

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: «**Фізико-хімічні закономірності вилучення сполук
урану з розбавлених водних розчинів модифікованими
волокнистими сорбентами**»

“Physical-chemical Regularities of Uranium Compounds Removal from diluted aqueous
solutions by Modified Fibrous Sorbents”

Виконала: студентка денної форми навчання
спеціальності 102 Хімія

Долинюк Ксенія Миколаївна

Керівник: 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. Марцинко О.Е.
(підпис)

Одеса – 2021

РЕФЕРАТ

Дипломна робота виконана на кафедрі фізичної та колоїдної хімії Одеського національного університету імені І. І. Мечникова та присвячена вилученню урану (VI) з водних розчинів методом сорбції.

Мета роботи: встановити фізико-хімічні закономірності вилучення сполук урану з розбавлених водних розчинів модифікованими волокнистими сорбентами на прикладі аніоніту ФІБАН А-6, модифікованого наночастинками SnO_2 .

Досліджено сорбцію карбонатних комплексів урану (VI) з розчинів за допомогою волокнистого аніоніту ФІБАН А-6, модифікованого наночастинками SnO_2 . Вивчено кінетику процесу сорбції залежно від витрати сорбенту та вихідної концентрації урану в розчині, розраховано основні кінетичні характеристики процесу сорбції з використанням моделей псевдо-першого та псевдо-другого порядку, Вебера-Морріса та Єловича. Одержано ізотерми сорбції урану, проведено їх моделювання з використанням моделей Генрі, Ленгмюра, Фрейндліха, Дубініна-Радущкевіча, Фрумкіна, розраховано константи цих моделей та термодинамічні параметри сорбції. Встановлено, що сорбція карбонатних форм урану дослідженим сорбентом є самочинним ендотермічним процесом, супроводжується збільшенням ентропії. Встановлена доцільність використання модифікованого волокнистого аніоніту ФІБАН А-6 для вилучення малих кількостей урану з модельних розчинів, які імітували технологічні розчини.

Можлива галузь використання: очистка природних та стічних вод підприємств, які переробляють сировину, що містить сполуки урану (VI).

Ключові слова: сорбція; уран (VI); волокнисті сорбенти; аніоніт ФІБАН А-6; модифіковані сорбенти.

Дипломна робота викладена на 72 стор. машинописного тексту, містить 14 рис., 24 табл., 73 використаних джерел літератури.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	6
1.1 Класифікація волокнистих іонітів.....	6
1.2 Волокнисті матеріали – ефективні сорбенти іонів полівалентних металів.....	8
1.3 Відомості про сорбцію урана з водних розчинів матеріалами різної природи.....	13
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	20
2.1 Матеріали і методи дослідження	20
2.2 Результати та їх обговорення.....	23
2.2.1. <i>Вплив витрати сорбенту</i>	23
2.2.2. <i>Вплив вихідної концентрації урану</i>	34
2.2.3. <i>Сорбція урану з модельних розчинів, що імітують технологічні розчини</i>	44
2.2.4. <i>Рівновага та термодинаміка сорбції урану</i>	49
ВИСНОВКИ	62
ЛІТЕРАТУРА	64
ДОДАТКИ	73

ВСТУП

Уран належить до рідкісних і розсіяних елементів, який неминуче присутній у воді, ґрунті та, концентруючись в харчовому ланцюжку, потрапляє в організм людини. Найбільш небезпечний уран в воді. Шахтні води, які утворюються при видобутку урану, а також стічні води, які утворюються на гірничо-збагачувальних комбінатах, мають бути ретельно очищені перед скиданням у відкриті водойми, так як вони часто містять домішки урану, які перевищують гранично-допустимі концентрації. На жаль, багато з існуючих методів очистки призводять до суттєвого вторинного забруднення води мінеральними сполуками, крім того, ці методи недостатньо ефективні, а більшість з них достатньо коштовні. При їх використанні утворюються великі об'єми концентратів, які складно переробляти. Тому розробка методів очищення води від домішок урану, заснованих на застосуванні високоефективних та доступних матеріалів, є актуальним завданням. Одним з цих методів є сорбція.

Мета роботи: встановити фізико-хімічні закономірності вилучення сполук урану з розбавлених водних розчинів модифікованими волокнистими сорбентами на прикладі аніоніту ФІБАН А-6, модифікованого наночастинками SnO_2 .

Для досягнення цієї мети слід було вирішити наступні завдання:

- вивчити кінетику сорбції залежно від витрати сорбенту та початкової концентрації урану в розчині;
- розрахувати основні кінетичні характеристики процесу сорбції з використанням кінетичних моделей псевдо-першого та псевдо-другого порядку, моделі Вебера-Морріса та експоненціальної моделі Єловича;
- з'ясувати можливість вилучення невеликих кількостей урану з модельних розчинів, що імітують технологічні розчини;
- одержати ізотерми сорбції урану при трьох температурах;

- провести моделювання експериментальних ізотерм сорбції моделями Генрі, Ленгмюра, Фрейндліха, Дубініна-Радушкевича, Тьомкіна та Фрумкіна;
- розрахувати термодинамічні характеристики сорбції.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено деякі фізико-хімічні закономірності вилучення сполук урану з розбавлених водних розчинів волокнистим аніонітом ФІБАН А-6, модифікованим наночастинками SnO_2 .

2. Показано, що волокнистий аніоніт ФІБАН А-6, модифікований наночастинками SnO_2 , є ефективним сорбентом для вилучення сполук урану з карбонатних середовищ та з модельних розчинів, що імітують технологічні води.

3. Знайдено, що волокнистий аніоніт ФІБАН А-6, модифікований наночастинками SnO_2 , виявляє підвищену селективність щодо сполук урану за наявності надлишку фонових електролітів порівняно з немодифікованим аніонітом ФІБАН А-6.

4. Всебічно досліджено кінетику сорбції залежно від витрати сорбенту та початкової концентрації урану в розчині з позицій формальної кінетики та з використанням сучасних кінетичних моделей псевдо-першого та псевдо-другого порядку, Вебера-Морріса та Єловича.

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

6. Проведено моделювання експериментальних ізотерм сорбції урану моделями Генрі, Ленгмюра, Фрейндліха, Дубініна-Радущкевича, Тьомкіна та Фрумкіна, розраховано константи кожної моделі та термодинамічні характеристики сорбції урану (зміну вільної енергії Гіббса, ентальпії та ентропії сорбції).

7. Встановлено, що експериментальні ізотерми адсорбції краще описується моделлю Дубініна-Радущкевича.

8. Запропоновано механізм адсорбції на підставі комплексу проведених досліджень, згідно якому адсорбція відбувається за хемосорбційним механізмом, який поєднується з іонним обміном за участю

аміногруп полімерної матриці та гідроксильних груп наночастинок модифікатору.

9. За проведеними дослідженнями опублікована робота Перлова О. В. Кінетика сорбції сполук урану (VI) волокнистим аніоном ФІБАН А-6, модифікованим SnO_2 / Перлова О. В., Дзязько Ю. С., Долинюк К. М., Пальчик О. В., Полікарпов А. П. // V Всеукраїнська наукова конференція «Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи», 15 квітня 2021 р.: Матеріали конференції. – Житомир: Видавець О. О. Євенок, 2021. – С. 182-183.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kosandrovich E. G. Fibrous Ion Exchangers. Ion Exchange Technology I: Theory and Materials / E. G. Kosandrovich, V. S. Soldatov. - Dordrecht, Heidelberg, New York, London: Springer, 2012. – P. 299-371.
2. Soldatov V.S. Syntheses and the main properties of fiban fibrous ion exchangers / V. S. Soldatov // Solvent Extraction and Ion Exchange. – 2008. – V. 26, №5. – P. 457-513.
3. Polikarpov A.P. FIBAN fibrous ion exchangers: Synthesis, modification, application / A. P. Polikarpov, A. A. Shunkevich, V. I. Grachek, G. V. Medyak // Russian Journal of General Chemistry. – 2017. – V. 87, №6. – P. 1418-1427.
4. Zagorodni A. A. Ion Exchange Materials: Properties and Applications / A. A. Zagorodni. – Elsevier, 2006. – 496 p.
5. Киселев А. В. Молекулярные основы адсорбционной хроматографии / А. В. Киселев, Д. П. Пошкус, Я. И. Яшин. – М. : Химия, 1986. – 272 с.
6. Helfferich F. Ion Exchange / F. Helfferich. – New York : Dover, 1995. – 836 p.
7. Аширов А. Ионообменная очистка сточных вод, растворов и газов / А. Аширов. – Л. : Химия, 1983. – 295 с.
8. Дубинин М. М. Адсорбция и пористость: учебное пособие / М. М. Дубинин. – М. : Изд-во ВАХЗ, 1972. – 128 с.
9. Курс физической химии, т. II / [под ред. Я. И. Герасимова]. – М. : Химия, 1973. – 624 с.
10. Иониты в химической технологии / [под ред. Б. П. Никольского, П. Г. Романкова]. – Л. : Химия, 1982. – 416 с.
11. Riemam W. Ion Exchange in Analytical Chemistry / W. Riemam, H. Walton. – Oxford: Pergamon Press, 1970. – 310 p.
12. Кельцев Н. В. Основы адсорбционной техники / Н. В. Кельцев. – М. : Химия, 1984. – 586 с.

13. Салдадзе К. М. Комплексообразующие иониты (комплекситы) / К. М. Салдадзе, В. Д. Копылова-Валова. – М.: Химия, 1980. – 336 с.

14. Bendjeffal H. Effect of the chelating agents on bio-sorption of hexavalent chromium using *Agave sisalana* fibers / H. Bendjeffal, A. Djebli, H. Mamine, T. Metidji, M. Dahak, N. Rebbani, Y. Bouhedja // *Chinese Journal of Chemical Engineering*. – 2018. – V. 26, № 5. – P. 984-992.

15. Niu Y. Preparation of cotton-based fibrous adsorbents for the removal of heavy metal ions / Y. Niua, W. Hua, M. Guo, Y. Wang, J. Jia, Z. Hu // *Carbohydrate Polymers*. – 2019. – V. 225. – P. 1-9.

16. Silva N. H. C. S. Dual nanofibrillar-based bio-sorbent films composed of nanocellulose and lysozyme nanofibrils for mercury removal from spring waters / N. H. C. S. Silva, P. Figueira, E. Fabre, R. J. B. Pinto, M. E. Pereira, A. J. D. Silvestre, I. M. Marrucho, C. Vilela, C. S. R. Freire // *Carbohydrate Polymers*. – 2020. – V. 238. – P. 1-10.

7. Mahmudi M. Synthesis and adsorption behavior of dendritic Fibrous Nano-silica (DFNS) grafted by d-penicillamine as an advanced nanomaterial for the removal of some metal ions from contaminated water / M. Mahmudi, N. Shadjou, F. A. M. Hasanzadeh // *Journal of Electroanalytical Chemistry*. – 2019. – V. 848. – P. 1-8.

18. Deng S. Efficient and enhanced Hg^{2+} removal from water using a thio functionalized fibrous adsorbent prepared with microwave irradiation: Batch and fixed-bed column study / S. Deng, C. Yu, X. Liu, F. Wu, H. Lin, J. Liao, F. Liu // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – V. 267. – P. 1-30.

19. Романчук А. Ю. Новый метод извлечения и связывания Th (IV) и других радионуклидов путем формирования сорбента на основе волокнистого гидроортофосфата церия (IV) в жидких средах / А. Ю. Романчук, Т. О. Шекунова, В. Г. Петрова, А. Е. Баранчикова, О. С. Иванова, Х. Э. Ёрова, В. К. Иванов, С. Н. Калмыков // *Радиохимия*. – 2018. – Т. 60, № 6. – С. 525-529.

20. Yuan, L.-Y. A new family of actinide sorbents with more open porous structure: Fibrous functionalized silica microspheres / L.-Y. Yuan, G. Gao,

C.-Q. Feng, Z.-F. Chai, W.-Q. Shi // *Chemical Engineering Journal*. – 2020. – V. 385. – P. 1-23.

21. Christoua C. Uranium adsorption by polyvinylpyrrolidone/chitosan blended nanofibers / C. Christoua, K. Philippoub, T. Krasia-Christoforoua, I. Pashalidisb // *Carbohydrate Polymers*. – 2019. – V. 219. – P. 298-305.

22. Yang P. Highly efficient immobilization of uranium (VI) from aqueous solution by phosphonate-functionalized dendritic fibrous nanosilica (DFNS) / P. Yang, Q. Liu, J. Liu, R. Chen, R. Li, X. Bai, J. Wang // *Journal of Hazardous Materials*. – 2019. – V. 363. – P. 248-257.

23. Соколова Ю. В. Исследование сорбции скандия на волокнистом азотфосфорсодержащем ионите / Ю. В. Соколова, К. Ю. Пироженко // *Сорбционные и хроматографические процессы*. – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 373-380.

24. Широкая А. А. Сорбционное извлечение платиновых металлов из кислых хлоридно-сульфатных и сульфатных растворов волокнами ФИБАН / А. А. Широкая, С. В. Дрогобужская, С. А. Соловьев // *Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева ФИЦ КНЦ РАН*. – 2019. – Т. 62, № 11. – С. 117-125.

25. Широкая А. А. Применение пан-волокон ФИБАН для извлечения осмия и иридия / А. А. Широкая, С. В. Дрогобужская // *Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева ФИЦ КНЦ РАН*. – 2019. – Т. 10, № 1-3. – С. 426-433.

26. Перегудов Ю. С. Применение ионообменного волокна на стадии доочистки сточных вод гальванического производства / Ю. С. Перегудов, А. В. Тимкова, Е. М. Горбунова, С. Е. Плотникова // *Вестник ВГУИТ*. – 2018. – Т. 80, № 4. – С. 330-336.

27. Kong L. Uranium extraction using hydroxyapatite recovered from phosphorus containing wastewater / L. Kong, Y. Ruan, Q. Zheng, M. Su, Z. Diao, D. Chen, L. Hou, X. Chang, K. Shih // *Journal of Hazardous Materials*. – 2020. – V. 382. – P. 267-274.

28. Wang F. Poly(amidoamine) dendrimer decorated dendritic fibrous nano-silica for efficient removal of uranium (VI) / F. Wang, Y. Liao, L. Xia // *Journal of Solid State Chemistry*. – 2021. – V. 303. – P. 123-133.

29. Tang Y. Irradiation-stable hydrous titanium oxide-immobilized collagen fibers for uranium removal from radioactive wastewater / Y. Tang, J. Zhou, J. Guo, X. Liao, B. Shi // *Journal of Environmental Management*. – 2021. – V. 283. – P. 344-355.

30. Tian Y. Synthesis of phosphorylated hyper-cross-linked polymers and their efficient uranium adsorption in water / Y. Tian, L. Liu, F. Ma, X. Zhu, H. Dong, C. Zhang, F. Zhao // *Journal of Hazardous Materials*. – 2021. – V. 419. – P. 146-158.

31. Syczewski M. D. Phosphogypsum and clay mineral/phosphogypsum ceramic composites as useful adsorbents for uranium uptake / M. D. Syczewski, A. Borkowski, J. Raczko, K. Mordak, I. Grądziel, R. Siuda // *Applied Geochemistry*. – 2020. – V. 123. – P. 291-301.

32. Tang X. Preparation of porous chitosan/carboxylated carbon nanotube composite aerogels for the efficient removal of uranium (VI) from aqueous solution / X. Tang, L. Zhou, Z. Le, Y. Wang, Z. Liu, G. Huang, A. A. Adesina // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2020. – V. 160. – P. 1000-1008.

33. Bai J. A novel functional porous organic polymer for the removal of uranium from wastewater / J. Bai, X. Ma, H. Yan, J. Zhu, K. Wang, J. Wang // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2020. – V. 306. – P. 783-791.

34. Nezhad M. Selective and highly efficient removal of uranium from radioactive effluents by activated carbon functionalized with 2-aminobenzoic acid as a new sorbent / M. Nezhad, A. Semnani, N. Tavakkoli, M. Shirani // *Journal of Environmental Management*. – 2021. – V. 299. – P. 1023-1038.

35. Giannakoudakis D. A. Enhanced uranium removal from acidic wastewater by phosphonate-functionalized ordered mesoporous silica: Surface chemistry matters the most / D. A. Giannakoudakis, I. Anastopoulos, M. Barczak, E. Antoniou, K. Terpiłowski, E. Mohammadi, M. Shams, E. Coy, A. Bakandritsos,

I. A. Katsoyiannis, J. C. Colmenares, I. Pashalidis // *Journal of Hazardous Materials*. – 2021. – V. 413. – P. 1-12.

36. Yaroshenko N. A. Sorption of uranium compounds by zirconium-silica nanosorbents / N. A. Yaroshenko, V. F. Sazonova, O.V. Perlova, N. A. Perlova // *Russian journal of applied chemistry*. – 2012. – V. 85, № 6. – P. 849-855.

37. Перлова О. В. Кинетика сорбции соединений урана (VI) цирконий-кремнеземными наносорбентами / О. В. Перлова, В. Ф. Сазонова, Н. А. Перлова, Н. А. Ярошенко // *Журнал физической химии*. – 2014. – Т. 88, № 6. – С. 1014- 1019.

38. Дзязько Ю. С. Органо-неорганический ионит, содержащий гидрофосфат циркония, для извлечения соединений урана (VI) из водных растворов / Ю. С. Дзязько, Н. А. Перлова, О. В. Перлова, В. Ф. Сазонова, Л. Н. Пономарева, Ю. М. Вольфович, А. В. Пальчик, В. В. Трачевский, В. Н. Беляков // *Хімія, фізика та технологія поверхні*. – 2016. – Т. 7. № 2. – С. 119-132.

39. Перлова О.В. Сорбция катионов UO_2^{2+} на полимерном ионите, модифицированном гидрофосфатом циркония / О. В. Перлова, Ю. С. Дзязько, Н. А. Перлова, В. Ф. Сазонова, А. В. Пальчик // *Вопросы химии и химической технологии*. – 2016. – №2. – С. 150-157.

40. Perlova O. V. Removal of uranyl cations from iron-containing solutions using composite sorbents based on polymer matrix / O. V. Perlova, Yu. S. Dzyazko, N. O. Perlova, V. F. Sazonova, I. Yu. Halutska // *Chemistry, Physics and Technology of Surface*. – 2017. – V. 8, № 1. – P. 30-43.

41. 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.

42. Perlova N. Formation of zirconium hydrophosphate nanoparticles and their effect on sorption of uranyl cations / N. Perlova, Yu. Dzyazko, O. Perlova, A. Palchik, V. Sazonova // *Nanoscale research letters*. – 2017. – V. 12. – P. 209-217.

43. Perlova O. V. Anion exchange resin modified with nanoparticles of hydrated zirconium dioxide for sorption of soluble U(VI) compounds / O.V. Perlova, Yu.S. Dzyazko, I.Yu. Halutska, N.O. Perlova, A.V. Palchik // *Springer proceedings in physics*. – 2018. – V. 210. – P. 3-15.

44. Dzyazko Yu. S. Effect of porosity on ion transport through polymers and polymer-based composites containing inorganic nanoparticles / Yu. S. Dzyazko, Yu. M. Volkovich, O.V. Perlova, L. N. Ponomaryova, N. O. Perlova, E. A. Kolomiets // *Springer proceedings in physics*. – 2019. –V. 222. – P. 235-253.

45. Perlova O.V. Composites based on zirconium hydrophosphate containing graphene-like additions for removal of U (VI) compounds from water / O. V. Perlova, Yu.S. Dzyazko, A.V. Palchik, I.S. Ivanova, N.O. Perlova, M.O. Danilov, I. A. Rusetskii, G.Ya. Kolbasov, A.G. Dzyazko // *Applied Nanoscience*. – № 10 – 2020. – P. 4591-4602.

46. Perlova O.V. Compounds on Inorganic Composites Containing Partially Unzipped Multiwalled Carbon Nanotubes // O. V. Prelova, I. S. Ivanova, Yu. S. Dzyazko, M. O. Danilov, I.A. Rusetskii, G. Ya. Kolbasov, Sorption of U (VI) // *Him. Fiz. Tehnol. Poverhni*. – 2021. – V. 12. – P. 16-31.

47. Perlova O.V. Hydrated titanium dioxide modified with potassium cobalt hexacyanoferrate (II) for sorption of cationic and anionic complexes of uranium (VI) / O. V. Perlova, Yu. S. Dzyazko, A.V. Palchik, I. S. Martovyi // *Appl. Nanosci*. – 2021. doi:10.1007/s13204-021-01721-x

48. Перлова О.В. Неорганічні та полімерні модифіковані сорбенти: вилучення урану (VI) з водних розчинів та регенерація / О. В. Перлова, Ю.С. Дзязько, І.С. Іванова, О.О. Маліновська, О.В. Пальчик // *Питання хімії та хімічної технології*. – 2018. – № 6. – С. 125-132.

49. Сазонова В. Ф. Сорбция соединений урана (VI) на поверхности волокнистого анионита из водных растворов / В. Ф. Сазонова, О. В. Перлова,

Н. А. Перлова, А. П. Поликарпов // Коллоидный журнал. – 2017. – Т. 79, № 2. – С. 270-277.

50. Патент України на винахід № 114845, МПК C02F 1/28 (2006.01), C02F 1/42(2006.01), C02F 101/20 (2006.01), B01D 15/04 (2006.01), B01J 41/12 (2017.01), B01J 47/014 (2017.01), B01J 47/127(2017.01), B01J 20/26 (2006.01) Спосіб вилучення урану (VI) із карбонатних розчинів / Сазонова В. Ф., Перлова Н. О., Перлова О. В. Палікарпау А. П.; власник патенту Одеський нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, Дзяржаўная навуковая установа "Інститут фізіка-арганічнай хіміі Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі", – а201511175; заявл. 13.11.15; опубл. 10.08.17, Бюл. № 15.

51. Перлова О. В. Сорбция соединений урана (VI) волокнистым катионитом ФИБАН К-1 из кислых сред / О. В. Перлова, В. Ф. Сазонова, Н. А. Перлова, А. П. Поликарпов // Вопросы химии и химической технологии. – 2019. – № 5. – С. 104-111.

52. Пат. на корисну модель № 114816 Україна, МПК C02 F 1/28, C02 F 101/20. Спосіб вилучення урану (VI) із азотнокислих та солянокислих розчинів / Перлова О. В., Сазонова В. Ф., Перлова Н. О.; власник патенту Одеський нац. ун-т ім. І. І. Мечникова. – № u201608450; заявл.26.08.16; опубл. 27.03.17, Бюл. № 6.

53. Перлова О.В. Извлечение и концентрирование соединений урана (VI) из нитратных растворов волокнистыми ионитами ФИБАН в динамических условиях/ О. В. Перлова, Е. И. Текменжи, Н. А. Перлова, А. П. Поликарпов // Вода: химия и экология. – 2016. – Т. 93, № 3. – С. 53-59.

54. Перлова О. В. Волокнисті іоніти ФІБАН як сорбенти сполук урану (VI) присутніх у сульфатних розчинах / О. В. Перлова, К. І. Текменжи, Н. О. Перлова, О. П. Полікарпов // Вісник ОНУ. Серія «Хімія». – 2019. – Т. 24, № 3. – С. 75-89.

55. Перлова О. В. Равновесие и механизм сорбции соединений урана (VI) цирконий-кремнеземным наносорбентом / О. В. Перлова, В. Ф. Сазонова, Н. А. Перлова // Український хімічний журнал. – 2014. – Т. 80, № 10. – С. 90-96.

56. Перлова О. В. Кінетика сорбції сполук урану (VI) волокнистим аніонітом ФІБАН А-6, модифікованим SnO_2 / Перлова О. В., Дзязько Ю. С., Долинюк К. М., Пальчик О.В., Полікарпов А.П. // V Всеукраїнська наукова конференція «Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи», 15 квітня 2021 р.: Матеріали конференції. – Житомир: Видавець О. О. Євенок, 2021. – С. 182-183.

57. Перлова О. В. Сорбция карбонатных форм урана (VI) в динамическом режиме с использованием волокнистых ионитов ФИБАН / О. В. Перлова, Е. И. Текменжи, Н. А. Перлова, А. П. Поликарпов // Радиохимия. – 2021. – Т. 63, № 5. – С. 1-12.

58. Gapel G. Handbook of Elemental Speciation II. Species in the Environment, Food, Medicine and Occupational Health / Eds R. Cornelis, H. Crews, J. Caruso, K.G. Heumann / Chichester, UK: Wiley. – 2005. – P. 509-563.

59. Tran E. L. Uranium and cesium sorption to bentonite colloids under carbonate-rich environments: implications for radionuclide transport / E. L. Tran, N. Teutsch, O. Klein-BenDavid, N. Weisbrod // Sci. Total Environ. – 2018. – V. – 643. – P. 260-269.

60. Singhal P. Magnetic nanoparticles for the recovery of uranium from sea water: Challenges involved from research to development // P. Singhal, B. G. Vats, V. Pulhani // J. Ind. Eng. Chem. – 2020. – V. 90. – P. 17-35.

61. Grenthe I. Chemical thermodynamics of uranium. – Paris: OECD publications, 2003. – 715 p.

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

63. Weber Jr. W. J. Kinetics of Adsorption on Carbon from Solution / Jr. W. J. Weber, J. C. Morris // Journal of the Sanitary Engineering Division. – 1963. – V. 89, №2. – P. 31-60.

64. Гельферих Ф. Иониты: Основы ионного обмена / Ф. Гельферих // М.: Изд-во Иностран. лит-ры, 1962. – 490 с.

65. Смирнов А. Д. Сорбционная очистка воды / Смирнов А. Д. // М. : Химия, 1982. – 168 с.
66. Sparks D.L. Kinetics of Soil Chemical Processes / D. L. Sparks // New York: Academic Press, 1989. – 210 с.
67. Javadian H. Application of kinetic, isotherm and thermodynamic models for the adsorption of Co (II) ions on polyaniline / H. Javadian // Journal of industrial and engineering chemistry. – 2014. – V.20, №6. – P. 4233-4241.
68. Громов Б. В. Введение в химическую технологию урана / Б. В. Громов. – М.: Атомиздат, 1978. – 336 с.
69. Парфит Г. Адсорбция из растворов на поверхностях твердых тел / Г. Парфит, К. Рочестер. – М.: Мир. – 1986. – 488 с.
70. Перлова О. В. Термодинамічні моделі вилучення токсичних речовин з водних розчинів: методичні вказівки для студентів III (освітньо-наукового) рівня вищої освіти спеціальності 102 Хімія / О. В. Перлова. – Одеса: Видавничий дім «Гельветика». – 2021. – 28 с.
71. Ayawei N. Modelling and interpretation of adsorption isotherms / N. Ayawei, A. Ebbelegi, D. Wankasi // Hindawi J. Chem. – 2017. – 3039817 <https://doi.org/10.1155/2017/3039817>
72. Zhao G. Sorption of Heavy Metal Ions from Aqueous Solutions: A Review / G. Zhao, X. Wu, X. Tan, X. Wang // Open Colloid Sci. J. – 2011. – V. 4. – P. 19-31.
73. Перлова Н. О. Сорбція сполук урану (VI) з водних розчинів синтетичними іонами: дис. ... канд. хім. наук, спеціальність 02.00.11 – колоїдна хімія (102 - Хімія). – Одеса, 2017. – 178 с.