

УДК 553.94:550.428

Козій Є.С., магістр,
Ішков В.В., канд.геол.-мінерал. наук, доцент
(Державний ВНЗ «НГУ»)

**КЛАСИФІКАЦІЯ ВУГІЛЛЯ ОСНОВНИХ РОБОЧИХ ПЛАСТІВ
ПАВЛОГРАДСЬКО-ПЕТРОПАВЛІВСЬКОГО ГЕОЛОГО-
ПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ ПО ВМІСТУ ТОКСИЧНИХ І
ПОТЕНЦІЙНО ТОКСИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

Козий Е.С., магистр,
Ишков В.В., канд.геол.-минерал. наук, доцент
(Государственное ВУЗ «НГУ»)

**КЛАССИФИКАЦИЯ УГЛЯ ОСНОВНЫХ РАБОЧИХ ПЛАСТОВ
ПАВЛОГРАДСКО-ПЕТРОПАВЛОВСКОГО ГЕОЛОГО-
ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА ПО СОДЕРЖАНИЮ ТОКСИЧНЫХ И
ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Koziy E.S., M.S. (Tech.),
Ishkov V.V., Ph.D. (Geol.-Min.), Associate Professor
(State HEI «NMU»)

**COAL CLASSIFICATION OF MAIN WORKING SEAMS OF PAVLOHRAD-
PETROPAVLIVKA GEOLOGICAL AND INDUSTRIAL DISTRICT ON
CONTENT OF TOXIC AND POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS**

Анотація. Вивчення концентрацій токсичних і потенційно токсичних елементів (ТіПТЕ) у вугіллі пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району обумовлено посиленням вимог до охорони навколишнього середовища. Актуальність таких досліджень визначена низкою Законів України, постановами Кабінету Міністрів, а також вимогами ДКЗ до якості та змісту геологічних матеріалів при розвідці вугільних родовищ.

В результаті виконаних досліджень побудовані дендрограми результатів кластеризації зваженим центроїдним методом вугільних пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту ТіПТЕ у вугіллі.

Науковий і практичний інтерес викликає класифікація основних вугільних пластів району за вмістом ТіПТЕ у вугіллі. У зв'язку з цим, задачею в даній роботі було встановлення звичайного розбиття вугільних пластів на класи, вільного від суб'єктивізму дослідника. Мета роботи полягала у виділенні груп однорідних об'єктів (класів, кластерів, таксонів), схожих між собою, при різкій відмінності цих груп одна від одної.

Ключові слова: токсичні і потенційно токсичні елементи, дендрограма кластеризації, вугільний пласт.

Вступ. Як відомо, процедура класифікації – це систематизація об'єктів по апріорно заданим ознакам. Об'єктивною причиною практичного значення класифікації є складні проблеми зберігання, пошуку, використання величезних архівів емпіричних даних.

Виникає необхідність скоротити кількість цих даних і при цьому не втратити занадто багато інформації закладеної в них. Зазвичай для цього використовуються кластерний аналіз, таксономія, розпізнавання образів, факторний аналіз.

Однією з найбільш ефективних процедур спрощення та мінімізації масиву даних для того, щоб полегшити його змістовну інтерпретацію, є кластеризація. Термін кластерний аналіз, вперше введений Тріоном (Tryon) в 1939 році [1], в даний час включає в себе більше 100 різних алгоритмів. Незважаючи на те, що кластерний аналіз відомий відносно давно, поширення ця група методів отримала значно пізніше, ніж інші багатовимірні методи математичної статистики. Лише після публікації книги Р.Сокала і П.Сніта «Начала численної таксономії» в 1973 році [2] починають з'являтися перші дослідження з використанням цього методу. Тим не менш, до цих пір в геологічних дослідженнях відомі лише поодинокі випадки вдалого застосування кластерного аналізу, незважаючи на його виняткову простоту і візуальну наочність. Викликає здивування наполегливість, з якою геологи досі використовують для вирішення задачі класифікації (об'єктів, ознак) такий складний метод, як факторний аналіз. Разом з тим кластерний аналіз не тільки набагато простіше і наочніше вирішує цю задачу, але і має незаперечну перевагу: результат його застосування не пов'язаний з втратою навіть частини вихідної інформації про відмінності об'єктів або кореляції ознак.

На відміну від інших методів, які використовують при вирішенні задач класифікації, кластерний аналіз не вимагає апріорних припущень про набір даних, що не накладає обмеження на подання досліджуваних об'єктів, дозволяє аналізувати показники різних типів даних (інтервальних даних, частотам, бінарних даних).

У кластерному аналізі вважається, що:

- а) вибрані характеристики допускають в принципі бажане розбиття на кластери;
- б) одиниці виміру (масштаб) обрані правильно.

Вибір масштабу відіграє велику роль. Як правило, дані нормалізують відніманням середнього і діленням на стандартне відхилення, так що дисперсія виявляється, що дорівнює одиниці.

Методи кластерного аналізу можна розділити на дві групи: ієрархічні або неієрархічні. Кожна з груп включає безліч підходів і алгоритмів.

Суть ієрархічної кластеризації полягає в послідовному об'єднанні менших кластерів в великі або поділі великих кластерів на менші. Ієрархічні агломеративні методи характеризуються послідовним об'єднанням вихідних елементів і відповідним зменшенням числа кластерів. На початку роботи алгоритму всі об'єкти є окремими кластерами. На першому кроці найбільш схожі об'єкти об'єднуються в кластер. На наступних кроках об'єднання триває до тих пір, поки всі об'єкти не будуть складати один кластер. Загалом, немає припущень щодо числа кластерів, рекомендується використовувати ієрархічні алгоритми.

Ієрархічні методи, на відміну від неієрархічних, відмовляються від визначення числа кластерів, а будують повне дерево вкладених кластерів. Перевага

цієї групи методів в порівнянні з неієрархічними методами - їх наочність і можливість отримати детальне уявлення про структуру даних.

В якості основного методу вирішення поставленої задачі і досягнення мети досліджень в даній роботі був обраний метод зваженого центроїдного (медіанного) середнього. Цей вибір був нами обґрунтований в [3].

Виклад основного матеріалу. На дендрограмі кластеризації вугільних пластів по вмісту миш'яку (рис.1) достатньо впевнено можна виділити сім основних кластерів. Середній вміст миш'яку у вугільних пластах Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району складає 57,57 г/т [4]. Кластер 1 складається з кластерів 1.1 і 1.2. Кластер 1.1 в свою чергу сформований кластером 1.1.1 з аномально низьким вмістом миш'яку (8 г/т) і кластером 1.1.2, який об'єднує вугільні пласти з низьким вмістом (від 14,66 до 24,75 г/т). Кластер 1.2 об'єднує кластери 1.2.1 і 1.2.2. Кластер 1.2.1 представлений значеннями нижче середніх (від 31,5 до 32,5 г/т) і кластер 1.2.2 – середніми значеннями (від 44 до 45 г/т). Кластер 2 складений двома кластерами, а саме 2.1, який вміщує кластер 2.1.1 із значеннями вмісту миш'яку вище середніх (від 63 до 73 г/т) і 2.1.2 з високим вмістом (від 86,5 до 100 г/т) та кластером 2.2 з аномально високим вмістом миш'яку – 125 г/т.

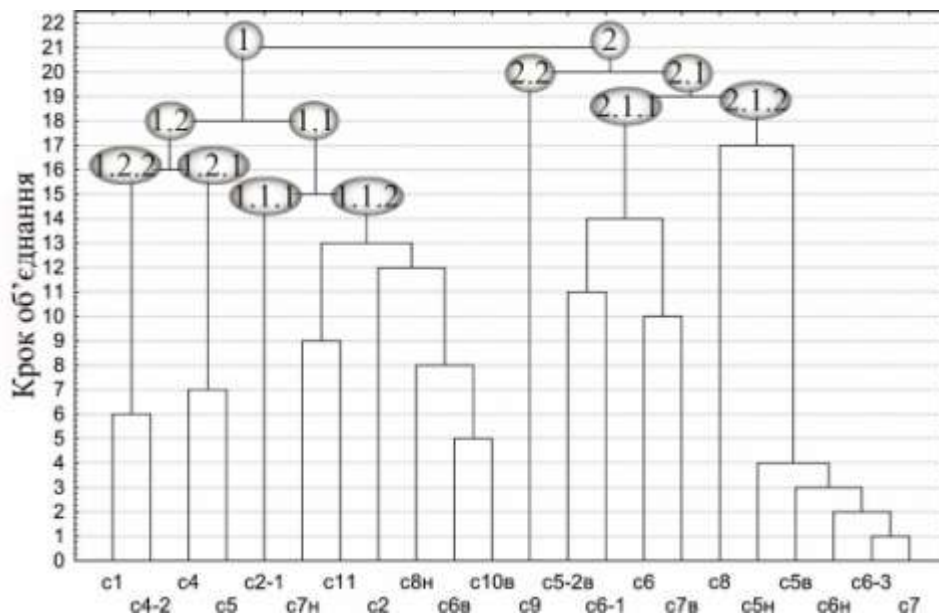


Рисунок 1 - Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом вугільних пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту миш'яку у вугіллі

Аналіз дендрограми кластеризації вугільних пластів за вмістом берилію (рис. 2) дозволяє візуально виділити шість кластерів. Середній вміст берилію у вугільних пластах Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району складає 2,84 г/т. Кластер 1 об'єднує кластери 1.1 і 1.2. Кластер 1.1 представлений кластерами 1.1.1 з аномально низьким (від 1,2 до 1,6 г/т) і 1.1.2 з низьким вмістом берилію (від 1,83 до 2,23 г/т). Кластер 1.2 сформований кластерами 1.2.1 і 1.2.2. Кластер 1.2.1 об'єднує кластер 1.2.1.1, який складений пластів

тами із значеннями нижче середніх (від 2,54 до 3,425 г/т) і кластером 1.2.1.2 із значеннями вище середніх – 4 г/т. Кластер 1.2.2 представлений пластом c_6^H із високим вмістом 5 г/т. Кластер 2 сформований пластом c_5^{2B} із аномально високим вмістом берилію – 7 г/т.

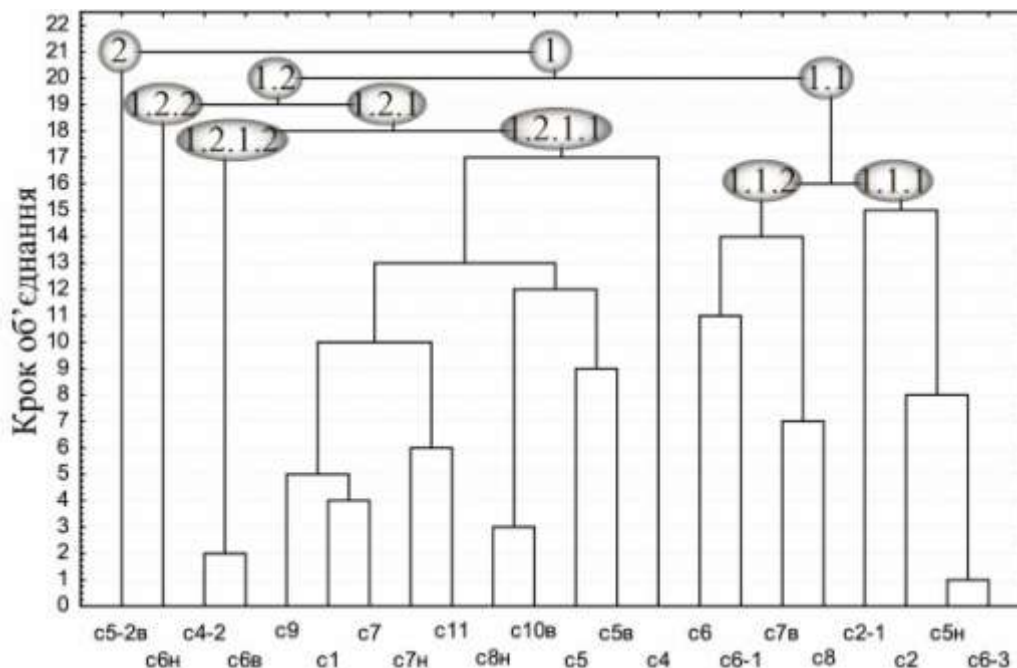


Рисунок 2 - Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом вугільних пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту берилію у вугіллі

При кластеризації вугільних пластів за концентрацією кобальту (рис. 3) відмічено сім кластерів. Середній вміст кобальту у вугільних пластах Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району становить 6,62 г/т. Кластер 1 об'єднує кластери 1.1 і 1.2, в свою чергу кластер 1.1 представлений кластерами 1.1.1 з аномально низьким (5 г/т) і 1.1.2 з низьким вмістом кобальту (5,5 г/т). Кластер 1.2 сформований кластерами 1.2.1 і 1.2.2. Кластер 1.2.1 об'єднує кластери 1.2.1.1 із значеннями нижче середніх (від 6,0 до 6,5 г/т) і 1.2.1.2 із середнім вмістом кобальту – 6,89 г/т. Кластер 1.2.2 формує кластери 1.2.2.1 із значенням вище середніх (7,4 г/т) і 1.2.2.2 із високим вмістом (від 7,71 до 7,8 г/т.). Кластер 2 складає вугільні пласти із аномально високим вмістом кобальту – (від 9,3 до 10,2 г/т.).

При кластеризації вугільних пластів за вмістом марганцю (рис. 4) відзначено сім кластерів. Середній вміст марганцю у вугільних пластах Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району становить 128,6 г/т. Кластер 1 представлений кластером 1.1.1.1 з аномально низьким вмістом марганцю від 50 до 62 г/т, кластером 1.1.1.2.1 з низькими значеннями від 70 до 73 г/т, кластером 1.1.1.2.2.1 із значеннями нижче середніх від 80 до 86,25 г/т, кластером 1.1.1.2.2.2 – середніми, від 92 до 99 г/т, кластером 1.1.2 - вище середніх від 105 до 116,8 г/т і кластером 1.2 з високим вмістом від 162 до 210 г/т. Кластер 2 сформований пластом c_5^H з аномально високим вмістом (750 г/т).

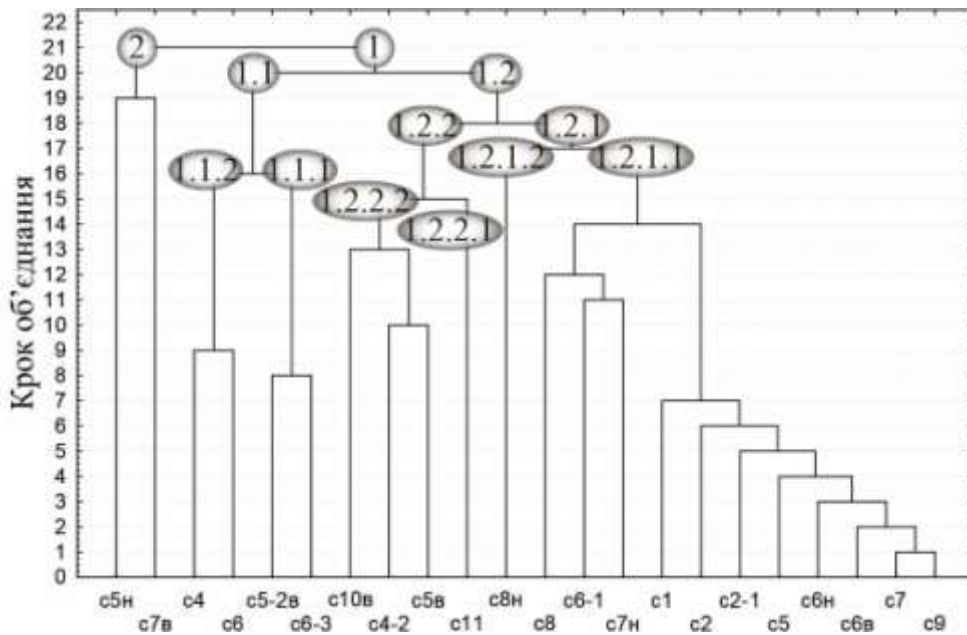


Рисунок 3 - Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом вугільних пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту кобальту у вугіллі

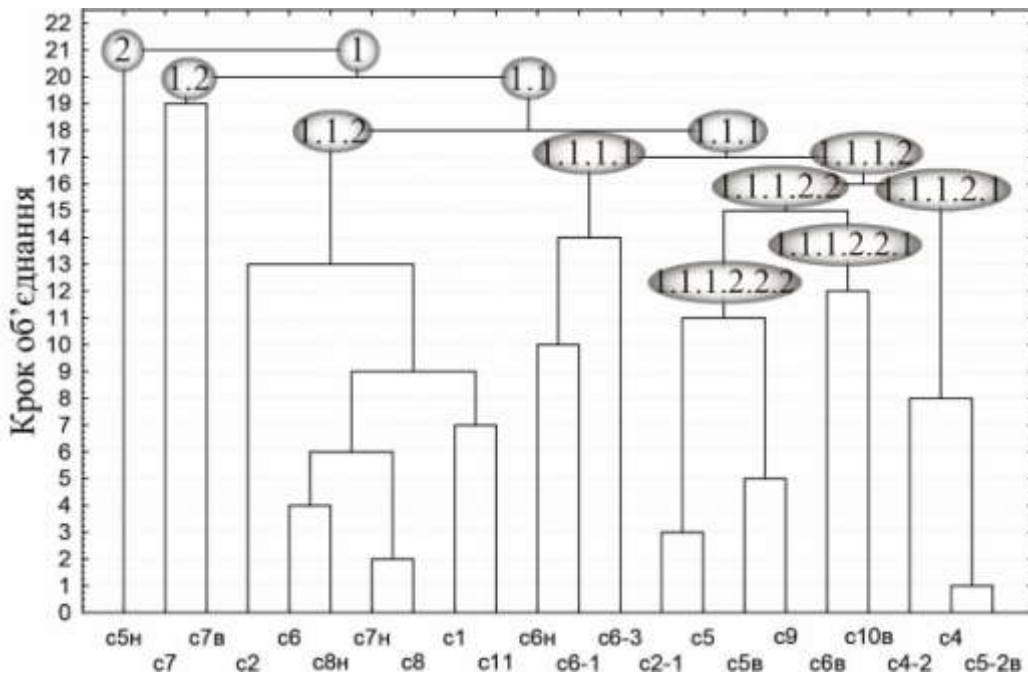


Рисунок 4 - Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом вугільних пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту марганцю у вугіллі

На дендрограмі кластеризації вугільних пластів по вмісту нікелю (рис. 5) видно чітку і однозначну структуру кластерів. Середній вміст нікелю у вугільних пластах Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району складає 20,65 г/т. Кластер 1 складається з кластерів 1.1 і 1.2. Кластер 1.1 сформований кластером 1.1.1, який об'єднує кластери 1.1.1.1 з аномально низьким вмістом нікелю від 14 до 15,8 г/т і 1.1.1.2 з низьким вмістом від 17 до 18 г/т, а

також кластером 1.1.2, який в свою чергу представлений кластером 1.1.2.1 із значеннями нижче середніх (від 19 до 21,2 г/т) і 1.1.2.2 – середніми значеннями (від 21,83 до 22 г/т). Кластер 1.2 об'єднує кластер 1.2.1 із вмістом нікелю вище середніх (від 23,67 до 25,67 г/т) і 1.2.2 з високим вмістом (від 28 до 29 г/т). Кластер 2 представлений пластом c_5^H з аномально високим вмістом нікелю (35 г/т).

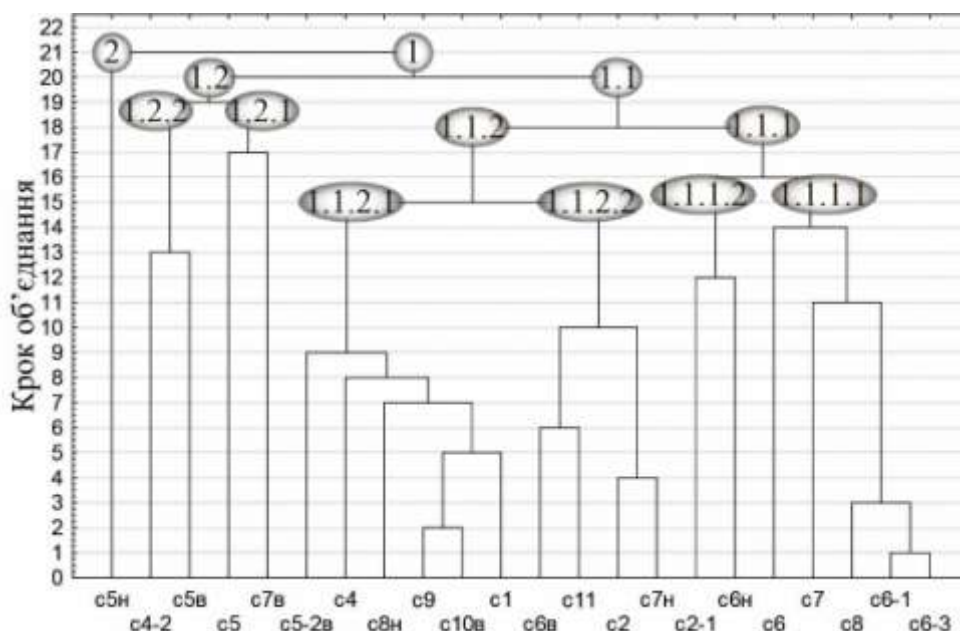


Рисунок 5 - Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом вугільних пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту нікелю у вугіллі

Аналізуючи дендрограму кластеризації вугільних пластів за вмістом ртуті (рис. 6) можна виділити сім кластерів. Середній вміст ртуті у вугільних пластах Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району становить 0,32 г/т. Кластер 1 об'єднує кластери 1.1 і 1.2. Кластер 1.1 формує кластери 1.1.1 з аномально низьким вмістом ртуті – 0,02 г/т і 1.1.2 з низьким вмістом від 0,06 до 0,09 г/т. Кластер 1.2 представлений кластером 1.2.1, який складений кластером 1.2.1.1 із значеннями нижче середніх (від 0,18 до 0,24 г/т) і 1.2.1.2 – із середніми значеннями (від 0,3 до 0,34 г/т), а також кластером 1.2.2, який містить кластери 1.2.2.1 із вмістом ртуті вище середніх (від 0,4 до 0,45 г/т) і 1.2.2.2 з високим вмістом (від 0,5 до 0,54 г/т). Кластер 2 сформований вугільними пластами з аномально високим вмістом ртуті (від 0,7 до 0,8 г/т).

При кластеризації вугільних пластів за вмістом свинцю (рис. 7) виділено сім кластерів. Середній вміст свинцю у вугільних пластах Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району становить 9,35 г/т. Кластер 1 об'єднує кластер 1.1 з аномально низьким значенням – 5 г/т і кластер 1.2. Кластер 1.2 містить кластер 1.2.1 з низьким вмістом від 7 до 8 г/т і кластер 1.2.2, який в свою чергу представлений кластером 1.2.2.1 із значеннями нижче середніх (від 8,83 до 9 г/т) і 1.2.2.2 із середніми значеннями (від 9,3 до 9,67 г/т). Кластер 2 об'єднує кластери 2.1 і 2.2. Кластер 2.1 містить кластер 2.1.1 із значеннями вище середніх (від 12 до 12,17 г/т) і кластер 2.1.2 з високим вмістом свинцю

(від 14 до 14,67 г/т). Аномально високий вміст свинцю, 16,7 г/т пов'язаний із пластом c_8^H , який формує кластер 2.2.

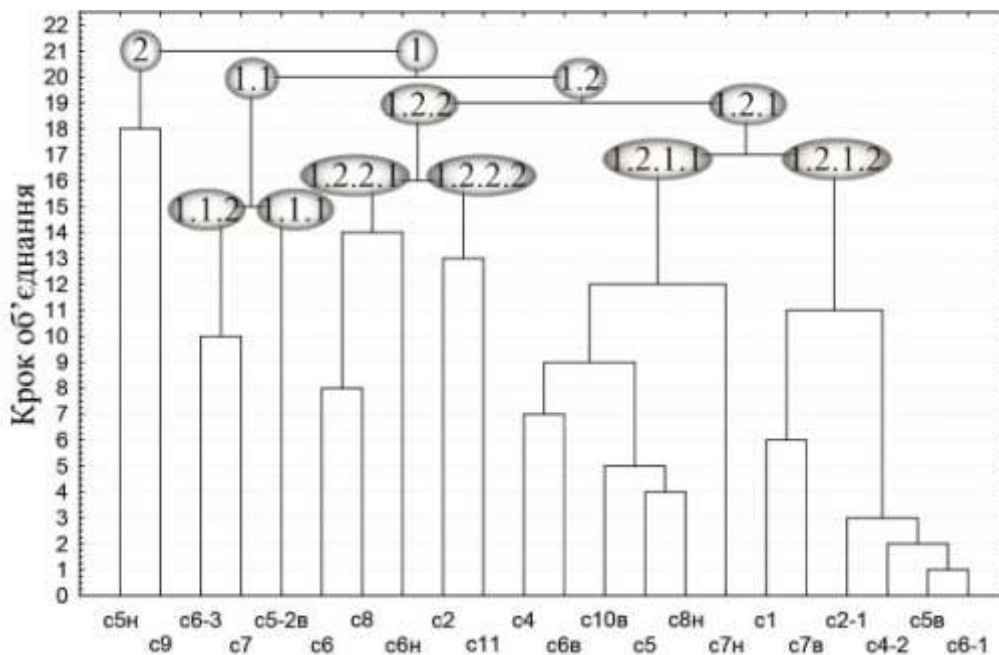


Рисунок 6 - Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом вугільних пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту ртуті у вугіллі

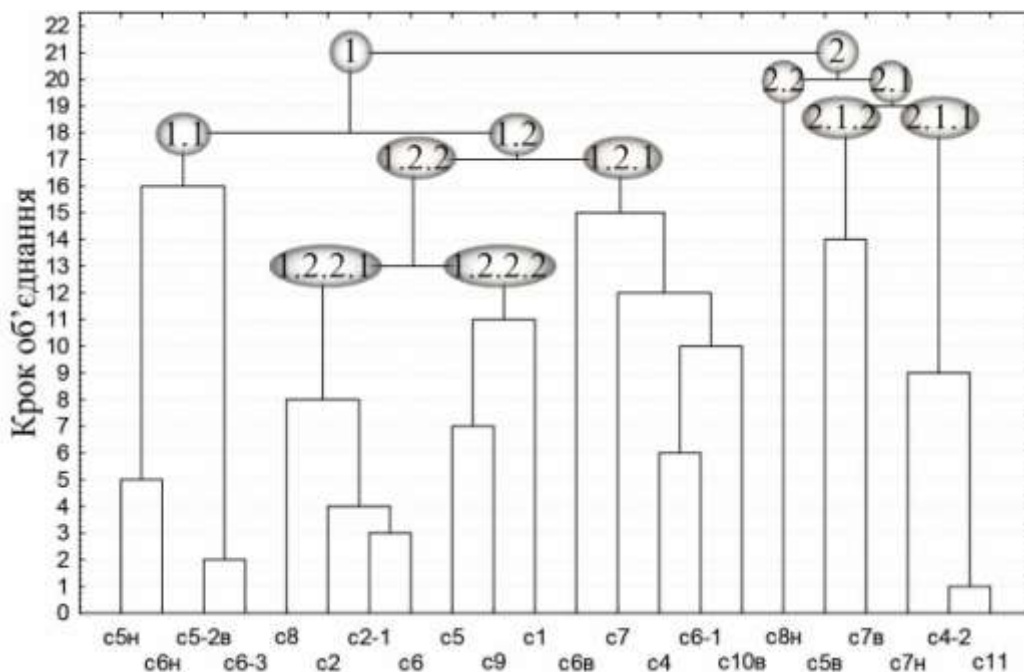


Рисунок 7 - Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом вугільних пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту свинцю у вугіллі

Аналіз дендрограми кластеризації вугільних пластів за вмістом фтору (рис. 8) свідчить про наявність сімох кластерів. Середній вміст фтору у вугільних пластах Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району скла-

дає 79,5 г/т. Кластер 1 об'єднує кластер 1.1 з аномально низьким вмістом від 14 до 22 г/т і кластер 1.2 із низьким вмістом від 40 до 53 г/т. Кластер 2 представлений кластерами 2.1 і 2.2. Кластер 2.1 сформований кластером 2.1.1, який в свою чергу містить кластер 2.1.1.1 із значеннями нижче середніх (від 67,6 до 76,33 г/т) і 2.1.1.2 із середніми значеннями (від 81,4 до 90,13 г/т), а також кластером 2.1.2, який об'єднує кластер 2.1.2.1 із значеннями вище середніх (від 96,71 до 100 г/т) і кластер 2.1.2.2 з високим вмістом фтору – 107 г/т. Аномально високий вміст фтору 132,75 г/т пов'язаний із пластом c_2 , який представлений кластером 2.2.

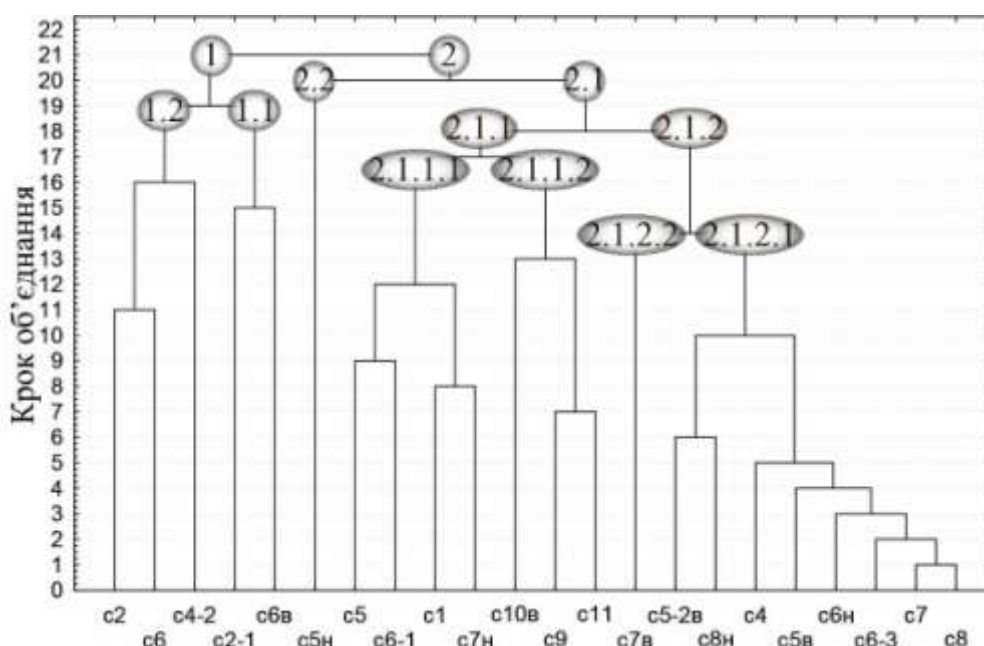


Рисунок 8 - Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом вугільних пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту фтору у вугіллі

На дендрограмі кластеризації вугільних пластів по вмісту хрому (рис. 9) можна виділити сім кластерів. Середній вміст хрому у вугільних пластах Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району складає 16,63 г/т. Кластер 1 об'єднує кластери 1.1 і 1.2. Кластер 1.1 представлений кластерами 1.1.1 з аномально низьким вмістом хрому – 6 г/т і 1.1.2 з низьким вмістом від 9 до 12 г/т. Кластер 1.2 сформований кластером 1.2.1, який складений кластером 1.2.1.1 із значеннями нижче середніх (від 13,65 до 15 г/т) і 1.2.1.2 – із середніми значеннями (від 15,83 до 17 г/т), а також кластером 1.2.2, із вмістом хрому вище середніх (від 18 до 20,17 г/т). Кластер 2 сформований кластером 2.1 з високим вмістом хрому (від 25 до 25,33 г/т) і 2.2 з аномально високим вмістом – 28 г/т.

При кластеризації вугільних пластів за вмістом ванадію (рис. 10) відмічено сім кластерів.

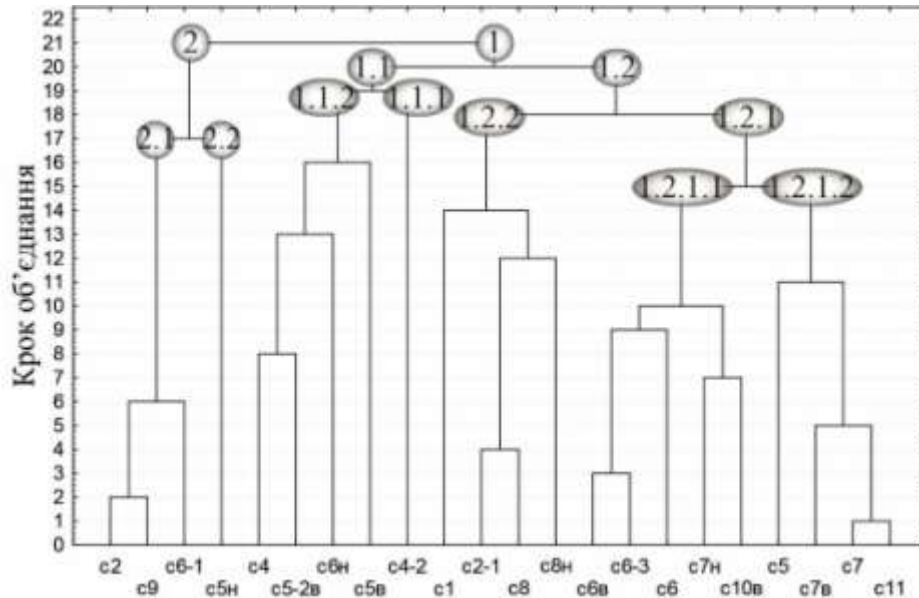


Рисунок 9 - Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом вугільних пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту хрому у вугіллі

Середній вміст ванадію у вугільних пластах Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району становить 15,14 г/т. Кластер 1 об'єднує кластер 1.1 з аномально низьким значенням – від 8 до 10 г/т і кластер 1.2. Кластер 1.2 представлений кластером 1.2.1 з низьким вмістом 13,7 г/т і кластером 1.2.2, який в свою чергу сформований кластером 1.2.2.1 із значеннями нижче середніх (від 14,83 до 15,33 г/т) і 1.2.2.2 із середніми значеннями (від 16,75 до 17,17 г/т). Кластер 2 об'єднує кластери 2.1 і 2.2. Кластер 2.1 представлений кластером 2.1.1 із значеннями вище середніх (від 19,17 до 20 г/т) і кластером 2.1.2 з високим вмістом (від 21 до 22 г/т). Аномально високий вміст ванадію пов'язаний із кластером 2.2 і складає 24-26 г/т.

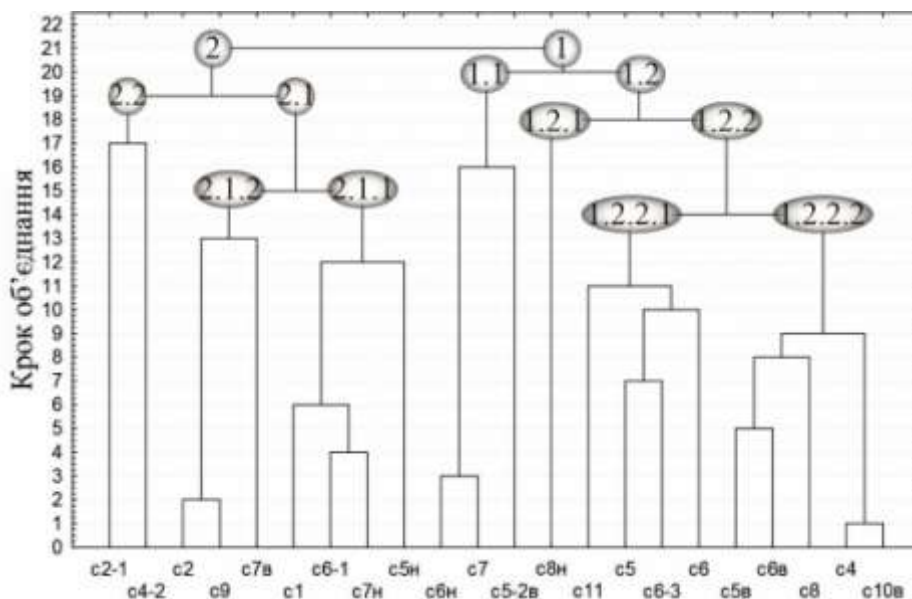


Рисунок 10 - Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом вугільних пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту ванадію у вугіллі

Дендрограма кластеризації вугільних пластів по вмісту золи (рис. 11) містить сім основних кластерів. Середній вміст золи у вугільних пластах Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району складає 11,4%. Кластер 1 представлений кластером 1.1 з аномально низьким значенням – 4,3% і кластером 1.2. Кластер 1.2 представлений кластером 1.2.1, який об'єднує кластер 1.2.1.1 з низьким вмістом золи від 6,85 до 7,93% і кластером 1.2.1.2 із значеннями нижче середніх (від 8,6 до 10,84%), а також кластер 1.2.2 із середніми значеннями (від 11,4 до 13,27%). Кластер 2 об'єднує кластер 2.1 із значеннями вище середніх – 17,55% і кластером 2.2, який в свою чергу містить кластер 2.2.1 з високим значенням – 24% і 2.2.2 з аномально високим значенням золи – 28,2%.

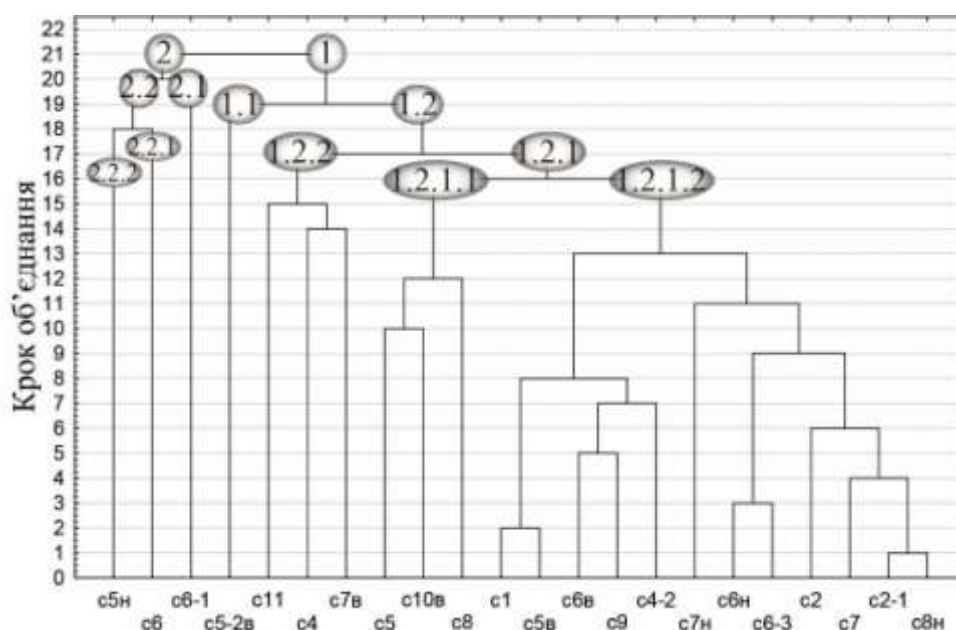


Рисунок 11 - Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом вугільних пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту золи у вугіллі

Аналізуючи дендрограму кластеризації вугільних пластів за вмістом сірки загальної (рис. 12) можна виділити сім кластерів. Середній вміст сірки загальної у вугільних пластах Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району становить 1,95%. Кластер 1 об'єднує кластер 1.1 з аномально низьким вмістом сірки від 1,3 до 1,4% і кластер 1.2 із низьким вмістом від 1,55 до 1,73%. Кластер 2 представлений кластерами 2.1 і 2.2. Кластер 2.1 сформований кластером 2.1.1, який в свою чергу представлений кластером 2.1.1.1 із значеннями нижче середніх (від 1,87 до 1,9%) і 2.1.1.2 із середніми значеннями (від 2 до 2,1%), а також кластером 2.1.2, який об'єднує кластер 2.1.2.1 із значеннями вище середніх (від 2,15 до 2,26%) і кластер 2.1.2.2 з високим вмістом сірки (від 2,3 до 2,33%). Аномально високий вміст сірки – 2,53% пов'язаний із пластом с₉, який представлений кластером 2.2.

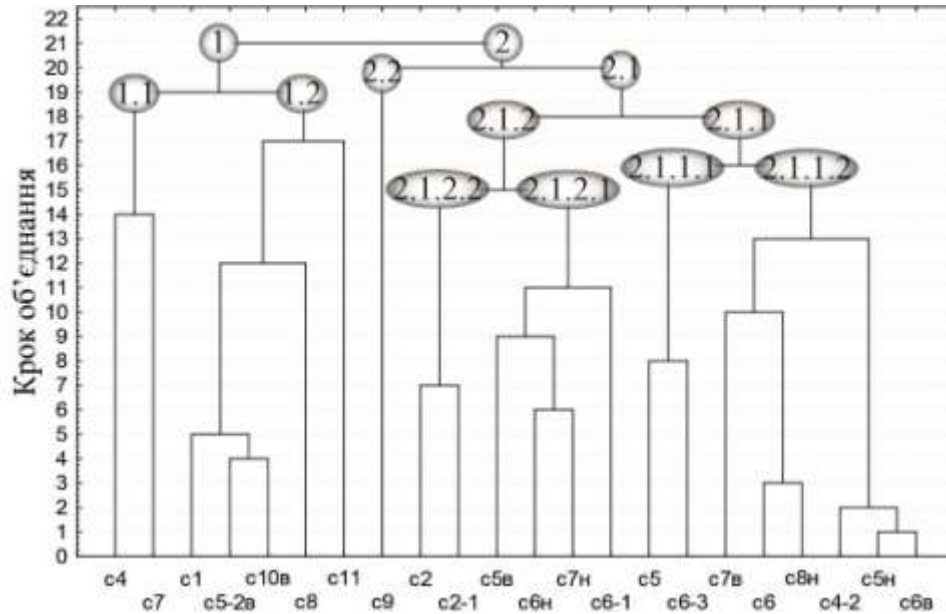


Рисунок 12 - Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом вугільних пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту сірки загальної у вугіллі

Висновки. На основі аналізу результатів кластеризації зваженим центроїдним методом вугільних пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту токсичних і потенційно токсичних елементів, а також вмісту сірки загальної і золи у вугіллі можна зробити наступні основні висновки:

1. Для кожної з досліджуваних ознак (вміст золи, сірки загальної, токсичних і потенційно токсичних елементів) вугілля пластів на підсумковій дендрограмі кластеризації впевнено виділяються 7 груп значень: аномально низьких, низьких, нижчих за середні, середніх, вище середніх, високих і аномально високих.

2. У кластер з аномально високими значеннями вмісту у вугіллі сірки загальної, ртуті та миш'яку потрапляють проби вугілля пласта c_9 (що містять до 2,43 г/т в епігенетичних сульфідах, які цементують тектонічні брекчії і до 1,57 г/т в діагенетичних сульфідах, при переважанні епігенетичного піриту в численних мікро- і макротріщинах). Для пласта c_5^H , який приєднується до такого ж кластеру в дендрограмі за вмістом ртуті дещо домінує діагенетична сульфідна форма, яка збагачує цим елементом в основному верхню приконтактову частину пласта (концентрація ртуті в ній досягає 1,96 г/т). У той же час спільний аналіз дендрограм розподілу золи, сірки загальної, ртуті та миш'яку дає підставу припустити наявність у вугіллі немінеральної сорбованої іонообмінної форми, металоорганічної форми (гуматів і комплексних сполук типу хелатів), мінеральних форм (сульфідної). При цьому концентруюча роль перерахованих форм послідовно зменшується в ряду: (As, Hg) сульфідна епігенетична, (As, Hg) сульфідна діагенетична, (As, Hg) металоорганічна, (As, Hg) сорбована іонообмінна. Цей висновок підтверджується тим, що при фракціонуванні по щільності, фракція $> 2,8$ г/т вносила у вугілля пластів до 83% всієї ртуті і до 77% миш'яку.

3. Берилій у вугіллі основних пластів району є виключно вуглефільним елементом. Спільний аналіз дендрограм кумуляції загальної сірки, золи та берилію показує, що цей елемент у вугіллі пластів району присутній в формах (концентрація збільшується в ряді): (Be) карбонатна, (Be) сорбована силікатна (теригенна і аутигенна переважно глиниста фракція), (Be) сорбована органічна частина, (Be) металоорганічна фракція у вигляді комплексних сполук.

4. Кластери, які вміщують пласти з максимальною зольністю вугілля (c_5^H , c_6 і c_6^1), співпадають по пласту c_5^H з максимальними значеннями таких елементів, як Co, Ni, Mn, Hg, F, Cr, по пласту $c_6 - F$, по пласту $c_6^1 - F, Cr$.

5. Пласти вугілля з максимальною концентрацією берилію не співпадають з кластерами з максимальним вмістом інших ТіПТЕ, сірки загальної і золи.

Таким чином, за допомогою зваженого центроїдного методу кластеризації реалізованого у програмі «STATISTICA 7» було виконано класифікацію основних пластів району за вмістом ТіПТЕ у вугіллі, що в свою чергу, надає можливість у подальшому визначити основні геологічні чинники їх накопичення та концентрації, встановити більш детально форми їх знаходження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Tryon, R.C. Cluster analysis / R.C. Tryon. - London: Ann Arbor Edwards Bros, 1939. – 139 p.
2. Sneath, P.H.A. Numerical taxonomy / P.H.A. Sneath, R.R. Sokal // San Francisco: W. H. Freeman and Co, 1973. – 573 p.
3. Ишков, В.В. О классификации угольных пластов по содержанию токсичных элементов с помощью кластерного анализа. / В.В. Ишков, Е.С. Козий // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: «Літограф», 2014. -№ 45 – С. 209-221.
4. Ишков, В.В. Особенности розподілу токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта c_{10}^B шахти «Шашкова» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району / В.В. Ишков, Е.С. Козий // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: ІГТМ, 2017. – № 133. – С. 143-157.

REFERENCES

1. Tryon, R.C. (1939), "Cluster analysis", London: Ann Arbor Edwards Bros, United Kingdom.
2. Sneath, P.H.A. and Sokal, R.R. (1973), "Numerical taxonomy", W. H. Freeman, San Francisco, California, United States.
3. Ishkov, V.V. and Koziy, E.S. (2014), "About classification of coal seams on content of toxic and potentially toxic elements with the help of cluster analysis", *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, no.45, p.209-221.
3. Ishkov, V.V. and Koziy, E.S. (2017), "Peculiarities of distribution of toxic and potentially toxic elements in the coal of the layer c_{10}^B in the Stashkov mine of Pavlograd-Petropavlovsk geological and industrial district", *Geo-Technical Mechanics*, no. 133, pp. 143-157.

Про авторів

Козій Євген Сергійович, магістр, заступник директора Навчально-наукового центру підготовки іноземних громадян, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (Державний ВНЗ «НГУ»), Дніпро, Україна, koziyes@nmu.org.ua.

Ишков Валерій Валерійович, кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент, завідувач кафедри Мінералогії та петрографії, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (Державний ВНЗ «НГУ»), Дніпро, Україна, ish-w@yandex.ua.

About authors

Koziy Evgeniy Sergeevich, Master of Science (M.S.), Deputy Director of Educational and Scientific Center for Training of Foreign Citizens, State Higher Educational Institution "National Mining University" (State HEI «NМУ»), Dnipro, Ukraine, koziyes@nmu.org.ua.

Ishkov Valeriy Valeryevych, Candidate of Geological-Mineralogical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Head of department of Mineralogy and Petrology, State Higher Educational Institution "National Mining University" (State HEI «NМУ»), Dnipro, Ukraine, ish-w@yandex.ua.

Аннотация. Изучение концентраций токсичных и потенциально токсичных элементов (ТиПТЭ) в угле пластов Павлоградско-Петропавловского геолого-промышленного района обусловлено усилением требований к охране окружающей среды. Актуальность таких исследований определена рядом Законов Украины, постановлениями Кабинета Министров, а также требованиями ГКЗ к качеству и содержанию геологических материалов при разведке угольных месторождений.

В результате выполненных исследований построены дендрограммы результатов кластеризации взвешенным центроидным методом угольных пластов Павлоградско-Петропавловского геолого-промышленного района по содержанию ТиПТЭ в угле.

Научный и практический интерес представляет классификация основных угольных пластов района по содержанию ТиПТЭ в угле. В связи с этим, задачей в данной работе было установление обычного разбиения угольных пластов на классы, свободного от субъективизма исследователя. Цель работы заключалась в выделении групп однородных объектов (классов, кластеров, таксонов), похожих между собой, при резком отличии этих групп друг от друга.

Ключевые слова: токсичные и потенциально токсичные элементы, дендрограмма кластеризации, угольный пласт.

Annotation. The study of concentrations of toxic and potentially toxic elements (TPTE) in coal seams of the Pavlohrad-Petropavlivka geological and industrial district is caused of the strengthening of environmental protection requirements. The relevance of such studies is determined by a number of Laws of Ukraine, Cabinet of Ministers resolutions, and requirements of State Commission for Reserves to the quality and content of geological materials for exploration of coal deposits.

As a result of the performed studies, dendrograms of the results of clustering by the weighted centroid method of the coal seams of the Pavlohrad-Petropavlivka geological-industrial district on the content of TPTE in coal were constructed.

Scientific and practical interest is the classification of the main coal seams of the district for the content of TPTE in coal. In this connection, the task in this work was to establish the usual fragmentation of coal seams into classes that are free from subjectivism of the researcher. The aim of the work was to distinguish groups of homogeneous objects (classes, clusters, taxons), similar to each other, with a sharp difference between these groups from each other.

Keywords: toxic and potentially toxic elements, dendrogram clustering, coal seam.

Стаття надійшла до редакції 08.09.2017

Рекомендовано до друку д-ром геологічних наук Барановим В.А.