

УДК 541.18:542.8:632.12.12

ЕКОЛОГО-ХІМІЧНІ ТА ГІГІЄНІЧНІ АСПЕКТИ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ВИДОБУТКУ ТА ПЕРЕРОБЦІ УРАНОВИХ РУД (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)**Б.Ю. Корнілович¹, Ю.Й. Кошик², Л.М. Спасьонова³, В.Ю. Тобілко³**

¹ Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України, м. Київ, Україна; ² ДП "УкрНДПРІпромтехнології", м. Жовті Води, Україна; ³ Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ, Україна

В структурі споживання електричної та теплової енергії в Україні 45–50% відповідає енергії, що виробляється на атомних електростанціях. Відповідно до стратегії розвитку і в подальшому атомна енергетика буде залишатись базовою галуззю країни [1, 2]. В той же час виробництво енергії на атомних станціях пов'язано з суттєвими екологічними ризиками, що обумовило відмову ряду європейських країн від подальшого розвитку власної атомної галузі [3, 4].

За обсягами виробництва електроенергії атомними електростанціями Україна посідає місце в першій десятці найбільш розвинених країн світу. Однак, не зважаючи на те, що на території України знаходиться одна з найбільших у світі уранорудних провінцій, на цей час потреби власної атомної енергетики задовільняються за рахунок вітчизняного урану лише на 30 % [2]. Тому, одним з найважливіших завдань уранової промисловості України є збільшення виробництва концентрату природного урану до, як мінімум, повного забезпечення потреб вітчизняних АЕС. Також, з метою зменшення залежності від імпорту енергоносіїв, наразі в Україні проводяться роботи зі створення елементів власного

ядерно-паливного циклу, включаючи розвиток уранового виробництва, виробництво цирконієвих сплавів та фабрикацію тепловипромінюючих зборок.

З екологічної точки зору, головною характерною рисою видобувних та переробних підприємств ядерно-паливного циклу є радіоактивне забруднення навколишнього середовища твердими, рідкими та газоподібними відходами [3, 5]. Розгляд всіх інших видів екологічного впливу цих підприємств на довкілля має сенс лише за умови вирішення питання забезпечення необхідного рівня радіаційної безпеки. При розробці уранових родовищ в навколишнє середовище потрапляють радіонукліди всіх трьох радіоактивних рядів ^{238}U , ^{235}U і ^{232}Th , проте радіоактивність в основному обумовлена рядом ^{238}U , з якого найбільш активними є ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn та інші природні радіонукліди [6].

В останні роки додаткову увагу до проблеми токсичності урану було повернуто в зв'язку зі застосуванням у військових цілях так званого збідненого урану. Останній утворюється в збагачувальних процесах при одержанні урану

(^{235}U) реакторної якості. Вміст ^{235}U та ^{234}U зменшується відповідно з 0,72 та 0,006% в природному урані до 0,2 та 0,001% в збідненому. Залишковий ^{238}U (~99,8%) є слабким α , β та γ -випромінювачем. І хоча негативний вплив радіаційного фактору в цьому випадку значно зменшується, хімічні властивості збідненого урану ідентичні таким для природного урану. При цьому нещодавно одержані експериментальні дані свідчать про підвищену токсичність навіть збідненого урану [4, 7, 8].

Згідно діючих в США федеральних норм вміст урану в питній воді обмежується 30 мкг/дм³, що відповідає для природного урану 20 пКі/дм³. Для збідненого урану відповідна концентрація нормується на рівні 12 пКі/дм³ [4]. Визначення цих норм базується, головним чином, виходячи з хімічної токсичності урану. Встановлення гранично допустимих рівнів вмісту урану в повітрі проводилося виходячи з ризиків виникнення ракових захворювань, а для питної води – виходячи з ризиків ураження нирок. Всесвітня організація здоров'я рекомендує для питної води ще більш жорсткі норми – 15 мкг/дм³ [9]. В Україні, згідно ДСТУ 4808:2007 Джерела централізованого питного водопостачання, вміст природного урану в воді, що може бути використана для централізованого питного водопостачання, мусить не перевищувати 40 мкг/дм³ (<1Бк) [10].

Все це обумовлює той факт, що якщо наприкінці минулого сторіччя найбільшу увагу в світових науково-технічних програмах, пов'язаних з оздоровленням ситуації в регіонах видобутку та переробки уранових руд, приділяли мінімізації радіаційного фактору і, перш за все, зменшенню впливу радону, то в останні роки все більші зусилля вчених концентруються на вивченні поведінки саме урану, як хімічного елемента [11, 12].

Не зважаючи на досить низький вміст урану в рудах, родовища України мають низку особливостей, які забезпе-

чують конкурентну здатність виробленого уранового концентрату. Головним фактором є великі розміри та висока міцність вміщуючих порід уранових покладів, що дозволяє застосовувати високоефективні системи видобутку. Також невисокий вміст урану у рудах дає можливість застосовувати досить прості заходи радіаційного захисту.

Видобуток і переробка уранових руд в Україні здійснюється в Кіровоградській та Дніпропетровській областях на державному підприємстві "Східний гірничо-збагачувальний комбінат" (ДП „Схід ГЗК”), діючі виробничі потужності якого з видобутку руди розташовані в м. Кіровоград та с.м.т. Смоліно, а гідрометалургійний завод, що переробляє руду, в м. Жовті Води. Місто Жовті Води має велике народногосподарське значення, оскільки це єдиний в країні промисловий центр з переробки та первинного збагачення уранових руд, що вирішує загальнодержавні проблеми забезпечення атомної енергетики ядерним паливом. Завершується будівництво і підготовка до експлуатації пускового комплексу першої черги підприємства на базі Новоколятинівського родовища уранових руд (м. Мала Виска Кіровоградської обл.) [2].

Основними джерелами забруднення навколишнього середовища при видобутку та переробці радіоактивних руд є шахтні води та технологічні розчини гідрометалургійних заводів, а також тверді дисперсні відходи видобутку та переробки уранової руди. При цьому забруднюються як ґрунти промислових регіонів, так і поверхневі та підземні води [5, 13, 14].

Прикладом міста, де склалася несприятлива екологічна ситуація, можна навести м. Дніпродзержинськ Дніпропетровської області, в якому на невеликій території поряд з потужними металургійними та хімічними підприємствами розташовані основні виробництва колишнього ВО „Придніпровський хімічний завод”. За період діяльності цього

підприємства з 1948 по 1991 рік було створено 9 сховищ відходів, в яких зосереджено біля 42 млн. т відходів переробки уранвмісних шлаків, концентратів, уранових руд, інших видів сировини загальною активністю $3,17 \cdot 10^{15}$ Бк. Утворені на першому етапі виробництва відходи складавались у найближчих глиняних кар'єрах, які не були пристосовані для їх довготривалого зберігання і є джерелом постійного забруднення ґрунтів, поверхневих та підземних вод в результаті міграції радіонуклідів [6].

Джерелами техногенного забруднення є також забруднені промислові райони в м. Жовті Води. Особливістю екологічної обстановки у м. Жовті Води є радіаційне забруднення території, пов'язане з розробкою родовищ уранових руд та їх гідрометалургійною переробкою. На сьогоднішній день хвостосховища такого типу в Україні займають сотні гектарів родючих земель, а загальна кількість відходів уранового виробництва, що там накопичено, складає біля 102 млн. т з сумарною активністю $5,24 \cdot 10^{15}$ Бк [2]. Населення міста вимушене проживати у зоні довготривалого впливу техногенного радіаційного забруднення. Відмічається забруднення ґрунтів, води та атмосферного повітря такими радіонуклідами як уран-238,

радій-236, свинець-210 та полоній-210. Так, вміст природного урану в підземних водах в районі розташування одного з хвостосховищ відходів переробки уранових руд в цьому регіоні складає 1,3-5,7 Бк/дм³, а мінералізація сягає 2,9-4,8 г/дм³[15].

Проблема оздоровлення екологічної ситуації в місцях видобутку та переробки уранових руд вимагає застосування комплексного підходу внаслідок необхідності вирішення пов'язаних між собою задач ремедіації забруднених ґрунтів і очищення поверхневих і підземних вод. Складна хімія урану в водних розчинах (рис. 1), обумовлює можливість для цього елемента існування в навколишньому середовищі як у іонних (катионних і аніонних), так і в полімерних формах, а також в вигляді колоїдів або псевдоколоїдів. Необхідно також взяти до уваги високу здатність цього елемента до утворення міцних комплексів з наявними в забрудненому середовищі комплексоутворюючими речовинами природного (гумінові речовини тощо) та техногенного (ЕДТА – етилендіамінтетраоцтова кислота, нітрилтриоцтова кислота тощо) походження, що значно ускладнює аналіз можливої хімічної поведінки урану в цих умовах [15, 16].

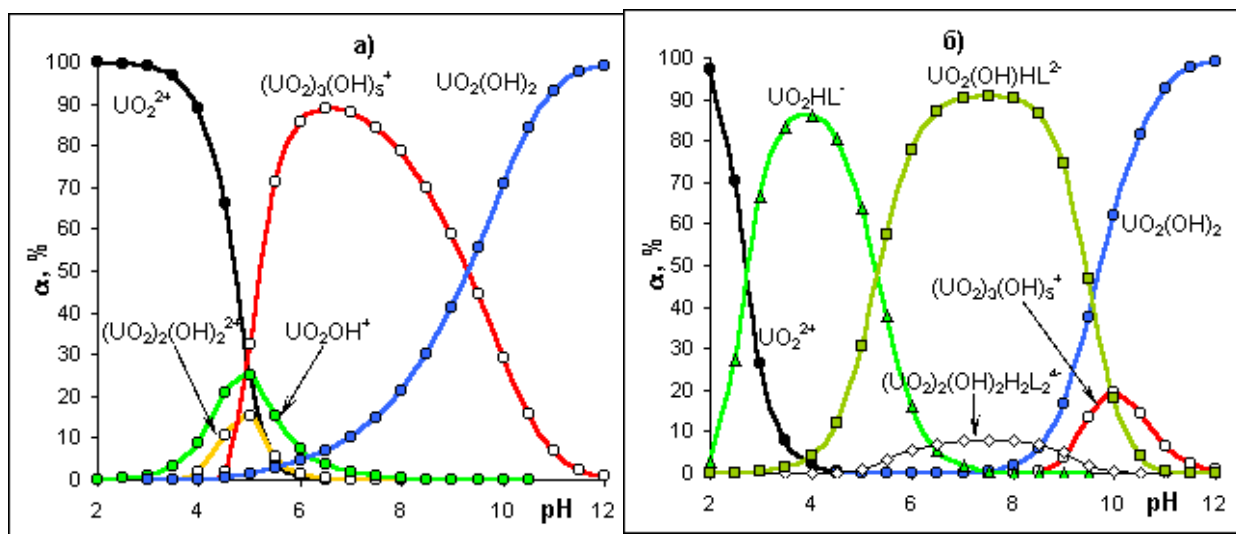


Рис. 1 – Розподіл форм урану (VI) в чистих водних розчинах (а) та в присутності комплексоутворювача ЕДТА (б)

Наразі для ремедіації забруднених ґрунтів застосовується цілий ряд ефективних методів, які можна поділити на дві основні групи: методи, які передбачають вилучення (ескавацію) ґрунтів або мулів з навколишнього середовища з їх подальшою обробкою і так звані *in situ* методи, які не передбачають ескавацію забрудненого матеріалу. Останні є значно дешевшими і, незважаючи на суттєво менший ступінь очищення, дозволяють досягти в значній кількості випадків, прийнятних за вартістю та ступенем очищення, результатів [12, 17]. Перш за все, це метод промивки ґрунтів, що базується на вилученні токсичних домішок із ґрунтів при промивці їх дезактивуючими розчинами (ЕДТА, НТА, органічні та неорганічні кислоти та їх суміші), які вводяться в масу ґрунту за допомогою спеціальних свердловин. Серед відносно нових перспективних методів очищення шламів та ґрунтів є так званий електрокінетичний або електрохімічний метод, основа якого полягає в застосуванні постійного електричного поля до електродів, занурених у дисперсне середовище, що очищається [17,18]. Ефективність електрокінетичного методу для очищення радіоактивно забрудненого ґрунту *in situ* була доведена під час дослідно-промислової перевірки на забрудненій промисловій ділянці на території гідрометалургійного заводу в м. Жовті Води [15].

Забруднення ґрунтів сполуками урану обумовлює потенційну загрозу відповідного забруднення поверхневих та підземних вод і потрапляння радіонуклідів навіть в водні об'єкти, що використовуються як джерела питного водопостачання. Очищення радіоактивно забруднених поверхневих, підземних та стічних вод є складним науково-технічним завданням в зв'язку з

можливою присутністю в них різних за природою та хімічною поведінкою органічних та неорганічних токсикантів на фоні підвищеного солемісту. Це визначає доцільність застосування практично всього спектру основних методів водочищення в залежності від форм урану в забруднених водах. Так, для видалення сполук урану, що сорбовані на грубодисперсних забрудненнях, звичайно використовують фільтрування, в той час як для тонкодисперсних уранвмісних систем (зависів, колоїдів, наночасток) більш придатний коагуляційний метод. Видалення ж катіонних чи аніонних форм урану проводять з використанням методів іонного обміну, співосадження, мікробіологічних методів або різних модифікацій мембранних методів [15, 19, 20].

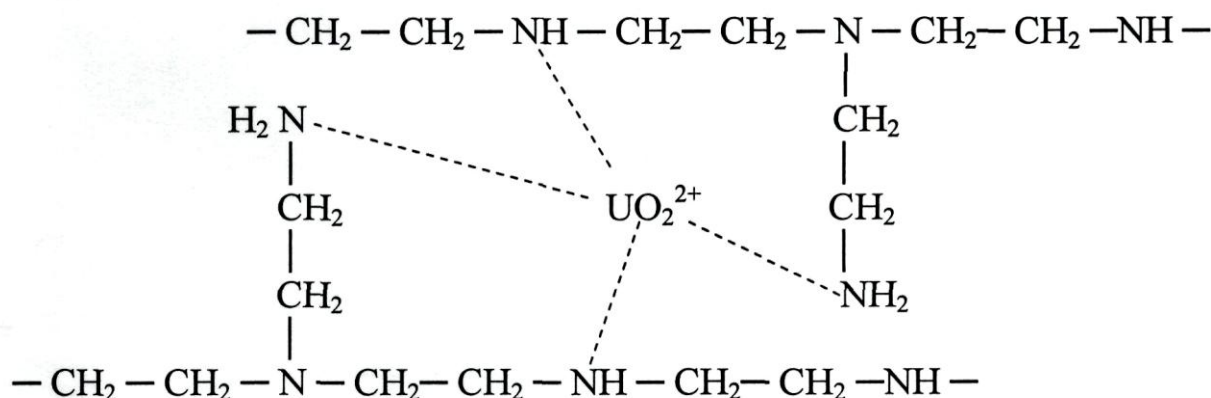
Традиційним при очищенні уранвмісних поверхневих та підземних вод з метою їх наступного безпечного використання є застосування іонообмінних смол та різноманітних синтетичних та природних сорбентів, що дозволяє понизити вміст шкідливих компонентів до значень нижчих ГДК. Однак застосування сорбційних методів в практиці водоочищення не є завжди економічно обґрунтованим [21, 22].

В останні роки широкого застосування в хімічній технології і, в тому числі, при очищенні радіоактивно забруднених вод, набули мембранні методи. У випадку радіоактивно забруднених вод концентрація саме радіонуклідів є надзвичайно малою порівняно з концентраціями інших іонів. Однак, в традиційному мембранному процесі, в залежності від розміру пор в мембранах, видаленню підлягають ті чи інші однакові за розміром групи іонів або молекул. Тому разом з радіонуклідами одночасно видаляються і інші, різні за природою, але однакові за

розміром іони, що призводить до швидкого вичерпання ресурсу мембран внаслідок утворення на їх поверхні осадів відповідних солей. Для ефективного та економічно доцільного вирішення цієї проблеми необхідно застосування комбінації кількох сучасних методів.

Одним з найбільш перспективних, на наш погляд, є так званий метод комплексоутворення-ультрафільтрації, що базується на використанні переваг двох основних груп методів водоочищення – хімічних та мембранних і призначений для розділення розбавлених розчинів, які містять близькі за властивостями іони електролітів. В основі методу закладені селективні реакції важких металів та радіонуклідів з деякими розчинними високомолекулярними сполуками - поліелек-

тролітами з утворенням міцних комплексів. Такі полімерні комплекси за розміром можуть набагато перевищувати діаметр пор в ультрафільтраційних мембранах і тому будуть затримуватися на них в процесах розділення і залишатися в концентраті. Оптимальний вибір поліелектроліта є однією з необхідних передумов для успішного проведення такого варіанту мембранного розділення. Найчастіше при цьому використовують поліетиленімін, поліакрилову кислоту, полівініловий спирт, полівініламін, поліалкіламід, крохмаль, що утворюють міцні комплекси хелатної структури з різними металами за рахунок часткового депротонування молекул полімеру:



Всі ці полімери добре розчинні в воді, характеризуються значенням молекулярних мас у необхідному діапазоні (30000 – 100000) [15].

Проте головним напрямом зусиль вчених і спеціалістів є розробка заходів по виключенню можливості потрапляння відходів видобутку та переробки уранової сировини в навколишнє середовище.

Суттєву екологічну небезпеку при розробці уранових родовищ в Україні

представляють мінералізовані шахтні води, котрі утворюються при проведенні підземних робіт. Разом з підвищеним солевмістом, такі води характеризуються також присутністю в них більше 1,0 мг/дм³ урану, а їх кількість тільки на одному руднику може сягати до десяти тисяч кубічних метрів на добу [2].

Прикладом успішного вирішення складної природоохоронної задачі є розробка методів очищення уранвмісних мінералізованих шахтних вод, які відка-

чують з уранових шахт Східного ГЗК. За складом ці води можна віднести до кальцієво-магнієвого, сульфатно-гідрокарбонатного класу, в яких середня концентрація кальцію і магнію знаходиться на рівні 200 і 100 мг/дм³ відповідно, а концентрація сульфатів і бікарбонатів приблизно дорівнює 600 і 250 мг/дм³. При видаленні радіонуклідів актиноїдного ряду традиційно застосовують методи співосадження з використанням, як колекторів, солей барію чи кальцію. Для очищення шахтних вод від урану та інших природних радіонуклідів, а також супутніх важких металів був запропонований дешевий реагентний метод з використанням вапна (вапняне молоко). При цьому уран та інші домішки осаджуються разом зі змішаним колектором – гідроксидом магнію та карбонатом кальцію. В очищеній воді вміст U знижується з 1,20- 5,80 до 0,02-0,06 мг/дм³; Ra-226 з 3,40-13,0 до 0,17-0,65 Кі/дм³·10⁻¹¹; Th-230 з 1,10-14,80 до 0,09-1,18 Кі/ дм³·10⁻¹¹; Po-210 з 1,70-6,40 до 0,17-0,64 Кі/дм³·10⁻¹¹; Pb-210 з 3,20-8,01 до 0,19-0,48 Кі/дм³·10⁻¹¹ [15].

При очищенні великих об'ємів вод від радіоактивних забруднень достатньо ефективною також є коагуляція з використанням сульфатів алюмінію чи заліза, яка може забезпечити ступені очищення до 85 %. Проте коагуляційний метод є найефективнішим для видалення радіонуклідів, які знаходяться в гідролізованих і полімерних формах або в колоїдному стані, що обумовлено протилежним зарядом цих форм радіонуклідів та пластівців, які утворилися при гідролізі коагулянтів [15].

Потенційними джерелами забруднення для підземних та поверхневих

вод є також сховища рідких та шламоподібних відходів гідрометалургійної переробки уранових руд. На одну тонну руди, що переробляється на гідрометалургійних заводах, використовується в замкненому циклі до 4-5 м³ оборотної води зі ставків-відстійників хвостосховищ. Одним з найбільш поширених методів для знешкодження великих кількостей відходів з переважно невеликою токсичністю є їх ізоляція в навколишньому середовищі за допомогою бар'єрів, що виготовляються з таких матеріалів, як цемент, глина (бентоніт), полімерні плівки та ін. Проте, будь-яка інженерна споруда не гарантує 100 % ізоляції відходів і завжди існує ймовірність потрапляння токсикантів в підземні, а, згодом, і в поверхневі води.

В останні роки в США та країнах ЄС для охорони підземних вод широкого застосування набувають так звані проникні реакційноздатні бар'єри (ПРБ) [23-25]. Такі бар'єри створюються безпосередньо в ґрунті і представляють собою заповнені хімічно активним матеріалом проникні стінки, що розміщуються на шляху руху забруднених водних потоків (рис. 2). У міру проходження забрудненого потоку через бар'єр відбувається деградація забруднювачів за рахунок фізичних, хімічних та біологічних процесів. Як можливі матеріали для проникних хімічно активних бар'єрів застосовують різні речовини, зокрема, цеоліти, гідроксиапатит, сполуки заліза та інші. Одним з найбільш перспективних матеріалів для застосування в таких бар'єрах є нульвалентне залізо Fe⁰, властивості якого активно вивчали в останні роки [21, 26].

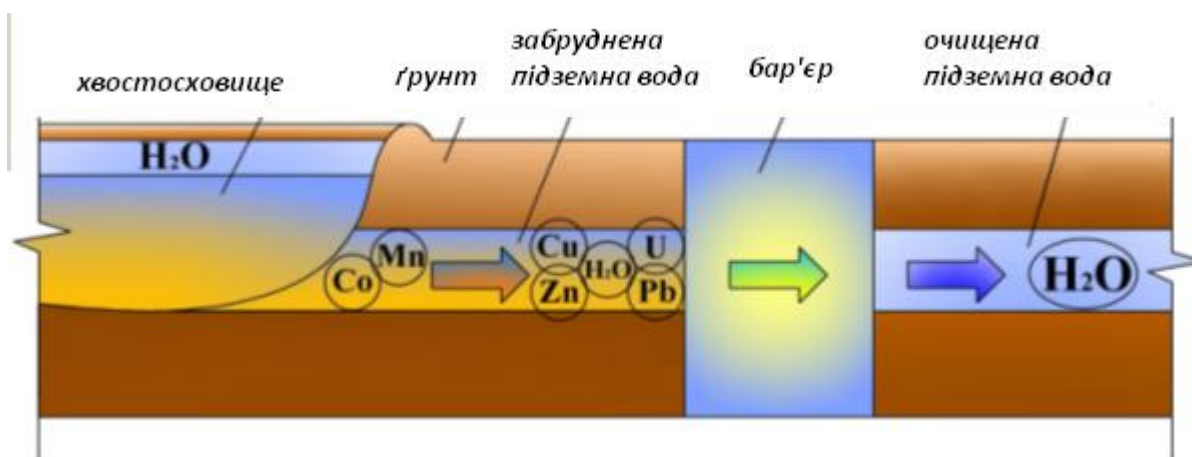


Рис. 2 – Схема дії проникного хімічно активного бар'єру

Випробування ефективності застосування проникних бар'єрів в Україні було проведено в 2011-2013 рр. в районі м. Жовті Води біля хвостосховища відходів гідрометалургійної переробки уранової руди в місці його найбільшого негативного впливу на стан підземних вод. Одержані результати (табл. 1) показали високу ефективність застосованого методу та доцільність його впровадження в

природоохоронну практику захисту підземних вод від забруднень різної хімічної природи [27].

До нових перспективних *in situ* методів відноситься і метод захисту підземних вод з використанням водних чи водно-органічних дисперсій нанорозмірного нульвалентного заліза, що зараз проходить широко масштабовану перевірку в США та країнах ЄС [25].

Таблиця 1.

Питома активність підземних природних та очищених вод

Питома активність, Бк/дм ³						
В природних водах					В водах після очищення	
U	²²⁶ Ra	²³⁰ Th	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Pb	U після хімічного очищення	U після мікробіологічного очищення
Місце відбору проб - Водонесний горизонт у середньо-четвертинних еолово-делювіальних відкладеннях						
5,81	0,15	0,11	0,20	0,11	0,92	0,72
Місце відбору проб - Водонесний горизонт в палеоген-неогенових відкладеннях						
4,88	0,12	0,07	0,19	0,09	0,90	0,69
Місце відбору проб - Водонесний горизонт в докембрійських кристалічних породах та їх корі вивітрянні						
2,93	0,12	0,08	0,16	0,07	0,81	0,62

Згідно цього методу в забруднені шари ґрунту через нагнітальні свердловини закачується суспензія реакційно активного нанодисперсного нульвалентного заліза. Нанодисперсне залізо (Fe^0) при цьому виступає ефективним донором електронів. На основі проведених експериментальних досліджень запропонована технологічна схема виготовлення стабілізованих дисперсій нанодисперсного заліза, що включає використання дешевої природної глинистої сировини. Укрупнені випробування показали високу ефективність стабілізованого нанодисперсного заліза в процесах вилучення урану з реальних підземних вод, що дозволяє рекомендувати його застосування при розробці та проектуванні проникних бар'єрів [28].

Таким чином, розвиток атомної енергетики в Україні обумовлює загострення екологічних проблем, що потребує розробки нових та підвищення дієвості існуючих підходів до їх вирішення. Необхідно при цьому враховувати світову тенденцію до підвищення вимог існуючих граничних нормативів з вмісту урану та інших природних радіонуклідів у воді.

Ефективне очищення вод від сполук урану до нормативно встановлених показників є складним науково-технічним завданням. Його розв'язання вимагає застосування всього комплексу сучасних мембранних, сорбційних, коагуляційних та інших методів, що дозволяє забезпечити зниження вмісту урану в водах різного складу (шахтні води, стічні води гідрометалургійної переробки уранової сировини тощо) до необхідного рівня.

Література

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. № 145-р.
2. Добыча и переработка урановых руд в Украине / Под ред. А.П. Чернова. - К.: АДЕФ – Украина, 2001. – 238 с.
3. Сердюк А.М. Радіаційно-гігієнічні аспекти поводження з радіоактивними відходами в Україні / А.М. Сердюк, І.І. Карачов, Л.С. Гронська // Довкілля та здоров'я. – 2002. – № 4. – С. 24 – 28.
4. Смит Б. Новые факторы риска для здоровья от урана / Б. Смит, А. Макхиджани // Экология и жизнь. – 2007. – № 4. – С. 48 – 52.
5. Корнилов А.Н. Отходы уранодобывающей промышленности (радиационно - гигиенические аспекты) / А.Н. Корнилов, С.Г. Рябчиков - М.: Энергоатомиздат, 1992. – 168 с.
6. Коваленко Г.Д. Основы радиационной экологии / Г.Д. Коваленко, В.С. Волошин. – 2009. – Мариуполь: изд-во „Рената”. – 298 с.
7. Гродзинський Д.М. Радіобіологія / Д.М. Гродзинський. – К.: Либідь, 2001. – 448 с.
8. Biological effects of embedded uranium (DU): summary of Armed Forces Radiobiology Research Institute / D.E. McClain, K.A. Benson, T.K. Dalton [et al.] // Sci. Total Environ. – 2001. – V. 274. – P. 115 – 118.
9. WHO. Guidelines for drinking water quality. Recommendations. World Health Organization. Geneva, Switzerland, 2004.
10. ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання.

- Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання.
11. Landa E.R. Uranium mill tailings: nuclear waste and natural laboratory for geochemical and radioecological investigations / Landa E.R. // *J. Environ. Radioactivity*. – 2004. – V. 77. – P. 1 – 27.
 12. Еколого-хімічні проблеми при видобутку та переробці уранової сировини / Б. Корнілович, В. Стрелко, Ю. Кошик [та ін.] // *Вісник Національної академії наук України*. – 2010. – №10. – С. 564 – 573.
 13. Еколого-хімічні проблеми уранової промисловості та шляхи її вирішення / Б.Ю. Корнілович, В.М. Павленко, Ю.Й. Кошик [та ін.] // VI Міжнародна науково-практична конференція „Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення”: Зб. наук. ст. УкрНДІ-ЕП. - Харків: Райдер, 2010. - Т. 1. - С. 171 - 176.
 14. Deactivation of hazardous uranium contaminated water in Black Sea basin / B. Kornilovych, I. Kovalchuk, L. Spasovova [et al.] // *Advanced Water Supply and Wastewater Treatment: A Road to Safer Society and Environment*. – Springer Science+Business Media, 2011. – P. 329 – 338.
 15. Природоохоронні технології в урановидобувній та переробній промисловості / Б.Ю. Корнілович, О.Г. Сорокін, В.М. Павленко [и др.]. – Київ, 2011. – 156 с.
 16. Гринвуд Н. Химия элементов : в 2-х томах/ Н. Гринвуд, А. Эрншо; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – Т.1. – 607 с., Т.2 – 670 с.
 17. Gavrilescu M. Characterization and remediation of soils contaminated with uranium / M. Gavrilescu, L.V. Pavel, I. Cretescu // *J. Hazard. Mater.* – 2009. – V. 163. – P. 475 – 510.
 18. Electroremediation of contaminated soils under nonstationary and nonuniform conditions / N.A. Mishchuk, B.Yu. Kornilovich, O.L. Makovetskyu [et al.] // *Colloids and Surfaces. A: Physicochem. Eng. Aspects*. – 2010. – V. 360. – P. 26 – 31.
 19. Досвід очищення радіоактивно забруднених природних вод після аварії на Чорнобильській АЕС / Л.М. Спасьонова, О.Л. Шевченко, П.І. Гвоздяк [та ін.] // *Чорнобильський науковий вісник. Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення*. – 2010. – № 2. – С. 14 – 22.
 20. Очищення урановмісних підземних вод мікробіологічним методом / Ш.А. Ковальчук, О.О. Хлопась, Б.Ю. Корнілович [та ін.] // *Доповіді НАН України*. – 2011. – №10. – С. 175 – 180.
 21. Сорбційно-відновлювальне очищення підземних вод від сполук урану / Б.Ю. Корнілович, А.П. Яценко, І.А. Ковальчук [та ін.] // *Наукові вісті НТУУ „КПІ”*. – 2010. – Т. 71, № 6. – С. 83 – 87.
 22. Фізична хімія кремнезему і нанодисперсних силікатів / Б.Ю. Корнілович, О.Р. Андрієвська, М.М. Племянніков [та ін.]. – К.: «Освіта України», 2013. – 176 с.
 23. Застосування прониклих хімічно активних бар'єрів для захисту водного середовища від техногенного забруднення в Україні та Грузії / Б.Ю. Корнілович, В.М. Павленко, А.П. Яценко [та ін.] // V Міжнародна науково-практична конференція „Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення”: Зб. наук. ст. УкрНДІЕП. – Харків: Райдер, 2009. – Т.2. – С. 138 – 141.

24. The use of permeable reactive barrier against contaminated groundwater in Ukraine / B. Kornilovych, M. Wireman, B. Caruso [et al.] // Centr. Europ. J. Occup. Environ. Medicine. – 2009. – V. 15. – P. 73 – 85.
25. Interstate Technology & Regulatory Council. Permeable reactive barriers: Technology update. PRB – 5. – Washington, 2011. – 179 p.
26. Застосування модифікованих активних матеріалів для захисту підземних вод за допомогою проникних реакційно здатних бар'єрів / Б.Ю. Корнілович, В.М. Павленко, В.Ю. Тобілко [та ін.] // VII Міжнародна науково-практична конференція „Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення”: Зб. наук. ст. – Харків: Райдер, 2011. – Т. 1. – С. 151 – 156.
27. Wireman M. Installation of a permeable reactive barrier in uranium mining district – East Central Ukraine / M. Wireman, B. Kornilovich // Newsletter International Association of Hydrogeologists U.S. National Chapter. – 2012. – V. 41, №2. – P. 12 – 14.
28. Захист підземних вод від забруднення з використанням стабілізованих нанодисперсій Fe^0 / Ю.Й. Кошик, В.Ю. Тобілко, Б.Ю. Корнілович [та ін.] // IX Міжнародна науково-практична конференція „Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення”: Зб. наук. ст. – Харків: Райдер, 2013. – Т. 1. – С. 242 – 244.

Ключові слова: уран, захист навколишнього середовища, підземні води, поверхневі води, питна вода, здоров'я, водоочисні методи, напівпроникний реакційний бар'єр.

УДК 541.18:542.8:632.12.12

ЕКОЛОГО-ХІМІЧНІ ТА ПІГІЄНІЧНІ АСПЕКТИ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ВИДОБУТКУ ТА ПЕРЕРОБЦІ УРАНОВИХ РУД (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

Б.Ю. Корнілович¹, Ю.Й. Кошик²,
Л.М. Спасьонова³, В.Ю. Тобілко³

¹ Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України, м. Київ, Україна;

² ДП "УкрНДПРІпромтехнології", м. Жовті Води, Україна;

³ Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ, Україна

Радіоактивне забруднення навколишнього середовища, зокрема забруднення ураном і продуктами його розпаду є серйозною світовою проблемою. В статті надано аналіз екологічної ситуації в місті Жовті Води, яке має важливе значення для національної економіки як єдиний український центр переробки та збагачення уранових руд. Розглянуто основні еколого-хімічні і гігієнічні аспекти уранового виробництва: хімічні форми урану в ґрунті, поверхневих та підземних водах, їх характеристики та концентрації в об'єктах довкілля, вплив на екологію і здоров'я людини природного та збагаченого урану.

Показана ефективність різних технологій для видалення урану з поверхневих, шахтних і підземних вод, із застосуванням коагуляції, осадження, сорбції, мембранного розділення і біологічних методів. Особлива увага приділена технології використання проникних реакційних бар'єрів для очищення підземних вод.

Ключові слова: уран, захист навколишнього середовища, підземні води, поверхневі води, питна вода, здоров'я, водоочисні методи, напівпроникний реакційний бар'єр.

УДК 541.18:542.8:632.12.12

ЭКОЛОГО-ХИМИЧЕСКИЕ И ГИГИЕНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ УРАНОВЫХ РУД (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Б.Ю. Корнилович¹, Ю.И. Кошик², Л.М. Спасенова³, В.Ю. Тобилко³

¹ Институт сорбции и проблем эндоэкологии НАН Украины, г. Киев, Украина;

² ГП "УкрНИПРИПромтехнологии", г. Желтые Воды, Украина;

³ Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев, Украина

Радиоактивное загрязнение окружающей среды, в частности ураном и продуктами его распада - серьезная проблема во всем мире. В статье представлен анализ экологической ситуации в городе Желтые Воды, который имеет важное значение для национальной экономики как единственный украинский центр переработки и обогащения урановых руд. Рассмотрены основные эколого-химические и гигиенические аспекты уранового производства: химические формы урана в почве, поверхностных и подземных водах, их характеристики и концентрации в объектах окружающей среды, влияние на экологию и здоровье человека природного и обедненного урана.

Показана эффективность различных технологий для удаления урана из поверхностных, шахтных и подземных вод с применением коагуляции, осаждения, сорбции, мембранного разделения и биологических методов. Особое внимание уделено технологии использования проницаемых реакционных барьеров для очистки подземных вод.

Ключевые слова: уран, защита окружающей среды, подземные воды, поверхностные воды, питьевая вода, здоровье, водоочистные методы, полупроницаемый реакционный барьер.

ECOLOGY, CHEMISTRY AND HYGIENE ASPECTS OF ENVIRONMENTAL PROTECTION IN URANIC ORES MINING AND PROCESSING (REVIEW OF LITERATURE)

B. Kornilovych¹, Yu. Koshik², L. Spasonova³, V. Tobilko³

¹ Institute for Sorption and Problems of Endoecology NAN of Ukraine, Kyiv; Ukraine; ²Ukrainian Research-Development and Design-Prospecting Institute of Industrial Technology;

Zhovti Vody, Ukraine; ³National Technical University of Ukraine "KPI", Kyiv, Ukraine.

Environmental contamination caused by radionuclides, in particular by uranium and its decay products is a serious problem worldwide. The paper represents data on ecologic situation in Zhovty Vody city which has a major importance for national economy as the unique Ukrainian center where uranium ore milling and primary enriching are made. The main ecological and hygienic aspects in uranium industry are considered: the chemical forms of uranium, including depleted uranium in soil and other environmental media, their characteristics and concentrations, and some of the effects on environmental and human health. The effectiveness of different technologies for uranium removal from surface, mine and groundwater with the use of coagulation, precipitation, sorption, membrane separation and biological methods were presented. Special attention was devoted to permeable reactive barrier technology for groundwater purification.

Keywords: Uranium, Environmental Protection, Groundwater, Surface water, Potable Water, Health, Water Purification Methods, Permeable reactive barrier.

Впервые поступила в редакцию 28.11.2013 г. Рекомендована к печати на заседании редакционной коллегии после рецензирования.