

С. А. Дониёров, Д. А. Хандамов, д-р хим. наук, проф.,
А. Ш. Бекмирзаев, Ш. Б. Хонқулов
(ТХТИ, г. Ташкент)

ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИИ ИОНОВ ХРОМА НА ПРИРОДНЫХ И АКТИВИРОВАННЫХ БЕНТОНИТАХ

В настоящее время, с увеличением спроса на кожаную продукцию, количество предприятий по переработке кожи продолжает расти. В кожевенных производствах хромовые соли являются наиболее часто используемыми для обработки кожи. Однако из-за сброса неочищенных сточных вод этих предприятий в водоемы, наблюдается негативное воздействие на окружающую среду. В последнее время ускорение индустриализации приводит к увеличению концентрации и накоплению хромовых ионов в воде и окружающей среде, поскольку хром является одним из самых распространенных металлов в водоемах [1]. Хромовые соли, используемые в сточных водах, составляют около 25-30% от общего количества хромовых соединений, применяемых в процессах кожевенного производства [2]. Высокая концентрация хрома представляет собой серьезную угрозу для здоровья человека [3]. В данном исследовании использовались дешевые адсорбенты — природный Деҳқонободский бентонит (DB) и активированный 15% серной кислотой бентонит (DB15), для удаления Cr^{6+} из воды. Для определения влияния температуры на процесс адсорбции были проведены эксперименты по изотермам адсорбции хромовых ионов при разных температурах: 288, 293, 298, 308 и 318 К. Эксперименты проводились при различных начальных концентрациях Cr^{6+} , варьирующихся от 0,05 до 0,5 мг/л [4]. Из полученных изотерм адсорбции видно, что с повышением температуры в интервале 288-298 К увеличивается количество адсорбированных хромовых ионов.

Это связано с тем, что повышение температуры способствует увеличению кинетической энергии молекул, что ускоряет движение хромовых ионов, увеличивая их диффузию в активные центры и поры адсорбентов. Однако при температуре от 308 до 318 К наблюдается снижение эффективности адсорбции. Это может быть связано с тем, что при высоких температурах хромовые ионы приобретают высокую кинетическую энергию, что способствует их более свободному движению. Условия эксперимента: концентрация бентонита 1,0 г/л, рН среды = 7,0, время взаимодействия адсорбента с адсорбатом = 60 минут, скорость перемешивания = 150 об/мин.

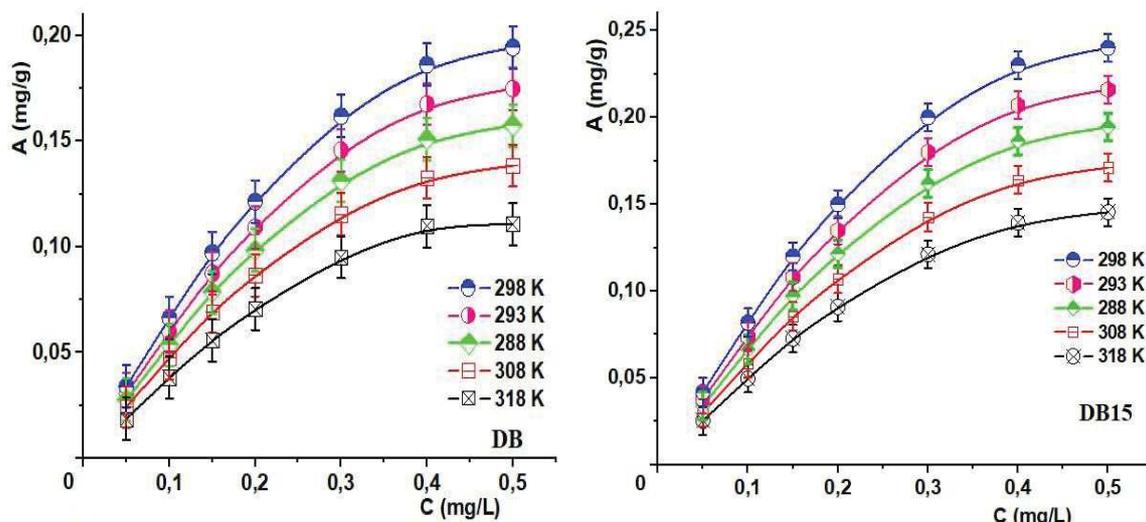


Рисунок 1 – Изотермы адсорбции ионов хрома на адсорбентах DB и DB15 при различных температурах (288, 293, 298, 308 и 318 K)

При анализе адсорбции ионов хрома на кислотно-активированных бентонитах использовались модели адсорбции Ленгмюра, Фрейндлиха, Темкина и Дубинина-Радушкевича (Д-Р). Применение этих моделей способствует более точному описанию физико-химических механизмов адсорбции и адсорбционного процесса [5-6].

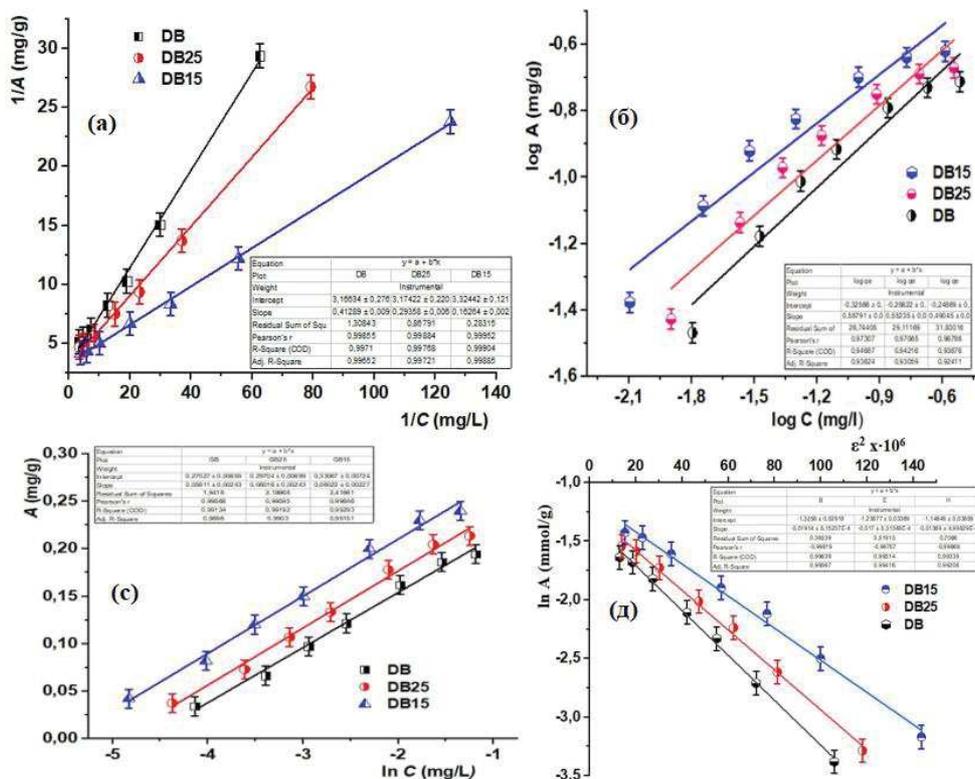


Рисунок 2 – Графики изотермических моделей Ленгмюра (а), Фрейндлиха (б), Темкина (с), Дубинина-Радушкевича (д) для адсорбции ионов хрома на адсорбентах

Для моделей Ленгмюра, DB, DB15 и DB25 были определены максимальные значения адсорбционной ёмкости (q_{max} (мг/г)): для DB – 0,315 мг/г, для DB25 – 0,305 мг/г, а для DB15 – 0,325 мг/г. Значение склонности к адсорбции, K_L (л/мг), оказалось наибольшим для DB15 (20,440 л/мг), что свидетельствует о высоком его сродстве к ионам PO_4^{3-} . Значение R^2 для модели Ленгмюра было высоким для всех трёх адсорбентов (DB: 0,996; DB25: 0,997; DB15: 0,998), что подтверждает хорошее соответствие модели данным.

Данные о адсорбции хромовых ионов в воде на кислотно-активированных адсорбентах DB, DB15 и DB25 согласно моделям Ленгмюра, Фрейндлиха, Темкина и Дубинина-Радушкевича приведены в следующей табл.

Таблица – Данные по адсорбции ионов хрома на кислотно-активированных бентонитах марок DB, DB15 и DB25 по моделям Ленгмюра, Фрейндлиха, Темкина и Дубинина-Радушкевича

Модели изотерм	Параметры	Адсорбенты		
		DB	DB25	DB15
Ленгмюра	q_{max} (мг/г)	0,305	0,315	0,325
	K_L (л/мг)	7,668	10,812	20,440
	R_L	0,025	0,018	0,009
	R^2	0,996	0,997	0,998
Фрейндлиха	K_F (мг/г)	2,116	1,932	1,772
	$1/n$	0,588	0,552	0,365
	n	1,700	1,81061	2,039152
	R^2	0,977	0,942	0,936
Темкина	V_T (ж/моль)	0,058	0,060	0,060
	K_T (л/мг)	104,690	139,421	242,507
	R^2	0,989	0,990	0,991
Дубинина-Радушкевича	q_m (мг/г)	0,265	0,289	0,317
	β_d (моль ² /кДж ²)	$1,91 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,37 \cdot 10^{-5}$
	E (кДж/моль)	161,796	171,498	191,040
	R^2	0,995	0,994	0,992

Значения $1/n$ и n модели Фрейндлиха для DB, DB25 и DB15 составляют соответственно: $n = 1,7; 1,81$ и $2,03$. Поскольку $n > 1$, это указывает на благоприятный процесс адсорбции. Для модели Фрейндлиха наибольшее значение R^2 было получено для DB (0,977), в то время как для DB25 и DB15 значения составляют 0,942 и 0,936 соответственно. По модели Темкина параметр V_T для всех трёх ад-

сорбентов составил: DB – 0,058, DB25 – 0,060, DB15 – 0,060. Значения R^2 для модели Темкина составили: для DB – 0,989, для DB25 – 0,990, и для DB15 – 0,991, что подтверждает хорошее соответствие модели данным.

По модели Дубинина-Радушкевича энергия адсорбции (E , кДж/моль) для DB15 была наибольшей (191,04 кДж/моль), что свидетельствует о наличии химической адсорбции.

В заключение можно сказать, что модель адсорбции Ленгмюра для всех адсорбентов DB, DB25 и DB15 имеет высокие значения R^2 и хорошо описывает данные. Среди адсорбентов бентонит DB15 продемонстрировал наивысшую эффективность адсорбции по всем моделям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Owlad M., Aroua M.K., Daud W.M.A.W. Hexavalent chromium adsorption on impregnated palm shell activated carbon with polyethyleneimine // *Desalination* 2010. P. 71–77. Doi: 10.1016/j.desal.2009.12.003.
2. Owlad M., Aroua M.K., Daud W.A.W., Baroutian S. Removal of hexavalent chromium-contaminated water and wastewater: A review // *Water, Air, and Soil Pollution*. 2009. P. 311–333 Doi: 10.1007/s11270-009-0030-3.
3. M. Murugesan., M. Sathishkumar., K. Swaminathan. Bioremediation of chromium contaminated soil: optimization of operating parameters under laboratory conditions // *Journal of Hazardous Materials* 2006. P. 29–36. Doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.11.048.
4. Li X., Wu D. *Nanoclay Applications in Advanced Materials: Bentonite-Based Nanocomposites* // *Journal of Nanotechnology*. 2025 №42(7), P.1312–1324.
5. Rengaraj S., Yeon K., Moon S.H. Removal of chromium from water and wastewater by ion exchange resins // *Journal of Hazardous Materials*. 2001. P.255–264 Doi: 10.1016/S0304-3894(00)00305-1.
6. Shukla S.R., Dabhade S.P. Separation, recovery and recycling of chromium from wastewater obtained during reverse osmosis treatment of tannery effluent // *Resources, Conservation and Recycling*. 1992. P. 105–113 Doi: 10.1016/0921-3449(92)90047-2.