

4-SHO‘BA. ANIQ VA TABIIY FANLARDA ILMIY IZLANISHLAR HAMDA ULARNING AMALIY AHAMIYATI (MATEMATIKA, FIZIKA, KIMYO, BIOLOGIYA, EKOLOGIYA VA IT YO‘NALISHLARI)

UDK 544.77:547.918

NANOSTRUKTURALI SORBENTLARDA TABIIY SIRT FAOL MODDALARNING ADSORBSIYA IZOTERMALARI VA KINETIK PARAMETRLARINING EKSPERIMENTAL QIYOSIY TADQIQI

Raimova Shaxina Nabijonovna

Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universitetining Urgut filiali talabasi

Voxidov Azizjon Rauf o‘g‘li

Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti tayanch doktoranti

Muxamadiyev Nurali Qurbonaliyevich

Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti professori

E-mail: azizjon_voxidov@samdu.uz

<https://orcid.org/0009-0004-7675-8915>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18986647>

Annotatsiya. Mazkur maqolada nanostrukturali sorbentlar yuzasida tabiiy sirt faol moddalarning (SFM) adsorbsiyalanish jarayonlari eksperimental asosda qiyosiy tadqiq etildi. Turli tuzilishga ega nanokremniy oksidi, uglerodli nanomaterial va metall oksidi asosidagi nanokompozit sorbentlarda o‘simlik manbalaridan olingan biosurfaktantlarning adsorbsiya izotermalari va kinetik parametrlari o‘rganildi. Adsorbsiya muvozanati Langmyur va Freyndlix izotermalari yordamida tahlil qilindi, kinetik xususiyatlar esa psevdobirinchi va psevdodikkinchi tartibli kinetik modellar asosida baholandi. Tajribalar natijasida nanostrukturali sorbentlarning yuqori adsorbsiya sig‘imi, tez muvozanatga erishishi va xemosorbsiya mexanizmining ustunligi aniqlandi. Olingan natijalar ekologik toza va samarali sorbentlar yaratish uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: nanostrukturali sorbentlar, tabiiy sirt faol modda, biosurfaktant, adsorbsiya izotermasi, kinetik parametrlar, Langmyur modeli, Freyndlix modeli.

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментального сравнительного исследования процессов адсорбции природных поверхностно-активных веществ на поверхности наноструктурированных сорбентов. В качестве объектов исследования использованы нанодиоксид кремния, углеродные наноматериалы и нанокomпозитные сорбенты на основе оксидов металлов. Изотермы адсорбции проанализированы с использованием моделей Ленгмюра и Фрейндлиха, а кинетические параметры оценены на основе псевдо-первого и псевдо-второго порядков. Полученные результаты показали высокую адсорбционную емкость и быструю кинетику процесса, что свидетельствует о перспективности наноструктурированных сорбентов для экологически безопасных технологий очистки.

Ключевые слова: наноструктурированные сорбенты, природные ПАВ, адсорбция, изотермы адсорбции, кинетика, модель Ленгмюра, модель Фрейндлиха.

Abstract. This paper presents an experimental comparative study of the adsorption behavior of natural surfactants on nanostructured sorbents. Nanostructured silica, carbon-based nanomaterials, and metal oxide nanocomposite sorbents were investigated. Adsorption equilibrium was analyzed using Langmuir and Freundlich isotherm models, while kinetic parameters were evaluated using pseudo-first-order and pseudo-second-order models. The results demonstrated high adsorption capacity and rapid adsorption kinetics, indicating that nanostructured sorbents are promising materials for environmentally friendly adsorption technologies.

Keywords: nanostructured sorbents, natural surfactants, biosurfactants, adsorption isotherms, kinetic parameters, Langmuir model, Freundlich model.

Kirish. So‘nggi yillarda sanoat, ekologiya va tibbiyot sohalarida sorbsiya jarayonlariga bo‘lgan talab keskin oshdi. Ayniqsa, suv resurslarini tozalash, og‘ir metall ionlari va organik ifloslantiruvchilarni zararsizlantirishda yuqori samaradorlikka ega sorbentlarga ehtiyoj ortib bormoqda. An‘anaviy sorbentlar ko‘plab hollarda yetarli darajada samarali bo‘lmay, katta miqdorda ikkilamchi chiqindilar hosil bo‘lishiga sabab bo‘ladi. Nanotexnologiya yutuqlari asosida yaratilgan nanostrukturali sorbentlar esa yuqori solishtirma sirt maydoni, rivojlangan g‘ovak tuzilma va faol

“Ilmiy tadqiqotlarni amaliyotga joriy qilishning muammo va yechimlari” mavzusidagi onlayn xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallar to‘plami. NamDU - 2026-yil 20-21-fevral

markazlarning ko‘pligi bilan ajralib turadi. Shu bilan birga, ekologik xavfsizlik nuqtai nazaridan sintetik sirt faol moddalarning o‘rnini tabiiy biosurfaktantlar bilan almashtirish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

Tadqiqot obyekti va metodlari. Tadqiqot obyekti sifatida **turli nanostrukturali sorbentlar va tabiiy sirt faol moddalar (biosurfaktantlar)** tanlandi. Nanostrukturali sorbentlar yuqori sirt maydoni, rivojlangan g‘ovaklik va faol markazlar soni bilan ajralib turadi, bu esa adsorbsiya jarayonining samaradorligini oshiradi. Tadqiqotda ishlatilgan sorbentlar:

1. **Nano-SiO₂ asosidagi sorbent** – sirt maydoni 200–350 m²/g, zarralar diametri 20–50 nm.

2. **Uglerodli nanostrukturali material** – nanotubular va grafen oksidi kombinatsiyasi, sirt maydoni 400–450 m²/g, geterogen sirt tuzilishga ega.

3. **Metall oksidi asosidagi nanokompozit (Fe₃O₄ + TiO₂)** – barqaror struktura va magnit xususiyatlar bilan ajralib turadi, qayta ishlatilish imkoniyati mavjud.

Tabiiy sirt faol modda sifatida **o‘simlik ekstraktlaridan olingan biosurfaktant eritmaları** ishlatilgan. Ularning asosiy komponentlari saponinlar, glikolipidlar va lipoproteinlar bo‘lib, ular sorbent yuzasida samarali adsorbsiya hosil qiladi. Eritmalar deionizatsiyalangan suvda tayyorlangan va filtrlangan.

Tajribaviy sharoitlar.

Adsorbsiya jarayonlari **statik sharoitda**, doimiy haroratda (298 ± 1 K) va atmosfera bosimi ostida o‘tkazildi.

Vaqt oralig‘i: 0–180 daqiqa, muvozanat holatiga yetish vaqtini aniqlash uchun turli vaqt oraliklarida namunalar olinadi.

Har bir tajriba **3 takrorlash** bilan amalga oshirildi va o‘rtacha qiymatlar hisoblandi.

Boshlang‘ich biosurfaktant konsentratsiyalari: 10, 20, 30, 40, 50 mg/l

Sorbent massasi: 0,05 g

Eritma hajmi: 50 ml

Tadqiqotda foydalanilgan metodlar.

UV–Vis spektrofotometriya – eritmadagi biosurfaktant konsentratsiyasini aniqlash uchun ishlatilgan. Spektrofotometrik maksimum 210–220 nm oralig‘ida o‘lchandi.

Brunauer–Emmett–Teller (BET) analizi – sorbentlarning sirt maydoni va g‘ovaklik xususiyatlarini aniqlash uchun.

Zarralar hajmi va morfologiyasini aniqlash – Transmission Electron Microscopy (TEM) va Scanning Electron Microscopy (SEM) orqali.

Adsorbsiya izotermalari **Langmuir va Freundlich modellari** orqali tahlil qilindi.

Adsorbsiya kinetikasi **pseudo-birinchi (PFO) va pseudo-ikkinchi (PSO) tartibli modellar** yordamida o‘rganildi.

Statistika va ma’lumotlarni qayta ishlash.

Har bir tajriba **3 marta takrorlandi**, o‘rtacha qiymat va standart og‘ish hisoblandi.

Ma’lumotlarni qayta ishlash uchun **OriginPro 2023** va **Excel** dasturlari ishlatilgan.

Izotermalar va kinetik modellar uchun **lineer regressiya** va **R² qiymatlari** orqali moslik baholandi.

Adsorbsiya sig‘imi va konsentratsiyani aniqlash.

Adsorbsiya sig‘imi q quyidagi formula orqali hisoblandi:

$$q = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{m}$$

C_0 – boshlang‘ich konsentratsiya, mg/l

C_e – muvozanat konsentratsiyasi, mg/l

V – eritma hajmi, l

m – sorbent massasi, g

Muvozanat konsentratsiyasi **UV–Vis spektrofotometr** yordamida o‘lchandi.

Biosurfaktantlarning spektrofotometrik maksimumi 210–220 nm oralig‘ida aniqlangan.

Adsorbsiya izotermalari. Adsorbsiya jarayonining muvozanat xususiyatlarini baholash uchun ikki model ishlatilgan:

- **Langmuir modeli** – monomolekulyar qatlam hosil bo‘lishini nazarda tutadi.

- **Freundlich modeli** – sorbent yuzasining geterogenligini hisobga oladi.

Langmuir modeli parametrlarini hisoblash uchun:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L C_e} + \frac{1}{q_m}$$

“Ilmiy tadqiqotlarni amaliyotga joriy qilishning muammo va yechimlari” mavzusidagi onlayn xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallar to‘plami. NamDU - 2026-yil 20-21-fevral

q_m – maksimal adsorbsiya sig‘imi (mg/g)

K_L – Langmuir konstantasi (L/mg)

Freundlich modeli esa:

$$q_e = K_F C_e^{1/n}$$

K_F – adsorbsiya sig‘imi koeffitsienti

n – sirtning geterogenligi ko‘rsatkichi

Kinetik tahlil. Adsorbsiya kinetikasi **pseudo-birinchi (PFO)** va **pseudo-ikkinchi (PSO)** tartibli modellarda o‘rganildi:

PFO modeli:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$$

PSO modeli:

$$\frac{1}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_m}$$

q_t – vaqt t da adsorbsiya sig‘imi, mg/g

k_1 – PFO tezlik konstantasi (1/min)

k_2 – PSO tezlik konstantasi (g/mg·min)

Olingan natijalar va muhokama.

Adsorbsiya izotermalari. Adsorbsiya muvozanatini baholash uchun Langmyur va Freyndlix modellari qo‘llanildi.

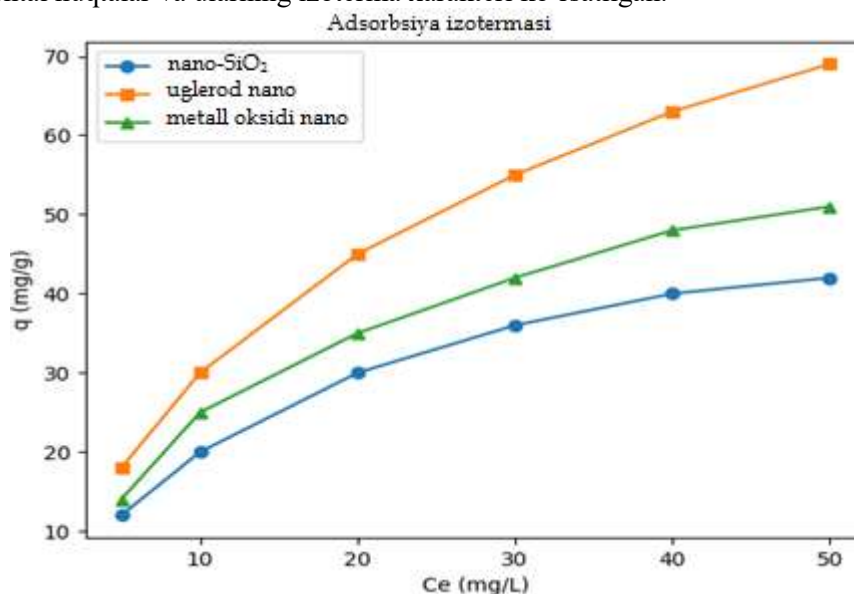
1-jadval.

Langmyur va Freyndlix izotermalari parametrlari

Sorbent turi	q_{max} (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2 (Langmyur)	K_F ((mg/g) (L/mg) ^{1/n})	1/n	R^2 (Freyndlix)
Nano-SiO ₂	42.6	0.18	0.992	21.4	0.46	0.941
Uglerodli nanomaterial	68.9	0.27	0.965	39.7	0.39	0.987
Metall oksidi nanokompozit	51.2	0.22	0.989	26.8	0.44	0.952

Ekspirimental ma’lumotlarning tahlili shuni ko‘rsatdiki, nanokremniy oksidi va metall oksidi asosidagi sorbentlar uchun Langmyur modeli yaxshi mos keladi. Bu holat adsorbsiya jarayonining monoqatlamli xarakterga ega ekanligini ko‘rsatadi.

Quyidagi grafikda Nano-SiO₂, uglerodli nanomaterial va metall oksidi asosidagi sorbentlar uchun eksperimental nuqtalar va ularning izoterma xarakteri ko‘rsatilgan.



1-rasm. Adsorbsiya izotermalari q (mg/g) ning muvozanat konsentratsiya C_e (mg/L) ga bog‘liqligi

Grafiklarda adsorbsiya izotermalari q (mg/g) ning muvozanat konsentratsiya C_e (mg/L) ga bog‘liqligi tasvirlangan. Nano-SiO₂ va metall oksidi sorbentlarida Langmyur egri chizig‘i

“Ilmiy tadqiqotlarni amaliyotga joriy qilishning muammo va yechimlari” mavzusidagi onlayn xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallar to‘plami. NamDU - 2026-yil 20-21-fevral

2. Rouquerol J., Rouquerol F., Sing K. *Adsorption by Powders and Porous Solids*. Academic Press, 2014.
3. Myers D. *Surfactant Science and Technology*. Wiley, 2016.
4. Mittal K.L. *Adsorption Phenomena and Applications*. CRC Press, 2019.
5. Nasrullah M., Khan S., Ali A. *Nanostructured adsorbents for environmental applications*. Journal of Nanomaterials, 2020.
6. Karimov B.T., Toshpulatov M.M. *Suvni tozalashda tabiiy biosurfaktantlar va ularning adsorbsiya xususiyatlari*. O‘zbekiston Kimyo Jurnal, 2021; 3(2): 45–56.
7. Chen X., Li Y., Zhang H. *Advanced Carbon-Based Nanomaterials for Adsorption of Surfactants*. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2021; 9: 105-116.