

УДК 550.424.2

МАРІНІЧ О. В.¹, м.н.с.; КАРПЕНКО Р. О.², магістр; КОЛЯБІНА І. Л.¹, пр.н.с.;
КУЗЕНКО С. В.¹, м.н.с.; КУРДИБАН А. О.², магістр

¹ Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України»

² Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ВИЛУГОВУВАННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ІЗ МАТЕРІАЛІВ ХВОСТОСХОВИЩ УРАНОПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Наведено дослідження кінетики вилугування Mn , Ni , Cu , Pb , Fe із матеріалів хвостосховищ «Дніпровське» і «Центральний яр». Експерименти з вилугування важких металів проводили за методикою визначення швидкості вилугування радіонуклідів із радіоактивних відходів (ГОСТ 29114-91). За отриманими даними обчислили константи швидкості вилугування важких металів із твердої матриці та константи їх виходу у розчин.

Ключові слова: хвостосховище, важкі метали, швидкість вилугування.

© Мариніч О. В., Карпенко Р. О., Колябіна І. Л., Кузенко С. В., Курдибан А. О., 2014.

Постановка проблеми. Вибудуток і перероблення уранової руди пов'язані з великою кількістю екологічних проблем. Значного збитку навколишньому середовищу завдають хвостосховища збагачувальних комбінатів. На території колишнього виробничого об'єднання «Придніпровський хімічний завод» (ВО «ПХЗ»), м. Дніпродзержинська та Дніпропетровської області у 1948-1991 рр. на місці природних западин були створені хвостосховища для складування так званої піщаної фракції, яка утворювалась після реагентного вилугування урану з руди. Окрім піщаної фракції, до хвостосховищ надходили відходи металургії, виробництва мінеральних добрив, інші промислові відходи, що зумовило контрастність та різноманітність складу матеріалів хвостосховищ, і, відповідно, широкий спектр забруднень, джерелами яких є ці хвостосховища. П'ять хвостосховищ, які були введені в експлуатацію в 1949–1956 рр., збудовані без спеціальної гідроізоляції, а, як відомо, одним з основних шляхів надходження забруднювачів до навколишнього середовища є водна міграція. Це підтверджено даними моніторингових досліджень у зоні впливу хвостосховищ. Зокрема, помічено перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) радіонуклідів уранового ряду та деяких важких металів у р. Коноплянці, яка протікає в штучно створеному каналі, розташованому вздовж хвостосховища «Дніпровське». На її водозбірній площі розміщене також хвостосховище «Центральний яр», що перебуває на відстані 0,9 км на південь від річки. Отже, дослідження міграційних властивостей забруднювачів, зокрема важких металів, за умов хвостосховищ є вкрай актуальними для оцінки і прогнозування екологічної ситуації на прилеглих територіях, моделювання водного виносу шкідливих речовин за межі хвостосховищ та розроблення заходів із мінімізації небезпечного впливу відходів на довкілля.

Аналіз попередніх досліджень. Поряд із забрудненням навколишнього середовища природними радіонуклідами, хвостосховища відходів уранопереробної промисловості є також джерелами забруднення підземних і поверхневих вод важкими металами. Це підтверджується працями [1, 2], де наведено дані про перевищення ГДК у підземних та поверхневих водах низки важких металів другого й третього класів безпеки, а саме марганцю, заліза, нікелю, свинцю, кадмію. Аналіз публікацій свідчить, що хвостосховища відходів уранопереробки колишнього ВО «ПХЗ» досліджувалися лише з точки зору розподілу та міграційної здатності радіонуклідів [3, 4], тоді як аналогічних даних щодо важких металів, окрім їх вмісту у твердій фазі відходів і природних водах, знайдено не було.

Метою роботи є дослідження кінетики вилугування металів із матеріалів хвостосховищ уранопереробної промисловості.

Виклад основного матеріалу. Швидкість вилугування важких металів досліджували для зразків матеріалів хвостосховищ «Дніпровське» й «Центральний яр» колишнього ВО «ПХЗ». Зразки було відібрано з різних глибин однієї свердловини кожного хвостосховища восени 2012 р. під час шнекового буріння. Пробопідготовка полягала у висушуванні одержаних зразків за температури 70 °С до сталої маси, подрібненні їх гумовим товчачем і просіюванні крізь сито з діаметром вічок 1 мм. Вибір зазначеної температури висушування було обумовлено присутністю значної кількості гіпсу в більшості проб, а згідно з попередніми дослідженнями, за вищих температур відбувається часткова втрата гіпсом кристалізаційної води з утворенням іншої фази – басаніту. Важкі метали вилугували за методикою, що застосовується для визначення швид-

кості вилюговування радіонуклідів із радіоактивних відходів (ГОСТ 29114-91). Наважки масою 100 г фракції <1 мм заливали 500 мл дистильованої води і залишали, періодично перемішуючи, на 1, 3, 7, 10, 14, 21, 28 діб. Після закінчення відповідного інтервалу часу розчин відфільтровували, а твердий залишок заливали новою порцією дистильованої води. Після концентрування одержаних розчинів шляхом упарювання, у них визначали вміст важких металів (Mn, Ni, Cu, Pb, Fe, Co, Cr, Zn) атомно-адсорбційною спектрометрією. Уміст важких металів у твердій матриці відходів визначали атомно-емісійною спектрометрією на спектрографі СТЕ-1 із почерговим фотографуванням проби й робочого стандарту під час однієї експозиції із застосуванням напівавтоматичної приставки УСА-5. Швидкості вилюговування важких металів із відходів хвостосховищ розраховували за формулою, аналогічною рекомендованій ГОСТ 29114-91, проте замість площі відкритої геометричної поверхні зразка підставляли масу наважки:

$$R_n = a_n / (A_n m t_n),$$

де R_n – швидкість вилюговування елемента протягом певного інтервалу, діб⁻¹; a_n – маса елемента, вилуженого за цей час, г; A_n – масова концентрація елемента у вихідному зразку, г/г; m – маса наважки відходів, г; t_n – тривалість періоду n вилюговування, діб.

Швидкості вилюговування важких металів отримали лише для 1, 3, 7 і 10 діб (табл. 1), оскільки протягом більшого часу концентрації більшості досліджуваних елементів у розчинах після вилюговування зменшувалися до меж чутливості методу.

Таблиця 1 – Швидкість вилюговування Mn, Ni, Cu, Pb, Fe із матеріалів хвостосховищ

Елемент	Тривалість вилюговування, діб	Швидкість вилюговування, діб ⁻¹ , із матеріалів хвостосховищ							
		«Центральний яр»				«Дніпровське»			
		вилучених на глибині, м							
		3,0...3,5	7,0...7,5	10,5...11,0	17,0...17,5	12,8...13,3	14,8...15,2	16,7...17,2	18,7...19,2
Mn	1	$6,39 \cdot 10^{-2}$	$1,18 \cdot 10^{-1}$	$6,72 \cdot 10^{-2}$	$3,47 \cdot 10^{-2}$	$3,33 \cdot 10^{-3}$	$2,83 \cdot 10^{-3}$	$4,39 \cdot 10^{-3}$	$3,07 \cdot 10^{-3}$
	3	$3,59 \cdot 10^{-2}$	$7,00 \cdot 10^{-2}$	$3,99 \cdot 10^{-2}$	$1,92 \cdot 10^{-2}$	$2,02 \cdot 10^{-3}$	$1,79 \cdot 10^{-3}$	$2,75 \cdot 10^{-3}$	$1,61 \cdot 10^{-3}$
	7	$1,93 \cdot 10^{-2}$	$3,89 \cdot 10^{-2}$	$2,21 \cdot 10^{-2}$	$1,01 \cdot 10^{-2}$	$1,20 \cdot 10^{-3}$	$1,12 \cdot 10^{-3}$	$1,70 \cdot 10^{-3}$	$8,13 \cdot 10^{-4}$
	10	$1,58 \cdot 10^{-2}$	$3,17 \cdot 10^{-2}$	$1,80 \cdot 10^{-2}$	$8,10 \cdot 10^{-3}$	$1,04 \cdot 10^{-3}$	$1,04 \cdot 10^{-3}$	$1,57 \cdot 10^{-3}$	$6,05 \cdot 10^{-4}$
Ni	1	$4,86 \cdot 10^{-2}$	$4,70 \cdot 10^{-2}$	$1,45 \cdot 10^{-1}$	$1,30 \cdot 10^{-3}$	$4,17 \cdot 10^{-2}$	$1,75 \cdot 10^{-3}$	$5,16 \cdot 10^{-4}$	п.м.ч.
	3	$2,71 \cdot 10^{-2}$	$2,47 \cdot 10^{-2}$	$9,32 \cdot 10^{-2}$	$7,70 \cdot 10^{-4}$	$2,45 \cdot 10^{-2}$	$1,03 \cdot 10^{-3}$	$1,72 \cdot 10^{-4}$	п.м.ч.
	7	$1,47 \cdot 10^{-2}$	$1,34 \cdot 10^{-2}$	$5,71 \cdot 10^{-2}$	$4,78 \cdot 10^{-4}$	$1,48 \cdot 10^{-2}$	$6,99 \cdot 10^{-4}$	$7,38 \cdot 10^{-5}$	п.м.ч.
	10	$1,21 \cdot 10^{-2}$	$1,11 \cdot 10^{-2}$	$5,34 \cdot 10^{-2}$	$4,26 \cdot 10^{-4}$	$1,29 \cdot 10^{-2}$	$6,37 \cdot 10^{-4}$	$5,16 \cdot 10^{-5}$	п.м.ч.
Cu	1	$9,97 \cdot 10^{-3}$	$3,25 \cdot 10^{-2}$	$2,02 \cdot 10^{-2}$	$9,63 \cdot 10^{-4}$	$1,85 \cdot 10^{-4}$	$1,31 \cdot 10^{-4}$	$1,72 \cdot 10^{-3}$	п.м.ч.
	3	$5,94 \cdot 10^{-3}$	$1,82 \cdot 10^{-2}$	$9,78 \cdot 10^{-3}$	$5,77 \cdot 10^{-4}$	$1,13 \cdot 10^{-4}$	$6,57 \cdot 10^{-5}$	$8,58 \cdot 10^{-4}$	п.м.ч.
	7	$3,50 \cdot 10^{-3}$	$1,09 \cdot 10^{-2}$	$5,46 \cdot 10^{-3}$	$3,32 \cdot 10^{-4}$	$7,33 \cdot 10^{-5}$	$3,78 \cdot 10^{-5}$	$3,68 \cdot 10^{-4}$	п.м.ч.
	10	$2,99 \cdot 10^{-3}$	$9,72 \cdot 10^{-3}$	$4,75 \cdot 10^{-3}$	$2,73 \cdot 10^{-4}$	$6,90 \cdot 10^{-5}$	$2,65 \cdot 10^{-5}$	$2,58 \cdot 10^{-4}$	п.м.ч.
Pb	1	$2,39 \cdot 10^{-2}$	$2,89 \cdot 10^{-2}$	$4,62 \cdot 10^{-2}$	$8,09 \cdot 10^{-4}$	$1,33 \cdot 10^{-3}$	$1,11 \cdot 10^{-3}$	$5,81 \cdot 10^{-2}$	$6,14 \cdot 10^{-3}$
	3	$1,41 \cdot 10^{-2}$	$2,10 \cdot 10^{-2}$	$3,40 \cdot 10^{-2}$	$5,00 \cdot 10^{-4}$	$6,29 \cdot 10^{-4}$	$8,13 \cdot 10^{-4}$	$3,52 \cdot 10^{-2}$	$3,94 \cdot 10^{-3}$
	7	$8,20 \cdot 10^{-3}$	$1,45 \cdot 10^{-2}$	$2,25 \cdot 10^{-2}$	$3,33 \cdot 10^{-4}$	$4,05 \cdot 10^{-4}$	$5,04 \cdot 10^{-4}$	$2,21 \cdot 10^{-2}$	$2,09 \cdot 10^{-3}$
	10	$7,12 \cdot 10^{-3}$	$1,56 \cdot 10^{-2}$	$2,26 \cdot 10^{-2}$	$3,30 \cdot 10^{-4}$	$3,90 \cdot 10^{-4}$	$4,27 \cdot 10^{-4}$	$2,27 \cdot 10^{-2}$	$1,76 \cdot 10^{-3}$
Fe	1	$1,20 \cdot 10^{-3}$	$1,16 \cdot 10^{-3}$	$6,36 \cdot 10^{-4}$	$1,04 \cdot 10^{-4}$	$1,17 \cdot 10^{-5}$	$1,70 \cdot 10^{-5}$	$6,45 \cdot 10^{-4}$	$7,64 \cdot 10^{-6}$
	3	$6,20 \cdot 10^{-4}$	$6,55 \cdot 10^{-4}$	$3,56 \cdot 10^{-4}$	$5,58 \cdot 10^{-5}$	$5,57 \cdot 10^{-6}$	$8,32 \cdot 10^{-6}$	$2,58 \cdot 10^{-4}$	$4,04 \cdot 10^{-6}$
	7	$3,33 \cdot 10^{-4}$	$3,81 \cdot 10^{-4}$	$1,97 \cdot 10^{-4}$	$3,24 \cdot 10^{-5}$	$3,21 \cdot 10^{-6}$	$8,60 \cdot 10^{-6}$	$2,69 \cdot 10^{-4}$	$4,17 \cdot 10^{-6}$
	10	$2,67 \cdot 10^{-4}$	$3,36 \cdot 10^{-4}$	$1,68 \cdot 10^{-4}$	$2,63 \cdot 10^{-5}$	$2,67 \cdot 10^{-6}$	$6,97 \cdot 10^{-6}$	$2,39 \cdot 10^{-4}$	$4,11 \cdot 10^{-6}$

П.м.ч. – поза межами чутливості методу.

Установлено, що швидкість вилюговування важких металів зі зразків хвостосховища «Центральний яр» загалом є вищою, ніж зі зразків хвостосховища «Дніпровське». Це може бути спричинене, насамперед відмінностями складу відходів і фізико-хімічних умов у хвостосховищах. Для нижніх досліджуваних горизонтів обох хвостосховищ є характерною найнижча швидкість вилюговування. Особливо це помітно для зразка хвостосховища «Дніпровське» з глибини 18,7...19,2 м: швидкість вилюговування нікелю й міді з нього було неможливо визначити. Це можна пояснити тим, що найнижчі горизонти, з яких виконували відбір зразків, є підстиляючими породами і не містять техногенних відходів. Виключенням є свинець, швидкість вилюговування якого є найнижчою для зразка хвостосховища «Дніпровське» з глибини 14,8...15,2 м.

Швидкість вилугування усіх елементів в усіх зразках поступово зменшується зі збільшенням його тривалості, що свідчить про поступове наближення процесу до стану насичення.

Поряд із визначенням швидкості вилугування важких металів із твердої матриці, оцінені швидкості переходу важких металів у розчин $r_n = C_n/t_n$, де r_n – швидкість переходу елемента у розчин, мг/(дм³ · добу); C_n – концентрація елемента в розчині після вилугування протягом періоду n діб, мг/дм³; t_n – тривалість періоду вилугування n , діб.

Результати усіх розрахунків були отримані лише для Mn, Ni, Cu, Pb, Fe. Швидкість вилугування Co і Cr не було оцінено, оскільки вміст цих металів у розчинах перебував поза межами чутливості приладу (0,02 мг/дм³), що свідчить про слабе вилугування Co і Cr із відходів. Щодо Co це узгоджується з даними моніторингу [2]. Згідно з ними, вміст Co у зразках води з річок Дніпро та Коноплянка, а також підземних водах зони впливу хвостосховищ, не перевищував ГДК, встановлених для води водних об'єктів господарсько-питного і культурно-побутового водокористування СанПіН 4630-88, і був нижчим, аніж концентрації інших важких металів. Щодо ж Cr є дещо суперечлива інформація. Згідно з СанПіН 4630-88 ГДК Cr³⁺ у вододіймах становить 0,5, Cr⁶⁺ – 0,05 мг/дм³. Для питної води ДСанПіН 2.2.4-171-10 встановлює ГДК загального хрому на рівні 0,05 мг/дм³. Із спостережень відомо лише, що в межах впливу хвостосховища «Центральний яр» у 2001 р. було виявлено незначні перевищення ГДК хрому для питної води (у 1,04 раза) у річці Коноплянка. Але, оскільки у водних об'єктах хром перебуває не лише у шестивалентній формі, можна припустити, що ГДК хрому, встановлену для водних об'єктів господарсько-питного і культурно-побутового водокористування, скоріш за все, не перевищено.

Швидкості r_n переходу Mn, Ni, Cu, Pb, Fe у розчин зі зразків хвостосховищ «Центральний яр» і «Дніпровське» узагальнено у вигляді залежностей логарифму швидкості від тривалості вилугування (рис. 1).

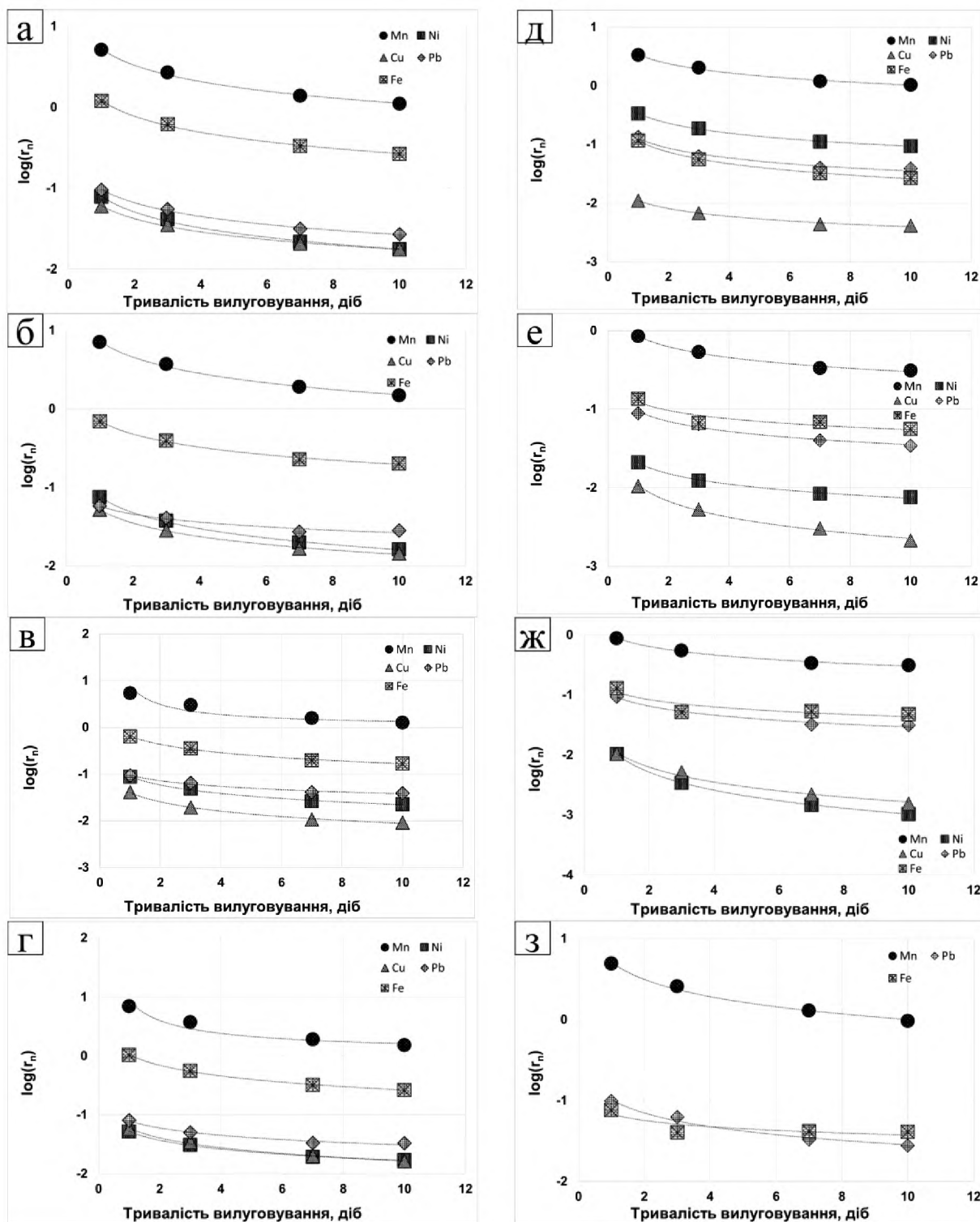
Установлено, що швидкості виходу важких металів у розчин у хвостосховищі «Центральний яр» є майже на порядок вищими, аніж у хвостосховищі «Дніпровське». Це зумовлено різними кислотно-лужними умовами, що склалися: у хвостосховищі «Центральний яр» показник рН перебуває в кислотній чи слабко кислотній області, тоді як у хвостосховищі «Дніпровське» – у нейтральній чи, навіть, слабко лужній. У хвостосховищі «Центральний яр» міграційна здатність металів Mn > Fe > Pb > Ni > Cu. Ця тенденція спостерігається для усіх досліджуваних зразків хвостосховища. У хвостосховищі «Дніпровське» міграційну здатність можна встановити так: Mn > Fe ≈ Pb > Cu. Швидкість вилугування Ni у розчин значно зменшується з глибиною порівняно з іншими металами, тому для кожного горизонту хвостосховища «Дніпровське» положення нікелю у ряді міграційної здатності металів буде різним. Відмінність у міграційній поведінці Ni можна пояснити хімічним і мінеральним складом відходів. Суттєву роль мають відігравати й фізичні (пористість, вологість) та водні (проникність, набухання, коефіцієнт фільтрації) властивості порід, що перебувають у хвостосховищах. Але ці питання ще потребують детального вивчення.

Висновки. Установлено, що хвостосховища «Центральний яр» і «Дніпровське» суттєво різняться за швидкостями вилугування важких металів. Міграційна здатність металів останніх у хвостосховищі «Центральний яр» зменшується у ряду Mn > Fe > Pb > Ni > Cu, у хвостосховищі «Дніпровське» – у ряду Mn > Fe ≈ Pb > Cu. Для умов цього хвостосховища швидкість вилугування Ni швидко зменшується з глибиною. Отже, можна припустити його мігрування з верхніх шарів у нижні, де він поступово накопичується.

Список використаної літератури

1. *Вивчення фізико-хімічних форм і прогнози трансформації радіонуклідів уран-торієвого ряду у хвостосховищах* : звіт про НДР (закл.) за договором від 16 чер. 2009 р. № 32 / Нац. ін-т біоресурсів і природокористування України ; кер. В. П. Процак ; вик. Г. М. Бондаренко [та ін.] – К., 2009. – 171 с.
2. *Результати наданих послуг з технічних випробувань та аналізу, а саме: проведення спостережень за зміною стану навколишнього природного середовища на уранових об'єктах та в їх санітарно-захисній зоні, оцінка впливу таких об'єктів на навколишнє природне середовище* : звіт про НДР за договором від 24 лис. 2010 р. № 43-тз / Центр моніторингових досліджень і природоохоронних технологій ; дир. О. В. Войцехович; вик. Г. В. Лаптев [та ін.] – К., 2010 – 144 с.
3. *Бондаренко Г. П.* Оцінка динаміки вноса природних радіонуклідів із хвостохранилищ виробництва урана / Г. П. Бондаренко, О. В. Маринич, І. Л. Колябіна // Зб. наук. пр. ін-ту геохімії навколишнього середовища. – 2011. – Вип. 19. – 170 с.
4. *Колябіна І. Л.* Моделирование и распределение природных радионуклидов в хвостохранилищах ураноперерабатывающей промышленности / И. Л. Колябіна, С. В. Дмитриева, К. Е. Перкатый // Радиохимия-2012 ; 15-19 окт. 2012 г. : тез. докл. – Дмитровград : ООО «ВДВ «ПАК», 2012 – 512 с.

Надійшла до редакції 20.01.2014



зразки відібрано з глибин, м: а – ЦЯ, 3,0... 3,5; б – ЦЯ, 7,0... 7,5; в – ЦЯ, 10,5... 11,0;
г – ЦЯ, 17,0... 17,5; д – ДН, 12,8... 13,3; е – ДН, 14,8... 15,2; ж – ДН, 16,7... 17,2; з – ДН, 18,7... 19,2

Рис. 1 – Швидкість переходу Mn, Ni, Cu, Pb, Fe у розчин за їх послідовного вилигування зі зразків відходів хвостосховищ «Центральний яр» (ЦЯ) і «Дніровське» (ДН)

Marinich O. V., Karpenko R. O., Koliabina I. L., Kuzenko S. V., Kurdyban A. O.

LEACHING OF HEAVY METALS FROM TAILINGS WASTE PROCESSING OF URANIUM INDUSTRY

Mining and processing of uranium ores associated with many environmental problems. Along with the pollution of natural radionuclides environment, waste tailings uranium processing industry is also a source of contamination of ground and surface waters with heavy metals. Tailing waste on processing of uranium former «Prydniprovsky chemical plant» studied only in terms of distribution and migration ability of radionuclides. Any data on migration ability of heavy metals, but their content in the solid phase of waste and natural waters is not available.

Purpose of work is study the kinetics of leaching of metals from tailings materials industry in uranium processing. In this paper deals with the kinetics of leaching of Mn, Ni, Cu, Pb, Fe material from tailing «Dneprovske» and «Central yar» Experiment with the leaching of heavy metals was carried out by the method of determining the rate of leaching of radionuclides from radioactive waste (GOST 29114-91). From the data obtained were calculated rate constant leaching of heavy metals from a solid matrix and constant release of their solution.

The results showed that the rate of leaching of heavy metals from tailings samples «Central yar» is almost an order of magnitude higher than samples from tailings «Dniprovske». This can be caused by several factors, including the first differences of the material composition of waste materials, physical and chemical conditions that occur in the tailing. In particular, the tailings are significantly different for the acid-alkaline conditions: the tailing «Central yar» pH are acidic or weakly acidic region, while in tailing «Dniprovske» – in near neutral or even slightly alkaline in. For the lower horizons of the studied both tailing characteristic are lowest rate of leaching of heavy metals. This is especially noticeable for the sample tailing «Dniprovske» 18,7... 19,2 m of depth. This can be explained by the fact that the lowest horizon from which sampling was carried out, is underlain by breeds and contain no technogenic waste. The exception is the lead (plumbum), which is the lowest rate of leaching tailings sample «Dniprovske» 14,8... 15,2 m of depth. In tailing «Central yar» migration ability of metals is decreases in the number $Mn > Fe > Pb > Ni > Cu$. Such a trend is observed for all samples of the tailings. As for tailing «Dniprovske», a series of migration ability of heavy metals can be set as follows: $Mn > Fe \approx Pb > Cu$. Speed Ni leaching into the solution of tailings material «Dniprovske» significantly decreases with depth compared with other metals, so each patient horizon of the tailing position of nickel in some migration ability of metals will be different. The difference between these two tailings on the migration behavior of nickel can be explained by several factors, which are mainly caused by chemical and mineral composition of waste. Also play an important role physical (porosity, humidity) and water (permeability, swelling, filtration coefficient) properties of rocks contained in the tailing. However, these issues have not been fully addressed and require detailed study.

Keywords: tailings, heavy metals, leaching rate.

References

1. *Vyvchennia fizyko-khimichnykh form i prohnozy transformatsii radionuklidiv uran-torijevoho riadu u khvostoskhovyschakh* [The study of physical and chemical forms of radionuclides and forecasts transformation uranium-thorium series in tailing] : zvit pro NDR (zakl.) za dohovorom vid 16 cher. 2009 r. # 32 / Nats. in-t bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy ; ker. V. P. Protsak ; vyk. H. M. Bondarenko [ta in.] – K., 2009. – 171 s.
2. *Rezultaty nadanykh posluh z tekhnichnykh vyprobuvan ta analizu, a same: provedennia sposterezhen za zminoiu stanu navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha na uranovykh ob'ektakh ta v yikh sanitarno-zakhysnii zoni, otsinka vplyvu takykh ob'ektiv na navkolyshnie pryrodne seredovysche* [Results provided services of technical testing and analysis, namely: conducting observations of the changing state of the environment in uranium facilities and their sanitary protection zone, assessment of the impact of such facilities on the environment] : zvit pro NDR za dohovorom vid 24 lys. 2010 r. # 43-tz / Tsentri monitorynhovykh doslidzhen i pryrodookhoronnykh tekhnolohii ; dyr. O. V. Voitsekhovych; vyk. H. V. Laptiev [ta in.]. – K., 2010 – 144 s.
3. *Bondarenko G. N. Ocenka dinamiki vynosa pryrodnyh radionuklidov iz hvostohranilishh proizvodstva urana* [Assessment of the dynamics of natural removal of radionuclides from the tailings of uranium] / G. N. Bondarenko, O. V. Marinich, I. L. Koljabina // *Zb. nauk. pr. in-tu geohimii navkolishn'ogo seredovishha*. – 2011. – Vip. 19. – 170 s.
4. *Koljabina I. L. Modelirovanie i raspredelenie pryrodnyh radionuklidov v hvostohranilishhah uranopererabatyvayushhej promyshlennosti* [Modeling and distribution of natural radionuclides in the tailings of uranium processing industry] / I. L. Koljabina, S. V. Dmitrieva, K. E. Perkatyj // *Radiohimija-2012* ; 15-19 okt. 2012 g. : tez. dokl. – Dimitrovgrad : OOO «VDV «PAK», 2012 – 512 s.