

**ПОЛІМЕР-НЕОРГАНІЧНІ ВОЛОКНИСТІ ІОНІТИ
ДЛЯ АДСОРБЦІЙНОГО ВИЛУЧЕННЯ СПОЛУК U(VI)
ІЗ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ**

Перлова О.В.¹, Дзязько Ю.С.²

¹*Одеський національний університет імені І. І. Мечникова*

вул. Дворянська 2, 65082, м. Одеса

²*Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України*

пр. акад. Вернадського 32/34, 03142, м. Київ

olga_perlova@onu.edu.ua

Шахтні води, а також стічні води, які утворюються на гірничо-збагачувальних комбінатах, мають бути ретельно очищені перед скиданням у відкриті водойми, оскільки вони часто містять домішки урану, які перевищують гранично-допустимі концентрації [1]. Проте очищення зі застосуванням багатьох відомих методів призводить до вторинного забруднення води мінеральними або органічними сполуками, окрім того, вони недостатньо ефективні або досить коштовні. При їх використанні утворюються великі об'єми концентратів, які складно переробляти [2]. Тому актуальним є розроблення методів очищення води від домішок урану зі застосуванням високоефективних та доступних матеріалів. Нами були розроблені полімер-неорганічні сорбенти на основі біо- [3] та синтетичних полімерів [4, 5], а також неорганічні композити [6], недоліком яких є досить повільна сорбція. Серед вказаних матеріалів, найвищою швидкістю сорбції характеризуються іонообмінні смоли [4, 5]. Відомо, що у порівнянні зі смолами, на іонообмінних волокнах сорбція U(VI) відбувається більш швидко [7]. Для підвищення селективності аніонообмінні волокна модифікували наночастинками гідратованого діоксиду стануму (IV) (ГДС).

Полімерний іоніт характеризується кластерно-канальною структурою, яка формується при набуханні [5]. Розмір інкорпорованих частинок ГДС становить 3-5 нм – такі частинки, вірогідно, розташовуються у кластерах, де зосереджені

іонообмінні групи. Агрегати наночастинок (80-100 нм) локалізовані у міжгелевих проміжках, які утворені гідрофобними ділянками полімерних ланцюгів. Встановлено, що неорганічний модифікатор пришвидшує швидкість сорбції U(VI) з карбонатних розчинів: час напівобміну становить 5 (полімер) та 10 хв. (композит) (рис. 1а). Пришвидження сорбції може бути спричинено збільшенням співвідношення об'ємів нанорозмірних кластерів та каналів, діаметр яких становить 1-2 нм [5]. Для обробки залежностей ступеня вилучення U(VI) (S) від часу (t) застосовано ряд підходів – найкращу відповідність експериментальним даним знайдено для моделі Єловича, яка передбачає внесок як сорбції, так і десорбції з урахуванням зміни щільності покриття поверхні. Десорбція має значний вплив при наближенні до рівноважного стану (рис. 1б):

$$A = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t$$

де: A – сорбційна ємність, α – початкова швидкість сорбції, β – константа десорбції (Табл. 1). Для композиту отримано вищі значення α та β .

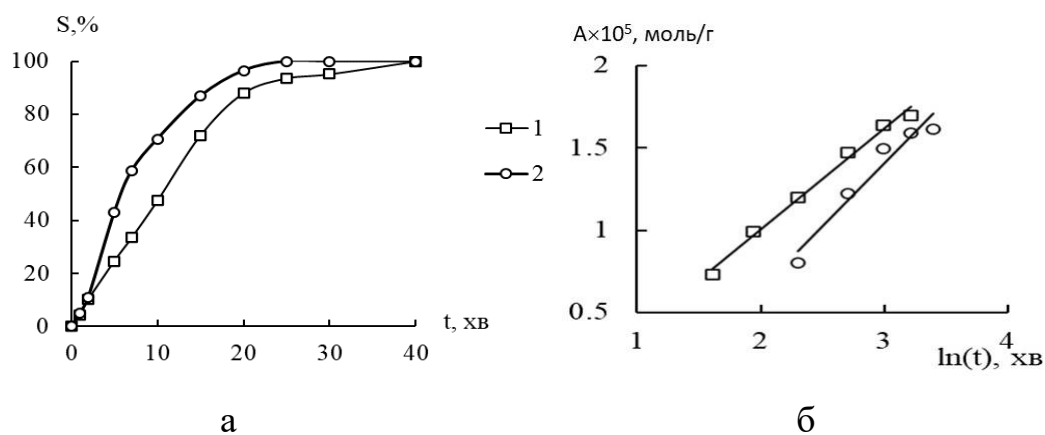


Рис. 1. Перебіг сорбції сполук U(VI) із карбонатних розчинів полімерним (1) та полімер-неорганічним волокнистим аніонітом (2): оригінальні дані (а) та застосування моделі Єловича (б).

Початкова концентрація U(VI) – 4 мг/дм³, рН 7.5, дозування сорбенту 1 г/л

Час досягнення рівноваги тим менший, чим більшим є дозування сорбенту (рис. 2а). Так, при дозуванні 0.5 г/дм³ цей час становить 12 хв, при 2 г/ дм³ – 10

хв, а при 4 г/дм³ він не перевищує 7 хв. При цьому U(VI) вилучається практично повністю (рис. 2.2 а).

Таблиця 1. Застосування моделі Єловича до сорбції U(VI)

Зразок	R ²	$\beta \cdot 10^5$, дм ³ /моль	$\alpha \cdot 10^{-5}$, моль/(г · хв)
Полімер	0.9475	1.31	0.69
Полімер + ГДС	0.991	1.64	1.72

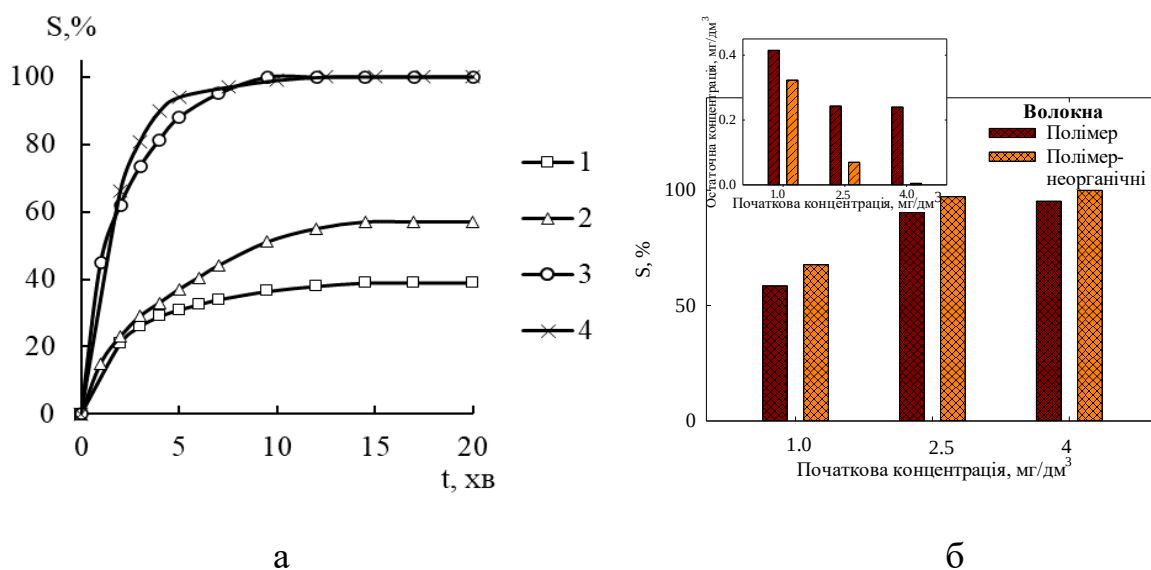


Рис. 2. Перебіг сорбції сполук U(VI) із карбонатних розчинів полімерним (1) та полімер-неорганічним волокнистим аніонітом (2) (а); ступінь вилучення та остаточно концентрація U(VI) (б).

Дозування сорбенту (г/дм³): 0.5 (1а); 1 (б); 1.5 (2а); 2.0 (3а); 4.0 (4а)

Використовували розчин, що імітує шахтні води, які утворюються при содовій обробці бідних уранових руд [57]. Окрім U(VI), розчини із рН 8 містили (ммоль/дм³): Ca²⁺ (1.1), Mg²⁺ (2.8), HCO₃⁻ (3.0) та Cl⁻ (0.76). На відміну від немодифікованого, полімер-неорганічний іоніт майже повністю вилучає U(VI) зі слабколужного комбінованого розчину – остаточно концентрація сполук важкого металу зменшується зі збільшенням його концентрації. При сорбційній обробці модельних розчинів, що містили 5 мг/дм³ урану, спостерігається практично повне його вилучення полімер-неорганічним аніонітом – залишкова концентрація нижча за ГДК навіть у питній воді. Отже, наявність у складі модифікованих волокон додаткових сорбційних центрів (наночастинок ГДС)

підвищує їх селективність порівняно з полімером, окрім того, наночастинки модифікатору підвищують швидкість сорбції.

Література:

1. Abolli S., Yazdi, N.B., Khanizadeh, M., Salemi K., Bidoki M.Z., Mehrizi E.A. (2024). Understanding uranium distribution: A systematic review and meta-analysis in the context of drinking water resources. *Res. Eng.*, 22, 102152. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102152>
2. [Dinis M.L., Fiúza A. \(2021\). Mitigation of uranium mining impacts – a on groundwater remediation technologies. Geosciences, 11\(6\), 250. https://doi.org/10.3390/geosciences11060250](#)
3. Perlova O.V., Dzyazko Yu.S., Karimova M.E., Palchik O.V., Ponomaryova L.M., Kolomiets E.O. (2024). [Magnetite-containing composite based on corn cob cellulose for adsorption of U\(VI\) compounds. Him. Fiz. Tehnol. Poverhni., 15 \(4\), 561-573. https://doi.org/10.15407/hftp15.04.561](#)
4. Perlova O., Dzyazko Y., Perlova N., Palchik O., Rodyvylova R. (2026). Polymer-inorganic nanocomposites based on ion exchange resins: thermodynamics and mechanism of U(VI) sorption. *Springer Proc. Phys.*, 319, 269-283. https://doi.org/10.1007/978-3-031-99013-7_16
5. Dzyazko Y.S., Perlova O.V., Perlova N.A., Volfkovich Y.M., Sosenkin V.E., Trachevskii V.V., Sazonova V.F., Palchik A.V. (2017). [Composite cation-exchange resins containing zirconium hydrophosphate for purification of water from U\(VI\) cations. Desalination and Water Treatment, 69, 142-152. https://doi.org/10.5004/dwt.2017.0686](#)
6. Perlova O.V., Dzyazko Yu.S., Palchik O.V., Martovyi I.S. (2022). [Hydrated titanium dioxide modified with potassium cobalt hexacyanoferrate \(II\) for sorption of cationic and anionic complexes of uranium \(VI\). Appl. Nanosci., 12\(3\), 651-663. https://doi.org/10.1007/s13204-021-01721-x](#)
7. Zhou S., Dong F., Qin Y. (2023). [High efficiency uranium \(VI\) removal from wastewater by strong alkaline ion exchange fiber: effect and characteristic. Polymers, 15\(2\), 279. https://doi.org/10.3390/polym15020279](#)