

В.В. Ішков, Є.С. Козій

АНАЛІЗ ПОШИРЕННЯ ХРОМУ І РТУТІ В ОСНОВНИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТАХ КРАСНОАРМІЙСЬКОГО ГЕОЛОГО-ПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ

Зростання вимог до охорони довкілля у вугледобувній галузі України зумовлює потребу в нових науково обґрунтованих методах прогнозування вмісту токсичних і потенційно токсичних елементів у гірничій масі, яку видобувають на шахтах, та у відходах вуглевидобутку й вуглезбагачення, а також впливу підприємств вугільної теплоенергетики на довкілля. Для цього потрібно мати дані про концентрацію, характер й особливості розподілу токсичних і потенційно токсичних елементів, зокрема ртуті й хрому у вугільних пластах. Дослідження охопили всю територію одного з найвивченіших геолого-промислових районів Донбасу – Красноармійського. У статті розглянуто особливості розподілу й визначено характер поширення ртуті й хрому у вугільних пластах, виконано розрахунки їхніх середньозважених концентрацій у вугіллі основних пластів і світ. Побудовано й проаналізовано гістограми розподілу вмісту ртуті й хрому у вугільних пластах, а також дендрограми результатів кластеризації зваженим центроїдним методом вугільних пластів за їхнім умістом. Кумуляція ртуті й хрому у вугільних пластах району має полігенний і поліхронний характер. Основною формою розміщення цих елементів у вугільних пластах є сорбована (на глинистих мінералах і фіюзенізованих мікрокомпонентах), а для ртуті ще й сульфідна (в епігенетичних піритах).

Ключові слова: токсичні і потенційно токсичні елементи, дендрограми кластеризації, зони підвищеної тріщинуватості, стратиграфічний розріз, геолого-промисловий район.

Вступ. Дослідження поширення ртуті й хрому у вугіллі основних пластів Красноармійського геолого-промислового району Донбасу пов'язане з підвищенням вимог до охорони довкілля, що зумовлюють потребу в нових науково обґрунтованих методах прогнозування концентрації токсичних і потенційно токсичних елементів у видобутій шахтами гірничій масі, відходах вуглевидобутку й вуглезбагачення. Особлива актуальність цієї проблеми визначається Законами України "Про Надра", "Про охорону навколишнього середовища", "Про охорону атмосферного Повітря", "Про екологічну експертизу", "Про відходи", постановами Кабінету Міністрів України № 22 від 30.09.1995 р. і № 688 від 28.06.1997 р., а також нормативними документами ДКЗ. Для об'єктивної оцінки впливу вугледобувної промисловості й підприємств теплоенергетики на екологічну ситуацію та планування найефективніших заходів, спрямованих на її поліпшення, потрібно мати дані про характер розподілу й рівні вмісту токсичних і потенційно токсичних елементів, зокрема ртуті й хрому у вугільних пластах.

У попередніх роботах особливості розподілу ртуті й хрому у вугіллі України докладно розглянуто на прикладі Львівсько-Волинського басейну [13]. В.В. Ішков разом з А.І. Чорнобуком, Д.Я. Михальчком, В.В. Дворецьким і А.Б. Москаленком [6-8] дослідили особливості поширення цих елементів у продуктах і відходах збагачення низки вуглезбагачувальних фабрик Донбасу. Над прогнозуванням та оцінкою вмісту токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі в межах Чистяково-Сніжнянського геолого-промислового району, зокрема в системі вугілля - гірська маса - продукти збагачення, працювали І.І. Курмельов, В.В. Ішков, М.А. Доброгорський, В.П. Шевченко, І.Л. Сафронов [4, 5]. В.В. Ішков спільно з Є.С. Козієм розглянули закономірності розподілу токсичних і потенційно токсичних елементів у вугільних пластах Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району [9, 10-12].

Об'єкт, мета та завдання досліджень. *Об'єкт досліджень:* основні вугільні пласти Красноармійського геолого-промислового району Донбасу.

Мета досліджень: визначити закономірності розподілу ртуті й хрому у вугіллі основних робочих пластів Красноармійського геолого-промислового району.

Завдання досліджень: 1) ревізія виконаних раніше досліджень концентрацій ртуті й хрому;

© В.В. Ішков, Є.С. Козій, 2019

2) формування представницьких вибірок аналізів вмісту ртуті й хрому за окремими вугільними пластами і районі загалом; 3) визначення середніх концентрацій ртуті й хрому у вугіллі основних пластів, окремих світ і району загалом; 4) аналіз розподілу вмісту ртуті й хрому загалом по районі; 5) виявлення зв'язку й розрахунків рівнянь регресії між концентраціями ртуті й хрому та петрографічним складом вугілля і його основними технологічними параметрами.

Виклад основного матеріалу. Зібраний матеріал характеризує вміст Cr у 56 вугільних пластах, які належать до світи C_1^4 (пласт d_4), C_2^1 (пласти f_0^5 , f_0^7 , f_1), C_2^2 (пласти g_1 , g_1^{2H} , g_1^2 , g_1^3 , g_1^4), C_2^3 (пласти h_1^H , h_1 , h_4 , h_5 , h_6 , h_8 , h_{10} , h_{10}^1), C_2^5 (пласти k_3 , k_5^H , k_5 , k_5^B , k_6 , k_7 , k_7^1 , k_7^{1+2} , k_7^2 , k_8^H , k_8), C_2^6 (пласти l_1 , l_1^B , l_2^1 , l_3 , l_3^{B+H} , l_3^B , l_4 , l_4^B , l_5 , l_5^1 , l_6 , l_7^H , l_7 , l_7^{B+H} , l_7^B , l_8^H , l_8 , l_8^1) і C_2^7 (пласти m_2 , m_3^H , m_3 , m_3^1 , m_4^0 , m_4^2 , m_4^{2+2B} , m_5^{1B} , m_6^1 і m_6^2) нижнього і середнього відділів кам'яновугільного періоду. Для отримання найбільш об'єктивних і однорідних даних використовували здебільшого результати напівкількісних і кількісних аналізів вугілля кернових проб полів шахт «Родинська» (пласти k_5^B , k_7 , l_7^H і l_8^1), «Центральна» (пласти k_5^B , k_7 , l_1 , l_3 і l_7), «Краснолиманська» (пласти k_5 , l_3 , l_7 і m_4^2), «Гірник» (пласти m_2 і m_3), «Білозерська» (пласти l_1^B , l_3 , l_8 , m_2 , m_4^{2+2B} і m_5^{1B}), «Новодонецькі» (пласти k_7^{1+2} , k_8 , l_3 і l_8^H), «Алмазна» (пласти k_8^H , l_1 , l_2^1 , l_3 , l_4 , l_5 і l_7), ім. Стаханова (пласти k_5 , l_1 , l_3 і l_7), «Червоноармійська Західна №1» (пласт d_4), «Добропільська» (пласти k_8^H , l_1 , l_2^1 , l_3 , l_4 , l_5 , m_3^H , m_4^0 , m_5^{1B} і m_6^2), ім. Димитрова (пласти k_3 , k_7 , k_8 , l_1 , l_3 , l_6 , l_7 і m_3^1), «Піонер» (пласти l_3 , l_7^B , l_8 , m_4^0 і m_4^2), «Росія» (пласти k_8 , l_3 , l_7 , l_8 , m_2 , m_3 і m_4^2), ім. Шевченко (пласт f_1), «Новгородівка №1-2 і №3» (пласти k_8 , l_1 , l_7 , l_8^1 і m_4^2), ім. Коротченко (пласти k_8 , l_1 , l_3 , l_8 і l_8^1), «Україна» (пласти k_8 , l_1 , l_2^1 , l_3 , l_7^H і l_8), «Курахівська №10 і №42» (пласти k_6 , k_8 , l_2^1 , і l_4), а також резервних і розвідувальних площ і ділянок «Северодонецький - 2» (пласти k_5^H , k_5 , k_5^B , l_2^1 , l_3 , l_4 , l_5 , l_7 , l_8 , m_2 , m_4^2 і m_6^2), «Новгородівські» (пласти k_6 , k_8 , l_1 , l_2^1 , l_3 , l_4 , l_7^H , l_7 , l_8 , l_8^1 , m_2 , m_3 і m_4^2), «Лісовські» (пласти k_8 , l_1 , l_2^1 , l_3 , l_6 , l_7 , l_8 , l_8^1 , m_2 , m_3 , m_4^0 , m_6^1 , m_6^2), «Гапеевські» (пласти k_5^H , k_5 , k_5^B , k_7^1 , k_7^2 , k_8 , l_1 , l_2^1 , l_3 , l_3^{B+H} , l_3^B , l_4^B , l_7^{B+H} , l_8^H , m_3^H , m_4^0 і m_6^2), «Добропільські» (пласти k_8 , l_1 , l_2^1 , l_3 , l_3^{B+H} , l_5 , l_7^B , l_8^H , l_8 , m_3^H , m_4^0 , m_4^2 , m_6^1 і m_6^2), «Димитрівські» (g_1^{2H} , h_1^H , h_4 , h_6 , h_8 , h_{10} , h_{10}^1 , l_1 , l_3 , l_5^1 , l_6 і l_7), «Успенівські» (пласти f_0^5 , f_0^7 , g_1 , g_1^2 , g_1^3 , g_1^4 , h_1 , h_4 , h_5 , і h_{10}), виконаних після 1983 року в центральних сертифікованих лабораторіях геологорозвідувальних організацій. У низці випадків їх доповнено аналізами пластово-диференційованих проб, що їх відібрали особисто автори або спільно з працівниками геологічних служб виробничих геологорозвідувальних і добувних організацій.

З метою отримання представницьких оцінок вмісту ртуті й хрому у вугіллі як окремих пластів, світ, так і загалом по районі, поодинокі визначення було об'єднано за окремими пластами в 78 пооб'єктних вибірок, а подальший розрахунок середніх значень концентрацій виконували як середньозважене на обсяг об'єкта. Під час розрахунку обсягу брали середню потужність пласта в межах об'єкта, а площі достовірно встановленого розмиття й виклинювання не враховували. Отримані в такий спосіб оцінки середніх вибірових по пластах, світах і загалом по районі наведено в табл. 1.

Після первинного аналізу й розбракуння якісних і кількісних характеристик правильності й відтворюваності результатів аналізів у подальшій роботі було використано 2814 визначень ртуті й хрому у вугільних пластах району. Найбільш представницькі (понад 33 аналізи задовольняють вимогам правильності й відтворюваності [1, 3] і порівняно рівномірно розподілені по площі) результати отримано за 38 пластами: g_1^{2H} , h_1^H , h_4 , h_6 , h_8 , h_{10} , h_{10}^1 , k_5^H , k_5 , k_5^B , k_6 , k_7 , k_7^1 , k_7^2 , k_8 , l_1 , l_2^1 , l_3 , l_3^{B+H} , l_3^B , l_4 , l_4^B , l_5 , l_5^1 , l_6 , l_7^H , l_7 , l_7^B , l_8^H , l_8 , l_8^1 , m_2 , m_3^H , m_3 , m_4^0 , m_4^2 , m_6^1 , m_6^2 , що залягають у межах полів шахт «Родинська», «Центральна», «Краснолиманська», «Гірник», «Білозерська», «Новодонецька», «Алмазна», ім. Стаханова, «Добропільська», ім. Димитрова, а також резервних і розвідувальних площ і ділянок «Северодонецький-2», «Новгородівські», «Лісовські», «Гапеевські», «Добропільські» й «Димитрівські».

З метою візуалізації якісного аналізу загальної форми розподілу значень концентрацій ртуті й хрому у вугільних пластах побудовано гістограми розподілу нормованого вмісту цих елементів (рис. 1: а, б). Для зручності їхнього візуального зіставлення з гістограмами розподілів інших токсичних і потенційно токсичних елементів, основних технологічних пара-

Таблиця 1

Середні вибіркові вмісту ртуті й хрому у вугільних пластах Красноармійського геолого-промислового району Донбасу

Вугільний пласт	Концентрація, г/т		Світа	Концентрація, г/т		Концентрація у вугіллі району, г/т	
	Hg	Cr		Hg	Cr	Hg	Cr
m ₆ ²	0,3	7	C ₂ ⁷	0,20	15	0,37±0,02	23±1
m ₆ ¹	0,1	17					
m ₄ ²	0,1	17					
m ₄ ⁰	0,1	25					
m ₃	0,4	20					
m ₃ ^H	0,03	8					
m ₂	0,2	17					
l ₈ ¹	0,2	25	C ₂ ⁶	0,32	25		
l ₈	0,1	22					
l ₈ ^H	0,1	11					
l ₇ ^B	0,1	15					
l ₇	0,1	24					
l ₇ ^H	0,2	19					
l ₆	0,1	20					
l ₅ ¹	0,13	12					
l ₅	0,4	28					
l ₄ ^B	0,1	14					
l ₄	0,3	14					
l ₃ ^B	0,1	20					
l ₃ ^{B+H}	0,1	10					
l ₃	0,6	25					
l ₂ ¹	0,6	27					
l ₁	0,6	24					
k ₈	0,5	47	C ₂ ⁵	0,36	34		
k ₇ ²	0,2	73					
k ₇ ¹	0,4	15					
k ₇	0,6	15					
k ₆	0,1	30					
k ₅ ^B	0,1	16					
k ₅	0,4	56					
k ₅ ^H	0,1	16					
h ₁₀ ¹	0,41	21	C ₂ ³	0,88	24		
h ₁₀	0,55	20					
h ₈	0,12	28					
h ₆	1,7	19					
h ₄	1,9	28					
h ₁ ^H	0,56	19					
g ₁ ^{2H}	0,73	47	C ₂ ²	0,73	47		

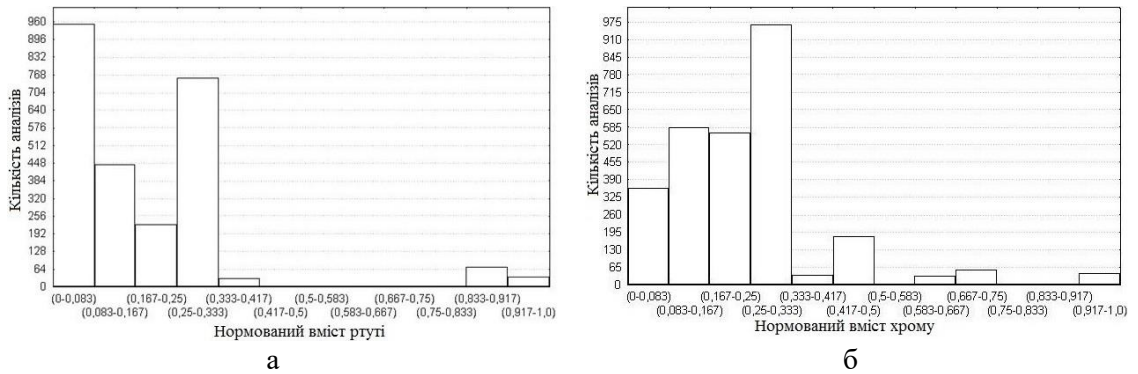


Рис. 1. Гістограми розподілу нормованого вмісту Hg (а) і Cr (б) у вугільних пластах Красноармійського геолого-промислового району Донбасу

метрів, петрографічного складу та інших характеристик вугілля всі значення концентрацій нормовані.

Аналіз побудованої гістограми розподілу нормованого вмісту хрому дає змогу визначити: розподіл основної частини (87% всіх результатів) вибірки близький до логнормального закону розподілу й розміщений в інтервалі 0,0-0,417 з модою в інтервалі 0,25-0,333, що відповідає вмісту хрому у вугільних пластах: 23-28 г/т; спостерігаються два явно виражені аномально високі інтервали значень: 0,583-0,75 і 0,917-1,0, які відповідають концентрації хрому у вугільних пластах: 44-56; 67-73 г/т. На 97% їхнє виникнення зобов'язане впливу значень вмісту хрому у вугільних пластах: g_1^{2H} , k_5 , k_7^2 і k_8 .

Аналіз побудованої гістограми розподілу нормованого вмісту ртуті дає змогу визначити: полімодальний розподіл вибірки з модами в інтервалах: 0,0-0,083, 0,25-0,333 і 0,833-0,917, що відповідає вмісту ртуті у вугільних пластах: 0,0-0,184, 0,497-0,652 і 1,588-1,745 г/т; у першому модальному інтервалі міститься 37,8% обсягу всієї вибірки, у другому – 30% і в третьому – всього 2,8%; спостерігається один явно виражений аномально високий інтервал значень: 0,833-1,0, який відповідає концентрації ртуті у вугільних пластах: 1,588-2,1 г/т. На 94% його виникнення зобов'язане впливу значень вмісту ртуті у вугіллі двох пластів: h_4 і h_6 .

Значимість відмінностей між вибірковими середніми концентраціями ртуті й хрому у вугіллі найближчих за стратиграфічним розрізом пластів і світ з'ясовано з використанням програми STATISTICA 7 [2] через розрахунок t-критерію і U-критерію Манна-Вітні (як найпотужнішою непараметричною альтернативою t-критерію) з рівнем значущості $p \leq 0,05$.

Для хрому тільки в чотирьох випадках відмінності між вибірковими середніми вмістами Cr у вугіллі найближчих за стратиграфічним розрізом досліджених пластів є статистично незначущими: це групи пластів $h_{10} - h_{10}^1$; $k_7 - k_7^1$; $l_4 - l_4^B$, $l_6 - l_7^H$, $m_4^2 - m_6^1$; відмінність між вибірковими середніми концентраціями Cr у вугіллі пластів сусідніх світ у всіх випадках виявляється значущою. Для ртуті в семи випадках (які об'єднують 71% досліджених пластів) відмінності між вибірковими середніми вмістами у вугіллі найближчих за стратиграфічним розрізом пластів є статистично незначущими: це групи пластів: $g_1^{2H} - h_1^H$; $h_4 - h_6$; $h_{10} - h_{10}^1$; $k_5^B - k_6$; $k_8 - l_1 - l_2^1 - l_3$; $l_3^{B+H} - l_3^B$; $l_5^1 - l_6 - l_7^H - l_7 - l_7^B - l_8^H - l_8 - l_8^1 - m_2$; $m_4^0 - m_4^2 - m_6^1 - m_6^2$. Відмінність між вибірковими середніми концентраціями ртуті у вугіллі пластів сусідніх світ у всіх випадках виявляється значущою.

Одержані результати дають підставу припустити, що основні чинники, які контролюють накопичення цих елементів у вугіллі району, у процесі формування сусідніх пластів і подальшого перетворення вугленосної товщі суттєво змінювалися.

З метою класифікації вугільних пластів району за вмістом ртуті та хрому було виконано процедуру кластерного аналізу. Використання кластерного аналізу з метою класифікації має низку переваг, оскільки дає змогу розбити множину досліджуваних об'єктів і ознак на однорідні у відповідному розумінні групи або кластери, а також виявити їх внутрішню структуру (на різних ієрархічних рівнях) у досліджуваній вибірковій сукупності.

На дендрограмі кластеризації вугільних пластів за вмістом ртуті (рис. 2) перший кластер складають 20 пластів з мінімальним середнім умістом по пластах від 0,1 до 0,2 г/т, із середнім по кластері 0,12 г/т, другий кластер – 15 пластів із середнім умістом від 0,3 до 0,73 г/т, із середнім по кластері 0,73 г/т, третій кластер – 2 пласти з максимальними концентраціями (від 1,7 до 1,9 г/т, із середнім по кластері 1,8 г/т). Аналіз структури кластерів дає змогу виділити в першому й другому кластерах по два вкладені кластери. У першому: 1.1 об'єднує пласти h_8 , k_5^H , k_5^B , k_6 , l_3^{B+H} , l_3^B , l_4^B , l_5^1 , l_6 , l_7 , l_7^B , l_8^H , l_8 , m_4^0 , m_4^2 , m_6^1 (середній уміст по пластах від 0,1 до 0,13 г/т, із середнім по кластері 0,1 г/т) і 1.2 об'єднує пласти k_7^2 , l_7^H , l_8^1 , m_2 (середній уміст по пластах 0,2 г/т). У другому: 2.1 об'єднує пласти h_{10}^1 , k_5 , k_7^1 , l_4 , l_5 , m_3 , m_6^2 (середні концентрації по пластах від 0,3 до 0,41 г/т, із середнім по кластері 0,37 г/т) і 2.2 який об'єднує пласти g_1^{2H} , h_1^H , h_{10} , k_7 , k_8 , l_1 , l_2^1 , l_3 (середній уміст по пластах від 0,5 до 0,73 г/т, із середнім по кластері 0,59 г/т).

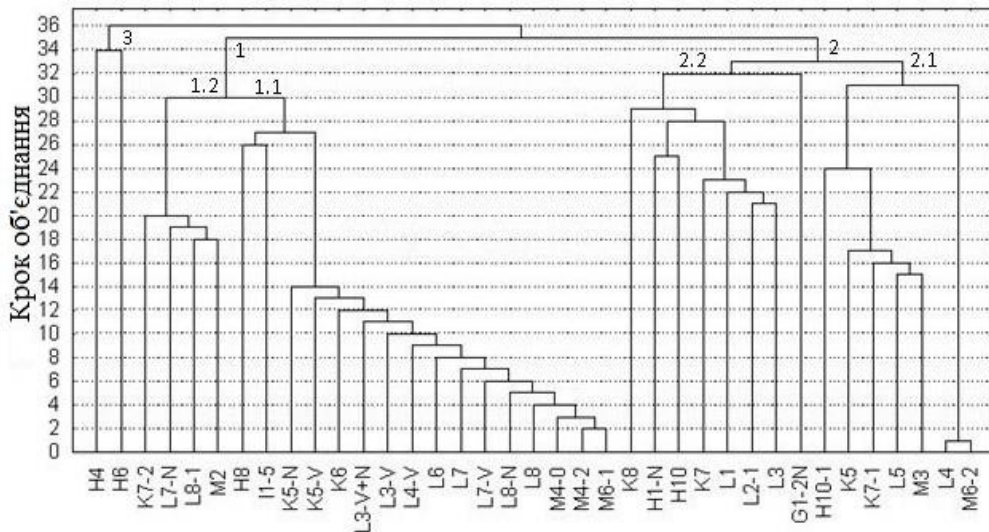


Рис. 2. Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом вугільних пластів Красноармійського геолого-промислового району за вмістом ртуті

Зіставлення результатів кластерного аналізу, технологічних характеристик, морфоструктурних особливостей пластів, літолого-фаціального складу безпосередньої покрівлі й ґрунту, а також петрографічних досліджень вугілля засвідчило:

- для вугілля пластів першого кластера характерні: значна перевага в мікрокомпонентах вугілля геліфікованої речовини, провідна роль у мінеральних домішках сингенетичних зерен кварцу, діагенетичних карбонатів і сульфідів із загальним невисоким умістом мінерального складника. Вугілля пластів кластера 1.2 вирізняється дещо підвищеним умістом глинистої речовини, порівнюючи з вугіллям пластів кластера 1.1;

- вугілля пластів, яке входить до другого кластера, відрізняється від того, що увійшло до першого, загалом вищим умістом фюзенізованої речовини й підвищеною епігенетичною мінералізацією. Для пластів, що складають кластер 2.1, на відміну від пластів кластера 2.2, характерний дещо знижений уміст глинистої речовини в мінеральному складнику вугілля;

- вугілля пластів, які об'єднані в третій кластер, вирізняється високим умістом фюзенізованих мікрокомпонентів, фосфору (пласт h_6 – максимальний уміст фосфору у вугіллі району), а також найбільшим внеском сульфідної епігенетичної мінералізації й глинистих мінералів у загальний склад мінеральної частини вугілля;

- загалом по району для пластів всіх кластерів їхні морфоструктурні особливості, марочний склад вугілля, ступінь їхньої відновлюваності, літолого-фаціальний склад безпосередньої покрівлі й ґрунту не роблять значущий вплив на концентрацію Hg. Водночас у низці випадків спостерігаються локальні підвищення її вмісту у вугіллі на ділянках, які безпосередньо прилягають до зон розщеплення (наприклад, пласт k_5 (ш. ім. Стаханова),

пласт І₃ (ш. Алмазна) та ін.), а також до ділянок розмиття пластів (наприклад, пласт І₇, (ш. Центральна), у районі південної корінної лави), пласт m₄⁰, (ш. Алмазна й ш. Добропільська) та ін.);

- переважно спостерігаються збільшення вмісту ртуті у вугіллі на ділянках, що безпосередньо прилягають до розривних порушень навіть незначної амплітуди й зон підвищеної тріщинуватості (наприклад, пласт І₃ (ш. Центральна, південний корінний штрек, глибина 622 м і ухил 3біс. на ділянці скиду з амплітудою 1м), пласт І₆ (ш. Димитрова, на південному крилі шахтного поля в районі скиду з амплітудою 0,70-5,0м) та ін.).

На дендрограмі кластеризації пластів за вмістом хрому (рис. 3) перший кластер складають пласти з низьким умістом (від 7 до 22 г/т, із середньозваженим по кластері 16 г/т), другий кластер – пласти із середнім умістом (від 24 до 30 г/т, із середньозваженим по кластері 25 г/т), третій кластер – з аномально високими концентраціями (від 37 до 73 г/т, із середньозваженим по кластері 46 г/т). У структурі першого кластера виділяються три вкладені кластери: 1.1 – сформований пластинами з аномально низькими концентраціями хрому у вугіллі (від 7 до 12 г/т, із середньозваженим по кластері 9 г/т); 1.2 – об'єднує пласти з умістом хрому від 14 до 17 г/т, із середньозваженим по кластері 16 г/т; 1.3 – сформований пластинами з концентраціями хрому у вугіллі від 19 до 22 г/т, із середньозваженим по кластері 21 г/т.

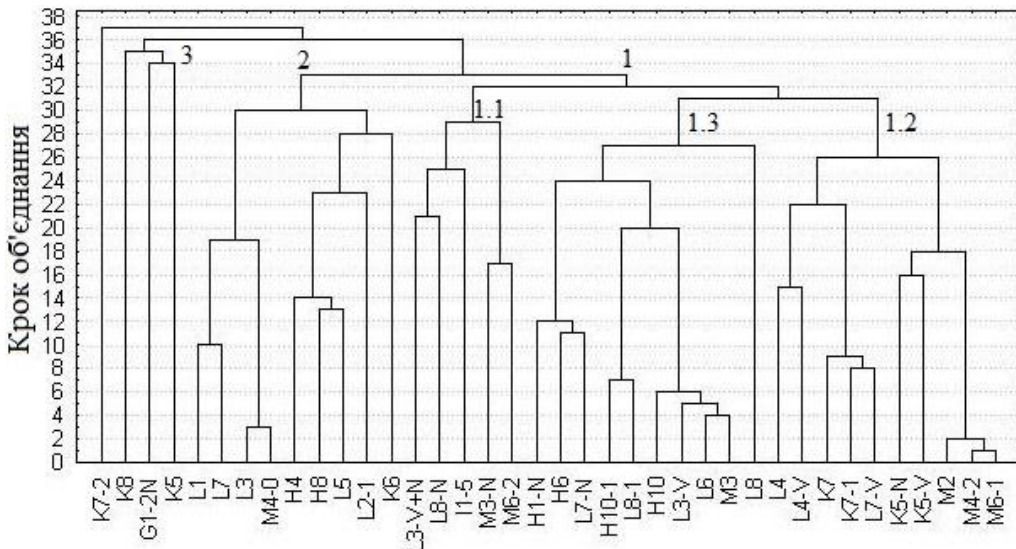


Рис. 3. Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом вугільних пластів Красноармійського геолого-промислового району за вмістом хрому

Для виявлення основних чинників, які контролюють накопичення ртуті та хрому у вугільних пластах району, виконано кореляційний і регресійний аналізи їхньої концентрації з основними технологічними показниками й петрографічним складом вугілля. Загалом по районі визначено:

- статистично значущого зв'язку умісту ртуті з умістом сірки загальної, зольністю й петрографічним складом вугілля немає, водночас як для пластів, які формують другий і третій кластери, так і для окремих ділянок інших пластів з аномально високими її концентраціями виявлений значущий позитивний зв'язок концентрації ртуті з кількістю епігенетичної сульфідної мінералізації, вмістом фюзенізованих мікрокомпонентів і глинистих мінералів. Крім того, для більшості пластів, які формують кластер 1.2, встановлений значущий позитивний зв'язок між концентраціями цього елемента й умістом фюзенізованих мікрокомпонентів і глинистих мінералів у вугіллі;

- статистично значущий зв'язок умісту хрому у вугіллі району із зольністю. Також загалом по районі у всіх досліджених пластах спостерігається незначне збільшення

концентрації цього елемента із ростом ступеня вуглефікації вугілля, ускладненням будови пластів і зменшенням їхньої потужності, збільшенням кількості внутрішньопластових мінералізованих прошарків і вмістом ліпоїдних компонентів. Статистично значущого зв'язку концентрацій хрому з вмістом сірки загальної й епігенетичною мінералізацією, а також літологією покрівлі й ґрунту немає.

Висновки:

1. Накопичення ртуті й хрому у вугільних пластах району має полігенний і поліхронний характер. Основною формою розміщення цих елементів є сорбована (на глинистих мінералах і фюзенізованих мікрокомпонентах), а для ртуті ще й сульфідна (в епігенетичних піритах).

2. Аномалії вмісту ртуті пов'язані із сульфідною мінералізацією тріщинуватих зон тектонічної природи. Зони її найбільшого вмісту збігаються із зонами підвищеної тріщинуватості, що генетично пов'язані окремими середньо- та малоамплітудними розривними порушеннями й зонами їхнього перетину.

3. Розподіл основної частини 87% обсягу вибіркової сукупності концентрацій хрому у вугіллі району описується логнормальним законом, з модою в інтервалі 23-28 г/т. Весь обсяг вибірки характеризується середнім значенням 23 ± 1 , за дисперсії 118, стандартного відхилення 11, коефіцієнта асиметрії $1,95 \pm 0,05$ і коефіцієнта ексцесу $6,31 \pm 0,09$. Вибіркова сукупність концентрацій ртуті характеризується полімодальним розподілом. Середнє значення всього обсягу вибірки становить $0,37 \pm 0,02$ г/т, з фоновим вмістом $0,09 \pm 0,01$ г/т.

4. Середні значення вмісту ртуті й хрому в основних робочих вугільних пластах району істотно нижчі від ГДК у вугіллі. Зони аномальних концентрацій Hg здебільшого приурочені до ділянок, які не можуть бути відпрацьовані з технологічних причин або за гірничо-геологічними умовами.

5. Розраховані вибіркові середні значення вмісту хрому й ртуті можна використати з метою кореляції основних вугільних пластів району.

Основне наукове значення отриманих результатів полягає у визначенні характеру розподілу й розрахунку основних описових статистик концентрацій ртуті та хрому у вугільних пластах Красноармійського геолого-промислового району Донбасу, розрахунку їхніх середньозважених концентрацій у вугіллі основних пластів і світ.

Практичне значення отриманих результатів полягає в типізації вугільних пластів району за вмістом ртуті та хрому за допомогою кластерного аналізу, виявленні значимого зв'язку концентрації хрому із зольністю вугілля, концентрації ртуті із вмістом сірки загальної.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Беус А.А. Геохимия литосферы. М.: Недра, 1981. 335с.
2. Боровиков В.П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. СПб. Питер, 2001. 658 с.
3. Гавришин А.И. Оценка и контроль качества геохимической информации. М.: Недра, 1980. 287с.
4. Доброгорский Н.А., Сафронов И.Л., Курмелев И.И., Шевченко В.П. Токсичность продукции шахт Чистяково-Снежнянского геолого-промышленного района Донбасса. *Уголь Украины*. 1999. №7. С. 41-42.
5. Ишков В.В., Курмелев И.И. Особенности распределения токсичных элементов в углях Чистяково-Снежнянского геолого-промышленного района Донбасса. *Научный вестник Национальной горничой академии Украины*. 1999. №3. С. 41-49.
6. Ишков В.В., Чернобук А.И., Дворецкий В.В. О распределении бериллия, фтора, ванадия, свинца и хрома в продуктах и отходах обогащения Краснолиманской ЦОФ. *Научный вестник Национальной горничой академии Украины*. 2001. №5. С. 84-86.
7. Ишков В.В., Чернобук А.И., Михальчонок Д.Я. О распределении бериллия, фтора, ванадия, свинца и хрома в продуктах и отходах обогащения Добропольской ЦОФ. *Научный вестник Национальной горничой академии Украины*. 2001. №4. С. 89-90.
8. Ишков В.В., Чернобук А.И., Москаленко А.Б. Распределение бериллия, фтора, ванадия, свинца и хрома в продуктах и отходах обогащения Снежнянской ГОФ. *Геотехническая механика*. 2000. № 21. С. 76-83.

9. *Ishkov V.V., Koziy E.S.* Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта с₇^H шахти «Павлоградська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. *Вісник Київського національного університету*. 2017. №79. С 59-66. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.79.09>
10. *Koziy E.S.* Миш'як, берилій, фтор і ртуть у вугіллі пласта с₈^B шахти «Дніпровська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. *Вісник Дніпропетровського університету*. 2018. № 26 (1). С. 113-120. <https://doi.org/10.15421/111812>
11. *Koziy E.S., Ishkov V.V.* Класифікація вугілля основних робочих пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту токсичних і потенційно токсичних елементів. *Збірник наукових праць «Геотехнічна механіка»*. 2018. № 136. С. 74-86.
12. *Koziy E.S., Ishkov V.V.* Особливості розподілу токсичних і потенційно токсичних елементів в основних вугільних пластах по розрізу Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району Донбасу. *Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників»*. 2018. С. 194-203.
13. *Плакса Я.П., Тихонова В.С., Шабо З.В.* Деякі закономірності поширення мікроелементів у різних фракціях вугілля Львівсько-Волинського басейну. *Геол. і геохімія горючих копалин. Респ. міжвід. зб. вип. 24*. 1971. С. 64-68.

REFERENCES

1. *Beus A.A.* 1981. Geochemistry of lithosphere. *Nedra, Moscow*, 335 p. - in Russian
2. *Borovykov V.P.* 2001. STATISTICA: Art of data analysis on a computer. For professionals. St. Petersburg, 658 p. - in Russian
3. *Havryshyn A.I.* 1980. Assessment and quality control of geochemical information. *Nedra, Moscow*, 287 p. - in Russian
4. *Dobrohorskyi N.A., Safronov I.L., Kurmelov I.I., Shevchenko V.P.* 1999. Toxicity of the production of mines of the Chistyakovo-Snezhnyanskiy geological and industrial area of Donbass. *Ugol Ukrainyi*. No. 7, Kyiv, p. 41-42. - in Russian
5. *Ishkov V.V., Kurmelov I.I.* 1999. Peculiarities of the distribution of toxic elements in the coals of Chistyakovo-Snezhnyanskiy geological and industrial area of Donbass. *Scientific Visnyk NMAU*. No. 3, Dnipropetrovsk, p. 41-49. - in Russian
6. *Ishkov V.V., Chernobuk A.I., Dvoretzkyi V.V.* 2001. About distribution of beryllium, fluor, vanadium, plumbum and chrome in products and wastes of enrichment of the Krasnolimanskaya CCF. *Scientific Visnyk NMAU*. No. 5. p. 84-86. - in Russian
7. *Ishkov V.V., Chernobuk A.I., Mykhalchonok D.Ya.* 2001. About distribution of beryllium, fluor, vanadium, plumbum and chrome in products and wastes of enrichment of the Dobropolskaya CCF. *Scientific Visnyk NMAU*. No. 4. p. 89-90. - in Russian
8. *Ishkov V.V., Chernobuk A.I., Moskalenko A.B.* 2000. Distribution of beryllium, fluor, vanadium, plumbum and chrome in products and wastes of enrichment of the Snezhnianskaya CCF. *Geotekhnicheskaya mekhanika*. No. 21. p. 76-83. - in Russian
9. *Ishkov V.V., Koziy E.S.* 2017. Distribution of toxic and potentially toxic elements in the coal of the layer с₇^H of the "Pavlogradskaya" mine of Pavlogradsko-Petropavlovskiy geological and industrial district. [Visnyk Of Taras Shevchenko National University Of Kyiv-Geology](https://doi.org/10.17721/1728-2713.79.09). Vol. 79. No. 4. p. 59-66. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.79.09> - in Ukrainian
10. *Koziy E.S.* 2018. Arsenic, beryllium, fluorine and mercury in the coal of the layer с₈^B of the «Dniprovska» mine of Pavlogradsko-Petropavlovskiy geological and industrial district. [Dnipropetrovsk University Bulletin Series-Geology Geography](https://doi.org/10.15421/111812). Vol. 26. No. 1. p. 113-120. <https://doi.org/10.15421/111812> - in Ukrainian
11. *Koziy E.S., Ishkov V.V.* 2017. Coal classification of main working seams of Pavlohrad-Petropavlivka geological and industrial district on content of toxic and potentially toxic elements. *Collected Scientific Papers "Geo-Technical Mechanics"*. No. 136 p. 74-86. - in Ukrainian
12. *Koziy E.S., Ishkov V.V.* 2018. Peculiarities of distribution of toxic and potentially toxic elements in the main coal seams along the cross-section of the Pavlogradsko-Petropavlovskiy geological and industrial district of Donbas. *International Scientific And Technical Conference "Forum of Mining Engineers"*. p. 194-203. - in Ukrainian
13. *Plaksa Ya.P., Tykhonova V.S., Shabo Z.V.* 1971. Some regularities of distribution of trace elements in different coal fractions of Lviv-Volyn basin. *Geology and geochemistry of fossil fuels*. Vol. 24. p. 64-68. - in Ukrainian

V.V. Ishkov, Ye.S. Kozii
**ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION OF CHROME AND MERCURY IN THE MAIN COALS OF THE RED
ARMY GEOLOGICAL AND INDUSTRIAL AREA**

Increasing requirements for environmental protection in the coal mining industry in Ukraine stipulates the need for new scientifically grounded methods for forecasting the content of toxic and potentially toxic elements in rock mass, mining waste and coal enrichment which is mined by mines, as well as the environmental impact by enterprises of heat power industry. For this purpose it is necessary to have data about concentration, character and peculiarities of the distribution of toxic and potentially toxic elements, including mercury and chromium in the coal seams. The studies covered all territory of one of the most studied geological and industrial areas of the Donbas - Krasnoarmiiskiy. In the article, peculiarities of the distribution of mercury and chromium are considered and character of their spreading in the coal seams are established, weighted average concentrations in the coal of the main seams and suite are calculated. Hystograms of distribution of mercury and chromium content in coal seams, as well as dendrograms of clustering results by weighted centroid method of coal seams by their content, have been constructed and analyzed. The accumulation of mercury and chromium in the coal seams of the district is polygenic and polychronic. The main form of finding these elements in the coal seams is sorbed (on clay minerals and fuselized microcomponents), and for mercury also sulfide (in epigenetic pyrites).

Keywords: toxic and potentially toxic elements, dendrograms of clustering, zones of high fracture, stratigraphic section, geological and industrial area.

В.В. Ишков, Е.С. Козий
**АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ХРОМА И РТУТИ В ОСНОВНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ
КРАСНОАРМЕЙСКОГО ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА**

Рост требований к охране окружающей среды в угледобывающей отрасли Украины обуславливает необходимость в новых научно обоснованных методах прогноза содержания токсичных и потенциально токсичных элементов в горной массе, добываемой шахтами, и в отходах угледобычи и углеобогащения, а также влияния предприятий угольной теплоэнергетики на окружающую среду. Для этого необходимо иметь данные о концентрации, характере и особенностях распределения токсичных и потенциально токсичных элементов, в том числе ртути и хрома в угольных пластах. Исследования охватили всю территорию одного из наиболее изученных геолого-промышленных районов Донбасса – Красноармейского. В статье рассмотрены особенности распределения и установлен характер распространения ртути и хрома в угольных пластах, выполнены расчеты их средневзвешенных концентраций в угле основных пластов и свит. Построены и проанализированы гистограммы распределения содержания ртути и хрома в угольных пластах, а также дендрограммы результатов кластеризации взвешенным центроидным методом угольных пластов по их содержанию. Кумуляция ртути и хрома в угольных пластах района носит полигенный и полихронный характер. Основной формой нахождения этих элементов в угольных пластах является сорбированная (на глинистых минералах и фюзенизированных микрокомпонентах), а для ртути еще и сульфидная (в эпигенетических пиритах).

Ключевые слова: токсичные и потенциально токсичные элементы, дендрограммы кластеризации, зоны повышенной трещиноватости, стратиграфический разрез, геолого-промышленный район.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро
Валерій Ішков
Євген Козій
e-mail: koziy.es@gmail.com

Стаття надійшла: 20.10.2019