

УДК 550.42:553.98

**В.В. Ішков**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,  
м Дніпро, Україна

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України,  
м Дніпро, Україна

**Є.С. Козій**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,  
м Дніпро, Україна

Дніпровський державний аграрно-економічний університет,  
м Дніпро, Україна

**О.І. Чернобук**

Джорджиан Манганез, м. Тбілісі, Грузія

### **ЗВ'ЯЗОК ГЕРМАНІЮ ІЗ ЗОЛЬНІСТЮ У ВУГІЛЬНОМУ ПЛАСТІ $c_{10}^B$ ШАХТИ «ДНІПРОВСЬКА»**

*В статті приведені результати кореляційного та регресійного аналізу концентрацій германію з потужністю та зольністю вугільного пласта  $c_{10}^B$  поля шахти «Дніпровська». Результати регресійного аналізу моделювання квадратичного зв'язку германію із зольністю вугільного пласта  $c_{10}^B$  шахти «Дніпровська» чітко вказує на наявність зв'язку максимальних значень концентрацій германію у вугіллі з інтервалом зольності в межах 5 – 10%, який відображує так званий «сорбційний оптимум». Крім того встановлено що за всіх інших рівних умов, при зменшенні потужності пласта в цілому вклад збагачених германієм його ділянок у загальний вміст цього металу в розглянутому пласті буде збільшуватись. При цьому в окремих випадках, ці збагачені шари будуть з'єднуватись і весь вугільний пласт буде являти собою суцільну зону збагачення.*

**Ключові слова:** германій, вугільний пласт, кореляційний аналіз, регресійний аналіз, зольність вугілля.

Актуальність дослідження вмісту германію у вугільних пластах обумовлена можливістю його промислового вилучення та використання в якості цінного попутного компонента. Вугілля - найважливіше джерело германію в Україні, в Китаї (германієносні вугільні родовища в Китаї розробляються близько Lincang, провінція Юньнань і Xilinhaote, провінція Внутрішня Монголія), а також в Росії (92,6% загальних запасів германію по категоріям А+В+С<sub>1</sub> зосереджено у вугільних родовищах, які розташовані

головним чином в межах Приморського, Забайкальського, Красноярського країв, а також Сахалінської і Кемеровської областей).

У вугіллі германій відноситься до групи «малих елементів» або елементів – домішок вугілля, котрі повинні обов’язково досліджуватись в процесі геологорозвідувальних робіт, що виконуються на вугільних родовищах України. Для об’єктивної геолого-економічної оцінки можливості попутного вилучення германію з вугілля, відходів і продуктів його переробки та планування найбільш ефективних організаційно-технічних заходів з цього приводу, перш за все необхідно мати відомості про характер розподілу і рівень концентрації цього елемента у вугіллі і вуглевміщуючих породах. З метою одержання такої інформації авторами були виконані детальні дослідження розподілу германія по площі і в розрізі вугільного пласта  $c_{10}^B$  поля шахти «Дніпровська».

**Останні досягнення.** Раніше [1-26] досліджені особливості розподілу «малих елементів», які відносяться до групи «токсичних та потенційно токсичних елементів» у вугільних пластах деяких шахт Павлоградсько-Петропавлівського, Красноармійського та Донецько-Макіївського геолого-промислових районів Донбасу. У той же час, аналіз розподілу германію у вугільному пласті  $c_{10}^B$  поля шахти «Дніпровська» раніше не виконувався.

**Мета роботи:** встановлення зв’язку між вмістом германію та потужністю і зольністю вугільного пласта  $c_{10}^B$  поля шахти «Дніпровська».

**Методика досліджень.** Особливістю проведених досліджень була неможливість безпосереднього спостереження геологічних процесів. У таких випадках розгляд їх динаміки традиційно виконується шляхом порівняння статистичних даних й аналізу картографічних матеріалів стосовно розподілу хімічних елементів в об’єктах які розглядаються. Потім отримані результати осмислюються з урахуванням фізико-хімічних й геологічних особливостей. Тобто, отримання інформації стосовно розподілу хімічних елементів в геологічних об’єктах є першим етапом дослідження,

що йде від узагальнення фактичного матеріалу, через його теоретичне осмислення до перевірки виявлених закономірностей дослідним шляхом.

Проби відбиралися в гірських виробках (пластові проби, відібрані борозновим способом і з дублікатів керна особисто авторами за участю співробітників геологічних служб вугледобувних підприємств і виробничих геологорозвідувальних організацій в період з 1981р. по 2013р. Обсяг контрольного випробування склав 5% від загального обсягу проб. Всі аналітичні роботи виконувалися в центральних сертифікованих лабораторіях виробничих геологорозвідувальних організацій. Вміст германію визначався кількісним емісійним спектральним аналізом. На внутрішній лабораторний контроль направлено 7% дублікатів проб. Зовнішньому лабораторному контролю піддано 10% дублікатів проб. Якість результатів аналізів (правильність і відтворюваність) оцінювалася як значимість середньої систематичної похибки, яка перевіряється за допомогою критерію Стюдента і значимість середньої випадкової похибки, яка перевіряється за допомогою критерію Фішера. Оскільки вказані вище похибки при рівні значимості 0,95 є не значимими, якість аналізів визнано задовільною.

За допомогою програм Excel 2016 і Statistica 11.0 на початковому етапі обробки первинної геохімічної інформації розраховувалися значення основних описових статистичних показників, виконувалась побудова частотних гістограм вмісту і встановлення закону розподілу германію. В ході побудови графіків і розрахунку коефіцієнтів кореляції всі значення концентрацій германію й технологічних параметрів вугілля нормувались за формулою:

$$X_{\text{норм}} = (X_i - X_{\text{min}}) / (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}),$$

де:  $X_i$  – результат одиничного значення концентрації елемента;

$X_{\text{max}}$  – результат максимального значення концентрації елемента;

$X_{\text{min}}$  – результат мінімального значення концентрації елемента.

Нормування здійснювалося для приведення вибірки до одного масштабу незалежно від одиниць виміру та розмаху вибірок.

В даній роботі основними задачами вивчення особливостей розподілу германію у вугільному пласті  $c_{10}^B$  поля шахти «Дніпровська» були: ревізія раніше виконаних досліджень; формування представницьких вибірок аналізів його вмісту; встановлення середніх концентрацій цього елемента у вугіллі, встановлення зв'язку між вмістом германію та потужністю і зольністю вугільного пласта  $c_{10}^B$  поля шахти «Дніпровська».

**Результати досліджень.** В адміністративному плані шахта знаходиться на території Павлоградського району Дніпропетровської області України. В геолого-промисловому відношенні поле шахти «Дніпровська» розташовано в межах Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району Західного Донбасу, що знаходиться на південно-західному борті Дніпровсько-Донецької западини. Геологічна будова поля шахти складна. Широко розвинуті розривні та складчасті дислокації. Товща осадових порід пологим моноклінальним заляганням з падінням на північний схід під кутом  $2 - 5^\circ$ .

Зв'язок вмісту германію з зольністю вугілля згідно результатів аналізів загальної вибірки за шкалою Чедока враховуючі дані кореляційного (лінійного Пірсона  $-0,36$ , та непараметричних Спірмена  $-0,34$ , Кендела  $-0,24$  і гамма  $-0,24$ ) та регресійних аналізів є зворотній і помірний, але треба враховувати що він при довірчому інтервалі  $0,99$  є статистично значущим. На рис. 1 (а) наведено графік результату регресійного аналізу моделювання лінійного зв'язку вмісту германію з зольністю вугілля. Рівняння регресії у цій моделі  $Ge = 0,4598 - 0,28 \cdot Ad$ , але на нашу думку більш адекватна квадратична модель, її графік наведено на рис. 1 (б), а розраховане рівняння регресії  $Ge = 0,4369 - 0,0719 \cdot Ad - 0,0319 \cdot Ad^2$ .

Аналіз результату регресійного аналізу моделювання квадратичного зв'язку германію з зольністю вугілля чітко вказує на наявність зв'язку

максимальних значень вмістів германію у вугіллі з інтервалом зольності в межах 5 – 10%. Тобто з так званим «сорбційним оптимумом» [27-28].

Зв'язок вмісту германію з потужністю вугільного пласта згідно результатів аналізів загальної вибірки за шкалою Чедока враховуючі дані кореляційного (лінійного Пірсона  $-0,91$ , та непараметричних Спірмена  $-0,86$ , Кендела  $-0,69$  і гамма  $-0,72$ ) та регресійних аналізів є зворотній і дуже високий, при довірчому інтервалі  $0,99$  він є статистично значущим. На рисунку 2(а) наведено графік результату регресійного аналізу моделювання лінійного зв'язку вмісту германію з потужністю вугільного пласта. Рівняння регресії для цієї моделі  $Ge = 0,9703 - 0,9112 \cdot m$ , але на нашу думку більш придатна для інтерпретації у геологічних поняттях поліноміальна кубічна модель, її графік наведено на рисунку 2(б), а розраховане рівняння регресії  $Ge = 0,9159 - 0,8078 \cdot m + 0,1848 \cdot m^2 - 0,3168 \cdot m^3$ .

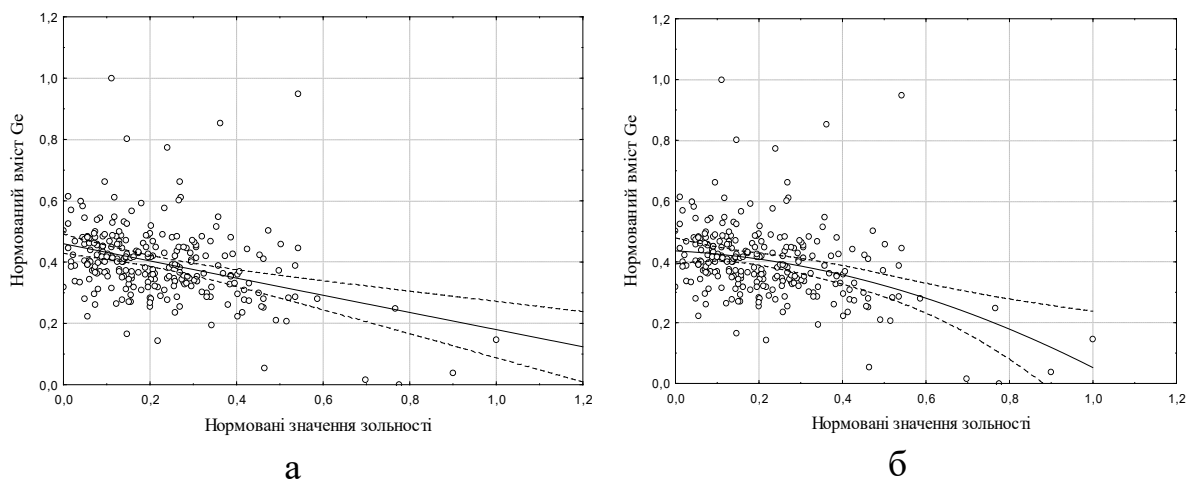


Рис. 1 Результат регресійного аналізу моделювання: а – лінійного зв'язку германію з зольністю вугілля; б – квадратичного зв'язку германію з зольністю вугілля

При аналізі цієї регресійної моделі з одночасним урахуванням вихідних даних як значень вмісту германію, так і значень потужності пласта, і зольності, а також результати попередніх досліджень [1-26], виникає можливість сформулювати попередні висновки щодо зв'язку між цими показниками. Справа у тому що у вертикальному профілі вугільного пласта Ge розподіляється вкрай нерівномірно. Основний вплив на вміст германію

потужності пласта є наслідком прояву так званого «закону Зільбермінця» – емпіричної закономірності збагачення деякими елементами (насамперед – германієм) приконтартових зон вугільних пластів. Потужність таких шарів звичайно не перевищує 0,2м. Треба відмітити, що прояви «закону Зільбермінця» відзначаються у кожному вугільному басейні світу. Вони знаходять досить задовільне тлумачення у рамках концепції після седиментаційного діагенетичного накопичення германію у контактній зоні по дифузійному та частково - по фільтраційному механізмів у період торфонакопичення [29].

Таким чином, за всіх інших рівних умов, при зменшенні потужності пласта в цілому вклад збагачених германієм його ділянок у загальний вміст цього металу в пласті буде збільшуватись. При цьому в окремих випадках, ці збагачені шари будуть зливатимуться і весь вугільний пласт буде являти собою суцільну зону збагачення. Цим можна пояснити приуроченість практично усіх аномально високих значень вмісту германію до ділянок пласта з потужністю не більше 0,4м.

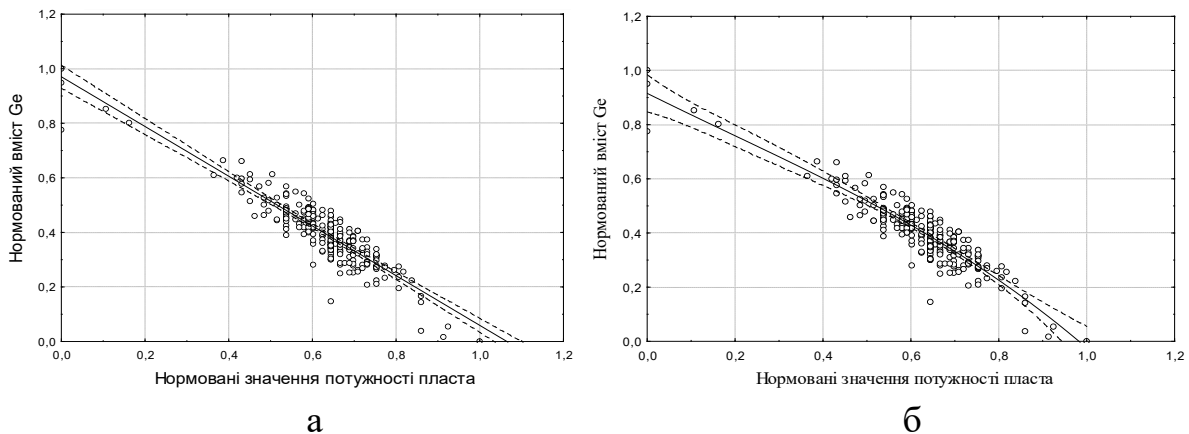


Рис.2. Результат регресійного аналізу моделювання: а - лінійного зв'язку вмісту германію з потужністю вугільного пласта; б - поліноміального кубічного зв'язку вмісту германію з потужністю вугільного пласта

**Висновки.** Виконані дослідження дозволяють сформулювати наступні основні висновки:

1. Аналіз результату регресійного аналізу моделювання квадратичного зв'язку германію з зольністю вугілля пласта с<sub>10</sub><sup>В</sup> шахти «Дніпровська» чітко вказує на наявність зв'язку максимальних значень вмістів германію у вугіллі з інтервалом зольності в межах 5 – 10%, який відображує так званий «сорбційний оптимум».

2. Встановлено що за всіх інших рівних умов, при зменшенні потужності пласта в цілому вклад збагачених германієм його ділянок у загальний вміст цього металу в розглянутому пласті буде збільшуватись. При цьому в окремих випадках, ці збагачені шари будуть з'єднуватись і весь вугільний пласт буде являти собою суцільну зону збагачення. Цим пояснюється приуроченість практично усіх аномально високих значень вмісту германію до ділянок пласта з потужністю не більше 0,4м.

### **Список літератури**

1. Козій Є.С. Особливості розподілу токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта с<sub>10</sub><sup>В</sup> шахти «Шашкова» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району // Збірник наукових праць «Геотехнічна механіка». – 2017. – № 132. – С. 157 – 172.

2. Ішков В.В., Козій Є.С. Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта с<sub>10</sub><sup>В</sup> шахти «Дніпровська» Павлоградсько-Петропавлівського геологопромислового району Донбасу. Збірник наукових праць 20 «Геотехнічна механіка». – 2017. – № 133. – С. 213–227.

3. Козій Є.С. Класифікація вугілля основних робочих пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту токсичних і потенційно токсичних елементів / Є.С. Козій, В.В. Ішков // Збірник наукових праць «Геотехнічна механіка». – 2018. – № 136. – С. 74 – 86.

4. Козій Є.С. Миш'як, берилій, фтор і ртуть у вугіллі пласта с<sub>8</sub> в шахти «Дніпровська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району // Вісник Дніпропетровського університету. Геологія-Географія. 2018. – № 26 (1). – С. 113 – 120.

Ішков В.В. Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта с<sub>7</sub><sup>Н</sup> шахти «Павлоградська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району / В.В. Ішков, Є.С. Козій // Вісник Київського національного університету. Геологія. 2017. – № 79. – С. 59 – 66.

5. Ішков В.В. О классификации угольных пластов по содержанию токсичных элементов с помощью кластерного анализа // В.В. Ішков, Е.С. Козій // Збірник наукових праць НГУ. – 2014. – № 45. – С. 209 – 221.

6. Ішков В.В. О распределении токсичных и потенциально-токсичных элементов в угле пласта с<sub>6</sub><sup>Н</sup> шахты «Терновская» Павлоград-Петропавловского геолого-

промисленого району / В.В. Ишков, Е.С. Козий // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників». 2-5 жовтня 2013 року – Дніпропетровськ. – 2013. – С. 49–55.

7. Ишков В.В. О распределении золы, серы, марганца в угле пласта с<sub>4</sub> шахты «Самарская» Павлоград-Петропавловского геолого-промышленного района // В.В. Ишков, Е.С. Козий // Збірник наукових праць НГУ. – 2014.–№ 44. – С. 178-186.

8. Ишков В.В. Новые данные о распределении токсичных и потенциально токсичных элементов в угле пласта с<sub>6</sub><sup>н</sup> шахты «Терновская» Павлоград-Петропавловского геолого-промышленного района / В.В. Ишков, Е.С. Козий // Збірник наукових праць НГУ. – 2013. – № 41. – С. 201–208.

9. Ишков В.В., Козий Е.С. (2013). Новые данные о распределении токсичных и потенциально токсичных элементов в угле пласта с<sub>6</sub><sup>н</sup> шахты «Терновская» Павлоград-Петропавловского геолого-промышленного района. Збірник наукових праць НГУ. № 41, С. 201-208.

10. Mametova L.F., Mirek A., Kozii Ye.S. (2020). Pyritization of the Middle Carboniferous Sandstones of the Donbas. Mineral. Journ. (Ukraine). No. 42(2). pp. 14-19. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.02.014>

11. В.В., Козій Є.С. (2020). Деякі особливості розподілу берилію у вугільному пласті k<sub>5</sub> шахти «Капітальна» Красноармійського геолого-промислового району Донбасу. Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки. Т. 25, вип. 1(36), С. 214-227. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.1\(36\).205180](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.1(36).205180)

12. Kozar, M.A., Ishkov, V.V., Kozii, Ye.S., Pashchenko P.S. (2020). New data about the distribution of nickel, lead and chromium in the coal seams of the Donetsk- Makiivka geological and industrial district of the Donbas. Journ. Geol. Geograph. Geoecology. No. 29(4), pp. 722-730. <http://doi: 10.15421/112065>

13. Kozii Ye.S. (2021). Toxic elements in the c<sub>1</sub> coal seam of the Blahodatna mine of Pavlohrad-Petropavlivka geological and industrial area of Donbas. Geo-Technical Mechanics, No.158, pp.103-116. <https://doi.org/10.15407/geotm2021.158.103>

14. Kozii Ye.S. (2021). Arsenic, mercury, fluorine and beryllium in the c<sub>1</sub> coal seam of the Blahodatna mine of Pavlohrad-Petropavlivka geological and industrial area of western Donbas. Geo-Technical Mechanics. no. 159. pp. 58-68. <https://doi.org/10.15407/geotm2021.159.058>

15. Козій Є.С., Бордальова А.Ю. (2022). Аналіз розповсюдження ртуті у вугільному пласті с<sub>7</sub><sup>н</sup> поля шахти «Павлоградська» Дніпропетровської області. VII Міжнародний молодіжний конгрес. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. збалансоване природокористування. С. 53. <https://doi.org/10.51500/7826-04-9>

16. Kozii Ye. (2019). Classification of coal seams of the Krasnoarmiyskiy geological and industrial area of Donbas by the content of toxic and potentially toxic elements // Materials of the International Scientific & Practical Conference "Physical & Chemical Geotechnologies – 2019", Dnipro, P. 34-35.

17. Kozar, M.A., Ishkov, V.V., Kozii, Ye.S., Pashchenko P.S. (2020). New data about the distribution of nickel, lead and chromium in the coal seams of the Donetsk- Makiivka geological and industrial district of the Donbas. Journ. Geol. Geograph. Geoecology. No. 29(4), pp. 722-730. <http://doi: 10.15421/112065>

18. Ishkov V.V., Kozii Ye.S., Chernobuk O.I., Pashchenko P.S., Lozovyi A.L. (2022). Analysis of the spatial distribution of germanium in the coal seam c<sub>8</sub><sup>н</sup> of Dniprovskia mine field (Ukraine) // The newest problems of science and ways to solve them. Proceedings of the XXX International Scientific and Practical Conference. Helsinki, Finland. 2022. pp. 11-15. DOI: 10.46299/ISG.2022.1.30

19. Ishkov V.V., Kozii Ye.S., Kozar M.A., Dreshpak O.S, Chechel P.O. (2022). Condition and prospects of the Ingichke deposit (Republic of Uzbekistan). The XXVII International



Scientific and Practical Conference «Multidisciplinary academic notes. Theory, methodology and practice», July 12 – 15, 2022, Prague, Czech Republic, pp. 96-104. <https://doi.org/10.46299/ISG.2022.1.27>

20. Ішков В.В., Козій Є.С., Стрельник Ю.В. (2021). Результати досліджень розподілу кобальту у вугільному пласті  $k_5$  поля ВП «шахта «Капітальна»». Збірник праць Всеукраїнської конференції «Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди ХХІ століття» (MinGeoIntegration ХХІ). С. 178-181.

21. Ishkov V.V., Kozii Ye.S., Chernobuk O.I., Lozovyi A.L. (2022). Results of dispersion and spatial analysis of the germanium distribution in coal seam  $c_{8B}$  of Zahidno-Donbaska mine field (Ukraine). Proceedings of the XXVIII International Scientific and Practical Conference. «Science and practice, actual problems, innovations», July 19 – 22, 2022, Milan, Italy, pp. 66-73. <https://doi.org/10.46299/ISG.2022.1.28>

22. Ішков В.В., Козій Є.С., Киричок В.О., Стрельник Ю.В. (2021). Перші відомості про розподіл свинцю у вугільному пласті  $k_5$  поля ВП «Шахта «Капітальна». Міжнародна науково-практична конференція «Технології і процеси в гірництві та будівництві». ДонНТУ. – С.76-86.

23. Ishkov V.V., Kozii Ye.S., Chernobuk O.I., Pashchenko P.S., Lozovyi A.L. (2022). Results of correlation and regression analysis of germanium concentrations with thickness and ash content of coal seam  $c_8^B$  of Dniprovskia mine field (Ukraine). Proceedings of the XXIX International Scientific and Practical Conference «Trends in science and practice of today», July 26 – 29, 2022, Stockholm, Sweden, pp. 95-104. <https://doi.org/10.46299/ISG.2022.1.29>

24. Ішков В.В., **Козій Є.С.** Аналіз поширення хрому і ртуті в основних вугільних пластах Красноармійського геолого-промислового району / Вид-во ІГН НАН України. Серія тектоніка і стратиграфія, 2019. Вип. 46. С. 96-104. <https://doi.org/10.30836/igs.0375-7773.2019.208881>

25. Ішков В.В., **Козій Є.С.** (2020). Особливості розподілу свинцю у вугільних пластах Донецько-Макіївського геолого-промислового району Донбасу. Вид-во ІГН НАН України. Серія тектоніка і стратиграфія, 2020. Вип. 47. С. 77-90. <https://doi.org/10.30836/igs.0375-7773.2020.216155>

26. Ishkov V., Kozii Y., Chernobuk O., Lozovyi A., Mandrikevich V. Correlation and regression analysis of germanium concentrations with coal thickness and ashity of coal seam  $c_{10}^B$  of "Dniprovskia" mine field (Ukraine). The XXXI International Scientific and Practical Conference «Modern innovations and promising ways of development of culture and science», August 09 – 12, 2022, Boston. pp. 56-65. DOI: 10.46299/ISG.2022.1.31

27. Edward H. (1989). An Introduction to Applied Geostatistics Edward, New York: Oxford University Press, 561 p.

28. Волков В.Н., Полеховский Ю.С., Сергеев А.С., Тарасова И.П. (1997). Введение в металлогению горючих ископаемых и углеродсодержащих пород: Учеб, пособие. СПб.:Издательство, 248 с.

29. Козар М.А., Ішков В.В., Козій Є.С., Стрельник Ю.В. (2021). Токсичні елементи мінеральної та органічної складової вугілля нижнього карбону Західного Донбасу. Геологічна наука в незалежній Україні: Збірник тез наукової конференції. – С. 55-58.