, vol. 93, pp.1705-1710.
2. Long Zhao, Hitroshi Mifomo. Adsorption of heavy metal ions from aqueous solutions by chitosan entrapped CM-cellulose hydrogels synthesized by irradiation. *J. Appl. Polym.Sci.*, 2008, vol. 110, no.3, pp.1388-1395.
3. Guo Yuan Zhang, Qu R., Chaugmel S. et al. Adsorption for metal ions of chitosan coated cotton fiber. *J.Appl. Polym. Sci.*, 2008, vol. 110, no.4, pp.2321-2332.
4. Reza Hasanzadeh, Peyman Najafi Moghadam, Nacer Samadi. Synthesis and application of modified poly (styrene-*alt*-maleic anhydride) networks as a nano chelating resin for uptake of heavy metals ions. *Polimers for Advansed Technologies*, 2013, 24, DOI: 10.1002/pat.3046.
5. Prasun Roy, Rawat A.S., Veena Choudhary, Rai P.K. Synthesis and analytical application of a chelating resin based on a cross-linked styrene /maleic acid copolymer for the extraction of trace –metal ions. *J.Appl.Polym.Sci.*, 2004, vol. 94, no. 4, pp.1771-1779.
6. Mahmoud Abd El-Gaffar, Noha El-Hal. Synthesis and characterization of some chelating polymers bearing maleic acid and/ or sodium maleate moities for removal of some toxic heavy metal ions. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2013, 15 (6), DOI: 10.1007/s 10098-013-0579-5
7. Rivas, Bernable L., Seguel G.V., Geckeler Kurt E. Poly (styrene-*alt*-maleic acid) –metal complexes with divalent metal ions. *J.Appl. Polym.Sci.*, 2001, vol. 81, pp.1310-1315.
8. Akperov E.O., Akperov O.H., Jafarova E.A., Gafarova S.R. Removal of copper ions from water solution by sodium salt of the maleic acid-allylpropionate-styrene terpolymer. *Water Science and Technology*, 2016, vol.74, pp. 1484-1491.
9. Akperov O.G., Akperov E.O., Mamedova R.E. The radical terpolymerization of Heptene-1 with Maleic Anhydride and Styrene. *Materials Research Innovations*, 2008, vol.12, no. 4, pp.210-212.
10. Lurye Yu.Yu. *Handbook of Analytical Chemistry*. Moscow: Himiya Publ. 1974, 210 p.
11. Sunday A. Akolo, Abulsalai S. Kovo. Comparative study of Adsorption of Copper ion onto Locally Developed and Commercial Chitosan. *J. Encapsulation and Adsorption Science*, 2015, vol.5, pp.21-37.
12. Monika J., Gard V., Kadirvelic K. Chromium (VI) removal from aqueous solution, using sunflower stem waste. *Journal of Hazardous Materials*. 2009, vol. 162, pp.365-372.

13. Bagherifam S., Lakzian A., Ahmadi S., Rahmani M., Halajinia A. Uranium removal from aqueous solutions by wood powder and wheat straw. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 2010, vol. 283, pp. 289-296.

EXTRACTION OF COPPER (II) IONS FROM WATER SOLUTIONS BY MEANS OF AMMONIUM SALT OF TERNARY COPOLYMER OF MALEIC ACID-STYRENE-DECENE-1

E.O.Akperov, E.A.Shirinova, O.G.Akperov, S.R.Qafarova

Baku State University

Z.Xalilov str., 23, Baku AZ 1148, Azerbaijan Republic : e-mail: jafarova.elnara@gmail.com

Received 21.04.2017.

Influence of the contact time, copper ions initial concentration and sorbent amount on copper ions' extraction degree from water solutions by means of ammonium salt of ternary copolymer of maleic acid-styrene-decene-1 has been studied. Experimental data have been processed in line with Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich, Temkin equation coordinates and values of maximum sorption capacity (0.722 g g^{-1} 0.809 g g^{-1}), sorption heat ($0.0027 \text{ kJ mol}^{-1}$), sorption free energy ($7.634 \text{ kJ mol}^{-1}$) defined. It revealed that copper ions extraction has best been described by pseudo-second-order equation. According to the obtained values of ΔH° ($-17.658 \text{ kJ mol}^{-1}$) and ΔS° ($-0.054 \text{ kJ mol}^{-1}$), one can conclude that the process of extraction of copper ions from water solution by means of ammonium salt of ternary copolymer of maleic acid-styrene-decene-1 is of exothermic nature to proceed with diminution of system disorder.

Keywords: *ternary copolymer of maleic acid-styrene-decene-1, sorption, isotherms, kinetics, thermodynamic*

MALEİN TURŞUSU-STİROL-DESEN-1 ÜÇLÜ BİRGƏPOLİMERİNİN AMMONİUM DUZU İLƏ CU(II) İONLARININ SULU MƏHLULDAN ÇIXARILMASI

E.O.Əkbərov, E.Ə.Şirinova, O.H.Əkbərov, S.R.Qafarova

Bakı Dövlət Universiteti

AZ 1148 Bakı, Z.Xəlilov küç., 23; e-mail: jafarova.elnara@gmail.com

Malein turşusu-stirol-desen-1 üçlü birgəpolimerinin ammonium duzu ilə Cu(II) ionlarının sulu məhluldan çıxarılma dərəcəsinə kontakt müddətinin, mis ionlarının ilkin qatılığının və sorbentin miqdarının təsiri öyrənilmişdir. Təcrübi nəticələr Lenqmür, Freyndlix, Dubinin-Raduşkeviç və Temkin tənliklərinin koordinatlarında işlənərək maksimum sorbsiya tutumu 0.722 g g^{-1} (Lenqmür tənliyi), 0.809 g g^{-1} (Freyndlix tənliyi), sorbsiya istiliyi ($0.0027 \text{ kC mol}^{-1}$), sərbəst sorbsiya enerjisi ($7.634 \text{ kC mol}^{-1}$) təyin edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, sorbsiya prosesi psevdo-ikinci tərtib reaksiya tənliyinə tabe olur. $\Delta H(-17.658 \text{ kC mol}^{-1})$ u $\Delta S^\circ (-0.054 \text{ kC mol}^{-1} \text{ K}^{-1})$ funksiyalarının mənfi qiymətlərinə görə demək olar ki, malein turşusu-stirol-desen-1 üçlü birgəpolimerinin ammonium duzu ilə Cu(II) ionlarının sulu məhluldan çıxarılması ekzotermik proses olub sistemin nizamsızlığının azalması ilə müşayiət olunur.

Açar sözlər: *malein turşusu-stirol-desen-1 üçlü birgəpolimeri, sorbsiya, izoterm, kinetika, termodinamika.*

Поступила в редакцию 21.04.2017.