

УДК 553.94:550.42:661.693

**В.В. Ішков, Є.С. Козій, А.Г. Клименко**

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

## **ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ГЕРМАНІЮ У ВУГІЛЬНОМУ ПЛАСТІ c<sub>1</sub> ШАХТИ «ДНІПРОВСЬКА»**

*У роботі викладені результати аналізу розподілу германію по площі і в розрізі вугільного пласта c<sub>1</sub> поля шахти «Дніпровська». Наведені побудовані карти ізоконцентрат та зміни регіональної складової нормованого вмісту германію у вугільному пласті c<sub>1</sub> в межах поля шахти Дніпровська, які наглядно і надійно візуалізують рівень його накопичення по площі. За результатами кореляційного і регресійного аналізів розраховані коефіцієнти кореляції та лінійні рівняння регресії. Побудовані карти та розраховані рівняння регресії дають можливість виконати середньо- і довготерміновий прогноз вмісту цього елемента в гірничій масі, що видобувається і планувати подальші технічні та організаційні заходи направлені на управління його вмістом в продуктах і відходах вуглевидобутку. Комплекс виконаних досліджень дозволив встановити в межах розглянутого шахтопласта основні особливості характеру розподілу германію, що вірогідно має полігенний і поліхронний характер накопичення.*

**Ключові слова:** германій, поле шахти, коефіцієнт кореляції, токсичні елементи, дисперсійний аналіз.

### **Вступ.**

Актуальність дослідження вмісту германію у вугільних пластах обумовлена можливістю його промислового вилучення та використання в якості цінного попутного компонента.

Вугілля – це найважливіше джерело германію в Україні, в Китаї (германієносні вугільні родовища в Китаї розробляються поряд міського округу Лінцан провінції Юньнань і міського повіту Шилін-Хото аймаку Шилін-Гол автономного району 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).

Використання германію у різних галузях досить різноманітне. Як компонент для отримання скла для оптоволоконної техніки

використовується  $\text{GeCl}_4$ . Оксид германію з чистотою до 99.999% застосовується в каталізаторах для полімеризації ПЕТ-пластмас (Поліетилентерефталат (Polyethylene terephthalate) або поліетилентерфталатної смоли), а особливо чистий - у виробництві кристалів ВГО ( $\text{Bi}_{14}\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ ) сцинтиляційних датчиків фотонів високих енергій. Напівпровідникові властивості германію знову затребувані в електронних приладах і сонячних перетворювачах, а також в Si-Ge з'єднаннях. У приладах нічного бачення в ІК-діапазоні застосовуються полі- і монокристалічні вікна і лінзи, виготовлені з монокристалів Ge. Останнім часом германій починає набувати застосування і в біогеохімії та медицині. Було встановлено його підвищений вміст в багатьох лікарських рослинах, здатність надавати протипухлинну, антисептичну дію.

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 й породах, що його вміщують. З метою одержання такої інформації в національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» були виконані детальні дослідження розподілу германію по площі і в розрізі вугільного пласта с<sub>1</sub> поля шахти «Дніпровська».

Останні досягнення. Раніше [9-12] досліджені особливості розподілу «малих елементів», які відносяться до групи «токсичних та потенційно токсичних елементів» у вугільних пластах деяких шахт Павлоградсько-Петропавлівського та Красноармійського [9-12] геолого-промислових

районів Донбасу. У той же час, аналіз розподілу германію у вугільному пласті  $c_1$  поля шахти «Дніпровська» раніше не виконувався.

### **Мета роботи.**

Встановлення особливостей розподілу германію по площі і в розрізі вугільного пласта  $c_1$  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 [13] 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 [14]. 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.

При оцінці зв'язку германію з органічною або мінеральною частиною вугілля використовувалися коефіцієнти спорідненості з органічною речовиною  $F_0$ , що показує відношення вмісту елементів у вугіллі з малою (<1,6) і високою щільністю (>1,7), коефіцієнти наведеної концентрації  $F_{нк}$ , що показують відношення вмісту елементів у фракції  $i(C_i)$  до вмісту у вихідному вугіллі, коефіцієнти кореляції вмісту досліджуваних елементів і зольності вугілля і коефіцієнти наведеного вилучення елемента у фракції різної щільності.

При побудові всіх карт використовувалася програма Surfer 11. В ході побудови карт, 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 германію;

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

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

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  $c_1$  поля шахти «Дніпровська» були: ревізія раніше виконаних досліджень; формування представницьких вибірок аналізів його вмісту; встановлення середніх концентрацій цього елемента у вугіллі, встановлення закономірностей його розподілу у вугільному пласті  $c_1$  і зв'язок з іншими «малими елементами» - домішками у вугіллі.

### **Виклад основного матеріалу.**

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. На полі шахти «Дніпровська» концентрація германію у вугіллі пласта  $c_1$  варіює в межах від 0,16 г/т до 9,48 г/т (рис. 1а), при середньому значенні - 5,49 г/т. Найбільша локація германію знаходиться у південній частині шахтного поля в районі свердловини №14336. Вміст цього елемента значимо не залежить від глибини, потужності пласта та вмісту сірки загальної у вугіллі. Регіональна складова його вмісту зростає в напрямку зворотному падінню пласта в південно-західному напрямку (рис. 1б). Спостерігається тісна зворотна статистична залежність між вмістом германію і зольністю ( $r = -0,96$ ) та фтором ( $r = -0,90$ ). Відповідні лінійні рівняння регресії:  $Ge = 0,9453 - 1,2272 \times A^d$ ;  $Ge = 0,9441 - 1,2848 \times F$ . Для встановлення впливу на концентрацію германію варіацій потужності вугільного пласта, зольності і сірки загальної було проведено дисперсійний аналіз. Розраховані за його допомогою коефіцієнти наведені у таблиці 1.

У розрізі пласта підвищені концентрації германію спостерігаються на ділянках безпосередньо розташованих біля ґрунту та покрівлі і / або біля малопотужних внутрішньопластових прошарків. Звертає увагу наявність

ділянок збільшення вмісту германію біля зон з підвищеною тріщинуватістю та епігенетичною мінералізацією.

**Таблиця 1.** Значення коефіцієнтів, які характеризують ступінь впливу кожного із факторів на розподіл германію

Фактори	Значення коефіцієнта
Потужність пласта	0,034
Зольність	0,960
Вміст сірки загальної	0,006

**В результаті виконаних досліджень встановлено основні висновки:**

1) регіональна складова загального вмісту германію збільшується в північно-східному напрямку;

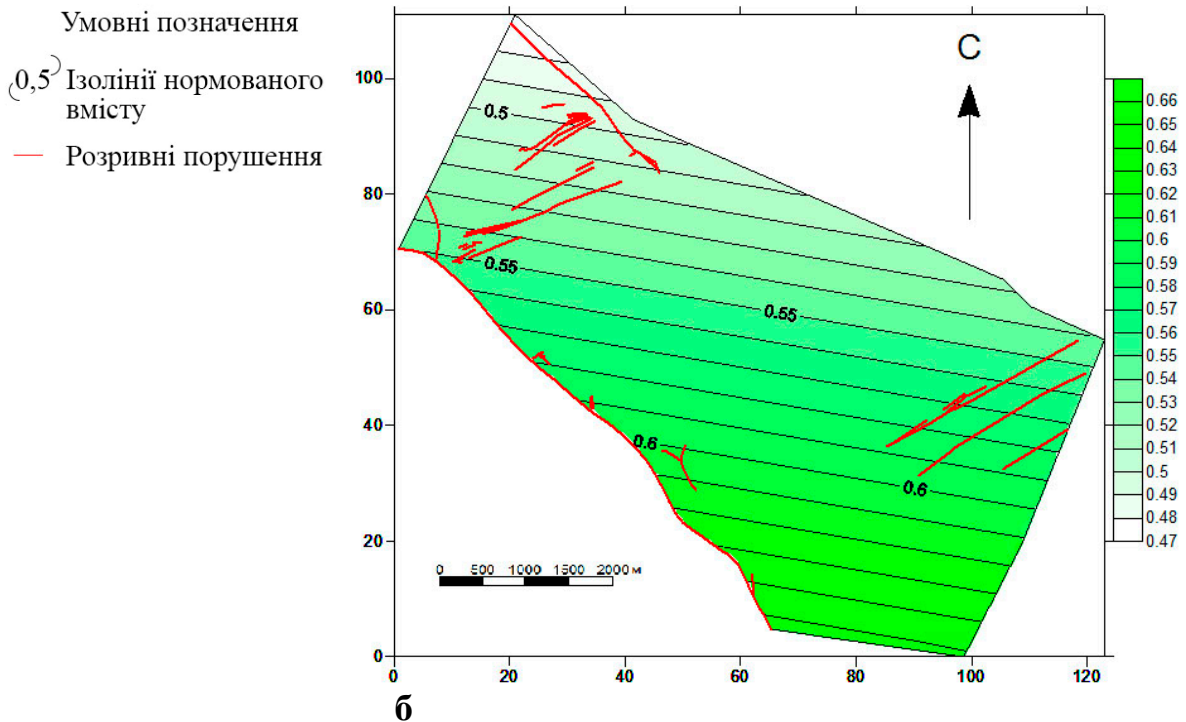
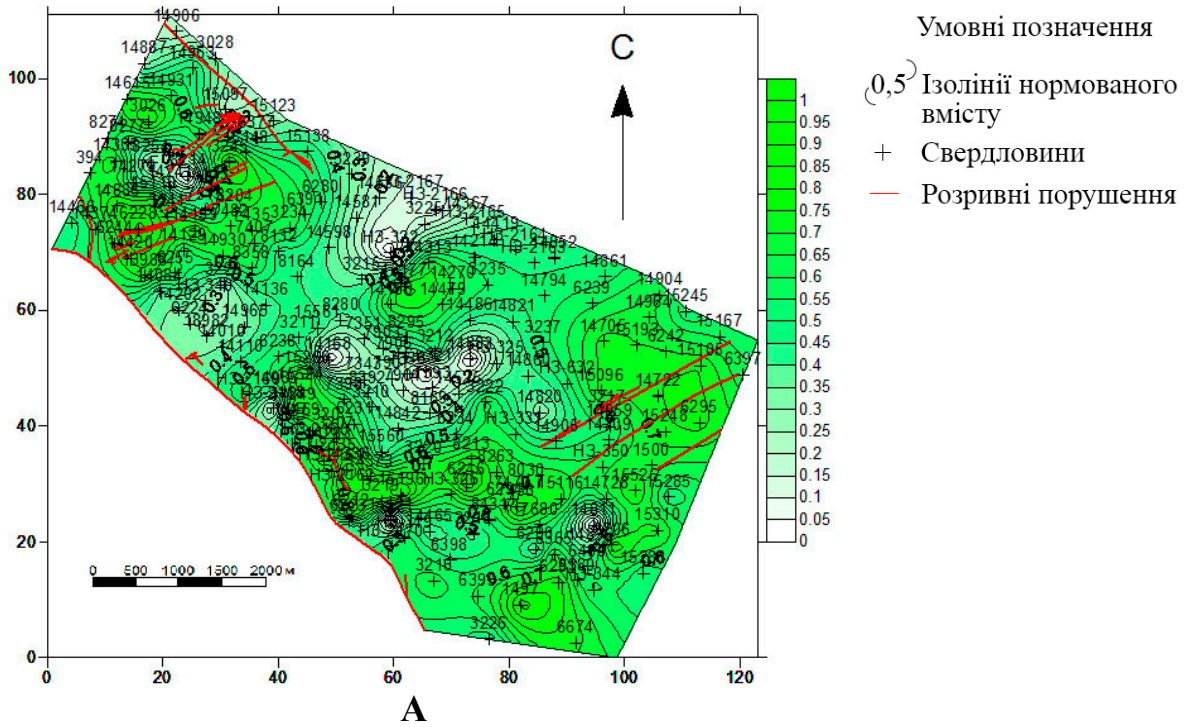
2) вміст германію не залежить від напрямку падіння пласта, сучасної глибиною його залягання, потужністю та сірки загальної у вугіллі;

3) зворотній зв'язок концентрації досліджуваного елемента з вмістом мінеральних домішок у вугіллі пласта, а отже, його зв'язок з органічною складовою вугілля встановлено за результатами кореляційного та дисперсійного аналізів;

4) встановлено тісний зворотній зв'язок між вмістом германію та концентрацією фтору у пласті.

**Основна практична цінність** виконаних досліджень полягає у побудові карт ізоконцентрат та зміни регіональної складової нормованого вмісту германію у вугіллі пласта  $c_1$  (ш. Дніпровська) і розрахунку рівнянь регресії які дають можливість виконати середньо- і довготерміновий прогноз вмісту цього елемента в видобуваємії гірничій масі і планувати наступні технічні та організаційні заходи направлені на управління його вмістом в продуктах і відходах вуглевидобутку.





**Рис. 1** Карта ізоконцентрат (а) та карта зміни регіональної складової (б) нормованого вмісту германію у вугільному пласті с<sub>1</sub> (ш. Дніпровська)

**Основне наукове значення** отриманих результатів полягає у встановленні для розглянутого шахтопласту характеру розподілу германію, що вірогідно має полігенний і поліхронний характер накопичення. Зміна концентрації цього елемента по пласту ймовірніше за все обумовлена тектонічними і фаціальними локальними особливостями формування пласту, які в свою чергу контролюють петрографічний склад вугілля, гідродинамічний режим басейну торфонакопичення, літолого-фаціальний склад безпосередньої і основної покрівлі, тріщинуватість вугілля і вміщуючих порід.

### Список літератури

1. Ішков В.В., Козій Є.С. (2017). Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта с<sup>7H</sup> шахти «Павлоградська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. Вісник Київського національного університету. Геологія, 79(4). 59-66. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.79.09>
2. Козій Є.С. (2018). Миш'як, берилій, фтор і ртуть у вугіллі пласта с<sup>1</sup> шахти «Дніпровська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. Вісник Дніпропетровського університету. Геологія-Географія, 26 (1). 113-120. DOI: <https://doi.org/10.15421/111812>
3. Нестеровський В.А., Ішков В.В., Козій Є.С. (2020). Токсичні і потенційно токсичні елементи у вугіллі пласта с<sup>8H</sup> шахти «Благодатна» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. Вісник Київського національного університету. Геологія, 88(1), 17-24. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.88.03>
4. Mykola A. Kozar, Valerii V. Ishkov, Yevhen S. Kozii, Pavlo S. Pashchenko. (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. Geocology, 29(4), 722–730. <http://doi: 10.15421/112065>
5. Ішков В.В., Козій Є.С. (2019). Аналіз розповсюдження хрому і ртуті в основних вугільних пластах Красноармійського геолого-промислового району. Вид-во ІГН НАН України. Серія тектоніка і стратиграфія, 46. 96-104.
6. Ішков 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. 1(36). 214-227.
7. 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, 47. 77-90.
8. Козій Є.С. (2017). Особливості розподілу токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта с<sup>10B</sup> шахти «Сташкова» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. Збірник наукових праць «Геотехнічна механіка», 132. 157-172.



9. Ішков В.В., Козій Є.С. (2020). Розподіл ртуті у вугільному пласті с<sub>7</sub><sup>н</sup> поля шахти «Павлоградська». Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Гірничо-геологічна», 1(23)-2(24). 26-33.

10. Козій Є.С., Ішков В.В. (2017). Класифікація вугілля основних робочих пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту токсичних і потенційно токсичних елементів. Збірник наукових праць «Геотехнічна механіка», 136. 74-86.

11. Ішков В.В., Козій Є.С. (2017). Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта с<sub>10</sub><sup>в</sup> шахти «Дніпровська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району Донбасу. Збірник наукових праць «Геотехнічна механіка», 133, 213-227.

12. Козій Є.С., Ішков В.В. (2018). 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. 194-203.

13. Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Метод отбора пластовых проб [Текст]. ГОСТ 9815-75. – Москва: Изд-во стандартов, 1975, 8 с.

14. Угли бурые, каменные и антрациты. Методы определения бериллия, бора, марганца, бария, хрома, германия, никеля, кобальта, свинца, галлия, ванадия, меди, цинка, молибдена, иттрия и лантана [Текст]. ГОСТ 28974-91. – Москва: Изд-во стандартов, 1991, 10 с.

**V.V. Ishkov, Ye.S. Kozii, A.G. Klymenko**  
Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

### **PECULIARITIES OF GERMANIUM DISTRIBUTION IN COAL SEAM C1 OF THE " DNIPROVSKA " MINE**

*The article presents the results of the analysis of the germanium distribution in the area and in the cross-section of the coal seam c1 of the mine field " Dniprovskia ". The constructed maps of isoconcentrates and changes of the regional component of the normalized germanium content in the c1 coal seam within the mine field of the Dniprovskia are presented, which clearly and reliably visualize the level of its accumulation over the area. Correlation coefficients and linear regression equations were calculated based on the results of correlation and regression analyzes. The constructed maps and calculated regression equations make it possible to perform medium- and long-term forecast of the content of this element in the extracted rock mass and plan further technical and organizational measures aimed at managing its content in products and wastes of coal mining. The complex of the executed researches has allowed to establish within the limits of the considered mine field the main features of character of germanium distribution that probably has polygenic and polychronic character of accumulation.*

**Key words:** *germanium, mine field, correlation coefficient, toxic elements, variance analysis.*