

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: «**Дослідження сорбційних властивостей біополімерних  
ентеросорбентів як потенціальних сполук для виведення  
радіонуклідів**»

“Research of sorption properties of biopolymer enterosorbents as potential compounds for radionuclides excretion”

Виконав: студент денної форми навчання  
спеціальності 102 Хімія  
ОНП Фармацевтична хімія  
**Мартовий Іван Сергійович**

Керівники: к. х. н., доц. Менчук В.В. \_\_\_\_\_  
(підпис)  
к. х. н., доц. Перлова О. В. \_\_\_\_\_  
(підпис)  
Рецензент: к. х. н., доц. Кіосе Т. О.

Рекомендовано до захисту:  
протокол засідання кафедри  
№ \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Захищено на засіданні екзаменаційної комісії  
протокол № \_\_\_\_ від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ 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. Шевченко О.В.  
(підпис)

Одеса – 2023

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота виконана на кафедрі фізичної та колоїдної хімії Одеського національного університету імені І. І. Мечникова та присвячена дослідженню сорбційних властивостей біополімерних ентеросорбентів як потенціальних сполук для виведення радіонуклідів на прикладі сполук урану (VI).

Мета роботи: встановити деякі закономірності виведення радіонуклідів на прикладі сполук урану (VI) з модельних солянокислих розчинів з використанням біополімерного ентеросорбенту хітозан, модифікованого наночастинками  $\text{SnO}_2$ .

Досліджено сорбцію сполук урану (VI) з модельних розчинів за допомогою ентеросорбенту хітозан, модифікованого наночастинками  $\text{SnO}_2$ . Вивчено ефективність і кінетику процесу сорбції залежно від рН та витрати ентеросорбенту, розраховано основні кінетичні характеристики процесу сорбції з використанням моделей псевдо-першого та псевдо-другого порядку, Єловича, зовнішньої та внутрішньої дифузії, Вебера-Морріса. Встановлена доцільність використання біополімерного ентеросорбенту хітозану, модифікованого наночастинками  $\text{SnO}_2$  для вилучення малих кількостей урану з модельних розчинів, що імітували шлунковий сік.

Можлива галузь використання: фармація, фармацевтична хімія (використання ентеросорбентів для виведення радіонуклідів).

*Ключові слова:* ентеросорбенти; хітозан; сорбція; радіонукліди; уран (VI); кінетика сорбції.

Дипломна робота викладена на 61 стор. машинописного тексту, містить 9 рис., 15 табл., 98 використаних джерел літератури.

## ЗМІСТ

	Стор.
<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	6
<b>1.1 Шляхи потрапляння радіонуклідів до організму людини. Шкідливий вплив радіонуклідів на здоров'я</b> .....	6
<b>1.2 Загальна характеристика та класифікація ентеросорбентів</b> .....	11
<b>1.3 Хітозан як сорбент важких металів</b> .....	15
<b>РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА</b> .....	21
<b>2.1 Матеріали і методи дослідження</b> .....	21
<b>2.2 Результати досліджень та їх обговорення</b> .....	24
<i>2.2.1. Вплив рН розчинів на властивості досліджуваного сорбенту</i> .....	24
<i>2.2.2. Вплив рН розчинів на ефективність сорбції урану</i> .....	25
<i>2.2.3. Вплив рН розчинів на кінетику сорбції урану</i> .....	28
<i>2.2.4. Вплив витрати сорбенту на ефективність сорбції урану</i> .....	37
<i>2.2.5. Вплив витрати сорбенту на кінетику сорбції урану</i> .....	38
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	46
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	49

## ВСТУП

Сполуки радіонуклідів, зокрема урану (VI), є токсичними речовинами, які при тривалому впливі та високих концентраціях можуть накопичуватися в тканинах організму, особливо в нирках, печінці та кістках, через різні причини, такі як професійна діяльність, забруднення повітря, споживання забрудненої їжі або води. Методи виведення радіонуклідів з організму людини включають деконтамінацію, гемодіаліз та ентеросорбцію. Деконтамінація полягає в очищенні зовнішніх поверхонь шкіри та видаленні радіонуклідів з волосся. Гемодіаліз або гемоперфузія забезпечують пряме видалення радіонуклідів з крові через спеціальне обладнання. Вибір методу залежить від типу радіонукліда, його концентрації в організмі та індивідуальних характеристик людини. Ентеросорбція є процесом, при якому спеціальні сорбенти використовуються для зв'язування та видалення шкідливих речовин з організму через кишківник. У випадку з ураном ентеросорбенти можуть зв'язати його токсичні сполуки та запобігти їх всмоктуванню в кровообіг, дозволяючи йому залишити організм природнім шляхом. Застосування ентеросорбції дозволяє знизити вміст урану в організмі та запобігти його накопиченню, що сприяє збереженню здоров'я та функціонуванню органів. Цей метод також може бути використаний для екстреного виведення урану у випадках потрапляння до шлунково-кишківникового тракту (ШКТ), де швидке видалення токсину має вирішальне значення для мінімізації пошкодження організму.

Мета роботи: встановити закономірності виведення радіонуклідів на прикладі сполук урану (VI) з модельних солянокислих розчинів з використанням біополімерного ентеросорбенту хітозан, модифікованого наночастинками  $\text{SnO}_2$ .

Для досягнення цієї мети слід було вирішити наступні завдання:

- визначити та проаналізувати точку нульового заряду сорбента

- дослідити вплив рН та витрати модифікованого ентеросорбенту на ефективність сорбції урану з модельних розчинів;
- одержати експериментальні кінетичні криві сорбції урану з модельних розчинів та проаналізувати кінетику сорбції залежно від рН модельних розчинів та витрати ентеросорбенту;
- визначити оптимальні умови виведення урану за допомогою досліджуваного ентеросорбенту;
- провести моделювання кінетичних кривих за допомогою кінетичних моделей (псевдопершого і псевдодругого порядку та Єловича);
- провести моделювання кінетичних кривих за допомогою дифузійних моделей (зовнішньої дифузії та внутрішньої дифузії (моделі Бойда, Вебера-Морріса)).

## ВИСНОВКИ

1. Встановлено закономірності виведення радіонуклідів на прикладі сполук урану (VI) з модельних солянокислих розчинів з використанням біополімерного ентеросорбенту хітозан, модифікованого наночастинками SnO<sub>2</sub>

2. Показано що біополімерний ентеросорбент хітозан, модифікований наночастинками SnO<sub>2</sub> є ефективним матеріалом для виведення урану (VI): за оптимальних умов проведення сорбції (рН 5,5-6,5; доза сорбенту 0,75 г/л; час контакту фаз 80 хв) уран може бути вилучений на 99-99,5% що відповідає залишковій концентрації урану 0,012 мг/л.

3. Всебічно досліджено кінетику сорбції урану залежно від рН розчинів та витрати сорбенту.

4. Проведено моделювання експериментальних кінетичних кривих сорбції за допомогою кінетичних моделей (псевдопершого і псевдодругого порядку та Єловича) та дифузійних моделей (зовнішньої дифузії та внутрішньої дифузії (моделі Бойда, Вебера-Морріса)).

5. Розраховано основні кінетичні характеристики процесу сорбції та величини середньої відносної похибки, які свідчать про змішано-дифузійний режим процесу з певним внеском хемосорбції (підпорядкування моделям псевдо-другого порядку та Єловіча)

6. Список публікацій:

### Статті

1) Perlova, O.V., Dzyazko, Y.S., Palchik, O.V., **Martovyi, I.S.** Hydrated titanium dioxide modified with potassium cobalt hexacyanoferrate(II) for sorption of cationic and anionic complexes of uranium(VI) // *Appl Nanosci*, 2022, 12(3), P. 651-663. doi.org (Scopus)

2) Dzyazko Yu., Perlova O., **Martovyi I.** Advanced Carbon Nanomaterials and Their Composites for Removal of U(VI) Compounds from Aqueous Solutions (Review) // In: Fesenko, O., Yatsenko, L. (eds) *Nanomaterials*

and Nanocomposites, Nanostructure Surfaces, and Their Applications . Springer Proceedings in Physics. - 2023. - V. 279. – P. 177-196. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-18096-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-18096-5_9) (Scopus)

Тези доповідей

3) Перлова О.В. Сорбенти на основі сполук цирконію та вуглецевих наноматеріалів для вилучення урану (VI) з водних розчинів / О.В. Перлова, Ю.С. Дзязько, І.С. Іванова, **І.С. Мартовий**, О.В. Пальчик // Всеукраїнська наукова конференція «Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи» (17 квітня 2019 року). Матеріали конференції. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І.Франка, 2019. - С. 221-222.

4) Perlova O.V., Dzyazko Yu.S., Perlova N.O., Palchik A.V., **Martovyi I. S.**, Kudelko K.O. Sorbents based on hydrated titanium dioxide modified with Co<sub>2</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] nanoparticles for recovery of uranium species from water // Abstract book International research and Practice conference Nanotechnology and Nanomaterials (NANO-2020), Lviv, Ukraine, 26-29 August 2020. – Lviv, 2020. - P. 221. (Poster)

5) Perlova O.V., Dzyazko Yu.S., Palchik O.V., **Martovyi I.S.** Removal of U(VI) compounds from aqueous solutions using inorganic composites based on amorphous TiO<sub>2</sub> modified with cobalt hexacyanoferrate(II) // Proceedings of Ukrainian Conference with International Participation «Chemistry, Physics and Technology of Surface» devoted to the 35th anniversary of the Chuiko Institute of Surface Chemistry of NAS of Ukraine and Workshop «Nanostructures and Nanomaterials in Medicine: Challenges, Tasks and Perspectives» (Kyiv, 26 - 27 May 2021). – Kyiv, 2021. – P. 160. (Poster)

6) Perlova O.V., Dzyazko Yu.S., **Martovyi I.S.** Nanocomposites based on polymer and inorganic matrices for removal of soluble uranium compounds from aqueous solutions // Abstract book International research and Practice conference Nanotechnology and Nanomaterials (NANO-2021), Lviv, Ukraine, 25-27 August 2021. – Lviv, 2021. - P.83.

7) Перлова О. В., Дзязько Ю.С., Родивилова Р.А., **Мартовий І.С.**, Карімова М.Е., Пальчик О.В. Вилучення урану з сірчаноокислих розчинів волокнистим поліамфолітом ФІБАН АК-22, модифікованим SnO<sub>2</sub>. Вплив рН розчинів // VI Всеукраїнська наукова конференція «Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи» (5 жовтня 2022 року). Матеріали конференції. – Житомир: Видавець ПП «Євро-волинь», 2022. – С. 89-90.

8) Перлова О. В., **Мартовий І. С.**, Родивилова Р. А., Карімова М.Е. Очищення техногенних та стічних вод від урану (VI) і торію (IV) //XIII Всеукраїнська науково-практична конференція «Вода в харчовій промисловості». – Одеса, 2022. – С.72-73.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Smith G. M. Recent developments in assessment of long-term radionuclide behavior in the geosphere-biosphere subsystem / G. M. Smith, K. L. Smith, R. Kowe, D. Pérez-Sánchez, M. Thorne, Y. Thiry, D. Read, J. Molinero // Spec. ISSUE Environ. Radioact. Leg. Sites Chernobyl Fukushima Sel. Pap. 12th Int. Conf. Biogeochem. Trace Elem. ICOBTE. — 2014. — Vol. 131. — P. 89–109. doi:10.1016/j.jenvrad.2013.10.018.
2. Woods P. H. 6 - Uranium mining (open cut and underground) and milling / P. H. Woods // Uranium Nucl. Power / Hore-Lacy I. — Woodhead Publishing, 2016. — P. 125–156.
3. Abedin M. J. Dispersion of radionuclides from coal-fired brick kilns and concomitant impact on human health and the environment / M. J. Abedin, M. R. Karim, M. U. Khandaker, M. Kamal, S. Hossain, M. H. A. Miah, D. A. Bradley, M. R. I. Faruque, M. I. Sayyed // Radiat. Phys. Chem. — 2020. — Vol. 177. — P. 109165. doi:10.1016/j.radphyschem.2020.109165.
4. Panchuk V. Quantification of elements in spent nuclear fuel using intrinsic radioactivity for sample excitation and chemometric data processing / V. Panchuk, Y. Petrov, V. Semenov, D. Kirsanov // Anal. Chim. Acta. — 2023. — Vol. 1239. — P. 340694. doi:10.1016/j.aca.2022.340694.
5. Hossain F. Natural and anthropogenic radionuclides in water and wastewater: Sources, treatments and recoveries / F. Hossain // J. Environ. Radioact. — 2020. — Vol. 225. — P. 106423. doi:10.1016/j.jenvrad.2020.106423.
6. Piñero-García F. Radiological impact of naturally occurring radionuclides in bottled water / F. Piñero-García, R. Thomas, J. Mantero, E. Forssell-Aronsson, M. Isaksson // Food Control. — 2021. — Vol. 130. — P. 108302. doi:10.1016/j.foodcont.2021.108302.
7. Zhang Y.-J. Real time estimation of radionuclides in the receiving water of an inland nuclear power plant based on difference gated neural network / Y.-J.

Zhang, L.-S. Hu // *Radiat. Phys. Chem.* — 2020. — Vol. 176. — P. 109019. doi:10.1016/j.radphyschem.2020.109019.

8. Vasyanovich M. Analysis of ultra-low radionuclide concentrations in water samples with baromembrane method / M. Vasyanovich, A. Ekinin, A. Trapeznikov, A. Plataev // *Nucl. Eng. Technol.* — 2021. — Vol. 53, № 1. — P. 253–257. doi:10.1016/j.net.2020.06.014.

9. Arunima S. A study on leaching of primordial radionuclides  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  to water bodies / S. Arunima, R. Lekshmi, P. J. Jojo, K. Mayeen Uddin // *Radiat. Phys. Chem.* — 2021. — Vol. 188. — P. 109658. doi:10.1016/j.radphyschem.2021.109658.

10. Gbadamosi M. R. Distribution of radionuclides and heavy metals in the bituminous sand deposit in Ogun State, Nigeria – A multi-dimensional pollution, health and radiological risk assessment / M. R. Gbadamosi, T. A. Afolabi, A. L. Ogunneye, O. O. Ogunbanjo, E. O. Omotola, T. M. Kadiri, O. B. Akinsipo, D. O. Jegede // *J. Geochem. Explor.* — 2018. — Vol. 190. — P. 187–199. doi:10.1016/j.gexplo.2018.03.006.

11. El Zrelli R. PET plastics as a Trojan horse for radionuclides / R. El Zrelli, L. Yacoubi, S. Castet, M. Grégoire, C. Josse, J.-F. Olive, P. Courjault-Radé, P. van Beek, T. Zambardi, M. Souhaut, J. E. Sonke, L. J. Rabaoui // *J. Hazard. Mater.* — 2023. — Vol. 441. — P. 129886. doi:10.1016/j.jhazmat.2022.129886.

12. Mishra M. Assessment of hazardous radionuclide emission due to fly ash from fossil fuel combustion in industrial activities in India and its impact on public / M. Mishra, S. K. Sahu, P. Mangaraj, G. Beig // *J. Environ. Manage.* — 2023. — Vol. 328. — P. 116908. doi:10.1016/j.jenvman.2022.116908.

13. Guillén J. Radioactivity in mushrooms: A health hazard? / J. Guillén, A. Baeza // *Food Chem.* — 2014. — Vol. 154. — P. 14–25. doi:10.1016/j.foodchem.2013.12.083.

14. Khan M. F. Assessment of health safety from ingestion of natural radionuclides in seafoods from a tropical coast, India / M. F. Khan, S. Godwin

Wesley // *Mar. Pollut. Bull.* — 2011. — Vol. 62, № 2. — P. 399–404.  
doi:10.1016/j.marpolbul.2010.12.016.

15. Meisenberg O. Exposure of German hunters and their family members to the radioactive nuclide  $^{137}\text{Cs}$  due to their eating habits / O. Meisenberg, U. C. Gerstmann // *Sci. Total Environ.* — 2021. — Vol. 798. — P. 149264.  
doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149264.

16. Meli M. A. Radioactivity measurements and dosimetric evaluation in meat of wild and bred animals in central Italy / M. A. Meli, C. Cantaluppi, D. Desideri, C. Benedetti, L. Feduzi, F. Ceccotto, A. Fasson // *Food Control.* — 2013. — Vol. 30, № 1. — P. 272–279. doi:10.1016/j.foodcont.2012.07.038.

17. Keith S. Toxicological profile for uranium / S. Keith, O. Faroon, N. Roney, F. Scinicariello, S. Wilbur, L. Ingeman, F. Lladós, D. Plewak, D. Wohlers, G. Diamond // 2013.

18. Brugge D. Exposure pathways and health effects associated with chemical and radiological toxicity of natural uranium: a review / D. Brugge, J. L. deLemos, B. Oldmixon // *Rev. Environ. Health.* — 2005. — Vol. 20, № 3. — P. 177–194.

19. Skalny A. V. Environmental and health hazards of military metal pollution / A. V. Skalny, M. Aschner, I. P. Bobrovnitsky, P. Chen, A. Tsatsakis, M. M. Paoliello, A. B. Djordevic, A. A. Tinkov // *Environ. Res.* — 2021. — Vol. 201. — P. 111568.

20. Konietzka R. Gastrointestinal absorption of uranium compounds—A review / R. Konietzka // *Regul. Toxicol. Pharmacol.* — 2015. — Vol. 71, № 1. — P. 125–133.

21. Hon Z. Depleted uranium and its effects on humans / Z. Hon, J. Österreicher, L. Navrátil // *Sustainability.* — 2015. — Vol. 7, № 4. — P. 4063–4077.

22. Keith L. S. Uranium / L. S. Keith, O. M. Faroon // *Handb. Toxicol. Met.* — Elsevier, 2022. — P. 885–936.

23. Kathren R. L. Natural uranium tissue content of three Caucasian males / R. L. Kathren, S. Y. Tolmachev // *Health Phys.* — 2015. — Vol. 109, № 3. — P. 187–197.

24. Shaki F. A review on toxicodynamics of depleted uranium / F. Shaki, E. Zamani, A. Arjmand, J. Pourahmad // *Iran. J. Pharm. Res. IJPR*. — 2019. — Vol. 18, № Suppl1. — P. 90.
25. Shelley R. Uranium associations with kidney outcomes vary by urine concentration adjustment method / R. Shelley, N.-S. Kim, P. J. Parsons, B.-K. Lee, J. Agnew, B. G. Jaar, A. J. Steuerwald, G. Matanoski, J. Fadrowski, B. S. Schwartz // *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* — 2014. — Vol. 24, № 1. — P. 58–64.
26. Rump A. A quantitative comparison of the chemo-and radiotoxicity of uranium at different enrichment grades / A. Rump, S. Eder, A. Lamkowski, C. Hermann, M. Abend, M. Port // *Toxicol. Lett.* — 2019. — Vol. 313. — P. 159–168.
27. Zhang L. Health Effects of Particulate Uranium Exposure / L. Zhang, J. Chu, B. Xia, Z. Xiong, S. Zhang, W. Tang // *Toxics*. — 2022. — Vol. 10, № 10. — P. 575.
28. Gueguen Y. Molecular, cellular, and tissue impact of depleted uranium on xenobiotic-metabolizing enzymes / Y. Gueguen, C. Rouas, A. Monin, L. Manens, J. Stefani, O. Delissen, S. Grison, I. Dublineau // *Arch. Toxicol.* — 2014. — Vol. 88. — P. 227–239.
29. Arzuaga X. Modes of action associated with uranium induced adverse effects in bone function and development / X. Arzuaga, M. Gehlhaus, J. Strong // *Toxicol. Lett.* — 2015. — Vol. 236, № 2. — P. 123–130.
30. Николаев В. Теоретические основы и практическое применение метода энтеросорбции / В. Николаев, В. Стрелко, Ю. Коровин // *Сорбционные Методы Детоксикации И Иммунокоррекции В Медицине*. — 1982. — С. 112–114.
31. Николаев В. Энтеросорбция: состояние вопроса и перспективы на будущее / В. Николаев, С. Михаловский, В. Николаева, А. Олещук, Н. Лисничук // *Вестник Проблем Биологии И Медицины*. — 2007. — Вип. 4. — С. 7–17.

32. Nikolaev V. Carbon adsorbents in oncology: achievements and perspectives / V. Nikolaev, L. Sakhno, E. Snezhkova, V. Sarnatskaya, L. Yushko // *Exp. Oncol.* — 2011.

33. Mikhalovsky S. Activated carbons as medical adsorbents / S. Mikhalovsky, V. Nikolaev // *Interface Sci. Technol.* — Elsevier, 2006. — P. 529–561.

34. Горчакова Н. Вивчення фармакологічної активності та безпечності препарату Ентеросгель / Н. Горчакова, І. Чекман, В. Бабак, Н. Юрченко, М. Загородний, І. Яковлєва // *Мистецтво Лікування.* — 2005. — № 4. — С. 76–77.

35. Нагорная Н. Детоксикационные свойства и клиническая эффективность энтеросорбента Энтеросгель в комплексном лечении различных заболеваний у детей / Н. Нагорная, А. Дубовая // *Здоровье Ребенка.* — 2010. — № 3. — С. 65–70.

36. Fatullayeva S. A review on enterosorbents and their application in clinical practice: Removal of toxic metals / S. Fatullayeva, D. Tagiyev, N. Zeinalov // *Colloid Interface Sci. Commun.* — 2021. — Vol. 45. — P. 100545.

37. Tsikov A. Experience with the use of enterosorption in the complex treatment of bronchial asthma patients / A. Tsikov // *Vrach. Delo.* — 1986. — № 7. — P. 35–37.

38. Konorev M. Clinical pharmacology of enterosorbents of new generation / M. Konorev // *Vestn. Pharm.* — 2013. — Vol. 4, № 62. — P. 79–85.

39. Державна Фармакопея України: в 3 т. / Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». – 2-е вид. – Харків: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2014 – 2015.

40. Tarasenko Y. A. Энтеросорбция как метод выведения из организма тяжелых металлов и радионуклидов / Y. A. Tarasenko, I. Gerashchenko // *Поверхня.* — 2014. — Т. 21, № 6. — С. 110–121.

41. Marroquín-Cardona A. Characterization and safety of uniform particle size NovaSil clay as a potential aflatoxin enterosorbent / A. Marroquín-Cardona, Y.

Deng, J. Garcia-Mazcorro, N. Johnson, N. Mitchell, L. Tang, A. Robinson, J. Taylor, J.-S. Wang, T. Phillips // *Appl. Clay Sci.* — 2011. — Vol. 54, № 3–4. — P. 248–257.

42. Mudra U. The effectiveness of complex therapy in patients with gout using carbon enterosorbent / U. Mudra, S. Andreychyn // *J. Educ. Health Sport.* — 2020. — Vol. 10, № 7. — P. 138–147.

43. Melnykov O. A Clinical and Immuno-Allergological Study of the Efficacy of Enterosgel in Food Allergy / O. Melnykov, L. Zabrodskaya, M. Tymchenko, T. Sydorenko, O. Naumova

44. Nikolaev V. Carbon adsorbents in oncology: achievements and perspectives / V. Nikolaev, L. Sakhno, E. Snezhkova, V. Sarnatskaya, L. Yushko // *Exp. Oncol.* — 2011.

45. Sosin I. EV1334 / I. Sosin, Y. Chuev, O. Goncharova // *Eur. Psychiatry.* — 2016. — Vol. 33, № S. — P. S774. doi:10.1016/j.eurpsy.2016.01.2319.

46. Howell C. A. Investigation of the adsorption capacity of the enterosorbent Enterosgel for a range of bacterial toxins, bile acids and pharmaceutical drugs / C. A. Howell, S. V. Mikhalovsky, E. N. Markaryan, A. V. Khovanov // *Sci. Rep.* — 2019. — Vol. 9, № 1. — P. 1–10.

47. Orlova E. USE OF THE ENTEROSORBENT ALESORB GEL IN THE COMBINATION THERAPY OF ATOPIC DERMATITIS / E. Orlova, Y. A. Kandrashkina // *Vrach.* — 2021. — Vol. 32, № 4. — P. 66–71.

48. Muravskaya G. Enterosorption in oncotherapy / G. Muravskaya, V. Nikolaev, V. Sergeev, N. Krutilina, L. Bonatskaya, V. Klevtsov, V. Surovikina, V. Sinajko // *Biomater. Artif. Cells. Immobilization Biotechnol.* — 1991. — Vol. 19, № 1. — P. 167–174.

49. Lizhai A. Adsorption of methylene blue by enterosorbents of various nature / A. Lizhai, T. Savitskaya, N. Tsygankova // *Zh Belorus Gos Univ Khimiya.* — 2021. — № 1. — P. 58–74.

50. Kartel' N. Sorption of heavy-metal ions and radioactive cesium by "Ultrasorb" composite sorbent / N. Kartel', S. Stavitskaya, V. Vikarchuk, T.

Petrenko, L. Kupchik, V. Mardanenko, V. Strelko // *Theor. Exp. Chem.* — 2000. — Vol. 36, № 1. — P. 54–57.

51. Novokshonov A. Enterosorption and its clinical effectiveness in complex treatment of acute intestinal infections in children / A. Novokshonov, N. Sokolova // *Curr. Pediatr.* — 2011. — Vol. 10, № 1. — P. 140–147.

52. Nagornaya N. Enterosorption in paediatric practice: selection of the optimal sorbent / N. Nagornaya, M. Limarenko.

53. Kim H.-R. Carboxymethyl chitosan-modified magnetic-cored dendrimer as an amphoteric adsorbent / H.-R. Kim, J.-W. Jang, J.-W. Park // *J. Hazard. Mater.* — 2016. — Vol. 317. — P. 608–616. doi:10.1016/j.jhazmat.2016.06.025.

54. Bailey S. E. A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals / S. E. Bailey, T. J. Olin, R. M. Bricka, D. D. Adrian // *Water Res.* — 1999. — Vol. 33, № 11. — P. 2469–2479. doi:10.1016/S0043-1354(98)00475-8.

55. Salehi E. A review on chitosan-based adsorptive membranes / E. Salehi, P. Daraei, A. Arabi Shamsabadi // *Carbohydr. Polym.* — 2016. — Vol. 152. — P. 419–432. doi:10.1016/j.carbpol.2016.07.033.

56. Krstić V. A review on adsorbents for treatment of water and wastewaters containing copper ions / V. Krstić, T. Urošević, B. Pešovski // *Chem. Eng. Sci.* — 2018. — Vol. 192. — P. 273–287. doi:10.1016/j.ces.2018.07.022.

57. Gámiz González M. A. Synthesis of highly swellable hydrogels of water-soluble carboxymethyl chitosan and poly(ethylene glycol) / M. A. Gámiz González, U. Edlund, A. Vidaurre, J. L. Gómez Ribelles // *Polym. Int.* — 2017. — Vol. 66, № 11. — P. 1624–1632. doi:10.1002/pi.5424.

58. Vidal R. R. L. Removal of organic pollutants from wastewater using chitosan: a literature review / R. R. L. Vidal, J. S. Moraes // *Int. J. Environ. Sci. Technol.* — 2019. — Vol. 16, № 3. — P. 1741–1754. doi:10.1007/s13762-018-2061-8.

59. Zeng G. Facile preparation of carbon nanotubes based carboxymethyl chitosan nanocomposites through combination of mussel inspired chemistry and Michael addition reaction: Characterization and improved Cu<sup>2+</sup> removal capability

/ G. Zeng, X. Liu, M. Liu, Q. Huang, D. Xu, Q. Wan, H. Huang, F. Deng, X. Zhang, Y. Wei // *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* — 2016. — Vol. 68. — P. 446–454. doi:10.1016/j.jtice.2016.09.008.

60. Song Q. Synthesis and characterization of N-succinyl-O-carboxymethyl chitosan for Pb (II) ions adsorption. / Q. Song, C. Wang, J. Gao, Y. Ding // *Desalination Water Treat.* — 2017. — Vol. 71. — P. 359–368.

61. Borsagli F. G. L. M. Chemically Modified Chitosan Bio-Sorbents for the Competitive Complexation of Heavy Metals Ions: A Potential Model for the Treatment of Wastewaters and Industrial Spills / F. G. L. M. Borsagli, A. Borsagli // *J. Polym. Environ.* — 2019. — Vol. 27, № 7. — P. 1542–1556. doi:10.1007/s10924-019-01449-4.

62. Farion I. Functionalization of chitosan with carboxylic acids and derivatives of them: Synthesis issues and prospects of practical use: A review / I. Farion, V. Burdukovskii, B. C. Kholkhoev, P. Timashev, R. Chailakhyan // *Express Polym. Lett.* — 2018. — Vol. 12, № 12. — P. 1081–1105.

63. Strätz J. Development of hydrogels based on oxidized cellulose sulfates and carboxymethyl chitosan / J. Strätz, A. Liedmann, M.-L. Trutschel, K. Mäder, T. Groth, S. Fischer // *Cellulose.* — 2019. — Vol. 26, № 12. — P. 7371–7382. doi:10.1007/s10570-019-02596-6.

64. Ifthikar J. Facile One-Pot Synthesis of Sustainable Carboxymethyl Chitosan – Sewage Sludge Biochar for Effective Heavy Metal Chelation and Regeneration / J. Ifthikar, X. Jiao, A. Ngambia, T. Wang, A. Khan, A. Jawad, Q. Xue, L. Liu, Z. Chen // *Bioresour. Technol.* — 2018. — Vol. 262. — P. 22–31. doi:10.1016/j.biortech.2018.04.053.

65. Doshi B. Partially carboxymethylated and partially cross-linked surface of chitosan versus the adsorptive removal of dyes and divalent metal ions / B. Doshi, A. Ayati, B. Tanhaei, E. Repo, M. Sillanpää // *Carbohydr. Polym.* — 2018. — Vol. 197. — P. 586–597. doi:10.1016/j.carbpol.2018.06.032.

66. Lam B. Polymer-enhanced ultrafiltration for heavy metal removal: Influence of chitosan and carboxymethyl cellulose on filtration performances / B.

Lam, S. Déon, N. Morin-Crini, G. Crini, P. Fievet // *J. Clean. Prod.* — 2018. — Vol. 171. — P. 927–933. doi:10.1016/j.jclepro.2017.10.090.

67. Medeiros Borsagli F. G. L. O-carboxymethyl functionalization of chitosan: Complexation and adsorption of Cd (II) and Cr (VI) as heavy metal pollutant ions / F. G. L. Medeiros Borsagli, A. A. P. Mansur, P. Chagas, L. C. A. Oliveira, H. S. Mansur // *React. Funct. Polym.* — 2015. — Vol. 97. — P. 37–47. doi:10.1016/j.reactfunctpolym.2015.10.005.

68. Tian L. A facile DNA strand displacement reaction sensing strategy of electrochemical biosensor based on N-carboxymethyl chitosan/molybdenum carbide nanocomposite for microRNA-21 detection / L. Tian, J. Qi, X. Ma, X. Wang, C. Yao, W. Song, Y. Wang // *Biosens. Bioelectron.* — 2018. — Vol. 122. — P. 43–50. doi:10.1016/j.bios.2018.09.037.

69. Lu H.-T. Development of nanocomposite scaffolds based on biomineralization of N,O-carboxymethyl chitosan/fucoidan conjugates for bone tissue engineering / H.-T. Lu, T.-W. Lu, C.-H. Chen, K.-Y. Lu, F.-L. Mi // *Int. J. Biol. Macromol.* — 2018. — Vol. 120. — P. 2335–2345. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.08.179.

70. Huang Q. Graphene oxide functionalized O-(carboxymethyl)-chitosan membranes: Fabrication using dialysis and applications in water purification / Q. Huang, G. Li, M. Chen, S. Dong // *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.* — 2018. — Vol. 554. — P. 27–33. doi:10.1016/j.colsurfa.2018.05.089.

71. Chen C. Facile Hydrothermal Preparation of Carboxymethyl Chitosan Functionalized Hydrotalcite Composite with Enhanced Adsorption Capacity for Cu(II) Ions / C. Chen, H. Zeng, Y. Sun, S. Xu, J. Du, G. Xiao, J. Shen // *J. Nanosci. Nanotechnol.* — 2018. — Vol. 18, № 12. — P. 8225–8231. doi:10.1166/jnn.2018.16382.

72. Ding Y. Preparation of guanidinylated carboxymethyl chitosan and its application in the diffusive gradients in thin films (DGT) technique for measuring labile trace metals in water / Y. Ding, J. Yang, J. Cai // *Int. J. Environ. Anal. Chem.* — 2018. — Vol. 98, № 14. — P. 1275–1291. doi:10.1080/03067319.2018.1545901.

73. Zhou L. Adsorption of U(VI) onto the carboxymethylated chitosan/Na-bentonite membranes: kinetic, isothermic and thermodynamic studies / L. Zhou, J. Ouyang, H. Shehzad, Z. Le, Z. Li, A. A. Adesina // *J. Radioanal. Nucl. Chem.* — 2018. — Vol. 317, № 3. — P. 1377–1385. doi:10.1007/s10967-018-6009-8.

74. Luo J. Novel graphene oxide/carboxymethyl chitosan aerogels via vacuum-assisted self-assembly for heavy metal adsorption capacity / J. Luo, C. Fan, Z. Xiao, T. Sun, X. Zhou // *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.* — 2019. — Vol. 578. — P. 123584. doi:10.1016/j.colsurfa.2019.123584.

75. Yan H. Enhanced and selective adsorption of copper(II) ions on surface carboxymethylated chitosan hydrogel beads / H. Yan, J. Dai, Z. Yang, H. Yang, R. Cheng // *Chem. Eng. J.* — 2011. — Vol. 174, № 2. — P. 586–594. doi:10.1016/j.cej.2011.09.064.

76. Wu Z. Novel magnetic polysaccharide/graphene oxide @Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> gel beads for adsorbing heavy metal ions / Z. Wu, W. Deng, W. Zhou, J. Luo // *Carbohydr. Polym.* — 2019. — Vol. 216. — P. 119–128. doi:10.1016/j.carbpol.2019.04.020.

77. Song Q. Adsorption of Cu(II) and Ni(II) using a Novel Xanthated Carboxymethyl Chitosan / Q. Song, C. Wang, Z. Zhang, J. Gao // *Sep. Sci. Technol.* — 2014. — Vol. 49, № 8. — P. 1235–1243. doi:10.1080/01496395.2013.872656.

78. Zeng H. Amido-functionalized carboxymethyl chitosan/montmorillonite composite for highly efficient and cost-effective mercury removal from aqueous solution / H. Zeng, L. Wang, D. Zhang, F. Wang, V. K. Sharma, C. Wang // *J. Colloid Interface Sci.* — 2019. — Vol. 554. — P. 479–487. doi:10.1016/j.jcis.2019.07.029.

79. Zhang D. A three-dimensional macroporous network structured chitosan/cellulose biocomposite sponge for rapid and selective removal of mercury(II) ions from aqueous solution / D. Zhang, L. Wang, H. Zeng, P. Yan, J. Nie, V. K. Sharma, C. Wang // *Chem. Eng. J.* — 2019. — Vol. 363. — P. 192–202. doi:10.1016/j.cej.2019.01.127.

80. Valizadeh S. Development of bioactive composite films from chitosan and carboxymethyl cellulose using glutaraldehyde, cinnamon essential oil and oleic acid

/ S. Valizadeh, M. Naseri, S. Babaei, S. M. H. Hosseini, A. Imani // *Int. J. Biol. Macromol.* — 2019. — Vol. 134. — P. 604–612. doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.05.071.

81. Chen Y. X. Adsorption characterization of lead(II) and cadmium(II) on crosslinked carboxymethyl starch / Y. X. Chen, B. H. Zhong, W. M. Fang // *J. Appl. Polym. Sci.* — 2012. — Vol. 124, № 6. — P. 5010–5020. doi:10.1002/app.35607.

82. Qu R. Syntheses and properties of carboxymethyl chitosan/urea–formaldehyde snake-cage resins / R. Qu, Y. Sun, C. Wang, S. Lu, H. Yu, G. Cheng // *J. Appl. Polym. Sci.* — 2002. — Vol. 84, № 2. — P. 310–317. doi:10.1002/app.10331.

83. Wu S.-P. Fabrication of carboxymethyl chitosan–hemicellulose resin for adsorptive removal of heavy metals from wastewater / S.-P. Wu, X.-Z. Dai, J.-R. Kan, F.-D. Shilong, M.-Y. Zhu // *Chin. Chem. Lett.* — 2017. — Vol. 28, № 3. — P. 625–632. doi:10.1016/j.ccllet.2016.11.015.

84. Christou C. Uranium adsorption by polyvinylpyrrolidone/chitosan blended nanofibers / C. Christou, K. Philippou, T. Krasia-Christoforou, I. Pashalidis // *Carbohydr. Polym.* — 2019. — Vol. 219. — P. 298–305. doi:10.1016/j.carbpol.2019.05.041.

85. Mahfouz M. G. Uranium extraction using magnetic nano-based particles of diethylenetriamine-functionalized chitosan: Equilibrium and kinetic studies / M. G. Mahfouz, A. A. Galhoum, N. A. Gomaa, S. S. Abdel-Rehem, A. A. Atia, T. Vincent, E. Guibal // *Chem. Eng. J.* — 2015. — Vol. 262. — P. 198–209. doi:10.1016/j.cej.2014.09.061.

86. Szlachta M. Effective separation of uranium from mine process effluents using chitosan as a recyclable natural adsorbent / M. Szlachta, R. Neitola, S. Peräniemi, J. Vepsäläinen // *Sep. Purif. Technol.* — 2020. — Vol. 253. — P. 117493. doi:10.1016/j.seppur.2020.117493.

87. Liu W. Efficiency and mechanism of adsorption of low-concentration uranium from water by a new chitosan/aluminum sludge composite aerogel / W. Liu,

L. Zhang, F. Chen, H. Wang, Q. Wang, K. Liang // Dalton Trans. — 2020. — Vol. 49, № 10. — P. 3209–3221. doi:10.1039/C9DT04670D.

88. Hamza M. F. Uranium and europium sorption on amidoxime-functionalized magnetic chitosan micro-particles / M. F. Hamza, J.-C. Roux, E. Guibal // Chem. Eng. J. — 2018. — Vol. 344. — P. 124–137. doi:10.1016/j.cej.2018.03.029.

89. Huang J. Electrosorption of uranium (VI) from aqueous solution by phytic acid modified chitosan: An experimental and DFT study / J. Huang, B. Huang, T. Jin, Z. Liu, D. Huang, Y. Qian // Sep. Purif. Technol. — 2022. — Vol. 284. — P. 120284. doi:10.1016/j.seppur.2021.120284.

90. Gapel G. Speciation of actinides / G. Gapel; eds. R. Cormelis, J. A. Caruso, H. Crews, K. G. Heumann // Handbook of elemental speciation II. Species in the environment, food, medicine and occupational health. Chichester, UK : Wiley, 2005. □ P. 509-563.

91. Перлова О.В. Особливості сорбції U (VI) на композитах, що містять гідратований діоксид титану та калій-кобальт гексаціаноферрат (II) / О.В. Перлова, Ю.С. Дзязько, О.О. Маліновська, О.В. Пальчик // Хімія Фізика Та Технологія Поверхні. — 2021. — Вип. 12, № 4. — С. 344–357.

92. Dzyazko Y. S. Advanced Carbon Nanomaterials and Their Composites for Removal of U (VI) Compounds from Aqueous Solutions / Y. S. Dzyazko, O. V. Perlova, I. Martovyi. — Springer, 2023.

93. Perlova O. V. Composites based on zirconium dioxide and zirconium hydrophosphate containing graphene-like additions for removal of U (VI) compounds from water / O. V. Perlova, Y. S. Dzyazko, A. Palchik, I. Ivanova, N. Perlova, M. Danilov, I. Rusetskii, G. Y. Kolbasov, A. Dzyazko // Appl. Nanosci. — 2020. — Vol. 10. — P. 4591–4602.

94. Perlova O. Hydrated titanium dioxide modified with potassium cobalt hexacyanoferrate (II) for sorption of cationic and anionic complexes of uranium (VI) / O. V. Perlova, Y. S. Dzyazko, O. Palchik, I. Martovyi // Appl. Nanosci. — 2021. — P. 1–13.

95. Саввин С. Б. Арсеназо III. Методы фотометрического определения редких и актинидных элементов / С. Б. Саввин. – М.: Атомиздат. – 1966. – 256 с.

96. Полянский Н. Г. Методы исследования ионитов / Н. Г. Полянский, Г. В. Горбунов, Н. Л. Полянская. – М. : Химия. – 208 с.

97. Stefaniak A. B. Influence of artificial gastric juice composition on bioaccessibility of cobalt- and tungsten-containing powders / A. B. Stefaniak, M. Abbas Virji, C. J. Harvey, D. C. Sbarra, G. A. Day, M. D. Hoover // *Int. J. Hyg. Environ. Health.* — 2010. — Vol. 213, № 2. — P. 107–115. doi:10.1016/j.ijheh.2009.12.006.

98. Солдаткіна Л.М. Адсорбенти та адсорбційні процеси в розв'язанні проблеми охорони навколишнього середовища. Методичні вказівки до лабораторного практикуму для студентів 4 курсу д/в хім.ф-ту. - Одеса, ОНУ. - 2012. - 40с.