



UDK: 541.183.553.62

Dilnoza XANDAMOVA,
Toshkent kimyo-texnologiya instituti assistenti, PhD
E-mail d.khandamova@tkti.uz
Shavkat NURULLAYEV,
Toshkent kimyo-texnologiya instituti professori, k.f.n
Rasul ESHMETOV,
Toshkent kimyo-texnologiya instituti professori, t.f.d
Maxamadadil MAMAJANOV,
Toshkent kimyo-texnologiya instituti mustaqil izlanuvchisi
Tohirbek IBRAGIMOV,
Toshkent kimyo-texnologiya instituti mustaqil izlanuvchisi

O'zbekiston Milliy universiteti professori S.Nurmanov taqrizi asosida

EVALUATION OF THE IRON ION ADSORPTION CAPACITY OF ORGANOBEENTONITES: EFFICIENCY OF THE LANGMUIR MODEL AND COMPARATIVE ANALYSIS OF ISOTHERM MODELS

Annotation

This study examines the adsorption isotherms of Fe^{2+} ions from wastewater using newly modified adsorbents. Adsorption characteristics were analyzed based on Freundlich, Langmuir, Dubinin-Radishkovich, and Temkin isotherm models. It was found that bentonites modified with trimethylammonium (TMAB) and triethylammonium (TEAB) exhibit high efficiency in adsorbing iron ions from municipal wastewater. The adsorption capacity of the synthesized adsorbents was determined as follows: PBG bentonite - 0.151 mg/g; TMAB - 0.164 mg/g; TEAB - 0.168 mg/g. The adsorption isotherm data were found to align well with the Langmuir model, indicating monolayer adsorption behavior.

Key words: Adsorption, modification, wastewater, bentonite, iron ions, Freundlich, Langmuir, Dubinin-Radishkovich and Temkin isothermal models.

"ОЦЕНКА СПОСОБНОСТИ ОРГАНОБЕНТОНИТОВ К АДсорбЦИИ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА: ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕЛИ ЛЕНГМЮИРА И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ"

Аннотация

В данной работе исследованы изотермы адсорбции ионов Fe^{2+} из сточных вод с использованием новых модифицированных адсорбентов. Адсорбционные характеристики изучены на основе моделей Фрейндлиха, Ленгмюра, Дубинина-Радишковица и Темкина. Установлено, что бентониты, модифицированные триметиламмонием (ТМАБ) и триэтиламмонием (ТЭАБ), демонстрируют высокую эффективность при адсорбции ионов железа из городских сточных вод. Адсорбционная способность синтезированных адсорбентов составила: PBG бентонит - 0,151 мг/г; ТМАБ - 0,164 мг/г; ТЭАБ - 0,168 мг/г. Результаты адсорбционных исследований показали, что изотермы Ленгмюра лучше всего описывают поведение исследованных систем.

Ключевые слова: Адсорбция, модификация, сточные воды, бентонит, ионы железа, изотермические модели Фрейндлиха, Ленгмюра, Дубинина-Радишковица и Темкина.

"MODIFIKATSIYALANGAN ORGANOBEENTONITLARNING TEMIR IONLARINI ADSORBSIYALASH QOBILIYATINI BAHOLASH: LENGMUYER MODEL SAMARADORLIGI VA IZOTERMA MODELLARINING TAQQOSIY TAHLILI"

Annotatsiya

Mazkur tadqiqotda oqova suv tarkibidagi Fe^{2+} ionlarini yangi modifikatsiyalangan adsorbentlar yordamida adsorbsiyalash izotermalari o'rganildi. Adsorbsion xususiyatlar Freyndlix, Lengmuyer, Dubinin-Radishkovich va Temkin izoterma modellari asoslangan holda tahlil qilindi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, trimetilammoniy (TMAB) va trietilammoniy (TEAB) bilan modifikatsiyalangan bentoitlar shahar oqova suvlaridagi temir ionlarini samarali adsorbsiyalash xususiyatiga ega ekanligi aniqlandi. Sintez qilingan adsorbentlarning Fe^{2+} ionlarini adsorbsiyalash sig'imi quyidagicha aniqlangan: PBG bentoiti - 0,151 mg/g; TMAB - 0,164 mg/g; TEAB - 0,168 mg/g. Adsorbsion izotermalar tahliliga ko'ra, Lengmuyer modeli adsorbsion jarayonlarni eng yaxshi tasvirlab bergan.

Kalit so'zlar: adsorbsiyalanish, modifikatsiya, oqova suv, bentoit, temir ionlari, Freyndlix, Lengmuyer, Dubinin-Radishkovich va Temkin izoterma modellari.

Kirish. Suv resurslarining temir (Fe^{2+}) ionlari bilan ifloslanishi ekologik muammolardan biri bo'lib, u inson salomatligi va suv ekotizimlariga salbiy ta'sir ko'rsatadi. An'anaviy suv tozalash usullari ko'pincha Fe^{2+} ionlarini samarali olib tashlashda yetarli natija bermaydi. So'ngi yillarda tadqiqotchilar bentonit asosidagi adsorbentlarni Fe^{2+} ionlarini olib tashlash uchun istiqbolli usul sifatida o'rganib, oqova suvlarni (shu jumladan kanalizatsiya suvlarini) tozalashda bunday adsorbentlarning samaradorligini ko'rsatib berishdi. Faollashtirilgan bentonitlar yuqori sirt maydoni va g'ovakli tuzilishi tufayli Fe^{2+} ionlarining samarali adsorbsiyalanishini ta'minlaydi. Bentonitlarning ion almashish xususiyatlari suv tarkibidagi temir ionlarini samarali tozalash

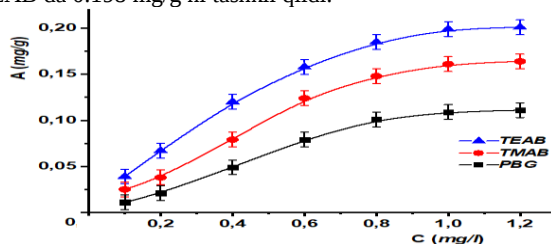
imkonini beradi. Shu bilan birga, adsorbsiyalanish darajasi Fe^{2+} ionlarining boshlang'ich konsentratsiyasi, suv kimyosi, foydalanish xarajatlari va dastur talablari kabi omillarga bog'liqdir.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili. An'anaviy suv tozalash usullari ko'pincha Fe^{2+} ionlarini samarali olib tashlashda yetarli natija bermaydi [1] Tabiiy xom ashyolar asosida nanog'ovakli, samarador adsorbentlar olish va ularning adsorbsion xususiyatlarini o'rganish va amaliyotda qo'llash borasida bir qator tadqiqotlar qilingan [2] Shu bilan birga, adsorbsiyalanish darajasi Fe^{2+} ionlarining boshlang'ich konsentratsiyasi, suv kimyosi, foydalanish xarajatlari va dastur talablari kabi omillarga bog'liqdir [3] Bu usulda temir (III) oksidining ishqoriy muhitda temir (II) oksidiga qaytarilish xossasidan foydalaniladi. Natijada temir (II) va temir (III) ionlarining umumiy miqdori ($\lambda=420$ nm to'lqin uzunligida) aniqlanadi [4,5] Langmuyer adsorbsion modeli adsorbsiyani izotermik sharoitda adsorbat ideal gaz sifatida tutadi deb tushuntiradi. Uning nazariyasi u gazsimon molekulalar sirtidan elastik ravishda qaytmaydi, balki qattiq jismlardagi molekulalar guruhlariga o'xshash tarzda ushlab turiladi, degan fikrni ilgari surganidan boshlangan [6,7] Eritmadagi adsorbsiya jarayonlarida quyidagi omillar muhim ahamiyatga ega: birinchidan, adsorbentlarning tabiati, ikkinchidan erituvchilarning tabiati [8] Dubinin-Radushkevich modeli ko'pincha xarakterli g'ovaklikni va adsorbsiyaning ko'rinadigan erkin energiyasini baholash uchun ishlatiladi [9] Dubinin-Radushkevich (DR) adsorbsiya izotermasi modeli Polanyi tomonidan ishlab chiqilgan adsorbsiyaning potentsial nazariyasiga asoslanadi [10] U asosiy termodinamik asosi tufayli boshqa izoterm modellari bilan solishtirganda tubdan mustahkam va yuqori baholanadi [11]

Tadqiqot metodologiyasi. Tadqiqot ob'ekti sifatida Navbahor bentoniti (PBG markasi) tanlanib, u trimetilammoniyli (TMAB) va trietilammoniyli (TEAB) organik moddalar bilan modifikatsiyalandi. Olingan adsorbentlarning suvli eritmalarida Fe^{2+} ionlarini adsorbsiyalash xossalari o'rganildi.

Kalit so'zlar: aktivlangan kaolin, izoterma, tigel, konussimon kolbalar, pipetka, byuretkka, titrlash kolbalari, voronkalar, filtr qog'oz va boshqalar.

Tahlil va natijalar. Tajribada 5 grammdan o'lchangan adsorbentlar analitik tarozida tortilib, 500 ml hajmdagi temir sulfatning turli boshlang'ich konsentratsiyalardagi eritmalariga qo'shildi. Aralashmalar 1 soat davomida aralashtirilib, so'ngra tindirilib, filtdan o'tkazildi. Eritmadagi umumiy temir konsentratsiyasi spektrofotometrik usulda aniqlandi. Bu usulda temir (III) oksidining ishqoriy muhitda temir (II) oksidiga qaytarilish xossasidan foydalaniladi. Natijada temir (II) va temir (III) ionlarining umumiy miqdori ($\lambda=420$ nm to'lqin uzunligida) aniqlanadi. Sintez qilingan adsorbentlar yordamida eritmadagi temir ionlari adsorbsiyalanish izotermalari Freyndlix, Lengmuyer, Dubinin-Radushkevich va Temkin izoterma modellari yordamida o'rganildi. Ushbu modellari yordamida adsorbsiyalanish ma'lumotlari tahlil qilindi va adsorbsiyalanish jarayonining asosiy parametrlari aniqlandi (1-rasm). Olingan natijalarga ko'ra Adsorbentlarga Fe^{2+} ionlarini adsorbsiyalanishi mos ravishda PBG bentonitida 0.111 mg/g, TMAB da 0.164 mg/g va TEAB da 0.198 mg/g ni tashkil qildi.

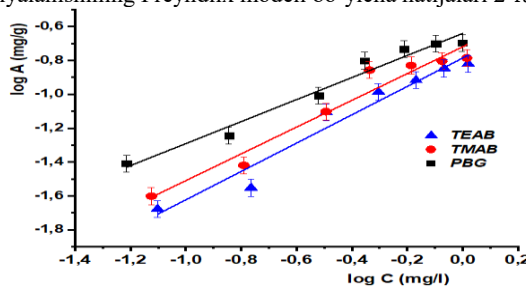


1-rasm. Adsorbentlarga temir ionlari adsorbsiyalanishi izotermalari 303K da.

Suvli eritmalaridagi adsorbent konsentratsiyasining miqdori ortishi bilan bog'liq holda adsorbentlarning adsorbsion qobiliyatining keskin ortib borishi kuzatildi. Bunday hollarda, adsorbsiyalanish molekulalarning adsorbent sirti yuzasida to'planishi (klasterlar, to'plamlar va boshqalar ko'rinishida joylashadi) adsorbatning ko'p funksionaliligi va erituvchining kuchli adsorbsiyalanishi bilan tushuntiriladi.

Freyndlix modeli bo'yicha tahlil.

Freyndlix tenglamasi yoki Freyndlix adsorbsion izotermasi, adsorbsion izoterma, qattiq sirtga adsorbsiyalanish gaz miqdori va gaz bosimi o'rtasidagi empirik bog'liqlikni ifodalovchi adsorbsion izoterma hisoblanadi. Modifikatsiyalangan adsorbentlarga Fe^{2+} ionlarini adsorbsiyalanishining Freyndlix modeli bo'yicha natijalari 2-rasmda keltirilgan.



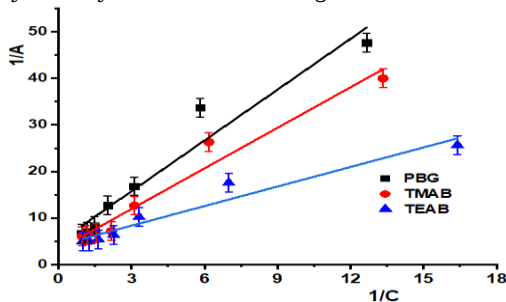
2-rasm. Adsorbentlarga temir ionlarini Freyndlix modeli bo'yicha 303K haroratda adsorbsiyalanish izotermalari.

Freyndlix izotermasi modeli $0 < 1/n < 1$ bo'lganda adsorbsiya yaxshi borganligini bildiradi. Bu holatda adsorbsiyaning darajasi konsentratsiyaning oshishi bilan kamayib boradi. PBG, TMAB va TEAB adsorbentlarda $1/n$ qiymatlari mos ravishda 0,836; 0,789 va 0,65ga teng bo'lganligini, n ning qiymatlari esa 1 dan katta ($\text{PBG}=1,19$; $\text{TMAB}=1,53$ va $\text{TEAB}=1,26$) bo'lganligini ko'rishimiz mumkin. $n > 1$ bo'lganda, adsorbsiyaning kuchli ekanligini bildiradi, bu holatda adsorbsiyaning samaradorligi konsentratsiya oshishi bilan kamayadi. Freyndlix modeli izotermalari ko'rsatkichlari 1-jadvalda berilgan.

Lengmuyer modeli bo'yicha tahlil

Langmuyer adsorbsion modeli adsorbsiyani izotermik sharoitda adsorbat ideal gaz sifatida tutadi deb tushuntiradi. Uning nazariyasi u gazsimon molekulalar sirtidan elastik ravishda qaytmaydi, balki qattiq jismlardagi molekulalar guruhlariga o'xshash

tarzda ushlab turiladi, degan fikrni ilgari surganidan boshlangan [6,7]. Adsorbentlarga Fe^{+2} ionlarining adsorbsiyasining Lengmuyur modeli bo'yicha olingan tajriba natijalari 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. Adsorbentlarga temir ionlari adsorbsiyalanishining Lengmuyur modeli bo'yicha adsorbsiya izotermalari 303K da.

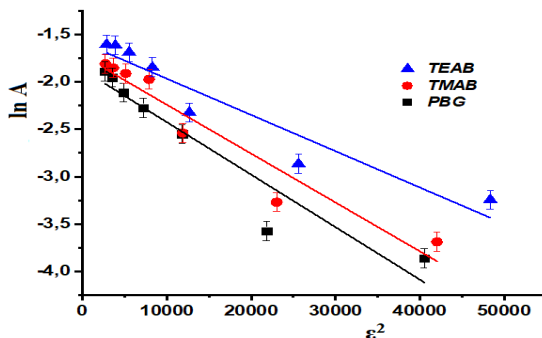
Adsorbentlarga Fe^{+2} ionlarini adsorbsiyalanishi izotermasi Lengmuyur modeli bo'yicha korellatsiya koeffitsentlari (R^2) PBG da 0,921 TMAB da 0,964 TEABda esa 0,947 ga teng ekanligi aniqlandi. Tadqiqot ishida Lengmuyur modeli izotermasi ajratish koeffitsenti ($R(L)$) mos ravishda 0,26; 0,197; 0,104 ekanligi aniqlandi. Demak bu adsorbsiya natijalari Lengmuyur modeliga mos keladi. $R(L)$ ning bu qiymatlarda bo'lishi adsorbsiyaning samaradorligi va qulayligini ko'rsatadi. Lengmuyur modeli izotermasi natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

Dubinin- Radishkevich modeli bo'yicha tahlil.

Dubinin-Radushkevich modeli ko'pincha xarakterli g'ovaklikni va adsorbsiyaning ko'rinadigan erkin energiyasini baholash uchun ishlatiladi.

Dubinin-Radushkevich (DR) adsorbsiya izotermasi modeli Polanyi tomonidan ishlab chiqilgan adsorbsiyaning potentsial nazariyasiga asoslanadi. U asosiy termodinamik asosi tufayli boshqa izoterm modellari bilan solishtirganda tubdan mustahkam va yuqori baholanadi.

Modifikatsiyalangan adsorbentlarga Fe^{+2} ionlari adsorbsiyalanishining Dubinin-Radushkevich modeli bo'yicha olingan natijalar 4-rasmda keltirilgan.

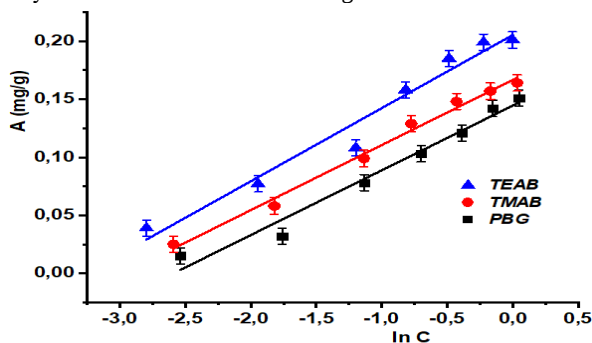


4-rasm. Adsorbentlarga temir ionlarini Dubinin-Radushkevich modeli bo'yicha 303K haroratda adsorbsiyalanish izotermalari.

Konstantalar qiymatlari chiziqli modelning kesishishi ($q_{\max} = \exp(\text{intercept})$) va burchak tangensi qiyaligi ($K_{D-R} = -\text{slope}$) bilan aniqlangan. PBG, TMAB, TEAB adsorbentlariga Fe^{+2} ionlarining adsorbsiyalanish izotermalari Dubinin-Radushkevich modeli konstanta qiymatlari 1-jadvalda berilgan.

Temkin modeli bo'yicha tahlil.

Temkin izotermasi modeli bilvosita adsorbat-adsorbent o'zaro ta'sirining adsorbsiya jarayoniga ta'sirini ko'rib chiqadi. Bundan tashqari, adsorbsiya maksimal bog'lanish energiyasigacha bo'lgan bog'lanish energiyasining bir xil taqsimlanishi bilan tavsiflanadi [12]. Olib bo'rilgan tadqiqot ishida olingan izotermalarni Temkin izotermasiga mosligini aniqlash uchun q_e va $\ln(C_e)$ ning bog'liqlik grafigi chizildi. Chizma qiyaligi va kesishmasidan B_{v} va K_T qiymatlari hisoblab topildi. Adsorbentlarga Fe^{+2} ionlari adsorbsiyalanishining Temkin modeli bo'yicha chizmasi 5-rasmda keltirilgan.



5-rasm. . Adsorbentlarga temir ionlari Temkin modeli bo'yicha 303K haroratda adsorbsiyalanish izotermalari. Natijalarga ko'ra ushbu izotermada korrelyatsiya koeffitsenti TMABda 0,989 ga teng bo'ldi. PBG, TMAB, TEAB adsorbentlariga Fe^{+2} ionlari adsorbsiyalanishi izotermalari Temkin modeli bo'yicha konstanta qiymatlari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Adsorption Isotherm Models	Parameters	Adsorbents
----------------------------	------------	------------

		PBG	TMAB	TEAB
Lengmyur	q_{max} (mg/g)	0.206	0.235	0.239
	K_L (L/mg)	0.056	0.081	0.171
	R_L	0.261	0.197	0.104
	R^2	0.997	0.998	0.999
Freundlich	K_F (1/mg)	0.163	0.191	0.229
	$1/n$	0.836	0.789	0.650
	n	1.196	1.267	1.538
	R^2	0.917	0.964	0.947
Temkin	B_T (J/mol)	13.354	19.541	26.052
	K_T (L/mg)	0.055	0.056	0.063
	R^2	0.969	0.989	0.961
	q_m (mg/g)	4.362	4.636	5.214
Dubinin-Radushkevich	β_d (mol ² /kJ ²)	$1.23 \cdot 10^{-4}$	$1.86 \cdot 10^{-5}$	$3.09 \cdot 10^{-6}$
	E (kJ/mol)	34.4	56.9	65.4
	R^2	0.834	0.881	0.865

Olib borilgan tadqiqotlar asosida Lengmyur modelidagi korrelyatsiya koeffitsientlari Freyndlix, Temkin va Dubinin-Radiushkevich modellari qaraganda aniqroq tasvirlab berdi. Lengmyur modeliga ko'ra adsorbentlarning adsorbsiya sig'imi (q_{max}) PBG da 0,206; TMAB da 0,235; TEAB da 0,239 mg/g ga teng ekanligi aniqlandi.

Xulosa va takliflar. Olib borilgan tadqiqot natijalariga ko'ra: Sintez qilingan adsorbentlarning Fe^{2+} ionlarini adsorbsiyalash qobiliyati Lengmyur modeli orqali boshqa modellarga nisbatan aniqroq tasvirlangan. Adsorbsiya sig'imi bo'yicha TEAB adsorbenti eng yuqori natijaga ega bo'lib, u 0,239 mg/g ni tashkil etdi. Fe^{2+} ionlarining adsorbsiyasi bo'yicha PBG bentoniti 0,151 mg/g, TMAB 0,164 mg/g va TEAB 0,168 mg/g ko'rsatkichlarga ega ekanligi aniqlangan. Adsorbsion jarayonning samaradorligi adsorbentning tabiati va qoplash sig'imiga bog'liq bo'lib, bu natijalar atrof-muhitni muhofaza qilishda ushbu modellarni qo'llash uchun ilmiy asos yaratadi.

ADABIYOTLAR

- Gouider, M., Feki, M., & Majdoub, H. (2018). Iron contamination in drinking water and its treatment methods. *Environmental Technology*, 40(13), 1645–1657.
- Drosos, M., et al. (2021). "Phosphate and Ammonium Removal from Wastewaters Using Natural-Based Innovative Bentonites." *Molecules*, 26(21), 6684.
- Kurniawan, T. A., et al. (2020). "Bentonite-Based Composites for Wastewater Treatment." *Journal of Environmental Management*, 261, 110234.
- Mazumdar, A., & Mazumdar, P. (2021). "Determination of Total Iron Content in Water Using UV-Vis Spectroscopy." *Journal of Environmental Chemical Analysis*, 43(2), 112–118.
- Nidheesh, P. V., & Gandhimathi, R. (2012). Electrocoagulation process for the treatment of textile wastewater containing Fe^{2+} . *Separation and Purification Technology*, 98, 57–64.
- Li, Y., & Du, Q. (2007). *Adsorption of heavy metal ions from aqueous solutions by modified bentonite.* *Journal of Hazardous Materials*, 143(1–2), 29–35.
- Sari, A., Tuzen, M., & Uluozlu, O. D. (2007). *Biosorption of Pb(II) and Cd(II) from aqueous solution by macrofungus (Lentinussajor-caju) biomass: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies.* *Bioresource Technology*, 99(6), 1554–1560.
- Jaroniec, M., & Madey, R. (1989). "The use of the Dubinin-Radushkevich model in the analysis of adsorption data." *Surface Science Reports*, 10(3), 1–36.
- Dim P. E., Mustapha L. S., Termtanun M., Okafor J. O. Adsorption of chromium() and iron () ions onto acid-modified kaolinite: Isotherm, kinetics and thermodynamics studies. *Arabian journal of Chemistry* (2021) 14,103064/2021. 158–165.
- Vreebug J., "Discolouration in Drinking Water Systems: a Particular Approach," The Netherlands: Delft Cluster, 2007.
- Zhu H., Jia Y., Wu X., & Wang, H. (2009). Removal of ferrous iron from groundwater by oxidation and coagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 162(2–3), 1109–1115.