



*I. М. Кочмар, В. В. Карабин*

*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1461-089X> – I. М. Кочмар

<https://orcid.org/0000-0002-8337-5355> – В. В. Карабин



[irynalevytska1@gmail.com](mailto:irynalevytska1@gmail.com)

## ПОШИРЕННЯ ОКРЕМИХ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ПОРОДАХ ТЕРИКОНА ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ «ЧЕРВОНОГРАДСЬКА» ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО КАМ'ЯНОВУГІЛЬНОГО БАСЕЙНУ

Породні відвали відходів вуглевидобування та вуглезбагачення спричиняють значне техногенне навантаження на території і становлять небезпеку для компонентів навколишнього природного середовища. Важкі метали, котрі концентруються у відходах вуглезбагачення, мають здатність мігрувати (вимиватися) у ґрунти та наземні і підземні води, накопичуватися рослинами в комплексі створюючи небезпеку для екосистеми. Дослідження були проведені з метою оцінки чинників екологічної небезпеки довкілля у зоні впливу породного відвалу Центральної збагачувальної фабрики «Червоноградська» Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну, спричинених розподілом різних форм окремих важких металів, а саме Co, Ni та Fe. В аргілітах, алевролітах, пісковиках, кременистому алевроліті визначені концентрації Co, Ni та Fe у валовій формі, ацетатно-амонійній та водній витяжках. Проаналізовано чинники екологічної небезпеки довкілля спричиненої розподілом різних форм кобальту, нікелю та заліза на основі встановлення міграційних можливостей цих елементів у зоні техногенезу. Перевищення ГДК валових форм досліджуваних важких металів не виявлено. Встановлені перевищення ГДК рухомих форм нікелю (ацетатно-амонійна витяжка) у алевроліті, пісковіку та кременистому алевроліті (1,1 – 1,5 раза). Визначено коефіцієнти концентрації важких металів у досліджуваних пробах за відношенням до валової форми, у ацетатно-амонійній витяжці, які змінюються в діапазоні від 0,2170 у нікелі до 0,4032 у кобальті. Важкі метали, що концентруються у породах терикона, є малорухомими у водній витяжці і коефіцієнти концентрації знаходяться в межах від 0,0003 у залізі до 0,0232 у кобальті. Породи терикона ЦЗФ «Червоноградська» у частині поширення валових форм важких металів у породах є безпечними для довкілля, проте, у частині поширення рухомих форм Ni є небезпечними. Отримані дані та закономірності є важливим елементом розвитку теорії екологічної безпеки та теорії міграції хімічних елементів у зоні гіпергенезу.

**Ключові слова:** вуглевидобуток, важкі метали, екологічна безпека, терикони, відходи вуглезбагачення.

*I. М. Kochmar, V. V. Karabyn*

*Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine*

## SOME HEAVY METALS DISTRIBUTION IN ROCK OF WASTE DUMPS OF THE CENTRAL ENRICHMENT FACTORY "CHERVONOHRAДСKA" OF LVIV-VOLYN COAL BASIN

Waste heaps of coal mining and coal enrichment cause a significant man-made load on the territory and pose a danger to environmental components. Heavy metals concentrated in the waste coal can migrate (leach) into soils and surface and groundwater, to accumulate in plants creating complex danger to the ecosystem as a whole. The research was conducted to assess the environmental hazards in the impact zone of the waste heap of "Chervonohrad Central Coal Cleaning Plant" in the Lviv-Volyn coal field caused by the distribution of various forms of some heavy metals. Concentrations of Co, Ni and Fe in total form, ammonium acetate and aqueous extracts were determined in argillites, siltstones, sandstones, and siliceous siltstone. Factors of ecological danger caused by the distribution of various forms of cobalt, nickel and iron are analysed based on the migration ability of these elements in a technogenesis zone. Exceeding the MPC of total forms of the studied heavy metals was not detected. Exceedances of MPC of mobile forms of nickel (acetate-ammonium extract) in siltstone, sandstone and siliceous siltstone (1.1 - 1.5 times) were determined. The coefficients of concentration of heavy metals in the samples were determined to the gross form in the acetate-ammonium extract, which varies in the range from 0.2170 in nickel to 0.4032 in cobalt. Heavy metals concentrated in waste heaps are immobile in the aqueous extract and the concentration

coefficients range from 0.0003 in iron to 0.0232 in cobalt. The waste heaps of the "Chervonohrad Central Coal Cleaning Plant" are safe for the environment in terms of the distribution of total forms of heavy metals in the rocks, but they are dangerous in terms of the spread of mobile forms of Ni. The obtained data and regularities are important elements of the development of the theory of ecological safety and the theory of chemical elements migration in the hypergenesis zone.

**Keywords:** coal mining, heavy metals department, environmental safety, waste heaps, waste coal.

**Вступ.** Видобувна та переробна галузі супроводжуються накопиченням промислових відходів, що породжує низку екологічних проблем. Утворення та нагромадження гірничих мас відбувається не лише через вуглевидобування, але й у результаті роботи вуглезбагачувальних фабрик, де накопичуються значні кількості твердих та рідких відходів. У статті ми приділили увагу твердим відходам вуглезбагачення, адже вони представляють значну екологічну небезпеку, призводять до просторово-часових змін геомеханічної рівноваги ландшафту. З метою ефективного вирішення проблеми відходів і запобігання їх негативному впливу важливо дослідити рухомі форми важких металів та можливості їх міграції.

Відомо, що щорічно шахти та вуглезбагачувальні фабрики видають близько 700 тисяч тонн вугільних відходів, із яких 400-500 тисяч тонн складають у відвали, які негативно впливають на екологічну безпеку регіону. Загальна площа відведення земельних ресурсів усіма підприємствами вуглевидобувної галузі у першій половині 2020 року становила 9651,59 га. Червоноградський гірничо-промисловий район є основним видобувним районом Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну, на нього припадає значне техногенне навантаження, на площі 180 км<sup>2</sup> розташовано 12 вугільних шахт і 211 га відведено під породні відвали [1-3].

Метою роботи є оцінка чинників екологічної небезпеки довкілля у зоні впливу породного відвалу Центральної збагачувальної фабрики (ЦЗФ) «Червоноградська» Львівсько-Волинського кам'яно-вугільного басейну, спричинених розподілом різних форм важких металів сидерофільної групи.

Об'єктом досліджень є форми важких металів сидерофільної групи у породах терикону ЦЗФ «Червоноградська» Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну, яка розташована у м. Соснівка, Львівської обл.

Метали сидерофільної групи, за класифікацією В. М. Гольдшміда, характеризуються малими атомними об'ємами, мають хімічну спорідненість до арсену, проявляють феромагнітні та парамагнітні властивості [4]. Оскільки сидерофільні елементи, як правило, концентруються ближче до ядра планет та є відносно малотоксичними, їх менше вивчено в аспекті екологічної безпеки. Втім, значні концентрації сидерофільних хімічних

елементів здатні суттєво вплинути на рівень екологічної безпеки, особливо у межах гірничопромислових територій. У статті досліджуються валові, біодоступні та розчинні форми таких представників сидерофільної групи хімічних елементів як Co, Ni та Fe у зоні впливу ЦЗФ «Червоноградська».

ЦЗФ «Червоноградська» щорічно збагачує вугілля у кількості 2,0 млн. т, кількість готової продукції (вугільного концентрату) становить 1435,5 тис. т. В результаті технологічного процесу утворюються тверді та рідкі відходи, які належать до 4 класу небезпеки [5].

Основний породний відвал ЦЗФ «Червоноградська» сягає висоти 68 м та займає площу близько 85 га. За мінералогічним складом у породі відвалу за різними даними в середньому міститься: аргіліту – 70-97 %, алевроліту – 8-28 %, пісковину – 1-20%, вугілля – 1-7%, піриту – 1%, вологість – 6-7%. Зольність порід становить 54-94 %. Хімічний склад породи (середній з 4 видів) такий: SiO<sub>2</sub> – 56,2 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 23,71%, Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 10,18%, K<sub>2</sub>O – 2,44 %, TiO<sub>2</sub> – 1,09%, CaO – 0,99 %, MgO – 0,73%, Na<sub>2</sub>O – 0,5% [5,6].

**Методи досліджень.** Відбір проб порід у кількості 10 одиниць проводився у різних частинах терикона з глибини 0,2 – 0,3 м. Усі проби були висушені, подрібнені та розділені за фракціями. Витяжку проведено з об'єднаних проб аргілітів, алевролітів, пісковиків та кременистого алевроліту.

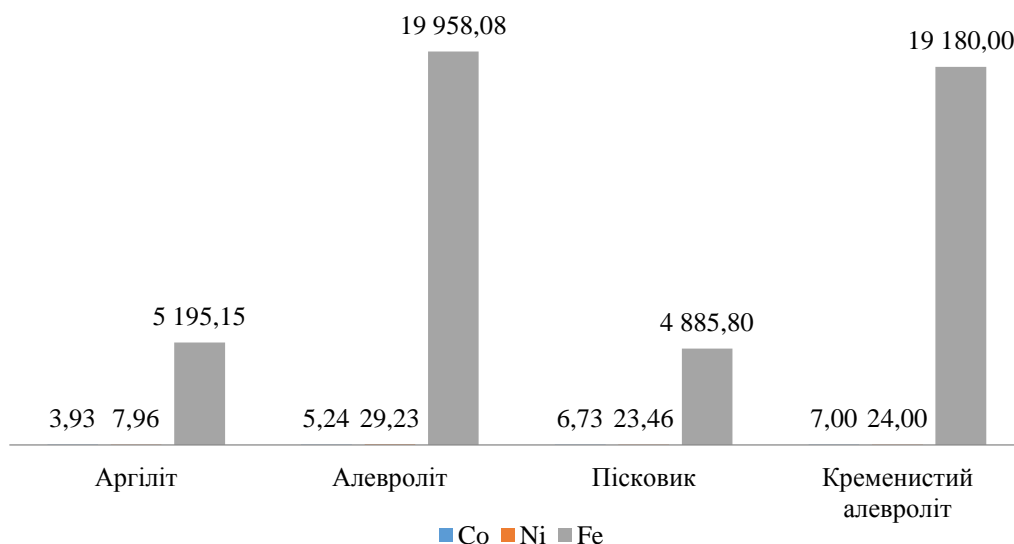
Розчини витяжок з порід приготували таким чином: валову форму металів визначали після руйнування породи 1 н. HNO<sub>3</sub> у присутності H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; рухомі форми – з ацетатно-амонійного буферного розчину (ААБР) з рН 4,8, та водну витяжку з використанням дистильованої води (ДСТУ 4770.4:2007, ДСТУ 4770.5:2007, ДСТУ 4770.7:2007). Для виготовлення кожної з витяжок використовували окремі нативні наважки проб, які перебували у певному розчині добу. Зберігалось співвідношення мас "порода-розчин" 1:10. Встановлення концентрації важких металів у витяжках провели атомно-абсорбційним методом з використанням спектрометра ААС-115-М-1.

**Результати досліджень.** Вміст важких металів в породному відвалі ЦЗФ «Червоноградська» істотно різниться від кларку, адже терикон формують відходи вуглезбагачення сукупності шахт Львівсько-Волинського вугільного басейну, а підосви вугільних пластів,

вугілля і породи, не пов'язані з вугільними пластами, мають певну геохімічну спеціалізацію, відмінну і від вугілля, і від осадових порід.

Валовий вміст важких металів доцільно використовувати для загальної характеристики стану забруднення териконів та визначення їх потенційної небезпеки для навколишнього

середовища. Результати досліджень щодо валового вмісту важких металів у породі терикона ЦЗФ «Червоноградська» представлені на рис. 1. За результатами цих досліджень ми описали та дали порівняльну характеристику вмісту досліджуваних важких металів у ґрунтах, вугільних родовищах та породних відвалах вугледобутку.



**Рисунок 1** – Вміст валових форм Co, Ni та Fe у породах терикона ЦЗФ «Червоноградська», мг/кг

Кобальт відноситься до 2 класу небезпеки, ГДК для ґрунтів за валовою формою – 50 мг/кг [7,8]. Середній вміст кобальту в земній корі коливається в межах від 0,0018 до 0,01 масових відсотки [9], середній вміст кобальту у вугіллі Львівсько-Волинського басейну становить 62 г/т, кларк в осадових породах (глини, аргіліти) – 18 г/т [10].

Кларк кобальту в ґрунтах світу становить 8 мг/кг, зазвичай змінюється від 1 до 40 мг/кг [11,12]. Регіональні кларки кобальту для України (мг/кг ґрунту) такі: Полісся Лівобережне 9 (3-19), Правобережне 10 (7-20), Західне 9 (2,5-14); Лісостеп 17 (8-40); Степ 16 (8-27); Донбас 20 (10-36); Карпати: Передкарпаття 18 (11-30), Закарпаття 18 (5-32), Гори 18 (9-40) [13].

Валовий вміст кобальту у породах терикона ЦЗФ «Червоноградська» становить 3,93 – 7,00 мг/кг (рис. 1) зростаючи в ряді аргіліт – алевроліт – пісковик – кременистий алевроліт та знаходиться в межах норми. Для порівняння вміст Co у породі терикона шахти Візейська становить 9,48 г/т, у пісковіку – 3,64 г/т, алевроліті – 25,07 г/т, у аргіліті – 56,83 г/т [14], у териконах Нововолинського гірничопромислового району цей показник коливається в межах 7,9–12,5 мг/кг [15], а за даними авторів [16] – 5–6 мг/кг, валовий вміст Co у відвальних шахтних породах Західного Донбасу в середньому становить 21,6 (15-30) мг/кг [17].

Нікель відноситься до 2 класу небезпеки, ГДК для ґрунтів за валовою формою 85 мг/кг [7,8]. Середній вміст нікелю в земній корі знаходиться в межах від 0,0058 до 0,018 масових відсотки [9]. Середній вміст Ni у вугіллі Львівсько-Волинського басейну становить 18 г/т, кларк в осадових породах (глини, аргіліти) – 95 г/т [10].

Найвищі вмісти нікелю характерні для ультраосновних порід (1400–2000 мг/кг), із збільшенням кислотності гірських порід його концентрації зменшуються до 5-15 мг/кг у граніті, в осадових породах вони змінюються від 5 до 90 мг/кг, причому найвищі значення притаманні для глинистих відкладень, а найнижчі – для пісковиків [12]. Середній вміст Ni у ґрунтах 40 (5–5000) мг/кг [11].

Регіональні кларки для нікелю для України (мг/кг ґрунту) наступні: Полісся Лівобережне 11 (9-15), Правобережне 11 (9-15), Західне 13 (9-21); Лісостеп 26 (10-80); Степ 25 (19-40); Донбас 20 (10-49); Карпати Передкарпаття 39 (20-92), Закарпаття 30 (13-110), Гори 29 (8-44) [13].

За результатами наших досліджень (рис. 1) вміст нікелю знаходиться в межах норми та зростає в ряді аргіліт – пісковик – кременистий алевроліт – алевроліт від 7, 96 до 29,23 мг/кг. Відомо, що валовий вміст Ni у відвальних шахтних породах Західного Донбасу в середньому становить 61,6 (30–100) мг/кг, а вміст

нікелю у гірській породі шахт ГХК «Краснодонвугілля» становить 35 мг/кг [17,18].

Залізо – один із головних компонентів літосфери і становить приблизно 5% (від 4,2 до 4,7) її маси, концентруючись переважно у основних серіях магматичних порід. Геохімія заліза у навколишньому середовищі відрізняється «складним характером» і багато в чому визначається його здатністю легко змінювати валентність залежно від фізико-хімічних умов середовища. Поведінка заліза тісно пов'язана з геохімічними циклами кисню, сірки та вуглецю [9,12].

Регіональні кларки для заліза для України (мг/кг ґрунту) такі: Полісся Лівобережне 19 847 (8 500-43 000), Правобережне 8 328 (5000-50 000), Західне 12 055 (8 000-27 000); Лісостеп 13 778 (7 000-28 000); Степ 19 974 (12 000-40 000); Донбас 27 492 (10 000-50 000), кларк за Виноградним для ґрунтів України становить 38 000 мг/кг [13].

Валовий вміст заліза у породах терикона ЦЗФ «Червоноградська» зростає в ряді пісковик – аргіліт – кременистий алевроліт – алевроліт та коливається в межах від 4 885,8 мг/кг до 19 958,08 мг/кг. За даними [19] валовий вміст Fe у неперерогілій породі відвалу ЦЗФ «Червоноградська» становить 3 655 мг/кг, у перерогілій – 6 397 мг/кг, в окислених породах становить – 7 234±193 мг/кг, в перемитих негорілих породах – 3 973±162 мг/кг.

Для оцінки впливу породних відвалів вуглезбагачення на стан навколишнього природного середовища вивчення лише

(загального) валового вмісту важких металів є недостатнім. Щоб робити обґрунтовані висновки про можливість міграції техногенних форм важких металів, які відрізняються за рухомістю і біологічною доступністю, необхідне їх більш детальне вивчення за допомогою ацетатно-амонійної та водної витяжок.

Ацетат-амонійний буферний розчин (ААБР) екстрагує передусім хімічні елементи у іонообмінній формі, які є найбільш доступними для рослин, їх також називають біодоступними. Проте, стосовно оцінки металів, які вилучаються ацетатно-амонійною і водною витяжками, немає чіткої термінологічної визначеності. У переважній більшості наукових праць та стандартів України (ДСТУ 4770.1:2007-4770.9:2007) ті кількості металів, які екстраговані ацетатно-амонійним буферним розчином, ототожнюють з рухомими формами металів, водночас, рухомими звісно є метали, екстраговані водною витяжкою.

Для переважної більшості форм важких металів, особливо водорозчинних, не встановлені норми ГДК і тому не можливо в повній мірі оцінити їх небезпеку для навколишнього середовища.

Результатів досліджень поширення різних форм важких металів у зоні техногенезу териконів вуглевидобутку та вуглезбагачення вкрай мало, тому вивчення цієї тематики є актуальним, отримані результати досліджень з вивчення вмісту важких металів у ацетатно-амонійній та водній витяжках з терикона ЦЗФ «Червоноградська» представлені в рис. 2 та рис. 3.

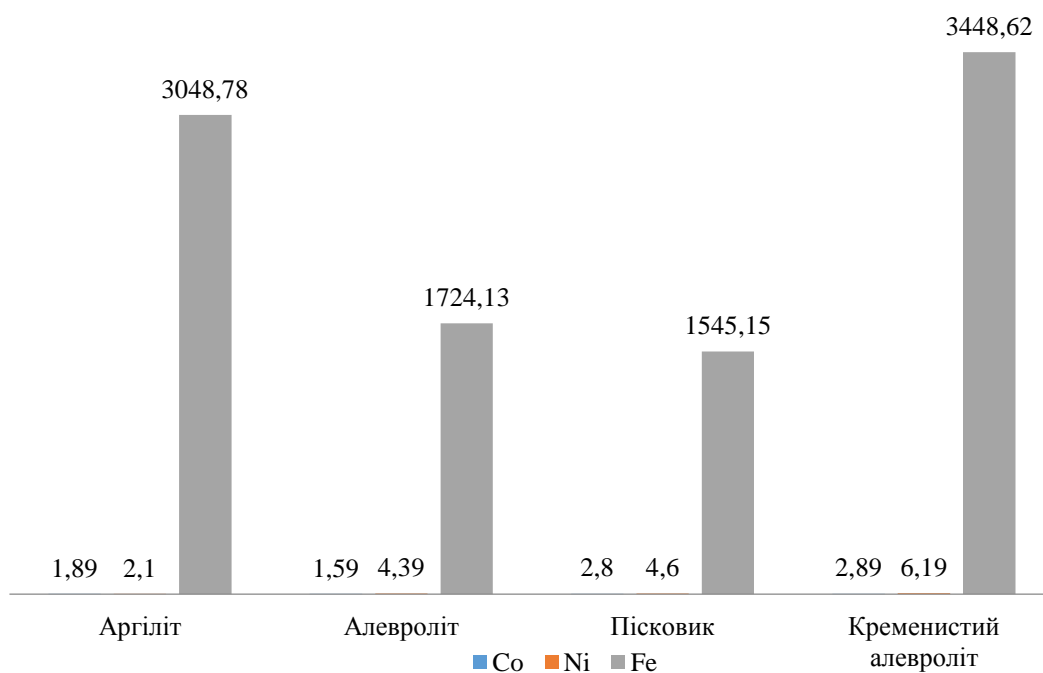
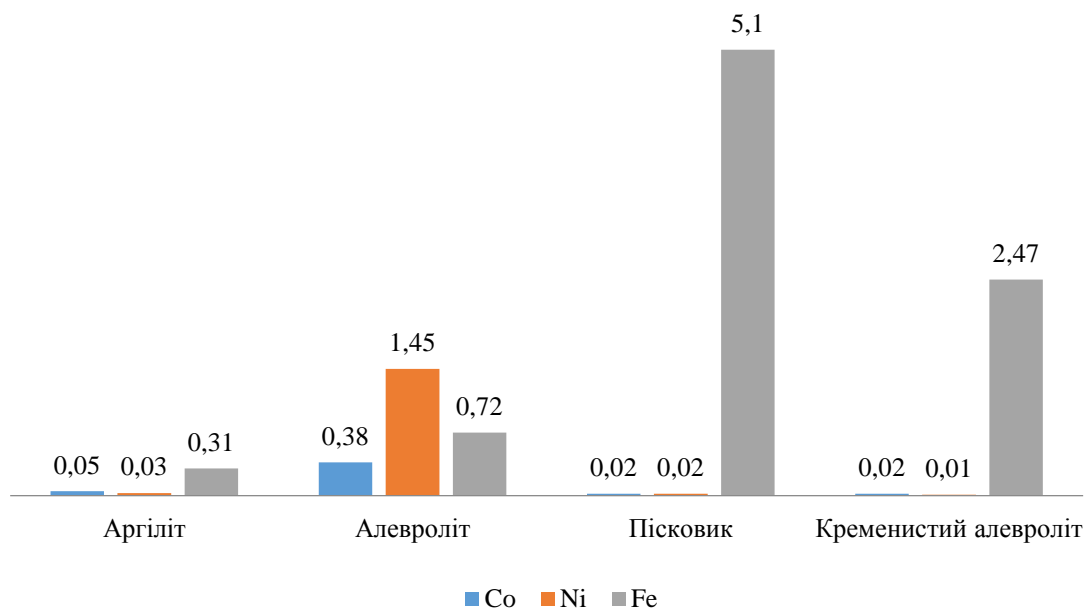


Рисунок 2 – Вміст важких металів у породах терикона ЦЗФ «Червоноградська» (ААБР з рН 4,8), мг/кг



**Рисунок 3** – Вміст важких металів в породах терикона ЦЗФ "Червоноградська» (водна витяжка), мг/кг

Найбільші концентрації кобальту виявлені в кременистому алевроліті – 2,89 мг/кг та пісковіку – 2,8 мг/кг, найменша у – алевроліті – 1,59 мг/кг. Вони не перевищують встановлених норм – 5,0 мг/кг (рис. 2). ГДК вмісту рухомих сполук Со для ґрунтів 5,0 мг/кг [6], середній вміст рухомих форм Со у ґрунтах 1,1 (0,001-15,4) мг/кг. У водній витяжці вміст Со коливається в межах від 0,02 мг/кг у пісковіку до 0,38 мг/кг у алевроліті (рис.3), відомо, що вміст водорозчинних форм Со у відвальних шахтних породах Західного Донбасу в середньому становить 0,09 мг/кг [17].

Перевищує встановлені межі концентрація Ні в кременистому алевроліті у понад 1,5 раза, та у пісковіку і алевроліті 1,15 та 1,1 раза відповідно у ацетатно-амонійній витяжці (рис. 2), адже ГДК вмісту рухомих сполук нікелю для ґрунтів 4,0 мг/кг [7]. Що стосується водної витяжки, то вміст нікелю коливається в межах від 0,01 мг/кг в кременистому алевроліті до 1,45 мг/кг в алевроліті (рис. 3). Середній вміст рухомих форм Ні у ґрунтах 18 (0,1–403) мг/кг [14], вміст водорозчинних форм у Ні у відвальних шахтних породах Західного Донбасу в середньому становить 1,27 (0,05-3,8) мг/кг [17].

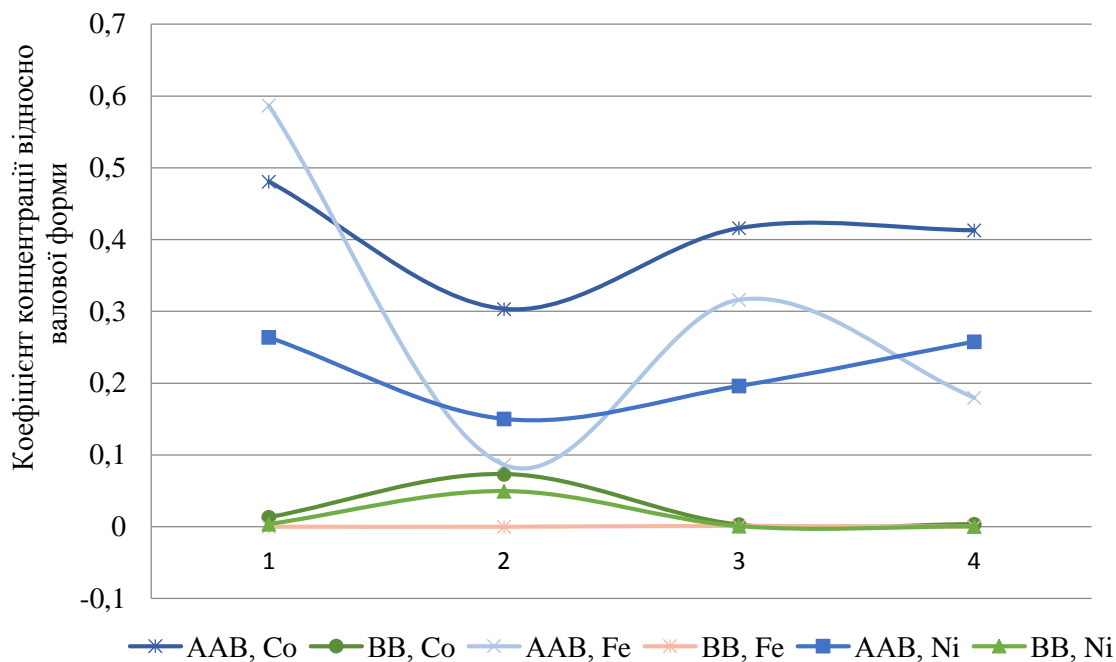
Рухомі сполуки заліза – це сполуки дво- та тривалентного заліза, наявні у ґрунтового розчині, або такі, що можуть перейти з твердої фази до ґрунтового розчину за заданого рівня кислотності. У ацетатно-амонійній витяжці вміст заліза коливається в межах 1 545,15 – 3 448,62 мг/кг та збільшується в ряді пісковик – алевроліт – аргіліт – кременистий алевроліт (рис. 2). У водній витяжці отримані результати свідчать, що залізо є маломобільним елементом, його концентрація коливається в межах 0,31 – 5,1 мг/кг та зростає в ряді

аргіліт – алевроліт – кременистий алевроліт – пісковик (рис. 3).

#### **Обговорення результатів досліджень.**

Більшість літературних даних та досліджень щодо важких металів у породах стосуються їх валового вмісту, з огляду на це, важливо досліджувати вміст біодоступних та розчинних форм важких металів, що дасть можливість визначати співвідношення між концентраціями хімічних елементів у різних формах та прогнозувати можливість міграції рухомих форм елементів знаючи їх концентрації у різних формах існування.

Породи відвалу ЦЗФ «Червоноградська» характеризуються дуже мінливими коефіцієнтами переходів між різними формами важких металів (рис. 4). За відношенням до валової форми коефіцієнти концентрації Со у ацетатно-амонійній витяжці змінюються таким чином: алевроліт – 0,3034, кременистий алевроліт – 0,4128, пісковик – 0,4159, аргіліт – 0,4809; у водній витяжці: пісковик – 0,0029, кременистий алевроліт – 0,0035, аргіліт – 0,0132, алевроліт – 0,0732. За відношенням до валової форми коефіцієнти концентрації Ні у ацетатно-амонійній витяжці становлять: алевроліт – 0,1501, пісковик – 0,1960, кременистий алевроліт – 0,2579, аргіліт – 0,2638; у водній витяжці: кременистий алевроліт – 0,0005, пісковик – 0,008, аргіліт – 0,0037, алевроліт – 0,0497. За відношенням до валової форми коефіцієнти концентрації Fe у ацетатно-амонійній витяжці змінюються в широкому діапазоні, а саме: алевроліт – 0,0863, кременистий алевроліт – 0,1798, пісковик – 0,3162, аргіліт – 0,5868, у водній витяжці: алевроліт –  $3,63 \cdot 10^{-5}$ , аргіліт –  $6,02 \cdot 10^{-5}$ , кременистий алевроліт – 0,0001, пісковик – 0,001.



**Рисунок 4** – Коефіцієнти концентрації важких металів у ацетатно-амонійній та водній витяжках відносно валової форми: 1 – аргіліт, 2 – алевроліт, 3 – пісковик, 4 – кременистий алевроліт. ВВ – водна витяжка; ААВ – ацетатно-амонійна витяжка

Згідно з отриманими даними можна зробити висновок, що найменшими коефіцієнтами переходу у ацетатно-амонійну витяжку відносно валової форми характеризуються нікель – середнє значення 0,2170 та залізо – 0,2923, а найбільшим – кобальт – 0,4032. Що стосується коефіцієнтів переходу у водну витяжку відносно валової форми, то отримані результати свідчать, що найменшим показником характеризуються – залізо 0,0003, більшим – нікель 0,0137, а найбільшим – кобальт 0,0232. З рис. 4 випливає, що в переважній більшості випадків найбільшими коефіцієнтами концентрації рухомих форм важких металів стосовно валових характеризується аргіліт, пісковик та кременистий алевроліт, найменшим – алевроліт у ацетатно-амонійній витяжці. Проте у випадку із нікелем та кобальтом у водній витяжці найбільшим коефіцієнтом концентрації характеризується саме алевроліт.

#### Висновки

1. Провівши комплексне дослідження валових, біодоступних та розчинних форм важких металів у породах терикону, можна зауважити, що ряд досліджень із визначення рухомих форм для цього об'єкта проводилися вперше. Не виявлені перевищення ГДК щодо валових форм важких металів. В результаті проведених досліджень ми встановили перевищення ГДК рухомих форм нікелю у алевроліті – 4,39 мг/кг, пісковіку – 4,6 мг/кг та кременистому алевроліті – 6,19 мг/кг, що свідчить про небезпеку для навколишнього природного середовища.

2. За відношенням до валової форми коефіцієнти концентрації важких металів у ацетатно-амонійній витяжці змінюються в широкому діапазоні від 0,217 для нікелю до 0,4032 для кобальту. Важкі метали, що концентруються у породах терикона є малорухомими у водній витяжці і коефіцієнти концентрації знаходяться в межах від 0,0003 у залізі до 0,0232 у кобальті.

3. Породи терикона ЦФЗ «Червоноградська» у частині поширення валових форм важких металів у породах є безпечними для довкілля. Отримані дані та закономірності є важливим елементом розвитку теорії міграції хімічних елементів у зоні гіпергенезу.

#### Список літератури:

1. Босак П. В., Стокалюк О. В., Корольова О. Г., Попович В. В. Управління екологічною безпекою у проектах розвитку гірничопромислових комплексів. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. 2020. № 22. С. 5-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.22.2.020.01>.
2. Кочмар І.М., Карабин В.В. Екологічні проблеми розробки родовищ кам'яного вугілля та складування пустої відвальної породи. Геотехнічні проблеми розробки родовищ: матеріали ХІХ міжнародної конференції молодих вчених (28 жовтня 2021 року, м. Дніпро). Дніпро: ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України, 2021. С. 189 – 191.
3. Горобей М.С., Улицький О.А., Бойко К.Є., Клименко О.О. Аналіз результатів досліджень



техногенного забруднення довкілля територій навколо вугледобувних підприємств. Екологічні науки: науково-практичний журнал, 2020. № 6 (33). С. 57 – 61. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.6-33.8>

4. Christy, A.G., 2018. Quantifying lithophilicity, chalcophilicity and siderophilicity. *European Journal of Mineralogy*, 30(2): 193-204.

5. Баранов В.І. Екологічний опис породного відвалу вугільних шахт ЦЗФ ЗАТ "Львівсистеменерго" як об'єкта для озеленення. Вісник Львівського університету. Сер. Біологічна. 2008. Вип. 46. С. 172-178.

6. Баранов В.І., Книш І.Б. Хіміко-мінералогічний склад порід відвалу вугільних шахт ЦЗФ "Львівсистеменерго" та їх вплив на проростання насіння. Промислова ботаніка: стан та перспективи розвитку : матер. V міжнар. наук. конф. Донецьк, 2007. С. 36-37.

7. Патица В.П., Тараріко О.Г. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель. К.: Фітосоціоцентр, 2002. 296 с.

8. Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / за ред. С.М. Рижука, М.В. Лісового, Д.М. Бенцаровського. К.: «Рибка моя», 2003. 61 с.

9. H. D. Holland, K. K. Turekian. (2011). *Geochemistry of Earth Surface Systems: From the Treatise on Geochemistry*.

10. Книш І.Б. Карабин В.В. Геохімія мікроелементів у породах терикону копалин Межирічанська Львівсько-Волинського кам'яно-вугільного басейну. Геологія і геохімія горючих копалин. 2010. № 3-4 (152-153). С. 85-101.

11. Хімія ґрунтів. Основи теорії і практикum : навч. посібник / А. А. Кирильчук, О. С. Бонішко. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 354 с. ISBN 978-966-613-893-7

12. Kabata-Pendias, Alina. Trace elements in soils and plants / authors, Alina Kabata-Pendias, Henryk Pendias. 3rd ed. p. cm. URL: <http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Soil/Trace-Elements-in-Soils-and-Plants.pdf> (дата звернення: 23.12.2021).

13. Фатєєв А.І., Пащенко Я.В. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України. Харків: Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського, 2003. 72 с.

14. Книш І.Б. Геохімія мікроелементів у породах терикона шахти Візейська Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. Вісник Львівського університету. Сер.: геологічна, 2008. Вип 22. С. 58–71.

15. Терещук О. Вплив відвалів гірничодобувної промисловості на навколишнє середовище Нововолинського гірничопромислового району. Вісник Львівського університету. Сер.: Географічна. 2007. Вип. 34. С. 279-285.

16. Bosak P., Popovych V., Stepova K. & Dudyn R. Environmental impact and toxicological properties of mine dumps of the Lviv-Volyn coal basin. *News of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2020. 2. 440. P. 48-54. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.30>.

17. Спосіб визначення класу небезпеки твердих відходів гірничодобувної промисловості: пат. 55027 Україна МПК G01N 33/24, G01N 33/18. № u200909965; заявл. 30.09.2009; опублік. 10.12.2010, Бюл. № 23.

18. Богач К.С. Визначення засад еколого-економічної політики поводження з відвалами гірської породи вугільних шахт. Вісник Східноєвропейського університету економіки і менеджменту. Сер.: Економіка і менеджмент. 2013. № 2. С. 101-110. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsuem\\_2013\\_2\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsuem_2013_2_15).

19. Бешлей С.В. Екологічні властивості *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth та його середовищотворна роль на відвалах вугільних шахт (Червоноградський гірничопромисловий район: дис. ... канд. біол. наук : 03.00.16. НАН України, Ін-т екології Карпат. Львів, 2016. 148 с.

#### References:

1. Bosak P. V., Stokalyuk O. V., Korol'ova O. H., Popovych V. V. Management of ecological safety in projects of development of mining complexes. *Visnyk L'vivs'koho derzhavnogo universytetu bezpeky zhyttyediyal'nosti*. 2020. № 22. P. 5-11. <https://doi.org/10.32447/20784643.22.2020.01>.

2. Kochmar I.M., Karabyn V.V. Environmental problems in the development of coal deposits and storage of waste waste. *Heotekhnichni problemy rozrobky rodovyshch: materialy XIX mizhnarodnoyi konferentsiyi molodykh vchenykh* (28 zhovtnya 2021 roku, m. Dnipro). Dnipro: IHTM im. M.S. Polyakova NAN Ukrayiny, 2021. P. 189 - 191.

3. Horobey M.S., Ulyts'kyi O.A., Boyko K.YE., Klymenko O.O. Analysis of the results of research on man-made pollution of the territory around coal mining enterprises. *Ekolohichni nauky: naukovopraktychnyy zhurnal*, 2020. № 6 (33) P. 57 - 61. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.6-33.8>

4. Christy, A.G., 2018. Quantifying lithophilicity, chalcophilicity and siderophilicity. *European Journal of Mineralogy*, 30(2): 193-204.

5. Baranov V.I. Ecological description of the waste heap of coal mines CZF CJSC "Lvivsystemenergo" as an object for landscaping. *Visnyk L'vivs'koho universytetu. Ser. Biolohichna*. 2008. Vyp. 46. P. 172 - 178.

6. Baranov V.I., Knysh I.B. Chemical and mineralogical composition of the rocks of the coal mine dump of Lvivsystemenergo and their influence on seed

germination. *Promyslova botanika: stan ta perspektyvy rozvytku* : mater. V mizhnar. nauk. konf. Donetsk, 2007. P. 36-37.

7. Patyka V.P., Tarariko O.H. *Agric-environmental monitoring and certification of agricultural lands*. K.: Fitosotsiotsentr, 2002. 296 p.

8. *Methods of agrochemical certification of agricultural land* / za red. S.M. Ryzhuka, M.V. Lisovoho, D.M. Bentsarova's'koho. K.: «Rybka moya», 2003. 61 s.

9. Holland H. D., Turekian K. K. (2011). *Geochemistry of Earth Surface Systems: From the Treatise on Geochemistry*.

10. Knysh I.B., Karabyn V.V. *Geochemistry of microelements in the heap rocks of the Mezhyrichanska mine of the Lviv-Volyn coal basin*. *Heolohiya i heokhimiya horyuchykh kopalyn*. 2010. № 3-4 (152-153). P. 85-101.

11. *Soil chemistry. Fundamentals of theory and practice: textbook. manual* / A.A. Kyryl'chuk, O.S. Bonishko. L'viv : LNU imeni Ivana Franka, 2011. 354 s. ISBN 978-966-613-893-7

12. Kabata-Pendias, Alina. *Trace elements in soils and plants* / authors, Alina Kabata-Pendias, Henryk Pendias. 3rd ed. p. cm. URL: <http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Soil/Trace-Elements-in-Soils-and-Plants.pdf> (data zvernennya: 23.12.2021).

13. Fatyeyev A.I., Pashchenko YA.V. *Background content of microelements in the soils of Ukraine*. Kharkiv: Instytut hruntoznavstva ta ahrokhimiyi im. O.N. Sokolova's'koho, 2003. 72 p.

14. Knysh I.B. *Geochemistry of microelements in the waste heap rocks of the Vizeyska mine of the Lviv-Volyn coal basin*. *Visnyk L'viv's'koho universytetu*. Ser.: heolohichna, 2008. Vyp 22. P. 58–71.

15. Tereshchuk O. *The impact of mining dumps on the environment of Novovolynsk mining district*. *Visnyk L'viv's'koho universytetu*. Ser.: Heohrafichna. 2007. Vyp. 34. P. 279-285.

16. Bosak P., Popovych V., Stepova K. & Dudyn R. *Environmental impact and toxicological properties of mine dumps of the Lviv-Volyn coal basin*. *News of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2020. 2. 440. P. 48-54. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.30>.

17. *A method of determining the hazard class of solid waste from the mining industry*: pat. 55027 Ukrayina MPK G01N 33/24, G01N 33/18. № u200909965 ; zayavl. 30.09.2009; opublik. 10.12.2010, Byul. № 23.

18. Bohach K.S. *Determining the principles of environmental and economic policy of coal mine dumps management*. *Visnyk Skhidnoyevropeys'koho universytetu ekonomiky i menedzhmentu*. Ser.: Ekonomika i menedzhment. 2013. № 2. P. 101-110. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsuem\\_2013\\_2\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsuem_2013_2_15).

19. Beshley S.V. *Ecological properties of Calamagrostis epigeios (L.) Roth and its environmental role in the dumps of coal mines: Chervonohrad Mining District: dys. ... kand. biol. nauk* : 03.00.16. NAN Ukrayiny, In-t ekolohiyi Karpat. L'viv, 2016. 148 p.

© I. М. Кочмар, В. В. Карабин, 2022.

**Науково-методична стаття.**

Надійшла до редакції 17.05.2022.

Прийнято до публікації 27.05.2022.