

КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ИОНОВ РТУТИ (II) ПОЛИМЕРНЫМ МОДИФИЦИРОВАННЫМ СОРБЕНТОМ НА ОСНОВЕ НИЗКООСНОВНОГО АНИОНИТА АН-31

С. М. Увайсова¹, М. А. Бабуев²

¹ФГБУН «Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН»

²ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»

Поступила в редакцию 17. 09. 2020 г.

Аннотация. В данной работе приводятся результаты исследования условий извлечения ионов ртути (II) модифицированным сорбентом в статическом режиме. Объектом исследования является модифицированный сорбент на основе низкоосновного анионита АН-31 и 5-(4-карбоксифенил-азо)-роданина [1]. Результаты исследований показывают, что максимальная сорбция ионов ртути (II) достигается в интервале значений pH 1.0-4.0. Дальнейшие исследования проводились при значении pH 2.0. Изучение времени контакта фаз показывает, что для достижения максимальной степени сорбции достаточно 30 минут, что говорит о достаточно высокой скорости сорбции. Так же было исследовано влияние концентрации ионов металла на сорбцию. Экспериментальные данные показывают, что с увеличением концентрации ионов ртути (II) в растворе увеличивается количество сорбированного металла и при 3.0 ммоль/л исходной концентрации достигается максимальное значение сорбционной емкости 2.78 ммоль/г. Полученная изотерма имеет вид изотермы с насыщением, схожей по виду с изотермой Ленгмюра, и по классификации ИЮПАК относится к I типу. Для получения данных о механизме адсорбционного процесса, равновесные данные были обработаны с помощью модели изотермы Дубинина-Радускевича. Рассчитанное значение E , равное 10.66 кДж/моль, указывает на то, что адсорбция ионов ртути (II) полимерным сорбентом протекает с образованием устойчивых химических связей. Изучено мешающее влияние макро- и микрокомпонентов вод на процесс сорбции. Как показывают результаты исследования, модифицированный сорбент обладает достаточно высокой избирательностью к ионам ртути (II). Изучена возможность десорбции ионов металла из сорбента действием различных кислот (H_2SO_4 , HNO_3) разной концентрации. Количественная десорбция действием перечисленных кислот не достигается, что указывает на прочную связь между сорбентом и сорбатом. Проведенное исследование показало возможность использования модифицированного сорбента для селективного извлечения ионов ртути (II) и применение разработанной методики для выделения ртути (II) из природных и промышленных объектов.

Ключевые слова: модифицированный сорбент, полимерный сорбент, сорбция, ртуть (II), извлечение, токсичные металлы.

Основными источниками ртути, загрязняющими окружающую среду, являются предприятия цветной металлургии, химической промышленности, машиностроения и теплоэнергетики. В связи с этим, очистка вод от ионов токсичных металлов, в том числе ионов ртути (II), является актуальной задачей экологии.

Для этих целей широко применяют сорбционные методы, следовательно, создание новых сорбционных материалов для извлечения токсичных металлов и на сегодняшний день актуально. Наиболее перспективными являются сорбционные методы с применением полимерных хелатообра-

зующих сорбентов, содержащих функционально-аналитические группы (ФАГ) для избирательного извлечения ионов металлов. Азороданины содержат донорные атомы серы, кислорода и азота, способные образовывать устойчивые комплексы с ионами ртути (II).

В научной литературе приводятся различные сорбционные материалы для извлечения ионов ртути (II), такие как наноматериалы [2, 3], синтезированные сорбенты [4-6], модифицированные сорбенты [7-10], сорбенты на основе целлюлозы [11-13], оксида графена [14-16] и кремнезема [17, 18]. Основным принципом получения сорбционных материалов является введение ФАГ, которые

будут максимально связывать ионы ртути (II). Наиболее применимыми являются сорбенты, содержащие донорные атомы серы, кислорода и азота [6, 10, 15, 19, 20]. У ранее известных сорбентов имеются определенные недостатки: низкие значения сорбционной емкости [5, 7, 14], длительный процесс сорбции [4, 21, 22] по сравнению с полученным нами сорбентом.

Целью работы является исследование условий извлечения ионов ртути (II) модифицированным сорбентом на основе низкоосновного анионита АН-31 и 5-(4-карбоксифенил-азо)-роданина [1].

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Реагенты и растворы. Исходный (1 г/л) раствор ртути (II) готовили растворением точной навески $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ в дистиллированной воде с добавлением 6 моль/л азотной кислоты по методике [23]. Рабочие растворы готовили разбавлением исходного раствора ртути (II) дистиллированной водой в день использования.

Растворы, содержащие ионы K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} с концентрацией 1 г/л готовили из их солей квалификации «ч.д.а.» и «х.ч.» по прописям, приведенным в работе [23] и подкисляли с учетом гидролитических свойств ионов [24]. Рабочие растворы готовили последовательным разбавлением исходных. Для создания в исследуемых системах определенного значения pH использовали 0.1 моль/л растворы HNO_3 и NaOH .

В качестве сорбционного материала используется полимерный сорбент на основе низкоосновного анионита АН-31 (OH^- - форма) и 5-(4-карбоксифенил-азо)-роданина (АН-31-п-КБАР). Методика получения сорбента и идентификация описаны в работе [1].

Аппаратура. Значения pH исследуемых растворов контролировали универсальным иономером pH-150МИ. Массу веществ измеряли на аналитических весах НТР-220СЕ. Контакт фаз осуществляли на перемешивающем устройстве LS 220. Определение содержания ионов ртути (II) в анализируемых растворах проводили вольтамперометрическим методом на полярографе с электрохимическим датчиком «Модуль ЕМ-04» (Вольта, Санкт-Петербург).

Методика эксперимента. Значения pH, при которых наблюдается максимальная сорбция, определяли экспериментально по графической зависимости степени сорбции от кислотности среды. В серию бюксов вместимостью 100 мл помещали по 0.02 г сорбента, по 5.0 мл раствора ионов рту-

ти (II) с концентрацией $5.0 \cdot 10^{-3}$ моль/л, устанавливали значения pH в интервале 1.0-10.0 при общем объеме системы 25 мл и перемешивали при комнатной температуре. По истечении 30 минут сорбент отделяли фильтрованием на беззольных фильтрах марки «синяя лента» в мерную колбу вместимостью 50 мл. Сорбент на фильтре промывали и доводили объем до метки. Содержание несорбированного компонента определяли вольтамперометрическим методом. Степень сорбции (извлечения) (R , %) рассчитывали по формуле (1):

$$R, \% = \frac{n_{\text{исх}} - n_{\text{равн.}}}{n_{\text{исх}}} \cdot 100, \quad (1)$$

где $n_{\text{исх}}$ – исходное количество ионов ртути (II), моль/л; $n_{\text{равн.}}$ – количество ионов ртути (II) после сорбции, моль/л.

По полученным данным строили график зависимости степени извлечения ионов ртути (II) (R , % = $f(\text{pH})$). Значения $\text{pH}_{\text{опт}}$ сорбции ионов металла определяли графически.

Время максимального извлечения ионов ртути (II) из раствора ($\tau_{\text{опт}}$), определяли экспериментально при контакте фаз в интервале 10 – 120 минут при комнатной температуре. Для исследования данной зависимости в бюксах вместимостью 100 мл готовили серию растворов, содержащих по 0.02 г сорбента и 5.0 мл раствора ионов ртути (II) с концентрацией $5.0 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Устанавливали оптимальное значение pH, доводили объем системы до 25 мл и перемешивали в течение определенного времени (10, 20, 30, 60, 120 минут). Степень извлечения оценивали, как описано выше. По полученным данным строили график зависимости R , % = $f(\tau_{\text{мин}})$, из которого определяли значение времени контакта фаз, при котором наблюдается максимальное извлечение ионов ртути (II).

Для построения изотермы сорбции в бюксах вместимостью 100 мл готовили серию растворов с содержанием 0.02 г сорбента и возрастающим количеством ионов ртути (II). Доводили объем системы до 25 мл, устанавливали оптимальное значение pH и перемешивали в течение 30 минут при комнатной температуре. Количество адсорбированных ионов ртути (II) (a , ммоль/г) рассчитывали по формуле:

$$a = \frac{c_{\text{исх}} \cdot V_{\text{исх.}} - c_{\text{равн.}} \cdot V_{\text{равн.}}}{m_c}, \quad (2)$$

где $c_{\text{исх.}}$ – исходная концентрация ионов ртути (II), моль/л; $c_{\text{равн.}}$ – концентрация ионов ртути (II) после сорбции, моль/л; $V_{\text{исх.}}$ – исходный объем раствора, мл; $V_{\text{равн.}}$ – конечный объем раствора, мл; m_c – масса сорбента, г.

По полученным данным строили изотерму сорбции в координатах a от $C_{\text{равн}}$, по которой определяли статическую емкость сорбента по иону ртути (II) (SEC_{Hg}).

Равновесие в адсорбционной системе зависит от природы взаимодействия адсорбент-адсорбат. Для выявления вероятного механизма процесса сорбции экспериментальные данные были обработаны с применением моделей изотерм Ленгмюра [25], Фрейндлиха [26] и Темкина [27], которые имеют следующие линейные формы:

$$\frac{C_p}{a} = \frac{1}{a_{\infty} \cdot b} + \frac{1}{a_{\infty}} \cdot C_p, \quad (3)$$

где b – константа адсорбционного равновесия уравнения Ленгмюра;

$$\lg a = \lg K + \frac{1}{n} \cdot \lg C_p, \quad (4)$$

где n и K – константы уравнения Фрейндлиха;

$$a = A + \frac{2,303}{f} \lg C_p, \quad (5)$$

где A и f – константы уравнения Темкина.

Для установления мешающего влияния макро- и микрокомпонентов ряда природных объектов, таких как K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Fe^{3+} и Al^{3+} , готовили серию растворов с постоянной концентрацией ионов ртути (II) и переменным кратным массовым избытком сопутствующих элементов (1:1, 1:10, 1:50, 1:100, 1:500, 1:1000). Исследования проводили в условиях максимальной сорбции изучаемого иона. Параллельно проводили и контрольный опыт. После концентрирования рассчитывали степень извлечения ионов ртути (II). По полученным данным, задаваясь практической величиной степени извлечения $R = 95 - 97\%$, определяли допустимые соотношения концентраций исследуемых и мешающих ионов в растворе.

Десорбцию осуществляли путем перемешивания 0.02 г сорбента, содержащего сорбированные ионы ртути (II), растворами HNO_3 и H_2SO_4 различной концентрации (1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 моль/л) в течение 30 минут. Концентрацию ионов ртути (II) в фильтрате определяли вольтамперметрическим методом. Исходя из известной величины сорбции (a), объема элюента (V), навески модифицированного сорбента (m_c) и концентрации десорбированных ионов ртути (II) ($C_{\text{равн}}$), рассчитывали степень десорбции (d):

$$d, \% = \frac{V \cdot C_{\text{равн}}}{a \cdot m_c} \cdot 100, \quad (6)$$

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты изучения влияния pH на степень извлечения ионов ртути (II) полученным сор-

бентом в диапазоне pH 1.0-10.0 представлены на рис. 1. Как видно из графика, максимальное значение степени извлечения достигается в интервале значений pH от 1.0 до 4.0. В работах [7, 10, 19] показано, что сорбенты, содержащие донорные атомы серы, количественно извлекают сорбируемые ионы в кислой среде. При $pH > 4.0$ сорбция может протекать недостаточно избирательно из-за гидролитической неустойчивости сорбата. С учетом того, что вольтамперметрическое определение содержания ртути (II) проводится в сильноокислой среде, дальнейшие исследования проводили при pH 2.0.

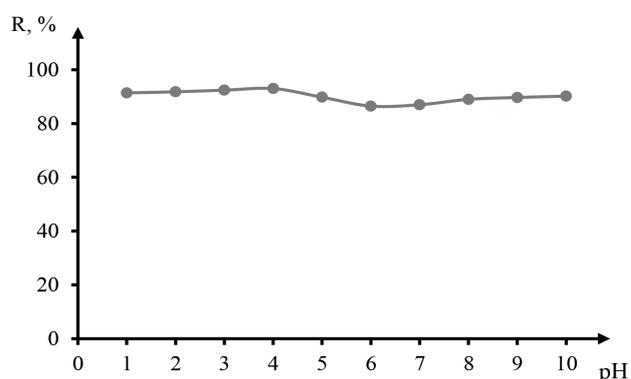


Рис. 1. Зависимость степени извлечения ионов ртути (II) от pH ($m_c=0.02$ г, $V=25$ мл, $C_{\text{Hg}}=1 \cdot 10^{-3}$ моль/л)

В ходе проведенных кинетических экспериментов было установлено, что продолжение контакта фаз более 30 мин не приводит к существенному увеличению величины степени извлечения (рис. 2). Исследование кинетики показывает, что для изучаемого сорбента характерна сравнительно высокая скорость сорбции ионов ртути (II). Многие существующие сорбенты обеспечивают максимальную степень сорбции при контакте фаз $t=60$ минут и более [4, 9, 21, 22].

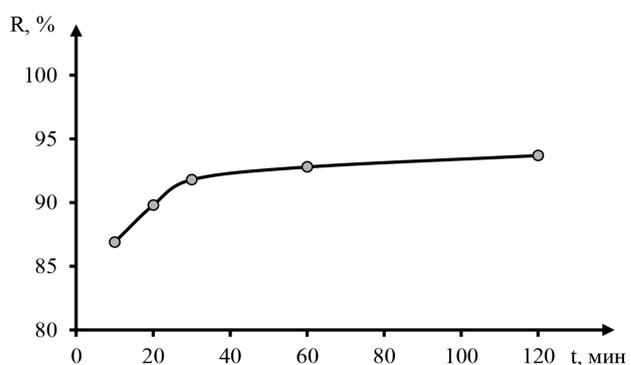


Рис. 2. Зависимость степени извлечения ионов ртути (II) от времени (pH 2.0, $m_c=0.02$ г, $V=25$ мл, $C_{\text{Hg}}=1 \cdot 10^{-3}$ моль/л)

Таблица 1

Параметры моделей изотерм адсорбции ионов ртути (II) АН-31-п-КБАР

Модель адсорбции	Параметры модели	Hg ²⁺
Модель Ленгмюра	b	5.31
	R ²	0.990
Модель Фрейндлиха	n	1.54
	K	3.27
	R ²	0.998
Модель Темкина	f	0.73
	A	3.08
	R ²	0.979
Модель Дубинина-Радужкевича	K	-0.0044
	a _{max}	9.7
	R ²	0.9226

Отношение количества ионов ртути (II) к площади поверхности сорбента выше при начальной концентрации ионов металла и адсорбционная способность увеличивается до тех пор, пока не достигает насыщения. Сорбционная емкость АН-31-п-КБАР по иону ртути (II) при установленных оптимальных параметрах сорбции составляет 2.78 ммоль/г (рис. 3). Результаты исследования показывают, что полученный нами сорбент превосходит по данному параметру указанные в работах [13-16, 22, 28, 29] сорбенты в 1.2 – 7.5 раза.

Данные обработки изотерм равновесной адсорбции необходимы для понимания механизма взаимодействия исследуемых металлов с адсорбентами. Исходя из формы, изотерму сорбции (рис. 3) ионов ртути (II) можно отнести по классификации ИЮПАК к I типу. Этот тип изотерм имеет вид изотермы с насыщением, схожей по виду с изотермой Ленгмюра: изотерма выпукла относительно оси абсцисс и количество адсорбата приближается к пределу при возрастании концентрации сорбируемого иона. Такого типа изотермы характерны для микропористых материалов

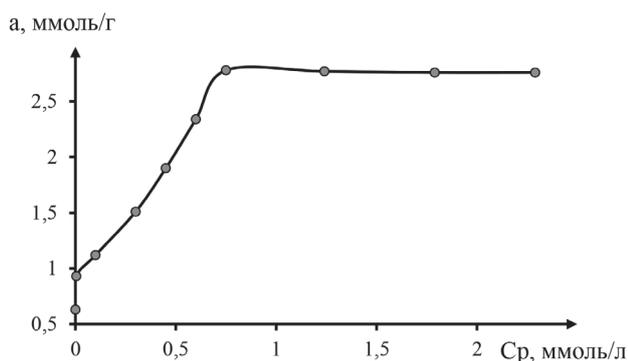


Рис. 3. Изотерма сорбции ионов ртути (II) (рН 2.0, t=30 мин, m_c=0.02 г, V=25 мл)

Для объяснения процесса сорбции, по построенным графическим зависимостям, рассчитаны константы уравнений Ленгмюра, Фрейндлиха и Темкина (табл. 1). По адекватности описания процесса адсорбции ионов ртути (II) рассмотренные модели можно расположить в следующем порядке: Модель адсорбции: Фрейндлиха > Ленгмюра > Темкина

R²: 0.998 0.990 0.979

Коэффициенты корреляции свидетельствуют о возможности применения моделей Фрейндлиха и Ленгмюра для описания изотермы. Однако, значение константы Фрейндлиха с n>1 указывает на то, что равновесные данные сорбции более соответствуют изотерме Фрейндлиха [15]. Это согласуется и с тем фактом, что иммобилизованный реагент обладает адсорбционными центрами с

различными величинами энергии и в первую очередь происходит заполнение активных сорбционных центров с максимальной энергией.

Для получения данных о механизме адсорбционного процесса, равновесные данные были обработаны с помощью модели изотермы Дубинина-Радужкевича (табл. 1). Модель Дубинина-Радужкевича применима для расчета средней свободной энергии адсорбции по уравнению $E=(-2 \cdot K)^{-0.5}$, которая указывает на природу адсорбции адсорбата на адсорбенте.

Рассчитанное значение $E=10.66$ кДж/моль указывает на то, что адсорбция ионов ртути (II) сорбентом на основе анионита АН-31 протекает с образованием химических связей, сопоставимых по энергии с ионными связями [30].

Исследована степень сорбции ионов ртути (II) в присутствии макро- и микрокомпонентов вод. Как показывают результаты исследования в выбранных условиях концентрирования ионов ртути (II) присутствие в растворе в мольных избытках ионов, указанных в табл. 2, не влияет на степень ее извлечения. Это указывает на то, что модифицированный сорбент обладает достаточно высокой избирательностью к иону сорбируемого металла в сложном фоновом растворе.

Таблица 2

Допустимые кратные массовые количества мешающих ионов при сорбции ионов ртути (II)

Мешающий ион (M ⁿ⁺)	Массовые соотношения	R, %
	[Hg ²⁺]:[M ⁿ⁺]	
-	-	99.5
Na ⁺	1:1000	99.4
K ⁺	1:1000	99.4
Ca ²⁺	1:1000	99.4
Ba ²⁺	1:1000	99.3
Mg ²⁺	1:1000	99.4
Sr ²⁺	1:1000	99.3
Fe ³⁺	1:50	98.0
Al ³⁺	1:500	99.5

Установлено, что растворы сильных минеральных кислот H_2SO_4 и HNO_3 даже с концентрацией 5.0 моль/л способны десорбировать ионы ртути (II) только на 31.2% и 56.4%, соответственно. Этот факт свидетельствует о достаточно прочной связи сорбента с сорбатом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлены оптимальные условия концентрирования ионов ртути (II) полимерным сорбентом на основе анионита АН-31 и 5-(4-карбоксофенил-азо)-роданина. Результаты исследования показывают, что при оптимальных условиях достигается количественная сорбция. Определена сорбционная емкость, которая составила 2.78 ммоль/г. Для описания процесса сорбции применены модели изотермы. Полученные результаты показывают, что данным сорбентом ионы ртути (II) количественно сорбируются из раствора со сложным фоновым составом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Увайсова С.М., Бабуев М.А. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2019. Т. 19. № 3. С. 344-351.
2. Asif Shahzada, Kashif Rasoolb, Waheed Mirana and others // Journal of Hazardous Materials. 2018. № 344, pp. 811-818.
3. Kumar Vikrant, Ki-Hyun Kim // Chemical Engineering Journal. 2019. № 358, pp. 264-282.
4. Balachandran Vivek and Edamana Prasad // The Journal of Physical Chemistry B. 2015. № 119, pp. 4881-4887.
5. Siti Khadijah Ab. Rahman, Nor Azah Yusof, Abdul Halim Abdullah and others // PLOS ONE. 2018. pp. 1-14.
6. Темердашев З.А., Когшига Дж.Н., Коншин В.В. и др. // Экологический вестник научных центров ЧЭС. 2012. № 2. С. 75-81.
7. Elizaveta Kostenko, Lyudmila Melnyk, Svitlana Matko and others // Chem. Chem. Technol. 2017. Vol. 11, № 1, pp. 117-124.
8. M. Arshadi, M.K. Abdolmaleki, F. Mousavinia and others // Journal of Colloid and Interface Science. 2017. № 486, pp. 296-308.
9. Zhiyong Xia, Lance Baird, Natasha Zimmerman and others // Applied Surface Science. 2017. № 416, pp. 565-573.
10. Дж.Н. Коншина, В.В. Опенько, З.А. Темердашев и др. // Аналитика и контроль. 2014. Т. 18. № 4. С. 451-457.
11. Маслакова Т.И., Первова И.Г., Желновач А.В. и др. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2017. Т. 17. № 3. С. 398-406.
12. Fabian E. Arias Arias, Amerigo Beneduci, Francesco Chidichimo and others // Chemosphere. 2017. № 180, pp. 11-23.
13. Bo Li, Ming Li, Jinyao Zhang and others // International Journal of Biological Macromolecules. 2019. № 122, pp. 149-156.
14. Katerina Klímová, Martin Pumera, Jan Luxa and others // J. Phys. Chem. C. 2016. № 120, pp. 24203-24212.
15. M.S. Raghu, K. Yogesh Kumar, Srilatha Rao and others // Physica B: Condensed Matter. 2018. № 537, pp. 336-345.
16. Yu-Ting Zhuang, Rui Jiang, De-Fu Wu and others // Journal of Colloid and Interface Science. 2019. № 540, pp. 572-578.
17. Bangda Wang, Yuexi Zhou, Lei Li and others // Journal of Hazardous Materials. 2018. № 345, pp. 76-86.
18. Pravin Patil, Madhuprasad, Mahesh P. Bhat and others // Chemical Engineering Journal. 2017. № 327, pp. 725-733.
19. Е.А. Чернышева, В.А. Грабельных, Е.П. Леванова и др. // Известия ВУЗов. Прикладная химия и биотехнология. 2017. Т. 7. № 3. С. 169-177.
20. Рединова А.В., Игнатова О.Н., Руссавская Н.В. и др. // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2011. Т. 1. № 1. С. 88-93.
21. Vishnu Manirethan, Niharika Gupta, Raj Mohan Balakrishnan and others // Environmental Science and Pollution Research. 2019. pp. 1-15.
22. М.К. Рустамов, М.Г. Мухамедиев, М.П. Тиунов и др. // Экологическая химия. 2011. Т. 20. № 4. С. 231-237.
23. Коростелев П.П. Приготовление растворов для химико-аналитических работ. Москва, Наука, 1977, 400 с.
24. Назаренко В.А., Антонович В.П., Невская Е.М. Гидролиз ионов металлов в разбавленных растворах. Москва, Атомиздат, 1979, 192 с.
25. Langmuir I. // J. Am. Chem. Soc. 1916. Vol. 38. № 11, pp. 2221-2295.
26. Freundlich H.M.F. // J. Phys. Chem. 1906. Vol. 57, pp. 385-410.
27. Стрельцова Е.А., Гросул А.А. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2014. Т. 14. № 1. С. 129-137.
28. Tawfik A. Saleh, Mustafa Tuzen, Ahmet Sari // Journal of Environmental Management. 2018. № 211, pp. 323-333.

29. Qin Meng, Bin Peng, Chong Shen // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2018. № 167, pp. 176-182.

Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук

*Увайсова С. М., научный сотрудник лаборатории комплексных исследований природных ресурсов Западно-Каспийского региона

E-mail: smuvaisova@mail.ru

Дагестанский государственный университет
Бабуев М. А., к.х.н., доцент кафедры аналитической и фармацевтической химии

E-mail: babuev77@mail.ru

30. В.И. Зеленцов, Т.Я. Дацко // Электронная обработка материалов. 2012. Т. 48. № 6. С. 65-73.

Dagestan Federal Research Centre of Russian Academy of Sciences

*Uvaysova S. M., Researcher Laboratory of complex researches of the West-Caspian region natural resources

E-mail: smuvaisova@mail.ru

Dagestan State University
Babuev M A., PhD., Associate Professor of the Dept. of Analytical and Pharmaceutical Chemistry

E-mail: babuev77@mail.ru

CONCENTRATION OF MERCURY (II) IONS BY POLYMERIC MODIFIED SORBENT BASED ON LOW-BASIC ANIONITE AN-31

S. M. Uvaysova¹, M. A. Babuev²

¹Dagestan Federal Research Center of Russian Academy of Sciences

²Dagestan State University

ABSTRACT. This paper presents the results of studying the conditions for the extraction of mercury (II) ions by a modified sorbent in a static mode. The object of the study is a modified sorbent based on the low-basic anionite AN-31 and 5-(4-carboxyphenyl-azo)-rhodanine [1]. The research results show that the maximum sorption of mercury (II) ions is achieved in the range of pH 1.0–4.0. Further research was carried out at pH 2.0. The study of the contact time of the phases shows that 30 minutes is sufficient to achieve the maximum degree of sorption, which indicates a sufficiently high sorption rate. The influence of the concentration of metal ions on sorption was also investigated. Experimental data show that with an increase in the concentration of mercury (II) ions in the solution, the amount of sorbed metal increases, and at 3.0 mmol/L of the initial concentration, the maximum sorption capacity of 2.78 mmol/g is reached. The obtained isotherm has the form of a saturation isotherm similar in appearance to the Langmuir isotherm, and according to the IUPAC classification it belongs to type I. To obtain data on the mechanism of the adsorption process, the equilibrium data were processed using the Dubinin-Radushkevich isotherm model. The calculated value of E, equal to 10.66 kJ/mol, indicates that the adsorption of mercury (II) ions by the polymer sorbent proceeds with the formation of stable chemical bonds. The interfering effect of macro- and microcomponents of water on the sorption process has been studied. As the results of the study show, the modified sorbent has a sufficiently high selectivity to mercury (II) ions. The possibility of desorption of metal ions from the sorbent by the action of various acids (H₂SO₄, HNO₃) of different concentrations has been studied. Quantitative desorption by the action of these acids is not achieved, which indicates a strong bond between the sorbent and the sorbate. The study showed the possibility of using the modified sorbent for the selective extraction of mercury (II) ions and the application of the developed technique for the separation of mercury (II) from natural and industrial objects.

Keywords: modified sorbent, polymer sorbent, sorption, mercury (II), extraction, toxic metals.

REFERENCES

1. Uvaysova S.M., Babuev M.A., Sorbtionnye i khromatograficheskie protsessy, 2019, Vol. 19. No. 3. pp. 344-351.
2. Asif Shahzada, Kashif Rasoolb, Waheed Mirana and others, Journal of Hazardous Materials, 2018, No. 344, pp. 811-818. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2017.11.026.

3. Kumar Vikrant, Ki-Hyun Kim, Chemical Engineering Journal, 2019, No. 358, pp. 264-282. DOI: 10.1016/j.cej.2018.10.022.
4. Balachandran Vivek and Edamana Prasad, The Journal of Physical Chemistry B, 2015, No. 119, pp. 4881-4887. DOI: 10.1021/jp511781e.
5. Siti Khadijah Ab. Rahman, Nor Azah Yusof, Abdul Halim Abdullah and others, PLOS ONE, 2018, pp. 1-14. DOI: 10.1371/journal.pone.0195546.
6. Temerdashev Z.A., Kogshiga Dzh.N., Konshin V.V. i dr., Ekologicheskii vestnik nauchnykh tsentrov ChES, 2012, No. 2, pp. 75-81.
7. Elizaveta Kostenko, Lyudmila Melnyk, Svitlana Matko and others, Chem. Chem. Technol, 2017, Vol. 11, No. 1, pp. 117-124.
8. M. Arshadi, M.K. Abdolmaleki, F. Mousavinia and others, Journal of Colloid and Interface Science, 2017, № 486, pp. 296-308. DOI: 10.1016/j.jcis.2016.10.002.
9. Zhiyong Xia, Lance Baird, Natasha Zimmerman and others, Applied Surface Science, 2017, No. 416, pp. 565-573. DOI: 10.1016/j.apsusc.2017.04.095.
10. Dzh.N. Konshina, V.V. Open'ko, Z.A. Temerdashev i dr., Analitika i kontrol', 2014, T. 18, No. 4, pp. 451-457.
11. Maslakova T.I., Pervova I.G., Zhelnovach A.V. i dr., Sorbtionnye i khromatograficheskie protsessy, 2017, T. 17, No. 3, pp. 398-406.
12. Fabian E. Arias Arias, Amerigo Beneduci, Francesco Chidichimo and others, Chemosphere, 2017, No. 180, pp. 11-23. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.03.137.
13. Bo Li, Ming Li, Jinyao Zhang and others, International Journal of Biological Macromolecules, 2019, No. 122, pp. 149-156. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.10.162.
14. Katerina Klímová, Martin Pumera, Jan Luxa and others, J. Phys. Chem. C, 2016, No. 120, pp. 24203-24212. DOI: 10.1021/acs.jpcc.6b08088.
15. M.S. Raghu, K. Yogesh Kumar, Srilatha Rao and others, Physica B: Condensed Matter, 2018, No. 537, pp. 336-345. DOI: 10.1016/j.physb.2018.02.017.
16. Yu-Ting Zhuang, Rui Jiang, De-Fu Wu and others, Journal of Colloid and Interface Science, 2019, No. 540, pp. 572-578. DOI: 10.1016/j.jcis.2019.01.060.
17. Bangda Wang, Yuexi Zhou, Lei Li and others, Journal of Hazardous Materials, 2018, No. 345, pp. 76-86. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2017.10.063.
18. Pravin Patil, Madhuprasad, Mahesh P. Bhat and others, Chemical Engineering Journal, 2017, No. 327, pp. 725-733. DOI: 10.1016/j.cej.2017.06.138.
19. E.A. Chernysheva, V.A. Grabel'nykh, E.P. Levanova i dr., Izvestiya VUZov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya, 2017, T. 7, No. 3, pp. 169-177.
20. Redinova A.V., Ignatova O.N., Russavskaya N.V. i dr., Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2011, T. 1, No. 1, pp. 88-93.
21. Vishnu Manirethan, Niharika Gupta, Raj Mohan Balakrishnan and others, Environmental Science and Pollution Research, 2019, pp. 1-15. DOI: 10.1007/s11356-019-06310-8.
22. M.K. Rustamov, M.G. Mukhamediev, M.P. Tiunov i dr., Ekologicheskaya khimiya, 2011, Vol. 20, No. 4, pp. 231-237.
23. Korostelev P.P. Prigotovlenie rastvorov dlya khimiko-analiticheskikh rabot, Moskva, Nauka, 1977, 400 p.
24. Nazarenko V.A., Antonovich V.P., Nevskaya E.M. Gidroliz ionov metallov v razbavlennykh rastvorakh, Moskva, Atomizdat, 1979, 192 p.
25. Langmuir I., J. Am. Chem. Soc., 1916, Vol. 38, No. 11, pp. 2221-2295.
26. Freundlich H.M.F., J. Phys. Chem., 1906, Vol. 57, pp. 385-410.
27. Strel'tsova E.A., Grosul A.A., Sorbtionnye i khromatograficheskie protsessy, 2014, Vol. 14, No. 1, pp. 129-137.
28. Tawfik A. Saleh, Mustafa Tuzen, Ahmet Sari, Journal of Environmental Management, 2018, No. 211, pp. 323-333. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.01.050.
29. Qin Meng, Bin Peng, Chong Shen, Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2018, No. 167, pp. 176-182. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2018.04.024.
30. V.I. Zelentsov, T.Ya. Datsko, Elektronnaya obrabotka materialov, 2012, Vol. 48, No. 6, pp. 65-73.