



РОМАНОВА

Ірина Вікторівна –

доктор хімічних наук, завідувач відділу сорбції і тонкого неорганічного синтезу Інституту сорбції та проблем ендоекології НАН України

СЕЛЕКТИВНІ СОРБЕНТИ ДЛЯ ВИЛУЧЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ, ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ТА ЛІТІЮ З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

**Стенограма доповіді на засіданні
Президії НАН України 25 березня 2026 року**

У доповіді представлено окремі важливі результати фундаментальних і прикладних досліджень Інституту сорбції та проблем ендоекології НАН України з розроблення нових ефективних сорбентів. Проведені дослідження мають великий прикладний потенціал, оскільки закладають наукове підґрунтя для створення вітчизняних технологій очищення води та поводження з небезпечними відходами, що особливо важливо для відновлення територій, постраждалих унаслідок воєнних дій, а також для екологічної безпеки та раціонального використання природних ресурсів України.

Шановний Анатолію Глібовичу!

Шановні члени Президії!

Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України було засновано в січні 1991 р., зважаючи на позитивні результати робіт із застосування сорбентів як у медицині, так і для вилучення радіонуклідів із радіоактивно забруднених вод у зоні Чорнобильської АЕС.

Сьогодні, з огляду на виклики, пов'язані з російською повномасштабною збройною агресією проти України, особливої актуальності набувають питання екологічної безпеки, захисту водних ресурсів та ліквідації наслідків ведення інтенсивних воєнних дій. Руйнування промислової інфраструктури, ризики радіаційного забруднення, потрапляння важких металів та інших токсичних речовин у довкілля створюють додаткові загрози для екосистем та здоров'я населення. Саме тому розроблення високоселективних сорбентів для вилучення радіонуклідів, важких металів та інших небезпечних компонентів із водних середовищ є важливим науково-технічним завданням, що має стратегічне значення для екологічної безпеки, відновлення постраждалих територій і сталого розвитку держави.

В Інституті сорбції та проблем ендоекології НАН України ці питання вивчають у відділі сорбції і тонкого неорганічного син-

тезу, фундатором якого (як і загалом інституту) був доктор хімічних наук, професор, академік НАН України Володимир Васильович Стрелко. Останні 6 років відділ працює під моїм керівництвом. У 2021 р. до його складу увійшов відділ екологічної хімії, який очолював доктор хімічних наук, професор, член-кореспондент НАН України Борис Юрійович Корнілович — відомий фахівець у галузі радіохімії і дослідження властивостей природних глинистих матеріалів. Тому сьогодні я розповім про роботи нашого відділу, які ми виконували останнім часом як за традиційними, так і за новими для нас напрямками. Наразі у відділі працюють 15 науковців, з яких 3 доктори і 8 кандидатів наук. До складу відділу входять також лабораторія екологічної хімії (завідувач — доктор хімічних наук І.А. Ковальчук) та комплексна контрольно-аналітична лабораторія (завідувач — кандидат хімічних наук О.І. Закутевський).

Головний напрям нашої діяльності пов'язаний із синтезом, дослідженням та практичним застосуванням спеціалізованих сорбентів для вилучення з водних і складних розчинів основних неорганічних та органічних токсикантів, а саме: радіонуклідів, іонів важких металів, пестицидів, нафтопродуктів, барвників тощо.

Насамперед варто згадати сорбційні матеріали на основі неорганічних іонітів, осаджених на поверхні різних оксидних носіїв. Протягом десятиліть в Інституті відпрацьовувалися методики синтезу та досліджувалися властивості цих неорганічних іонітів, але їх практичне застосування було обмеженим через високу дисперсність зазначених матеріалів. Саме тому ми розробили методи нанесення таких іонітів, як фосфат цирконію, силікат титану, фероціанід нікелю, змішаний сульфат барію / кальцію, на поверхню оксидних носіїв — силікагелю, базальтового волокна, аеросилу. Отримані в такий спосіб сорбенти мають технологічно зручну форму (носій) з активною неорганічною фазою на поверхні (іоніт). Для прикладу на рис. 1 наведено зразок фосфату цирконію, нанесеного на поверхню силікагелю.

Спільно з Державним спеціалізованим підприємством «Чорнобильська АЕС» було про-

Рис. 1. Сорбент, одержаний послідовним нанесенням фосфату цирконію на силікагель



Рис. 2. Установка для очищення від радіонуклідів радіоактивно забруднених вод

ведено пілотні випробування синтезованих матеріалів, які засвідчили високу ефективність використання фосфату цирконію, нанесеного на силікагель, та силікату титану на базальтовому волокні в технологічному процесі очищення трапних вод від радіоізоотопів цезію-137 і стронцію-90 (зовнішній вигляд установки наведено на рис. 2).

Два інші матеріали — фероціанід нікелю та змішаний сульфат барію / кальцію, нанесені на поверхню аеросилу, проходили випробування в Інституті проблем безпеки атомних електростанцій НАН України в процесах вилучення радіонуклідів цезію, стронцію, плутонію, урану та америцію в динамічному режимі. Для фероціаніду нікелю, нанесеного на поверхню аеросилу, було отримано досить високі значення коефіцієнтів розподілу: ^{137}Cs — 19896, ^{90}Sr — 490, ^{238}Pu — 403, Am — 110, U — 404.

Однак, попри доволі непогані попередні результати, рівня очищення в 37 Бк/л, який до-

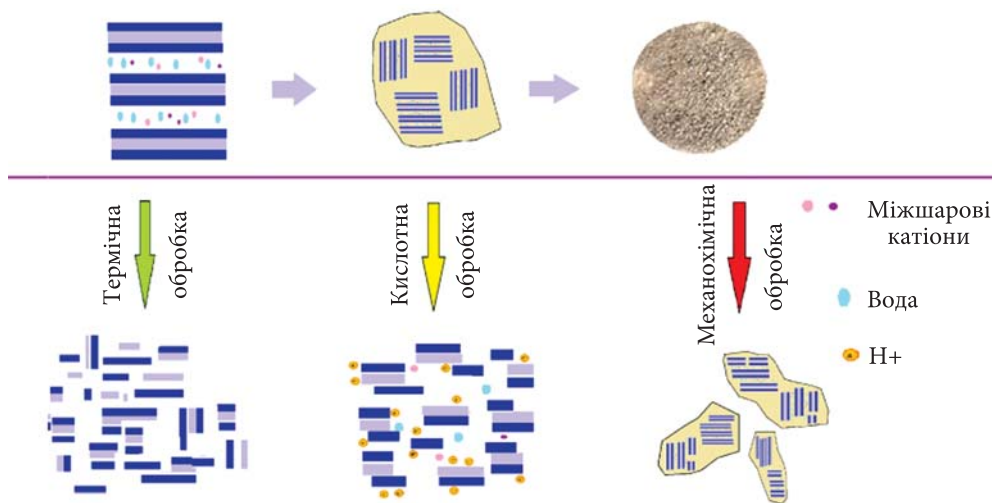


Рис. 3. Методи модифікування монтморилоніту

зволяє зливати очищену воду в каналізацію, досягти не вдалося. Тепер ми синтезували нові сорбенти з поліпшеними властивостями, перша партія яких очікує на проведення тестувань.

Інший напрям робіт нашого відділу, орієнтований на розвиток знань про оптимальні способи модифікування природних глинистих мінералів з метою підвищення їхніх адсорбційних властивостей щодо радіонуклідів та іонів важких металів, є продовженням досліджень, розпочатих свого часу членом-кореспондентом НАН України Б.Ю. Корніловичем. Основні підходи до модифікування таких природних глинистих мінералів, зокрема монтморилоніту, — це термічний, кислотний та механохімічний типи обробки (рис. 3). Показано, що такі фізико-хімічні перетворення приводять до значного зростання питомої поверхні та збільшення кількості активних центрів, що своєю чергою підвищує адсорбційну ємність мінералів.

Запропоновано механізм сорбції іонів Cs (I), Sr (II) і U (VI) за нейтрального рН, який полягає в поєднанні катіонного обміну в міжшаровому просторі та утворення внутрішньосферних комплексів на бічних гранях мінеральних частинок.

Ще одним етапом досліджень за цим напрямом стало цілеспрямоване модифікування поверхні монтморилоніту катіонними поверхнево-активними речовинами (ПАР), що при-

водить до змінення ліофільності, а отже, до розширення спектра сорбованих форм урану. Як катіонну ПАР використовували гексадецилтриметиламоній бромід. Досліджено два підходи: механохімічно активований монтморилоніт з ПАР та кислотно активований монтморилоніт з подальшою модифікацією ПАР.

У випадку механохімічно активованого монтморилоніту з ПАР поєднання механохімічної активації з органічною модифікацією дозволило істотно скоротити оптимальний час обробки вихідного матеріалу — до 10 хв порівняно з 2 год для немодифікованого монтморилоніту. При цьому сорбційна ємність щодо U (VI) сягає 470 мкмоль/г, що приблизно в 9 разів перевищує показники природного монтморилоніту. Для адсорбційних тестувань використовували реальну воду з уранового хвостосховища (м. Жовті Води).

Щодо кислотно активованого монтморилоніту, модифікованого катіонною ПАР, то його тестували як сорбент для очищення високомінералізованих вод. У таких середовищах уран перебуває переважно у формі нейтральних або негативно заряджених сульфатних і карбонатних комплексів, які практично дуже складно вилучити немодифікованими глинистими матеріалами. Показано, що органомонтморилоніт на основі кислотно активованого монтморилоніту забезпечує підвищення сорбції урану від

40 до 180 мкмоль/г. Це свідчить про змінення механізму сорбції та принципову можливість ефективного очищення мінералізованих техногенних вод із використанням доступних глинистих матеріалів.

Новий напрям досліджень відділу, започаткований у 2023 р., є актуальним як для України, так і в цілому у світі. Відомо, що Україна має найбільші в Європі запаси руд, до складу яких входить літій — надзвичайно важливий елемент для багатьох галузей обробної промисловості (виробництво кераміки та скла, мастильних матеріалів, полімерів, металургія), медицини (лікування маніакальної депресії та біполярного розладу), а також для виробництва ядерної зброї (одержання тритію). Останнім часом попит на мінерали літію значно зріс через застосування його сполук у виробництві літій-іонних акумуляторів, портативних електронних пристроїв, у системах зберігання енергії. За оцінками Геологічної служби США, Україна має у своїх надрах 5—10 % світових розвіданих запасів літію. Незалежно від джерела видобутку (розсоли або природна руда) іони літію в отриманих після первинної переробки розчинах зазвичай супроводжуються високими концентраціями інших катіонів, таких як Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} (розсоли містять 0,7—0,9 г/л Li^+ і приблизно 15—18 г/л Mg^{2+} та Ca^{2+}), які зазвичай видаляють осадженням на першій стадії, що призводить до значних втрат літію.

Наш відділ розробляв методи синтезу високоселективних сорбентів для вилучення літію в рамках виконання конкурсного проекту. Спочатку ми одержали сорбент, який являє собою кристалічну сполуку зі структурою шпінелі, формулу якої ($\text{H}_{1,6}\text{Mn}_{1,6}\text{O}_4$) було запропоновано на основі даних скануючої електронної мікроскопії та енергодисперсійної спектроскопії (SEM/EDS). З особливостей синтезу слід відзначити використаний нами підхід, який і гарантував високу селективність цього матеріалу. Спершу ми отримували шпінель наведеного вище складу, що містила іони літію, які потім вимивалися зі структури розведеною соляною кислотою (темплатний метод). Таким чином, із суміші іонів отриманий іоніт гарантовано

сорбує лише іони, розмір яких не перевищує розмір іонів літію. Процес адсорбції/десорбції можна повторювати кілька разів. Сорбент має високу адсорбційну ємність — для водних розчинів її максимальне значення становить 4,6 ммоль/г, або 32 мг/г, — і вона майже не зменшується у разі використання фонового електроліту. При цьому сорбент вилучає переважно літій (ступінь вилучення — 91 %) з розчину, який за складом іонів відповідає морської воді (див. табл.).

Для створення селективних сорбентів для концентрування літію ми використовували також сорбенти на основі оксидів титану, для синтезу яких застосували твердофазний метод та метод осадження. Як вихідні реагенти брали поширені сполуки: хлорид титану, гідроксид і карбонат літію, як альтернативу також використано дешевий титановмісний ресурс — відходи промислового процесу переробки ільменіту.

Адсорбційні дослідження засвідчили високу ємність саме відходів переробки ільменіту в процесі вилучення літію з водних розчинів — 6—10 ммоль/г, або 42—70 мг/г. Для формування у цих сорбентів селективності до іонів літію також застосовували темплатний метод. Найкращі зразки сорбентів було апробовано для сорбції літію з концентрату, отриманого нами після лужної переробки руди (петаліт) одного з найбільших українських родовищ літію — Полохівського. В результаті зразок, одержаний методом осадження з технологічного розчину, протягом 20 хв вилучив 97 % літію зі складного розчину, в якому містився надлишок іонів натрію і алюмінію (склад фільтрату: Li^+ — 33 ммоль/л, Na^+ — 6150 ммоль/л, Al^{3+} — 400 ммоль/л).

Вилучення літію з водних розчинів, які за складом іонів імітують морську воду

Іони	q_e , ммоль/г	K_d , мл/г
Li^+	1,03	936
K^+	0,03	3,5
Na^+	0,04	4,4
Ca^{2+}	0,2	20
Mg^{2+}	0,04	3,3

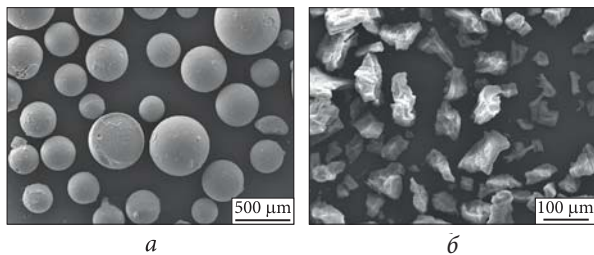


Рис. 4. Мікрофотографії СЕМ гранульованих матеріалів: а — силікат цирконію; б — силікат магнію



Рис. 5. Зразки синтезованих геополімерів

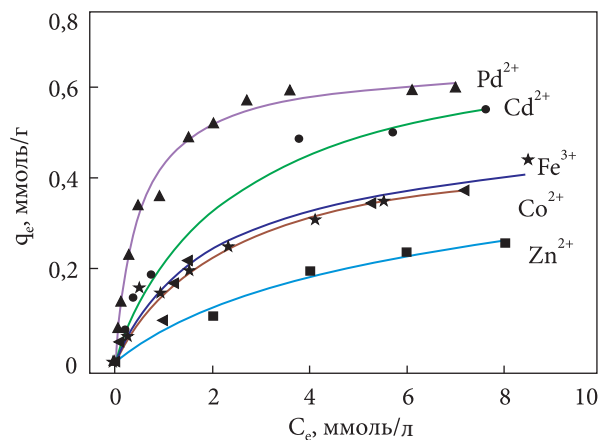


Рис. 6. Ізотерми сорбції іонів важких металів синтезованими геополімерами

Ще один перспективний метод синтезу, який ми практикуємо, було розроблено за участі академіка НАН України В.В. Стрелка. Йдеться про напівпромисловий спосіб одержання сферично гранульованих матеріалів з використанням скляної колони, заповненої ундеканом і водою. За весь період існування відділу цим способом було синтезовано близько десяти сполук, серед

яких найбільш ефективними виявилися фосфати титану та цирконію. До речі, їх широко застосовували під час ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС. Сьогодні за цією методикою ми синтезуємо два сорбенти — силікат цирконію ($ZrSi$) і гранульований силікат магнію ($MgSi$). На рис. 4 наведено мікрофотографії СЕМ цих сорбентів. Сферично гранульовані силікати цирконію і магнію було використано для вилучення арсенат-іонів з води з підвищеною мінералізацією (Закарпатська область, с. Кваси). Ступінь вилучення арсенатів, якщо їх вміст у воді не перевищує 0,2 ммоль/л, за допомогою магній силікату становив 90—100 %, цирконій силікату — 69—78 %.

Кілька років тому ми почали розробляти синтез дуже перспективних, на мою думку, матеріалів, які в світовій літературі здобули назву «геополімери». Ці неорганічні полімери, одержані з використанням каоліну та рідкого скла, використовували спочатку для виробництва надміцної цегли, стійкої до екстремальних температур та агресивного середовища, а також для захоронення радіоактивних відходів, і лише останнім часом на них звернули увагу як на перспективні сорбенти. Найчастіше геополімери застосовують у вигляді мембран або порошку. Ми розробили метод їх одержання у технологічно зручному вигляді (рис. 5). Основними перевагами таких сорбентів є дешева, українського походження сировина для їх синтезу, низька температура синтезу (60 °C), легкість коригування їхньої поруватої структури, можливість введення додаткових функціональних груп, висока міцність (на рівні цеолітів) і, головне, непогані адсорбційні властивості щодо іонів важких металів (рис. 6).

Ще один напрям нашої діяльності, який ми плануємо активно розвивати, пов'язаний з актуальною нині проблемою — очищенням ґрунтів, що зазнали забруднення внаслідок ведення воєнних дій. У лабораторії екологічної хімії, яка входить до складу нашого відділу, працює наукова група, відома своєю розробкою — вони створили біосорбційні матеріали з сільськогосподарських відходів, так зване біовугілля, зокрема модифіковане сіркою. Свого часу ця

група займалася знешкодженням пестицидів та нафтопродуктів у ґрунтах, а також очищенням ґрунтів від іонів важких металів. У лютому 2026 р. директор Інституту сорбції та проблем ендоекології НАН України член-кореспондент НАН України В.В. Брей підписав меморандум про інформаційну та консультативну взаємодію з центром узагальнення наслідків війни та екологічної безпеки, який входить до складу військової частини при Міністерстві оборони

України. Сподіваємося, що наш чималий досвід у синтезі та дослідженні ефективних адсорбційних матеріалів допоможе забезпечити екологічну безпеку та мінімізувати негативний вплив наслідків збройної агресії на довкілля і здоров'я населення.

Дякую за увагу!

*За матеріалами засідання
підготувала О.О. Мележик*

Iryna V. Romanova

Institute for Sorption and Problems of Endoecology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1437-2329>

SELECTIVE SORBENTS FOR THE REMOVAL OF RADIONUCLIDES,
HEAVY METALS AND LITHIUM FROM AQUEOUS SOLUTIONS

Transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, March 25, 2026

The report presents some important results of fundamental and applied research of the Institute for Sorption and Problems of Endoecology of the NAS of Ukraine on the development of new effective sorbents. The conducted research has great applied potential, as it forms a scientific basis for the creation of domestic technologies for water purification and hazardous waste management, which is especially important for the restoration of territories affected by military actions, as well as for environmental safety and rational use of natural resources of Ukraine.

Cite this article: Romanova I.V. Selective sorbents for the removal of radionuclides, heavy metals and lithium from aqueous solutions (transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, March 25, 2026). *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2026. (6): 38—43. <https://doi.org/10.15407/visn2026.06.038>