

Сорбенты для удаления тяжелых металлов из сточных вод

Е. Н. Елизарьева

*Башкирский государственный университет
Россия, г. Уфа, 450076, улица Заки Валиди, 32.*

Email: elizareva_en@mail.ru

Сорбция широко используется для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. Наиболее популярным и широко используемым адсорбентом является активированный уголь, который в то же время остается дорогостоящим материалом. В работе рассмотрены сорбенты, альтернативные активированному углю по стоимости, эффективности, доступности и возможности регенерации или утилизации.

Ключевые слова: тяжелые металлы, сорбция, сточные воды, гидроксид железа.

Сорбция относится к группе физико-химических методов удаления металлов, которые используют как самостоятельно, так и в сочетании с реагентными и биологическими методами.

Кроме сорбции, к данной группе методов относят ионный обмен, экстракцию, электрохимические и мембранные методы и др. Тем не менее, сопоставляя различные физико-химические методы, предпочтение следует отдать сорбционному методу, который по эффективности не уступает методу ионного обмена, но гораздо более прост при практическом осуществлении.

Сорбционная очистка заключается в концентрировании поглощаемого вещества на поверхности или в объеме пор сорбента. Наиболее популярным и широко используемым адсорбентом является активированный уголь, который в то же время остается дорогостоящим материалом [1]. Поэтому активно ведутся работы по поиску сорбентов, которые были бы альтернативой активированному углю по стоимости, эффективности, доступности и возможности регенерации или утилизации. Так, установлено, что некоторые адсорбенты, такие как хитозан [2–3], цеолиты [4–6], отработанная суспензия производства удобрений [4], формальдегид-полимеризованная скорлупа земляного ореха [7], агар и лигнин [8] извлекают тяжелые металлы эффективнее, чем активированный уголь [9] и угольный аэрогель [10]. Большинство тяжелых металлов эффективно адсорбируются хитозаном даже из очень разбавленных растворов. Однако хитозан рассматривается как один из самых дорогих альтернативных адсорбентов, т.к. его стоимость не намного меньше стоимости активированного угля [11]. Еще одной альтернативой активированному углю являются цеолиты (клиноптилолит, шабазит и др.), рыночная цена которых в настоящее время в 20 раз ниже, чем цена активирован-

ного угля [4], а эффективность адсорбции свинца на шабазите в 4 раза выше, при примерно равной эффективности извлечения кадмия.

Ряд работ посвящен изучению адсорбции на оксиде алюминия и гидроксиде железа, которые обладают хорошими адсорбционными свойствами [12]. В настоящее время в практике очистки сточных вод известны три метода получения гидроксида железа как адсорбента – ферритизационный [13], электрокоагуляционный [14] и гальванокоагуляционный [15].

Ферритизационный метод основан на введении в сточные воды солей Fe^{2+} и Fe^{3+} (в определенном соотношении) при подщелачивании стоков до $pH=11.0$. Образующийся ферроферригидрозоль при нагреве до $60-70^{\circ}C$ и подаче окислителя (воздуха) переходит в магнетит Fe_3O_4 , который является сорбентом и одновременно способствует образованию нерастворимых ферритов тяжелых металлов [16].

Электрокоагуляционный метод основан на электролитическом растворении стальных анодов при $pH>2$ с образованием ионов Fe^{2+} и OH^- . Очистка от ионов тяжелых металлов достигается главным образом за счет их соосаждения с гидроксидом железа (II). При наличии в сточной воде ионов Cr^{6+} идет восстановление Cr^{6+} до Cr^{3+} с образованием гидроксида железа (III). Этот способ в основном используется для очистки сточных вод от ионов Cr^{6+} , поскольку остаточные концентрации ионов других тяжелых металлов часто превышают ПДК [17].

Наиболее благоприятные условия получения адсорбционно-активного железа (III) реализуются в гальванокоагуляционном методе [18]. При гальванокоагуляционной очистке очищаемую воду пропускают через железные стружки, смешанные с коксом в соотношении 4:1 или с медной стружкой в соотношении 2.5:1. В результате контакта железо-кокс или железо-медь образуется гальванопара, в которой железо является анодом. За счет разности потенциалов железо переходит в раствор без наложения тока от внешнего источника [19].

Однако, сорбционный метод имеет и ряд существенных недостатков. На определенном этапе очистки адсорбенты обрабатываются, и возникает задача их регенерации или утилизации. Если не решить эту задачу, то сорбент необходимо вывозить в отвал, что создает дополнительную опасность загрязнения окружающей среды токсичными соединениями. Поэтому сорбционные методы следует применять, в основном, для доочистки сточных вод от ионов тяжелых металлов, а выбор сорбента осуществлять с учетом его стоимости, возможности достижения значений ПДК для рыбохозяйственных водоемов и последующей утилизации. Необходимо учитывать, что стоимость некоторых сорбентов зависит от локальной доступности данного материала. Так, например, кокосовые волокна являются отходами аграрного производства в южных странах: в Индии их ежегодно образуется 7.5 миллионов тонн, и стоимость данного адсорбента складывается только из транспортных расходов [20].

Литература

1. Nomanbhay S., Palanisamy K. Removal of heavy metal from industrial wastewater using chitosan coated oil palm shell charcoal // *Electronic Journal of Biotechnology*. V.8. №1. 2005. P.43–53. <http://www.ejbiotechnology.info/content/vol8/issue1/full/7/>.
2. Peter Osei Boamah et al. Sorption of heavy metal ions onto carboxylate chitosan derivatives—A mini-review // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. V. 116. 2015. P.113–120.
3. V. K. Gupta, Imran Ali. *Environmental Water: Advances in Treatment, Remediation and Recycling* // Elsevier. 2012. 232 p.
4. Tripathi A, Ranjan MR. Heavy Metal Removal from Wastewater Using Low Cost Adsorbents. // *J Bioremed Biodeg*. 2015. №6. P.315.
5. Khayambashi Babak, Anuar Abd Rahim, Samsuri Abd Wahid, Siva Kumar Balasundram and M. Afyuni. Sorption and Desorption of Zinc by Clinoptilolite and Clinoptilolite-Tridymite // *Malaysian Journal of Soil Science* Vol. 17: 69–83 (2013).
6. Murkani M. et al. Evaluation of natural zeolite clinoptilolite efficiency for the removal of ammonium and nitrate from aquatic solutions // *Environmental Health Engineering and Management Journal* 2015, 2(1), 17–22.
7. Uzun İ., Güzel F. Adsorption of some heavy metal ions from aqueous solution by activated carbon and comparison of percent adsorption results of activated carbon with those of some other adsorbents // *Turk. J. Chem*. V.24. 2000. P. 291–297.
8. Shrivastava S. K., Singh A. K., Sharma A. Studies on the uptake of lead and zinc by lignin obtained from black liquor – a paper industry waste material // *Environ. Technol*. V.15. 1994. P. 353–361.
9. Wu S., Chen J. P. Modification of a commercial activated carbon for metal adsorption by several approaches // <http://www.containment.fsu.edu/cd/content/pdf/408.pdf>.
10. Meena A. K., Mishra G. K., Rai P. K., Rajagopal C., Nagar P. N. Removal of heavy metal ions from aqueous solutions using carbon aerogel as an adsorbent // *Journal of Hazardous Materials*. B122. 2005. P. 161–170.
11. Cervera M. L., Arnal · M. C., De la Guardia M. Removal of heavy metals by using adsorption on alumina or chitosan // *Anal Bioanal Chem*. 2003. V. 375. P. 820–825.
12. Сапожникова Е. Н. Снижение экологической опасности металлсодержащих сточных вод: дис.. канд. техн. наук: 03.00.16/Сапожникова Елена Николаевна. – Уфа, 2007.
13. Филиновский В. Ю., Никольская Т. Ю., Шевченко В. К. Ферритизационная очистка гальваносток предприятий по производству изделий электронной техники // *Экология и промышленность России*. 1998. №6. С.4–8.
14. Назаров В. Д., Гурвич Л. М., Русакович А. А. *Водоснабжение в нефтедобыче*. Уфа: ООО «Виртуал», 2003. 508 с.
15. Соложенкин П. М., Небера В. П. Гальванохимическая обработка сточных вод // *Экология и промышленность России*. 2000. №7. С. 10–13.

16. Будиловскис Ю. Эффективная и доступная технология очистки промышленных стоков // Экология и промышленность России. 1996. №8. С. 20–22.
17. Соколова Л. П., Смурова Е. С. и др. Исследование механизма извлечения компонентов кислых сточных вод в процессе гальванокоагуляционной очистки // Журнал прикладной химии. 1991. №3. С. 551–555.
18. Курдюмов Г. М., Чернова О. П., Разумовская Н. Н., Мальцева В. В. О природе оксигидратной фазы, образующейся при гальваноочистке сточных вод // Журнал прикладной химии. 1993. №8. С. 1716–1721.
19. Смирнов Д. Н., Генкин В. Е. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов. М.: Металлургия, 1989. 224 с.
20. S. Ayub, F. Changani Khorasgani. Adsorption Process for Wastewater Treatment by using Coconut Shell // Research Journal of Chemical Sciences Vol. 4(12). 2014. P. 1–8.

Статья рекомендована к печати кафедрой БЖД и ООС БашГУ
(докт. биол. наук, проф. Ю. А. Янбаев)

Sorbents for the removal of heavy metals from wastewater

E. N. Elizareva

Bashkir State University

32 Zaki Validi Street, 450076 Ufa, Russia.

Email: elizareva_en@mail.ru

Adsorption processes are being widely used for the removal of heavy metals from waste streams. Activated carbon has been frequently used as an adsorbent, but it remains an expensive material. Adsorbents, which could be alternatives to activated carbon, were described.

Keywords: heavy metals, adsorption, wastewater, iron hydroxide.