

УДК 553.94:550.42

**В.В. Ішков, Є.С. Козій****ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ СВИНЦЮ У ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТАХ ДОНЕЦЬКО-МАКІЇВСЬКОГО ГЕОЛОГО-ПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ ДОНБАСУ**

Підвищення вимог до моніторингу та охорони довкілля, особливо у вугледобувних регіонах України, де зосереджена велика кількість промислових підприємств, зумовлює потребу в нових науково обґрунтованих методах прогнозування передусім умісту токсичних і потенційно токсичних елементів у гірничій масі, яку добувають на шахтах, відходах вуглевидобутку й вуглезбагачення, а також впливу підприємств вугільної теплоенергетики на довкілля. Для цього потрібно мати дані про концентрації, характер та особливості розподілу токсичних і потенційно токсичних елементів, зокрема свинцю, у вугільних пластах.

У статті наведено результати досліджень, що охоплювали всю територію одного з найвивченіших геолого-промислових районів Донбасу – Донецько-Макіївського за період з 1983 по 2014 роки. Розглянуто особливості розподілу й визначено характер поширення свинцю в 52 вугільних пластах, розраховано середньозважені концентрації цього елемента як у вугіллі основних робочих пластів, так і семи світ середнього й верхнього відділів кам'яновугільного періоду.

Підтверджено, що накопичення свинцю у вугіллі основних робочих пластів Донецько-Макіївського геолого-промислового району має полігенний і поліхронний характер. Зміна його концентрації в розрізі й за площею району зумовлена переважно тектонічними й фаціальними особливостями формування вугленосної товщі, що контролюють петрографічний склад вугілля, гідродинамічним режимом басейну торфонакопичення, літолого-фаціальним складом безпосередньої й основної покрівлі вугільних пластів, тріщинуватістю вугілля й порід, що його вміщують.

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

**Вступ.** З метою 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 та рівні концентрації токсичних елементів, зокрема й свинцю, у вугільних пластах і породах, що їх уміщують. Задля отримання такої інформації в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» виконано детальні дослідження, що охопили всю територію одного з найвивченіших геолого-промислових районів Донбасу – Донецько-Макіївського.

**Останні досягнення.** Вагомий внесок у вивчення геохімії елементів-домішок у вугіллі родовищ зробили Я.Е. Юдович разом з М.П. Кетрис. Вони систематизували дані про елементи-домішки у вугіллі Донбасу [21], а також досліджували токсичні елементи у вугіллі, які є небезпечними для довкілля, зокрема й свинець. Також над дослідженням токсичних елементів працювали А.Ф. Горовий і Н.А. Горова [4–6]. Їхні праці були спрямовані на вивчення розподілу й умісту токсичних елементів у продуктах видобутку й відходах перероблення антрацитів Донбасу. Вони створили кадастр токсичності гірничої маси, вугілля, золи вугілля, продуктів видобутку й відходів перероблення вугілля, а також прогнозні карти токсичності. Питанню оцінки вугільних родовищ як попутного джерела цінних металів і впливу токсичних елементів на довкілля присвячені дослідження О.Р. Куліненка і Т.В. Барни [17]. Для реконструкції умов торфонакопичення дослідники докладно вивчили «супутні елементи» вугільного пласта  $c_{11}$  на шахті «ім. Героїв Космосу» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району за 24 перетинами. Особливості розподілу свинцю в продуктах і відходах збагачення Краснолиманської й Добропольської вуглезбагачувальних фабрик Донбасу вивчали В.В. Ішков разом з А.І. Чорнобук, Д.Я. Михальчинок та В.В. Дворецьким [7, 8].

---

© В.В. Ішков, Є.С. Козій, 2020

У попередніх працях автори [10–12, 15, 16, 19] дослідили особливості розподілу токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пластів Павлоградсько-Петропавлівського й Червоноармійського геолого-промислових районів Донбасу.

Численні експериментальні роботи [18] щодо взаємодії свинцю з гумусовою органічною речовиною засвідчили наявність його елементоорганічних сполук. У системі «свинцево-гумусові комплекси – морська вода –  $H_2S$ » найстійкішою є сульфідна форма [18]. Отже, свинець, поглинений з вод, які живлять торфовище, і пов'язаний з органічною речовиною в органомінеральні комплекси, у разі трансгресивного проникнення морських вод на стадії діагенезу переходить у набагато стабільнішу сульфідну форму.

*Завдання досліджень.* У цій праці основними завданнями з вивчення геохімії токсичних елементів в основних робочих вугільних пластах були такі: ревізія виконаних раніше досліджень концентрацій свинцю; формування представницьких вибірок його концентрацій за окремими вугільними пластами та в районі загалом; з'ясування середнього вмісту свинцю у вугіллі пластів, світ і районі загалом; аналіз розподілу його концентрацій у районі загалом; виявлення зв'язку й розрахунок рівнянь регресії між концентраціями свинцю та інших основних токсичних і потенційно токсичних елементів, петрографічним складом вугілля і його основними технологічними параметрами.

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

*Мета досліджень:* встановити закономірності розподілу свинцю у вугіллі основних робочих пластів Донецько-Макіївського геолого-промислового району.

*Завдання досліджень:* 1) ревізія виконаних раніше досліджень концентрацій свинцю; 2) формування представницьких вибірок аналізів вмісту свинцю в окремих вугільних пластах і районі загалом; 3) встановлення середніх концентрацій свинцю у вугіллі основних пластів, окремих світ і району загалом; 4) аналіз розподілу вмісту свинцю загалом у районі; 5) виявлення зв'язку й розрахунок рівнянь регресії між концентраціями свинцю й петрографічним складом вугілля та його основними технологічними параметрами.

**Виклад основного матеріалу.** Зібраний матеріал характеризує вміст свинцю у вугіллі 64 пластів, які належать до світ  $C_2^2$  (пласт  $g_2^B$ ),  $C_2^3$  (пласти  $h_1, h_2, h_2^1, h_3, h_4, h_5, h_6, h_6^1, h_8, h_{10}^H, h_{10}, h_{10}^B, h_{10}^1$ ),  $C_2^4$  (пласти  $i_1^5, i_2^1$ ),  $C_2^5$  (пласти  $k_1, k_2, k_2^2, k_3^H, k_3^{B+H}, k_3^B, k_3^1, k_4^{2H}, k_4^2, k_4^{2B}, k_5, k_5^1, k_6^H, k_6, k_7, k_7^1, k_8^H, k_8$ ),  $C_2^6$  (пласти  $l_1^H, l_1, l_1^B, l_1^1, l_2, l_2^1, l_3, l_3^1, l_4, l_6, l_6^1, l_7, l_7^1, l_8, l_8^1$ ),  $C_2^7$  (пласти  $m_1, m_1^1, m_2, m_2^1, m_3, m_4^1, m_4^4, m_5, m_5^1, m_7$  и  $m_9$ ) і  $C_3^1$  (пласти  $n_1^H, n_1, n_1^B$ ) середнього і верхнього відділів кам'яновугільного періоду. Для отримання найбільш об'єктивних і порівнянних даних у праці використано здебільшого результати напівкількісних і кількісних аналізів вугілля кернових проб полів шахт, а також резервних і розвідувальних площ і ділянок району, які виконано після 1983 року в центральних сертифікованих лабораторіях геологорозвідувальних організацій. У низці випадків їх доповнено аналізами пластово-диференційованих проб, які автори відібрали самостійно або спільно з працівниками геологічних служб виробничих геологорозвідувальних і добувних організацій.

Після первинного аналізу й розбракювання якісних і кількісних характеристик правильності та відтворюваності результатів аналізів у дальшій роботі було використано 1568 визначень свинцю у вугільних пластах.

Найбільш представницькі [1, 3] результати отримано за 52 пластами:  $g_2^B, h_2, h_2^1, h_3, h_4, h_5, h_6, h_6^1, h_8, h_{10}^H, h_{10}, h_{10}^B, h_{10}^1, i_1^5, i_2^1, k_1, k_2, k_2^2, k_3^H, k_3^{B+H}, k_3^B, k_3^1, k_4^{2H}, k_4^2, k_4^{2B}, k_5, k_5^1, k_6^H, k_6, k_7, k_8^H, k_8, l_1^H, l_1, l_1^B, l_1^1, l_2^1, l_3, l_4, l_6, l_7^1, l_8^1, m_2, m_3, m_5, m_5^1, m_7, m_9, n_1^H, n_1$  та  $n_1^B$ , що залягають у межах полів шахт «Калинівська Східна», ім. О.Ф. Засядька, «10-біс», «Бутівська», ім. Калініна, «Бутівка-Донецька», «Похила», «№2», «№12–18», ім. Орджонікідзе, ім. Поченкова, ім. Скочинського, «Панфіловська», ім. Горького, ім. Абакумова, ім. Леніна, ім. Бажанова, ім. Батова, ім. Кірова, «60 років Радянської України», «Чайкіно», «11-біс», «13-біс», «№21», «Ясинівська Глибока», «Пролетарська Крута», «Радянська», «Глибока», «Грузька Похила», «Заперевальна», «Ясинівська Глибока», «Мушкетівська», «№9 Капітальна», «№6 Червона Зірка», «Жовтневий Рудник», «Лідівка», ім. Челюскінців, «Куйбишевська», «Моспінська», «Жовтнева», «Трудовська», а також резервних і

розвідувальних площ і ділянок «Бутівська Глибока №2», «Кіровська Глибока», «Орджонікідзевська Глибока №2–4», «Орджонікідзевська Глибока №3–5», «Авдіївський», «Абакумовська Глибока», «Трудовська Глибока», «Георгіївська Глибока», «Рутченківська» і «Новомоспінська Західна», «Макіївсько-Смолянинівська».

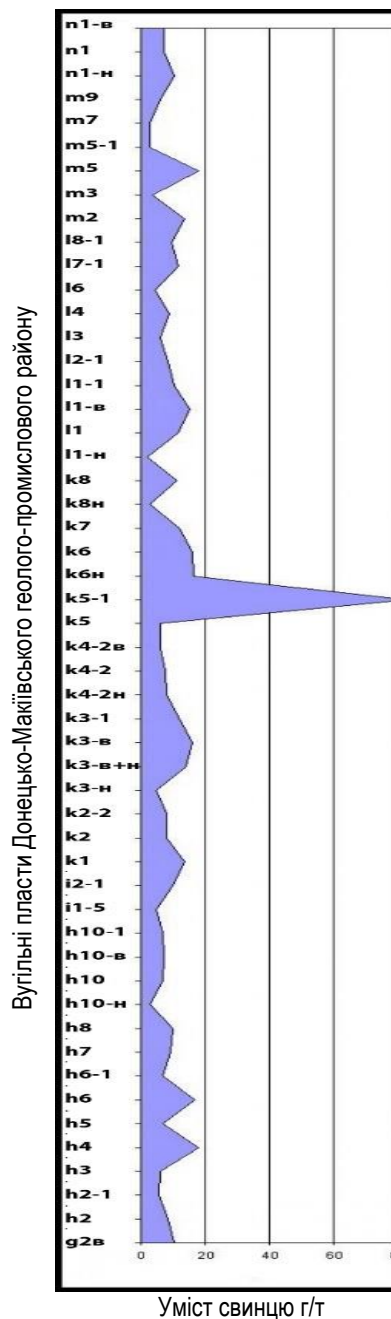


Рис. 1. Уміст свинцю у вугільних пластах Донецько-Макіївського геолого-промислового району

Для отримання представницьких оцінок умісту свинцю у вугіллі як окремих пластів, світ, так і району загалом поодинокі визначення було об'єднано за окремими пластами в 52 пооб'єктні вибірки, а дальший розрахунок середніх значень концентрацій виконано як

середньозважене на обсяг об'єкта. Розрахунок обсягу ґрунтовано на середній потужності вугільного пласта в межах об'єкта без огляду на площі достовірно встановленого розміття й виклинювання пластів. Розраховані в такий спосіб оцінки вибіркових середніх концентрацій у пластах у вигляді графіка показано на рис. 1. Вибіркові середні концентрації свинцю у вугіллі пластів за світами становлять:  $C_2^2$  – 10,3 г/т,  $C_2^3$  – 10,6 г/т,  $C_2^4$  – 8,3 г/т,  $C_2^5$  – 12,1 г/т,  $C_2^6$  – 8,9 г/т,  $C_2^7$  – 4,5 г/т,  $C_3^1$  – 8,5 г/т, а загалом у районі – 9,0 г/т.

Для візуального якісного аналізу загальної форми розподілу значень концентрацій свинцю у вугільних пластах району побудована гістограма (рис. 2).

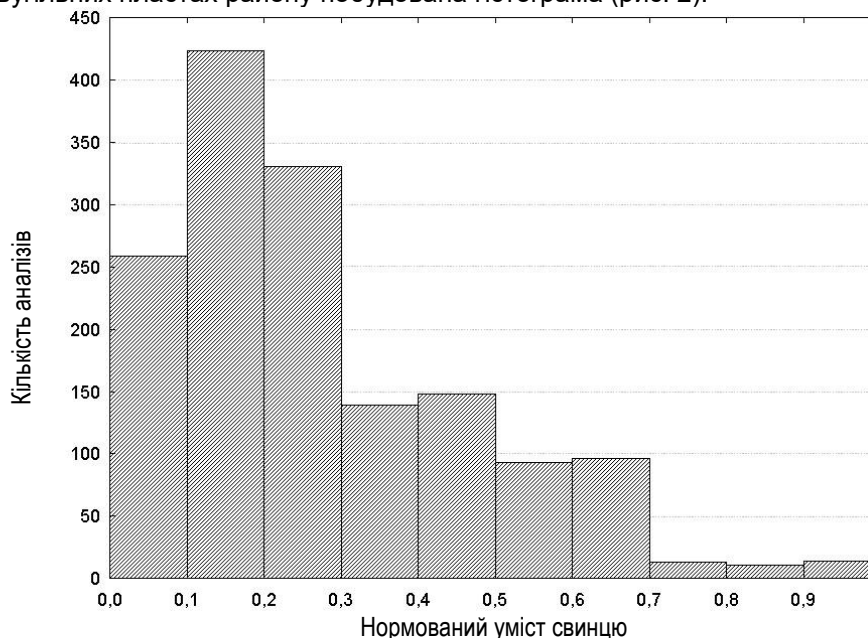


Рис. 2. Гістограма розподілу нормованих концентрацій свинцю у вугільних пластах Донецько-Макіївського геолого-промислового району

Для зручності її візуального зіставлення з гістограмами розподілу інших токсичних і потенційно токсичних елементів, основних технологічних параметрів, петрографічного складу й інших характеристик вугілля всі значення концентрацій свинцю нормовано.

Аналіз побудованої гістограми дає змогу встановити, що:

- 97% розподілу генеральної вибіркової сукупності значень являє собою поєднання двох накладених логнормальних розподілів;

- розподіл основної частини (64% всіх результатів) вибірки близький до логнормального закону розподілу і укладений в інтервалі 0,0–0,5 з модою в інтервалі 0,1–0,2;

- бімодальність вибірки свідчить про наявність двох незалежних процесів, які істотно впливають на накопичення свинцю у вугільних пластах району;

- спостерігається аномально високий інтервал значень: 0,9–1,0, що відповідає вмісту свинцю у вугіллі: 74–83 г/т. На 92% його виникнення пов'язане з одиничними пробами вугілля з пластів  $h_4$ ,  $h_6$ , і  $k_5^1$ .

Значущість відмінностей між вибірковими середніми концентраціями свинцю у вугіллі найближчих за стратиграфічним розрізом пластів і світ встановлювано з використанням програми STATISTICA 11.0 [2] через розрахунок t-критерію і U-критерію Манна-Вітні (як найпотужнішої непараметричної альтернативи t-критерію) з рівнем значущості  $p \leq 0,05$ .

Унаслідок з'ясовано, що тільки в п'яти випадках відмінності між вибірковими середніми концентраціями свинцю у вугіллі найближчих за стратиграфічним розрізом

досліджених пластів є статистично незначущими: це пари пластів  $h_2^1 - h_3$ ;  $h_7 - h_8$ ;  $k_2 - k_2^2$ ;  $m_5^1 - m_7$ ;  $n_1 - n_1^B$ ; розходження між вибірковими середніми концентраціями свинцю у вугіллі пластів сусідніх світ у всіх випадках виявляється значущим; градієнт між вибірковими середніми концентраціями свинцю у вугільних пластах досягає максимуму у світах  $C_2^3$  і  $C_2^5$ .

Отримані результати дають підставу припустити, що основні чинники, які контролюють накопичення свинцю у вугільних пластах району, у процесі формування сусідніх пластів і дальшого перетворення вугленосної товщі істотно змінювалися, до того ж вплив цих чинників на інтегральний уміст свинцю у вугіллі пластів був максимальним для пластів світ  $C_2^3$  і  $C_2^5$ .

Аналіз зв'язків свинцю з органічною та мінеральною частиною вугілля в розглянутих пластах геолого-промислового району загалом засвідчує:

- тільки в 11 пластах:  $h_2^1, h_{10}^H, i_1^5, k_3^H, k_5, k_8^H, l_1^H, l_6, m_3, m_5^1$  і  $m_7$  свинець концентрується переважно органічним складником вугілля;

- у 22 досліджених пластах:  $h_2, h_3, h_5, h_6^1, h_7, h_8, h_{10}, h_{10}^B, h_{10}^1, i_2^1, k_2, k_2^2, k_2^{2H}, k_4^2, k_4^{2B}, l_2^1, l_3, l_4, l_8^1, m_9, n_1$  і  $n_1^B$  свинець порівняно рівномірно розподілений між органічною та мінеральною частинами вугілля;

- для 19 розглянутих пластів:  $g_1^{2H}, h_4, h_6, k_1, k_3^{B+H}, k_3^B, k_3^1, k_5^1, k_6^H, k_6, k_7, k_8, l_1, l_1^B, l_1^1, l_7^1, m_2, m_5$  і  $n_1^H$  характерний зв'язок свинцю переважно з мінеральним складником вугілля.

Для класифікації вугільних пластів району за вмістом свинцю було виконано кластерний аналіз. 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 їхню внутрішню структуру (на різних ієрархічних рівнях) у досліджуваній вибірковій сукупності. Водночас, як і будь-який інший метод, кластерний аналіз має певні вади. Зокрема, склад і кількість кластерів залежать від вибраних критеріїв угруповання («стратегії класифікації»), а застосування різних методів, що відповідають різним концептуальним підходам до виділення таксонів, до одних і тих самих вибірок, може призвести до істотно різних результатів. Отже, характерною особливістю кластерного аналізу, на відміну від інших методів багатомірної статистики, є сильна залежність отриманих результатів від апріорних настанов зважених на змістовному рівні. Тому в цій праці як найефективніший використано зважений центроїдний метод, а як міру подібності – евклідову відстань між середньозваженими концентраціями свинцю у вугільних пластах. Як показано в праці [9], такий підхід є найефективнішим і дає змогу не тільки з'ясувати кількість результативних кластерів, але й виявити їхню структуру. Результати кластерного аналізу концентрацій свинцю у вугільних пластах району зваженим центроїдним методом наведено на рис. 3.

На дендрограмі кластеризації пластів за вмістом свинцю (рис. 3) перший кластер утворюють 29 пластів із середньою концентрацією (від 2 до 8,7 г/т, із середньозваженою по кластеру 5,8 г/т), другий кластер – 22 пласти з підвищеною концентрацією (від 9,2 до 18 г/т, із середньозваженою по кластеру 13 г/т), третій кластер містить проби тільки одного пласта  $k_5^1$  – з аномально високими концентраціями (від 81,8 до 84 г/т, із середньозваженою по кластеру 83 г/т). У структурі першого кластера чітко виділяються два вкладені кластери: 1а – сформований 15 пластами з аномально низькими концентраціями свинцю у вугіллі (від 2 до 6,1 г/т, із середньозваженою по кластеру 4,4 г/т); 1б – об'єднує 14 пластів із умістом свинцю від 6,9 до 8,7 г/т, із середньозваженою по кластеру 7,8 г/т. Структура другого кластера також складається з двох вкладених кластерів: 2а – сформований 15 пластами з концентраціями свинцю у вугіллі від 9,2 до 14 г/т, із середньозваженою по кластеру 10,7 г/т; 2б об'єднує сім пластів із умістом свинцю від 15,3 до 18,0 г/т, із середньозваженою по кластеру 17,1 г/т. Привертає увагу той факт, що середньозважені концентрації свинцю у вугіллі 29 пластів, об'єднаних у першому кластері, відповідають у межах допустимої похибки фоновим концентраціям свинцю у вугіллі району.

Зіставлення результатів кластерного аналізу з характером спорідненості свинцю з органічною або мінеральною частинами вугілля в розглянутих пластах загалом у районі засвідчує, що перший кластер формують одинадцять пластів з переважним зв'язком

свинцю з органічною частиною вугілля, а також вісімнадцять пластів, у яких свинець розподілений порівняно рівномірно між органічним і мінеральним складниками. До другого й третього кластерів увійшли дев'ятнадцять пластів, у яких свинець концентрується тільки в мінеральному складнику.

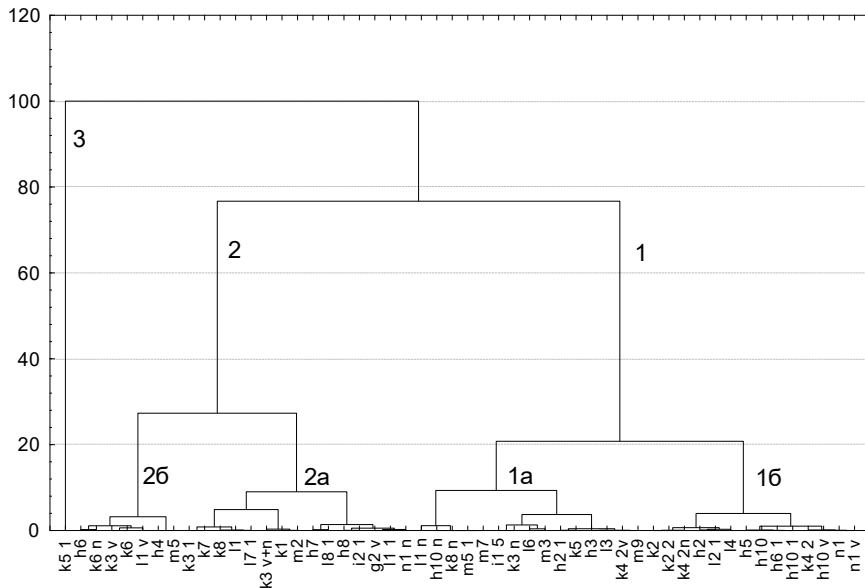


Рис. 3. Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом вугільних пластів Донецько-Макіївського геолого-промислового району за вмістом Pb

Задля генетичної інтерпретації концентрацій свинцю у вугільних пластах району застосовано факторний аналіз, методика якого наведено нижче.

Потрібно зазначити, що факторний аналіз, по-перше, дає змогу отримати мінімальну кількість нових змінних, що є лінійними комбінаціями вихідних. До того ж ці нові змінні міститимуть наперед задану кількість інформації з вихідних змінних. По-друге, аналіз взаємозв'язків нових змінних з вихідними дає змогу виявити генетичні зв'язки й інтерпретувати їх у геологічних поняттях.

У цій праці для досліджень застосовано один з різновидів факторного аналізу – R-модифікацію методу головних компонент у детермінованому варіанті, коли досліджується вибіркова сукупність об'єктів без жодних висновків про об'єкти генеральної сукупності.

У цьому разі, відповідно до праці [13], за алгоритм вирішення задачі взято такий:

1. Матрицю вихідних змінних  $X^{N \times p}$  ( $N$  – кількість рядків (об'єктів – вугільних пластів);  $p$  – стовпців (вихідних змінних – уміст золи, сірки загальної, токсичних і потенційно токсичних елементів)) зведено до матриці даних  $Y^{N \times p}$  у формі варіацій. Попередньо стовпці матриці  $X^{N \times p}$  нормовано з метою зведення вихідних змінних до інтервалу  $[0 - 1]$  і переходу до безрозмірних величин. Ця процедура потрібна, оскільки змінні, що описують об'єкти, можна виміряти в різних шкалах і в цьому разі застосування факторного аналізу некоректне.

2. Обчислено коваріаційну матрицю  $S^{p \times p}$ , на діагоналі якої розміщуються дисперсії змінних.

3. Обчислено власні числа  $\lambda_i$  матриці  $S^{p \times p}$  і власні вектори  $U_i$ , які відповідають власним числам.

4. Визначено кількість  $k$  головних компонент (потрібне число компонент, які зумовлюють основну частку дисперсії вихідних змінних). Для цього використано значення  $R$  вираження:

$$P = \left( \sum_{i=1}^k \lambda_i / \text{tr}S \right) * 100\%,$$

де  $\text{tr}S$  – слід (трек) матриці  $S^{p \times p}$  (сума елементів, що стоять на головній діагоналі).

Зазначимо, що зручно обчислювати відсоток внеску в дисперсію  $P$  для послідовних значень  $k = 1, 2, 3, \dots$ , і зупинити процес на такому  $k$ , за якого цей відсоток задовольняє вимогу дослідника (наприклад  $P$  більше 75, 90 або 95 %).

5.  $k$  мінімальних власних чисел  $\lambda_i$  представлено у вигляді матриці  $\lambda_i^{k \times k}$ , діагональними елементами якої були власні числа коваріаційної матриці  $S^{p \times p}$ . Власні вектори, які відповідають  $k$  мінімальних власних чисел, представлено у вигляді матриці  $U_k$  (у нашому разі це матриця навантажень  $A=U_k$ ).

6. Обчислено матрицю  $F^{n \times k}$  значень головних компонент:

$$F = Y * A.$$

7. Обчислено матрицю  $C^{p \times k}$  коефіцієнтів кореляції між вихідними змінними й головними компонентами (таблиця). За цією матрицею зроблено висновки про ступінь зв'язку нових змінних з вихідними, тобто інтерпретовано головні компоненти.

Таблиця.

Змінні	Головні компоненти			
	1	2	3	4
A <sup>d</sup>	0,75	0,05	0,33	-0,04
S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	0,76	-0,27	-0,16	-0,01
As	0,64	0,3	-0,37	0,17
Hg	0,77	-0,04	-0,2	0,22
Be	0,03	0,72	-0,23	-0,29
F	0,39	0,66	0,25	0,15
Mn	-0,49	0,03	0,47	0,46
Pb	0,62	0,05	0,46	-0,3
Ni	0,81	-0,05	0,01	0,12
V	0,81	-0,16	0,1	-0,01
Cr	0,75	-0,15	0,27	-0,15
Co	0,79	-0,01	-0,13	0,2

Дані, які наведено в таблиці, свідчать про полігенний і поліхронний характер накопичення токсичних і потенційно токсичних елементів, зокрема свинцю у вугільних пластах району. Аналіз результатів факторного аналізу підтверджує наявність як сульфідної, так і несульфідної форми свинцю у вугіллі.

Для виявлення основних чинників, що контролюють накопичення свинцю у вугільних пластах району, а також його зв'язків з іншими основними токсичними й потенційно токсичними елементами виконано кореляційний і регресійний аналізи його концентрацій з основними технологічними показниками, умістом цих елементів і петрографічним складом вугілля. Загалом у районі встановлено:

1) Наявність статистично значущого зв'язку концентрації свинцю у вугільних пластах району із зольністю (значущий коефіцієнт кореляції Пірсона 0,48, графік регресії на рис. 4). Лінійне рівняння регресії:  $Pb = 0,2189 + 0,803A^d$ .

2) Наявність статистично значущого зв'язку концентрації свинцю у вугільних пластах району з умістом сірки загальної (значущий коефіцієнт кореляції Пірсона 0,59, графік регресії на рис. 5). Лінійне рівняння регресії:  $Pb = 0,138 + 0,5963S_{\text{заг}}$ .

3) У вугіллі району свинець утворює геохімічну асоціацію з хромом (значущий коефіцієнт кореляції Пірсона 0,39, графік регресії на рис. 6), з ванадієм (значущий коефіцієнт кореляції Пірсона 0,47, графік регресії на рис. 7). Лінійні рівняння регресії:

$$Pb = 0,03747 + 0,22927Cr; \quad Pb = 0,02481 + 0,27589V.$$

Водночас на окремих ділянках досліджених пластів (з використанням методу В.А. Черв'якова [20] виявлено значущий позитивний кореляційний зв'язок свинцю з умістом фюзенизованих мікрокомпонентів (пласти 2 і 3 кластерів). На ділянках маловідновленого вугілля різке підвищення концентрацій свинцю значущо корелює зі збільшенням концентрацій германію.

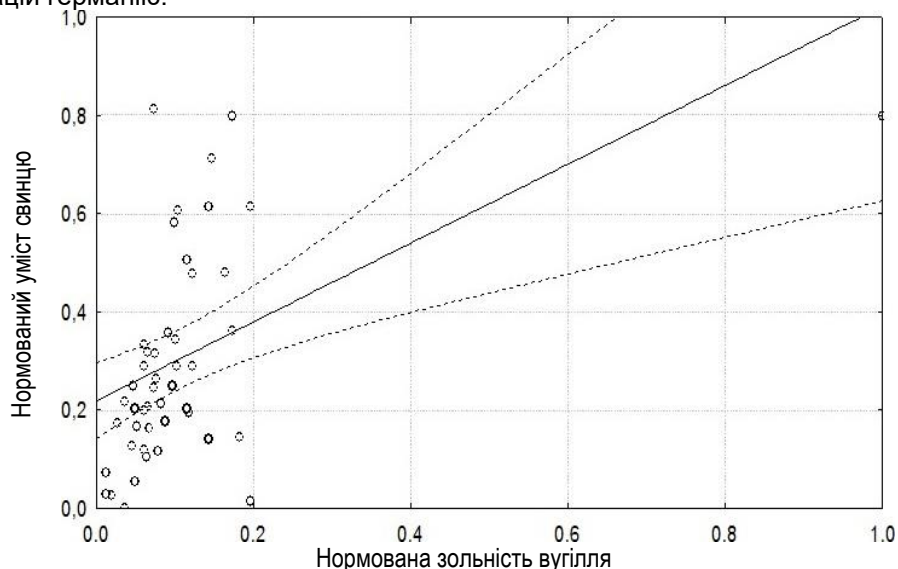


Рис. 4. Графік рівняння регресії між середньозваженим нормованим умістом свинцю і зольністю основних вугільних пластів Донецько-Макіївського району

4) Загалом у районі у всіх досліджених пластах спостережено незначне збільшення концентрації свинцю з ростом ступеня вуглефікації вугілля, ускладненням будови пластів і зменшенням їхньої потужності, збільшенням кількості внутрішньопластових мінералізованих прошарків, тріщинуватості та ступеня відновлюваності вугілля. До того ж під час розщеплення пластів збагачення свинцем спостерігається в менш потужній пачці. Наприклад, пласт  $n_1$  на полі шахти «Бутівська» розщеплюється на два самостійні пласти  $n_1^a$  і  $n_1^b$ . У північно-східній частині шахтного поля на свинець багатша верхня малопотужна пачка, а в південно-східній – свинець накопичується в нижній пачці, яка має меншу потужність.

5) З'ясовано статистично значуще істотне збільшення вмісту свинцю на локальних ділянках пластів з безпосередньою алевроліт-аргілітовою підшовою й аргілітовою покрівлею (наприклад, ділянки пласта  $l_1$  і  $l_1^1$  на полі шахти «Пролетарська Глибока», пласта  $h_3$  на полі шахти ім. Горького, пласта  $k_7$  на полі шахти ім. Румянцева, пласта  $h_{10}$  на полях шахт «60-річчя Радянської України» та ім. Калініна тощо).

6) Виявлено статистично значуще зменшення концентрацій свинцю у вугіллі ділянок пластів, які безпосередньо прилягають до внутрішньоформаційного розмиття.

7) Спостережено різке збільшення вмісту свинцю у вугіллі пластів на ділянках з наявністю в їхній верхній частині прошарку сапропеліту (наприклад, пласт  $m_3$  поля шахти «Ясинівська Глибока» тощо).

8) За розрізом пластів зазвичай концентрація свинцю у вугільних пластах зростає у верхній, припокрівельній частині.

Отримані результати дають змогу сформулювати такі головні висновки:

1. Розподіл вибіркової сукупності концентрацій свинцю у вугільних пластах району на 97% являє собою поєднання двох накладених логнормальних розподілів. Бімодальний характер вибірки, а також результати факторного аналізу свідчать про полігенне й поліхронне накопичення свинцю у вугіллі району. Весь обсяг вибірки характеризується середнім значенням  $9 \pm 1$ . Отже, середній уміст свинцю у вугільних пластах району



відповідає середній концентрації свинцю в кам'яному вугіллі родовищ колишнього СРСР – 10 г/т [14]. Фоновий уміст становить 5,8 г/т.

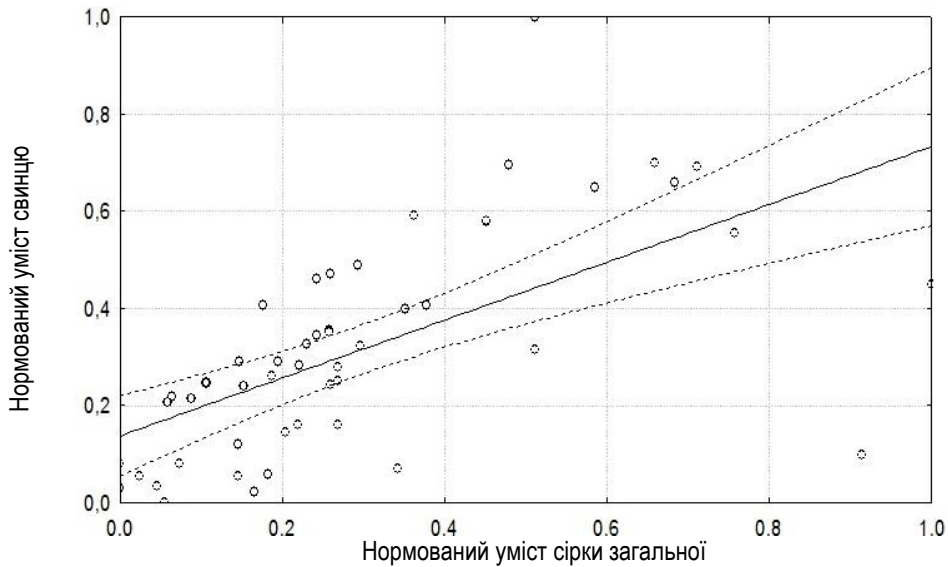


Рис. 5. Графік рівняння регресії між середньозваженим нормованим умістом свинцю й сіркою загальною основних вугільних пластів Донецько-Макіївського району

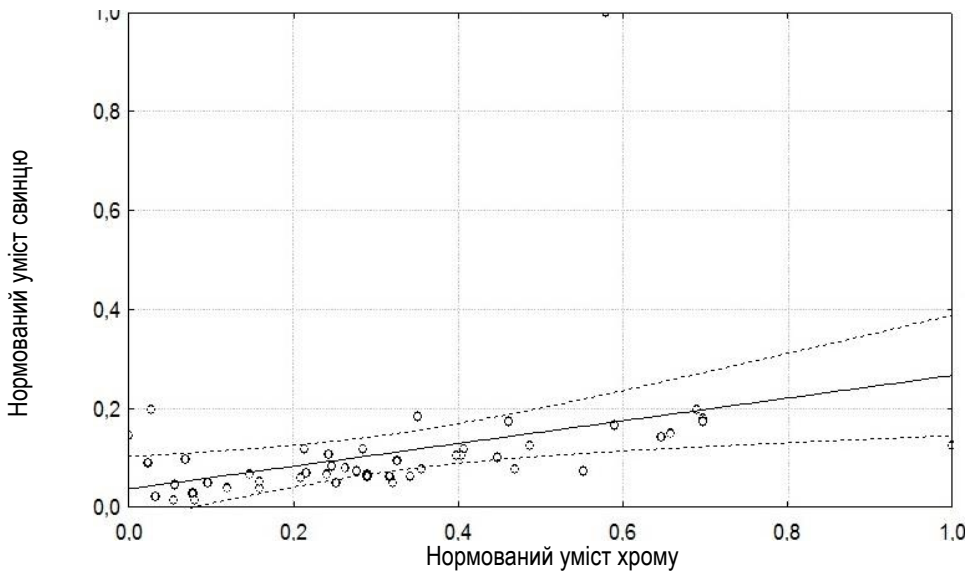


Рис. 6. Графік рівняння регресії між середньозваженим нормованим умістом свинцю й хрому основних вугільних пластів Донецько-Макіївського району

2. Середні значення концентрацій свинцю у вугіллі тільки одного пласта  $k_5^1$  з усіх основних робочих пластів району перевищують значення гранично допустимої концентрації у вугіллі. У мінімальній кількості свинець міститься у вугіллі пластів, що формують кластер 1а, до того ж у цих пластах свинець пов'язаний переважно з органічним складником вугілля.

3. Основні чинники, що впливають на концентрацію свинцю в найближчих за стратиграфічним розрізом вугільних пластах у процесі вугленакопичення й епігенетичних перетворень вугленосної товщі відчували неабиякі варіації (виняток становлять групи пластів:  $h_2^1 - h_3$ ;  $h_7 - h_8$ ;  $k_2 - k_2^2$ ;  $m_5^1 - m_7$ ;  $n_1 - n_1^a$ ).

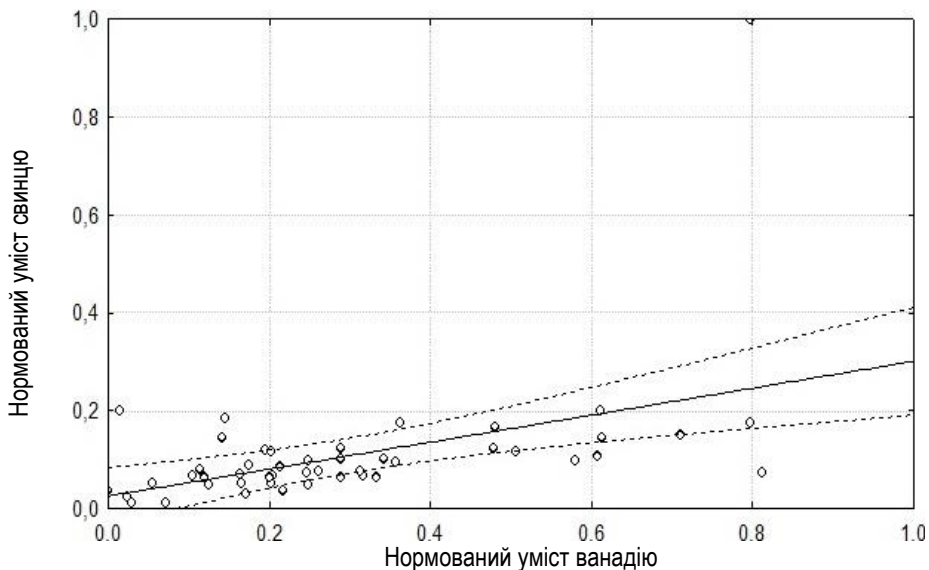


Рис. 7. Лінія регресії між середньозваженим нормованим умістом свинцю й ванадію основних вугільних пластів Донецько-Макіївського району

4. Градієнт між вибірковими середніми концентраціями свинцю у вугільних пластах досягає максимальних значень у світах  $C_2^3$  і  $C_2^5$ , що корелює зі збільшенням їхньої фаціальної мінливості.

5. Виявлено, що загалом у районі спостережено значущу пряму лінійну залежність між концентраціями свинцю й зольністю та вмістом сірки загальної, незначне збільшення концентрації свинцю з ростом ступеня вуглефікації вугілля, ускладненням будови пластів і зменшенням їхньої потужності, збільшенням кількості внутрішньопластових мінералізованих прошарків, тріщинуватості й ступеня відновлюваності вугілля.

Пряма лінійна залежність умісту свинцю з умістом сірки загальної вказує на наявність у вугіллі сульфідної форми цього елемента. Наявність істотної прямої залежності концентрацій свинцю із зольністю дає змогу прогнозувати зниження концентрації цього елемента в процесі вуглезабагачення.

6. Зв'язок умісту свинцю з літологічним складом вуглевмісних порід полягає в статистично значущому збільшенні його концентрації на локальних ділянках пластів з безпосередньо алевроліт-аргілітовим ґрунтом і аргілітовою покрівлею.

7. Спостережено істотне зменшення вмісту свинцю у вугіллі ділянок пластів, які безпосередньо прилягають до зон внутрішньоформаційного розмиття.

8. Виявлено значущий позитивний кореляційний зв'язок свинцю з умістом фюзенізованих мікрокомпонентів на окремих ділянках досліджених пластів, що свідчить про наявність сорбційної форми свинцю у вугіллі, водночас наявність значущого кореляційного зв'язку цього елемента з германієм в маловідновленому вугіллі засвідчує наявність у вугіллі елементоорганічних сполучень свинцю.

9. Загалом у районі зменшення потужності пластів супроводжується збільшенням спорідненості свинцю з органічною речовиною вугілля.

10. Для вугілля району типоморфною є геохімічна асоціація свинцю з хромом і ванадієм. Спільне накопичення цих елементів зумовлено бітумінозним характером сорбенту. Нейтральне й лужне середовище палеобасейнів торфонакопичення сприяє поглинанню

свинцю фенольними похідними лігніну, а кисле середовище, навпаки, несприятливе для цього процесу.

**Основне наукове значення отриманих результатів полягає:** у з'ясуванні характеру розподілу й розрахунку основних описових статистик концентрацій свинцю у вугільних пластах Донецько-Макіївського геолого-промислового району Донбасу, розрахунку середньозважених концентрацій цього елемента у вугіллі основних пластів і світ, виявленні складу типоморфної геохімічної асоціації свинцю з іншими токсичними й потенційно токсичними елементами у вугіллі району.

З'ясовано, що накопичення свинцю у вугіллі основних робочих пластів Донецько-Макіївського геолого-промислового району має полігенний і поліхронний характер. Зміна його концентрації в розрізі й за площею району головно зумовлена тектонічними й фаціальними особливостями формування вугленосної товщі, що контролюють петрографічний склад вугілля, гідродинамічним режимом басейну торфонакопичення, літолого-фаціальним складом безпосередньої і основної покрівлі вугільних пластів, тріщинуватістю вугілля й порід, що його вміщують.

Практичне значення отриманих результатів полягає: в типізації вугільних пластів району за концентрацією свинцю за допомогою кластерного аналізу, встановленні ступеня спорідненості свинцю з органічною або мінеральною речовиною вугілля основних робочих пластів району, виявленні значущого зв'язку концентрацій свинцю із зольністю вугілля, а також у розрахунку рівнянь регресії між елементами, що входять до складу геохімічної асоціації свинцю.

Типізація вугільних пластів за вмістом свинцю дає змогу оптимізувати планування видобутку вугілля й шихтування добутої гірничої маси для зниження вмісту свинцю в кінцевому продукті вугледобувних підприємств району.

Встановлений зв'язок концентрацій свинцю із зольністю вугілля дає змогу планувати зменшення вмісту цього елемента за допомогою наявних технологій вуглезбагачення.

Розраховані рівняння регресії між елементами, що входять до складу геохімічної асоціації свинцю, дають змогу опосередковано встановлювати його концентрації у вугіллі основних робочих пластів Донецько-Макіївського геолого-промислового району.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Беус А.А. Геохимия литосферы. М.: Недра, 1981. 335 с.
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. 287 с.
4. Горовой А.Ф., Горовая Н.А. Оценка токсичности продуктов добычи и отходов переработки антрацитов Донбасса. *Уголь Украины*. 1997. №12. С. 38–39.
5. Горовая Н.А. Кадастр токсичности продуктов добычи и отходов переработки антрацитов шахтопластов и шахт Донбасса // Сборник научных трудов ДГМИ. 1999. Вып. 9. С. 10–14.
6. Горовая Н.А. Токсичные элементы в горной массе, антрацитах и золе антрацитов Донбасса // Научный вісник Національної гірничої академії України. 1999. №3. С. 31–33.
7. 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 вісник Національної гірничої академії України. 2001. №5. С. 84–86.
8. 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 вісник Національної гірничої академії України. 2001. №4. С. 89–90.
9. Ишков В.В., Сердюк Е.А., Слипенький Е.В. Особенности применения методов кластерного анализа для классификации угольных пластов по содержанию токсичных и потенциально токсичных элементов (на примере Красноармейского геолого-промышленного района) // Сборник научных трудов НГУ. 2003. №19. С. 5–16.

10. Ішков В.В., Козій Є.С. Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта с<sub>7</sub><sup>н</sup> шахти «Павлоградська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району // Вісник Київського національного університету. 2017. №79. С. 59–66. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.79.09>
11. Ішков В.В., Козій Є.С. Особливості розподілу токсичних і потенційно токсичних елементів в основних вугільних пластах по розрізу Красноармійського геолого-промислового району Донбасу // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми розвитку гірничопромислових районів». 2019. С. 3–14.
12. Ішков В.В., Козій Є.С. Деякі особливості розподілу берилію у вугільному пласті k<sub>5</sub> шахти «Капітальна» Красноармійського геолого-промислового району Донбасу. Вісник ОНУ. 2020. Т. 25, вип. 1 (36). С. 214–227.
13. Йереског К.Г., Клован Д.И., Реймет Р.А. Геологический факторный анализ: Пер. с англ. Л.: Недра, 1980. 223 с.
14. Клер В.Р. Изучение сопутствующих полезных ископаемых при разведке угольных месторождений. М.: Недра, 1979. 272 с.
15. Козій Є.С., Ішков В.В. Класифікація вугілля основних робочих пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту токсичних і потенційно токсичних елементів // Збірник наукових праць «Геотехнічна механіка». 2017. № 136. С. 74–86.
16. Козій Є.С., Ішков В.В. 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.
17. Кулиненко О.Р., Барна Т.В. Ассоциация «малых» элементов в палеозойских углях Украины и геохимическая типизация бассейнов // Геологический журнал. 1985. Т.45, №6. С. 80–84.
18. Листова Л.П., Бондаренко Г.П. Осаждение и дифференциация меди, свинца и цинка в условиях зоны осадкообразования. М.: Наука, 1978. 99 с.
19. Нестеровський В.А., Ішков В.В., Козій Є.С. Токсичні і потенційно токсичні елементи у вугіллі пласта с<sub>8</sub><sup>н</sup> шахти «Благодатна» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району // Вісник Київського національного університету. 2020. №88 (1), С. 17–24. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.88.03>
20. Червяков В.А. Концентрация поля в современной картографии. М.: Наука, 1978. 149 с.
21. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 655 с.

## 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. Horovoy A.F., Horovaya N.A. 1997. Toxicity assessment of mining products and waste from anthracite processing of Donbass. *Ugol Ukrainyi*. No. 12. P. 38–39. – in Russian
5. Horovaya N.A. 1999. Toxicity cadastre of mining products and wastes from anthracite processing of mine seams and mines of Donbass. *Sbornik nauchnyih trudov DGMI*. No. 9. P. 10–14. – in Russian
6. Horovaya N.A. 1999. Toxic elements in the rock mass, anthracites and anthracite ash of Donbass, *Naukovyi visnyk NGAU*. No. 3. P. 31–33. – in Russian
7. 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
8. 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
9. Ishkov V.V., Serdiuk E.A., Slypenkyi Ye.V. 2003. Features of the applying of cluster analysis methods for the classification of coal seams by the content of toxic and potentially toxic elements (on the example of the Krasnoarmeyskiy geological and industrial area). *Collection of scientific papers of NMU*. No. 19. P. 5–16. – in Russian

10. *Ishkov V.V., Koziy E.S.* 2017. Distribution of toxic and potentially toxic elements in the coal of the layer  $c_7^H$  of the "Pavlogradska" mine of Pavlogradsko-Petropavlovskiy geological and industrial district. *Visnyk Of Taras Shevchenko National University Of Kyiv-Geology*. Vol. 79. No. 4. P. 59–66. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.79.09> – in Ukrainian
11. *Ishkov V.V., Kozii Ye.S.* 2019. Peculiarities of the distribution of toxic and potentially toxic elements in the main coal seams in geologic cross section of Krasnoarmiyskiy geological and industrial area of Donbas. *International Scientific And Technical Conference «Problems of Development of Mining Area»*. P. 3–14. – in Ukrainian
12. *Ishkov V.V., Kozii Ye.S.* 2020. Some features of beryllium distribution in the  $k_5$  coal seam of the «Kapitalna» mine of the Krasnoarmiyskiy geological and industrial district of Donbas. Vol. 25. No. 1 (36). P. 214–227. – in Ukrainian
13. *Yereskoh K.G., Klovan D.I., Reimet R.A.* 1980. Geological factor analysis: translation from English. Nedra, Leningrad. P. 223. – in Russian
14. *Kler V.R.* 1979. The study of assistant minerals during the exploration of coal deposits. Nedra, Moscow. P. 272. – in Russian
15. *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
16. *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
17. *Kulinenko O.R.* 1985. Association of «small» elements in the Paleozoic coals of Ukraine and geochemical typification of basins. *Geologicheskii zhurnal*. Vol. 45, No. 6. P. 80–84. – in Russian
18. *Lystova L.P., Bondarenko G.P.* 1978. Deposition and differentiation of copper, lead and zinc in the conditions of the sedimentation zone. Nedra, Moscow. P. 99. – in Russian
19. *Nesterovskiy V.A., Ishkov V.V., Kozii Ye.S.* 2020. Toxic and potentially toxic elements in the coal of the seam  $c_{8H}$  of the «Blagodatna» mine of Pavlohrad-Petropavlivka geological and industrial area. *Visnyk Of Taras Shevchenko National University Of Kyiv-Geology*. Vol. 88. No. 1. P. 17–24. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.88.03> – in Ukrainian
20. *Cherviakov V.A.* 1978. Field concentration in modern cartography. Nedra, Moscow. P. 149. – in Russian
21. *Yudovich Ya. E., Ketriz M.P.* 2005. Toxic Trace Elements in Fossil Coal. Ekaterinburg: Uralskoe otделение rossiyskoy akademii nauk. P. 655. – in Russian

**V.V. Ishkov, Ye.S. Kozii**

## **PECULIARITIES OF LEAD DISTRIBUTION IN COAL SEAMS OF DONETSK-MAKIIVKA GEOLOGICAL AND INDUSTRIAL AREA OF DONBAS**

Increasing requirements for monitoring and environmental protection, especially in the coal-mining regions of Ukraine, where a large number of industrial enterprises are concentrated, necessitates new scientifically based methods for predicting the content of toxic and potentially toxic elements in the rock mass that mined from the mines, in the coal wastes. and coal upgrading, as well as the impact of the coal industry and heating enterprises on the ecological state of the environment. For this purpose it is necessary to have data about concentration, character and peculiarities of the distribution of toxic and potentially toxic elements, including lead in the coal seams.

The article presents the results of research covering the whole territory of one of the most studied geological and industrial areas of Donbas – Donetsk-Makiivka for the period from 1983 to 2014. The peculiarities of the distribution are considered and the character of lead distribution in 52 coal seams is determined, the weighted average concentrations of this element are calculated both in the coal of the main working seams and in 7 suites of the middle and upper series of coal period.

It is proved that the accumulation of lead in the coal of the main working seams of the Donetsk-Makiivka geological and industrial area is polygenic and polychronic. The change in its concentration in section and area is mainly due to tectonic and facies features of coal-bearing strata formation, controlling the petrographic composition of coal, hydrodynamic regime of the peat accumulation basin, lithological-facies composition of the immediate and main roof of coal seams, coal fracturing and rocks that contain this coal.

*Key words:* lead, toxic and potentially toxic elements, dendrograms of clustering, zones of increased fracture, stratigraphic section, geological and industrial area.

**В.В. Ишков, Е.С. Козий**  
**ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВИНЦА В УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ ДОНЕЦКО-МАКЕЕВСКОГО ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА ДОНБАССА**

Повышение требований к мониторингу и охране окружающей среды, особенно в угледобывающих регионах Украины, где сосредоточено значительное количество промышленных предприятий, обуславливает потребность в новых научно обоснованных методах прогнозирования прежде всего содержания токсичных и потенциально токсичных элементов в горной массе, которую добывают в шахтах, отходах угледобычи и углеобогащения, а также влияния предприятий угольной теплоэнергетики на окружающую среду. Для этого необходимы данные о концентрации, характере и особенностях распределения токсичных и потенциально токсичных элементов, в частности свинца, в угольных пластах.

В статье приведены результаты исследований, которые охватывали всю территорию одного из наиболее изученных геолого-промышленных районов Донбасса – Донецко-Макеевского за период с 1983 по 2014 годы. Рассмотрены особенности распределения и определен характер распространения свинца в 52 угольных пластах, выполнены расчеты средневзвешенных концентраций этого элемента как в угле основных рабочих пластов, так и семи свит среднего и верхнего отделов каменноугольного периода.

Доказано, что накопление свинца в угле основных рабочих пластов Донецко-Макеевского геолого-промышленного района носит полигенный и полихронный характер. Изменение его концентрации по разрезу и площади района главным образом обусловлено тектоническими и фаціальными особенностями формирования угленосной толщи, контролирующими петрографический состав угля, гидродинамическим режимом бассейна торфонакопичення, литолого-фаціальным составом непосредственной и основной кровли угольных пластов, трещиноватостью угля и вмещающих его пород.

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

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро  
Валерій Ішков  
e-mail: [ishwishw37@gmail.com](mailto:ishwishw37@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-3987-208X>  
Євген Козій  
e-mail: [koziy.es@gmail.com](mailto:koziy.es@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-2167-6224>

Стаття надійшла: 28.12.2019