

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова  
Факультет хімії та фармації  
Кафедра фізичної та колоїдної хімії

**Дипломна робота**

на здобуття ступеня вищої освіти магістра

на тему: «**АДСОРБЦІЯ ТА ВИЛУЧЕННЯ РІЗНОГО ТИПУ ПОВЕРХНЕВО-  
АКТИВНИХ РЕЧОВИН ІЗ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ  
ТВЕРДИХ СОРБЕНТІВ**»

«Adsorption and isolation of various types of surfactants from aqueous solutions using  
solid sorbents »

Виконала: студентка денної форми навчання  
спеціальності 102 Хімія  
**Вовк Ангеліна Романівна**

Керівник: д.х.н., проф. Стрельцова О.О. \_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент: д.х.н., доц. Хома Р.Є. \_\_\_\_\_  
(підпис)

Рекомендовано до захисту:  
протокол засідання кафедри  
№ \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2021 р.

Захищено на засіданні екзаменаційної комісії  
протокол № \_\_\_\_ від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.  
Оцінка \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(за національною шкалою, за шкалою ECTS, бал)

Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ д.х.н., проф. Стрельцова О.О.  
(підпис)

Голова екзаменаційної комісії  
д.х.н., проф. Марцинко О.Е. \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Одеса – 2021**

## ЗМІСТ

<b>АНОТАЦІЯ</b> .....	3
<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>РОЗДІЛ 1. АДСОРБЦІЯ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ МЕТОД ВИЛУЧЕННЯ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ</b> .....	6
<b>1.1</b> Поверхнево-активні речовини та їх вплив на якість водних ресурсів.....	6
<b>1.2</b> Відомості щодо використання адсорбції для вилучення поверхнево-активних речовин різної природи.....	10
<b>1.3</b> Аналіз рівноваги, кінетики та механізму адсорбції поверхнево-активних речовин твердими адсорбентами.....	12
<b>1.4</b> Висновки до розділу 1.....	17
<b>РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ</b> .....	19
<b>2.1</b> Матеріали дослідження.....	19
<b>2.2</b> Методи і методики дослідження.....	22
<b>РОЗДІЛ 3. АДСОРБЦІЯ НЕІОНОГЕННИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН (ТВІНІВ) НА ПОВЕРХНІ ПАРАФІНУ</b> .....	24
<b>3.1</b> Описання ізотерм адсорбції Твінів на парафіні за допомогою основних рівнянь ізотерм адсорбції.....	24
<b>3.2</b> Кінетика адсорбції Твінів на поверхні парафіну: експериментальні та модельні дослідження.....	33
<b>РОЗДІЛ 4. АДСОРБЦІЯ КАТІОНИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН ЗА ДОПОМОГОЮ ВОЛОКНИСТОГО КАТІОНІТУ ФІБАН К-1</b> .....	41
<b>4.1</b> Описання ізотерм адсорбції КПАР за допомогою основних рівнянь ізотерм адсорбції на волокнистому катіоніті ФІБАН К-1.....	41
<b>4.2</b> Кінетика адсорбції КПАР на волокнистому катіоніті ФІБАН К-1: експериментальні та модельні дослідження.....	50
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	59
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	61

## РЕФЕРАТ

Курсова робота виконана на кафедрі фізичної та колоїдної хімії Одеського національного університету імені І. І. Мечникова і присвячена дослідженню сорбції вилучення неіоногенних (Твін 20, Твін 40, Твін 60, Твін 80) та катіонних (додецилпіридиній бромід, гексадецилпіридиній бромід) поверхнево-активних речовин на поверхні парафіну та волокнистого катіоніту ФІБАН К-1 відповідно. Робота є частиною та логічним продовженням наукових досліджень, що проводяться за тематикою кафедри.

Мета роботи: встановити фізико-хімічні закономірності вилучення з водних розчинів Твінів на поверхні парафіну, додецилпіридиній броміду та гексадецилпіридиній броміду на поверхні волокнистого катіоніту ФІБАН К-1. Визначити механізми сорбції.

В ході роботи були встановлені особливості кінетики сорбції Твінів на парафіні, додецилпіридиній броміду та гексадецилпіридиній броміду на волокнистому катіоніті ФІБАН К-1, з використанням різних кінетичних моделей.

Можлива галузь застосування: вилучення неіоногенних та катіонних поверхнево-активних речовин зі стічних вод.

Ключові слова: адсорбція, Твіни, парафін, додецилпіридиній бромід, гексадецилпіридиній бромід, кінетика, ПАВ.

Курсова робота представлена на 69 сторінках, містить 27 рисунків та 11 таблиць. Список використаних джерел літератури налічує 82 найменувань.

## ВСТУП

Розвиток сучасної науки та техніки призводить до збільшення промислового виробництва, внаслідок чого кількість відходів, що надходять у навколишнє середовище потребує негайної уваги. Основна частина відходів промислового виробництва потрапляє у стічні води. Основними забруднювачами стічних вод є іони важких металів та поверхнево-активні речовини. У зв'язку з цим очистка стічних вод від даних токсикантів є актуальною задачею на сьогоднішній день.

Серед методів очищення водних об'єктів найбільш ефективними є адсорбційні методи. Перевага даного методу полягає у його високій ефективності та можливості очищення стічних вод, що містять декілька забруднювачів. Ефективність очищення методом адсорбції може досягати навіть 95 %, що робить даний метод більш перспективним на відміну від інших. Сорбційна очистка залежить від хімічної природи сорбенту та його фізико-хімічних властивостей, хімічної будови сорбату та хімічної форми, в якій присутній забруднювач у водному середовищі.

Відомо багато сорбентів для очищення стічних вод, але всі вони характеризуються великою вартістю та не здатні регенеруватися. Тому доцільно дослідити в якості сорбентів поверхнево-активних речовин сорбенти природного походження, які характеризуються низькою вартістю та виявляють високі сорбційні властивості.

Мета роботи: встановити фізико-хімічні закономірності вилучення з водних розчинів Твінів на поверхні парафіну, додецилпіридиній броміду та гексадецилпіридиній броміду на поверхні волокнистого катіоніту ФІБАН К-1. Визначити механізми сорбції.

Задачі:

- Встановити оптимальні умови сорбції при вилученні Твінів на поверхні парафіну, додецилпіридиній броміду та гексадецилпіридиній броміду на поверхні волокнистого катіоніту ФІБАН К-1 відповідно;
- вивчити кінетику сорбції залежно від витрати сорбенту та початкової концентрації ПАР в розчині;
- розрахувати основні кінетичні характеристики процесу сорбції з використанням кінетичних моделей псевдопершого та псевдодругого порядків, моделей зовнішньої дифузії, внутрішньої дифузії Вебера-Морриса, внутрішньої дифузії Думвальда-Вагнера, моделей Бойда, Словича та Аврамі;
- одержати ізотерми сорбції додецилпіридиній броміду та гексадецилпіридиній броміду при трьох температурах;
- провести моделювання експериментальних ізотерм сорбції моделями Ленгмюра, Фрейндліха, Дубініна-Радущкевича, Тьомкіна та Фрумкіна;
- запропонувати механізм сорбції;

## ВИСНОВКИ

1. Встановлено фізико-хімічні закономірності вилучення з водних розчинів Твінів на поверхні парафіну, додецилпіридиній броміду та гексадецилпіридиній броміду на поверхні волокнистого катіоніту ФІБАН К-1. Визначити механізми сорбції.
2. Вивчено кінетику сорбції залежно від витрати сорбенту та початкової концентрації ПАР в розчині;
3. Розраховано основні кінетичні характеристики процесу сорбції з використанням кінетичних моделей псевдопершого та псевдодругого порядків, моделей зовнішньої дифузії, внутрішньої дифузії Вебера-Морриса, внутрішньої дифузії Думвальда-Вагнера, моделей Бойда, Словича та Аврамі;
4. Одержано ізотерми сорбції додецилпіридиній броміду та гексадецилпіридиній броміду при трьох температурах;
5. Проведено моделювання експериментальних ізотерм сорбції моделями Ленгмюра, Фрейндліха, Дубініна-Радущкевича, Тьомкіна та Фрумкіна;
6. На основі проведених розрахунків показано, що більш адекватно описують досліджені процеси моделі псевдодругого порядку, ніж псевдопершого.
7. Розподіл адсорбатів на поверхні адсорбентів є однорідним. Процес адсорбції обмежений поверхневою взаємодією адсорбат-адсорбент.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Adsorption and micellization behavior of synthesized amidoamine cationic surfactants and their biological activity/ Samy M., Shaban, A. S. Fouda, M. A. Elmorsi, T. Fayed, O. Azazy. *Journal of Molecular Liquids*, 2016, V. 216, P. 284-292. DOI:10.1016/j.molliq.2015.12.111.
2. Adsorption and photophysical properties of fluorescent dyes over montmorillonite and saponite modified by surfactant / Vidhyadevi Tangaraj, Jean-Marc Janot, Maguy Jaber, Mikhael Bechelany, Sebastien Balme. *Chemosphere*, 2017, V. 184, P. 1355-1361. <https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-01552808>.
3. Adsorption behavior of phenol by reversible surfactant-modified montmorillonite: Mechanism, thermodynamics, and regeneration/ Yingjie Li, Xiaojun Hu, Xiangliang Liu, Yuechao Zhang, Senlin Tian. *Chemical Engineering Journal*, 2018, V. 334, P. 1214-1221. DOI:10.1016/j.cej.2017.09.140
4. Adsorption of Gemini surfactants onto clathrate hydrates/ O. Salako, C. Lo, A. Couzis, P. Somasundaran, J. W. Lee. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2013, V. 412, P. 1-6. DOI: 10.1016/j.jcis.2013.09.007
5. Adsorption of phenol and Cu(II) onto cationic and zwitterionic surfactant modified montmorillonite in single and binary systems/ Lingya Ma, Qingze Chen, Jianxi Zhu, Yunfei Xi, Godwin A. Ayoko. *Chemical Engineering Journal*, 2016, V. 283, P. 880-888. DOI:10.1016/j.cej.2015.08.009
6. Adsorption of switchable surfactant mixed with common nonionic surfactant on montmorillonite: Mechanisms and arrangement models / Xiaojun Hu, Senlin Tian, Shujiao Zhan, Jianxi Zhu. *Applied Clay Science*, 2017, V. 146, P. 140-146. DOI 10.1016/j.clay.2017.05.025
7. Adsorption of the tallow amine ethoxylate surfactant Ethomeen T/15 on montmorillonite/ Ana Borrego-Sánchez, Eulalia Gómez-Pantoja, Esmeralda Morillo, Tomás Undabeytia, C. Ignacio Sainz-Díaz. *Applied Clay Science*, 2018, V. 161, P. 533-543. DOI:10.1016/j.clay.2018.03.026
8. Adsorption/desorption of cationic dye on surfactant modified mesoporous carbon coated monolith: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies/ Mohamad Rasool

- Malekbala, Moonis Ali Khan, Soraya Hosseini, Luqman Chuah Abdullah, Thomas S. Y. Choong. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2015, V. 21, P. 369-377
9. Aggregation behaviour and solubilization capability of mixed micellar systems formed by a gemini lipoamino acid and a non-ionic surfactant/ L. Catalina Cabana Saavedra, Erica M. Pachón Gómez, Rafael G. Oliveira, Mariana A. Fernández. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2017, V. 533, P. 41-47
10. Anirudhan T. S., Ramachandran M. Adsorptive removal of basic dyes from aqueous solutions by surfactant modified bentonite clay (organoclay): Kinetic and competitive adsorption isotherm. *Process Safety and Environmental Protection*, 2015, V. 95, P. 215-225
11. Applicability of the Gibbs Adsorption Isotherm to the analysis of experimental surface-tension data for ionic and nonionic surfactants/ L. Martínez-Balbuena, Araceli Arteaga-Jiménez, Ernesto Hernández-Zapata, César Márquez-Beltrán. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2017, V. 247, P. 178-184.
12. Asadov Z.H. Surface activity and micellization parameters of cationic surfactants containing hydroxyethyl group and C9-chain / Z.H. Asadov, S.M. Nasibova, R.A. Rahimov et al. *Journal of Molecular Liquids* 2017. V. 225, P. 451-455.
13. Chang X.-L., Wang D., Chen B.-Y., Feng Y.-M., Wen Sh.-H., Zhan P.-Y Adsorption and desorption properties of macroporous resins for anthocyanins from the calyx extract of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *J. Agric. Food Chem.*, 2012, V. 60, P. 2368–2376. DOI: 10.1021/jf205311v
14. Cr(VI) adsorption by montmorillonite nanocomposites/ Wang, G., Hua, Y., Su, X., Komarneni, S., Ma, S., & Wang, Y. *Applied Clay Science*, 2016, V. 124-125, 111-118. DOI: 10.1016/j.clay.2016.02.008
15. Das A.B., Goud V.V., Das C. Adsorption/desorption, diffusion, and thermodynamic properties of anthocyanin from purple rice bran extract on various adsorbents. *Food Process Eng*, 2018, N 10, P. 102-113. DOI:10.1111/jfpe.12834
16. Dynamic properties of gelatin/surfactant adsorption layers/ S. R. Derkatch, D. S. Kolotova, O. Yu. Milyaeva, B. A. Noskov. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical*



- and Engineering Aspects*, 2016, V. 508, P. 251-256. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2016.08.046
17. Effect of mineralogy on the adsorption characteristics of surfactant—Reservoir rock system/ Rahul Saha, Ramgopal V. S. Uppaluri, Pankaj Tiwari. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2017, V. 531, P. 121-132. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2017.07.039
18. Effect of pH on adsorption of anionic surfactants on limestone: Experimental study and surface complexation modeling/ M. Tagavifar, S. H. Jang, H. Sharma, D. Wang, G. A. Pope. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2018, V. 538, P. 549-558. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2017.11.050
19. Effect of solvent on surfactant adsorption kinetics: Dibutyl phthalate in aqueous MeOH solvents Siam Hussain, Thu Thi-Yen Le, Tzu-Ning Chin, Shi-Yow Lin. *Journal of Molecular Liquids*. 2021. V. 335. An 116157. DOI:10.1016/j.molliq.2021.116157
20. Enhanced adsorption of anionic surfactants on negatively charged quartz sand grains treated with cationic polyelectrolyte complex nanoparticles / Xilong Zhou, Jenn-Tai Liang, Corbin D. Andersen, Jiajia Cai, Ying-Ying Lin. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2018, V. 553, P. 397-405. DOI:10.1016/j.colsurfa.2018.05.079
21. Enhanced adsorption of perchlorate by gemini surfactant-modified montmorillonite: Synthesis, characterization and their adsorption mechanism. Kancharla Srinivasarao, Subbaiah Muthu Prabhu, Wuhui Luo, Keiko Sasaki. *Applied Clay Science*, 2018, V. 163, P. 46-55. DOI:10.1016/j.clay.2018.07.010
22. Farhan A.M., H Al-Dujaili A., Awwad A.M. Equilibrium and kinetic studies of cadmium(II) and lead(II) ions biosorption onto. *Ficus carica* leaves. *Int. J. Ind. Chem.* 2013. V 4, N 24. P. 1–8.
23. Ganesh M., Hemalatha P., Mei M.P., Rajasekar K., Jang H.T. A new fluoride mediated synthesis of mesoporous silica and their usefulness in controlled delivery of duloxetine hydrochloride a serotonin re-uptake inhibitor. *J. Ind. Eng. Chem.* 2012. V. 18, N 2. P. 684–689.

24. Gholizadeh A., Kermani M., Gholami M., Farzadkia M. Kinetic and isotherm studies of adsorption and biosorption processes in the removal of phenolic compounds from aqueous solutions: Comparative study. *J. Environ. Health Sci. Eng.*, 2013, V. 11, P. 1–10. DOI: 10.1186/2052-336X-11-29
25. Giwa A.A., Bello I.A., Oladipo M.A., Adeoye D.O. Removal of Cadmium from wastewater by adsorption using the husk of melon (*Citrullus lanatus*) seed. *Int. J. Basic Appl. Sci.* 2013. V. 2, N 1. P. 110–123.
26. Hydrophobic modification of bagasse cellulose fibers with cationic latex: Adsorption kinetics and mechanism/ Yuanfeng Pan, Futao Wang, Tengyou Wei, Chaolan ZhangHuiningXiao. *Chemical Engineering Journal*, 2016, V. 302, P. 33-43. DOI:10.1016/j.cej.2016.05.022
27. Impact of organic solvents on the micellization and interfacial behavior of ionic liquid based surfactants/ Sargam M.Rajput, Utkarsh U.More, Zuber S.Vaid, Kamlesh D.Prajapati, Naved I.Malek. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2016, V. 507, P. 182-189. DOI:10.1016/j.colsurfa.2016.08.008
28. Interactions in the mixed micelles of monomeric and gemini surfactants: Influence of some co-solvents as a function of temperature. Ashwani Kumar, Sood Harjinder, Kaur Tarlok, Singh Banipal. *Arabian Journal of Chemistry*. 2019, V. 12, N 8, P. 3847-3862. DOI:10.1016/j.arabjc.2015.12.009
29. Jianhua Du, Sreenivasulu Chadalavada, Ravi Naidu. Synthesis of porous bentonite organoclay granule and its adsorption of tributyltin. *Applied Clay Science*, 2017, V. 148, P. 131-137
30. Kang Y.J., Jung S.W., Lee S.J. An optimal extraction solvent and purification adsorbent to produce anthocyanins from black rice (*Oryza sativa* cv. Heugjinjubyeo). *Food Sci. Biotechnol.*, 2014, V. 23, N 1, P. 97-106. DOI: 10.1007/s10068-014-0013-8
31. Khamanur A.T.M.Z., Sakinah M., Zularisam A.W. Adsorption and kinetic studies of dyeing *Clitoria ternatea* L. natural dye onto bamboo yarn. *Int. J. Eng. Technol. Sci.*, 2017, V. 7, N 1, P. 56-72. DOI: 10.15282/ijets.7.2017.1.11.1073

32. Krika F., Azzouz N., Ncibi M.C. Adsorptive removal of cadmium from aqueous solution by cork biomass: *Equilibrium, dynamic and thermodynamic studies*. Arab. J. Chem. 2012. P. 1–7.
33. Kumar R., Chawla J. Removal of cadmium ion from water/wastewater by nano-metal Oxides: A review'. *Water Qual. Exp. Health*. 2014. V. 5, N 4. P. 215–226.
34. Luo C., Wei R., Guo Dan., Zhang S., Yan S. Adsorption behavior of MnO<sub>2</sub> functionalized multi-walled carbon nanotubes for the removal of cadmium from aqueous solutions. *Ibid.* 2013. V. 225. P. 406–415.
35. Micellization and adsorption of zwitterionic surfactants at the air/water interface/ Adriana P. Gerola, Paulo F. A. Costa, Faruk Nome, Frank Quina. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 2017, V. 32, P. 48-56. DOI:10.1016/j.cocis.2017.09.005
36. Modification of montmorillonite by Gemini surfactants with different chain lengths and its adsorption behavior for methyl orange/ Hua-Ping Ren, Shao-Peng Tian, Min Zhu, Yu-Zhen Zhao, Zongcheng Miao. *Applied Clay Science*, 2018, V. 151, P. 29-36. DOI: 10.1016/j.clay.2017.10.024
37. Munehide Ishiguro, Luuk K. Koopal. Surfactant adsorption to soil components and soils. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2016, V. 231, P. 59-102. DOI:10.1016/j.cis.2016.01.006
38. Muya F.N., Ward M., Sunday C.E., Baker P., Iwuoha E. Environmental remediation of heavy metal ions from aqueous solution through hydrogel adsorption: A critical review. *Water Sci. Technol.* 2015. DOI-10.2166/wst.2015.567.
39. Novel intercalation mechanism of zwitterionic surfactant modified montmorillonites/ Jianxi Zhu, Ping Zhang, Yanhong Qing, Ke Wen, Yunfei Xi. *Applied Clay Science*, 2017, V. 141, P. 265-271.
40. Nur Nadia AbKadir, Mohammad Shahadat, Suzylawati Ismail. Formulation study for softening of hard water using surfactant modified bentonite adsorbent coating. *Applied Clay Science*. 2017, V. 137, P. 168-175. DOI:10.1016/j.clay.2016.12.025
41. Preparation, characterization and application of a CTAB-modified nanoclay for the adsorption of an herbicide from aqueous solutions: Kinetic and equilibrium

- studies/Mehdi Shirzad-Siboni, Alireza Khataee, Aydin Hassani, Semra Karaca. *Comptes Rendus Chimie*. 2015, V. 18, N 2, P. 204-214. DOI:10.1016/j.crci.2014.06.004
42. Rajput S.M. Impact of organic solvents on the micellization and interfacial behavior of ionic / S.M. Rajput, U.U. More, Z.S. Vaid *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2016. V. 507. P. 182-189.
43. Saha R. Effect of mineralogy on the adsorption characteristics of surfactant—Reservoir rock system / R. Saha, R. Uppaluri, P.Tiwari // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2017. V. 531. P. 121-132.
44. Shirzad-Siboni M. Preparation, characterization and application of a CTAB-modified nanoclay for the adsorption of an herbicide from aqueous solutions: Kinetic and equilibrium studies / M. Shirzad-Siboni, A. Khataee, A. Hassani, S. Karaca // *Comptes Rendus Chimie*. – 2015. –V.18, №2. –P.204-214.
45. Simultaneous adsorption of  $\text{Cd}^{2+}$  and BPA on amphoteric surfactant activated montmorillonite/ Chongmin Liu, Pingxiao Wu, Yajie Zhu, Lytuong Tran. *Chemosphere*, 2016, V. 144, P. 1026-1032.
46. Soldatkina L., Novotna V. Removal of anthocyanins from aqueous berry extracts by adsorption on bentonite: Factorial design analysis. *Adsorp. Sci. Technol.*, 2017, V. 35, N 9-10, P. 866-877. DOI:10.1177/0263617417722252
47. Soldatkina L.M., Novotna V.O., Polikarpau A.P. Sposib otrymannja antocianovogo barvnyka [Method for production of the anthocyan dye] Patent UA, no. 129709, publ. 12.11.2018. (in Ukrainian)
48. Sonmezay A., Oncel M.S., Bektas N. Adsorption of cadmium and lead ions from aqueous solutions using manganese minerals. *Trans. Nonferrous. Metal. Soc. China*. 2012, V. 22, P. 3131–3139.
49. Stoyan I. Karakashev, Stoyan K. Smoukov. CMC prediction for ionic surfactants in pure water and aqueous salt solutions based solely on tabulated molecular parameters. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2017, V. 501, P. 142-149
50. Structures of nonionic surfactant modified montmorillonites and their enhanced adsorption capacities towards a cationic organic dye/ Gaofeng Wang, Shan

- Wang, Zhiming Sun, Shuilin Zheng, Yunfei Xi. *Applied Clay Science*, 2017, V. 148, P. 1-10. DOI:10.1016/j.clay.2017.08.001
51. Sunil Kumar, Ajay Mandal. Studies on interfacial behavior and wettability change phenomena by ionic and nonionic surfactants in presence of alkalis and salt for enhanced oil recovery, *Applied Surface Science*. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.03.024>
52. Surface adsorption and micelle formation of surfactant N-alkyl-N-methylmorpholinium bromide in aqueous solutions/ Caili Dai, Zhe Yang, Yifei Liu, Mingwei Gao, Mingwei Zhao. *Journal of Molecular Liquids*, 2016, V. 220, P. 442-447.
53. Synthesis, surface adsorption and micelle formation of a class of morpholinium gemini surfactants/ Caili Dai, Sisi Fang, Mei Hu, Xiaojuan He, Yining Wu. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2017, V. 54, P. 226-233. DOI:10.1016/j.jiec.2017.05.037
54. Tagavifar M. Effect of pH on adsorption of anionic surfactants on limestone: Experimental study and surface complexation modeling / M. Tagavifar, S.H. Jang, H. Sharma et al. // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2018, V. 538, P. 549-558.
55. The characterization of organo-montmorillonite modified with a novel aromatic-containing gemini surfactant and its comparative adsorption for 2-naphthol and phenol/ Senfeng Yang, Manglai Gao, Zhongxin Luo, Qiang Yang. *Chemical Engineering Journal*, 2015, V. 268, P. 125-134.
56. Thiabendazole adsorption on montmorillonite, octadecyltrimethylammonium- and Acremonium sp.-loaded products and their copper complexes/ Martina Gamba, Melisa Olivelli, Juan M. Lázaro-Martínez, Gisella Gaddi, Gustavo Curutchet, Rosa M. Torres Sánchez. *Chemical Engineering Journal*. 2017, V. 320, P. 11 - 21.
57. Turakulov A.E. The benefits of using three-dimensional modeling in the development of students' knowledge and skills in computer graphics science. *Universum: технические науки*. 2021. V. 11, N 92.

58. Wang H., Fu Y., Han. J., Zhao Y., Liu D. Adsorption behavior of AB-8 resin for anthocyanins from *Lycium ruthenicum* Murray. *Chem. Ind. Forest Products*, 2016, V. 36, N 4, P.79-86. DOI:10.3969/j.issn.0253-2417.2016.04.011
59. Wettability and adsorption of PTFE and paraffin surfaces by aqueous solutions of biquaternary ammonium salt Gemini surfactants with hydroxyl/ Honghong Chang, Yong Cui, Yuan Wang, Guojin Li, Wenlong Wei. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2016, V. 506, P. 416-424.
60. Y.Nakama. Chapter 15 – Surfactants. *Cosmetic Science and Technology. Theoretical Principles and Applications*. 2017, P. 231-244. DOI:10.1016/B978-0-12-802005-0.00015-X
61. Yaqin Liang, Hui Li. A comparison of trimeric surfactant intercalated montmorillonite with its gemini modified one: Characterization and application in methyl orange removal. *Journal of Molecular Liquids*, 2017, V. 227, P. 139-146
62. Бурлаченко А.С., Салищева О.В. Концентрационная зависимость противомикробных свойств различных поверхностно-активных веществ в отношении бактерий вида *Pseudomonas putida*. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry* 2021, V 14, N 2, P. 207–217. DOI: 10.17516/1998-2836-0229
63. Гончарук В.В., Баштан С.Ю., Чеботарева Р.Д., Ремез С.В. Адсорбция и окисление фенола на металлооксидных электродах. *Химия и технология воды*, 2019, Т. 41, №1, С. 15-24
64. Донцова Т.А., Куликов Л.М., Астрелин И.М. Адсорбционно-фотокаталитические свойства микронных и графеноподобных (2D) наночастиц дихалькогенидов молибдена. *ISSN 0204–3556. Химия и технология воды*, 2017, Т. 39, № 3. С. 241-251.
65. Дрогобужская С.В., Широкая А.А., Соловьев С.А. Сорбционное извлечение платиновых металлов из кислых хлоридно[1]сульфатных и сульфатных растворов волокнами ФИБАН. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019, Т. 62, № 11, С. 117-125

66. Исследование термодеструкции медьсодержащего катионита Фибан К-1 на воздухе/ Кравчук Л. С., Лысенко Г. Н., Богушевич С. Е., Шункевич А. А. *Высокомолекулярные соединения. Серия А*, 2000, Т. 42, № 11, С. 24-37.
67. Кожемяк М. А. Адсорбция ионов лантана каолином. *Вісник ОНУ. Серія: Хімія*. 2018, Т. 23, № 4(68), С. 86-96. DOI: 10.18524/2304-0947.2018.4(68).147822
68. Коломиец Е.А., Беляков В.Н., Пальчик А.В., Мальцева Т.В., Железнова Л.И. Адсорбция мышьяка гибридными анионитами на основе оксигидрата титана. *Химия и технология воды*, 2017, Т. 39, № 2, С. 148-156
69. Корж Е.А., Смолин С.К., Клименко Н.А. Кинетика адсорбции фармацевтических веществ из водных растворов на активных углях. *Химия и технология воды*, 2016, Т. 38, №4, С. 342-354
70. Мальцева Т.В., Коломиец Е.А., Василюк С.Л. Гибридные адсорбенты на основе гидратированных оксидов Zr(IV), Ti(IV), Sn(IV), Fe(III) для удаления мышьяка. *Химия и технология воды*, 2017, Т. 39, № 4. С. 386-396
71. Особенности сорбционного извлечения ванилина и изованилина волокнистым анионообменником ФИБАН А-1/ Мещерякова А.В. и др. *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2016. Т. 16. № 4. С. 496-504.
72. Перлова О. В., Текменжи К. І., Перлова Н. О., Полікарпов О. П. волокнисті іоніти фібан як сорбенти сполук урану (vi), присутніх у сульфатних розчинах. *Вісник ОНУ. Хімія*. 2019, Т. 24, №. 3(71), С. 75-89 DOI: [http://dx.doi.org/10.18524/2304-0947.2019.3\(71\).177737](http://dx.doi.org/10.18524/2304-0947.2019.3(71).177737)
73. Применение волокнистых ионообменных материалов для концентрирования радионуклидов стронция и цезия из воды Уголев И.И., Шункевич А.А., Матвейчук СВ., Белоцерковская Т.Н. [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/29/053/29053391.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/29/053/29053391.pdf)
74. Скрилев Л.Д. Колоїдно-хімічні основи захисту навколишнього середовища від іонів важких металів. Іонна флоатація: Навчальний посібник / Л.Д.Скрилев, В.Ф.Сазонова. К. : НМК ВО, 1992, 216 с.
75. Солдаткина Л. М., Тютюнник Т. В., Менчук В. В., Поликарпов А. П., Новотная В. А. Закономерности кинетики адсорбции антоцианов з екстрактів ягід аронії та бузини

- катионом ФИБАН К-1. *Вісник ОНУ. Хімія*. 2019, Т. 24, № 1(69). DOI: DOI: 10.18524/2304-0947.2019.1(69).158418
76. Ставицкая С.С., Викарчук В.М., Ковтун М.Ф., Поддубная О.И., Пузий А.М. Адсорбция ионов меди углеродными адсорбентами, модифицированными фосфорной кислотой при различных температурах. *Химия и технология воды*, 2014, Т. 36, № 3. С. 203-210
77. Стрельцова О. О., Мазурик А. О. Адсорбція сумішей твінів з додецилсульфатом натрію на межі поділу фаз розчин – повітря. *Вісник ОНУ. Хімія*. 2019, Т. 24, № 1(69), С. 61-73. DOI: 10.18524/2304-0947.2019.1(69).158420
78. Стрельцова О.О. Фізико-хімічні основи процесу флотаційного виділення іоногенних поверхнево-активних речовин із водних розчинів стічних вод / О.О. Стрельцова // Одес. держ. ун-т. – Одеса: Астопринт, 1997, 140 с.
79. Тарасевич Ю.И., Трифонова М.Ю., Остапенко В.Т., Кулишенко А.Е., Кравченко Т.Б. Применение адсорбционно-активных добавок некоторых природных минералов для повышения качества коагуляционной очистки природной воды. . *Химия и технология воды*, 2016, Т. 38, № 6, С. 590-597.
80. Тымчук А. Ф., Квасюк Е. А. Внесок сорбції в ефективність процесу флокуляції суспензій композиціями ПАР-природний полімер. *Вісник ОНУ. Хімія*. 2019. Том 24, № 1(69), С. 80-91. DOI: 10.18524/2304-0947.2019.1(69).158422
81. Швыдко А.В., Тимофеева М.Н., Симонов П.А. Адсорбция диклофенака на MIL-96 и MIL-100 из нейтральных водных растворов: моделирование процесса адсорбции. *Сорбционные и хроматографические процессы*, 2021, Т. 21, № 1. С. 42-50. DOI: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3218
82. Шошина С. И., Дрогобужская С. В. Волокна ФИБАН для предконцентрирования и очистки природных вод. Материалы XII Межрегиональной научно-технической конференции молодых ученых, специалистов и студентов вузов, Апатиты, 20 апреля 2018 г. С. 80-85. DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.1.PRIL.80-85