



I. М. Кочмар, В. В. Карабин

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ФОРМИ ЗНАХОДЖЕННЯ Cr ТА Mn У ПОРОДАХ ТЕРИКОНА ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ "ЧЕРВОНОГРАДСЬКА" ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО КАМ'ЯНОВУГІЛЬНОГО БАСЕЙНУ

Гірничопромислові комплекси, зокрема підприємства вугільної промисловості, належать до зон підвищеної екологічної небезпеки, адже багаторічне функціонування підприємств гірничодобувної та гірничопереробної промисловості призвело до істотного локального забруднення компонентів наземних екосистем. З огляду на це, потрібно приділити увагу дослідженню їх впливу на стан довкілля та варто акцентувати на вивченні форм знаходження важких металів у відвальних породах терикона Центральної збагачувальної фабрики "Червоноградська" Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну, який є найбільшим у регіоні. Результатив наукових досліджень з поширення різних форм важких металів у зоні техногенезу відходів вуглевидобутку та вуглезбагачення є недостатньо для розроблення ефективних природоохоронних систем, тому вивчення цієї тематики є актуальним. У роботі наведено результати досліджень з вивчення деяких різновидів гірських порід: аргіліту, алевроліту, пісковіку на предмет вмісту у них Cr та Mn у валовій формі (за допомогою 1 н. HNO₃ у присутності H₂O₂), ацетатно-амонійній (ацетатно-амонійний буферний розчин з рН 4,8) та водорозчинній (з використанням дистильованої води) витяжках. Встановлено чинники екологічної небезпеки довкілля, спричинених розподілом різних форм хрому та мангану на підставі аналізу міграційних властивостей цих елементів. Встановлено, що вміст валових форм Mn у 1,14-1,88 раза перевищує встановлені норми та сягає значень 2824,00 мг/кг у кременистому алевроліті. Виявлено, що концентрація рухомих форм важких металів у зразках порід перевищує допустимі норми в ацетатно-амонійній витяжці Cr у 1,33-2,5 раза, Mn – у 1,4-4,87 раза. Розраховано коефіцієнти концентрації важких металів за відношенням до валової форми, визначено, що значення є дуже мінливими, що залежить від досліджуваної породи. Результати досліджень дають підставу оцінити породи відвалу Центральної збагачувальної фабрики у частині поширення різних форм Cr та Mn як небезпечні для довкілля.

Ключові слова: вуглевидобуток; екологічна безпека; відвальна порода; відходи вуглезбагачення; гірничопромислові комплекси.

Вступ / Introduction

Вуглевидобуток та збагачення вугілля зумовлює істотні просторові зміни й антропогенне навантаження на території, що призводить до різномасштабних трансформаций природних ландшафтів. Інтенсивний розвиток гірничої промисловості в межах Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну та діяльність Центральної збагачувальної фабрики "Червоноградська" (далі – ЦЗФ "Червоноградська") упродовж понад 70 років створювала передумови для виникнення специфічних антропогенних геокомплексів – гірничопромислових, складовими яких є відвальна порода, кар'єри, водосховища, відстійники та інші форми, що утворюють-

ся при взаємодії техногенних і природних компонентів ландшафту [8]. Експлуатація та використання гірничопромислових комплексів супроводжується значним впливом на складові навколишнього природного середовища шляхом складування або вилучення в їхніх межах значних мас гірських порід, а також зміну хімічного складу порід та ґрунтів [13]. Для оптимізації стану екологічної безпеки гірничопромислових комплексів необхідно проводити такі дії: моніторинг стану екологічної безпеки – встановлення закономірностей її формування – розроблення системи екологічної безпеки [5]. Для вирішення цих проблем та запобігання негативному впливу гірничих робіт важливо дослідити форми

Інформація про авторів:

Кочмар Ірина Миколаївна, викладач, кафедра екологічної безпеки. Email: i.kochmar@ldubgd.edu.ua;

<https://orcid.org/0000-0003-1461-089X>

Карабин Василь Васильович, д-р техн. наук, доцент, кафедра цивільного захисту та комп'ютерного моделювання екогеофізичних процесів. Email: v.karabyn@ldubgd.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-8337-5355>

Цитування за ДСТУ: Кочмар І. М., Карабин В. В. Форми знаходження Cr та Mn у породах терикона центральної збагачувальної фабрики "Червоноградська" Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. Науковий вісник НЛТУ України. 2022, т. 32, № 4. С. 44–48.

Citation APA: Kochmar, I. M., & Karabyn, V. V. (2022). Finding forms of cr and mn in the rocks of the terricone of Chervonohradka central enrichment factory of Lviv-Volyn coal basin. *Scientific Bulletin of UNFU*, 32(4), 44–48. <https://doi.org/10.36930/40320407>

знаходження важких металів та можливості їх міграції.

Об'єкт дослідження – відходи вуглезбагачення, а саме породи терикона ЦЗФ "Червоноградська" Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну.

Предмет дослідження – форми знаходження Cr та Mn у породах терикона ЦЗФ "Червоноградська" Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну (далі – ЛВБ).

Мета роботи – оцінення чинників екологічної небезпеки довкілля у зоні впливу породного відвалу ЦЗФ "Червоноградська", спричинених розподілом різних форм деяких важких металів літофільної групи.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі *основні завдання дослідження*: провести відбір та підготовку досліджуваних зразків; підготувати витяжки та визначити вміст досліджуваних важких металів атомно-адсорбційним методом; за отриманими результатами оцінити чинники екологічної небезпеки, зумовлені розподілом рухомих форм хрому та мангану.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. ЦЗФ "Червоноградська" здійснює збагачення бідного вугілля усіх шахт вугільного басейну. Тверда відвальна порода, що утворюється внаслідок вуглезбагачення, складається у терикон. Відвал порід ЦЗФ "Червоноградська" сягає висоти 68 м та займає площу близько 0,85 км². Відвал сформовано п'ятьма терасами з плоскою поверхнею у середній частині. Відвал оконтурює дренажна канава, рідина з якої потрапляє у невеликий став. За мінералогічним складом відвал складений аргілітами (70-97 %), алевролітами (8-28 %), пісковиками (1-20 %), вугіллям (1-7 %), піритом (1 %) [1, 2].

Метали літофільної групи становлять основну масу мінералів земної кори – близько 93 %. Літофільні елементи в умовах біосфери утворюють мінерали типу оксидів, гідроксидів тощо. У роботі досліджено форми знаходження таких представників літофільної групи, як Cr та Mn у зоні впливу ЦЗФ "Червоноградська".

Матеріали та методи дослідження. Як зазначено вище, об'єктами дослідження були проби негорілої відвальної породи з терикона ЦЗФ "Червоноградська", а саме: аргіліти, алевроліти, пісковики. Відбір проб порід (10 зразків) здійснено у різних частинах терикона в інтервалі 0,2-0,3 м. Зразки порід висушували, подрібнювали та розділили за фракціями, а витяжки з порід здійснили з об'єднаних проб. Приготування розчинів витяжок з порід здійснено у такий спосіб: валову форму свинцю визначали після руйнування породи 1 н. HNO₃ за присутності H₂O₂; рухомі форми – з ацетатно-амонійного буферного розчину (далі – ААБР) з рН 4,8, та водній витяжці з використанням дистильованої води [15]. Для виготовлення кожної з витяжок використовували окремі нативні наважки проб, які перебували у певному розчині упродовж доби. Зберігалось співвідношення мас "порода-розчин" – 1:10. Встановлення концентрації важких металів у витяжках здійснено атомно-адсорбційним методом з використанням спектрометра ААС-115-М-1.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Відвальну породу, що складається в терикони, варто розглядати як складну геохімічну систему, сформовану внаслідок низки природних, техногенних і технічних чинників. Зазначимо, що породи у териконах, за хімічним складом, неоднорідні, що визначається хімічним

складом порід вугленосної товщі, особливостями технології видобутку і процесами гіпергенезу порід на земній поверхні [17], тому доцільно дослідити вміст літофільних важких металів у породних відвалах вуглезбагачення.

Мінливість вмісту валових форм важких металів. Результати досліджень валового вмісту важких металів у породі терикона ЦЗФ "Червоноградська" наведено в табл. 1, мінливість вмісту мангану та хрому у породах відвалів гірничих об'єктів ЛВБ – у табл. 2.

Табл. 1. Вміст валових форм Cr та Mn у породах терикона ЦЗФ "Червоноградська" / The content of total forms of Cr and Mn in the terricon rocks of Chervonogradska CEF

Елемент	Клас небезпеки	ГДК для ґрунтів, мг/кг	Кларк, г/т	Виявлений вміст важких металів у породах, мг/кг			
				Аргіліт	Алевроліт	Пісковик	Кременистий алевроліт
Cr	2	100,0	100,0	30,23	16,12	14,28	20,00
Mn	3	1500	670	1521,04	1710,54	302,94	2824,00

Середня концентрація хрому в земній корі змінюється від 0,0083 до 0,033 масових відсотки [7]. Кларк хрому у бурому вугіллі – 15^{±1} г/т (вугілля), 82^{±5} г/т (зола); у кам'яному вугіллі – 17^{±1} г/т (вугілля), 120^{±5} г/т (зола) [20], кларк Cr у вугіллі ЛВБ становить 16 г/т, кларк в осадових породах (глини, аргіліти) – 100 г/т [11].

Рівні вмісту хрому у ґрунтах залежать від таких у материнських породах. Кларк хрому в ґрунтах світу становить 70 мг/кг, деякі регіональні кларки сильно відрізняються від загальносвітового, наприклад для ґрунтів США – 40 мг/кг, Данії – 12 мг/кг, середній вміст Cr у ґрунтах 100 (5-3000) мг/кг. Хром є одним із найтоксичніших елементів, і це залежить від його окисного статусу, в природних умовах Cr існує в двох станах: хромат оксіаніона CrO₄²⁻ сильнорухливий у ґрунтах та ґрунтовій воді; відновлена форма Cr (III) утворює малорозчинний гідроксид і формує міцні комплекси з ґрунтовими мінералами [9]. У ґрунтах України вміст хрому є доволі мінливим (мг/кг ґрунту): Полісся Лівобережне – 33 (18-58), Правобережне – 37 (20-56), Західне – 48 (23-67); Лісостеп – 51 (10-100); Степ – 85 (40-150); Донбас – 48 (25-100); Карпати, Передкарпаття – 103 (41-150), Закарпаття – 89 (30-282), гори – 109 (60-160) [6].

За результатами наших досліджень (див. табл. 1), вміст хрому зростає в ряді пісковик – алевроліт – кременистий алевроліт – аргіліт від 14, 28 до 30,24 мг/кг. У териконах Нововолинського гірничопромислового району концентрація хрому в середньому становить 180 (1,0-220) мг/кг [18].

Марганець є одним з найпоширеніших мікроелементів в літосфері, його кларк змінюється від 0,08 до 0,10 у масових відсотках [7], варто зазначити, що кларк марганцю у бурому вугіллі – 100^{±5} г/т (вугілля), 520^{±30} г/т (зола); у кам'яному вугіллі – 70^{±6} г/т (вугілля), 480^{±30} г/т (зола) [20]. Середня концентрація Mn у вугіллі ЛВБ становить 164 г/т, кларк в осадових породах (глини, аргіліти) – 670 г/т [11]. Відомо, що середній вміст Mn у ґрунтах – 850 (100-4000) мг/кг [9].

Як показують дослідження (див. табл. 1), спостерігається мінливість концентрації валових форм марганцю в породах та зростає в ряді пісковик – аргіліт – алевроліт – кременистий алевроліт. В аргіліті та алевроліті вміст Mn перевищує ГДК в 1,01 та 1,14 раза відповідно,

у кременистому алевроліті його концентрація перевищує норму в 1,88 раза. Вміст Mn в аргіліті в 2,27 раза, в алевроліті – 2,55 раза, у кременистому алевроліті – у 4,21 раза перевищує кларк в осадових породах. За даними [4], валовий вміст Mn у неперегорілій породі відвалу ЦЗФ "Червоноградська" становить 330 мг/кг, у перерогілій – 363 мг/кг, в окисленій 1052,3^{+13,9} мг/кг, перемигій негорілій – 377,5^{+27,4} мг/кг. Для терикона шахти Візейська цей показник змінюється в межах 118,61-3849,61 мг/кг, а вміст валових форм у породних териконах вугільних шахт ЛВБ в суміші порід змінюється в межах 390,0-1910,0 мг/кг та більш детально описано в роботі [14].

Табл. 2. Поширення мангану та хрому у породах відвалів гірничих об'єктів ЛВБ, мг/кг / Distribution of manganese and chromium in the rocks of dumps of LVCB mining facilities, mg/kg

Об'єкт опробування	Mn	Cr	Джерело
Відвал шахти "Межирічанська"	577,4	44,4	[11]
Група шахт Нововолинського гірничопромислового району	390,0-770,0	–	[18]
Відвал шахти "Візейська"	118,6-3849,6	–	[14]
Вугленосні породи ЛВБ	620,0	108,0	[16]
Відвали ЦЗФ та шахти "Надія"	63,0-363,0	–	[3]
Відвал шахти "Візейська"	1910	48,63	[10]
Відвал шахти "Червоноградська"	1270,0	68,4	[12]

Мінливість вмісту важких металів у ацетат-амонійній та водній витяжках. Дослідження валового вмісту важких металів не дає змоги достатньо глибоко оцінити вплив породних відвалів на стан довкілля, тому доцільно досліджувати їх міграційні здатності використовуючи ацетатно-амонійну та водну витяжки. ААБР екстрагує передусім хімічні елементи в іонообмінній формі. У цій формі хімічні елементи є доступними для рослин, тобто біодоступними. Ще рухомішими та доступнішими для рослин є метали, екстраговані водною витяжкою. Результати досліджень з вивчення вмісту важких металів у ацетатно-амонійній та водній витяжках з терикона ЦЗФ "Червоноградська" наведено в табл. 3.

Табл. 3. Вміст рухомих форм важких металів у породах терикона ЦЗФ "Червоноградська" / The content of mobile forms of heavy metals in the terricon rocks of Chervonogradska CEF

Елемент	Виявлений вміст важких металів у породах, мг/кг			
	Аргіліт	Алевроліт	Пісковик	Кременистий алевроліт
Cr*	14,99	3,99	8,0	11,99
Mn*	681,72	197,90	108,01	393,84
Cr**	0,6	0,34	0,25	0,37
Mn**	1,95	16,23	0,29	0,04

Примітка: * ААБР з рН 4,8; ** водна витяжка.

У породах терикона ЦЗФ "Червоноградська" виявлено перевищення ГДК (для ґрунтів – 6,0 мг/кг) концентрації хрому в ацетатно-амонійному буферному розчині у кременистому алевроліті та аргіліті у 2-2,5 раза відповідно, та в пісковіку – в 1,33 раза. У водній витяжці збільшення концентрації хрому зростає в ряді пісковик – алевроліт – кременистий алевроліт – аргіліт та варіює в межах 0,25-0,6 мг/кг (див. табл. 3).

Виявлено значне перевищення ГДК (60-140 мг/кг залежно від типу ґрунтів) для марганцю в ацетатно-амонійному буферному розчині: 1,41 раза – в алевроліті, 2,81 раза – у кременистому алевроліті та 4,87 раза – в

аргіліті (див. табл. 3), у териконі шахти Візейська цей показник сягає 14,5-95,43 мг/кг [14], та значно менший за отримані нами результати. Що стосується водної витяжки, то вміст Mn в досліджуваних породах змінюється від 0,04 до 16,23 мг/кг. Вміст водорозчинних форм у відвальних шахтних породах Західного Донбасу в середньому становить 26,5 (0,3-100) мг/кг [19], середній вміст рухомих форм Mn у ґрунті – 10 (15-170) мг/кг. Оцінити небезпеку рухомих форм важких металів для навколишнього середовища, а особливо ґрунтів та порід, ускладнює відсутність встановлених норм ГДК для водорозчинних форм.

За результати досліджень порід відвалу ЦЗФ "Червоноградська" встановлено високу варіабельність концентрації досліджуваних металів у різних формах (рис. 1 і 2). Коефіцієнти концентрації (частка переходу між різними формами знаходження) важких металів розраховували як відношення концентрації досліджуваного елемента в ацетатно-амонійній та водній витяжках до їх концентрації у валовій формі. Коефіцієнти концентрації Cr в ацетатно-амонійній витяжці за відношенням до валової форми змінюються так: алевроліт – 0,25, аргіліт – 0,50, пісковик – 0,56, кременистий алевроліт – 0,60; у водній витяжці: кременистий алевроліт – 0,019, аргіліт – 0,02, алевроліт – 0,021, пісковик – 0,024. За відношенням до валової форми коефіцієнти концентрації Mn в ацетатно-амонійній витяжці становлять: алевроліт – 0,116, кременистий алевроліт – 0,140, пісковик – 0,360; аргіліт – 0,450; у водній витяжці: кременистий алевроліт – 1,31 · 10⁻⁵, пісковик – 0,0009, аргіліт – 0,0012, алевроліт – 0,009.

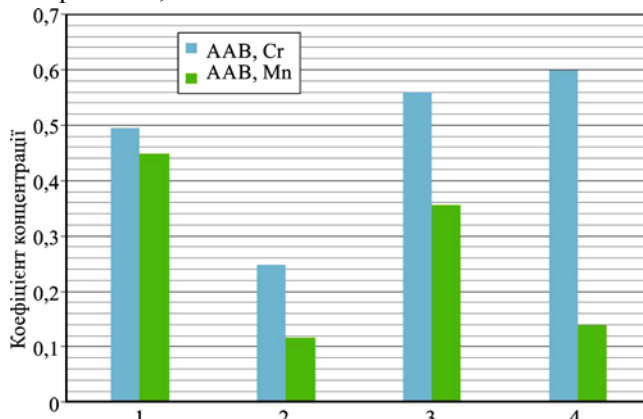


Рис. 1. Коефіцієнти концентрації важких металів у ацетатно-амонійній витяжці (ААВ) відносно валової форми / Concentration coefficients of heavy metals in acetate-ammonium extract (AAE) relative to the total form: 1 – аргіліт / argillite; 2 – алевроліт / siltstone; 3 – пісковик / sandstone; 4 – кременистий алевроліт / siliceous siltstone

За результатами наших досліджень констатуємо, що найменші коефіцієнти переходу в ацетатно-амонійну витяжку відносно валової форми характерні для марганцю, середнє значення – 0,2649, а найбільші – хром (0,4756). Що стосується коефіцієнтів переходу у водну витяжку відносно валової форми, то найменший показник притаманний марганцю 0,0029, а найбільший – хрому 0,0193. З рис. 1 випливає, що переважно найбільші коефіцієнти концентрації рухомих форм важких металів у ацетатно-амонійній витяжці стосовно валових характерні для аргіліту, пісковіку та кременистого алевроліту, найменші – для алевроліту. У водній витяжці найбільшими коефіцієнтами концентрації характери-

зуються аргіліт та алевроліт, найменшими – кременистий алевроліт та пісковик.

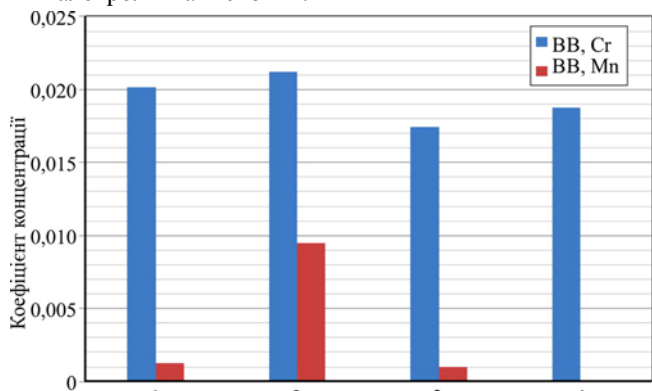


Рис. 2. Коефіцієнти концентрації важких металів у водній витяжці (ВВ) відносно валової форми / Coefficients of concentration of heavy metals in the aqueous extract (AE) relative to the total form: 1 – аргіліт / argillite; 2 – алевроліт / siltstone; 3 – пісковик / sandstone; 4 – кременистий алевроліт / siliceous siltstone

Обговорення результатів дослідження. Отримані результати у частині валових форм важких металів у відходах вуглезабагачення зіставні з концентрацією хімічних елементів у суміші гірських порід териконів шахт ЛВБ [11, 12, 14, 16, 18]. Зокрема, порівняно із середніми концентраціями Mn у вугленосних породах ЛВБ, який за даними [16] становить 577,4 мг/кг, вміст цього металу в аргіліті та алевроліті відвалу ЦЗФ "Червоноградська" є вищими відповідно у 2,5 та 2,8 раза. У досліджуваних пісковиках вміст Mn є нижчим. Подібні співвідношення встановлено і порівняно з породами терикона шахти "Межирічанська". Породи відвалів шахт "Візейська" та "Червоноградська" характеризуються більш високими концентраціями мангану, які переважають концентрацію цього металу в усіх типах порід, які ми відібрали у межах відвалу ЦЗФ "Червоноградська". За даними [14] вміст валових форм мангану у негорілих породах відвалу шахти "Візейська", як і у відвалі ЦЗФ зростає у ряді аргіліт – алевроліт.

Концентрація хрому у породах відвалу ЦЗФ "Червоноградська" є дещо нижчою порівняно з породами териконів шахт "Візейська", "Межирічанська" і значно нижчими (у 3-7 разів) – порівняно зі середніми вмістами цього металу у вугленосних породах ЛВБ.

Наведений вище аналіз вітчизняних першоджерел переконливо засвідчив, що основну увагу приділяли дослідженням концентрації валових форм важких металів у суміші порід відходів вуглевидобутку та вуглезабагачення, а не окремих їх видів, саме це переконливо підтверджує актуальність проведення наших досліджень.

Внаслідок проведеного дослідження отримано такі *основні результати*: досліджено форми знаходження літофільних важких металів у відвальній породі, що дало змогу оцінити їх міграційні можливості.

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вперше досліджено форми знаходження хрому та мангану для окремих видів порід з відходів вуглевидобутку, а не їх суміші, що дає змогу оцінити їх вплив на навколишнє природне середовище. Такі дослі-

дження у науковій літературі не описані, тому їх можна вважати новим напрямом у вивченні міграційних здатностей важких металів.

Практична значущість результатів дослідження – отримані результати дають змогу оцінити вплив відходів вуглезабагачення у плані міграційних здатностей важких металів, а саме їх біодоступність та здатність вимиватися дощовими і талими водами, з поверхні відвалів та потрапляти у ґрунти та водні об'єкти. Такі результати дають підстави сподіватись, що їх можна буде із значним ефектом застосувати на практиці – під час рекультиваци відвалів чи використання відходів вуглезабагачення в інших сферах національного господарства.

Висновки / Conclusions

Здійснено комплексне дослідження форм знаходження літофільних важких металів у відвальних породах терикона ЦЗФ "Червоноградська". Варто зауважити, що низку досліджень стосовно визначення рухомих форм для цього об'єкта проведено вперше. Під час дослідження виявлено перевищення ГДК у валовій формі знаходження мангану та біодоступних формах знаходження хрому та мангану. Встановлено коефіцієнти концентрації літофільних металів у ацетатно-амонійній та водній витяжках за відношенням до валової форми. Встановлено, що хром є більш мобільним важким металом порівняно з манганом, а саме коефіцієнти концентрації в ацетатно-амонійній витяжці відносно валової форми більші в 1,79 раза, у водній витяжці – у 6,55 раза. Отримані результати дають підстави вважати, що у частині поширення різних форм важких металів у породах хром і марганець є небезпечними для довкілля. Встановлені закономірності є важливим елементом розвитку теорії міграції хімічних елементів у зоні гіпергенезу та мають прикладне природоохоронне значення для оцінення екологічної безпеки гірничопромислових комплексів.

References

1. Baranov, V. I. (2008). Ecological description of the tailings of the coal mines of CZF CJSC "Lvivsystemergo" as an object for landscaping. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Ser. Biologichna*, 46, 172–178. [In Ukrainian].
2. Baranov, V. I., & Knysh, I. B. (2008). The chemical and mineralogical composition of the waste rock of coal mines of CZF "Lvivsystemergo" and their influence on seed germination. *Promyslova botanika: stan ta perspektyvy rozvytku: mater. V mizhnar. nauk. konf. Donetsk*, 36–37. [In Ukrainian].
3. Besheley, S. V., Baranov, V. I., & Vashchuk, S. P. (2011). Assessment of the toxicity of coal mine dump substrates by biotesting. *Scientific Bulletin of UNFU*, 21(12), 98–102. [In Ukrainian].
4. Beshley, S. V. (2016). Ecological properties of *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth and its environmental role in coal mine dumps (Chervonograd mining district). Candidate Dissertation for Biology Sciences (03.00.16). NAN Ukrainy, In-t ekolohiyi Karpat. Lviv. [In Ukrainian].
5. Bosak, P. V., Stokalyuk, O. V., & Korolova, O. H., & Popovych V. V. (2020). Environmental safety management in development projects of mining complexes. *Visnyk Lvivskoho derzhavnogo universytetu bezpeky zhyttyediyalnosti*, 22, 5–11. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.32447/20784643.22.2020.01>
6. Fatyeyev, A. I., & Pashchenko, Ya. V. (2003). Background content of trace elements in the soils of Ukraine. *Kharkiv: Instytut gruntoznnavstva ta ahrokhimiyi im. O. N. Sokolovskoho*. [In Ukrainian].
7. Holland, H. D., & Turekian, K. K. (2011). *Geochemistry of Earth Surface Systems: From the Treatise on Geochemistry*.

8. Ivanov, Ye. (2004). Peculiarities of the landscape structure of mining geocomplexes. *Visnyk Lviv. un-tu. Seriya heohrafichna*, 31, 106–113. [In Ukrainian].
9. Kabata-Pendias, A., & Pendias, N. (2001). Trace elements in soils and plants.
10. Knysh, I. B. (2008). Geochemistry of microelements in tericon rocks of the Vizeysk mine of the Lviv-Volyn coal basin. *Visnyk L'vivskoho universytetu. Ser.: heolohichna*, 22, 58–71. [In Ukrainian].
11. Knysh, I. B., & Karabyn, V. V. (2010). Geochemistry of microelements in tericon rocks of the Mezhirichanska mine of the Lviv-Volyn coal basin. *Heolohiya i heokhimiya horyuchykh kopalyn*, 3-4 (152-153), 85–101. [In Ukrainian].
12. Knysh, I., & Karabyn, V. (2014). Heavy metals distribution in the waste pile rocks of Chervonogradska mine of the Lviv-Volyn coal basin (Ukraine). *Pollution Research Journal Papers*. Vol 33, Issue 04, 663–670.
13. Kochmar, I. M., & Karabyn, V. V. (2021). Environmental problems of the development of hard coal deposits and the storage of empty waste rock. *Heotekhnichni problemy rozrobky rodovyshch: materialy XIX mizhnarodnoyi konferentsiyi molodykh vchenykh* (28 zhovtnya 2021 roku, m. Dnipro), 189–191. [In Ukrainian].
14. Kochmar, I. N., & Karabyn, V. V. (2017). Ecological aspects of manganese geochemistry in the technogenesis zone of coal mine dumps. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya*, 4, 81–91. [In Russian].
15. Kuznetsov, A. V. (Ed.). (1992). *Methodological guidelines for the determination of heavy metals in agricultural soils and plant production* (2nd edition, revised and supplemented). Moscow: TSI-NAO. [In Russian].
16. Lelyk, B. Y. (1990). Geological features of the distribution of rare and dispersed elements in coal-bearing deposits of the Lviv-Volyn basin: avtoref. dys.... kand. heol.-mineral. nauk. Lviv. [In Ukrainian].
17. Popovych, V. V., Pidhorodets'kyy, YA. I., & Pinder, V. F. (2016). Typolohiya terykoniv L'vivsk'o-Volynsk'oho vuhil'noho baseynu. *Scientific Bulletin of UNFU*, 26(8), 238–243. <https://doi.org/10.15421/40260837>
18. Tereshchuk, O. (2007). The impact of mining waste dumps on the environment of the Novovolinsk mining district. *Visnyk L'vivskoho universytetu. Ser.: Heohrafichna*, 34, 279–285. [In Ukrainian].
19. The method of determining the hazard class of solid waste of the mining industry: pat. 55027 Ukrayina MPK G01N 33/24 G01N 33/18. № u 2009 09965; zayavl. 30.09.2009; opubl. 10.12.2010, Byul. № 23. [In Ukrainian].
20. Yudovich, Ya. E., & Ketris, M. P. (2005). Toxic elements-impurities in fossil coals. Yekaterinburg: UrO RAN. [In Russian].

I. M. Kochmar, V. V. Karabyn

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

FINDING FORMS OF CR AND MN IN THE ROCKS OF THE TERRICONE OF CHERVONOHRAДСKA CENTRAL ENRICHMENT FACTORY OF LVIV-VOLYN COAL BASIN

Lviv-Volyn coal basin is an important energy base of the western region of Ukraine. The long-term operation of mining and mining enterprises has led to local pollution of the components of terrestrial ecosystems. An important aspect from the point of view of environmental safety is the assessment of pollution of the territory as part of the activities of mining complexes. Chervonogradska Central Enrichment Factory, which carries out the enrichment of lean coal from all mines in the coal basin, has a significant anthropogenic impact on the environment, and the spoil heap of waste rock is the largest in the region, covering an area of more than 85 hectares. The article presents the results of research of the waste heap rock of the concentrating plant, namely: argillites, siltstone, sandstone and siliceous siltstone and determined the concentrations of Cr and Mn in total form (using 1 N HNO₃ in the presence of H₂O₂), mobile forms (from acetate-ammonium buffer solution with pH of 4.8), and water-soluble forms (using distilled water). The factors of ecological danger of the environment caused by the distribution of various forms of chromium and manganese are analyzed on the basis of establishing the migration possibilities of these elements in the zone of technogenesis. The content of total forms of Cr is revealed to reach 30.23 mg/kg in argillites, Mn – 2824.00 mg/kg in siliceous siltstone. The content of mobile forms of Cr in the studied samples in the acetate-ammonium extract is found to be 14.99 mg/kg, Mn – 681.72 mg/kg in argillites. The concentration coefficients of heavy metals in the studied samples in relation to the gross form were determined, and the values are found to vary in a wide range depending on the studied rock, and chromium is more bioavailable as well. The results of the research give grounds to assess the rocks of the slagheap under study in terms of the distribution of various forms of Cr and Mn as dangerous for the environment and unsuitable for use.

Keywords: coal mining; environmental safety; waste rock; coal enrichment waste; mining complexes.