

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

Дипломна робота

на здобуття ступеня вищої освіти бакалавра

на тему: «Сорбція катіонних поверхнево-активних речовин
бентонітом»

«Sorption of cationic surfactants on bentonite»»

Виконала: студентка V курсу
заочної форми навчання
напряму підготовки 6.040101 Хімія
Анопова Яна Вікторівна

Керівник: к. х. н., доц. Джига Г.М. _____
(підпис)
Рецензент: д. х. н., проф. Стрельцова О. О.

Рекомендовано до захисту:
протокол засідання кафедри
№ ____ від ____ червня 2020 р.

Захищено на засіданні екзаменаційної комісії № ____
протокол № ____ від «____» _____ 2020 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. Стрельцова О.О.
(підпис)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота виконана на кафедрі фізичної та колоїдної хімії Одеського національного університету імені І.І. Мечникова і присвячена дослідженню особливостей сорбційного вилучення катіонних поверхнево-активних речовин, а саме додециламонію хлориду, природним бентонітом Дашуковського родовища. Робота є частиною та логічним продовженням наукових досліджень, що проводяться за тематикою кафедри в рамках держбюджетної теми №170 «Розробка принципів керування процесами вилучення цінних компонентів та екотоксикантів з розчинів».

Мета роботи: встановити закономірності сорбційного вилучення додециламонію хлориду з водних розчинів природним бентонітом Дашуковського родовища.

Встановлені особливості кінетики сорбції додециламонію хлориду природним бентонітом Дашуковського родовища. З використанням різних кінетичних та адсорбційних моделей встановлено механізм процесу сорбції додециламонію хлориду з водних розчинів природним бентонітом.

Можлива область застосування: вилучення катіонних поверхнево-активних речовин зі стічних вод.

Ключові слова: бентоніт, додециламонію хлорид, кінетика сорбції, ізотерми сорбції.

Дипломна робота складається з: 43 стор. машинописного тексту, 12 рис., 10 табл., 85 використаних джерел літератури.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	6
1.1. Основні джерела забруднення водоймищ поверхнево-активними речовинами	6
1.2. Проблема очистки водоймищ від поверхнево-активних речовин....	8
1.3. Методи очистки стічних вод від поверхнево-активних речовин.....	10
1.3.1. Адсорбційна очистка стічних вод.....	11
1.3.2. Сорбенти для вилучення поверхнево-активних речовин зі стічних вод.....	12
1.4. Короткі відомості про структуру монтморилоніту.....	14
1.5. Хімічний та фазовий склад бентонітів.....	16
1.6. Сорбційні властивості бентонітів.....	17
1.6.1 Механізми сорбційних процесів, що протікають на бентонітах....	19
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	21
2.1. Вихідні матеріали та методи дослідження.....	21
2.1.1. Об'єкти дослідження.....	21
2.1.2. Методи дослідження.....	22
2.1.2.1. Рентгенофазовий аналіз.....	22
2.1.2.2. Вимірювання рН суспензій.....	22
2.1.2.3. Методика сорбційних досліджень	22
2.2. Експериментальні дані та їх обговорення	26
2.2.1. Хімічний склад бентоніту.....	26
2.2.2. Фазовий склад бентоніту.....	27
2.2.3. Протолітичні властивості бентоніту.....	28
2.2.4. Кінетичні дослідження додециламонію хлориду бентонітом.....	29
2.2.5. Сорбційні дослідження додециламонію хлориду бентонітом.....	35
ВИСНОВКИ.....	37
ЛІТЕРАТУРА.....	38

ВСТУП

Забруднення водних ресурсів в світі є глобальною екологічною проблемою, яка вимагає особливої уваги. Поверхнево-активні речовини, які використовуються в різних побутових і промислових цілях, є одними з основних забруднювачів стічних вод, які вимагають особливої уваги. Поверхнево-активні речовини, фармацевтичні препарати та залишки пестицидів дуже стійкі та водорозчинні забруднення, які потрапляючи до стічних вод і як наслідок, до питної води, створюють серйозну екологічну небезпеку та негативно впливають на здоров'я людини. На відміну від органічних речовин вони не схильні до деградації і крім безпосередньої токсичної дії на живі і рослинні організми мають тенденцію до накопичення в харчових продуктах, що посилює їх небезпеку для людини. Одним з найбільш ефективних і економічно вигідних методів очищення стічних вод від поверхнево-активних речовин є сорбційний метод, який характеризується високим ступенем очистки. Для очищення стічних вод від органічних забруднювачів все більше застосування знаходять неуглецеві сорбенти природного походження, до яких відносяться глинисті мінерали, кремнеземи, цеоліти і ін. Використання таких сорбентів обумовлено їх досить високою сорбційною ємністю, вибірковістю, катіонообмінними властивостями, порівняно низькою вартістю і доступністю. Таким чином, проблема полягає у виборі сорбенту, який забезпечував би високу очистку стічних вод від поверхнево-активних речовин.

Мета роботи – встановити закономірності сорбційного вилучення додециламонію хлориду з водних розчинів природним бентонітом Дашуковського родовища.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- дослідити хімічний та фазовий склад природного бентоніту;
- дослідити протолітичні властивості природного бентоніту;
- визначити вплив витрати сорбенту на ефективність вилучення додециламонію хлориду з водних розчинів;

- провести обробку експериментальних кінетичних даних сорбції з використанням кінетичних та дифузійних моделей;
- дослідити процес сорбції додециламонію хлориду природним бентонітом в статистичних умовах.

ВИСНОВКИ

1. На підставі рентгенофазового аналізу встановлено, що природний бентоніт Дашуковського родовища України є поліфазним мінералом – поряд з основною фазою монтморилоніту в різних кількостях присутні кальцит, α -кварц і аморфний SiO_2 .
2. Бентоніт Дашуковського родовища характеризується високим значенням рН суспензії (8,97), що не потребує створення лужного середовища для підвищення процесу їх сорбції. На поверхні природного бентоніту переважають кислотні центри Льюїса, на яких гетеролітична дисоціація води перебігає за основним механізмом.
3. Максимальне значення ступеня сорбції додециламонію хлориду з водних розчинів досягається через 10 хв контакту фаз при витраті сорбенту $0,8 \text{ г/дм}^3$.
4. Кінетика сорбції добре описується рівнянням кінетичної моделі псевдодругого порядку. Процес сорбції протікає в змішано-дифузійній області, тобто контролюється як внутрішньою, так і зовнішньою дифузією, що обумовлено шаруватою структурою сорбенту.
5. Механізм сорбції додециламонію хлориду природним бентонітом протікає за іонним обміном, енергія зв'язку між сорбентом та сорбатом по мірі заповнення поверхні зростає.

ЛІТЕРАТУРА

1. Zulfiqar M. Modelling and optimization of photocatalytic degradation of phenol via TiO_2 nanoparticles: An insight into response surface methodology and artificial neural network / M. Zulfiqar, M.F.R. Samsudin, S. Sufian // *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. –2019. – V. 384. – P. 112039.
2. Bautista-Toledo M.I. Removal of the surfactant sodium dodecylbenzenesulfonate from water by processes based on adsorption/bioadsorption and biodegradation/ M.I. Bautista-Toledo, J. Rivera-Utrilla, J.D. Mendez-Díaz, M. Sanchez-Polo, F. Carrasco-Marín // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2014. – V.418. – P. 113– 119.
3. Dzyazko Yu. S., Composite cation-exchange resins containing zirconium hydrophosphate for purification of water from U(VI) cations / Yu. S. Dzyazko, O. V. Perlova, N. A. Perlova, Yu. M. Volfkovich, V. E. Sosenkin, V. V. Trachevskii, V. F. Sazonova, A. V. Palchik. // *Desalination and water treatment*. – 2017. – V. 69. – P. 142– 152.
4. Солдаткина Л.М. Кинетика адсорбции водорастворимых красителей на активных углях / Солдаткина Л.М., Сагайдак Е.В. // *Химия и технология воды*. – 2010. – Т.32, №4. – С. 388-398.
5. Тымчук А.Ф. Сорбция анионных поверхностно-активных веществ природными полимерными сорбентами / А.Ф.Тымчук // *Вісник ОНУ. Хімія*. – 2011. – Т. 16, №13. – С. 96–101.
6. Brycki B. The biodegradation of monomeric and dimeric alkylammonium surfactants. / B. Brycki, M. Waligorska, A. Szulc // *J. Hazard Mater.* – 2014. – V. 280. – P. 797–815.
7. Borghi C.C. Magnetic removal of surfactants from wastewater using micrometric iron oxide powders. / C.C. Borghi, M. Fabbri, M. Fiorini, M. Mancini, P.L. Ribani // *J. Separation and Purification Technology*. – 2011. – V. 83. – P. 180– 188
8. Ланге, К. Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение. – Профессия, 2007. – 240 с.
9. Алексеев Д.В. Николаев Н.А. Закономерности процесса флотации./ Д.В. Алексеев, Н.А. Николаев// Казань, 1999. – 31 с.
10. Anapolsku, V. Tilipsuk, R. Dusan, I. Gemzicky, M. Kruppa. Способ флотационной очистки воды. Словакия, 1999. – №. 1539. – С. 95.
11. Бардов В.Г. Доступность и качество питьевой воды в Украине и мире. / В. Г. Бардов, С.Т. Омельчук, Е.В. Грузева // *Мат. пленума «Итоги и перспективы научных исследований по проблеме экологии человека и гигиены окружающей среды»*. – М. – 2006. – С. 215–220.
12. Степанов Н.А., Заводова Е.И. Характеристика влияния качественного состава питьевой воды на здоровье человека. // *Медицина труда и экология человека*. – Саранск. – 2015. – Т. 3. – С. 207– 212
13. Абрамзон, А.А., Поверхностно-активные вещества: Свойства и применение.-2-е изд., перераб. и доп. Л.: Химия, 1981. – 304 с.

14. Бинтам Ф.Т. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов / Ф.Т. Бинтам, М. Коста, И. Эйхенбергер // Под. ред. Зигель Х. М.: Мир. – 1993. – 366 с.
15. Гладышев М.И., Грибовская И.В. Содержание металлов в экосистеме и окрестностях рекреационного и рыбоводного пруда Бугач : научное издание // Водные ресурсы. – 2001. – Т.28, №3. – С. 320-328
16. Бобылева С.А. Сорбционная очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с применением брусита / С.А. Бобылева: Дис. канд. техн. наук. – Новосибирск. – 2005.
17. Терехова Е.Л. Интенсификация очистки сточных вод от поверхностно-активных веществ / Е.Л. Терехова: Дис. канд. техн. наук. – Хабаровск. – 2004.
18. Бек Р.Ю. Воздействие гальванотехнических производств на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба: Аналитический обзор / АН СССР. Сиб. Отд-ние. Институт химии твердого тела и переработки минерального сырья; ГПНТБ. Новосибирск. – 1991. – 96 с.
19. Панов Б.Н., Океанографическая оценка последствий современного антропогенного воздействия на экосистему Керченского пролива. / Б.М. Панов, П.Д. Ломакин, С.С. Жугайло, Т.М. Авдеева, Е.О. Спиридонова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. – Севастополь. – 2011. – №24 (1).
20. Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы: Тез. докл. Второй всесоюз. науч. конф. – М. – 1988. – ч.1. – С. 192.
21. Орлова А.О. Ионселективные электроды на основе жидкостных мембран для определения оксиэтилированных неионных и анионных поверхностно-активных веществ / А.О. Орлова: Дис. канд. хим. наук. – Н.Новгород. – 2004.
22. Можаяев Е.А. Загрязнение водоемов поверхностно-активными веществами (санитарно-гигиенические аспекты). – М.: Медицина. – 1976. – 96 с.
23. Беспамянов Г.К., Кротов Ю.Л. Предельно-допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. / Справ. – Л.: Химия. – 1985. – 235 с.
24. Перечень ПДК и ориентировочных безопасных уровней воздействия вредных веществ для вод рыбохозяйственных водоемов. – М.: Мединор. – 1995. – 254 с.
25. Грищенко А.С. Методы очистки сточных вод от ПАВ: Темат. обзор. – М.: ЦНИИТ Энефтехим. – 1984. – 48 с.
26. Себба Ф. Ионная флотация. – М.: Metallurgy. – 1965. – 170 с.
27. Ксенофонов Б.С. Флотационная очистка сточных вод. – М.: Новые технологии. – 2003. – 160 с.
28. Волювач О.В., Стрельцова О.О. Выделение солей гексадецилпиридиния из растворов методом осадительной флотации. // Вісник ОНУ. Хімія. – 2007. – Т.12, №9-10. – С.48–54.
29. Стрельцова Е.А. Интенсификация флотационного извлечения неионогенных поверхностно-активных веществ. / Е.А. Стрельцова, А.А. Гросул, О.В. Волювач // Вісник ОНУ. Хімія. – 2012. – Т.17, №4. – Р. 34– 42
30. Стрельцова Е.А., Мазурик А.А. Эффективность флотационного извлечения поверхностно-активных веществ из водных растворов. В кн.: Актуальные

научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности: материалы IV международной конф., 2018. – Р . 180.

31. Стрельцова О.О. Выделение ПАВ из бинарных растворов методами осадительной флотации, экстракции и флотоэкстракции. / О.О. Стрельцова, О.В. Волювач, В.О. Єгорцева // Вісник ОНУ. Хімія. – 2005. – Т.10, №1-2. – С.148–154.
32. Клименко Н.А., Тимошенко М.Н. Физико-химические методы очистки промышленных сточных вод от синтетических ПАВ // Химия и технология воды. – 1993. – Т. 15. – №7– 8. – С. 534– 566.
33. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.
34. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. – М.: Химия, 1984. – 592 с.
35. Кинле Х., Бадер Э. Активированные угли и их промышленное применение. – Л.:Химия, 1984. – 216 с.
36. Алексеев Е.В. Физико-химическая очистка сточных вод: Учеб. пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 248 с.
37. А.И. Жуков, И.Л. Монгайт, И.Д.Родзиллер Методы очистки производственных сточных вод: справочное пособие. – М.: Стройиздат, 1977. – 204 с.
38. Tambo N. Basic concepts and innovative turn of coagulation / flocculation // Water Supply. – Jonkoping. – 1990. – P. 1-10.
39. Siyal A.A. A review on recent developments in the adsorption of surfactants from wastewater. /A.A.Siyal, M.R. Shamsuddin , A. Low , N.E. Rabat // Journal of Environmental Management. – 2020. – V.254.
40. Лавров В.В. Глубокая адсорбционная очистка воды от растворенных органических веществ./ В.В. Лавров, В.Н. Гомолицкий, И.В.Павленко,Л.С. Рейфман // Сорбенты и сорбционные процессы: Межвуз. сб. науч. тр. – ЛТИ им. Ленсовета . – Л., 1989. – 180 с.
41. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.
42. Schouten N., van der Ham L.G., Euverink G.-J.W., de Haan A.B. Selection and evaluation of adsorbents for the removal of anionic surfactants from laundry rinsing water. // Water Res. – 2007. – V.41 (18). – P. 4233–4241.
43. Valizadeh S. Highly mesoporous K₂CO₃ and KOH/ activated carbon for SDBS removal from water samples: batch and fixed-bed column adsorption process. / S.Valizadeh, H. Younesi , N. Bahramifar // Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. – Iran. – 2016. – V.6. – P. 1-13
44. Shahbazi A. Natural and synthetic zeolites in adsorption/oxidation processes to remove surfactant molecules from water. / A.Shahbazi, R. Gonzalez-Olmos, F.-D. Kopinke, P. Zarabadi-Poor, A. Georgi // Separation and Purification Technology. – 2014. – V. 127. – P. 1–9.
45. Harutyunyan L., Pirumyan G. Purification of waters from anionic and cationic surfactants by natural zeolites. // Chemistry and Biology. – 2015. – V.1. – P. 21–28.
46. Sanchez-Martín M. Influence of clay mineral structure and surfactant nature on the adsorption capacity of surfactants by clays. / M.Sanchez-Martín, M.Dorado,C. Del Hoyo, M. Rodríguez-Cruz // J. Hazard Mater. – 2008. – V.150. – P. 115–123.

47. Стрельцова Е.А., Гросул А.А. Адсорбция Твинов (-20,-40) из бинарных водных растворов с додецилсульфатом натрия на поверхности парафина. // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2014. – Т. 57, №6. – С. 34– 37.
48. Алексеев Е.В. Физико-химическая очистка сточных вод: Учеб. пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 248 с.
49. Воловник Г.И., Терехов Л.Д. Теоретические основы очистки воды. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2000. – 168 с.
50. Шакирова В.В. Очистка сточных вод от ингибиторов кислотной коррозии и катионных поверхностно-активных веществ // Экологические системы и приборы. – 2005. – Т. 9. – С. 44-46.
51. Лыч А.М., Липская Т.И. Физико-химические основы регулирования процессов сорбции ПАВ торфом // Тез. докл. Всесоюз. совещ. по коллоидно-химическим проблемам экологии (Ашхабад, 20– 23 октября, 1991). – Ашхабад, 1991. – С. 100– 102.
52. Тарасевич Ю.И. Природные сорбенты в процессах очистки воды. – Киев: Наук. думка, 1981. – 208 с.
53. Климова Г.М. Исследование закономерностей сорбции неионогенных поверхностно-активных веществ на слоистых силикатах / Г.М. Климова, А.А.Панасевич,Ю.И. Тарасевич // Химия и технология воды. – 1982. – Т. 4. – №5. – С. 420– 424.
54. Панасевич А.А. Адсорбция неионогенных ПАВ на глинистых минералах, модифицированных солями железа /Г.М.Климова, А.А.Панасевич , Ю.И.Тарасевич // Химия и технология воды. –1988. – Т. 10. – №5. – С. 464-465.
55. Панасевич А.А. Использование глинистых минералов для адсорбционной очистки пластовых вод от НПАВ / А.А.Панасевич, Г.М.Климова, В.П. Максимова, Ю.И. Тарасевич // Химия и технология воды. – 1990. – Т. 12, №12. – С. 1097– 1100.
56. Тарасевич Ю. И., Овчаренко Ф. Д. Адсорбция на глинистых минералах. – Київ: Наукова думка, 1975. – 352 с.
57. Khan M.N., Zareen U. Sand sorption process for the removal of sodium dodecyl sulfate (anionic surfactant) from water. // J. Hazard Mater. – 2006. – V. 133. – P. 269 – 275.
58. Yang K., Sorption of sodium dodecylbenzene sulfonate by montmorillonite. / K. Yang, L. Zhu, B. Xing // Environ. Pollut. – 2007. – V.145. – P. 571–576.
59. Li N. Simple synthesis of Cu₂O/Na-bentonite composites and their excellent photocatalytic properties intreating methyl orange solution. / N. Li , L. Xu, G. Xu, W. Sun, S. Yu // Ceramics International. – 2016. – V. 42 (5). – P. 5979–5984.
60. Vinuth M. Enhanced removal of methylene blue dye in aqueous solution using eco-friendly Fe(III)–montmorillonite. / M. Vinuth, H.S.B. Naik, B.M. Vinoda, H. Gururaj, N. Thomas, G.Arunkumar // Materials Today. – 2017. – V.4. – P. 424–433
61. Hong R. Rapid degradation of atrazine by hydroxyl radical induced from montmorillonite templated subnano-sized zero-valent copper./ R. Hong, Z. Guo, J. Gao, C. Gu // *Chemosphere*. – 2017. – V. 180. – P. 335–342.

62. Khataee A. Photocatalytic ozonation of metronidazole by synthesized zinc oxide nanoparticles immobilized on montmorillonite. / A. Khataee, M.Kiransan, S. Karaca, M.Sheydaei // *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers.* – 2017. – V. 74 (5). – P. 196–204.
63. Тарасевич Ю. И., Овчаренко Ф. Д. Строение и химия поверхности слоистых силикатов. – Київ: Наукова думка, 1988. – 248 с.
64. Гончарук В.В. Катализ. Механизмы гомогенного и гетерогенного катализа, кластерные подходы./ В.В.Гончарук, Г.Л. Камалов, Г.А.Ковтун, Е.С. Рудаков, В.К. Яцимирский // – Київ: Наукова думка, 2002. – 540 с.
65. Assifaoui A. Structural studies of adsorbed protein (betalactoglobulin) on natural clay (montmorillonite) / A. Assifaoui, L. Huault, C. Maissiat, C. Roullier-Gall, P. Jeandet, J. Hirschinger, J. Raya, M. Jaber, J. Lambert, P. Cayot, R. D. Gougeon // *RSC Adv.* – 2014. – V.4. – P. 61096-61103.
66. Джига Г. М. Вплив тривалості кислотного модифікування бентоніту на активність Pd(II)-Cu(II)-каталітичних композицій в реакції окиснення монооксиду карбону / Г. М. Джига // *Вісник Одеського національного університету. Хімія.* – 2019. – Т. 24, № 2. – С. 107–117.
67. Сало Д.П. Натриевые формы отечественных бентонитов и их физико-химические свойства / Д.П. Сало, Е.Н. Гриценко, С.И. Вишневская, Т.В. Подлесная // *Труды ХФИ.* – Х., 1962. – Вып. 2. – С.11–12
68. Kadwa E. Characterisation and application of montmorillonite-supported Fe Schiff base complexes as catalysts for the oxidation of n-octane. / E. Kadwa, M.D. Bala, H.B. Friedrich // *Applied Clay Science.* – 2014. – V. 95. – P. 340–347.
69. Соколова Т.А. Глинистые минералы в почвах: / Т.А.Соколова, Т.Я.Дронова, И.И. Толпешта // *Учебное пособие.* – Тула: Гриф и К, 2005. – 336 с.
70. Соколова Т. А., Трофимов С. Я. Сорбционные свойства почв. Адсорбция. Катионный обмен: учебное пособие по некоторым главам химии почв. – Тула: Гриф и К, 2009. – 72 с.
71. Арипов Э. А., Агзамходжаев А. А. Активные центры монтмориллонита и хемосорбция. – Ташкент: ФАН, 1983. – 164 с.
72. Stathi P. Heavy-metal uptake by a high cation-exchange-capacity montmorillonite: the role of permanent charge sites / P. Stathi, I.T. Papadas, A. Tselepidou, Y. Deligiannakis // *Global NEST Journa.* – 2010. – V. 12 (3). – P. 248–255.
73. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость: Пер. с англ., 2-е изд. – М.: Мир, 1984. – 306 с.
74. Bergaya F. Developments in Clay Science. / F. Bergaya, B.K.G. Theng, G. Lagaly // *Handbook of Clay Science.* – Amsterdam: Elsevier Science, 2006. – V.1. – 1224
75. Смирнов А. Д. Сорбционная очистка воды. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.
76. Везенцев А.И. Установление кинетических закономерностей сорбции ионов Cu^{2+} нативными и магний – замещенными формами монтмориллонитовых глин / А.И.Везенцев, С.В. Королькова, Н.А. Воловичева // *Сорбционные и хроматографические процессы.* – 2010. – Т. 10, № 1. – С. 115–120.

77. Печенюк С. И. Сорбция анионов на оксигидроксидах металлов (обзор) // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2008. – Т. 8, № 3. – С. 380–429.
78. Klopprogge J. T. Synthesis of Smectites and Porous Pillared Clay Catalyst: Review // J. of Porous Materials. 1998. Vol. 5, P. 5–41.
79. Костин А.В. Изучение механизма сорбции ионов меди и свинца на бентонитовой глине / А.В.Костин, Л.В.Мосталыгина, О.И.Бухтояров // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2012. – Т. 12, № 6. – С. 949–957.
80. National Center for Biotechnology Information. PubChem Database. Dodecylammonium chloride, CID=13582, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Dodecylammonium-chloride>
81. *STOE Powder Diffraction Software version 3.03*. Darmstadt: Stoe&CieGmbH, 2010.
82. Kraus W., Nolze G. *Powder cell for windows (version 2.4)*. Berlin: Federal Institute for Materials Research and Testing, 2000.
83. Корж Е.А., Клименко Н.А. / Моделирование кинетики адсорбции фармацевтических веществ на активных углях // Вода і водоочистні технології. Науково-технічні вісті – 2018. – Т.1, № 22. – С. 30-39.
84. Запольський А. К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод : підручник / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко, І. М. Астрелін, М. Т. Брик; під ред. А. К. Запольського. – К. : Лібра, 2000. – 552 с.
85. Кожемяк М. А. Сорбція іонів лантану клиноптилолітом / М. А Кожемяк, О. О. Гурова // Вісник ОНУ. Хімія. – 2019. – Т. 24, № 3. – С. 103 – 114.